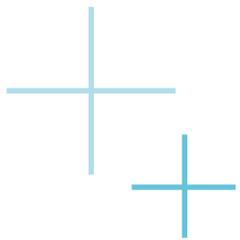




2012



Rapport de synthèse



**INVENTAIRE
NATIONAL**
des matières
et déchets
radioactifs



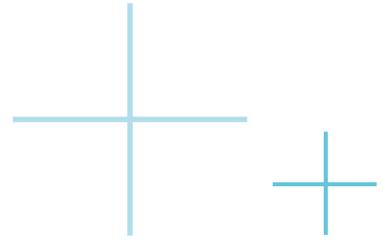


Depuis plusieurs dizaines d'années, la France a mis en place une politique de gestion responsable des déchets produits par les activités qui utilisent la radioactivité. C'est ainsi que, dès le début des années 1990, le Parlement a voté la création de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra), établissement public indépendant des producteurs de déchets radioactifs, et l'a chargée de trouver et de concevoir des solutions de gestion sûres pour l'ensemble des déchets radioactifs français.

Au titre de sa mission d'intérêt général, l'Andra est également chargée de recenser périodiquement l'ensemble des matières et des déchets radioactifs présents sur le territoire français et d'établir des prévisions de leur production dans le futur. Elle s'efforce de donner une vision aussi complète et exhaustive que possible de leur nature, de leur quantité et de leur localisation. La loi du 28 juin 2006 prévoit ainsi que l'Andra mette à jour et publie ces informations tous les trois ans sous la forme du présent *Inventaire national*.

Dans un souci de transparence, l'Andra a institué un comité de pilotage pluraliste pour suivre la préparation de l'*Inventaire national*. Présidé par la directrice générale de l'Andra, ce comité de pilotage comprend des représentants des acteurs institutionnels (ministères, Autorité de sûreté nucléaire, Haut comité à la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire...), des producteurs de déchets et des associations de protection de l'environnement. C'est donc un lieu où peut s'exprimer la pluralité des points de vue sur les enjeux de la gestion des déchets radioactifs, pour que l'*Inventaire national* réponde aux attentes du plus grand nombre.

Vecteur d'information et de transparence sur un sujet qui intéresse, à juste titre, nombreux de nos concitoyens, cet *Inventaire national* constitue aussi un outil précieux pour le pilotage de la politique française pour la gestion des matières et des déchets radioactifs, formalisée dans le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR). L'*Inventaire national* permet de garantir une gestion maîtrisée des déchets français produits et à venir. Il répond ainsi parfaitement à l'objectif fixé aux États membres par la directive européenne sur les déchets radioactifs adoptée le 19 juillet 2011. Cette directive recommande en effet que chaque État membre établisse un programme national pour la gestion du combustible et des déchets, s'appuyant sur la réalisation d'inventaires.



Sur la base des déclarations de chaque détenteur de déchets, l'édition 2012 de l'*Inventaire national* présente les déchets déjà produits au 31 décembre 2010, ainsi que des prévisions sur les quantités de déchets attendues d'ici 2020 et 2030. Un exercice prospectif est également réalisé à plus longue échéance, suivant deux scénarios contrastés sur le devenir des installations nucléaires et sur la politique énergétique de la France à long terme. L'*Inventaire national* présente par ailleurs les matières radioactives entreposées dans la perspective d'une valorisation.

La présente édition paraît alors que le projet de stockage géologique profond pour les déchets radioactifs, Cigéo, entre dans une phase cruciale. En effet, la loi de 2006 prévoit que l'Andra dépose la demande d'autorisation de création de cette installation en 2015 après un débat public prévu en 2013. L'édition 2012 de l'*Inventaire national* fournit ainsi des données actualisées sur les déchets qui ont vocation à être stockés dans Cigéo.

Comme l'édition précédente, l'édition 2012 de l'*Inventaire national* est présentée sous forme de quatre volumes : rapport de synthèse, résumé, catalogue des familles, inventaire géographique. Une version électronique est aussi disponible sur internet, avec des liens interactifs développés depuis la dernière édition. Le rapport de synthèse a, lui, été enrichi de dossiers dédiés pour offrir un panorama plus large sur certains domaines liés aux déchets radioactifs : les déchets à radioactivité naturelle renforcée, la gestion des sources scellées usagées ou encore l'immersion des déchets en mer, qui a été pratiquée par le passé.

L'Andra s'attache à améliorer la présentation de cet *Inventaire* au fil des éditions successives, tant sur sa forme que sur son contenu. Les remarques de nos lecteurs permettent d'enrichir et de rendre cet *Inventaire national* utile au plus grand nombre et sont, de ce fait, toujours bienvenues.

Nous vous souhaitons une bonne lecture de cette quatrième édition.



Marie-Claude Dupuis
Directrice générale de l'Andra

François-Michel Gonnot
Président du conseil d'administration de l'Andra

Sommaire

1 Les déchets radioactifs et leur gestion

- 1.1 L'origine des déchets radioactifs 8
- 1.2 La classification des déchets radioactifs et les filières de gestion . . . 12
- 1.3 Les cas particuliers 17
- 1.4 Les principes généraux de la gestion des déchets radioactifs 18

2 Les résultats généraux

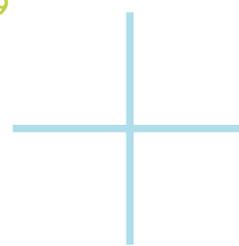
- 2.1 Les déchets radioactifs à fin 2010 25
- 2.2 Les déchets radioactifs : prévisions pour la période 2011-2030 . . . 39
- 2.3 Stocks des matières radioactives à fin 2010
et prévisions pour la période 2011-2030 44
- 2.4 Perspectives post-2030 51

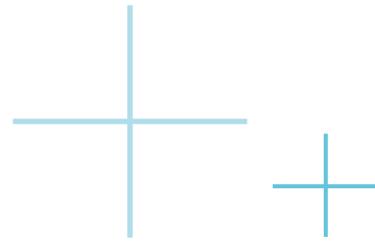
3 Inventaire par secteur économique

- 3.1 Le secteur électronucléaire 60
- 3.2 Le secteur de la Défense 74
- 3.3 Le secteur de la recherche 82
- 3.4 Le secteur de l'industrie non électronucléaire 88
- 3.5 Le secteur médical 91

4 Les situations historiques

- 4.1 Les centres de stockage de déchets conventionnels 94
- 4.2 Les stockages historiques sur site 95
- 4.3 Les stockages de déchets à radioactivité naturelle renforcée 96
- 4.4 Les stockages de la Défense 97
- 4.5 Les sites miniers 97
- 4.6 Les sites contaminés par la radioactivité 99





D Dossiers thématiques

Dossier 1 - Les déchets immergés

1. Contexte et historique 107
2. Les immersions en Atlantique Nord-Est 110
3. Les immersions pratiquées par la France 114
4. La surveillance des sites d'immersion 116

Dossier 2 - La gestion des sources radioactives usagées

1. Les sources radioactives usagées considérées comme des déchets. . . 120
2. Déchets produits par l'utilisation de sources non scellées 121
3. Déchets produits par l'utilisation de sources scellées 125
4. L'inventaire des sources radioactives usagées considérées
comme des déchets 132

Dossier 3 - Les déchets à radioactivité naturelle renforcée (RNR)

1. La gestion des déchets RNR et la réglementation 135
2. Secteurs d'activité et déchets produits 137
3. Les résidus de procédés valorisés 142
4. Stock à fin 2010 des déchets RNR 145

Dossier 4 - Les solutions existantes et en projet en France pour la gestion des déchets radioactifs

1. Le traitement et le conditionnement des déchets radioactifs 147
2. Les solutions de gestion des déchets radioactifs 150

Dossier 5 - Les inventaires de déchets radioactifs à l'étranger

1. Finalité des inventaires de déchets 161
2. Nouvelle directive européenne relative à la gestion du
combustible usé et des déchets radioactifs (2011/70/Euratom) . . . 164
3. Le suivi réalisé par l'Agence internationale de l'énergie
atomique (AIEA) 165
4. L'inventaire dans certains pays 165

A Annexes

Annexe 1

Comment construit-on l'*Inventaire national* ? La méthodologie 174

Annexe 2

La gestion des déchets radioactifs français et étrangers issus
des combustibles usés dans les installations AREVA de La Hague 186

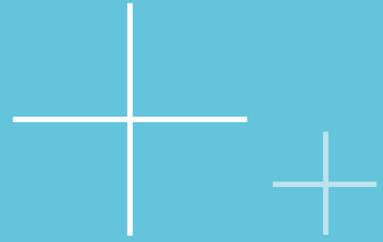
Annexe 3

L'activité des déchets radioactifs 196

G Glossaire 200







Les déchets radioactifs et leur gestion

Les déchets radioactifs et leur gestion

1.1

L'origine des déchets radioactifs

Les nombreuses utilisations des propriétés de la radioactivité produisent, depuis le début du XX^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 substances radioactives.

L'*Inventaire national* décrit l'origine des déchets radioactifs selon **cinq secteurs économiques** conduisant à la production, la détention ou la gestion de déchets radioactifs (voir encadré page 10).

le secteur électronucléaire

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

le secteur de la Défense

Il s'agit principalement des activités liées à la force de dissuasion, dont la propulsion nucléaire de certains navires ou sous-marins, ainsi que des activités de recherche associées.

le secteur de la recherche

qui comprend la recherche dans le domaine du nucléaire civil, les laboratoires de recherche médicale, de physique des particules, d'agronomie, de chimie...

le secteur de l'industrie (non électronucléaire)

qui comprend notamment l'extraction de terres rares, la fabrication de sources scellées mais aussi diverses applications comme le contrôle de soudure, la stérilisation de matériel médical, la stérilisation et conservation de produits alimentaires...

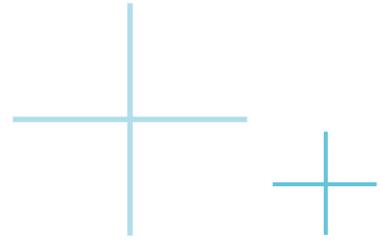
le secteur médical

qui comprend les activités thérapeutiques, de diagnostic et de recherche.

Les secteurs ayant historiquement le plus contribué à la production de déchets radioactifs en France sont les secteurs électronucléaire, de la recherche et de la Défense.

Conformément à l'article L. 542-1 du chapitre II du titre IV du livre V du Code de l'environnement modifié par la loi du 28 juin 2006, **les producteurs de déchets radioactifs sont responsables de la bonne gestion de leurs déchets avant leur évacuation vers un exutoire définitif.**

1.



L'article L 542-1-1 du chapitre II du titre IV du livre V du Code de l'environnement créé par la loi du 28 juin 2006 [1] définit un certain nombre de notions qu'il est utile de rappeler pour aborder l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs

« Une substance radioactive est une substance qui contient des radionucléides, naturels ou artificiels, dont l'activité ou la concentration justifie un contrôle de radioprotection. »

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

Dans certains cas, le traitement des matières en vue de leur valorisation peut engendrer des déchets.

« Les déchets radioactifs sont des substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée.

Les déchets radioactifs ultimes sont des déchets radioactifs qui ne peuvent plus être traités dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de leur part valorisable ou par réduction de leur caractère polluant ou dangereux. »

« Un combustible nucléaire est regardé comme un combustible utilisé lorsque, après avoir été irradié dans le cœur d'un réacteur, il en est définitivement retiré. »

La France ayant fait le choix de traiter les combustibles usés pour récupérer les matières valorisables qu'ils contiennent, ceux-ci ne sont pas considérés comme des déchets radioactifs.

Ces notions sont à compléter par celle de déchets à radioactivité naturelle renforcée (RNR). Les déchets RNR sont des déchets générés par la transformation de matières premières contenant naturellement des radionucléides mais qui ne sont pas utilisées pour leurs propriétés radioactives.

En effet, toutes les substances, notamment minérales, contiennent naturellement des radionucléides à l'état de traces, dont l'uranium, le thorium ou le potassium.

Certaines industries non nucléaires liées à la chimie, à la métallurgie ou à l'énergie peuvent être à l'origine de la production de déchets RNR, du fait de procédés de fabrication ou d'extraction qui conduisent à concentrer les radionucléides naturels.

Les activités utilisant des substances radioactives peuvent être à l'origine de rejets contrôlés dans l'environnement, sous forme gazeuse ou liquide. Ces rejets ne relèvent pas du champ de l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs.

Les rejets provenant d'INB sont décrits et quantifiés dans les rapports publics dus chaque année par leurs exploitants au titre de la loi du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire. Les données concernant les rejets des ICPE sont rassemblées chaque année par le ministère en charge de l'Écologie et mises à la disposition du public sur internet.

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

Les déchets radioactifs sont des substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée (**L. 542-1-1 du Code de l'environnement**).

Producteur de déchets radioactifs

Toute personne dont l'activité produit des déchets (producteur initial de déchets) ou toute personne qui effectue des opérations de traitement des déchets conduisant à un changement de la nature ou de la composition de ces déchets (producteur subséquent de déchets) (L. 541-1-1).

Détenteur de déchets radioactifs

Producteur de déchets ou toute autre personne qui se trouve en possession de déchets (L. 541-1-1).

Un déchet radioactif peut avoir plusieurs détenteurs entre le moment où il est produit et le moment où il est éliminé (successivement le détenteur-producteur, puis le transporteur, l'exploitant de l'entrepôt, l'exploitant du stockage).

Gestion de déchets radioactifs

La collecte, le transport, la valorisation et l'élimination des déchets et, plus largement, toute activité participant de l'organisation de la prise en charge des déchets depuis leur production jusqu'à leur traitement final, y compris les

activités de négoce ou de courtage et la supervision de l'ensemble de ces opérations (L. 541-1-1).

Responsabilités

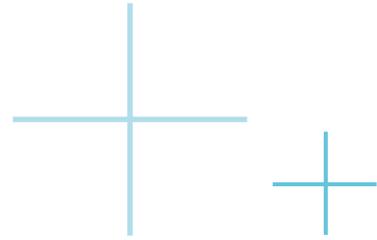
Tout producteur ou détenteur de déchets :

- est tenu d'en assurer ou d'en faire assurer la gestion, conformément aux dispositions du présent chapitre ;
- est responsable de la gestion de ces déchets jusqu'à leur élimination ou valorisation finale, même lorsque le déchet est transféré à des fins de traitement à un tiers ;
- s'assure que la personne à qui il les remet est autorisée à les prendre en charge (L. 541-2).

Les producteurs de combustibles usés et de déchets radioactifs sont responsables de ces substances, sans préjudice de la responsabilité de leurs détenteurs en tant que responsables d'activités nucléaires (L. 542-1).

Ces dispositions signifient que le producteur est responsable de ses déchets et des obligations qui lui incombent jusqu'à leur élimination finale en application de l'article L. 541-2 (faire assurer la gestion, traiter ou faire traiter les déchets, garantir la qualité et les propriétés des déchets, assumer les coûts, les dommages que pourraient induire les déchets).

Les détenteurs non producteurs sont responsables de leurs activités nucléaires (sécurité et sûreté des installations, des activités, et des déchets transportés, entreposés, stockés).



Les obligations déclaratives à l'*Inventaire national*

Ces obligations sont définies dans le décret du 29 août 2008 [III] :

« **Art. R. 542-67.** Aux fins de réaliser l'*Inventaire national* prévu au 1° de l'article L. 542-12, tout exploitant d'un site accueillant soit une ou plusieurs installations nucléaires de base, soit une ou plusieurs installations nucléaires intéressant la défense définies à l'article R. 1333-37 du Code de la défense, soit une ou plusieurs installations classées pour la protection de l'environnement au titre des rubriques 1715 ou 1735 de la nomenclature, soit plusieurs de ces catégories d'installations est tenu de transmettre chaque année à l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs un inventaire des matières et déchets radioactifs présents sur ce site, arrêté au 31 décembre de l'année écoulée. »

« L'*Inventaire*, assorti d'une présentation sommaire du site et de l'indication du régime administratif dont il relève, comporte la description des matières et déchets radioactifs selon leurs caractéristiques physiques et leur importance quantitative. Les déchets radioactifs sont répartis par famille. »

« Lorsque le site comprend une installation nucléaire de base présentant le caractère d'un réacteur nucléaire, d'une usine de traitement de combustibles nucléaires usés, d'une ins-

tallation d'entreposage ou de stockage de substances radioactives, l'exploitant complète l'inventaire annuel par une annexe indiquant la répartition par producteur et par famille des déchets radioactifs présents sur ce site. »

« Pour une installation nucléaire intéressant la Défense, l'inventaire ne comporte que la description des déchets radioactifs se rapportant à cette installation. »

« **Art. R. 542-68.** Toute personne responsable d'activités nucléaires et tout responsable d'une entreprise mentionnée à l'article L. 1333-10 du Code de la santé publique » - c'est-à-dire utilisant des matériaux contenant des radionucléides naturels non utilisés pour leurs propriétés radioactives, fissiles ou fertiles - « qui n'entre pas dans les prévisions de l'article R. 542-67 du présent Code, est tenu de transmettre chaque année à l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs un inventaire des déchets radioactifs détenus, arrêté au 31 décembre de l'année écoulée, en indiquant la filière de gestion utilisée. »

« **Art. R. 542-69.** Tout exploitant d'un site mentionné à l'article R. 542-67 est tenu de transmettre tous les trois ans à l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs un rapport comportant pour ce site des informations sur les quantités prévisionnelles de matières radioactives par famille. En l'absence d'une solution de gestion définitive adaptée à ces déchets, le rapport précise les types d'installations d'entreposage envisagées, leurs capacités disponibles et leur durée prévisionnelle d'exploitation.

Pour une installation nucléaire intéressant la Défense, le rapport triennal ne comporte que la description des déchets radioactifs se rapportant à cette installation. »

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

1.2

La classification des déchets radioactifs et les filières de gestion

La nature physique et chimique, le niveau et le type de radioactivité, sont autant de caractéristiques qui diffèrent d'un déchet à un autre. Les déchets radioactifs contiennent en général un mélange de radionucléides : uranium, césium, iode, cobalt, radium, tritium... En fonction de leur composition, ils sont plus ou moins radioactifs, pendant plus ou moins longtemps.

En France, la classification des déchets radioactifs repose principalement sur deux paramètres [III] : le niveau de radioactivité et la période radioactive¹ des radionucléides présents dans le déchet.

Concernant le niveau de radioactivité des déchets, on distingue les déchets de :

- très faible activité ;
- faible activité ;
- moyenne activité ;
- haute activité.

Concernant la période radioactive, on distingue :

- les déchets dits à vie très courte dont la radioactivité est divisée par deux en 100 jours ou moins ;
- les déchets dits à vie courte dont la radioactivité provient principalement de radionucléides qui ont une période inférieure ou égale à 31 ans ;
- les déchets dits à vie longue qui contiennent une quantité importante de radionucléides dont la période est supérieure à 31 ans.

La prise en charge de chaque type de déchet nécessite la mise en œuvre ou le développement de moyens spécifiques, appropriés à la dangerosité qu'il présente et à son évolution dans le temps.

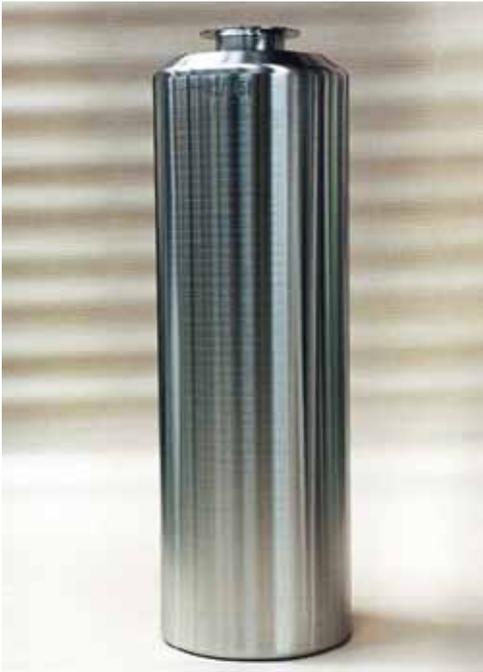
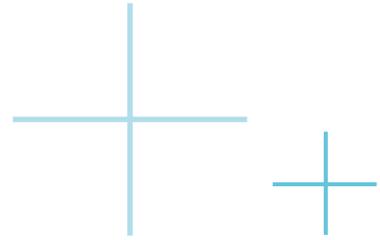
Il existe ainsi cinq catégories de déchets.

En fonction de leur composition, les déchets sont plus ou moins radioactifs, pendant plus ou moins longtemps.

1.2

¹ La période radioactive quantifie le temps au bout duquel l'activité initiale d'une quantité d'un radionucléide donné est divisée par deux.

[III] Décret n° 2012-542 du 23 avril 2012 pris pour l'application de l'article L. 542-1-2 du Code de l'environnement et établissant les prescriptions relatives au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR).



Colis de déchets vitrifiés (HA)



Déchets de structure du combustible usé avant conditionnement (MA-VL)

Les déchets de haute activité (HA)

Ces déchets rassemblent, dans un volume réduit, la plus grande partie de la radioactivité des déchets et proviennent pour l'essentiel de l'industrie électronucléaire. Ils correspondent aux résidus non valorisables issus du traitement des combustibles usés. Ces déchets sont vitrifiés dans un conteneur en acier inoxydable.

En raison de leur radioactivité élevée, ces déchets dégagent de la chaleur. Le niveau de radioactivité des déchets HA se situe à des niveaux de plusieurs dizaines de milliards de becquerels (Bq) par gramme.

Ils contiennent des produits de fission à vie courte comme, par exemple, le césium 134 et le césium 137 ou à vie longue comme le technétium 99, des produits d'activation et des actinides mineurs dont certains ont des périodes plurimillénaires comme le neptunium 237.

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

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

Le niveau de radioactivité de ces déchets se situe en général entre un million et un milliard de becquerels par gramme, soit un facteur 10 à 100 inférieur aux déchets HA.

Les déchets HA et MA-VL, le plus souvent conditionnés en colis, sont actuellement entreposés dans l'attente de disposer d'un exutoire définitif. La loi de programme n° 2006-739 du 28 juin 2006 charge l'Andra de **mener des études et des recherches pour choisir un site et concevoir un centre de stockage réversible profond** (à 500 mètres de profondeur) **pour accueillir ces déchets, Cigéo** (Centre industriel de stockage géologique) dont la mise en service est prévue en 2025, sous réserve de son autorisation (voir dossier 4).

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

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

- **les déchets radifères** contiennent des radionucléides naturels dont une quantité notable de radium et/ou de thorium. Ils proviennent essentiellement d'opérations de recherche et de traitement chimique de minerais. D'autres déchets radifères peuvent également provenir de l'assainissement de sites historiquement pollués au radium dont l'Andra assure la mise en sécurité au titre de sa mission d'intérêt général. Le niveau de radioactivité de ces déchets est en général compris entre quelques dizaines et quelques centaines de becquerels par gramme.

Les radionucléides qu'ils contiennent sont essentiellement des émetteurs alpha à vie longue, comme le radium, l'uranium ou le thorium.



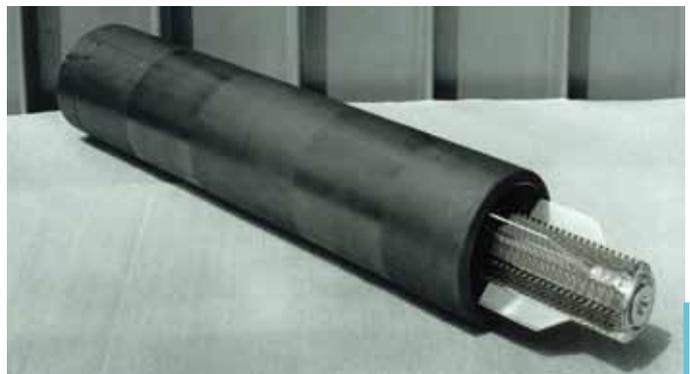
Déchets radifères

- **les déchets de graphite** proviennent de l'exploitation et du démantèlement des premières centrales nucléaires (réacteurs UNGG : uranium naturel graphite gaz) et de certains réacteurs expérimentaux aujourd'hui arrêtés. Ce type de déchets présente une activité comprise entre dix mille et cent mille becquerels par gramme. À court terme, l'activité des déchets de graphite est principalement due au nickel 63, au tritium et au cobalt 60. À plus long terme, le carbone 14 devient le contributeur majoritaire à l'activité.

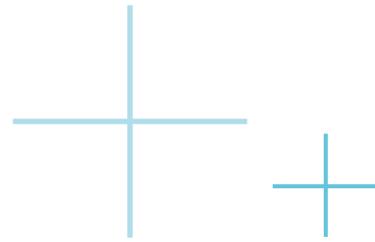
Cette catégorie FA-VL comprend également d'autres types de déchets tels que des **sources scellées usagées**, certains **colis de bitumes anciens...** Des travaux sont en cours dans le cadre du PNGMDR² pour préciser le périmètre.

Le stockage de ces déchets est aujourd'hui à l'étude dans le cadre de la loi de programme n° 2006-739 du 28 juin 2006.

En 2008, l'Andra a lancé la recherche d'un site susceptible d'accueillir un centre de stockage de faible profondeur pour les déchets FA-VL. En 2009, les deux communes retenues par l'État, sur la base d'un rapport d'analyse de l'Andra, ont décidé de retirer leur candidature sous la pression des opposants. En juin 2010, l'État a fixé de nouvelles orientations pour le projet. Il demande notamment à l'Andra de poursuivre les études concernant la connaissance, le traitement et le conditionnement des déchets FA-VL et de ré-ouvrir les options de gestion pour ces déchets. Un bilan des travaux sera remis à l'État fin 2012. Il permettra d'évaluer l'opportunité de créer de nouvelles filières de gestion, de définir un nouveau calendrier pour le projet et de proposer des adaptations à la démarche de recherche de site lancée en 2008 (voir dossier 4).



Chemise de graphite utilisée dans les réacteurs UNGG



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

Ce sont essentiellement des déchets liés à la maintenance (vêtements, outils, filtres...) et au fonctionnement des installations nucléaires (traitements d'effluents liquides ou filtration des effluents gazeux).

Ils peuvent également provenir d'opérations d'assainissement et de démantèlement de telles installations.

Les déchets FMA-VC contiennent des radionucléides à vie courte, de période radioactive inférieure à 31 ans comme le cobalt 60 ou le césium 137. Ils peuvent aussi contenir des radionucléides à vie longue, en quantité limitée.

Le niveau de radioactivité de ces déchets se situe en général entre quelques centaines de becquerels et un million de becquerels par gramme.

Certains de ces déchets FMA-VC contiennent des quantités notables de tritium qui méritent une gestion spécifique (T-FMA-VC).

Les déchets de faible et moyenne activité à vie courte sont stockés en surface et sont surveillés pendant le temps nécessaire à la décroissance de leur radioactivité jusqu'à des niveaux d'impact négligeables.

Sur les sites de stockage de l'Andra, on considère en général que ce niveau est atteint en 300 ans.

Ces centres seront donc surveillés pendant au moins 300 ans. Il existe en France deux sites de ce type : **le Centre de stockage de la Manche (50) et le Centre de stockage pour les déchets FMA de l'Aube (10).**

Le Centre de stockage de la Manche n'accueille plus de déchets depuis 1994 et est en phase de surveillance, tandis que le Centre de stockage de l'Aube est en activité depuis 1992, sur la commune de Soulaines-Dhuys (*voir dossier 4*).



Déchets de laboratoire (FMA-VC)

Les déchets de très faible activité (TFA)

Les déchets TFA proviennent essentiellement du démantèlement des installations nucléaires ou d'industries classiques utilisant des matériaux naturellement radioactifs. Ils se présentent généralement sous forme de déchets inertes (béton, gravats, terres) ou métalliques.

La production de ces déchets augmentera largement avec le démantèlement à grande échelle des centrales nucléaires de production d'électricité actuellement en fonctionnement ou des installations du cycle du combustible et des centres de recherche. Le niveau de radioactivité de ces déchets est en général inférieur à 100 becquerels par gramme.

Ces déchets sont stockés au Centre de stockage de déchets de très faible activité situé essentiellement sur la commune de Morvilliers (10) et mis en service en août 2003 (*voir dossier 4*).

Les déchets à vie très courte

Certains déchets, principalement hospitaliers, contiennent des radionucléides à vie très courte (dont la période radioactive est inférieure à 100 jours) utilisés à des fins diagnostique ou thérapeutique. En raison de leur durée de vie très courte, ces déchets sont entreposés sur place, de quelques jours à quelques mois, temps suffisant pour que leur radioactivité disparaisse. Ils sont ensuite évacués dans des filières de déchets classiques.

Classification des déchets radioactifs

		PÉRIODE		
		Vie très courte (Période < 100 jours)	Vie courte (Période ≤ 31 ans)	Vie longue (Période > 31 ans)
ACTIVITÉ	Très faible activité (TFA)	Gestion par décroissance radioactive sur le site de production puis évacuation dans les filières conventionnelles	Stockage de surface (Centre de stockage des déchets de très faible activité de l'Aube)	
	Faible activité (FA)		Stockage de surface (Centre de stockage des déchets de faible et moyenne activité de l'Aube)	Stockage à faible profondeur (à l'étude dans le cadre de la loi du 28 juin 2006)
	Moyenne activité (MA)			
	Haute activité (HA)		Stockage réversible profond (à l'étude dans le cadre de la loi du 28 juin 2006)	

1.3

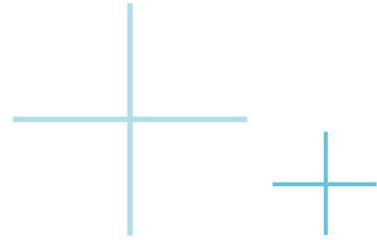
Il est à noter qu'il n'existe pas de critère de classement unique permettant de déterminer la catégorie d'un déchet : en complément de l'activité globale d'un déchet, il est nécessaire d'étudier la radioactivité de chacun des radionucléides présents dans le déchet.

En outre, cette classification, reposant uniquement sur le niveau

d'activité et la période des radionucléides contenus dans les déchets, n'est pas suffisante pour déterminer précisément le mode de gestion approprié à un type particulier de déchet.

Les caractéristiques physiques et chimiques des déchets, ainsi que leur origine, doivent en effet également être prises en compte.

De plus, en fonction de la connaissance des déchets qui s'améliore lors de leur reprise ou du démantèlement des installations ainsi que de l'avancée des études menées sur l'optimisation des modes de traitement et de conditionnement, les options de gestion des déchets peuvent évoluer.



1.3 Les cas particuliers

Certains déchets font l'objet de modes de gestion spécifiques, en raison de leurs caractéristiques.

1.3.1 Les déchets à radioactivité naturelle renforcée

Les déchets à radioactivité naturelle renforcée (RNR) sont les déchets **générés par la transformation de matières premières contenant naturellement des radionucléides** et qui ne sont pas utilisés pour leurs propriétés radioactives.

Ces déchets ne sont pas le produit d'activités nucléaires. Il s'agit notamment de déchets issus d'industries chimiques ou métallurgiques (engrais phosphatés, terres rares, sables de zircon...).

La circulaire du 25 juillet 2006 [IV] offre notamment, pour ces déchets particuliers et dans un cadre strict, la possibilité d'une gestion spécifique par acceptation dans un centre de stockage de déchets conventionnels.

Il peut s'agir par exemple de stocker des produits de démolition d'anciennes usines, d'équipements ou de résidus de procédés.

Leurs filières de gestion et leur inventaire sont présentés dans le *dossier 3*.

1.3.2 Les déchets sans filière

Pour certains déchets, il est parfois impossible de leur associer une catégorie, soit pour des raisons de non-acceptabilité dans les exutoires existants au regard de certaines de leurs caractéristiques, notamment chimiques, soit parce que les procédés de traitement ou de conditionnement ne sont pas disponibles ou particulièrement complexes à développer au regard de volumes parfois faibles.

On peut citer les huiles et les liquides organiques, les déchets amiantés ou encore les déchets contenant du mercure.

Conformément aux prescriptions du PNGMDR, un groupe de travail a été constitué jusqu'au 31 décembre 2012, pour définir des modalités de gestion adaptées aux particularités physico-chimiques de ces déchets actuellement sans filière.

En fonction du résultat des études de ce groupe de travail, ces déchets pourront rejoindre l'une des filières définies précédemment ou devront faire l'objet d'un traitement approprié.

1.3.3 Les déchets ayant fait l'objet d'un mode de gestion historique

Les modalités de gestion des déchets radioactifs ont évolué au cours du temps.

Les déchets miniers recensés dans l'*Inventaire national* ont été le plus souvent **stockés définitivement sur ou à proximité des anciens sites miniers** (voir chapitre 4).

D'autres types de déchets ont fait l'objet d'une gestion à proximité des sites de production et ont été utilisés comme remblai (voir chapitre 4). Enfin, **l'immersion de déchets a été pratiquée par différents pays d'Europe**. Ces déchets immergés sont présentés dans le *dossier 1*.

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

1.4 Les principes généraux de la gestion des déchets radioactifs

1.4.1 La politique de gestion

Les principes de gestion des déchets radioactifs s'inscrivent 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 de l'AIEA [V], qui définit des principes de gestion. Ces principes de gestion se déclinent maintenant au niveau européen et national.

Au niveau européen

Le Conseil de l'Union européenne a adopté une directive le 19 juillet 2011 [VI] établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs depuis leur production jusqu'à leur stockage.

Elle complète ainsi les instruments législatifs d'Euratom qui ne traitaient pas encore de ce sujet. Cette directive couvre toutes les étapes, de la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs résultant d'activités civiles.

Chaque État membre est responsable en dernier ressort de la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs produits sur son territoire.

La directive prévoit que chaque État membre établit et maintienne un cadre national prévoyant l'élaboration de programmes nationaux pour la gestion du combustible

usé et des déchets, l'octroi d'autorisations, la réalisation d'inventaires, des mesures de contrôle et des inspections, des mesures d'exécution telles que la suspension de l'exploitation, la répartition des responsabilités, l'information et la participation du public et le financement. En outre, la directive prévoit que chaque État membre institue et maintienne en place une autorité de réglementation compétente pour la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs, certaines conditions étant fixées pour garantir son indépendance.

Au niveau national

La France a défini et mis en œuvre une politique publique volontariste en matière de déchets radioactifs, dans un cadre législatif établi en 1991 (loi du 30 décembre 1991 [VII]) et consolidé en 2006 (loi du 28 juin 2006 [I]). La solution du stockage des déchets radioactifs ultimes a été privilégiée et est déclinée dans la loi.

Le stockage intervient après traitement des combustibles usés ou conditionnement des déchets, et entreposage le cas échéant. Conduite par la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) au sein du ministère en charge de l'Énergie, cette politique comporte trois piliers :

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

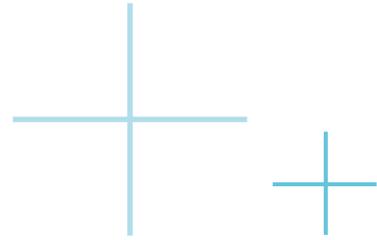
[V] Joint convention on the safety of spent fuel management and the safety of radioactive waste management, disponible sur : www-ns.iaea.org/conventions/waste-jointconvention.asp

[VI] Nouvelle directive européenne 2011/70/Euratom Conseil du 19 juillet 2011 relative à la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs.

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

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

[VIII] PNGMDR (Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs), disponible sur le site www.developpement-durable.gouv.fr/Le-plan-national-de-gestion.html



La loi française

L'article L. 541-1 du Code de l'environnement pose comme principes la prévention ou la réduction de la production de déchets, la responsabilité des producteurs jusqu'à l'évacuation de leurs déchets, la traçabilité et la nécessité d'informer le public.

Pour les déchets radioactifs, le Code de l'environnement modifié par la loi du 28 juin 2006 indique que « **la gestion durable des matières et des déchets radioactifs de toute nature, résultant notamment de l'exploitation ou du démantèlement d'installations utilisant des sources ou des matières radioactives, est assurée dans le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement** » (article L. 542-1).

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

- des dispositions concernant le traitement et le 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 ; puis, pour les déchets produits, des opérations de tri, de traitement, de conditionnement et de caractérisation de leur contenu radiologique : elles sont définies et mises en œuvre par les producteurs de déchets. Des études de recherche et développement sont souvent nécessaires et sont menées par différents organismes, en particulier par 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 en général des exploitants et producteurs de déchets, soit de stockage (solution définitive) dont la responsabilité incombe à l'Andra (voir dossier 4) ;

- des opérations de transport et de mise en entreposage ou en stockage, incluant les aspects de suivi et de surveillance, y compris sur le long terme pour les stockages ;
- des dispositions destinées à informer le public.

1.4.2 Les acteurs de la gestion des déchets radioactifs

Le cadre institutionnel

- Le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) se fonde sur les données de l'*Inventaire national* pour dresser le bilan des modes de gestion existants, recenser les besoins prévisibles d'entreposage et de stockage et déterminer les objectifs à atteindre pour les déchets qui ne font pas encore l'objet d'un mode de gestion définitif.
- La Direction générale de la prévention des risques (DGPR), au sein du ministère en charge de l'Environnement, intervient pour sa part sur les questions de sites pollués par la radioactivité (voir chapitre 4) et dans la définition de la réglementation applicable aux ICPE (Installations classées pour la protection de l'environnement) incluant les centres de stockage de déchets conventionnels.
- Sur les questions scientifiques de manière générale, et notamment celles relatives aux programmes nucléaires, le Parlement s'est doté d'un organisme d'évaluation propre : l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST). Cet organisme auditionne les acteurs de la gestion des déchets radioactifs et publie des rapports d'évaluation et des recommandations, consultables sur www.senat.fr/opecest.
- Le Parlement s'appuie sur la Commission nationale d'évaluation (CNE) qui est chargée d'évaluer annuellement l'état d'avancement et la qualité des recherches sur la gestion des matières et des déchets radioactifs. Cette commission a été créée par la loi du 30 décembre 1991, et confirmée par la loi du 28 juin 2006. La Commission publie annuellement un rapport qui est transmis au Parlement [IX]. Ce rapport est rendu public sur www.cne2.fr.

[IX] Rapports de la Commission nationale d'évaluation, disponibles notamment sur www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics

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

Elle assure, au nom de l'État, le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection. Elle contrôle les producteurs de déchets et l'Andra, dans leurs activités nucléaires ou qui nécessitent des mesures de radioprotection.

Elle instruit également les procédures d'autorisation des installations nucléaires de base (INB), des installations de traitement et de conditionnement et des centres de stockage de déchets radioactifs.

Elle autorise à titre individuel la détention de certaines sources radioactives ou équipements utilisant des rayonnements ionisants.

Les producteurs de déchets

Conformément à l'article L. 542-1 du chapitre II du titre IV du livre V du Code de l'environnement modifié par la loi du 28 juin 2006, **les producteurs de déchets radioactifs sont responsables de la bonne gestion de leurs déchets avant leur évacuation vers un exutoire définitif**. En particulier, ils doivent trier et définir les modes de traitement et de conditionnement des déchets, en fonction des technologies disponibles, dans l'objectif de réduire la quantité et la nocivité des déchets radioactifs.

Ils opèrent le conditionnement des déchets, sous des procédures strictes d'assurance qualité requises par la réglementation [XI]. Ils assurent l'entreposage des déchets qui n'ont pas d'exutoire définitif à ce jour.

Ils sont en outre responsables du transport des déchets conditionnés jusqu'aux centres de stockage de l'Andra.

Pour certains producteurs ne disposant pas des moyens adéquats, du fait du faible volume de déchets qu'ils produisent, tels que les laboratoires de recherche hors CEA ou les hôpitaux, l'Andra assure le plus souvent la collecte, le traitement, le conditionnement et l'entreposage provisoire des déchets.

Le rôle de l'Andra

L'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) est chargée de la gestion à long terme des déchets radioactifs français. [I]

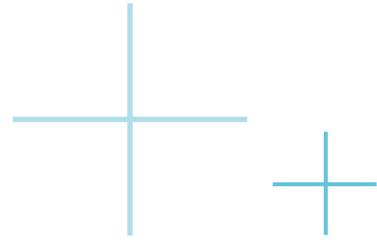
C'est un établissement public à caractère industriel et commercial créé par la loi du 30 décembre 1991. Ses missions ont été complétées par la loi du 28 juin 2006.

1.4

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

[XI] Arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base (abroge l'arrêté du 10 août 1984 relatif à la qualité de la conception, de la construction et de l'exploitation des installations nucléaires de base).

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



Indépendante des producteurs de déchets radioactifs, l'Andra est placée sous la tutelle des ministères en charge de l'Énergie, de l'Environnement et de la Recherche.

L'Andra est un appui privilégié de l'État pour la mise en œuvre de la politique de gestion des déchets radioactifs. L'État fixe les objectifs de l'Andra au travers d'un contrat quadriennal. Sa dernière version couvre la période 2009-2012. Il est disponible notamment sur le site internet de l'Andra : www.andra.fr [XII].

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

Sa mission est déclinée en plusieurs activités

1/ Exploiter les deux centres de stockage existants, dans l'Aube (10), dédiés aux déchets faiblement et moyennement radioactifs à vie courte (FMA-VC) et très faiblement radioactifs (TFA) ; **surveiller le Centre de stockage de la Manche** (50), premier centre français de stockage en surface de déchets faiblement et moyennement radioactifs, aujourd'hui fermé ;

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

- le stockage des déchets de faible activité à vie longue, comprenant essentiellement les déchets radifères et de graphite (projet FA-VL) ;
- le stockage profond réversible des déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL) : projet Cigéo (Centre industriel de stockage géologique).

3/ Prendre en charge les déchets radioactifs non électronucléaires (issus des hôpitaux, laboratoires de recherche, universités...) et les objets radioactifs détenus par les particuliers (anciens objets d'horlogerie luminescents, objets au radium à usage médical, sels naturels de laboratoire, minéraux...).

À la demande du propriétaire foncier ou des pouvoirs publics, l'Andra assure aussi la **réhabilitation d'anciens sites pollués** par la radioactivité (voir chapitre 4).

L'Andra s'appuie sur la Commission nationale des aides dans le domaine radioactif (CNAR) qui émet un avis sur l'utilisation de la subvention accordée par l'État pour les missions d'intérêt général confiées à l'Andra : traitement des sites pollués, prise en charge des déchets.

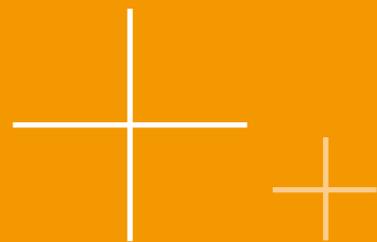
4/ Informer tous les publics, notamment en publiant tous les trois ans l'*Inventaire national des matières et déchets radioactifs*.

5/ Contribuer à la diffusion de la culture scientifique et technique au travers de documents, d'expositions, de visites de ses installations...

6/ Diffuser son savoir-faire en France comme à l'étranger.

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





Les résultats généraux

Les résultats généraux

Ce chapitre présente les bilans globaux des déclarations faites par les producteurs ou les détenteurs de matières et déchets radioactifs durant le premier semestre de l'année 2011. Conformément au décret 2008-875 (voir chapitre 1), ces déclarations portent sur :

- les stocks de matières et de déchets au 31 décembre 2010 ;
- les prévisions de matières et de déchets pour 2020 et 2030.

Contrairement aux stocks qui doivent être déclarés par tous les producteurs-détenteurs de déchets ou de matières, les prévisions ne sont requises que pour les exploitants d'INB¹, d'installations intéressant la Défense ou d'ICPE nucléaires² (rubriques 1715 ou 1735 de la nomenclature des ICPE).

Au total, plus de 1 200 sites géographiques au sens de l'*Inventaire national* (voir annexe 1) sur lesquels se trouvent des déchets radioactifs à fin 2010 sont répertoriés dans l'édition 2012.

Si la majorité des déchets radioactifs provient de l'industrie électronucléaire et des activités du CEA, de nombreux autres secteurs sont également à l'origine de déchets radioactifs, comme les industries non électronucléaires, la Défense, la recherche en dehors du nucléaire ou le secteur médical. Ces « petits producteurs » ne représentent, malgré leur multiplicité, qu'une fraction réduite du volume de déchets présents en France.

Le détail des sites recensés se trouve dans l'*Inventaire géographique*, disponible séparément.

Ce chapitre offre, dans une première partie, une vision globale quantitative des déchets existants à fin 2010 et des déchets qui seront produits aux échéances de 2020 et 2030.

Les prévisions sont fondées sur une hypothèse de poursuite de la production électronucléaire et de la politique française de

gestion du combustible utilisé au moins jusqu'à cette dernière échéance. Seuls les déchets issus des installations (du fait de leur exploitation et de leur démantèlement) ayant obtenu leur décret d'autorisation de création au 31 décembre 2010 sont évalués.

Dans la seconde partie de ce chapitre, le recensement des matières radioactives aux échéances de 2020 et 2030 est également présenté.

Enfin, une vision prospective des déchets et des matières qui seraient produits par l'ensemble des installations autorisées à fin 2010 jusqu'à leur fin de vie est donnée en fin de chapitre. Ces évaluations sont présentées selon deux scénarios énergétiques volontairement contrastés.

Le périmètre des déchets pris en compte dans les bilans présentés

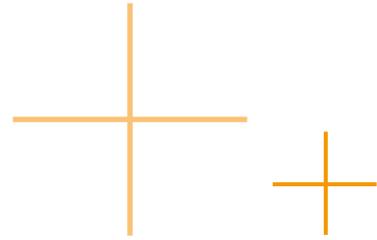
Les déchets pris en compte pour les bilans du présent chapitre sont ceux destinés à être pris en charge par l'Andra dans des centres de stockage dédiés à leur gestion. Les autres déchets, ayant fait l'objet de modes de gestion « historiques », sont présentés et leurs quantités évaluées séparément dans un chapitre spécifique :

- **les résidus de traitement de minerais d'uranium** qui sont stockés sur certains anciens sites miniers. L'*Inventaire national* recense 20 sites sur lesquels sont entreposés sur place et de façon définitive ces résidus (voir chapitre 4) ;
- **les déchets en « stockage *in situ* »** qui ont été stockés par le passé à proximité d'installations nucléaires ou d'usines. Ce sont le plus souvent des buttes, des remblais ou des lagunes (voir chapitre 4) ;
- **les déchets immergés** (voir dossier 1).

2.

¹ INB : Installation nucléaire de base.

² ICPE : Installation classée pour la protection de l'environnement.



Par ailleurs, ne sont pas quantifiés :

- les substances radioactives se trouvant sur des sites ayant accueilli des activités manipulant la radioactivité. Ces sites pollués sont présentés dans le *chapitre 4* ;
- les déchets à vie très courte (VTC) qui sont gérés en décroissance sur place avant évacuation dans des filières classiques. Ils ne sont donc pas envoyés dans un stockage dédié aux déchets radioactifs.

Enfin, les déchets produits par l'usine COMURHEX de Malvési (11) sont affichés séparément : en effet, AREVA a transmis fin 2011, au titre du PNGMDR, une étude sur la gestion à long terme de ces déchets. Cette étude est en cours d'instruction. Dans l'attente d'une décision sur le mode de gestion à long terme de ces déchets, cette famille est présentée séparément dans les bilans chiffrés des stocks de déchets existants au 31 décembre 2010 et dans les prévisions. Ces déchets sont notamment entreposés dans des bassins de décantation et d'évaporation, et ne sont donc pas conditionnés.

Ces exclusions concernent l'ensemble des bilans présentés dans les chapitres 2 et 3. Elles ne seront plus mentionnées par la suite.

2.1 Les déchets radioactifs à fin 2010

Les volumes de déchets recensés correspondent aux volumes de déchets conditionnés de manière à pouvoir être entreposés et transportés vers un centre de stockage, constituant ce qu'on appelle des colis primaires.

Les unités de volume utilisées

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

Pour les déchets dont le conditionnement n'est pas connu à ce jour, des hypothèses sont faites pour évaluer le volume équivalent conditionné.

Pour le stockage profond, un conditionnement complémentaire appelé colis de stockage sera nécessaire afin d'assurer des fonctions de manutention, de sûreté ou de réversibilité. À ce stade des études, le volume des colis de stockage rapporté au volume des colis primaires représente de l'ordre d'un facteur deux ou trois pour les déchets HA et de l'ordre d'un facteur quatre pour les déchets MA-VL. **Seul le volume primaire est indiqué dans le présent document.**

Dans ce chapitre les déchets radioactifs produits ou futurs sont présentés suivant leur origine.

Cinq secteurs économiques sont ainsi définis comme suit :

- **le secteur électronucléaire** qui comprend principalement les centrales nucléaires de production d'électricité, ainsi que les usines dédiées à la fabrication et au retraitement du combustible nucléaire (extraction et traitement du minerai d'uranium, conversion chimique des concentrés d'uranium, enrichissement et fabrication du combustible, traitement du combustible usé et recyclage) (*voir encadré page 26*) ;
- **le secteur de la Défense**
Il s'agit principalement des activités liées à la force de dissuasion, dont la propulsion nucléaire de certains navires ou sous-marins, ainsi que les activités de recherche associées ;
- **le secteur de la recherche** qui comprend la recherche dans le domaine du nucléaire civil, les laboratoires de recherche médicale, de physique des particules, d'agronomie, de chimie... ;
- **le secteur de l'industrie (non électronucléaire)** qui comprend notamment l'extraction de terres rares, la fabrication de sources scellées mais aussi diverses applications comme le contrôle de soudure, la stérilisation de matériel médical, la stérilisation et la conservation de produits alimentaires... ;
- **le secteur médical** qui comprend les activités thérapeutiques, de diagnostic et de recherche.

Le cycle du combustible nucléaire [1]

Pour pouvoir être utilisées dans un réacteur nucléaire, les matières radioactives doivent entrer dans un cycle du combustible comprenant plusieurs étapes, avant et après l'irradiation en réacteur.

Cycle du combustible actuel

Avant l'irradiation

Le minerai d'uranium, extrait dans des mines, doit d'abord être concentré puis converti chimiquement. Il doit ensuite être enrichi pour augmenter la proportion d'uranium 235, trop faible dans l'uranium naturel. En parallèle, ce processus produit également un flux d'uranium appauvri en uranium 235, qui est entreposé dans l'attente d'une utilisation ultérieure. La fabrication du combustible proprement dit peut alors avoir lieu à partir de l'uranium enrichi.

L'irradiation

Afin de produire de l'électricité, le combustible est ensuite irradié pendant trois à quatre ans environ dans le réacteur.

Après l'irradiation

À l'issue de cette étape, 96 % du combustible a encore un potentiel énergétique important (uranium et plutonium).

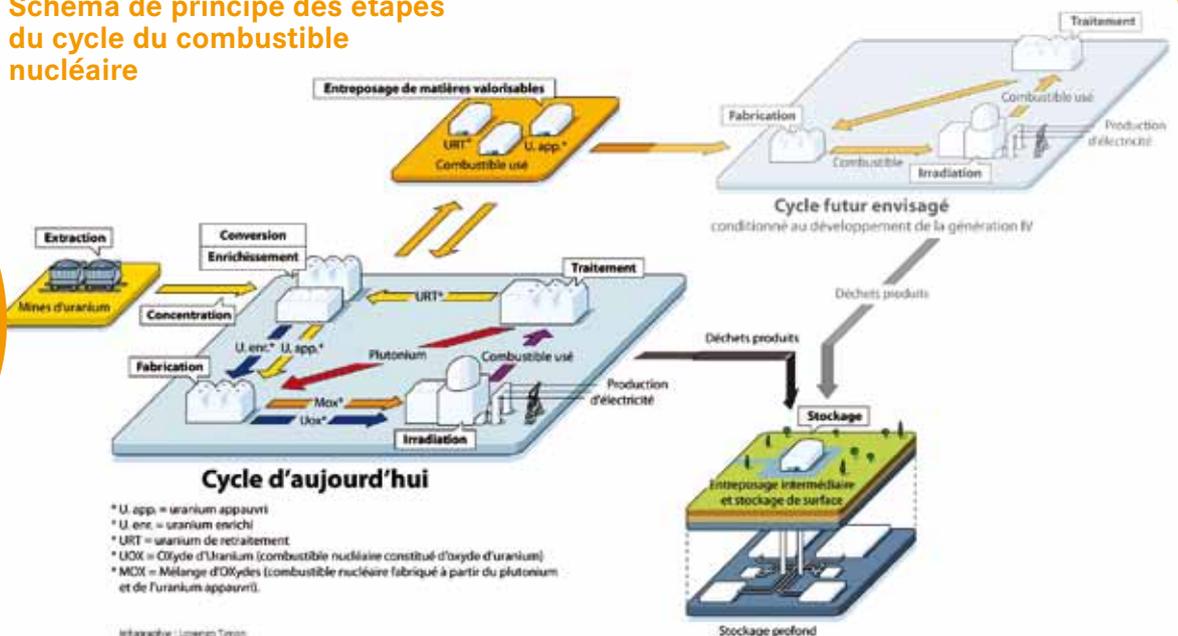
Ainsi, 4 % du combustible ne peut plus être valorisé et constitue donc un déchet.

L'opération de traitement des combustibles usés permet d'en extraire les matières valorisables afin de les recycler. Le plutonium est recyclé sous forme de combustible dit MOX en intégrant aussi de l'uranium appauvri, qui peut ensuite être irradié dans certains réacteurs français. L'uranium issu du traitement peut être réenrichi pour être irradié une nouvelle fois dans certains réacteurs français. L'opération de traitement permet également de conditionner les déchets issus des combustibles usés. Ces déchets, qui contiennent l'essentiel de la radioactivité de ces combustibles usés, sont destinés à un stockage définitif (stockage réversible profond actuellement à l'étude : voir dossier 4).

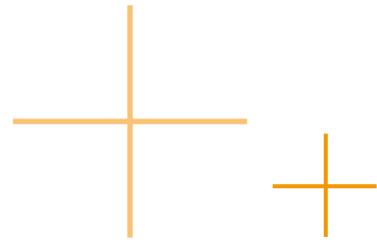
Cycle du combustible futur

Un autre cycle du combustible, sur lequel des recherches sont actuellement menées, permettrait à l'avenir d'utiliser les quantités d'uranium appauvri, d'uranium de traitement et de combustible usé actuellement entreposés dans l'attente d'une valorisation. Ce cycle comprendrait en particulier des réacteurs dits de 4^{ème} génération. Ce cycle produirait également des déchets radioactifs.

Schéma de principe des étapes du cycle du combustible nucléaire



2.1



Le volume de déchets radioactifs (hors déchets provenant de l'usine COMURHEX de Malvési dans l'Aude) recensés depuis le début de leur production jusqu'au 31 décembre 2010 est de **1 320 000 m³ environ** (volume équivalent conditionné) soit 170 000 m³ environ de plus qu'à fin 2007.

72% de ces déchets sont déjà définitivement stockés dans les centres de l'Andra : les déchets TFA sur le Centre de stockage TFA (10) et les déchets FMA-VC sur le Centre de stockage de la Manche (50) et sur le Centre de stockage FMA (10). Les autres sont entreposés sur les sites des producteurs dans des installations dédiées à cet effet. Il s'agit :

- pour les déchets à destination des centres existants :
 - d'entreposage sous forme de colis, à caractère logistique, permettant de gérer les flux vers les installations de l'Andra,
 - d'entreposage de déchets, notamment anciens, en attente de conditionnement, avant évacuation ;
- pour les déchets à destination de centres en projet :
 - d'entreposage en attente de la disponibilité des filières de stockage ;
 - pour les déchets de haute activité, ceux-ci doivent par ailleurs être entreposés plusieurs dizaines d'années en entreposage de décroissance pour refroidir, avant de pouvoir être pris en charge en stockage profond.

La nature, la quantité de déchets entreposés et les lieux d'entreposage sont décrits dans l'Inventaire géographique.

2.1.1 Répartition de déchets par catégorie à fin 2010

Les stocks à fin 2010

Les volumes de déchets radioactifs présents à fin 2010 sur le territoire français, hors déchets

étrangers (voir encadré page 28), sont présentés dans le tableau et le graphique ci-dessous.

Dans le tableau, ces volumes sont comparés à ceux présents à fin 2007 (édition 2009 de l'*Inventaire national*).

Catégorie	Volume* (m ³ équivalent conditionné) à fin 2010	Écart 2010/2007 (m ³ équivalent conditionné)
HA	2 700	400
MA-VL	40 000	-2 000
FA-VL	87 000	4 500
FMA-VC	830 000	37 000
TFA	360 000	130 000
DSF**	3 600	2 100
Total général	~ 1 320 000	~ 170 000

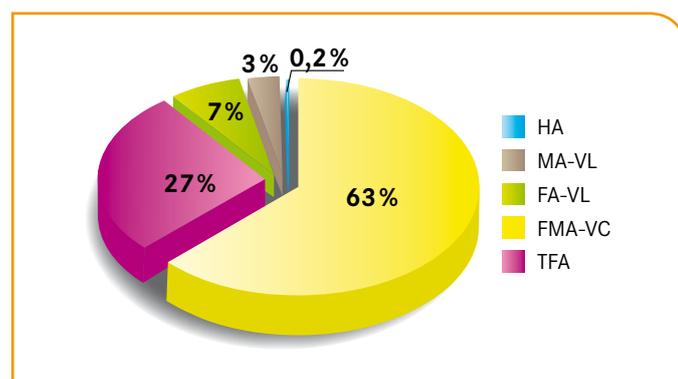
* Les chiffres sont arrondis à la centaine de m³ pour les déchets HA et DSF, et à la centaine ou au millier pour les autres déchets.

** Les déchets sans filière représentent un peu moins de 0,3% du volume total de déchets et ne sont pas repris dans le graphique ci-dessous.

Concernant les déchets de l'usine COMURHEX de Malvési (11), dont le mode de gestion à long terme est en cours de définition (voir page 25), le bilan est le suivant :

Catégorie	Volume (m ³) à fin 2010	Écart 2010/2007 (m ³)
RTCU	600 000	600 000

Répartition en volume par catégorie de déchets



Les volumes présentés dans le *tableau page 27* sont fondés sur un certain nombre d'hypothèses, détaillées dans le Catalogue descriptif des familles de déchets. Les principales sont les suivantes :

- pour les déchets non conditionnés, les hypothèses de conditionnement retenues pour les bilans sont celles du producteur, y compris si ces hypothèses sont encore en cours d'étude et/ou si elles nécessitent encore d'être validées par l'Autorité de sûreté nucléaire ou acceptées par l'Andra en vue du stockage ;
- les déchets des opérations de démantèlement sont comptabilisés si l'opération de démantèlement a effectivement eu lieu à la date du 31 décembre 2010.

Pour cette raison, les déchets de graphite FA-VL qui sont encore dans les réacteurs UNGG (empilements, réflecteurs en place, aires de support), ne sont pas comptabilisés dans les stocks à fin 2010 mais sont pris en compte dans les prévisions de volumes de déchets, en fonction de leur date de démantèlement effectif (*voir page 40*) ;

• quand l'étude de la filière de gestion d'une famille particulière de déchets est encore en cours, cette famille est classée selon l'hypothèse retenue par le producteur. L'Andra vérifie le classement proposé. Ce choix de catégorie ne préjuge pas de l'acceptation des déchets en centre de stockage ;

• les déchets présents sur le site de l'usine AREVA NC de La Hague (50) sont destinés pour une part à un retour vers les clients étrangers. À cet égard, les déchets étrangers visés à l'article L. 542-2-1 du Code de l'environnement ne sont pas pris en compte dans les bilans ;

• les sources usagées hors paratonnerres (sources scellées, détecteurs de fumée, crayons sources, grappes sources...) font l'objet d'une famille particulière qui n'est pas rattachée aux filières de gestion de la classification des déchets, à l'exception de colis anciens entreposés à Cadarache (13) (colis MA-VL « blocs sources »). Dans cet *Inventaire national*, aucun volume équivalent conditionné n'est affecté à ces sources, en raison de la variabilité des hypothèses de gestion et de conditionnement possibles à ce stade. Les paratonnerres sont affectés à deux familles de déchets de type FA-VL. Le *dossier 2* présente l'inventaire de ces sources et paratonnerres.

Déchets étrangers

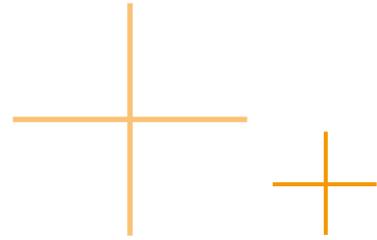
La France a adopté le principe de l'interdiction du stockage en France de déchets radioactifs provenant de l'étranger. Ce principe a été introduit dans la loi dès 1991, compte tenu des activités industrielles de traitement de combustibles nucléaires usés ou de déchets radioactifs, et a été réaffirmé et précisé par la loi du 28 juin 2006.

L'industrie nucléaire française a développé une technologie unique de traitement des combustibles usés, en vue d'en retirer les matières valorisables (uranium et plutonium) pour d'autres utilisations électronucléaires et d'en séparer les déchets ultimes en vue de leur stockage.

Cette technologie, appliquée au cycle nucléaire français, a été ouverte par le CEA (maintenant AREVA) dès les années 1970 (par contrat) à des électriciens étrangers, européens et japonais. À partir de 1977, le CEA (maintenant AREVA) a inclus dans tous ses contrats une clause permettant de renvoyer à ces clients étrangers pour stockage les déchets ultimes issus du traitement de leurs combustibles.

Depuis la promulgation de la loi de 2006, pour permettre le contrôle de l'application de telles dispositions, les exploitants concernés doivent établir, chaque année, un rapport faisant l'état des stocks et des flux de substances radioactives étrangères, ce rapport devant inclure un volet prospectif. Ces rapports sont rendus publics et sont présentés en *annexe 2*.

2.1



Les évolutions depuis l'édition 2009

Les écarts constatés entre les déchets produits à fin 2007 et ceux produits à fin 2010 sont principalement dus à la production courante de déchets.

Ces écarts s'expliquent également par :

- une optimisation du volume du conditionnement envisagé pour certains déchets conduisant à une réduction du volume de déchets MA-VL ;
- des compléments de caractérisation des bitumes de Marcoule (30) qui permettent de réorienter des déchets de la filière MA-VL à la filière FA-VL, ce qui conduit donc à une augmentation des déchets FA-VL ;
- l'augmentation significative du volume des déchets TFA du fait d'objectifs d'assainissement renforcés pour le génie civil des installations démantelées.

Les déchets présents sur le territoire français à fin 2010 sont brièvement décrits dans les encadrés pages 31 et 32. Une synthèse des principales évolutions par rapport à 2007 et pour chaque filière de gestion est présentée ci-dessous.

Pour les déchets HA (haute activité)

L'évolution du stock de déchets HA à fin 2010 correspond à la production courante de déchets vitrifiés à partir de solution de produits de fission, issue du traitement des combustibles usés à l'usine AREVA NC de La Hague (50). Concernant les combustibles usés qui ne seront pas traités mais conditionnés pour un stockage direct dans Cigéo, seuls les combustibles usés du réacteur prototype à eau lourde de Brennilis (29) sont considérés comme des déchets. D'autres combustibles usés (combustibles des réacteurs de recherche du CEA, certains combustibles de réacteurs UNGG n'ayant pas fait l'objet de traitement...) étaient

considérés comme des déchets dans l'édition 2009. De nouvelles hypothèses sur la gestion de ces combustibles irradiés ont conduit le CEA à les considérer comme des matières valorisables dans la présente édition (voir page 48).

Pour les déchets MA-VL (moyenne activité à vie longue)

Malgré trois années supplémentaires de production courante de déchets MA-VL, le volume du stock à fin 2010 a diminué d'environ 5% par rapport aux stocks à fin 2007 présentés dans l'édition 2009.

Cette diminution est en grande partie due :

- à l'optimisation du conditionnement des boues provenant du fonctionnement de l'usine UP2-400 de La Hague (50) avant 1991 et entreposées dans sept silos de l'ancienne Station de traitement des effluents (STE2). Le procédé alternatif au bitumage, initialement retenu, pour conditionner ces boues conduit à une diminution de volume de 1 500 m³ environ ;
- par ailleurs, certains déchets catégorisés MA-VL dans l'édition 2009 ont été transférés en catégorie FA-VL ou FMA-VC grâce à des caractérisations complémentaires. On peut citer pour exemple une partie des déchets pulvérulents entreposés dans des silos de l'usine de La Hague (50) dont le volume diminue de 350 m³ environ ;
- d'autres évolutions dans les hypothèses de conditionnement retenues par les producteurs de déchets sont observées, et peuvent conduire à des diminutions comme à des augmentations de volume. L'optimisation du conditionnement de déchets solides d'exploitation du CEA en colis de 870 litres a, par exemple, conduit à une baisse du volume total de cette famille de déchets (de l'ordre de 500 m³).

Pour les déchets FA-VL (faible activité à vie longue)

Le volume des déchets FA-VL a augmenté de 4 500 m³ environ depuis la dernière édition de l'*Inventaire national*.

Les raisons suivantes expliquent principalement cette forte augmentation :

- les nouvelles hypothèses prises par le CEA pour le conditionnement des fûts d'enrobés bitumineux de Marcoule (30) de catégorie FA-VL conduisent à une augmentation du volume total d'environ 6 000 m³ ;
- le conditionnement des chemises de graphite entreposées à Marcoule (30) dans des fosses a été optimisé et conduit à une diminution de volume de l'ordre de 3 000 m³ ;

- le procédé initialement étudié pour la reprise des silos de l'usine de La Hague (50) contenant des chemises de graphite ainsi que des déchets de structure de combustibles UNGG prévoyait un tri des déchets provenant des silos. Aujourd'hui, ce procédé a été abandonné du fait de sa complexité : les déchets des silos seront concassés et conditionnés en fût, bloqués par une matrice cimentaire. Ce nouveau procédé aboutit à une augmentation de 500 m³ ;
- de même, la modification de conditionnement de déchets des fonds de silos ou des décanteurs de l'usine de La Hague (50) et le déclassement de certains déchets vers le stockage FA-VL conduisent à une augmentation du volume de l'ordre de 1 000 m³.

Pour les déchets FMA-VC (faible et moyenne activité à vie courte)

L'augmentation du volume de déchets FMA-VC à fin 2010 s'explique en grande partie par trois années supplémentaires d'exploitation du parc de réacteurs. D'autres évolutions comme le transfert de déchets d'autres catégories ont conduit, dans une moindre mesure, à une augmentation du volume des stocks de cette catégorie.

Pour les déchets TFA (très faible activité)

En comparaison avec les chiffres de fin 2007, on constate une augmentation du volume de déchets TFA d'environ 130 000 m³ à fin 2010 ; cette augmentation est supérieure à celle attendue (environ 75 000 m³) correspondant à la prévision d'exploitation du centre de stockage TFA.

Une des raisons de cette forte augmentation est la mise en application, sur les opérations de démantèlement et d'assainissement, du nouveau guide de l'ASN concernant les méthodologies d'assainissement complet acceptables dans les INB en France [1].

Les exigences renforcées sur les objectifs d'assainissement ont abouti à classer en catégorie TFA des déchets d'assainissement du génie civil d'installations à démanteler, qui étaient auparavant éliminés sur des installations de stockage de déchets (ISD).

Pour les déchets DSF (déchets sans filière)

Un déchet sans filière est défini par convention comme un déchet qui n'entre pour le moment dans aucune des filières existantes ou en projet, en raison notamment de ses caractéristiques physiques ou chimiques particulières. Par ailleurs, ces déchets ont été qualifiés de « sans filière » dans l'état des connaissances du moment. Ces connaissances étant par nature évolutives et l'appréciation de la dangerosité se faisant notamment sur la base du retour d'expérience, les conditions d'acceptation peuvent changer au cours du temps. De ce fait, certains déchets actuellement considérés comme sans filière pourraient venir alimenter les différentes catégories de gestion des déchets.

Les travaux réalisés dans le cadre du PNGMDR 2010-2012 par le groupe de travail « déchets sans filière » ont permis de préciser l'inventaire de ce type de déchet. Leur volume à fin 2010 s'élève à 3 600 m³ :

- déchets d'amiante : 1 700 m³ ;
- déchets mercuriels : 300 m³ ;
- mercure métallique : 6,2 tonnes ;
- huiles et liquides organiques non incinérables : moins de 600 m³ ;
- divers (pour lesquels des propositions de gestion sont en cours d'instruction) : environ 1 000 m³.

La poursuite de la caractérisation de ces déchets, notamment, permettra de définir leurs filières.

Pour les déchets produits par l'usine de COMURHEX Malvésès de l'Aude (famille RTCU)

AREVA a transmis fin 2011, au titre du PNGMDR, une étude sur la gestion à long terme de ces déchets. Cette étude est en cours d'instruction. Dans l'attente d'une décision sur le mode de gestion à long terme de ces déchets, cette famille est présentée séparément.

Elle comprend :

- des solutions nitratées (~ 321 000 m³) ;
- des boues de décantation (~ 280 000 m³).

Auxquels pourraient s'ajouter 200 000 m³ à 300 000 m³ de stériles miniers et boues contaminées au-delà de un becquerel par gramme.

Dans la dernière édition de *l'Inventaire national*, ces déchets étaient inclus dans la famille des résidus de traitement d'uranium des anciens sites miniers et à ce titre n'apparaissaient pas dans les bilans.

[1] Note ASN SD3-DEM-02 du 27 mars 2006 puis projet de guide ASN N°14 du 21 juin 2010.

Déchets HA

Les déchets de haute activité correspondent essentiellement aux déchets vitrifiés issus du traitement des combustibles usés. Il s'agit de produits de fission et d'actinides mineurs formés par réaction nucléaire au sein du combustible et séparés de l'uranium et du plutonium, matières radioactives valorisables, lors du traitement. Ils sont calcinés et incorporés dans une matrice de verre. Le verre ainsi élaboré est coulé à haute température dans un conteneur en acier inoxydable.

La vitrification a été développée dans plusieurs installations pilotes exploitées par le CEA, dont l'installation pilote PIVER aujourd'hui arrêtée, puis mise en œuvre industriellement dans les trois ateliers suivants : atelier de vitrification de Marcoule (AVM) (30), démarré en 1978, ateliers de vitrification R7 et T7 de l'usine AREVA NC de La Hague (50), démarrés respectivement en 1989 et en 1992.

Dans cette catégorie figurent également les **combustibles usés** du réacteur à eau lourde de Brennilis dans le Finistère (27 m³) ne faisant pas l'objet de traitement.

Déchets MA-VL

Les déchets MA-VL correspondent essentiellement aux éléments de structure des combustibles usés traités, aux résidus de traitement des effluents produits lors des étapes du traitement du combustible ou des opérations de maintenance ou de démantèlement d'installations, aux composants (hors combustibles) ayant séjourné en réacteurs (déchets activés), aux déchets induits par les opérations de maintenance courante et/ou issus du démantèlement d'ateliers, de laboratoires... (déchets technologiques).

Pour le conditionnement de ces déchets, cinq procédés ont été/sont/seront principalement mis en œuvre :

- **la vitrification** : procédé mis en place notamment pour le conditionnement des effluents produits lors du rinçage des installations avant leur démantèlement ;
- **le bitumage** : procédé très employé par le passé pour le conditionnement des effluents traités sur les différents sites. Il est remplacé petit à petit par la cimentation ou par la vitrification ;
- **la cimentation** : procédé le plus couramment utilisé pour le conditionnement des résidus issus du traitement des effluents ;
- **l'enrobage de déchets solides** dans une matrice cimentaire : ce procédé a pour objectif de bloquer dans le conteneur des déchets solides comme des déchets technologiques, des déchets activés et des déchets de structure ;
- **le compactage** : procédé surtout utilisé pour le conditionnement des déchets de structure issus des combustibles usés traités sur le site AREVA NC de La Hague (50) et également certains déchets technologiques, des déchets activés et des déchets de structure du CEA.

Déchets FA-VL

Les déchets FA-VL regroupent trois grandes typologies de déchets : les déchets de graphite, les déchets radifères et les autres déchets FA-VL tels que des sources scellées usagées ou des colis d'enrobés bitumineux.

- **Les déchets de graphite** proviennent majoritairement de l'exploitation et du démantèlement des réacteurs français de la filière uranium naturel graphite gaz (UNGG), de certains réacteurs expérimentaux et de production de plutonium. L'exploitation de la filière UNGG a conduit à l'utilisation d'importantes quantités de graphite comme modérateur neutronique. Deux types de déchets ont été générés par ces réacteurs : les déchets d'exploitation (chemises qui entouraient le combustible), actuellement entreposés sur les sites de La Hague (50), Marcoule (30) et Saint-Laurent-des-Eaux (41), pour certains en mélange avec d'autres déchets, et les déchets de démantèlement (les empilements qui constituaient le cœur des réacteurs et protections biologiques). Ces déchets sont décrits dans le Catalogue descriptif des familles.

- **Les déchets radifères** sont issus de l'industrie du radium et de ses dérivés ainsi que du traitement de minerais. En effet, il s'agit principalement de résidus issus du traitement de minerais d'uranium par le CEA et d'autres minerais (la monazite par exemple) par l'industrie chimique. Une part plus faible de ces déchets correspond à des terres et des gravats issus de l'assainissement d'anciens sites de l'industrie du radium. À ce jour, peu de ces déchets radifères sont conditionnés. Des études sont en cours pour leur conditionnement et leur stockage à faible profondeur.

- **Les autres déchets FA-VL** correspondent à des déchets dont le niveau d'activité et les radionucléides présents ne permettent pas non plus leur stockage dans les centres de stockage existants. Il s'agit notamment des sources scellées usagées, des paratonnerres au radium et à l'américium collectés par l'Andra (voir dossier 2) ainsi que certains colis d'enrobés bitumineux du CEA.

Déchets TFA

Les déchets TFA sont principalement issus des opérations de démantèlement et d'assainissement ou des activités de maintenance.

Il s'agit de bétons, gravats, terres, déchets métalliques ou non.

En fonction de leur nature, les déchets sont conditionnés en big-bag ou mis en casier métallique.

Avant d'être stockés, les déchets chimiquement dangereux sont inertés, le plus souvent par cimentation.

Déchets FMA-VC

Ils correspondent à des déchets issus de traitement d'effluents liquides et de déchets de procédé issus de l'exploitation courante et de la maintenance des installations nucléaires. Ils proviennent également du démantèlement d'ateliers.

Cette catégorie regroupe également les déchets provenant des « petits producteurs » qui correspondent aux hôpitaux, labora-

toires, centres de recherche..., des résidus d'incinération et de fusion de déchets, ainsi que des déchets de très grande taille comme les couvercles de cuve de réacteur. Le procédé de conditionnement mis en œuvre est principalement la cimentation dans des conteneurs métalliques ou en béton.

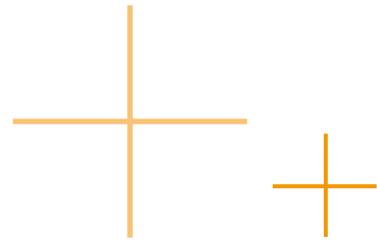
Cependant, certains déchets de procédé ou des résidus issus de traitement d'effluents peuvent être enrobés dans une matrice polymère ou dans une matrice bitumineuse.

Déchets T-FMA-VC

Il s'agit de déchets tritiés de faible et moyenne activité à vie courte (T-FMA-VC). Bien que le tritium soit un radionucléide à vie courte, il se confine difficilement et peut facilement migrer vers l'environnement et le marquer. Les déchets tritiés sont, en grande majorité, des déchets solides ; les déchets

liquides et gazeux, dont les quantités sont très faibles, doivent être traités et stabilisés avant de rejoindre un entreposage. Après une cinquantaine d'années d'entreposage, ces déchets sont orientés, en fonction de leur radioactivité et du taux de dégazage résiduel, vers le Centre de stockage de déchets de très faible activité ou vers le Centre de stockage de déchets de faible et moyenne activité à vie courte que l'Andra exploite dans l'Aube.

2.1



2.1.2 Les déchets entreposés à fin 2010

L'entreposage des matières ou des déchets radioactifs est défini dans la loi du 28 juin 2006 comme « l'opération consistant à placer ces substances à titre temporaire dans une installation spécialement aménagée en surface ou en faible profondeur à cet effet dans l'attente de les récupérer » pour les conditionner si nécessaire et les stocker. L'article 3 du décret du 9 octobre 2008 impose que les producteurs déclarent à l'*Inventaire national* un certain nombre d'informations sur les entreposages de colis de déchets HA et MA-VL destinés au stockage profond, produits ou à produire, des déchets radifères et des déchets tritiés.

Par ailleurs, le PNGMDR 2010-2012 a chargé l'Andra de remettre fin 2012 un rapport faisant le bilan de l'ensemble des études et recherches qui portent sur l'entreposage, afin notamment de s'assurer d'une capacité d'entreposage suffisante dans l'attente de la mise en service des sites de stockage HA, MA-VL et FA-VL. Les exploitants attribuent généralement aux entrepôts existants une durée prévisionnelle d'exploitation d'une cinquantaine d'années.

Par ailleurs, des extensions de ces entreposages sont prévues pour répondre aux besoins évalués par les producteurs. Le *tableau page 34* recense ces entreposages autorisés à fin 2010 avec leur taux d'occupation pour ceux qui sont en exploitation ; le *tableau ci-dessous* présente les prévisions d'extension de certains de ces entreposages.



Hall d'entreposage de l'atelier de vitrification R7 UP2 800 d'AREVA NC à La Hague (50)

Prévisions d'extension d'entreposages

Déclarant	Site	Colis de déchets pour lesquels l'entreposage a été conçu	Date de mise en service extension	Capacité d'accueil totale (nombre de colis)
AREVA NC	EEV/LH (La Hague - 50)	Colis CSD-V, CSD-B	2013 et 2017	8 424
CEA	EIP (Marcoule - 30)**	Colis de boues bitumées	2017	4 235*
CEA	INB 164-CEDRA (Cadarache - 13)	Colis 500I, 870I, coques béton 500I de boues de filtration	2020	7 500*
CEA/DAM	Entreposage de déchets tritiés (Valduc - 21)	Déchets tritiés	2012	15 000

* Capacité donnée en m³.

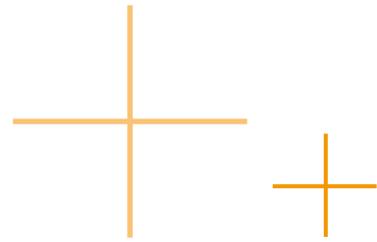
** Le scénario de référence du CEA est le conditionnement à Marcoule (30) des colis de déchets MA-VL en colis de stockage dès 2017, puis entreposage intermédiaire avant expédition vers Cigéo dès son ouverture. Un scénario de précaution prévoit l'ouverture, début 2017, d'une extension de l'entreposage EIP.

Entreposages autorisés à fin 2010

Déclarant	Site	Colis de déchets pour lesquels l'entreposage a été conçu	Date de mise en service	Capacité d'accueil totale (en nombre de colis)	Capacité utilisée (en nombre de colis)	Taux d'occupation
AREVA NC	CEZUS (Jarrie - 38)	Fûts de résidus radifères	2005	3 538*	1 946*	55%
AREVA NC	Bâtiment ES (La Hague - 50)	Colis de boues bitumées	1995	27 000	0	0%
AREVA NC	Bâtiment S (La Hague - 50)	Colis de boues bitumées	1987	20 000	11 278	56%
AREVA NC	ECC (La Hague - 50)	Colis CSD-C	2002	20 800	10 270	49%
AREVA NC	EDS/ADT2 (La Hague - 50)	Colis CBF-C'2	2008	2 759	451	16%
AREVA NC	EDS/EDC-A (La Hague - 50)	Colis de coques et embouts cimentés	1990	1 119	149	13%
AREVA NC	EDS/EDC-B et EDC-C (La Hague - 50)	Colis de coques et embouts cimentés	1990	1 656	1 518	92%
AREVA NC	EDS/EDT (La Hague - 50)	Colis CBF-C'2 et CAC	1990	6 512	4 538	70%
AREVA NC	EEV/SE (La Hague - 50)	Colis CSD-V, CSD-B	1996	4 320	3 733	86%
AREVA NC	R7 (La Hague - 50)	Colis CSD-V, CSD-B	1989	4 500	4 057	90%
AREVA NC	T7 (La Hague - 50)	Colis CSD-V	1992	3 600	3 153	88%
CEA	ICPE 420 et 465-déchets RHODIA (Cadarache - 13)	Fûts de résidus radifères	1992	26 800	25 327	95%
CEA	INB 164-CEDRA (Cadarache - 13) ³	Colis 500I, 870I, coques béton 500I de boues de filtration	2006	7 500*	935*	12%
CEA	INB 56 (Cadarache - 13)	Divers colis	1968	7 500*	6 833*	91%
CEA	AVM (Marcoule - 30)	Colis de déchets vitrifiés AVM, colis de déchets d'exploitation de l'AVM	1978	665*	584*	88%
CEA	EIP (Marcoule - 30)	Colis de boues bitumées	2000	4 235*	3 069*	72%
CEA	PIVER (Marcoule - 30)	Verres PIVER	1976	46*	13*	28%
CEA/DAM	Entreposage de déchets tritiés (Valduc - 21)	Déchets tritiés	1982	15 500	13 600	91%
EDF	ICEDA (Bugey - 01)	Colis cimentés	2014	2 000	0	0%
RHODIA (La Rochelle)	Usine Chef-de-Baie (17)	Déchets radifères	1988	56 980*	7 580*	13%

* Capacité donnée en m³.³ L'installation n'est pas autorisée à recevoir d'autres colis.

2.1



2.1.3 Contenu radiologique des déchets radioactifs à fin 2010

En ce qui concerne **les déchets TFA et FMA-VC**, les producteurs déclarent l'activité de chacun des colis, lors de leur envoi sur les centres de stockage.

Cette activité est estimée suivant une méthode fondée sur des mesures et/ou des évaluations par calcul.

Après un contrôle de conformité, l'Andra autorise leur stockage. À quelques exceptions près, l'activité des déchets présentée dans le Catalogue des familles est évaluée à partir de ces déclarations, conservées depuis la mise en service des centres.

Dans le cas des **déchets HA et MA-VL**, l'activité est mesurée lors de la production des colis de déchets. En ce qui concerne les déchets historiques en attente de conditionnement, des analyses de prélèvements permettent d'estimer les activités de ces anciens déchets. Elles seront affinées lors de leur reprise.

L'activité des déchets déclarée par les producteurs est, pour des raisons de simplicité, celle à la date de production et ne prend pas en compte la décroissance naturelle des radionucléides. Elle est donc nécessairement majorante par rapport à la réalité. Ces valeurs sont celles indiquées dans l'Inventaire géographique.

Du fait de la décroissance radioactive, l'activité présente aujourd'hui dans les déchets est inférieure à celle déclarée à leur date de production.

L'Andra présente dans la synthèse ci-contre ainsi que dans le Catalogue des familles, les valeurs qui résultent d'un calcul de décroissance

de l'activité jusqu'à fin 2010. Ces calculs sont réalisés par l'Andra à partir de données fournies par les producteurs (voir annexe 3).

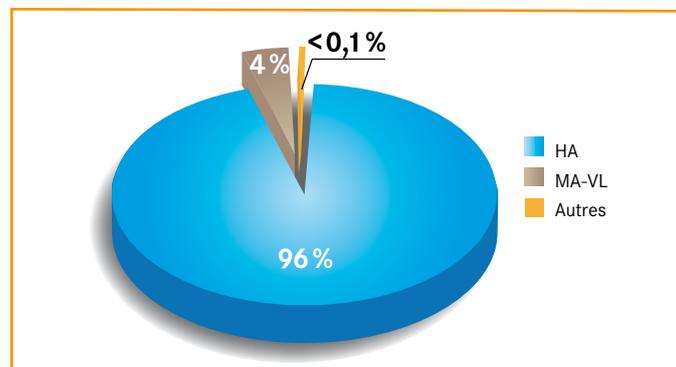
Le tableau et le graphique synthétisent l'activité totale du stock de déchets.

Activités évaluées au 31 décembre 2010

Catégorie	Activité à fin 2010 TBq soit 10 ¹² Bq
HA	105 000 000
MA-VL	4 800 000
FA-VL	12 000
FMA-VC	27 000
TFA	5
RTCU	100*
Total	~ 110 000 000

* Activité déclarée.

Répartition de l'activité par catégorie



L'activité totale déclarée par les producteurs est de l'ordre de 200 millions de térabecquerels alors que celle estimée par l'Andra à fin 2010 est de l'ordre de 110 millions de térabecquerels. Cet écart non négligeable s'explique par la prise en compte de la décroissance.

Pour exemple, les calculs de décroissance d'activité pour un colis de verre montrent que son activité totale est divisée par deux au bout de 20 ans environ (voir annexe 3).

On peut distinguer dans le contenu radiologique, 3 types de radionucléides suivants : les radionucléides émetteurs de rayonnements alpha, bêta-gamma à vie courte et bêta-gamma à vie longue. L'activité évaluée de l'ensemble des déchets produits au 31 décembre 2010 est présentée dans le *tableau ci-dessous*.

Activités des déchets évaluées à fin 2010

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

* Activité déclarée.

Cette évaluation de l'activité permet de mettre en évidence que :

- **les déchets HA rassemblent 96%** de l'activité totale des déchets radioactifs produits jusqu'au 31 décembre 2010. Il s'agit des déchets extraits des combustibles usés (produits de fission et actinides mineurs produits en réacteurs). Les principaux radionucléides contribuant à plus de 98% de cette activité sont :

- pour les radionucléides alpha : curium 244, américium 241,
- pour les radionucléides bêta-gamma à vie courte : césium 137, strontium 90, prométhium 147, césium 134, europium 154,
- les radionucléides bêta-gamma à vie longue contribuent pour moins de 1% à cette activité ;

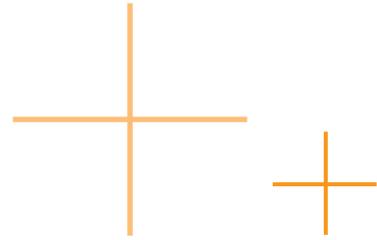
- **les déchets MA-VL représentent 4%** de la radioactivité totale. Les déchets activés des réacteurs et les déchets de structure des combustibles nucléaires (colis CSD-C de coques et embouts compactés) contribuent à plus de 90% de l'activité totale des

déchets MA-VL. Les radionucléides principaux concernant les déchets activés sont le fer 55, le cobalt 60, le cadmium 109, le tritium et le manganèse 54 pour les vies courtes, et le nickel 63 et l'argent 108 métastable pour les vies longues. Dans le cas des déchets de structure de combustibles, les radionucléides les plus contributeurs à l'activité sont le fer 55, le strontium 90, le césium 137, le tritium et le cobalt 60 pour les vies courtes et le nickel 63 pour les vies longues ;

- **les déchets FA-VL représentent 0,01%** de la radioactivité totale. Les déchets de graphite contiennent essentiellement des radionucléides bêta-gamma, principalement du tritium et du cobalt 60 pour les vies courtes, du carbone 14, du nickel 63 et en faible quantité, du chlore 36 pour les vies longues. Les déchets radifères contiennent essentiellement des radionucléides d'origine naturelle émetteurs alpha (radium, thorium, uranium) ;

- **les déchets FMA-VC représentent 0,02%** de la radioactivité totale. Les protections neutroniques latérales du réacteur de Creys-Malville (38) d'EDF ainsi que les coques en béton contenant des fûts de résines échangeuses d'ions (REI) cimentées, issues du traitement des eaux de piscines de l'usine AREVA NC de La Hague (50), sont les familles de déchets les plus actives de l'inventaire FMA-VC. Cependant, elles ne représentent que 6 et 8% respectivement de l'activité totale du fait de leur faible volume au regard d'autres familles de catégorie FMA-VC comme les colis de REI issues du traitement des eaux des circuits primaires des réacteurs EDF.

2.1



2.1.4

Répartition des déchets par propriétaire et par secteur économique à fin 2010

Ces répartitions par propriétaire et par secteur économique ne prennent en compte ni les déchets sans filière, ni les déchets de l'usine COMURHEX de Malvési (11).

Par propriétaire

L'*Inventaire national* à fin 2010 présente les répartitions par propriétaire résultant de données fournies par les producteurs AREVA, EDF et CEA d'une part et, d'autre part, sur la base d'évaluations faites par l'Andra à partir de données disponibles pour les déchets stockés au Centre de stockage de la Manche, au Centre de stockage FMA et au Centre de stockage TFA dans l'Aube.

Catégories	Stocks 2010 (en m ³)	Part CEA/civil	Part AREVA	Part EDF	Part CEA/DAM	Part autres
HA	2 700	7,1 %	8,8 %	75,7 %	8,5 %	0 %
MA-VL	40 000	25,6 %	16,2 %	45,7 %	12,1 %	0,35 %
FA-VL	87 000	18,4 %	12,1 %	30,1 %	18,4 %	21,0 %
FMA-VC	825 500	21,1 %	21,4 %	47,4 %	5,5 %	4,6 %
TFA	360 000	41,2 %	23,4 %	16,6 %	14,4 %	4,3 %
T-FMA-VC	4 600*	0,1 %	0 %	0 %	96,4 %	3,6 %

* Erratum janvier 2013.

Pour les déchets HA et MA-VL

EDF est propriétaire de la majorité des déchets directement issus des combustibles usés qu'il a fait traiter à Marcoule (30) et à La Hague (50), d'abord par le CEA, puis par COGEMA à partir de 1976 (date de sa création).

Par ailleurs, AREVA est notamment propriétaire des déchets issus des combustibles traités au titre de contrats antérieurs à 1977, qui ne comportaient pas de clause de réexpédition des déchets (512 tonnes de combustibles usés sur les 10 000 tonnes de combustibles usés étrangers traités au total à l'usine de La Hague (50)).

Les déchets anciens et courants induits par les activités menées sur le site de Marcoule (30) pour le compte de la Défense appartiennent au CEA/DAM.

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

Par ailleurs, depuis l'édition précédente, le CEA a souhaité retirer les combustibles usés du CEA de l'inventaire des déchets pour le projet Cigéo. Seuls les combustibles de Brennilis (29) sont prévus d'être stockés.

Pour les déchets FA-VL

Les déchets de graphite qui sont encore dans les réacteurs (emplacements, réflecteurs en place, aires de support) ne sont pas comptabilisés dans les stocks à fin 2010.

Les répartitions présentées ci-dessus ne prennent donc en compte que les déchets de graphite déjà évacués des réacteurs (notamment des chemises constituant la structure de combustibles UNGG traités à La Hague (50) et à Marcoule (30)).

Concernant les déchets radifères, une partie des déchets de l'ancienne usine du Bouchet (91) (9 600 m³) est catégorisée en FA-VL.

Pour les déchets FMA-VC et TFA

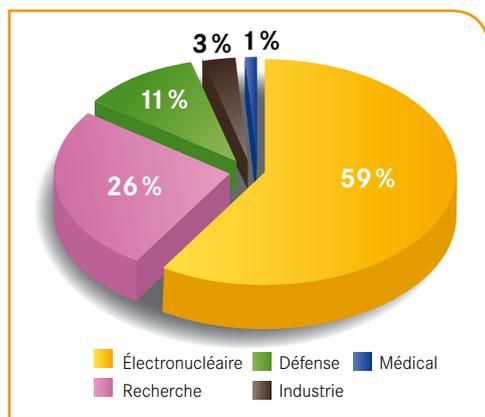
Les déchets FMA-VC et TFA sont majoritairement issus de l'exploitation, de la maintenance et du démantèlement des installations.

Par secteur économique à fin 2010

La répartition des déchets radioactifs par secteur économique à fin 2010 est présentée pour chaque filière de gestion sur la figure ci-dessous.

Cette répartition a été estimée par l'Andra sur la base notamment de la répartition par propriétaire présentée *page précédente*.

Répartition du volume total de déchets par secteur économique



Les déchets affectés au secteur économique « **électronucléaire** » correspondent aux déchets produits par les activités liées à la fabrication du combustible, aux centrales électronucléaires, aux usines de traitement de combustibles usés et aux installations de traitement des déchets et de maintenance de ces installations.

Les déchets de catégories HA, MA-VL et FMA-VC sont majoritairement issus de ce secteur économique.

Les déchets affectés au secteur économique « **Défense** » regroupent les déchets issus des activités liées à la force de dissuasion et à la propulsion nucléaire de certains navires ou sous-marins, ainsi que les activités de recherche associées.

Il s'agit des déchets de la Direction des applications militaires du CEA (CEA/DAM) et de la Défense nationale (DGA, SSA, Armée de terre, Armée de l'air et Marine nationale, gendarmerie). Dans ce secteur, les déchets des filières HA et MA-VL appartiennent au CEA/DAM.

Le secteur économique « **recherche** » correspond pour la plus grande part aux déchets produits par le CEA dans le cadre de ses activités de recherche civile et pour une moindre part aux déchets produits dans le cadre d'activités de recherche effectuées dans des centres autres que ceux du CEA.

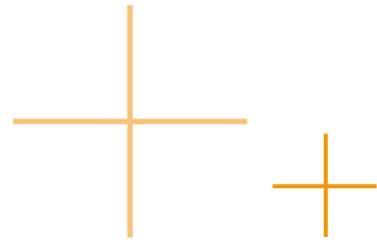
Parmi ceux-ci, on peut citer, à titre d'exemple, le Centre européen pour la recherche nucléaire à Prévessin (CERN) (01), l'Institut Laue-Langevin à Grenoble (ILL) (38) ou encore le Grand accélérateur d'ions lourds à Caen (GANIL) (14). Les déchets radifères produits par l'assainissement de l'ancienne usine de traitement de minerais d'uranium du Bouchet (91) exploitée par le CEA entre 1946 et 1970 ont été conventionnellement attribués à ce secteur économique.

Comme précisé ci-dessus, les déchets issus des activités de recherche pour la Défense sont affectés au secteur économique de la Défense.

Les déchets produits par les industriels utilisant des matériaux naturellement radioactifs en particulier l'industriel RHODIA dans le domaine de l'extraction des terres rares, sont rattachés au secteur économique « **industrie non électronucléaire** ». Les autres déchets rattachés à ce secteur économique proviennent de nombreuses autres petites industries (*voir dossier 3*).

Les paratonnerres fabriqués entre 1932 et 1986 et progressivement démontés et collectés par l'Andra, font aussi partie de ce secteur économique (*voir dossier 2*). On notera que le pourcentage de déchets MA-VL affectés au secteur économique de l'industrie non électronucléaire correspond aux « blocs sources » contenant des sources scellées usagées collectées auprès des petits producteurs de déchets dans les années 1970-1980. Ces déchets sont entreposés au CEA de Cadarache (13).

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



2.2

Les déchets radioactifs : prévisions pour la période 2011-2030

Comme indiqué en préambule de ce chapitre, seuls les déchets correspondant à l'exploitation, à des opérations de Reprise et de Conditionnement (RCD) et au démantèlement des installations autorisées à fin 2010, sont évalués.

Estimer les productions de déchets à venir nécessite de formuler des hypothèses et de définir des scénarios de production. Ces hypothèses et ces scénarios tiennent compte des évolutions éventuelles prévues par les industriels.

On a ainsi supposé la poursuite de la production électronucléaire avec le traitement de tous les combustibles usés à l'exception des combustibles du réacteur prototype à eau lourde de Brennilis (29).

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

- **les réacteurs électrogènes** autorisés sont au nombre de 59 (les 58 réacteurs existants et le réacteur EPR en cours de construction sur le site de Flamanville (50) dont la mise en service est prévue en 2016) ;
- **la durée d'exploitation des réacteurs** est identique pour tous les réacteurs et égale à 50 ans ;
- **la production d'électricité d'origine nucléaire** est voisine de 430 TWh/an auxquels s'ajoutent 13 TWh/an à compter de 2016, date de mise en exploitation du réacteur EPR

Les déchets produits par l'installation ITER ne sont pas pris en compte dans l'édition 2012 de l'*Inventaire national*, car la création de cette installation n'était pas autorisée à fin 2010.

(voir graphique ci-dessous) ; ce niveau de production perdure jusqu'à la mise à l'arrêt définitif du premier des réacteurs de 900 mégawatts, puis il décroît au rythme d'arrêt des réacteurs suivants ;

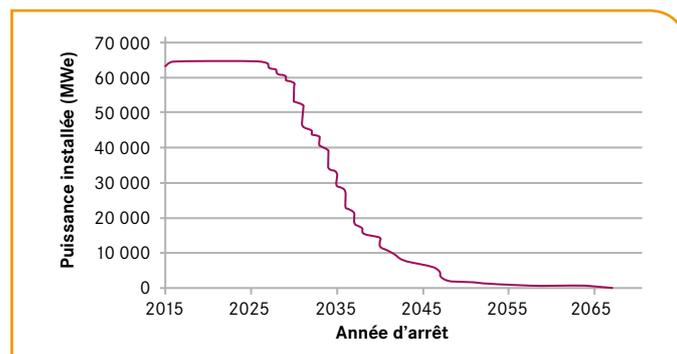
- le déploiement de **combustibles à haut taux de combustion** n'est pas retenu ;
- **le plutonium** extrait lors du traitement des combustibles usés est recyclé sous forme d'assemblages MOX à hauteur de 120 tML⁴/an ; ce tonnage est réparti dans les 22 réacteurs de 900 mégawatts autorisés à charger ce type de combustible ;
- **l'uranium extrait lors du traitement des combustibles usés** est recyclé, sous forme d'assemblages URE à hauteur de 74 tML/an ; ce tonnage est réparti dans les quatre réacteurs de Cruas (07) autorisés à charger ce type de combustible ;
- **l'usine COMURHEX de Malvési (11)** poursuit son activité suivant le procédé actuel et avec la capacité actuelle.

Les hypothèses d'exploitation exposées ci-dessus conduisent à décharger en moyenne 1 200 tML de combustibles REP par an (dont 120 tML de combustibles de type MOX).

Le démantèlement des réacteurs REP actuellement en exploitation ne débutera pas avant 2030. De même, le démantèlement des usines de traitement de combustibles de La Hague (50) UP2-800 et UP3, est envisagé par AREVA après 2030.

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

Évolution de la puissance installée en fonction des années de mise à l'arrêt définitif des réacteurs avec une durée de fonctionnement de 50 ans



⁴ tML (tonne de métal lourd) : tonne d'uranium ou de plutonium contenu dans le combustible avant irradiation.

2.2.1

Quantités prévisionnelles des stocks en 2020 et en 2030, tous secteurs économiques confondus

Ces prévisions ont évolué par rapport à celles faites en 2007 et publiées dans l'édition 2009 de l'*Inventaire national*.

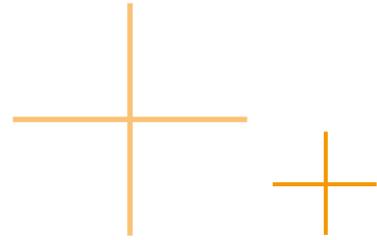
Catégorie	Prévisions faites en 2007	Prévisions faites en 2010
	Pour 2020	Pour 2020
HA	3 700	4 000
MA-VL	47 000	45 000
FA-VL	115 000	89 000
FMA-VC (y compris T-FMA-VC)	1 000 000	1 000 000
TFA	630 000	762 000
Total général	~ 1 800 000	~ 1 900 000

Catégorie	Prévisions faites en 2007	Prévisions faites en 2010
	Pour 2030	Pour 2030
HA	5 100	5 300
MA-VL	51 000	49 000
FA-VL	152 000	133 000
FMA-VC (y compris T-FMA-VC)	1 200 000	1 200 000
TFA	870 000	1 300 000
Total général	~ 2 300 000	~ 2 700 000

Concernant les déchets de l'usine COMURHEX de Malvézi (11), dont le mode de gestion à long terme est en cours de définition (voir page 25), les prévisions sont les suivantes :

Catégorie	Prévisions faites en 2010	
	Pour 2020	Pour 2030
RTCU	635 000	688 000

2.2



Les principaux facteurs de cette évolution sont :

- **une augmentation du flux annuel de retraitement** de combustibles usés à l'usine de La Hague (50) (1 000 tML au lieu de 850), se traduisant par une augmentation des volumes de déchets HA et MA-VL ;

- **la prise en compte d'une durée de fonctionnement plus importante des installations nucléaires** (50 ans au lieu de 40 ans en 2007), se traduisant principalement par une augmentation des déchets HA, MA-VL et FMA-VC ;

- **une meilleure identification des déchets** qui seront produits par le démantèlement et par les opérations de reprise de déchets anciens ainsi que par une optimisation du tri.

Ces évolutions se traduisent notamment par des transferts de déchets de la catégorie MA-VL vers FA-VL ou FMA-VC et de la catégorie FMA-VC vers TFA ;

- **le décalage de planning du démantèlement des réacteurs de la filière uranium naturel graphite gaz**, qui repousse la production des déchets FA-VL associés (déchets de graphite) ;

- **une augmentation du volume des déchets TFA** à produire lors de l'assainissement du génie civil des installations à démanteler en raison de la mise en application du nouveau guide de l'ASN concernant les méthodologies d'assainissement complet acceptables dans les INB en France et de la réorientation vers la filière de déchets TFA de déchets provenant de la catégorie FMA-VC.

2.2.2

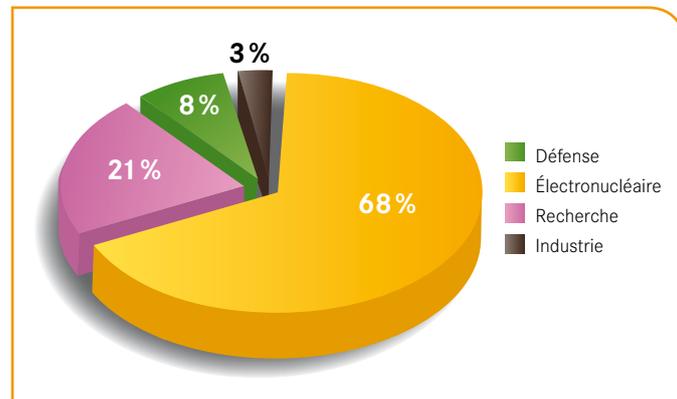
Stock des déchets par secteur économique à l'horizon 2030

La répartition des déchets radioactifs par secteur économique (hors déchets sans filière et déchets produits par l'usine COMURHEX de Malvézi - 11) estimée par l'Andra est présentée à fin 2030 sur le graphique ci-dessous.

Pour les déchets de l'ensemble des filières de gestion, on note la part croissante du secteur économique électronucléaire, en particulier pour les déchets HA, FA-VL et TFA.

Les opérations de démantèlement (réacteurs de première génération UNGG, réacteur SuperPhénix, installations de l'amont du cycle) sont principalement responsables de cette augmentation notable pour les filières de gestion FA-VL et TFA (voir chapitre 3).

Répartition des volumes de déchets à fin 2030 en fonction des secteurs économiques – les déchets du secteur médical représentent environ 0,3% du volume total.



2.2.3

Les déchets de démantèlement sur la période 2010-2030

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

Les déchets induits par ces opérations de démantèlement sont de deux types : radioactifs 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 sont tous considérés comme radioactifs, même si aucune radioactivité n'y est détectée.

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 par exemple);
- 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.

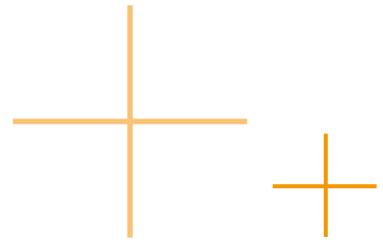
Pour ce faire, il convient en premier lieu de dresser un inventaire rigoureux des installations à assainir, des équipements qu'elles contiennent et de leur niveau de contamination résiduelle. Une bonne connaissance de l'histoire de l'exploitation de l'installation est à ce titre primordiale.

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 » qui permettent de calculer la quantité de déchets issue du démantèlement de chaque partie d'une installation en fonction de la nature et des caractéristiques techniques de celle-ci et des mesures de contamination radiologique qui y ont été réalisées.

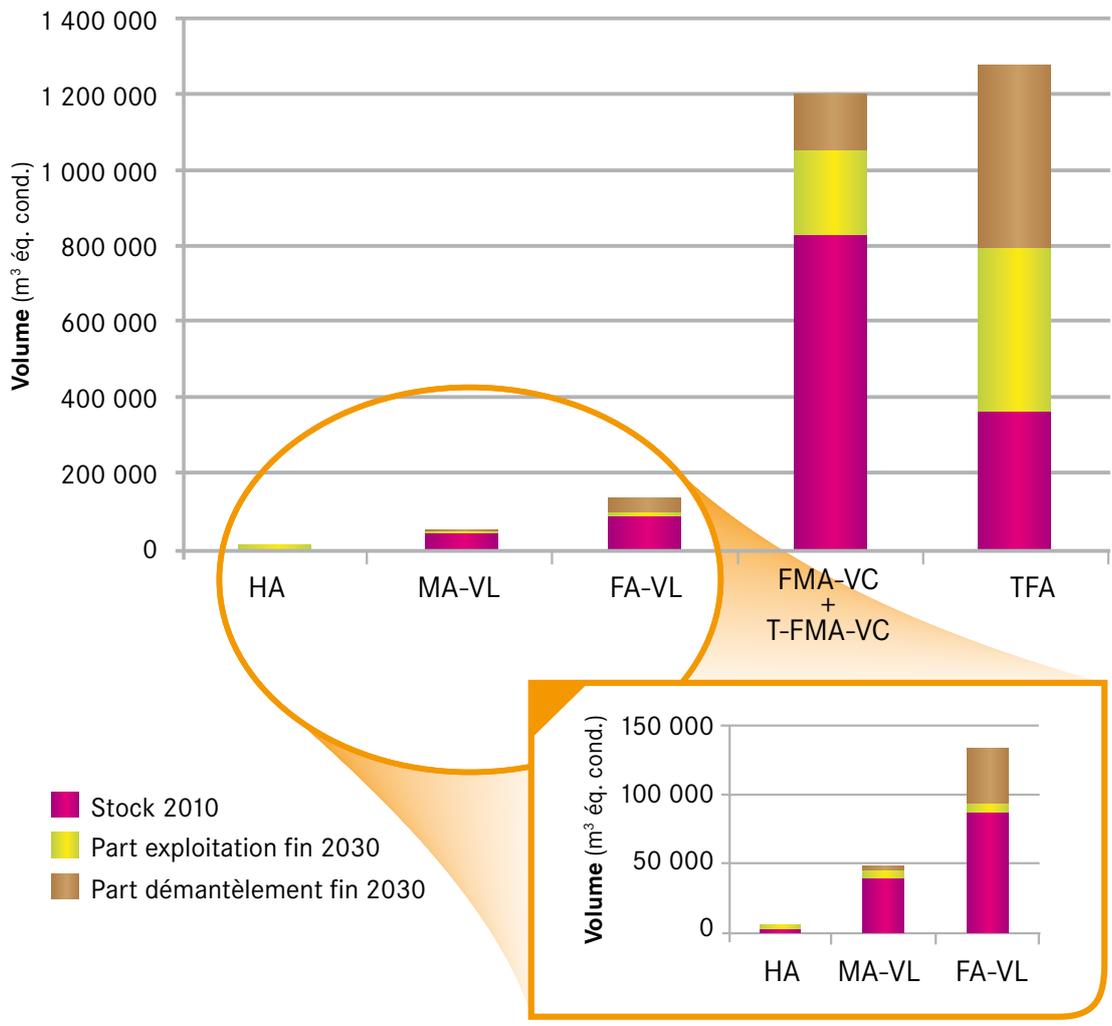
Ces évaluations prennent en compte la totalité des déchets produits par l'opération, y compris par exemple les volumes d'effluents engendrés par la décontamination. En fonction de leurs caractéristiques, des scénarios spécifiques de gestion permettent d'évaluer les quantités de déchets conditionnés et leur filière de gestion à long terme.

Ces scénarios sont construits sur la base de la connaissance des installations de traitement et de conditionnement. Ils peuvent différer selon les producteurs, qui ont chacun une stratégie qui leur est propre pour démanteler leurs installations.



Le graphique ci-dessous présente les quantités prévisionnelles de déchets produits à fin 2030 en fonction des catégories en distinguant les quantités de déchets issus du démantèlement. La majorité des déchets radioactifs issus des opérations de démantèlement sont de catégorie TFA, et dans une moindre mesure de catégorie FMA-VC. Dans certains cas particuliers et en fonction de la nature de l'installation, ils peuvent également relever de la catégorie MA-VL. Le démantèlement des réacteurs de première génération uranium naturel graphite gaz produit des déchets FA-VL.

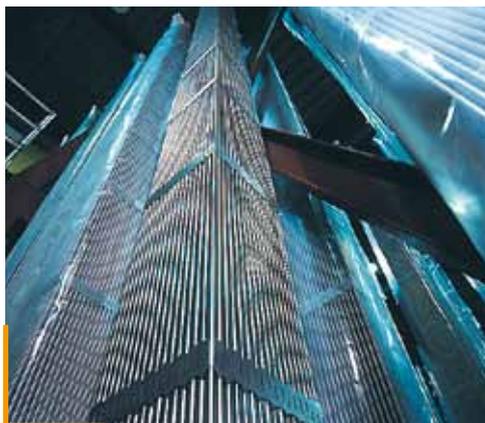
Prévisions des quantités de déchets à fin 2030 et part démantèlement



2.3

Stocks des matières radioactives à fin 2010 et prévisions pour la période 2011-2030

Une matière radioactive est définie dans l'article L. 542-1-1 du Code de l'environnement modifié par la loi du 28 juin 2006 comme « une substance radioactive pour laquelle une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement » (voir chapitre 1).

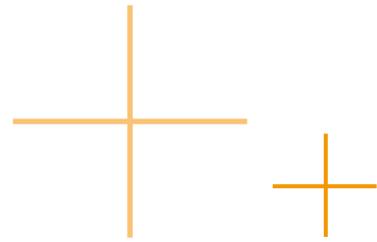


Sont présentées dans ce chapitre les matières radioactives suivantes :

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

La plupart de ces matières est générée par le cycle du combustible nucléaire. Le HCTISN (Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire) a publié en juillet 2010 un rapport qui donne un bon aperçu des enjeux liés au cycle du combustible pour ce qui concerne la valorisation des matières radioactives (voir encadré ci-contre).

2.3



Extrait de l'« Analyse détaillée du cycle du combustible » faite par le HCTISN [III]

Le Haut comité à la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire a procédé en 2010 à une analyse détaillée des flux de matières et de déchets produits aux différents stades du cycle du combustible et des stocks de « matières » (valorisables) détenus par les acteurs de la filière nucléaire.

La vision synthétique résultant de cette analyse permet de constater que :

- il faut, chaque année, de l'ordre de 8 000 tonnes d'uranium naturel pour fabriquer la quantité de combustible nécessaire au fonctionnement des centrales françaises qui consomment environ 1 200 tonnes de combustible nucléaire ;

- le combustible nucléaire est pour l'essentiel fabriqué à partir d'uranium naturel enrichi ; cependant, en France, le recyclage des matières issues du traitement des combustibles usés (uranium et surtout plutonium) permet une économie d'uranium naturel estimée à 12 % ;

- cette économie d'uranium naturel devrait croître à partir de 2010 (pour passer de 12 à 17 %) grâce à l'augmentation :

- du nombre de réacteurs utilisant des combustibles fabriqués à partir d'uranium appauvri et de plutonium (en passant de 20 à 22 réacteurs),

- du nombre de réacteurs utilisant des combustibles fabriqués à partir d'uranium de recyclage (en passant de 2 à 4 réacteurs) ;

- il est produit chaque année, pour les besoins des réacteurs français, de l'ordre de 7 300 tonnes d'uranium appauvri :

- une faible partie (de l'ordre de 100 tonnes par an) est réutilisée pour produire du combustible à base de plutonium,

- une autre partie peut être utilisée pour produire de l'uranium enrichi, par réenrichissement dans les usines actuelles ou à venir,
- l'essentiel est actuellement entreposé en vue de sa réutilisation envisagée dans les réacteurs de quatrième génération ;

- le stock français d'uranium appauvri peut être évalué à 450 000 tonnes en 2040 ; si les réacteurs de 4^{ème} génération étaient effectivement mis en service à cette date, ce stock représenterait alors, sur la base des estimations du CEA citées dans le PNGMDR, une ressource abondante pour l'avenir de la production d'énergie par le nucléaire ;

- une fois utilisés, les combustibles fabriqués à partir des matières recyclées (ce qui représente de l'ordre de 140 tonnes par an, et devrait passer à 200 tonnes par an à partir de 2010) sont actuellement entreposés, car il n'est procédé qu'à un seul recyclage de ces matières ; ils constituent un gisement de matières premières, et notamment de plutonium, destinées à être utilisées pour le démarrage des réacteurs de quatrième génération.

Cette analyse amène le Haut comité à constater qu'une partie des matières issues du cycle du combustible ne fait pas aujourd'hui effectivement l'objet d'une valorisation. Elles sont entreposées dans cette éventualité. Il s'agit cependant d'une perspective crédible grâce aux réacteurs de 4^{ème} génération qui pourraient entrer en service à partir de 2040 (si les conditions techniques, économiques et politiques restent réunies).

Par ailleurs, compte tenu des perspectives de recyclage présentées ci-dessus, et aux termes de la loi du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs, l'uranium de recyclage et l'uranium appauvri sont aujourd'hui classés comme des matières radioactives valorisables. Il faut cependant rappeler que le classement en tant que matière ou déchet n'est pas définitif.

Cette évaluation est réalisée sur le fondement de l'évolution des technologies et des perspectives de valorisation : de nouvelles technologies peuvent ouvrir la voie à de nouvelles possibilités de valorisation, ou au contraire une évolution du contexte industriel, politique et/ou technico-économique peut remettre en cause une réutilisation jusqu'alors envisagée.

[III] HCTISN Rapport publié en juillet 2010 : Avis sur la transparence de la gestion des matières et des déchets nucléaires produits aux différents stades du cycle du combustible.

Les quantités de matières radioactives présentes à fin 2010 ainsi que les sites sur lesquels elles sont entreposées, sont présentés ci-dessous⁵. Ce stock évolue en fonction de la production électronucléaire.

L'uranium naturel extrait de mines d'uranium

L'uranium naturel extrait des mines est traité et mis sous la forme d'un concentré solide d'uranium puis conditionné. En fonction du procédé de traitement utilisé, les concentrés peuvent être sous forme d'uranates, appelés *yellow cake* ou d'oxydes d'uranium (U_3O_8). Au 31 décembre 2010, environ 16 000 tonnes d'uranium naturel étaient entreposées sur les sites AREVA de Malvézi (11) et de Pierrelatte (26) et, pour une faible part, au CEA.

L'uranium naturel est ensuite transformé en uranium enrichi en vue de fabriquer le combustible.

L'uranium enrichi

L'enrichissement consiste à augmenter la concentration en uranium 235 (isotope énergétique trop faiblement présent - teneur de 0,8% - dans l'uranium naturel) de façon à obtenir une matière utilisable comme combustible dans les centrales nucléaires à eau légère.

Le procédé d'enrichissement mis en œuvre par l'usine Georges Besse I d'EURODIF (26) est celui de la diffusion gazeuse.

Toutes les mines françaises sont désormais fermées et l'uranium naturel est importé de l'étranger.

L'uranium, sous forme de gaz d'hexafluorure d'uranium (UF_6), circule dans des diffuseurs qui vont effectuer un tri entre uranium 235 et uranium 238 en tirant parti de leur différence de masse. Deux flux sont ainsi créés : l'un enrichi et l'autre appauvri en isotope 235.

L'uranium enrichi utilisé pour la production d'électricité comprend de l'uranium 235 à une teneur d'environ 4%.

Au 31 décembre 2010, un peu moins de 3 000 tonnes d'uranium enrichi étaient entreposées sur les sites AREVA de Pierrelatte (26), de Romans (26), de Marcoule (30), et de La Hague (50), et, sur les sites du CEA, ainsi que sur les sites EDF sous forme d'assemblages UOX neufs.

L'uranium appauvri (Uapp)

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

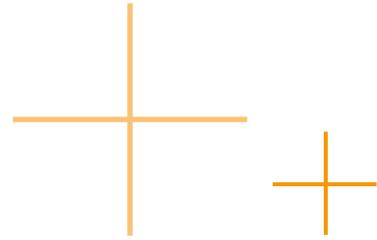
Au 31 décembre 2010, environ 272 000 tonnes d'uranium appauvri (Uapp) étaient entreposées en France dont un peu plus de 165 000 tonnes sur le site AREVA du Tricastin (26), environ 100 000 tonnes sur le site AREVA de Bessines-sur-Gartempe (87) et 176 tonnes sur les sites CEA ; le reste correspondant principalement à des en-cours liés à la fabrication du combustible MOX (combustible composé d'un mélange d'uranium et de plutonium) ainsi qu'aux stocks entreposés sur les sites EDF, sous forme d'assemblages MOX et d'assemblages de combustibles neufs pour réacteur à neutrons rapides.

L'uranium appauvri est utilisé régulièrement depuis plusieurs années comme matrice support du combustible MOX, élaboré en France dans l'usine Melox située à Marcoule (30). Ce flux représente environ une centaine de tonnes par an.

Par ailleurs, le stock d'uranium appauvri peut être évalué à 450 000 tonnes à fin 2040. Ce stock représente une ressource abondante pour l'avenir de la production d'énergie électronucléaire. D'ici quelques années, l'évolution des techniques d'enrichissement, avec la centrifugation, devrait permettre, aux conditions économiques adéquates, de réenrichir l'uranium appauvri.

2.3

⁵ Par convention, les combustibles neufs sont inventoriés sous forme de quantités d'uranium et de plutonium.



Ces stocks d'uranium appauvri pourront être valorisés dans les réacteurs à neutrons rapides de 4^{ème} génération dont le déploiement est attendu après 2040. Il est aujourd'hui estimé qu'un parc de réacteurs de 4^{ème} génération d'une puissance équivalente au parc actuel (c'est-à-dire 60 GWe) consommerait de l'ordre de 100 tonnes d'uranium appauvri par an, une fois les réacteurs mis en service. Ainsi, le stock d'uranium appauvri disponible au moment du lancement de cette filière constituerait une ressource permettant le fonctionnement de ces réacteurs pendant plusieurs centaines d'années.

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

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

L'URT est entreposé soit sous forme d'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 2010, 24 000 tonnes d'URT étaient entreposées sur les sites du Tricastin (26), de La Hague (50), de Romans (26) et de Cruas (07).

L'URT est recyclé en partie par EDF (dans les quatre réacteurs de la centrale de Cruas - 07) 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.

Par ailleurs, au 31 décembre 2010, 2 670 tonnes d'URT étranger sont entreposées en France. Cet URT est la propriété des clients étrangers d'AREVA, la stratégie de ceux-ci étant le recyclage sous forme de combustible.

Le thorium

Le thorium se présente sous la forme d'hydroxyde de thorium ou de nitrate de thorium. Environ 9 400 tonnes sont entreposées en France.

Dans le cadre de ses activités de traitement de minerai de terres rares, la société Rhodia a produit :

- entre 1970 et 1987, un composé issu du traitement en voie chlorure de la monazite : l'hydroxyde brut de thorium (HBTh), éventuellement valorisable (*voir encadré page 48*) ;
- jusqu'en 1994, du nitrate de thorium, issu du traitement en voie nitrate de la monazite.

Au 31 décembre 2010, environ 7 100 tonnes de thorium étaient entreposées sous forme de nitrate et d'hydroxydes sur le site de l'usine de La Rochelle (17).

À cela s'ajoutent un peu moins de 2 300 tonnes de thorium entreposées sur le site CEA de Cadarache (13).

Enfin, quelques tonnes de thorium appartenant à AREVA sont entreposées sur les sites de Bessines (87) et du Tricastin (26).

Les matières en suspension (MES)

Les matières en suspension issues du traitement de neutralisation des effluents chimiques produits sur l'usine de Rhodia contiennent en moyenne 25% d'oxydes de terres rares qui sont des sous-produits valorisables (*voir encadré page 48*).

Au 31 décembre 2010, 23 500 tonnes de MES, sous-produit du traitement des terres rares, étaient entreposées sur le site de l'usine à La Rochelle (17).

Valorisation des matières en suspension et de l'hydroxyde brut de thorium

La valorisation de ces matières est étudiée, notamment par AREVA et RHODIA. Elle porte sur leur contenu en terres rares, en thorium et en uranium.

Les terres rares sont utilisées dans de nombreux produits de consommation courante comme les écrans plats, certaines batteries, fibres ou verres optiques... Environ 10 000 tonnes d'oxydes de terres rares sont récupérables à partir du traitement des matières en suspension (MES) et de l'hydroxyde brut de thorium (HBTh).

Le thorium pourrait être valorisable dans des applications nucléaires. Dans une situation de raréfaction de la ressource en uranium, le cycle du thorium pourrait être utilisé dans les réacteurs de 4^{ème} génération.

Le thorium est aussi valorisable dans des secteurs industriels non nucléaires :

- dans le domaine médical pour le traitement de cancers en radio-immunothérapie alpha, le plomb 212 issu de la désintégration des thoriums 232 et 228 est greffé à un anticorps qui reconnaît spécifiquement certaines cellules cancéreuses. Le rayonnement alpha du plomb 212 permet alors de détruire ces cellules ;
- l'oxyde de thorium peut être utilisé dans des verres à fort indice de réfraction par exemple.

Enfin, tout comme le thorium, la demande mondiale en uranium ne pourra sans doute être satisfaite avec la production minière et l'utilisation de l'uranium de retraitement et de l'uranium appauvri. Des études sont donc menées afin d'extraire l'uranium de l'HBTh.

Les combustibles en cours d'utilisation et les combustibles usés

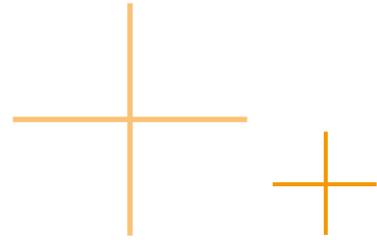
Il existe, à tout moment, des stocks de combustibles en cours d'utilisation ou usés.

Ceux-ci sont considérés par leurs propriétaires comme des matières radioactives valorisables du fait de l'uranium et du plutonium qu'ils contiennent. On distingue en général :

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

La stratégie d'EDF consiste à faire traiter prioritairement les combustibles à l'oxyde d'uranium naturel enrichi. Les combustibles URE et les combustibles MOX commenceront à être traités à partir de 2030.

Les combustibles d'EDF, une fois déchargés, sont entreposés pour décroissance dans des piscines, d'abord dans la centrale même, puis dans l'usine AREVA NC de La Hague (50).



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

Étaient en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires françaises au 31 décembre 2010 :

- environ 4 500 tML de combustibles UOX dans les 19 centrales électronucléaires REP françaises ;
- 156 tML de combustibles URE dans les quatre réacteurs de la centrale électronucléaire de Cruas (07) ;
- environ 300 tML de combustibles MOX dans les centrales électronucléaires du Blayais (33), de Chinon B (37), de Dampierre (45), de Gravelines (59), de Saint-Laurent-des-Eaux B (41) et du Tricastin (26).

Les combustibles usés en attente de traitement

Étaient entreposés en attente de traitement à fin 2010 :

- combustibles UOX usés : 3 626 tML sur les sites des 19 centrales électronucléaires REP françaises ; environ 8 380 tML sur le site de La Hague (50) ;
- combustibles URE usés : 68 tML sur le site de la centrale électronucléaire de Cruas (07) ; environ 250 tML sur le site de La Hague (50) ;
- combustibles MOX usés : 387 tML sur les sites des centrales électronucléaires du Blayais (33), de Chinon B (37), de Dampierre (45), de Gravelines (59), de Saint-Laurent-des-Eaux B (41) et du Tricastin (26) ; 900 tML sur le site de la Hague (50) ;
- combustibles RNR usés : 104 tML sur le site de Creys-Malville (38) ;
- combustibles usés des réacteurs civils de recherche (autres que combustibles métalliques) : 53 tML de combustibles dont 43 tML de combustibles RNR usés du réacteur Phénix

sur les sites du CEA ; 2 tML de combustibles sur le site de La Hague (50) ;

- combustibles usés métalliques issus des réacteurs expérimentaux du CEA et de réacteurs UNGG : 15 tML sur les sites du CEA ;
- combustibles usés de la propulsion navale : environ 146 tonnes.

Le plutonium issu des combustibles usés après traitement

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

Une fois mis en solution, extrait et séparé des autres matières contenues dans le combustible usé, le plutonium est purifié et conditionné sous forme stable de poudre d'oxyde de plutonium (PuO_2) dans les ateliers R4 et T4 de l'usine de La Hague (50).

Le plutonium est aujourd'hui utilisé pour fabriquer le combustible MOX, qui comporte de l'uranium appauvri et du plutonium sous la forme de pastilles de poudre d'oxydes $(\text{U,Pu})\text{O}_2$. En France, 22 réacteurs sont aujourd'hui autorisés à utiliser du combustible MOX. La contribution de ce type de combustible à la production électronucléaire représente un peu moins de 10%.

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

Au 31 décembre 2010, environ 80 tonnes de plutonium étaient entreposées en France, dont :

- 60 tonnes de plutonium entreposées à l'usine AREVA NC de La Hague (50) ;
- 8 tonnes de plutonium 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) ;
- 10 tonnes de plutonium en assemblage MOX ou RNR non irradiés présents ailleurs que dans les usines de fabrication, c'est-à-dire principalement sur les sites des réacteurs EDF ;
- environ 2 tonnes de plutonium entreposées dans diverses installations du CEA.

Sur ces 80 tonnes de plutonium, 56 tonnes sont de propriété française. Parmi ces 56 tonnes, le stock de plutonium séparé d'EDF à La Hague (50) s'élève à environ 27 tonnes, soit près de trois années de fabrication de combustibles MOX.

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

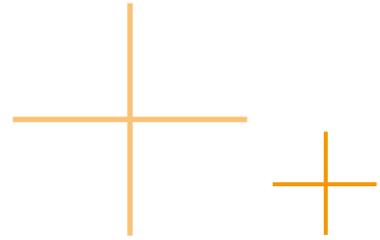
Les matières radioactives à fin 2010 ainsi que les prévisions de production de matières à fin 2020 et fin 2030 sont présentées dans le *tableau ci-dessous*. Les prévisions pour 2020 et 2030 sont indicatives car elles dépendent du choix de gestion que chaque industriel fera en fonction des conditions économiques du moment.

Pour les matières associées au cycle du combustible nucléaire, les scénarios de production pour 2020 et 2030 sont les mêmes que ceux qui ont été utilisés pour les déchets (*voir page 39*).

Matières radioactives à fin 2010, fin 2020 et fin 2030

MATIÈRE	2010	2020	2030
Combustibles mixtes uranium-plutonium (MOX) en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires (tML)	299	490	380
Combustibles mixtes uranium-plutonium (MOX) usés, en attente de traitement (tML)	1 287	2 400	3 800
Combustibles usés du réacteur à neutrons rapides SuperPhénix, en attente de traitement (tML)	104	104	104
Combustibles UOX en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires (tML)	4 477	4 340	3 650
Combustibles UOX usés, en attente de traitement (tML)	12 006	11 450	12 400
Combustibles URE en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires (tML)	156	290	290
Combustibles URE usés, en attente de traitement (tML)	318	1 050	1 750
Combustibles usés des réacteurs civils de recherche (dont Phénix), en attente de traitement (tML)	53	14	9
Combustibles métalliques usés, en attente de traitement (tML)	15	15	15
Matières en suspension (sous-produits du traitement des minerais de terres rares) (tonnes)	23 454	0	0
Combustibles de la Défense nationale (tonnes)	146	218	284
Plutonium issus des combustibles usés après traitement (tML)	80	55	53
Thorium (tonnes)	9 407	9 334	9 224
Uranium appauvri Uapp (tML)	271 481	345 275	454 275
Uranium enrichi (tML)	2 954	2 344	2 764
Uranium issu de combustibles usés après traitement URT (tML)	24 100	40 020	40 020
Uranium naturel extrait de la mine (tML)	15 913	25 013	28 013

2.3



2.4 Perspectives post-2030

L'objectif de ce paragraphe est de donner une vision prospective des déchets et des matières qui seraient produits par l'ensemble des installations autorisées à fin 2010 jusqu'à leur fin de vie, démantèlement compris, selon deux scénarios énergétiques volontairement contrastés, ceci sans préjuger de la politique énergétique française qui serait retenue.

Scénario 1 :

Dans ce scénario, on se place dans la perspective d'une **poursuite de la production d'électricité d'origine nucléaire**.

Bien que cette poursuite suppose le renouvellement du parc de réacteurs, les déchets produits par ce futur parc ne sont pas évalués car non autorisés à ce jour. L'inventaire ne porte donc que sur les déchets produits par les réacteurs autorisés à fin 2010.

Par contre, tous les combustibles usés déchargés des réacteurs sont traités pour en récupérer les matières valorisables (uranium de retraitement, plutonium) utilisables dans le parc actuel ou dans un futur parc.

C'est sur la base de ce scénario qu'ont été évalués les déchets aux échéances de 2020 et 2030 présentés précédemment.

Scénario 2 :

Ce scénario traduit un **arrêt de l'électronucléaire au terme de la durée de vie des réacteurs actuels** : il s'agit d'un scénario dans lequel le parc n'est pas renouvelé.

Les combustibles usés ne sont alors pas traités dès lors qu'il n'y a plus de perspective pour la valorisation du plutonium.

Les deux scénarios considérés diffèrent essentiellement par l'hypothèse de durée de vie des réacteurs REP : 50 ans pour le scénario de poursuite de la production électronucléaire et 40 ans pour le scénario de non-renouvellement du parc.

L'exploitation d'un réacteur REP durant 50 ans est une hypothèse conventionnelle reflétant les orientations stratégiques d'EDF vis-à-vis de l'allongement de la durée de fonctionnement au-delà de 40 ans. Elle ne préjuge pas des décisions qui seront prises par l'ASN, seule apte à délivrer les autorisations de prolongation de fonctionnement, accordées au cas par cas, à l'issue des visites décennales.

On se propose d'établir pour ces deux scénarios ce que pourraient être les volumes de déchets et les quantités de matières générés par l'ensemble des installations nucléaires jusqu'à leur fin de vie.

Les estimations ainsi réalisées se limitent à des ordres de grandeur et aucun de ces scénarios n'entend décrire une réalité industrielle.

Pour établir ces estimations, les déchets d'exploitation sont distingués de ceux de démantèlement. En effet, le volume global de ces derniers ne dépend pas de la durée de fonctionnement des installations, seul le flux de production peut varier en fonction d'hypothèses sur la durée mais aussi sur les plannings des opérations de démantèlement.

Les déchets d'exploitation sont eux-mêmes subdivisés en deux rubriques :

- ceux résultant directement de la production d'électricité d'origine nucléaire, à savoir ceux produits par les réacteurs électrogènes et les usines de l'amont et l'aval du cycle ;
- ceux produits par les autres installations (réacteurs ou laboratoires de recherche, installations liées à la force de dissuasion...).

Seuls les premiers dépendent du scénario énergétique envisagé.

Les deux scénarios retenus dans le cadre de cet exercice s'appuient sur des hypothèses communes :

- les réacteurs électrogènes autorisés sont au nombre de 59 : les 58 réacteurs existants et le réacteur EPR en cours de construction sur le site de Flamanville (Manche) dont la mise en service est prévue en 2016 ;

- la production d'électricité d'origine nucléaire est voisine de 430 TWh/an auxquels s'ajoutent 13 TWh/an à compter de 2016, date prévisionnelle de mise en exploitation du réacteur EPR ; ce niveau de production perdure jusqu'à la mise à l'arrêt définitif du premier des réacteurs 900 MWe, puis il décroît au rythme d'arrêt des réacteurs suivants ;
- le déploiement de combustibles à haut taux de combustion n'est pas retenu ;
- les gestions de combustibles (typologie des assemblages, nombre par recharge, enrichissement, taux de combustion et longueurs de campagnes) sont identiques dans les deux scénarios ;
- le plutonium extrait lors du traitement des combustibles usés est recyclé sous forme d'assemblages MOX à hauteur de 120 tML/an ; ce tonnage est réparti dans les 22 réacteurs de 900 MWe autorisés à charger ce type de combustible ;
- l'uranium extrait lors du traitement des combustibles usés est recyclé, sous forme d'assemblages URE à hauteur de 74 tML/an ; ce tonnage est réparti dans les quatre réacteurs de Cruas (07) autorisés à charger ce type de combustible ;
- les déchets MA-VL d'ITER ont été pris en compte dans les évaluations, pour être cohérent avec l'inventaire des déchets à prendre en compte dans le projet Cigéo, bien que l'installation ITER ne soit pas autorisée à fin 2010 ;
- les déchets liés à la conversion de l'uranium dans l'usine COMURHEX de Malvési (11) après 2030 ne sont pas pris en compte dans les estimations.

Les hypothèses d'exploitation exposées ci-dessus conduisent à décharger en moyenne 1 200 tML de combustibles REP par an (dont 120 tML de combustibles de type MOX).

Les résultats des évaluations faites sont donnés ci-dessous selon ces deux scénarios.

2.4.1

Scénario 1 : poursuite de la production électronucléaire

Ce scénario suppose le traitement de tous les combustibles usés de l'électronucléaire, à l'exception de ceux du réacteur de Brennilis et donc la poursuite des activités de traitement, sur une base d'environ un millier de tML de combustibles par an.

Il ne préjuge pas du nombre ni du type de réacteurs destinés à remplacer les réacteurs du parc existant, réacteurs qui produiront des déchets et des matières non comptabilisés dans le présent inventaire puisque non autorisés au 31 décembre 2010. Il postule de fait l'existence, à l'échéance du renouvellement du parc, de réacteurs capables de consommer le plutonium valorisé et non consommé dans le parc actuel.

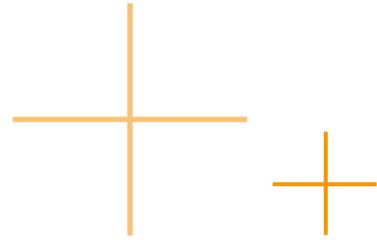
L'hypothèse de durée de vie uniforme de 50 ans pour les 59 réacteurs conduirait à les mettre à l'arrêt définitif entre 2027 et 2066.

La quantité cumulée de combustibles REP déchargés serait alors voisine de 64 000 tML (58 000 tML d'UOX, 4 000 tML de MOX et 2 150 tML d'URE).

Le flux de traitement retenu (1 000 tML d'UOX par an) permet d'équilibrer le flux de recyclage du plutonium tant que les 22 tranches moxées du parc actuel sont en fonctionnement.

Ainsi, le plutonium isolé lors du traitement est complètement réutilisé dans les assemblages MOX chargés dans le parc actuel. Compte tenu de l'échéancier prévisionnel de mise à l'arrêt définitif (au terme de 50 ans d'exploitation) de ces 22 réacteurs moxés et des quantités de plutonium constituant le stock-outil et les en-cours de fabrication, les simulations correspondantes montrent que la séparation de plutonium juste suffisante pour alimenter ces réacteurs jusqu'en fin de vie serait atteinte vers 2028-2029, c'est-à-dire après traitement de 34 000 tML d'UOX.

2.4



Au-delà de cette échéance, le plutonium issu du traitement constitue une réserve stratégique destinée à alimenter de nouveaux réacteurs à créer.

Il reste alors à traiter environ 30 000 tML de combustibles REP et les 180 tML de combustibles RNR issus du réacteur SuperPhénix.

La matière sera séparée progressivement (comme actuellement) à mesure du besoin réel d'alimentation des nouveaux réacteurs, lequel dépendra directement du rythme de leur déploiement.

Des études portant sur différents scénarios de déploiement d'un futur parc sont menées dans le cadre des recherches sur les réacteurs de 4^e génération afin de permettre notamment d'établir une méthodologie d'estimation du bilan des matières et des déchets radioactifs produits par un parc électrogène donné. *(voir encadré ci-dessous).*

Dans l'hypothèse d'un échelonnement de ces opérations sur une quarantaine d'années (2030-2070) le flux moyen annuel de plutonium serait voisin de 13 tonnes.

Extrait de l'évaluation par la CNE des études sur les scénarios [IV]

Dans une étude réalisée par le CEA, EDF et Areva, trois versions de parcs électrogènes de 430 TWhe/an ont été approfondies

- Un parc constitué de REP qui produirait annuellement 10 tonnes de plutonium, 1 tonne d'actinides mineurs et 7 000 tonnes d'uranium appauvri issu de l'enrichissement de l'uranium 238. Le fonctionnement d'un tel parc conduirait en 2150 à l'accumulation d'environ 1 900 tonnes de plutonium.
- Un parc constitué de REP utilisant du MOX (mono recyclage du plutonium) ce qui diminue le flux de plutonium. Ceci conduirait en 2150 à l'accumulation d'environ 1 300 tonnes de plutonium.
- Un parc constitué de RNR qui, annuellement, produirait 2 tonnes d'actinides mineurs et nécessiterait 50 tonnes d'uranium appauvri. Ce parc utiliserait le multi recyclage du plutonium et permettrait d'utiliser l'uranium appauvri, en petites quantités eu égard au stock existant de plus de 220 000 tonnes. Il permettrait de s'affranchir de l'opération d'enrichissement en uranium 235. Il conduirait en 2150 à la stabilisation de l'inventaire en plutonium à hauteur de 900 tonnes.

Les deux premiers scénarios mettent en œuvre des réacteurs dont la technologie est mature. Cependant, ils impliquent la poursuite de l'industrie minière et des opérations d'enrichissement en uranium 235. Si l'on poursuit cette stratégie, le plutonium du combustible utilisé est un déchet qui continue de s'accumuler. *In fine*, les verres destinés au stockage contiendraient du plutonium.⁶

Le troisième scénario fait appel à une technologie plus innovante mais qui s'appuie sur le retour d'expériences des RNR. Elle ne nécessite plus d'enrichissement en uranium 235, le stock de 900 tonnes de plutonium produit constitue une ressource continûment recyclable jusqu'à l'arrêt de cette filière, même si elle dure plusieurs siècles. Ce stock sera alors à gérer comme un déchet.

Un scénario qui n'a pas encore été présenté est celui de l'arrêt précoce du nucléaire qui poserait la question de la gestion de toutes les matières nucléaires devenues de facto des déchets.⁷

⁶ NDLR : ou le plutonium accumulé pourrait être conservé dans les combustibles MOX usés, ceux-ci devenant alors des déchets destinés au stockage géologique.

⁷ NDLR : dans le cas de ce scénario (non-renouvellement du parc) les déchets supplémentaires ont été évalués à environ 28 000 tML de combustibles usés.

[IV] CNE : rapport d'évaluation N° 5 publié en novembre 2011 : Évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs.

Pour ce qui concerne l'uranium issu du traitement, la quantité résiduelle en fin de vie sera comprise entre 0 et 40 000 tonnes d'URT, la valeur maximale correspondant à l'hypothèse d'une stabilité du niveau de recyclage actuel dans les quatre réacteurs de Cruas (07) jusqu'à leur fin de vie.

La résorption totale de ce stock de matière est techniquement possible : elle suppose la fabrication de près de 5 000 tML de combustibles URE, quantité qui pourrait, sous réserve des autorisations administratives correspondantes, être consommée dans tout ou partie des réacteurs existants, de façon comparable au recyclage actuellement pratiqué à Cruas (07).

La synthèse des déchets produits par la production d'électricité d'origine nucléaire est présentée dans le tableau ci-dessous.

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

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

2.4.2 Scénario 2 : non-renouvellement de la production électronucléaire

Le scénario décrit au paragraphe précédent est basé sur la continuité des opérations de traitement pour l'ensemble des combustibles usés de l'électronucléaire, à l'exception de ceux du réacteur de Brennilis (29) et postule donc l'existence de réacteurs capables de recycler les matières séparées et non réutilisées dans le parc actuel.

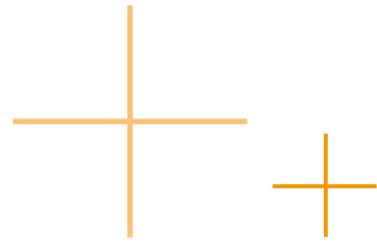
À l'inverse, le scénario de non-renouvellement fixe comme objectif principal de ne pas produire, par le traitement de combustible, des matières qui ne pourraient être recyclées dans le parc actuel. Cette contrainte conduit donc à un arrêt anticipé des activités de traitement, disposition qui contraste fortement avec la pérennité de cette activité dans le scénario de poursuite de la production électronucléaire.

Le scénario de non-renouvellement retient arbitrairement pour les 59 réacteurs une durée d'exploitation de 40 ans, ce qui conduirait à les mettre à l'arrêt définitif dix années plus tôt que dans le scénario décrit précédemment (soit entre 2017 et 2056).

La quantité cumulée de combustibles REP déchargés serait ainsi voisine de 52 000 tML (48 000 tML d'UOX, 2 800 tML de MOX et 1 400 tML d'URE). Les en-cours de fabrication et le stock-outil étant identiques à ceux du scénario précédent, les simulations correspondantes montrent que la séparation de plutonium juste suffisante pour alimenter les 22 réacteurs moxés jusqu'en fin de vie serait atteinte vers 2018-2019, c'est-à-dire après traitement de 24 000 tML d'UOX.

La cessation de toutes les opérations de traitement des combustibles à cette échéance aurait pour conséquence de transformer tous les combustibles usés REP non traités à cette date et ceux à venir (soit environ 28 000 tML) en déchets destinés au stockage direct.

2.4



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

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

* Les combustibles usés ne sont pas aujourd'hui considérés comme déchets, et ne sont donc pas conditionnés pour une prise en charge en stockage. Le volume moyen d'un assemblage combustible étant d'environ 0,2 m³, ces assemblages représentent un volume brut de l'ordre de 12 000 m³. L'Andra a vérifié la faisabilité du stockage profond des combustibles usés en 2005.

Les concepts de conteneurs de stockage utilisés pour cette démonstration induisaient un volume de colis de stockage d'environ 89 000 m³ (environ huit fois plus que le volume non conditionné).

Dans ce scénario, tout le plutonium récupéré lors des opérations de traitement des UOX est recyclé sous forme de combustibles MOX (2 800 tML).

Pour ce qui concerne l'uranium issu du traitement, la quantité résiduelle en fin de vie sera comprise entre 0 et 10 000 tonnes d'URT, la valeur maximale correspondant à l'hypothèse d'une stabilité du niveau de recyclage actuel (dans les quatre réacteurs de Cruas (07) jusqu'à leur fin de vie).

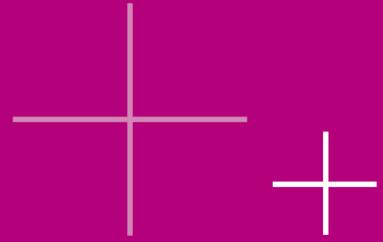
La résorption totale de ce stock de matière est techniquement possible : elle suppose la fabrication d'environ 1 250 tML de combustibles URE, quantité qui pourrait, sous réserve des autorisations administratives correspondantes, être consommée dans tout ou partie des réacteurs existants, de façon comparable au recyclage actuellement pratiqué à Cruas (07).

En conclusion pour le scénario de non-renouvellement des réacteurs électronucléaires après 40 ans de fonctionnement, il est possible de ne laisser ni plutonium, ni URT sans emploi, sous réserve d'un arrêt anticipé des opérations de traitement (l'horizon 2018-2019 garantit la réutilisation complète du plutonium extrait) associé à un recyclage accru de l'uranium issu du traitement.

En contrepartie, ce scénario produit des déchets nouveaux (28 000 tML de combustibles usés destinés au stockage Cigéo ⁸).

La synthèse des déchets produits dans le cadre de ce scénario est présentée dans le tableau ci-contre.

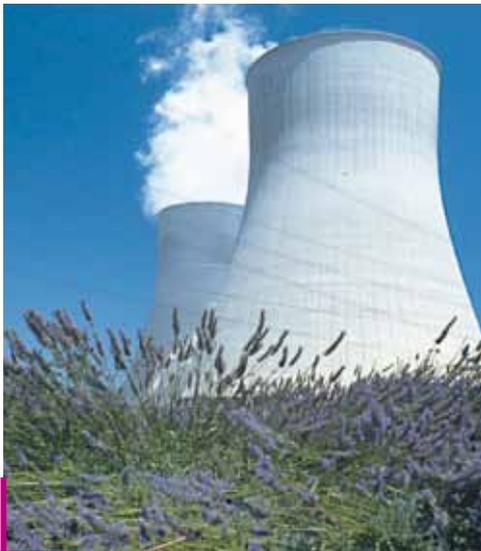




Inventaire par secteur économique

Inventaire par secteur économique

Ce chapitre présente, pour chacun des secteurs économiques, les matières et les déchets radioactifs répertoriés au 31 décembre 2010 et estimés aux horizons 2020 et 2030 selon le scénario de poursuite de la production électronucléaire, défini au chapitre 2.



Centrale de Cruas (07)

Pour rappel, les cinq secteurs économiques sont définis comme suit :

le secteur électronucléaire

qui comprend principalement les centrales nucléaires de production d'électricité, ainsi que les usines dédiées à la fabrication et au retraitement du combustible nucléaire (extraction et traitement du minerai d'uranium, conversion chimique des concentrés d'uranium, enrichissement et fabrication du combustible, traitement du combustible utilisé et recyclage (voir encadré page 26) ;

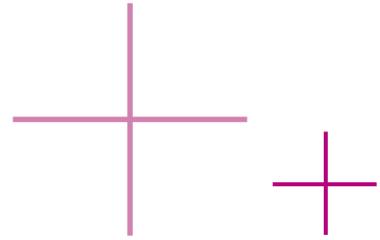
le secteur de la Défense

Il s'agit principalement des activités liées à la force de dissuasion, dont la propulsion nucléaire de certains navires ou sous-marins, ainsi que les activités de recherche associées ;



Sous-marin Le Redoutable

3.



La recherche

■ le secteur de la recherche

qui comprend la recherche dans le domaine du nucléaire civil, les laboratoires de recherche médicale, de physique des particules, d'agronomie, de chimie...

■ le secteur de l'industrie (non électronucléaire)

qui comprend notamment l'extraction de terres rares, la fabrication de sources scellées mais aussi diverses applications comme le contrôle de soudure, la stérilisation de matériel médical, la stérilisation et conservation de produits alimentaires...

■ le secteur médical

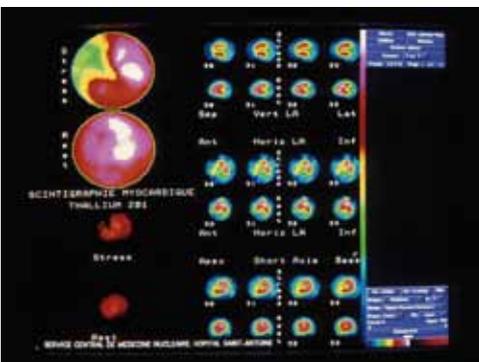
qui comprend les activités thérapeutiques, de diagnostic et de recherche.



L'industrie – Détecteur de fumée

La présentation retenue pour chaque secteur économique est la suivante :

- **description du secteur économique ;**
- **bilan des déchets produits** par filière de gestion pour le secteur concerné au 31 décembre 2010 ; l'état détaillé par site des stocks répertoriés est présenté dans l'Inventaire géographique disponible séparément ;
- **bilan des prévisions de production** de déchets par filière de gestion en 2020 et 2030 ;
- **bilan des matières radioactives** au 31 décembre 2010.



Le secteur médical

3.1 Le secteur électronucléaire

Ce secteur économique comprend la fabrication du combustible, les centres nucléaires de production électrique, le traitement du combustible, le traitement des déchets et la maintenance des installations.

3.1.1 La fabrication du combustible

■ Conversion

Après la purification de l'uranium contenu dans les concentrés miniers, il faut le transformer en hexafluorure d'uranium, seule forme qui permet d'être dans un état gazeux à une température de 60°C : c'est l'étape de la conversion. Cet état gazeux est indispensable à sa circulation dans les usines d'enrichissement.

Cette transformation se fait en deux étapes :

- dans l'usine de COMURHEX de Malvési (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.

Le traitement chimique mis en œuvre à l'usine COMURHEX de Malvési (11) induit des résidus solides et des effluents liquides.

Ces déchets chargés en matières solides uranifères sont jusqu'à présent gérés par lagunage.



Les résidus solides sont entreposés dans des bassins de décantation et les effluents liquides dans des bassins d'évaporation à l'air libre. Ces résidus ne sont pas conditionnés.

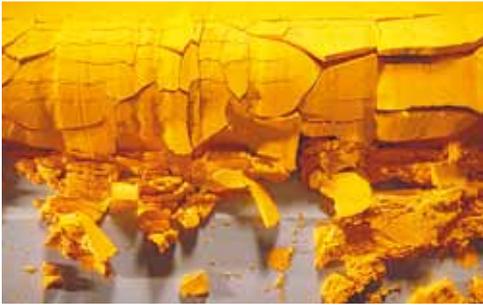
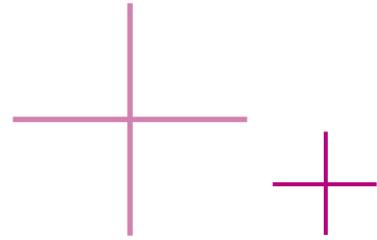
COMURHEX prévoit la mise en service en 2013 de nouvelles installations visant à moderniser l'usine de conversion.

Les déchets produits par l'usine COMURHEX de Malvési (11) sont affichés séparément dans les bilans qui suivent. En effet, AREVA a transmis fin 2011, au titre du PNGMDR, une étude sur la gestion à long terme de ces déchets. Cette étude est en cours d'instruction. Dans l'attente d'une décision sur le mode de gestion à long terme de ces déchets, cette famille est présentée séparément dans les bilans chiffrés des stocks de déchets existants au 31 décembre 2010 et dans les prévisions.

Les déchets issus de l'extraction et du traitement du minerai d'uranium

L'exploitation minière d'uranium en France s'est terminée en 2001. Les résidus de traitement des minerais ainsi que quelques déchets TFA issus du traitement des minerais sont stockés de façon définitive sur d'anciens sites miniers (voir chapitre 4).

3.1



Concentré d'uranium yellow cake sur filtre à bande



Cristaux d' UF_4 (tétrafluorure d'uranium)



Cristaux d' UF_6 (hexafluorure d'uranium)
Usine de conversion COMURHEX-Pierrelatte (26)



Pastilles d'uranium (usine FBFC à Romans - 26)

Enrichissement

L'uranium naturel est principalement composé de deux isotopes : l'uranium 238 et l'uranium 235. L'uranium 235, fissile, est beaucoup moins abondant à l'état naturel que l'uranium 238 : il ne représente que 0,71 % de l'uranium naturel.

Aujourd'hui, la plupart des réacteurs utilisent comme combustible de l'uranium enrichi à 3 et à 5% en uranium 235.

L'enrichissement consiste donc à augmenter la proportion d'uranium 235.

Le procédé d'enrichissement mis en œuvre par l'usine Georges Besse I d'EURODIF (26) est celui de la diffusion gazeuse. L'uranium, sous forme de gaz, circule dans des diffuseurs qui vont effectuer un tri entre uranium 235 et uranium 238 en tirant parti de leur différence de masse. Deux flux sont ainsi créés : l'un enrichi et l'autre appauvri en isotope 235. L'usine Georges Besse II (26), qui utilise le procédé de centrifugation, prend progressivement le relais de cette installation (voir encadré page 73).

Les établissements de conversion et d'enrichissement du combustible produisent des déchets d'exploitation radioactifs faiblement ou très faiblement contaminés en uranium et sont stockés au Centre de stockage FMA et au Centre TFA de l'Aube. Ils sont généralement conditionnés sous forme de fûts ou de caissons.

Fabrication de l'assemblage de crayons de 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 des gaines métalliques, assurant leur maintien, pour constituer les « assemblages combustibles ».

L'usine FBFC de Romans (26) réalise ces deux opérations. Les déchets produits par l'usine sont essentiellement des déchets TFA issus de l'exploitation et de la maintenance des installations.

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 utilisé est issu du procédé de traitement des combustibles usés mis en œuvre à l'usine AREVA NC de La Hague (50).

Les déchets produits par MELOX sont des déchets technologiques FMA-VC et MA-VL dont une partie est non irradiante et contaminée en radionucléides émetteurs alpha.



Carrusel des boîtes de plutonium à l'usine de fabrication de combustible MOX Melox d'AREVA à Marcoule (30)

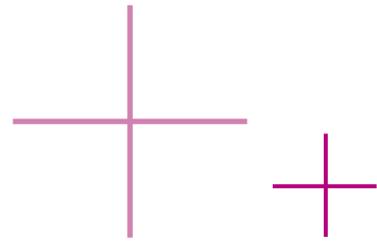
L'établissement d'AREVA Cadarache (13), appartenant auparavant au CEA, a également produit du combustible MOX jusqu'en juillet 2003.

Les usines de fabrication de combustible MOX

La production de combustible MOX à Cadarache (13) est aujourd'hui arrêtée. Les premières opérations pilotes de démantèlement de l'usine de Cadarache ont débuté en 2007. L'usine MELOX a démarré en 1994. Sa capacité actuelle est de 190 tML de combustible MOX par an (masse de métal lourd), destinées aux réacteurs français et étrangers de la filière « eau légère ».



Contrôle d'aspect des assemblages combustibles UOX (AREVA)



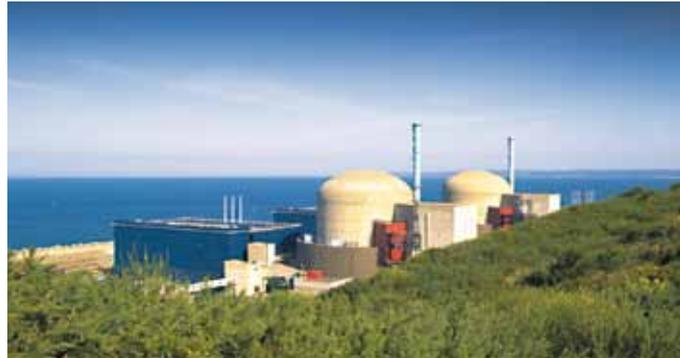
3.1.2 Les centrales nucléaires pour la production électrique (CNPE)

Les réacteurs en cours de fonctionnement

Le parc électronucléaire français se compose actuellement de 58 réacteurs nucléaires en fonctionnement implantés sur 19 sites géographiques (voir tableau page 64).

En France, la filière eau légère, avec 58 unités REP (Réacteur à eau pressurisée fonctionnant à l'uranium enrichi) mises en service de 1977 à 2000, constitue l'intégralité du parc en exploitation (voir tableau page 64).

Ce parc sera complété fin 2016 d'un réacteur également à eau pressurisée de type EPR (site de Flamanville - 50).



Centrale de Flamanville (50)



Centrale de Bugey (01)

Les déchets produits par un réacteur REP en quelques chiffres

- Un réacteur REP produit en moyenne environ 150 m³ par an de déchets radioactifs (hors combustible), majoritairement FMA-VC et TFA, se répartissant entre deux tiers de déchets FMA-VC et un tiers de déchets TFA.
- Le traitement du combustible utilisé produit annuellement, pour un réacteur, environ 2,5 m³ de déchets HA et 3 m³ de déchets MA-VL.
- Le démantèlement : on prévoit que la déconstruction d'un réacteur REP produise en moyenne 18 000 m³ de déchets radioactifs et que la démolition des bâtiments génère environ 10 fois plus de gravats de béton non radioactifs.

Réacteurs en service

Sites et dates de (premier réacteur couplage au réseau - dernier réacteur)	Nombre de réacteurs en exploitation - filière	Puissance nette par réacteur
Fessenheim - 68 - (04/1977 - 10/1977)	2 - REP	880 MWe*
Bugey - 01 - (05/1978 - 07/1979)	4 - REP	910/880 MWe
Gravelines - 59 - (03/1980 - 08/1985)	6 - REP	910 MWe
Dampierre - 45 - (03/1980 - 08/1981)	4 - REP	890 MWe
Tricastin - 26 - (05/1980 - 06/1981)	4 - REP	915 MWe
Saint-Laurent-des-Eaux B - 41 - (01/1981 - 06/1981)	2 - REP	915 MWe
Blayais - 33 - (06/1981 - 05/1983)	4 - REP	910 MWe
Chinon B - 37 - (11/1982 - 11/1987)	4 - REP	905 MWe
Cruas - 07 - (04/1983 - 10/1984)	4 - REP	915 MWe
Paluel - 76 - (06/1984 - 04/1986)	4 - REP	1 330 MWe
Saint-Alban - 38 - (08/1985 - 07/1986)	2 - REP	1 335 MWe
Flamanville - 50 - (12/1985 - 07/1986)	2 - REP	1 330 MWe
Cattenom - 57 - (11/1986 - 05/1991)	4 - REP	1 300 MWe
Bellemeville - 18 - (10/1987 - 07/1988)	2 - REP	1 310 MWe
Nogent-sur-Seine - 10 - (10/1987 - 12/1988)	2 - REP	1 310 MWe
Penly - 76 - (05/1990 - 02/1992)	2 - REP	1 330 MWe
Golfech - 82 - (06/1990 - 06/1993)	2 - REP	1 310 MWe
Chooz B - 08 - (08/1996 - 04/1997)	2 - REP	1 455 MWe
Civaux - 86 - (12/1997 - 12/1999)	2 - REP	1 450 MWe
19 sites	58 réacteurs	—

* MWe : mégawatt électrique.

3.1

Les combustibles nucléaires

Les assemblages combustibles REP séjournent quelques années dans les réacteurs de production d'électricité.

Un réacteur de 900 mégawatts utilise en permanence 157 assemblages combustibles, chacun d'entre eux contenant environ 500 kg d'uranium. Les combustibles sont majoritairement à l'oxyde d'uranium (UOX).

Cependant, 22 réacteurs sont autorisés à charger des combustibles mixtes uranium-plutonium (MOX) et quatre réacteurs sont d'ores et déjà équipés pour utiliser du combustible de type URE fabriqué à partir d'uranium de traitement réenrichi.

Les déchets MA-VL produits par les réacteurs en phase d'exploitation sont principalement des grappes poisons (grappes fixes dont le rôle est de réduire la réactivité du cœur pendant le premier cycle d'exploitation) et des grappes de commande (grappes mobiles dont les crayons absorbants coulissent dans l'assemblage combustible en vue de réguler la puissance du réacteur).

Des critères stricts vis-à-vis de leur usure conduisent à leur remplacement plusieurs fois au cours de la vie d'une tranche. Les déchets produits en phase de démantèlement sont, pour l'essentiel, des structures métalliques qui présentent, comme les grappes, une contamination surfacique associée à une activité importante localisée dans la masse.

L'hypothèse de conditionnement retenue par EDF est une cimentation de ces déchets métalliques après découpe sur site ou cisailage dans une installation centralisée (ICEDA) assurant le conditionnement en conteneur béton et l'entreposage intérimaire des colis.

Cette nouvelle installation devrait être mise en exploitation à l'horizon 2014 sur le site du Bugey (01).

Le fonctionnement des centrales EDF et les activités de maintenance associées engendrent aussi des déchets TFA et FMA-VC. Il peut s'agir d'équipements, de résidus de filtration/épuration (résines, filtres, boues...), de consommables (tenues vinyle, coton...), ou encore de pièces rebutées (robinets, tubes...).

Ces déchets ont été contaminés par contact avec les fluides (eau primaire, air de ventilation...) qui véhiculent les produits de fission et/ou les produits de corrosion activés lors de leur passage en cœur.

À l'exception des déchets incinérables et des ferrailles destinées à la fusion, qui sont dirigés vers les unités de CENTRACO (30), les déchets FMA-VC d'EDF sont conditionnés sur les sites des centrales dans des colis de béton, ou dans des fûts ou caissons métalliques respectivement compactés et injectés au Centre de stockage FMA de l'Aube.

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

Les importantes opérations de maintenance effectuées (remplacement des couvercles de cuve sur 54 réacteurs) ou programmées dans les centrales du parc électronucléaire (notamment le remplacement des générateurs de vapeur (GV) sur les 34 réacteurs du palier 900 mégawatts) produisent des déchets volumineux. Pour le stockage des déchets issus des GV, le présent exercice retient une répartition entre les Centres FMA et TFA de l'Aube, sachant que la valorisation de tout ou partie de ces composants est également à l'étude.



Chemise graphite et combustible UNGG

Les réacteurs arrêtés

EDF a exploité six réacteurs (sites de Chinon - 37, de Saint-Laurent-des-Eaux - 41 et de Bugey - 01) de l'ancienne filière UNGG développée par le CEA (uranium naturel graphite gaz) dont le démantèlement est engagé et dont les déchets résultants sont comptabilisés dans la présente activité de production d'électricité.

Cette filière a généré notamment des déchets FA-VL dits « de graphite ». On distingue les éléments qui entouraient le combustible (les chemises) de ceux qui constituaient les cœurs de réacteurs (les empilements). Le programme de démantèlement engagé par EDF n'a pas encore atteint la phase de dépose des

Réacteurs arrêtés

Sites	Type	Nombre de réacteurs
Chooz (08)	REP	1 réacteur
Brennilis (29)	EL	1 réacteur
Saint-Laurent-des-Eaux (41)	UNGG	2 réacteurs
Chinon (37)	UNGG	3 réacteurs
Bugey (01)	UNGG	1 réacteur
Creys-Malville (38)	RNR	1 réacteur/ surgénérateur

empilements qui sont toujours en place et ne seront comptabilisés comme des déchets qu'au moment de leur démantèlement prévu après 2020. En revanche, sont déjà comptabilisées comme déchets les chemises qui ont été retirées et sont entreposées dans des silos sur le site de Saint-Laurent-des-Eaux (41) et sur les sites de Marcoule (30) et de La Hague (50). L'hypothèse de conditionnement retenue pour ces déchets existants et futurs est une cimentation dans un caisson en béton de 10 m³ environ.

Les réacteurs arrêtés produisent des déchets d'assainissement et/ou de démantèlement selon la programmation des phases de leur démantèlement.

Enfin, l'Atelier des matériaux irradiés (AMI) de la centrale de Chinon (37), qui procède à des expertises des structures irradiées, produit aussi quelques déchets.

3.1

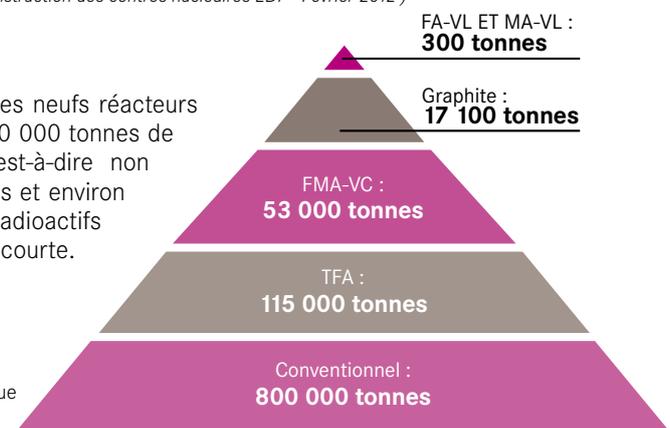
Les déchets produits par le démantèlement des 9 réacteurs arrêtés

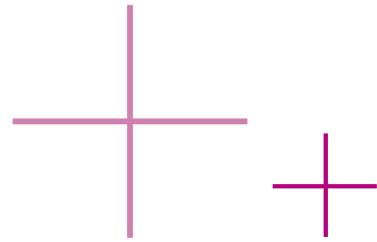
(source : note d'information sur la déconstruction des centres nucléaires EDF - Février 2012)

En quelques chiffres :

Au total, la déconstruction des neuf réacteurs à l'arrêt génèrera environ 800 000 tonnes de déchets conventionnels, c'est-à-dire non radioactifs qui seront recyclés et environ 180 000 tonnes de déchets radioactifs en très grande majorité à vie courte.

TFA : très faible activité
FMA-VC : faible activité et moyenne activité à vie courte
FA-VL : faible activité à vie longue
MA-VL : moyenne activité à vie longue





3.1.3 Le traitement du combustible usé

En sortie de réacteur, les combustibles usés de type UOX contiennent 95% d'uranium et environ 1% de plutonium (10% pour les combustibles usés de type MOX).

Il s'agit de matières radioactives dans la mesure où elles sont valorisables.

Le procédé de traitement des combustibles usés consiste à récupérer ces matières d'une part, et à conditionner les déchets ultimes d'autre part.



Piscine E, entreposage des combustibles usés à l'usine de traitement des combustibles usés AREVA à La Hague (50)

Les opérations menées dans les usines de traitement (voir encadrés page 68) peuvent se décomposer sommairement en trois étapes :

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

- **traitement des assemblages combustibles usés** par :

- cisailage mécanique des assemblages combustibles usés en tronçons de 35 mm environ (appelés « coques »),
- 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 ;



Hall d'entreposage de l'atelier de vitrification R7 UP2 800 d'AREVA à La Hague (50)

Usines de traitement UP1 de Marcoule (30)

La première usine française de traitement des assemblages combustibles usés, UP1, a été mise en service sur le site de Marcoule en 1958 et définitivement arrêtée à la fin de 1997.

Elle a été exploitée par le CEA puis par COGEMA (aujourd'hui AREVA) à partir de 1976 pour la Défense nationale (extraction du plutonium pour les armes) puis à des fins civiles (traitement des assemblages combustibles de la filière UNGG et de PHENIX, activités expérimentales sur le traitement).

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

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



Vue aérienne de l'usine de Marcoule

3.1

Usines de traitement de La Hague (50)



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

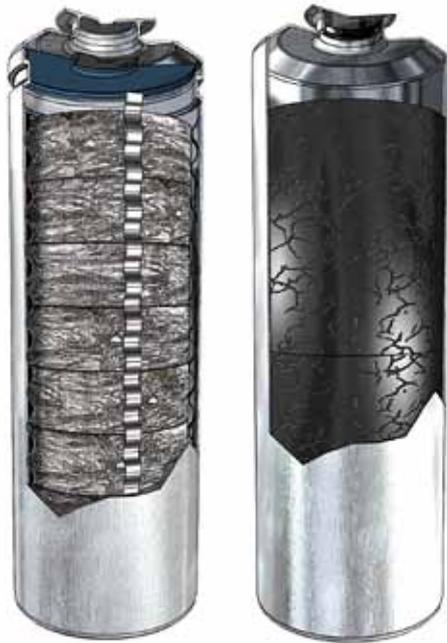
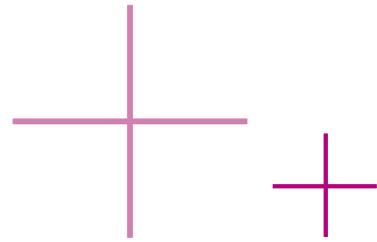
En 1966, une deuxième usine de traitement d'assemblages de combustibles usés a été mise en service, sur le site de La Hague : UP2-400. Elle a été exploitée par le CEA jusqu'en 1976, puis par COGEMA (aujourd'hui AREVA). D'une capacité initiale de 400 tonnes de combustible par an, l'usine UP2-400 a d'abord traité des assemblages combustibles usés de la filière UNGG. Elle s'est ensuite adaptée au traitement d'assemblages combustibles de la filière REP.

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

Depuis, UP2-400 a été uniquement affectée à la filière REP, tandis que l'usine UP1 de Marcoule (30) assurait le traitement des autres assemblages combustibles.

Pour faire face aux besoins français et étrangers, AREVA a entrepris au début des années 1980 la construction de deux nouvelles usines similaires, qui assurent aujourd'hui le traitement des combustibles usés, de capacités équivalentes (800 tonnes/an) :

- UP3 était initialement dédiée exclusivement aux combustibles usés fournis par les clients étrangers (démarrée en 1990) ;
- UP2-800, mise en service en août 1994, qui a pris le relais sans rupture de l'usine UP2-400, arrêtée le 1^{er} janvier 2004.



Colis compactés MA-VL
(CSD-C)

Colis vitrifiés HA
(CSD-V)

Un colis de déchets HA
contient environ 400 kg de
verre et 70 kg de déchets.

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

- les produits de fission et les actinides mineurs sont incorporés à une matrice de verre, coulée dans un conteneur en acier inoxydable (CSD-V) ; ces déchets constituent la majeure partie des déchets HA,
- pour les combustibles REP, les composants métalliques (tubes de gainage, grilles, embouts) assurant le confinement et l'assemblage des pastilles de combustible sont aujourd'hui décontaminés, compactés et conditionnés en conteneurs standard de déchets compactés (CSD-C). Auparavant, ces déchets de structure étaient mélangés à une matrice cimentaire. Le compactage a permis d'optimiser le volume de déchets à stocker. Ces deux familles de déchets constituent une grande part des déchets MA-VL,
- les déchets de structure des assemblages de la filière UNGG sont actuellement entreposés dans des silos à La Hague (50) ou à Marcoule (30) et seront repris avant 2030 pour être probablement conditionnés dans une matrice cimentaire.

Les déchets de maintenance et d'exploitation sont conditionnés dans différents types de conteneurs en fonction de leur nature, de leur niveau d'activité et de leur filière de gestion. En général, les déchets solides MA-VL (outillages, gants, filtres...) sont compactés et mis en fût ; les modes de conditionnement des boues issues des stations de traitement des effluents ont évolué en fonction du temps. Dans un premier temps, le bitumage a été développé. L'optimisation des procédés de conditionnement et l'évolution des contraintes liées à la sûreté ont conduit au développement de procédés de cimentation ou de séchage et compactage.

Les déchets FMA-VC sont stockés au Centre de stockage FMA (10). Ils peuvent être préalablement traités à l'usine CENTRACO (30) par incinération ou fusion en fonction de leur nature physico-chimique.

Les déchets TFA sont conditionnés en big-bag ou en conteneur métallique pour être transférés et stockés au Centre de stockage TFA (10).

3.1.4 Les installations de traitement des déchets et les centres 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 les centres de maintenance. 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 de plusieurs exploitants. Cette activité concerne surtout le secteur de la production électronucléaire.



Lingot d'acier

3.1

Les centres de traitement des déchets

La société SOCODEI/CENTRACO à Marcoule (30) exploite deux procédés :

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

Elle traite des déchets solides incinérables et liquides de faible activité produits par les installations nucléaires, les laboratoires de recherche et les hôpitaux. Les cendres et les mâchefers qui en résultent sont inertés et conditionnés dans des colis destinés au Centre de stockage FMA de l'Aube. Il en est de même des lingots issus de la fusion de déchets métalliques.

Suite à un accident sur le four de fusion survenu le 12 septembre 2011, l'installation a été arrêtée et son redémarrage soumis à autorisation préalable, tant pour la fusion que pour l'incinération.

Les sociétés STMI et SOCATRI à Bollène (84) sont spécialisées dans des opérations de transformation, de conditionnement et d'entreposage de matériaux radioactifs en vue de leur décontamination. À ce titre, elles produisent des déchets radioactifs. L'Andra utilise une partie des installations de SOCATRI, pour entreposer des déchets à vie longue ne pouvant être accueillis actuellement sur ses centres de stockage, ou de SOCODEI, pour des déchets à vie courte en attente de stockage.

La société SOGEDEC à Pierrelatte (26) est une entreprise intervenant dans le domaine du traitement de déchets radioactifs et également du démantèlement et de l'assainissement d'installations nucléaires, de la décontamination de matériels et de déchets, et de la maintenance de matériels utilisés en zone nucléaire.

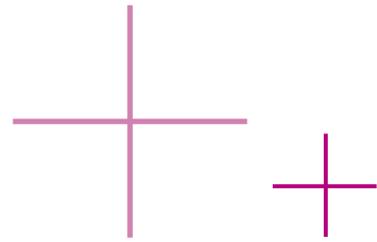
Les centres de maintenance

Des entreprises spécialisées assurent la maintenance des grandes installations et/ou la décontamination de certains équipements.

Ces centres de maintenance détiennent en général des quantités plus limitées de déchets que les centres de traitement des déchets, en majorité destinées au Centre de stockage FMA de l'Aube.

La BCOT (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 le programme de remplacement est terminé.

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.



3.1.5 Les inventaires des matières et déchets à fin 2010, 2020 et 2030

Stock de déchets par catégorie

Stock de déchets en m³ équivalent conditionné*

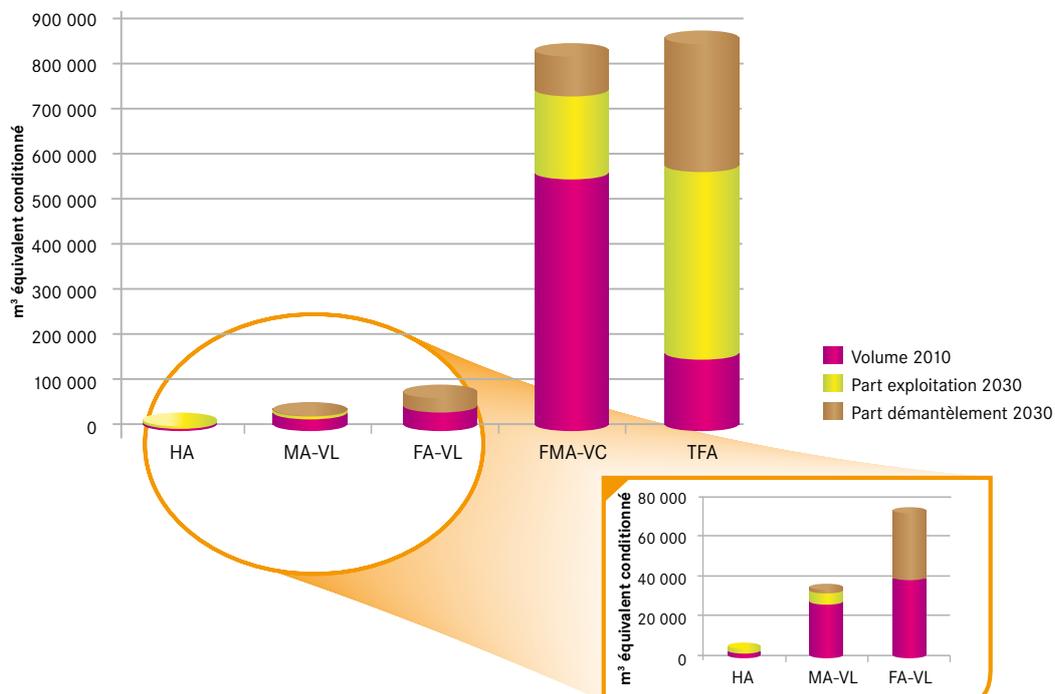
Catégorie	Volume à fin 2010	Volume prévisionnel 2020	Volume prévisionnel 2030
HA	2 300	3 600	4 900
MA-VL	27 000	31 000	34 000
FA-VL	39 000	40 000	73 000
FMA-VC (y compris T-FMA-VC)	557 500	677 000	828 000
TFA	159 000	437 000	857 000
Total	~785 000	~1 190 000	~1 800 000

* Les chiffres sont arrondis à la centaine de m³ pour les déchets HA et à la centaine ou au millier pour les autres déchets.

Concernant les déchets de l'usine COMURHEX de Malvési (11), dont le mode de gestion à long terme est en cours de définition (voir page 60), les volumes sont les suivants :

Catégorie	Volume (m ³) à fin 2010	Volume prévisionnel (m ³) 2020	Volume prévisionnel (m ³) 2030
RTCU	600 000	635 000	688 000

Part démantèlement à fin 2030



Les déchets de la déconstruction de SuperPhénix

La déconstruction de SuperPhénix va générer environ 473 000 tonnes de déchets, dont une grande majorité (85%) de déchets non radioactifs (métaux, gravats...) qui sont revalorisés dans les filières appropriées.

Les déchets radioactifs se répartissent en :

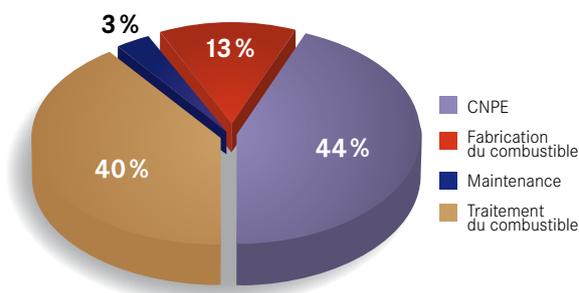
- une très faible part de déchets MA-VL (environ 4 tonnes) constitués des barres de commande du réacteur ;
- des déchets TFA ou FMA-VC résultant des opérations de démantèlement (équipements du réacteur, bétons...) pour environ 10 000 tonnes. Ces déchets seront évacués sur les Centres de l'Andra, après décroissance d'une cinquantaine d'années dans l'entreposage ICEDA de Bugey (01) pour ceux d'entre eux qui sont trop actifs pour être stockés immédiatement (déchets issus de la cuve du réacteur) ;
- des blocs de béton très faiblement actifs issus du traitement du sodium. Ce traitement consiste à transformer le sodium en soude. Cette soude est ensuite utilisée comme « eau de gâchage » pour fabriquer du béton coulé en blocs d'un mètre cube.

Ce procédé permet d'inertier et de confiner la soude, très faiblement radioactive.

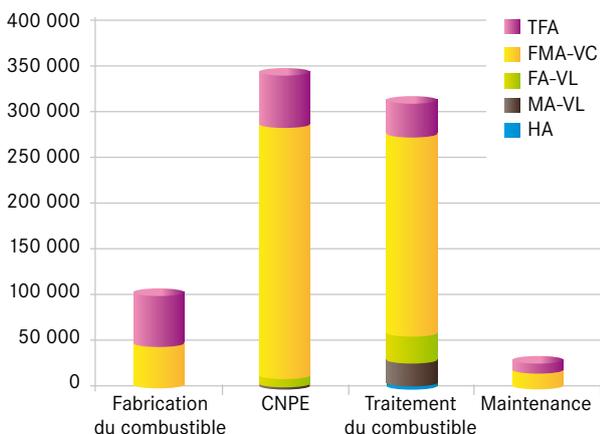
Ces blocs, qui représentent une masse de 63 000 tonnes, sont entreposés sur le site, dans un bâtiment spécialement conçu à cet effet et sous surveillance permanente.

Répartition par activité à fin 2010

Répartition des volumes par activité à fin 2010



Nature des déchets produits par activité à fin 2010

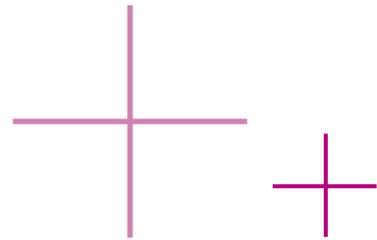


Répartition des stocks de déchets par activité à fin 2010 en m³ équivalent conditionné*

Catégorie	Fabrication du combustible	CNPE	Traitement du combustible	Maintenance
HA	0	0	2 300	0
MA-VL	460	1 400	25 100	1
FA-VL	10	9 100	29 900	0
FMA-VC (y compris TFMA-VC)	46 000	276 000	220 000	16 000
TFA	55 000	56 800	35 400	11 700

* Les chiffres sont arrondis à la dizaine ou à la centaine de m³ pour les déchets HA, MA-VL et FA-VL et à la centaine ou au millier pour les autres déchets.

S'ajoutent à ces totaux environ 600 000 m³ de déchets (RTCU) de l'usine COMURHEX de Malvési (11), représentant 100 térabecquerels et relevant de l'activité « fabrication du combustible » dont la catégorie est en cours de définition (voir page 60).



Usines Georges Besse (26)

L'usine Georges Besse I, exploitée par EURODIF, produit chaque année de l'uranium enrichi par diffusion gazeuse. Sa capacité d'enrichissement maximum est de 10,8 millions d'UTS* par an. Inaugurée en 2010 sur le site du Tricastin, l'usine Georges Besse II prend progressivement le relais de l'usine actuelle d'enrichissement. Cette nouvelle usine comprend deux unités de production qui atteindront une capacité de l'ordre de 7,5 millions d'UTS à l'horizon 2016-2018 et utiliseront une nouvelle technologie : la centrifugation gazeuse.

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

L'usine actuelle continue à produire en parallèle jusqu'à son arrêt programmé à l'horizon de 2013.

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



Stock de matières

Les matières radioactives à fin 2010 ainsi que les prévisions de production à fin 2020 et fin 2030 sont présentées dans le tableau. Le scénario de production pour 2020 et 2030 est le même que celui utilisé pour les déchets.

Stock de matières

Matières	Masse (tML)		
	2010	2020	2030
Combustibles mixtes uranium-plutonium (MOX) en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires	299	490	380
Combustibles mixtes uranium-plutonium (MOX) usés, en attente de traitement	1 287	2 400	3 800
Combustibles RNR usés, en attente de traitement SuperPhénix	104	104	104
Combustibles UOX en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires	4 477	4 340	3 650
Combustibles UOX usés, en attente de traitement	12 006	11 450	12 400
Combustibles URE en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires	156	290	290
Combustibles URE usés, en attente de traitement	318	1 050	1 750
Plutonium	78	53	51
Thorium	7	0	0
Uranium appauvri	271 305	345 100	454 100
Uranium enrichi	2 941	2 330	2 750
Uranium issu de combustibles usés après traitement	24 100	40 020	40 020
Uranium naturel extrait de la mine	15 900	25 000	25 000

3.2 Le secteur de la Défense

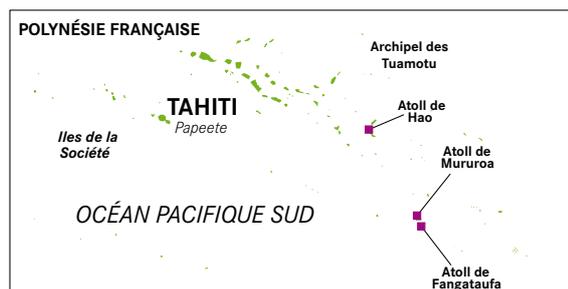
Ce secteur économique regroupe les activités des centres d'études, de production ou d'expérimentations travaillant pour la force de dissuasion et celles des différentes armées (Marine nationale, Armée de l'air, Armée de terre...) et la Direction Générale de l'Armement (DGA).

3.2.1 Les centres d'études, de production ou d'expérimentations travaillant pour la force de dissuasion

Il s'agit de toutes les activités de la force de dissuasion des centres de la Direction des applications militaires (DAM) du CEA, et des installations de la propulsion nucléaire de la DAM installées à Cadarache.

Les installations du CEA/DAM

La Direction des applications militaires (DAM) du CEA conçoit, fabrique et maintient en condition opérationnelle les charges ou les têtes nucléaires du système de défense de la France. Elle assure également le démantèlement des armes nucléaires retirées du service.



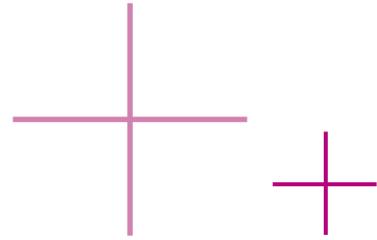
Elle est, en outre, responsable de la maîtrise d'ouvrage pour la conception et le développement des chaufferies nucléaires des bâtiments de la Marine nationale et pour la réalisation des cœurs équipant les chaufferies embarquées.

Les sites concernés par les activités armes et chaufferies nucléaires se classent sous le régime des installations nucléaires de bases secrètes (INBS).

Le centre de Valduc (21)

Le centre de Valduc réalise certains éléments constitutifs des armes nucléaires. Il traite leurs matières radioactives (plutonium, uranium et tritium) et mène aussi des recherches sur les matériaux.

Ses activités produisent des déchets contaminés en émetteurs alpha d'une part et en tritium d'autre part. Les déchets MA-VL de Valduc sont des déchets technologiques divers conditionnés en fûts métalliques et expédiés vers Cadarache (13).



Des colis de boues et de concentrats bloqués en fûts métalliques, produits autrefois par la station de traitement des effluents du centre, sont entreposés sur site dans l'attente de leur transfert vers Cadarache (13). Les effluents du centre sont actuellement conditionnés et stockés au Centre de stockage FMA (10).

Les déchets FMA sont des déchets technologiques et métalliques divers conditionnés en fûts de 200 litres ou en caissons métalliques de 5 m³.

Les déchets TFA produits sont essentiellement des déchets d'exploitation. On note la présence de 9 000 m³ de terres contaminées de catégorie TFA provenant de la réhabilitation d'une zone du site. Le centre de Valduc produit également des déchets tritiés dont les plus actifs et les plus dégazants sont conditionnés en fûts de 200 litres et entreposés sur le site de Valduc.

Le centre de Bruyères-le-Châtel (91)

Depuis sa création, le site de Bruyères-le-Châtel 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. Les installations de ce centre 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.

Les autres centres

Des essais de détonique sont réalisés à Moronvilliers (51) et utilisent de l'uranium sous forme appauvrie en isotope 235. De même, des expérimentations en détonique ont été menées par le passé sur le centre du CESTA (33), utilisant aussi, pour certaines d'entre elles, de l'uranium sous forme appauvrie en isotope 235.

Le CESTA a, depuis plusieurs années, pour mission première d'assurer l'architecture industrielle des armes de la force de dissuasion.

On trouve sur ces sites principalement des déchets TFA (déchets métalliques, déchets technologiques divers et déchets de démantèlement ou de remédiation) contaminés en uranium.

Le centre de Gramat (46), géré précédemment par la DGA, a rejoint le CEA/DAM, depuis janvier 2010 ; c'est un centre d'expertise de la Défense en matière de vulnérabilité et d'efficacité des armements face aux agressions des armes nucléaires et conventionnelles. Ce centre d'essais utilisait aussi de l'uranium appauvri.

Les déchets présents sur ce site sont des déchets TFA : déchets métalliques faiblement contaminés (aciers) et déchets d'exploitation.

Entreposage de déchets tritiés

À fin 2010, le volume de déchets tritiés présents en France est de 4 600 m³ environ.

Actuellement, la majeure partie de ces déchets est générée par les activités de la Défense.

Conformément au dossier d'orientation préconisant des solutions pour l'entreposage de déchets tritiés sans filière élaboré par le CEA dans le cadre du PNGMDR 2007-2009, le CEA/DAM a débuté la construction d'un premier entreposage à Valduc pour augmenter la capacité d'accueil des déchets tritiés des installations travaillant pour la force de dissuasion.

La mise en service de ce premier bâtiment est prévue pour fin 2012.



Entreposage de déchets tritiés au centre de Valduc (21)

Certaines installations exploitées par AREVA pour le compte de la DAM étaient destinées à la fabrication de composants des têtes nucléaires. C'est le cas des réacteurs CELESTIN, de l'Atelier Tritium à Marcoule (ATM) (30) et de l'Usine de recyclage et d'élaboration (URE) de Pierrelatte (26) dont les productions sont arrêtées.

Enfin, les installations de la DAM à Cadarache (13) au profit de la propulsion nucléaire permettent de développer, de qualifier et de maintenir certains systèmes et équipements destinés aux chaufferies nucléaires des bâtiments de la Marine.

Les installations arrêtées

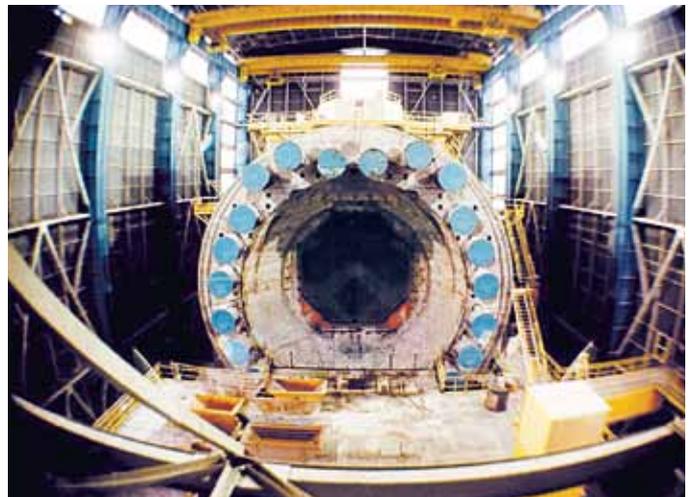
Depuis 2004, le CEA assure la maîtrise d'ouvrage du démantèlement de l'usine UP1 qui a notamment extrait et purifié du plutonium à usage militaire avant de traiter certains assemblages combustibles irradiés des réacteurs de la filière UNGG.

Les déchets issus des opérations de traitement des combustibles pour la force de dissuasion sont intégrés dans les bilans du présent paragraphe.

Depuis l'arrêt de la production de matières fissiles à base d'uranium fortement enrichi pour les besoins de la Défense, ayant entraîné la fermeture des quatre usines d'enrichissement, le CEA/DAM assure la maîtrise d'ouvrage du démantèlement des usines d'enrichissement de Pierrelatte (26).

Il assure également le démantèlement des réacteurs UNGG G2 et G3 de Marcoule (30) qui ont fabriqué du plutonium destiné à la force de dissuasion.

Il en est de même pour les réacteurs PAT et RNG à Cadarache (13) dont le CEA/DAM assure la maîtrise d'ouvrage du démantèlement.



Démantèlement des réacteurs UNGG G2 et G3 de Marcoule (30)

Le Centre d'expérimentation du Pacifique

Des déchets issus des expérimentations nucléaires passées sont stockés sur les sites de Mururoa, de Fangataufa et d'Hao en Polynésie française (voir chapitre 4).

3.2.2 Les établissements de la Défense nationale

Ce domaine regroupe les activités professionnelles liées à la Défense nationale (hors centres d'études, de production ou d'expérimentations travaillant pour la force de dissuasion traités précédemment) et détenant des déchets radioactifs, qu'elles relèvent directement du ministère de la Défense ou qu'elles travaillent pour son compte : Armée de l'air, Armée de terre, Marine nationale, Direction Générale de l'Armement (DGA), Services de santé des armées (SSA) et Gendarmerie nationale.

Il est à noter que, depuis le 1^{er} janvier 2009, la Gendarmerie nationale ne dépend plus du ministère de la Défense mais du ministère de l'Intérieur.

Cependant, leurs typologies de déchets sont les mêmes que les différents états-majors. Dans la suite du chapitre, la gendarmerie est donc rattachée aux établissements de la Défense nationale.

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 de sites recensés).

Certaines pièces de moteur d'avions réformés, contenant du thorium, sont aussi recensées (carter en alliage magnésium/thorium par exemple).

Plusieurs établissements regroupent ces déchets pour centraliser et simplifier leur gestion. C'est le cas, par exemple, du site de Châteaudun (28) pour l'Armée de l'air ou du site de Saint-Priest (69) pour l'Armée de terre.

À terme, il est prévu deux centres de regroupement de déchets inter armées : le site de Châteaudun (28) pour les déchets contenant du thorium et le site de Neuvy-Pailloux (36) pour les autres déchets radioactifs.

Le centre de tri et d'entreposage de déchets radioactifs de Neuvy-Pailloux (36) est en cours de construction pour remplacer le centre de Saint-Priest (69) qui est saturé et non conforme du fait des évolutions réglementaires de radioprotection.

Ce centre aura pour mission de trier et de traiter les déchets de la Défense nationale, de les entreposer pendant 25 ans environ et de les conditionner conformément aux préconisations de l'Andra pour une prise en charge dans un exutoire définitif.

Cet entreposage est prévu d'être mis en service en 2013. Le site de Châteaudun (28), déjà opérationnel, continuera d'entreposer uniquement des déchets thoriés jusqu'à leur prise en charge par l'Andra.



Sous-marin Le Redoutable

Les ports de la Défense nationale

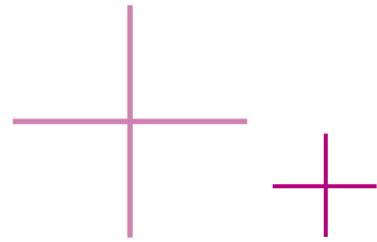
Les ports militaires de Brest/Île Longue (29), de Cherbourg (50) et de Toulon (83) produisent des déchets, pour la plupart de type TFA, en raison des opérations de construction, d'exploitation, d'entretien et de démantèlement des chaufferies des sous-marins et du porte-avions.

Les tranches réacteurs des sous-marins en démantèlement sont entreposées à Cherbourg (50).



Sous-marin Le Redoutable : découpe de la tranche réacteur

3.2



Les établissements DCNS et DGA

DCNS fabrique des éléments des chaufferies nucléaires équipant les navires de la Marine nationale en collaboration avec AREVA.

DGA sur son site de Bourges (18) renferme des déchets radioactifs qui résultent des expérimentations et des essais menés sur des armes contenant de l'uranium sous forme appauvrie en isotope 235.

Les déchets produits par les établissements de la Défense nationale

Cent six sites produisant et/ou détenant des déchets radioactifs ont été répertoriés.

Le *tableau ci-contre* détaille les 28 types de déchets recensés sur ces sites.

Il s'agit essentiellement de petits matériels réformés incorporant des peintures luminescentes au radium ou au tritium (boussoles, plaques, lignes de mire, cadrans...).

La plupart de ces objets sont considérés comme des sources scellées usagées (*voir dossier 2*).

Typologie de déchets recensés par la Défense nationale

Types de déchets	Radionucléides
Boussoles	^3H ou ^{226}Ra
Dispositifs de visée	^3H ou ^{226}Ra
Cadrans, indicateurs	^3H ou ^{90}Sr ou ^{226}Ra
Plaques radioluminescentes	^3H ou ^{226}Ra
Tubes électroniques	^3H
Tubes électroniques	^{60}Co , ^{63}Ni , ^{137}Cs
Tubes électroniques	U, Pu, ^{226}Ra
Dispositifs de contrôle	^{14}C
Dispositifs de contrôle	^{90}Sr
Dispositifs de contrôle	Pu, ^{241}Am , ^{226}Ra
Pièces métalliques	alliages Mg-Th
Paratonnerres	^{226}Ra ou ^{241}Am
Détecteurs de fumée	^{241}Am
Déchets technologiques	^3H
Déchets technologiques	^{60}Co , ^{137}Cs
Déchets technologiques	Th, ^{241}Am , ^{226}Ra
Déchets de laboratoires	^3H
Déchets de laboratoires	^{14}C
Déchets de laboratoires	^{60}Co , ^{137}Cs
Déchets de laboratoires	Th, U, Pu, ^{241}Am
Échantillons de laboratoire	Th, U, Po

3.2.3

Les inventaires des matières et déchets à fin 2010, 2020 et 2030

Stock de déchets par catégorie

La quasi totalité des déchets tritiés sont produits par le secteur de la Défense. Environ 98% des déchets qui seront produits d'ici fin 2030 sont issus des installations en lien avec les travaux menés pour la force de dissuasion.

Volume de déchets par catégorie en m³ équivalent conditionné* (hors sources scellées usagées)

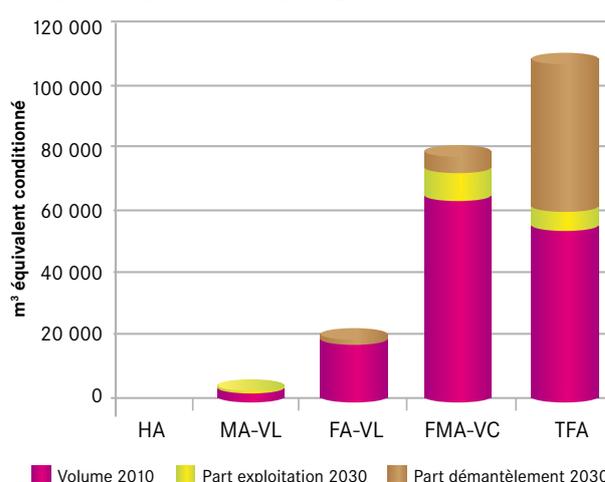
Catégorie	Volume à fin 2010	Volume prévisionnel 2020	Volume prévisionnel 2030
HA	230	230	230
MA-VL	3 000	3 000	3 000
FA-VL	18 500	19 000	20 000
FMA-VC	60 200	65 500	71 500
TFA	55 000	96 000	108 500
T-FMA-VC	4 500	6 100	7 400
Total	~ 141 000	~ 190 000	~ 210 000

* Les chiffres sont arrondis à la dizaine de m³ pour les déchets HA et à la centaine ou au millier de m³ pour les autres déchets.

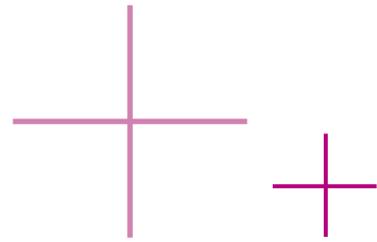
Volume de sources scellées usagées à fin 2010

Catégorie	m ³ équivalent conditionné
FA-VL	24
FMA-VC	1
TFA	25
T-FMA-VC	7

Part démantèlement à fin 2030



3.2

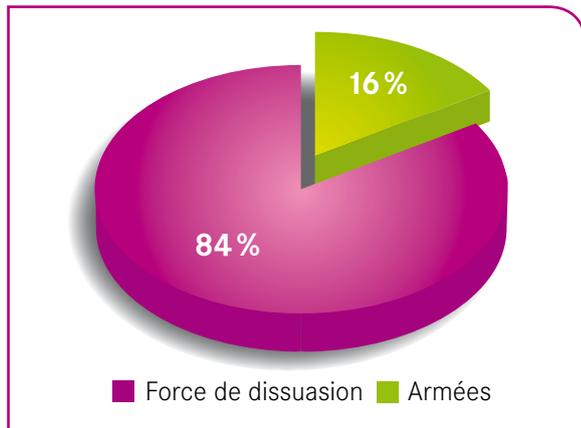


Répartition par activité à fin 2010

Parmi les déchets de la Défense, plus de 80% sont produits par les installations d'études, de production ou d'expérimentations travaillant pour la force de dissuasion.

Moins de 0,1% du volume de déchets des armées concerne des objets considérés comme des sources scellées usagées.

Volume de déchets à fin 2010 réparti par activité (hors sources scellées usagées)



Répartition en m³ équivalent conditionné*

Catégorie	Armées	Force de dissuasion
HA	0	230
MA-VL	0	3 000
FA-VL	700	17 800
FMA-VC	18 900	41 500
T-FMA-VC	100	4 400
TFA	2 600	52 500

* Les chiffres sont arrondis à la dizaine ou à la centaine de m³.

Stock de matières

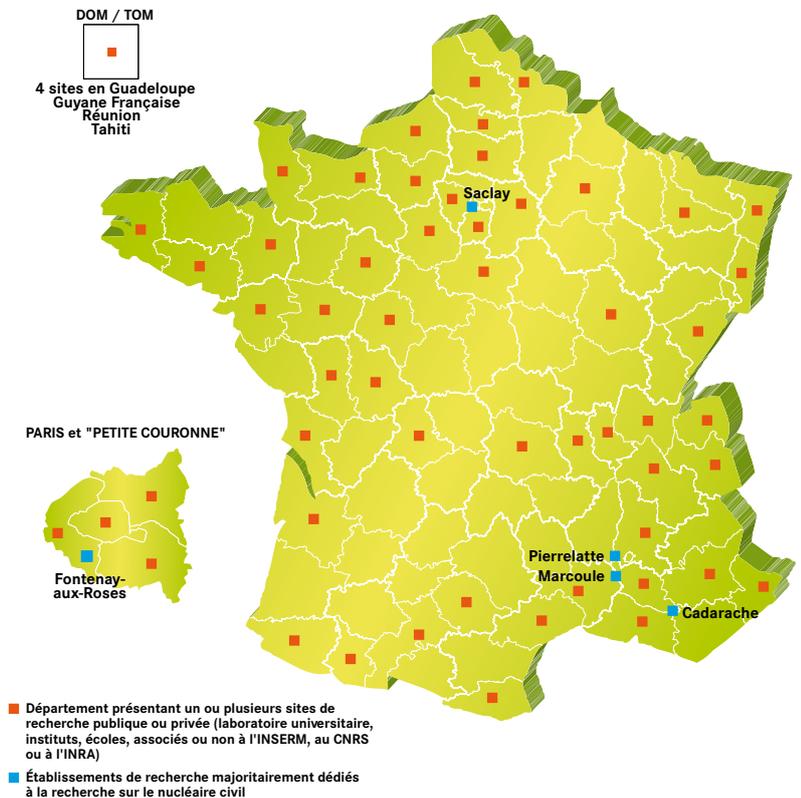
Matières	Masse (t)		
	2010	2020	2030
Combustibles de la Défense nationale	146	218	284

3.3 Le secteur de la recherche

Le secteur de la recherche regroupe toutes les activités de recherche, à l'exception de celles menées pour le secteur de la Défense, qui sont intégrées à ce dernier. Les activités de recherche pour le secteur électronucléaire et le secteur médical en font d'anciens partenaires.



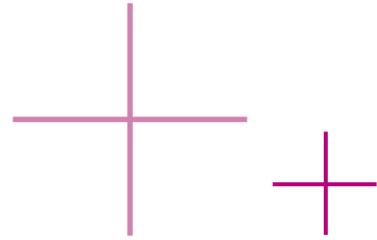
Laboratoire de recherche



Ce secteur comprend les installations et les établissements des centres d'études civils du Commissariat à l'énergie atomique (CEA) et tous les établissements publics ou privés à vocation de recherche. Parmi ces établissements hors CEA, un certain nombre utilise la radioactivité comme un outil de caractérisation le plus souvent et ne fait pas de recherche dans le domaine du nucléaire et en particulier de l'électronucléaire.

3.3.1 Les établissements des centres d'études civils du CEA

Le pôle de la direction de l'énergie nucléaire du CEA apporte un soutien permanent aux industriels nucléaires en France en cherchant à optimiser le parc actuel des réacteurs nucléaires et le cycle du combustible. Il met au point des solutions techniques pour le traitement et le conditionnement des déchets radioactifs.



La loi de 2006 prévoit que le CEA réalise un prototype de réacteur de 4^{ème} génération (réacteur ASTRID) et poursuive, dans un cadre européen, des recherches sur la fusion thermonucléaire contrôlée, avec, pour objectif à très long terme, la production d'électricité. Le CEA est responsable de l'assainissement et du démantèlement de ses installations nucléaires. Il conduit aussi des programmes sur l'impact sanitaire et environnemental de l'énergie nucléaire.

Le CEA dispose de 5 centres civils d'études. Il y exploite de nombreuses installations, laboratoires et réacteurs nucléaires de recherche pour mener à bien ses programmes de R&D. La gestion de ces installations nucléaires induit la production de déchets similaires à ceux des autres exploitants nucléaires (déchets de maintenance, outils contaminés...) mais d'une variété souvent plus étendue. Ses activités de recherche sur le fonctionnement des réacteurs et sur le traitement des combustibles usés l'amènent à gérer des déchets du type de ceux évoqués au paragraphe 3.1.

Les centres civils du CEA

Marcoule (Gard)

Les activités du centre de Marcoule concernant le traitement du combustible sont décrites page 68. Les déchets issus des opérations de traitement des combustibles liés à des activités de R&D sont intégrés dans les bilans du présent paragraphe.

Les installations du centre de Marcoule en cours d'exploitation sont dédiées à la recherche et au développement de techniques de préparation de l'uranium, de procédés industriels de traitement du combustible plus performants, de traitement des combustibles nucléaires usés (loi du 28 juin 2006), de techniques d'assainissement et de démantèlement des installations nucléaires en fin de vie et de gestion des déchets les plus radioactifs.

Deux réacteurs sont en attente de démantèlement :

- le réacteur Phénix construit et exploité par le CEA et EDF était un outil de recherche notamment pour des programmes sur la consommation du plutonium et l'incinération des actinides. Il a été arrêté en 2009 et est aujourd'hui en cours de préparation pour démantèlement ;
- le réacteur G1, utilisé à des fins de recherche pour la force de dissuasion, est arrêté et est sous la responsabilité du CEA civil.



Centrale Phénix à Marcoule (30)

Cadarache (Bouches-du-Rhône)

Les activités du centre de Cadarache sont réparties autour de plusieurs plates-formes de recherche et développement (R&D) essentiellement dédiées à l'énergie nucléaire. C'est par exemple à Cadarache que le réacteur ITER doit être construit. Il doit permettre de franchir une étape importante entre les machines actuelles et d'éventuels futurs réacteurs de production d'électricité fondés sur la fusion, en apportant la démonstration de la faisabilité scientifique de ce procédé.

Par ailleurs, les activités de R&D menées à Cadarache visent à optimiser les réacteurs nucléaires et à étudier 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 : SCARABÉE, CABRI).

Le site dispose d'une vingtaine d'installations parmi lesquelles des installations de R&D sur les combustibles nucléaires et les matériaux irradiés, des installations de traitement des déchets et des installations d'entreposage de déchets et de matières.

Saclay (Essonne)

Le centre de Saclay dispose de moyens lourds (laboratoire LECL, réacteurs ORPHÉE et OSIRIS) pour la recherche fondamentale et les recherches appliquées aux besoins de la production électronucléaire.

Une partie des déchets produits est traitée et conditionnée dans les installations supports du centre : INB 72 pour les solides et INB 35 et STELLA pour les liquides. D'autres sont transférés vers Marcoule (30) ou Cadarache (13) pour traitement. Les réacteurs pilotes EL2 et EL3 de la filière à eau lourde restent à démanteler.



Vue d'ensemble de STELLA et de l'INB35 (91)

Fontenay-aux-Roses (Hauts-de-Seine)

Le centre de Fontenay-aux-Roses est en pleine mutation : ses installations nucléaires de recherche, mises à l'arrêt, font l'objet d'un programme d'assainissement et de démantèlement qui est en cours. Les déchets produits sont, pour la plupart, contaminés par des émetteurs alpha ainsi que par des produits de fission.

Sur ce site, les recherches concernaient les domaines du génie chimique, du traitement des assemblages combustibles et de la chimie des éléments transuraniens.

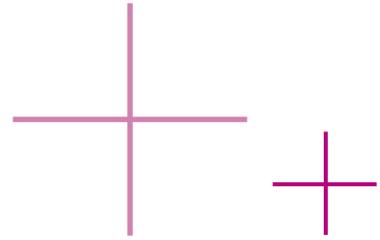
Grenoble (Isère)

Les principales installations concernées par les opérations d'assainissement et de démantèlement du centre CEA de Grenoble (projet PASSAGE) ont été mises à l'arrêt définitif selon le calendrier suivant : Mélusine (1988), Siloé (1997), Siloette (2002), LAMA (2002) et STED (2003). Les décrets de démantèlement ont été obtenus en 2004 pour le réacteur Mélusine, en 2005 pour les réacteurs Siloette et Siloé, et en 2008 pour le laboratoire LAMA ainsi que pour la station de traitement des effluents et des déchets STED.

Les opérations d'assainissement et de démantèlement de l'ensemble de ces installations seront terminées à la fin de l'année 2012. Le décret de déclassement de Siloette a été obtenu en 2007, celui de Mélusine en 2011, ceux des autres installations seront obtenus à l'horizon 2013. À l'issue du déclassement, certaines installations seront conservées, d'autres auront été détruites. Les activités du centre de Grenoble sont centrées autour des nouvelles technologies de l'information et de la communication, des biotechnologies, des nouvelles technologies de l'énergie et des nanomatériaux.



Assainissement du réacteur MÉLUSINE à Grenoble (38)



3.3.2 Les établissements de recherche (hors centres CEA)

Ce secteur d'activité regroupe tous les établissements publics ou privés à vocation de recherche, ainsi que les unités des grands établissements ou des grands groupes industriels qui se consacrent, essentiellement ou exclusivement, à la recherche.

De nombreux établissements publics ou privés utilisent des radionucléides. Globalement l'Andra a dénombré, à fin 2010, environ 570 producteurs dans le domaine de la recherche (hors CEA).

On peut citer notamment :

- des laboratoires de recherche médicale ou de l'INSERM, dépendant des facultés de médecine ou de pharmacie, et hébergés au sein des hôpitaux ou des CHU ;
- des laboratoires du CNRS ou des unités mixtes de recherche associées au CNRS, le plus souvent hébergés au sein de facultés, d'instituts ou de grandes écoles ;
- des unités de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3), dont les accélérateurs de particules d'Orsay (91) et de Caen (14) (GANIL) ;
- le réacteur de l'institut Laue-Langevin (ILL) à Grenoble (38) et le Centre européen pour la recherche nucléaire (CERN), à la frontière franco-suisse ;
- des établissements du secteur privé comme SANOFI ou L'Oréal ;
- des réacteurs et des installations diverses arrêtés (dont le réacteur universitaire de Strasbourg (67)).



Laboratoire de recherche

Dans ce secteur, les radionucléides de durée de vie très courte les plus couramment utilisés sont le phosphore 32 et 33, le soufre 35, le chrome 51, l'iode 125. En biologie cellulaire et moléculaire, ils servent à marquer des molécules auxquelles ils sont incorporés. Pour les radionucléides à vie courte, le tritium est souvent utilisé.

Concernant les radionucléides à vie longue, c'est le carbone 14 qui sert fréquemment de marqueur. Ces radionucléides s'utilisent souvent sous forme de sources non scellées (c'est-à-dire de petits échantillons de liquides). Après utilisation, ils deviennent des déchets liquides en général confiés à l'Andra qui les expédie pour traitement à CENTRACO (30) (voir paragraphe 3.1).

Les déchets de période inférieure à 100 jours sont gérés sur place par décroissance de leur radioactivité.

Les déchets de période supérieure à 100 jours issus de ces activités de recherche (hors centres CEA) sont des déchets FMA-VC ou TFA.

3.3.3

Les inventaires des matières et déchets à fin 2010, 2020 et 2030

Stock de déchets par catégorie

Les volumes prévisionnels ne prennent pas en compte les déchets tritiés d'exploitation d'ITER qui seront produits à partir de 2020, puisque cette installation n'est pas autorisée. Le volume des sources usagées considérées comme des déchets est de l'ordre d'un mètre cube équivalent conditionné ; elles sont de catégorie FMA-VC.

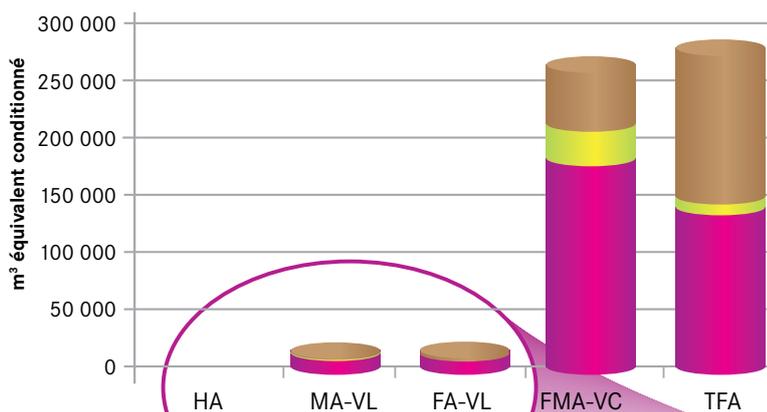
Volume de déchets par catégorie en m³ équivalent conditionné (hors sources scellées usagées)*

Catégorie	Volume à fin 2010	Volume prévisionnel 2020	Volume prévisionnel 2030
HA	200	200	200
MA-VL	9 600 **	10 500	11 200
FA-VL	9 600	9 600	12 400
FMA-VC (y compris T-FMA-VC)	182 000	224 000	263 500
TFA	138 000	208 000	278 000
Total	~ 340 000	~ 452 000	~ 565 000

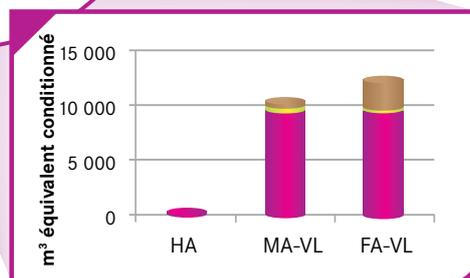
* Les chiffres sont arrondis à la dizaine de m³ pour les déchets HA et à la centaine ou au millier de m³ pour les autres déchets.

** Erratum janvier 2013..

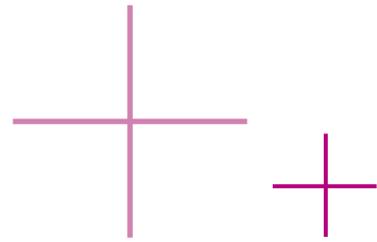
Part démantèlement à fin 2030



■ Stock 2010
 ■ Part exploitation 2030
 ■ Part démantèlement 2030



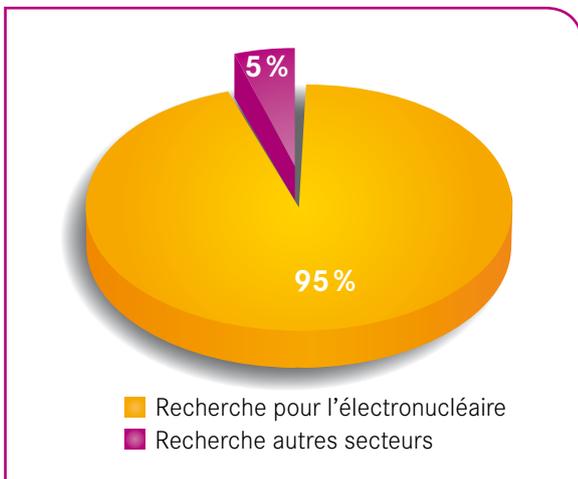
3.3



Répartition par activité

Les déchets produits dans le secteur de la recherche proviennent à près de 95% des installations du domaine de l'électronucléaire.

Volume de déchets à fin 2010 réparti par activité (hors sources scellées)



Répartition en m³ équivalent conditionné*

Catégorie	Recherche pour l'électronucléaire	Recherche autres secteurs
HA	200	0
MA-VL	9 600	2
FA-VL	9 600	30
FMA-VC	166 000	16 100
TFA	136 000	1 900

* Les chiffres sont arrondis à la dizaine de m³ pour les déchets HA, MA-VL et FA-VL et à la centaine ou au millier pour les autres déchets.

Stock de matières

Matières	Masse (tML)		
	2010	2020	2030
Combustibles usés des réacteurs civils de recherche, en attente de traitement (dont Phénix)	53	14	9
Plutonium issus des combustibles usés après traitement	2	2	2
Uranium appauvri	175	175	175
Uranium enrichi	14	14	14
Uranium naturel extrait de la mine	13	13	13
Combustibles métalliques usés, en attente de traitement	15	15	15

3.4 Le secteur de l'industrie non électronucléaire

3.4.1 L'industrie qui utilise la radioactivité

Cette activité englobe la fabrication et l'utilisation des sources radioactives (scellées ou non scellées) hors du domaine médical.

Elle concerne 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...).



Paratonnerre au radium

La durée de vie d'une source scellée est limitée et la rend inutilisable au bout de quelques mois ou de quelques années, en fonction de la période du radionucléide considéré. Elles ne sont pas systématiquement considérées comme des déchets ultimes.

Auparavant, le décret 2002-460 du 4 avril 2002 imposait à l'utilisateur de sources scellées de faire reprendre les sources périmées ou en fin d'utilisation au plus tard au bout de 10 ans, sauf dérogation accordée par l'ASN.

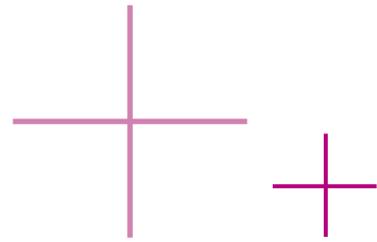
Aujourd'hui, l'article R. 1333-52 du Code de la santé publique, introduit par le décret 2007-1582 du 7 novembre 2007, précise qu'à titre dérogatoire cette obligation n'est pas applicable lorsque les caractéristiques des sources scellées permettent une décroissance sur le lieu d'utilisation (notamment pour les faibles activités et les périodes courtes).

Par ailleurs, l'article R. 4452-12 du Code du travail impose des contrôles techniques périodiques de radioprotection des sources scellées utilisées. Bon nombre de sources scellées 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 (*voir dossier 2*).

3.4.2 L'industrie qui concentre la radioactivité naturelle

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.



Source pour irradiateurs industriels

Elles peuvent ainsi être à l'origine de déchets radioactifs, essentiellement de faible ou très faible activité.

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 peuvent présenter alors des niveaux de radioactivité suffisamment élevés pour imposer une gestion particulière.

La réglementation prévoit pour ces cas une étude d'impact potentiel pour définir la filière adéquate, classique ou spécifique.

La totalité des industries susceptibles de produire de tels déchets radioactifs naturels est difficile à déterminer. L'exploitation des propriétés radioactives des matériaux naturels utilisés n'est pas toujours l'objectif de l'industriel.

Le procédé utilisé peut, dans certains cas, employer des matières premières minérales, plus ou moins riches en radionucléides naturels et éventuellement, indirectement concentrer la radioactivité dans les déchets.

Une typologie des industries susceptibles de produire actuellement des déchets naturellement radioactifs est décrite dans le dossier 3.

Les filières de gestion recensées à ce jour pour ce type de déchets sont le Centre de stockage pour les déchets de très faible activité (10), le futur centre de stockage de déchets radifères, les centres de stockage conventionnels lorsque l'étude d'impact a montré qu'il n'y a pas d'incidence sur l'homme et l'environnement. Certains déchets ont été stockés par le passé à proximité des installations (voir chapitre 4).



Sources pour gammagraphie



Usine RHODIA – Déchets FA-VL

3.4.3 Les inventaires des matières et déchets à fin 2010, 2020 et 2030

Stock de déchets par catégorie

Stock de déchets à fin 2010, 2020 et 2030 en m³ équivalent conditionné* (hors sources scellées usagées)

Catégorie	Volume à fin 2010	Volume prévisionnel 2020	Volume prévisionnel 2030
MA-VL	1	1	1
FA-VL	19 200	20 700	27 800
FMA-VC (y compris T-FMA-VC)	17 800	18 000	18 200
TFA	8 300	21 200	32 400
Total	~ 45 300	~ 59 900	~ 78 400

* Les chiffres sont arrondis à la centaine ou au millier pour les déchets autres que MA-VL.

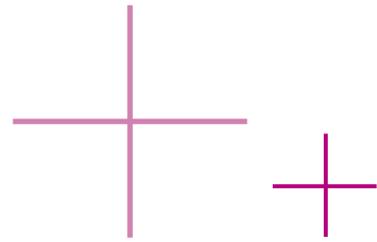
Volume à fin 2010 de sources scellées usagées en m³ équivalent conditionné par catégorie

Catégorie	Volume
FA-VL	121
MA-VL	125
TFA	21
Total	266

Stock de matières

Matières	Masse (t)		
	2010	2020	2030
Matières en suspension (sous-produits du traitement des minerais de terres rares)	23 454		
Thorium	9 400	9 334	9 224

3.4

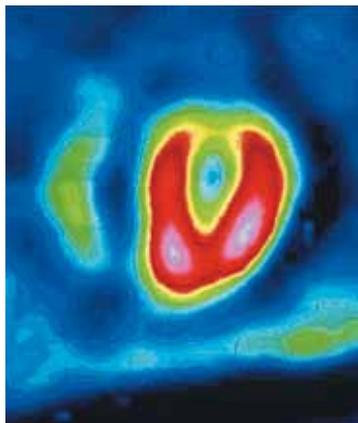


3.5 Le secteur médical

Ce secteur économique regroupe tous les établissements de statut public ou privé qui utilisent des radionucléides à des fins d'analyses ou de soins dans le domaine de la médecine. Les centres de recherche médicale en sont exclus et appartiennent au secteur économique recherche.



Scanner



Scintigraphie cardiaque

Ce secteur recouvre principalement trois 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*.

Ces établissements utilisent essentiellement des sources non scellées, c'est-à-dire des radionucléides contenus dans des solutions liquides.

Les services de médecine nucléaire et les laboratoires associés à la médecine nucléaire en sont les plus grands consommateurs. Ces mêmes établissements emploient aussi des sources scellées, pour la radiothérapie, la curiethérapie et l'étalonnage des appareils de mesure de l'activité des produits injectés aux patients (voir dossier 2).

Les déchets liquides produits sont gérés de deux manières différentes qui dépendent de la durée de vie des radionucléides qu'ils contiennent :

- décroissance sur place pour les très courtes durées ;
- traitement à CENTRACO (30) et stockage dans les centres de l'Andra pour les plus longues durées.

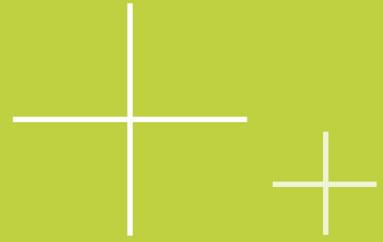
En dehors des sources, les déchets solides sont aussi gérés soit en décroissance sur place puis stockés par la filière conventionnelle, soit directement dans un centre Andra après traitement et conditionnement.

Les inventaires de déchets

A fin 2010, le volume de déchets produits par ces activités médicales, en dehors des sources scellées usagées, est de 8 558 m³. La quasi-totalité de ces déchets est de catégorie FMA-VC.

3.5





Les situations historiques

Les situations historiques

Les modalités de gestion des déchets radioactifs ont évolué au cours du temps. Ce chapitre recense les différents sites où se trouvent des déchets radioactifs résultant de choix de gestion fait à l'époque où ils ont été pris en charge. Tous ces sites font l'objet d'une surveillance environnementale, qui permet de vérifier que l'impact lié à ces déchets est maîtrisé, ou dans le cas contraire, de prendre les mesures adéquates de protection de l'environnement et des populations.

La plupart des sites mentionnés ici font l'objet d'une fiche dans l'Inventaire géographique. Les quantités de déchets présentées dans ce chapitre ne sont pas incluses dans les bilans présentés dans les chapitres 2 et 3.

4.1 Les centres de stockage de déchets conventionnels

Des centres de stockage de déchets conventionnels, appelés maintenant installations de stockage de déchets (ISD), ont reçu par le passé, régulièrement ou occasionnellement, des déchets comportant de faibles quantités de radioactivité qui avoisinent quelques becquerels par gramme.

Ces derniers ne présentent pas d'enjeu de radioprotection et ont ainsi pu être éliminés dans une filière conventionnelle, dans les conditions de l'époque et les réglementations et instructions en vigueur.

Les sites en ayant accueilli sont cependant présentés dans l'*Inventaire national* par souci d'exhaustivité.

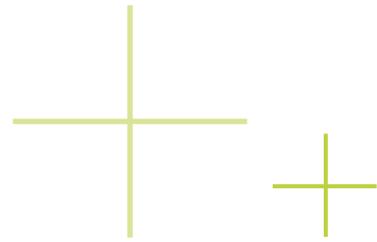
Les déchets autrefois gérés dans ces centres de stockage conventionnels proviennent pour partie des centres d'études du CEA (déchets de démantèlement, terres et gravats venant d'opérations d'assainissement diverses...).

Les sites de ce type recensés dans l'*Inventaire national* sont au nombre de treize. Ils se trouvent sur les communes suivantes :

- Angervilliers dans l'Essonne (91) ;
- Bailleau-Armenonville dans l'Eure-et-Loir (28) ;
- Bellegarde dans le Gard (30) ;
- Champteussé-sur-Baconne dans le Maine-et-Loire (49) ;
- Freney en Savoie (73) ;
- Menneville dans le Pas-de-Calais (62) ;
- Monteux dans le Vaucluse (84) ;
- Pontailler-sur-Saône en Côte-d'Or (21) ;
- Saint-Paul-lès-Romans dans la Drôme (26) ;
- Saint-Quentin-sur-Isère dans l'Isère (38) ;
- Solérieux dans la Drôme (26) ;
- Vif dans l'Isère (38) ;
- Villeparisis en Seine-et-Marne (77).

Parmi ces sites, seuls les stockages de Bellegarde (30) et de Villeparisis (77) continuent de recevoir des déchets à radioactivité naturelle renforcée (RNR), provenant de l'industrie non électronucléaire (voir dossier 3), dans des conditions conformes aux autorisations d'exploiter ces installations et en accord avec les circulaires ministérielles du 10 juin 2003 et du 25 juillet 2006 [1].

4.



4.2 Les stockages historiques sur site

Certains déchets radioactifs ont été stockés par le passé à proximité d'installations nucléaires ou d'usines. Ce sont le plus souvent des buttes, remblais ou lagunes. Les sites identifiés dans ce chapitre sont ceux pour lesquels l'exploitant ou le propriétaire de ces déchets radioactifs n'envisage pas de les reprendre à la date de sa déclaration à l'*Inventaire national*.

À fin 2010, les sites de ce type recensés dans l'*Inventaire national* sont les suivants :

- l'autoroute A126 de Chilly-Mazarin (91) : des déchets TFA issus du démantèlement de l'ancienne usine du Bouchet (91), de teneur moyenne en radium et en uranium comparable à celles rencontrées dans la nature (jusqu'à 3 becquerels par gramme), ont été utilisés sur le chantier de cette autoroute dans les années 1970 ;
- la butte de Montbouchet (91) : cette butte contient notamment des déchets TFA produits lors de l'assainissement de l'ancienne usine du Bouchet entre mai 1975 et mars 1977 ;
- la butte de Pierrelatte (26) : des déchets de fluorines provenant de l'usine de COMURHEX ont été enfouis dans cette butte de terre entre 1964 et 1977 ;
- la butte de Bugey (01) : cette butte artificielle, constituée de déblais naturels divers, contient 130 m³ de résines échangeuses d'ions ; des mesures ont montré une activité inférieure à 0,3 becquerels par gramme ;
- la lagune de Vernay à Loos-les-Lille (59) : ce site de traitement de minerai a généré des boues de filtration qui ont été stockées sur le site ;
- le port de La Pallice à La Rochelle (17) : des résidus de production de l'usine RHODIA ont été utilisés comme remblai sur ce port ;
- le site de l'usine Chef-de-Baie à La Rochelle (17) : des résidus solides ont été aussi utilisés comme remblai sur le site de l'usine.

On estime à un peu plus de 130 000 m³ la quantité totale de déchets stockés sur ces sites.



Les stockages historiques constitués avant 2000

En accord avec l'article 6 du décret PNGMDR [11], des investigations sur la présence de stockages historiques de déchets très faiblement actifs produits avant l'an 2000 et non déclarés à l'*Inventaire national*, sont conduites sur les INB et INBS du CEA, d'AREVA et d'EDF. Le programme d'investigation de ces stockages historiques comporte 3 phases :

- le recensement : effectué pour chaque site nucléaire et établi sur la base de la documentation relative à la gestion des déchets, les enquêtes historiques et la surveillance environnementale ;
- l'analyse et l'audit des sites avec un contrôle sur le terrain et une évaluation des mesures de surveillance ;
- les modalités de gestion.

Comme prévu dans l'arrêté pris en application du décret PNGMDR, un premier bilan d'avancement de ces études sera remis à mi-année 2012. Les sites identifiés seront ajoutés au fur et à mesure dans l'*Inventaire national*.

[11] Décret n° 2012-542 du 23 avril 2012 pris pour l'application de l'article L. 542-1-2 du Code de l'environnement et établissant les prescriptions relatives au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR).

4.3 Les stockages de déchets à radioactivité naturelle renforcée

Dans l'édition 2009 de l'*Inventaire national*, un certain nombre de sites produisant des déchets à radioactivité naturelle renforcée (RNR) a été identifié (voir dossier 3).

Le rapport de l'ASN en 2009 [III] a permis de recenser des sites supplémentaires détenant potentiellement des déchets RNR de faible activité.

Pour la présente édition, une partie de ces sites supplémentaires, qui ne sont plus exploités la plupart du temps, est considérée comme des sites de stockage de déchets RNR.

Il s'agit principalement des sites de :

- **stockage de phosphogypses**, issus de la production d'acide phosphorique servant à la fabrication d'engrais. Ces sites ne sont plus exploités et sont surveillés :
 - Anneville-Ambourville (76),
 - Saint-Étienne-de-Rouvray (76),
 - Rogerville (76),
 - Douvrin (62) ;
- **stockage de résidus** issus de la production d'alumine :
 - Gardanne (13),
 - Vitrolles (13),
 - Marseille (13) (Aygaldes, La Barasse-Saint-Cyr, La Barasse-Montgrand) ;



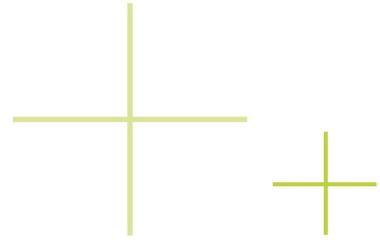
- **stockage de cendres de charbon** issues des centrales thermiques et non valorisables :
 - La Grand-Combe (30),
 - Fuveau (13),
 - Arjuzanx (40).

À noter que certains des terrils de cendres de charbon sont repris pour valorisation dans les matériaux de construction (béton) (voir dossier 3).

4.3

[III] Rapport ASN du 20 juillet 2009 « Bilan sur la gestion des déchets contenant de la radioactivité naturelle renforcée ».

Rapport ASN de décembre 2009 « Évaluation des expositions aux rayonnements ionisants dans les industries et activités professionnelles mettant en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides non utilisés en raison de leurs propriétés radioactives : bilan de l'application de l'arrêt du 25 mai 2005 relatif à ces activités ».



4.4 Les stockages de la Défense

Entre 1966 et 1996, le Gouvernement français a testé des armes nucléaires sur le Centre d'expérimentation du Pacifique (CEP), implanté sur les atolls de Mururoa et Fangataufa dans le Pacifique sud, sur le territoire de la Polynésie française.

Ces 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).

Les déchets stockés *in situ* sont présentés dans l'Inventaire géographique.



Atoll de Mururoa

4.5 Les sites miniers

L'extraction des minerais naturels contenant l'uranium (en mine à ciel ouvert ou en mine souterraine) ne se pratique plus en France (fermeture de la dernière mine en 2001).

Le traitement physique et chimique des minerais pour en extraire sélectivement l'uranium afin de le précipiter sous la forme d'un composé solide et stable couramment appelé *yellow cake* a conduit à la production de résidus de niveau d'activité comparable à celui des TFA.

Ces résidus, recensés dans l'*Inventaire national*, ont fait l'objet d'un stockage spécifique sur les anciens sites miniers de production ou à proximité. Les usines dans lesquelles étaient effectuées ces opérations ont toutes cessé leurs activités et ont été démantelées.

Ces stockages de résidus ont fait l'objet d'autorisations et de prescriptions de surveillance prises au titre de la police des installations classées ou de la police des mines.

Mine d'uranium de Bellezane (87)



En exploitation



Après réhabilitation

Les dix-sept sites de stockage concernés sont :

- Bauzot (71) ;
- Bellezane (87) ;
- Bessines-sur-Gartempe - Brugeaud (87) ;
- Bessines-sur-Gartempe - Lavaugrasse (87) ;
- Bertholène (12) ;
- Gueugnon (71) ;
- Jouac (87) ;
- La Commanderie (85-79) ;
- La Ribière (23) ;
- Le Cellier (48) ;
- L'Escarprière (44) ;
- Les-Bois-Noirs-Limouzat (42) ;
- Lodève (34) ;
- Montmassacrot (87) ;
- Rophin (63) ;
- Saint-Pierre-du-Cantal (15) ;
- Teufelsloch (68).

Sur une partie de ces sites, des déchets très faiblement actifs liés à l'usage ou au démantèlement d'installations de traitement des minerais ou de l'amont du cycle ont également été stockés sur place. Il s'agit des sites de Bauzot (71), Saint-Pierre-du-Cantal (15), Bessines-sur-Gartempe (87), Gueugnon (71), Lodève (34), Jouac (87), L'Escarprière (44), Les-Bois-Noirs-Limouzat (42). Par ailleurs, trois sites de la Division minière de la Crouzille (87) (AREVA, anciennement CEA/COGEMA), ont été utilisés dans les années 1970 et 1980 comme décharge pour des déchets très faiblement actifs issus de divers établissements de l'amont du cycle : Fanay (87), Margnac (87) et Peny (87).

Ces vingt anciens sites miniers sont recensés dans l'Inventaire géographique.

Un bilan de l'impact à long terme sur la santé et sur l'environnement des sites de stockage de ces résidus miniers a été remis au ministère en charge de l'Environnement en 2008 par AREVA en application de l'article 10 du décret du 16 avril 2008 [IV].

Par ailleurs, le Groupe d'Expertise Pluraliste (GEP) du Limousin a remis en 2010 un rapport sur l'impact actuel et à long terme



de ces exploitations minières. Ce rapport propose des options de gestion de surveillance [V].

Enfin, conformément à la circulaire du 22 juillet 2009 [VI], des bilans environnementaux de l'ensemble des sites miniers de responsabilité AREVA, incluant les sites de stockage de résidus de traitement sont en cours de réalisation. Un diagnostic des sites orphelins est aussi en cours.

Plus largement, l'inventaire MIMAUSA¹ (Mémoire et Impact des Mines d'urAniUm : Synthèse et Archives) recense de façon la plus exhaustive possible les sites sur lesquels ont été pratiquées des activités d'exploration, d'extraction ou de traitement du minerai d'uranium en France métropolitaine. Les sites orphelins seront également référencés dans cette base de données.

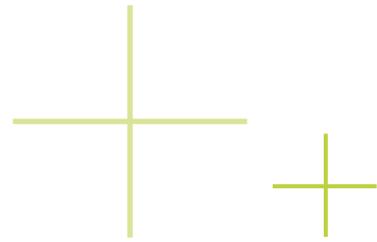
Par ailleurs, des déchets de résidus produits par l'usine COMURHEX, sont entreposés sur le site de Malvési (11). Ces déchets sont comptabilisés de manière spécifique dans les bilans alors que dans les précédentes éditions de l'*Inventaire national*, ils étaient inclus dans la famille des résidus de traitement d'uranium des anciens sites miniers et à ce titre n'apparaissaient pas dans les bilans.

Une grande partie de ces déchets est uniquement contaminée par l'uranium naturel. Toutefois, des déchets historiques sont contaminés par des radionucléides artificiels à la suite du traitement, à Malvési (11), d'uranium de retraitement. L'usine de Malvési ne convertit plus que de l'uranium naturel.

[IV] Décret n° 2008-357 du 16 avril 2008 pris pour l'application de l'article L.542-1-2 du Code de l'environnement et fixant les prescriptions relatives au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs.

[V] « Recommandations pour la gestion des anciens sites miniers d'uranium en France. Des sites du Limousin aux autres sites, du court au moyen et long termes », Rapport final du Groupe d'expertise pluraliste sur les mines d'uranium du Limousin (GEP), septembre 2010.

[VI] Circulaire du 22 juillet 2009.



4.6 Les sites contaminés par la radioactivité

La circulaire interministérielle du 17 novembre 2008 [VII] donne la définition suivante des sites pollués :

« Un site de pollution radioactive s'entend de tout site, abandonné ou en exploitation, sur lequel des substances radioactives, naturelles ou artificielles, ont été ou sont manipulées ou entreposées dans des conditions telles que le site présente des risques pour la santé et/ou l'environnement ».

La pollution constatée doit être imputable à une ou plusieurs substances radioactives, telles que définies par l'article L.542-1-1 du Code de l'environnement, à savoir toute « substance qui contient des radionucléides, naturels ou artificiels, dont l'activité ou la concentration justifie un contrôle de radioprotection ».



Chantier de décontamination à Gif-sur-Yvette (91)

La présence seule de radioactivité sur un site, qu'elle soit d'origine naturelle ou artificielle, ne signifie donc pas qu'il s'agit d'un site de pollution radioactive en tant que tel.

En particulier, un site peut simplement être marqué par la radioactivité, c'est-à-dire qu'il présente des traces de radionucléides naturels ou artificiels, détectables sans qu'il y ait d'action particulière à envisager du fait de l'absence de risques.

L'origine de la pollution de ces sites est rappelée, pour chacun, dans les fiches géographiques.

On trouve essentiellement des sites où du radium (ou des objets en contenant) a été fabriqué, entreposé ou commercialisé dans la première moitié du xx^e siècle (voir encadré page 101).

L'intérêt réel ou supposé de ces objets tenait aux propriétés radioactives du radium (objets médicaux ou paramédicaux) ou dérivait de ses propriétés (comme la radioluminescence).

[VII] Circulaire du 17 novembre 2008 relative à la prise en charge de certains déchets radioactifs et de sites de pollution radioactive. Mission d'intérêt général de l'Andra.

Politique en matière de gestion des sites et sols pollués par de la radioactivité

La gestion des sites et sols pollués par des substances radioactives s'inscrit dans le cadre général de la politique nationale de gestion des sites potentiellement pollués par des substances chimiques telle que précisée notamment dans la loi du 30 juillet 2003 et dans les textes diffusés le 8 février 2007 par le ministère en charge de l'Environnement. Le cas spécifique de la gestion des sites et sols pollués par de la radioactivité est décrit dans la circulaire du 17 novembre 2008 ainsi que dans le guide ASN-DGPR-IRSN de gestion des sites et sols potentiellement pollués par des substances radioactives de décembre 2011.

En pratique, dès lors qu'une exposition est mise en évidence, il convient de rechercher les actions de réduction de l'exposition adaptées et proportionnées à la situation rencontrée. La définition des objectifs de gestion doit être établie dans le respect du principe d'optimisation applicable en radioprotection en tenant compte des caractéristiques des pollutions, de la nature des usages existants ou prévus et du projet de réaménagement.



Gestion de déchets radioactifs sur le site contaminé de Pargny-sur-Saulx (51)

Deux situations types peuvent être définies en fonction de l'usage du site :

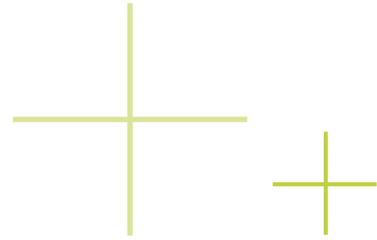
- les usages du site sont établis. Dans ce cas, la question posée est celle de la compatibilité des milieux (air, eaux, sols) avec les usages. Une interprétation de l'état des milieux (IEM) doit être réalisée, comparant les mesures réalisées dans l'environnement avec les références générales valables pour l'ensemble de la population ;
- les usages du site ne sont pas établis ou on peut agir sur ses usages (réhabilitation ou changement d'usage). Dans ce cas, un plan de gestion doit être réalisé et mis en œuvre. Il a pour but de déterminer les travaux à mettre en place pour rétablir la compatibilité de l'environnement avec les usages prévus.

Que la gestion du site pollué soit initiée au travers d'une interprétation de l'état des milieux ou d'un plan de gestion, la démarche nécessite de conduire un diagnostic dès lors qu'il existe une suspicion de contamination : c'est l'étape du lever de doute. Il comprend une étude documentaire et des investigations de terrain et vise en premier lieu à confirmer ou infirmer la présence des pollutions suspectées puis, le cas échéant, à en déterminer la localisation, la nature et le niveau. L'ampleur du diagnostic doit être adaptée aux enjeux identifiés.

Lorsque les valeurs de gestion relatives à la qualité des milieux ne sont pas suffisantes pour juger de la compatibilité entre les niveaux de pollution et les usages constatés, il est nécessaire de mettre en œuvre des évaluations d'exposition radiologique, basées sur des scénarios d'usages du public ou des travailleurs.

Conformément aux principes de radioprotection précisés à l'article L.1333-1 du Code de la santé publique, le bilan coût-avantage qu'il importe d'établir dès lors qu'on se trouve dans le cadre d'un plan de gestion, doit en premier lieu viser à réduire autant que raisonnablement possible l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants résultant de l'usage du site et des opérations de réhabilitation.

Ce bilan constitue une étape décisive dans la définition des choix de gestion. Il offre un cadre particulièrement adapté pour éprouver, en concertation avec les parties prenantes, la pertinence des hypothèses retenues et vérifier que le processus d'optimisation a été conduit correctement. Il doit permettre de déboucher sur une solution de gestion consensuelle et pérenne.



Opération diagnostic radium

Dans la continuité des démarches dépollution déjà entreprises en France dans les années 1990 sur des sites ayant abrité pour la plupart des activités d'extraction de radium et/ou de recherche, les pouvoirs publics français poursuivent leur démarche d'identification et de réhabilitation de ces sites.

En effet, le radium a été employé dans certaines activités médicales, notamment pour les premiers traitements du cancer.



Usine Bayard (76)

De même, ce radionucléide a été utilisé dans les activités artisanales telles que la fabrication horlogère (pour ses propriétés radioluminescentes), la fabrication de paratonnerres ou de produits cosmétiques jusque dans les années 1960. Ces activités ont pu générer des traces de pollution.

Sur la base des différents inventaires de sites industriels ayant pu détenir et utiliser du radium et notamment celui remis à jour par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire en 2007 à la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire, il apparaît que 134 sites sont aujourd'hui identifiés par les services de l'État comme ayant abrité une activité mettant en œuvre du radium en France. L'état radiologique de ces sites n'est pas ou mal connu des services de l'État. Les sites peuvent être, d'une part, des logements ou des locaux commerciaux et, d'autre part, des friches industrielles.

L'opération diagnostic radium, pilotée par l'Autorité de sûreté nucléaire, consiste en un diagnostic radiologique effectué par l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire. Dans le cas où des traces de radium sont mises en évidence, il est prévu, le cas échéant, la mise en œuvre de mesures de précaution et un suivi sanitaire des populations concernées. Enfin, la réhabilitation des sites présentant une pollution au radium est effectuée par l'Andra.

Cette démarche volontariste et positive de la part des pouvoirs publics est intégralement financée par des fonds publics et donc sans frais pour les occupants des locaux concernés, qu'il s'agisse du diagnostic, du suivi sanitaire individuel ou de la réhabilitation.

La première phase de diagnostics, concernant l'Île-de-France, a débuté fin septembre 2010.

On trouve également d'anciens sites industriels sur lesquels ont été exploités des minerais naturellement radioactifs, pour en extraire des terres rares, ce qui a conduit à une pollution du site par des résidus à radioactivité naturelle renforcée.

C'est le cas par exemple de l'ancienne usine Orflam-Plast, à Pargny-sur-Saulx (Marne), qui fabriquait des pierres à briquet à partir d'un minerai riche en thorium, au moyen d'un procédé qui concentrait la radioactivité dans les résidus solides.

L'Inventaire géographique présente les sites dont la pollution radioactive est avérée et reconnue par les pouvoirs publics (voir encadré page 100).



Site contaminé de Pargny-sur-Saulx (51)

Base de données BASIAS
<http://basias.brgm.fr>

La France a été l'un des premiers pays européens à conduire des inventaires des sites susceptibles d'être pollués (hors pollution radiologique) d'une façon systématique (premier inventaire en 1978). Les principaux objectifs de ces inventaires sont :

- recenser, de façon large et systématique, tous les sites industriels abandonnés ou non, susceptibles d'engendrer une pollution de l'environnement ;
- conserver la mémoire de ces sites ;

- fournir des informations utiles aux acteurs de l'urbanisme, du foncier et de la protection de l'environnement.

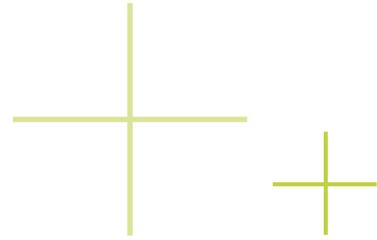
La réalisation d'inventaires historiques régionaux (IHR) des sites industriels et activités de service, en activité ou non, s'est accompagnée de la création de la base de données nationale BASIAS par arrêté ministériel en 1998 [VIII]. Cette base répertorie environ 180 000 sites qui ont accueilli par le passé une activité industrielle ou de service.

Base de données BASOL
<http://basol.ecologie.gouv.fr>

La base de données BASOL recense les sites et sols pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif. Aujourd'hui, elle répertorie environ 3 900 sites faisant l'objet de mesures de gestion pour prévenir les risques pour les populations riveraines et les atteintes à l'environnement.

4.6

[VIII] Arrêté du 10 décembre 1998 relatif à la création d'une base de données sur les sites industriels et d'activités de service anciens.



En termes de classification de ces sites, on distingue trois catégories :

- **les sites réhabilités** : les sites qui ont été réhabilités depuis la dernière édition ; ceux qui apparaissaient comme réhabilités en 2009 ne font plus l'objet de fiche.

Cependant, la mémoire de ces sites est conservée dans la base BASIAS développée par le BRGM (voir encadré page 102 - <http://basias.brgm.fr>) ;

- **les sites en cours de réhabilitation** : les chantiers de réhabilitation de ces sites sont en cours. Ils sont en partie répertoriés dans la base de données BASOL (voir encadré page 102 - <http://basol.ecologie.gouv.fr>) ;

- **les sites en attente de réhabilitation** : ces sites ont fait l'objet d'un lever de doute positif et sont en attente de réhabilitation. Certains de ces sites sont répertoriés dans la base de données Basias.

L'Inventaire géographique recense une quarantaine de sites pollués :

- 9 sites réhabilités depuis la précédente édition ;
- 20 sites en cours de réhabilitation ;
- 14 sites en attente de réhabilitation.

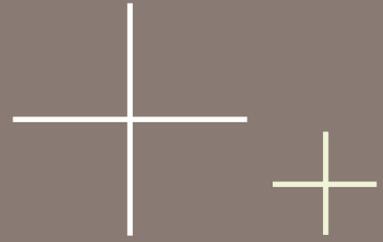
Certains sites (Ganagobie (04), Arcueil (94), Aubervilliers (93)...) présentés dans l'édition 2009 comme sites pollués, font l'objet de fiches détaillées dans l'Inventaire géographique de l'édition 2012.

Sites réhabilités	Sites en cours de réhabilitation	Sites en attente de réhabilitation
Chivres (21)	Annemasse (74)	Asnières (92)
Gueugnon* (71)	Bandol (13)	Charquemont (25)
Lac de Saint-Pardoux** (87)	Besançon (25)	Clichy (port autonome) (92)
Marnaz (74)	Chaville (92)	Colombes (lumina) (92)
Morteau (25)	Gif-sur-Yvette (lotissement) (91)	Colombes (sol essai) (92)
Oraison (04)	Gif-sur-Yvette (Fédéral Mogul) (91)	Compreignac (étang de La Rode) (87)
Paris 3 (75)	Île-Saint-Denis (93)	Huningue (68)
Pech Rouge (Gruissan) ² (11)	La Rochelle (Anse Saint-Marc) (17)	Marcheprime (33)
San-Giuliano (2B)	Le Perreux-sur-Marne (94)	Marseille (13)
	Lyon (Quai Claude-Bernard) (69)	Nogent-sur-Marne (YAB) (94)
	Nogent-sur-Marne (94) (ex-groupe scolaire Marie-Curie)	Paris 5 (75)
	Orsay (CNSM - Fac. Orsay) (91)	Paris 7 (75)
	Pargny-sur-Saulx (51)	Paris 8 (75)
	Paris 2 (75)	Paris 16 (75)
	Paris 5 (75)	
	Paris 17 (75)	
	Rueil-Malmaison (friche industrielle) (92)	
	Saint-Maur-des-Fossés (94)	
	Saint-Nicolas-d'Aliermont (Bayard) (76)	
	Wintzenheim (68)	
9	20	14

* Site réhabilité par confinement.

** Site réhabilité avec surveillance.



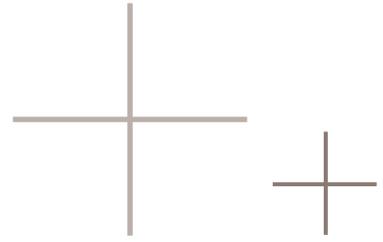


Dossiers thématiques

Les déchets immergés

Dossier

1



Suite aux travaux du Grenelle de la Mer qui s'est tenu en 2009, l'engagement a été pris de mettre en place une meilleure surveillance et un contrôle plus efficace du milieu marin.

En ce qui concerne les déchets radioactifs immergés, cet engagement se traduit par « Consolider l'inventaire des décharges sous-marines de déchets nucléaires, en apprécier la dangerosité et établir des priorités pour réaliser des analyses sur la faune et la flore sédentaire et les sédiments ». Le présent chapitre apporte des éléments de réponse sur les deux premiers points. Il synthétise notamment les données présentées dans les deux rapports en référence [1].

1. Contexte et historique

L'évacuation en mer a été de tout temps un moyen de gestion de tous types de déchets.

Les déchets radioactifs n'ont pas fait exception à cette règle.

La solution de l'immersion simple de ces déchets, c'est-à-dire le dépôt sur les fonds marins, sans enfouissement, après conditionnement pour les plus actifs d'entre eux, était en effet considérée comme sûre par la communauté scientifique car la dilution et la durée présumée d'isolement apportées par le milieu marin étaient suffisantes.

C'est ainsi que cette pratique a été mise en œuvre par de nombreux pays pendant plus de quatre décennies, à partir de 1946.



Immersion de déchets radioactifs en mer dans les années 1960

[1] AIEA 1999 : « Inventory of radioactive waste disposals at sea » (TECDOC 1105) et DSND : Visite de Mururoa du 24 juin 2010.

1.1. Contexte réglementaire

Les premiers textes réglementant l'immersion de déchets radioactifs ont été formulés par la Conférence des Nations Unies sur le droit de la mer de 1958.

Ces textes demandaient d'une part à tous les États de prendre des mesures visant à éviter la pollution des mers par déversement de déchets radioactifs et recommandaient d'autre part que l'AIEA¹ établisse des critères de sûreté et des recommandations sur ce sujet. Les États restaient toutefois libres d'organiser leurs opérations d'immersion.

Au début des années 1960, l'AIEA a recommandé que ces immersions aient lieu dans des sites spécialement désignés par une autorité compétente qui assurerait également le contrôle des opérations.

C'est dans cet esprit qu'à partir de 1967, l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE, qui ne comptait alors comme membres que des pays européens, a commencé à coordonner les collectes de déchets au niveau des États européens candidats, en vue d'optimiser les opérations d'immersion.

Puis la Convention de Londres de 1972, reconnue comme le principal dispositif international de contrôle de l'immersion de déchets dans la mer, a interdit, dès son entrée en vigueur en 1975, l'immersion de déchets fortement radioactifs et a exigé une autorisation spéciale pour immerger les déchets faiblement radioactifs.

La Convention de Londres a en outre confirmé le rôle de l'AIEA en matière de définition de règles spécifiques pour l'immersion de déchets radioactifs en mer.

Malgré la mise en place de ces dispositions réglementaires, un certain nombre de parties à la Convention se sont montrées préoccupées par les risques éventuels pour la santé humaine et l'environnement qu'implique l'évacuation en mer des déchets radioactifs. Un moratoire volontaire sur l'immersion de ces déchets a été adopté en 1983 dans l'attente d'un examen global de la question.

À l'issue de cet examen, auquel a largement contribué l'AIEA, les parties signataires de la Convention ont décidé en 1993 d'interdire l'immersion de tout type de déchets radioactifs dans la mer, en précisant toutefois que cette décision ne se fondait pas sur des considérations scientifiques et techniques, mais plutôt sur des critères moraux, sociaux et politiques.

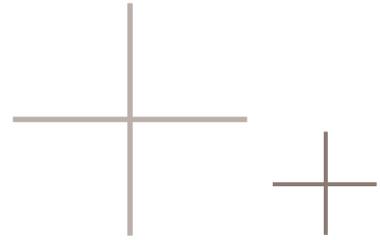
1.2 Les différents types de déchets immergés

Les déchets radioactifs qui ont fait l'objet d'immersions se présentent sous plusieurs formes :

- **des déchets liquides**, directement évacués en mer sur des sites dédiés ou mis en conteneurs mais non solidifiés ;
- **des déchets solides**, non conditionnés ou, pour la plupart, emballés, généralement dans des fûts métalliques, après incorporation dans une matrice de béton ou de bitume, conformément aux recommandations de l'AIEA.

Il s'y ajoute des cuves de réacteurs nucléaires, contenant éventuellement du combustible, provenant des États-Unis ou de l'ex-URSS.

¹ AIEA : Agence internationale de l'énergie atomique



1.3 Historique des immersions

La première opération d’immersion a été réalisée par les États-Unis en 1946 dans le Pacifique Nord-Est, à quelques 80 kilomètres au large de la côte de Californie, la dernière, hors ex-URSS, a eu lieu sous l’égide de l’AEN en 1982 dans l’Atlantique, à environ 550 kilomètres au large du plateau continental européen.

Entre ces deux dates, 14 pays ont procédé à des immersions dans plus de 80 sites du Pacifique et de l’Atlantique (et de ses mers adjacentes). L’activité totale des déchets immergés était d’environ 85 000 térabecquerels à la date de leur immersion.

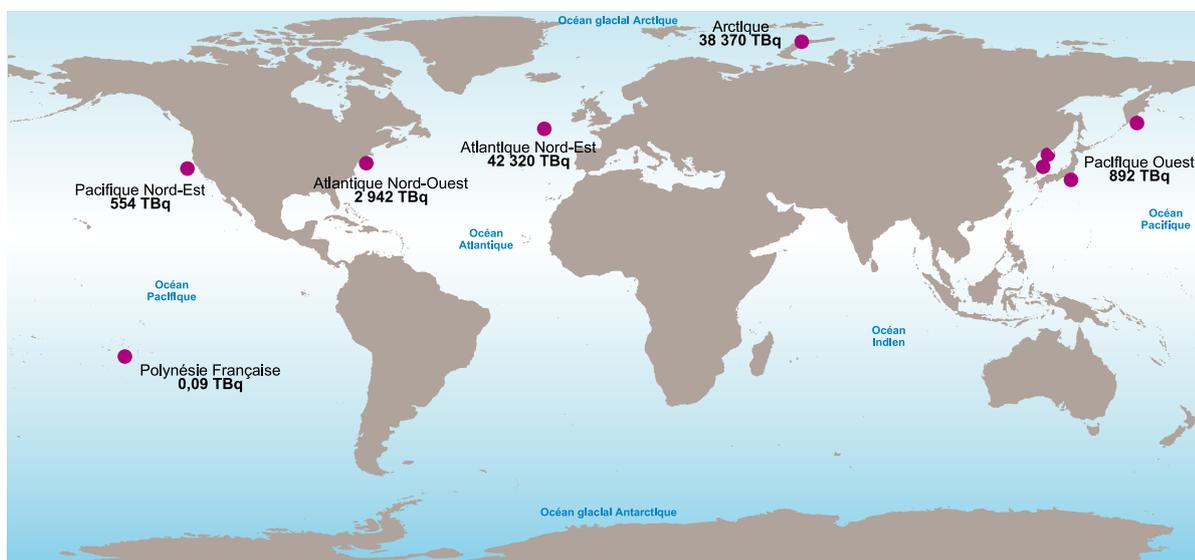
La *carte ci-dessous* recense les différents sites utilisés et le *tableau ci-dessous* indique les bilans d’activité immergée pour chaque zone concernée.

Répartition de l’activité des déchets immergés

	Activité α (TBq)	Activité β/γ (TBq)	Activité totale (TBq)	Pourcentage de l’activité totale (TBq)
Atlantique Nord-Est	675	41 645	42 320	49,7 %
Atlantique Nord-Ouest	-	2 942	2 942	3,5 %
Arctique	-	38 370	38 370	45,1 %
Pacifique Nord-Est	0,04	554	554	0,7 %
Pacifique Ouest	-	892	892	1 %
Pacifique (Polynésie française)	0,07	0,02	0,09	-
Total	~ 675	~ 84 400	~ 85 100	100 %

99 % de la radioactivité totale provient des déchets contenant des émetteurs bêta/gamma, notamment des produits de fission et d’activation tels que le strontium 90, le césium 137, le fer 55, le cobalt 58, le cobalt 60, l’iode 125, le carbone 14 et le tritium.

Sites d’immersion de déchets radioactifs dans le monde



2. Les immersions en Atlantique Nord-Est

La première immersion dans l'Atlantique Nord-Est en 1949, a été réalisée par le Royaume-Uni (qui avait déjà immergé en 1948 des déchets liquides dans ses eaux territoriales à l'est de Norwich) au travers d'une opération expérimentale menée dans un site situé à environ 600 km à l'ouest de la Bretagne.

Cette opération portait sur 9 tonnes de déchets conditionnés qui représentaient une activité de l'ordre de 0,04 térabecquerels.

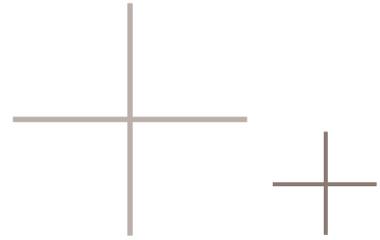
À partir de cette date et jusqu'en 1966, le Royaume-Uni, mais aussi la Belgique dans une moindre mesure, ont procédé régulièrement à des immersions dans différents sites de l'Atlantique et de la Manche. Ces deux pays ont notamment immergé des déchets dans la fosse des Casquets, située à 15 km au nord-ouest du Cap de La Hague (50) (*site 2 du tableau ci-dessous*).

Les immersions en Atlantique Nord-Est de 1949 à 1966

Site	Latitude	Longitude	Profondeur (m)	Date	Pays	Tonnage (t)	Activité (TBq)
1	48°30' N	13°0' W	3 600-4 000	1949	Royaume-Uni	9	0,04
2	49°50' N	2°18' W	65-160	tous les ans de 1950 à 1963	Belgique, Royaume-Uni	17 274	60
3	55°20' N	11°20' W	2 700	1951	Royaume-Uni	33	0,2
4	55°8' N	12°10' W	2 800	1953	Royaume-Uni	57	0,15
5	32°37' N	14°5' W	4 000-4 200	1955	Royaume-Uni	1 453	1,7
6	32°42' N	19°30' W	3 600-4 100	1957, 1958	Royaume-Uni	7 098	131
7	32°38' N	20°5' W	2 100-4 800	1961	Royaume-Uni	4 360	81
8	46°27' N	6°10' W	4 200-4 600	1962	Royaume-Uni	253	6,7
9	45°27' N	6°16' W	4 100-4 800	1963, 1964	Belgique, Royaume-Uni	10 201	850
10	48°20' N	13°16' W	1 900-4 500	1965, 1966	Royaume-Uni	2 803	617
TOTAL						~ 43 500	~ 1 800

La Suède a de son côté immergé 230 conteneurs (environ 44 m³) en mer Baltique, à environ 30 km au sud-est de l'île d'Öja, au cours de deux opérations en 1959 et 1961 pour une activité totale d'environ 15 gigabecquerels (0,015 TBq).

Le *tableau ci-dessus* synthétise les données recueillies par l'AIEA sur ces différentes opérations.



De 1967 à 1983, date à laquelle le moratoire sur l'évacuation des déchets faiblement radioactifs en mer a été signé, les opérations d'immersions ont été coordonnées par l'AEN. Elles ont concerné 3 sites, tous situés dans les fosses abyssales.

- **En 1967**, l'Allemagne, la Belgique, la France, le Royaume-Uni et les Pays-Bas ont immergé environ 11 000 tonnes de déchets (36 000 fûts) dans un site à 400 km au large de la Galice (Espagne) (site repéré en violet sur la *carte page 113*) par plus de 4 600 mètres de fond : ces déchets représentaient une radioactivité de l'ordre de 300 térabecquerels.

Les immersions coordonnées par l'AEN sur le site de 1967

Pays	Nombre de conteneurs	Masse (t)	Activité (TBq)
Allemagne	480	181	0,2
Belgique	1 945	600	7
France*	31 596	9 184	220
Royaume-Uni	-	722	66
Pays-Bas	-	207	0,07
TOTAL	34 021	10 894	293,27

* Ces données pour la France sont détaillées page 114.

- **En 1969**, une nouvelle opération, regroupant cette fois la Belgique, la France, le Royaume-Uni, l'Italie, les Pays-Bas, la Suède et la Suisse s'est traduite par l'immersion d'environ 9 000 tonnes de déchets correspondant à une radioactivité de l'ordre de 900 térabecquerels sur un site à 900 km à l'ouest de la Bretagne, à une profondeur comprise entre 4 000 et 4 600 m (site de Porcupine repéré en jaune sur la *carte page 113*).

Les immersions coordonnées par l'AEN sur le site de 1969

Pays	Nombre de conteneurs	Masse (t)	Activité (TBq)
Belgique	2 222	600	18
France*	14 800	5 015	134
Italie	100	45	0,2
Pays-Bas	-	303	1
Royaume-Uni	-	1 878	665
Suède	2 895	1 081	3,2
Suisse	100	224	13
TOTAL	20 117	9 146	834,4

* Ces données pour la France sont détaillées page 114.

• **De 1971 à 1982**, un seul site, d'une superficie de 4 000 km², situé au large du golfe de Gascogne, à près de 1 000 km des côtes françaises (sites repérés en vert sur la *carte page 113*) a été recommandé par l'AEN et utilisé par la Belgique, le Royaume-Uni, les Pays-Bas et la Suisse : 123 000 colis y ont été immergés pour environ 35 000 térabecquerels (*voir tableau ci-dessous*).

Les immersions sur le site AEN entre 1971 et 1982

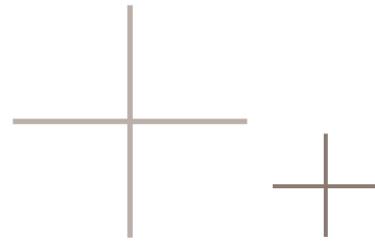
Pays	Nombre de conteneurs	Masse (t)	Activité (TBq)
Belgique	51 157	27 026	2 090
Royaume-Uni	-	23 788	29 050
Pays-Bas	> 28 428	18 652	335
Suisse	7 370	5 097	4 407
TOTAL	86 955	74 563	35 882

Pendant toute la période 1949-1982, le Royaume-Uni a en outre mené des opérations d'immersion dans une vingtaine d'autres sites relevant de ses eaux territoriales, notamment en mer d'Irlande, pour une activité d'environ 10 térabecquerels.

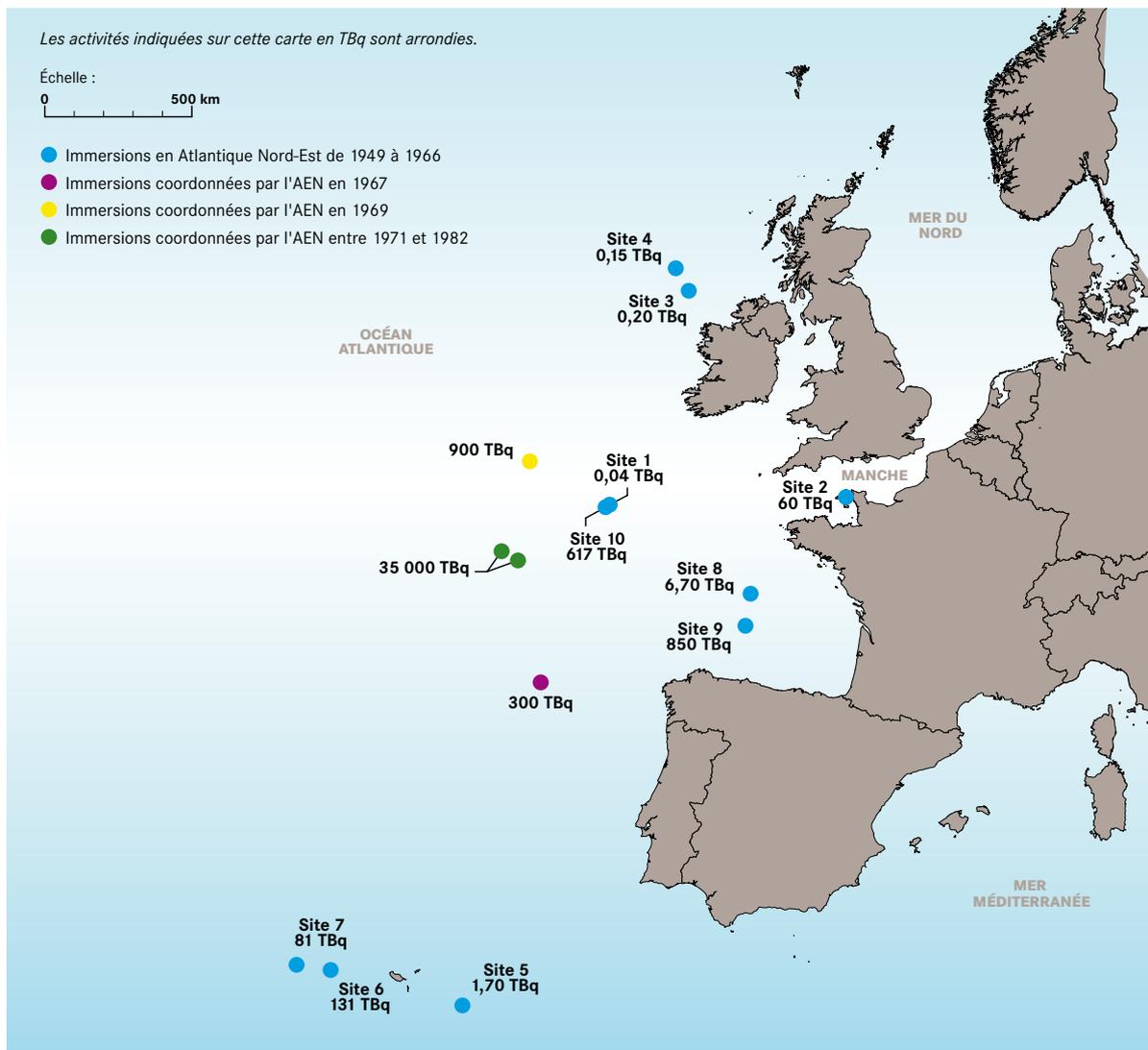
Il a par ailleurs procédé à deux opérations en 1968 et 1970 dans un site (site 10 du *tableau*

page 110) de l'Atlantique qu'il avait déjà utilisé en 1965 et 1966, y immergeant 4 838 tonnes de déchets pour une activité totale de 13 500 térabecquerels.

La *carte ci-contre* indique la localisation des sites utilisés dans l'Atlantique Nord-Est et les mers adjacentes ainsi que l'activité des déchets qui y ont été immergés (à la date de leur immersion).



Sites utilisés dans l'Atlantique Nord-Est



3. Les immersions pratiquées par la France

Comme indiqué ci-dessus, la France a pris part aux deux opérations coordonnées par l'AEN en 1967 et 1969 dans l'Atlantique Nord-Est.

Elle n'a pas participé aux campagnes suivantes coordonnées par l'AEN, l'ouverture du Centre de Stockage de la Manche ayant été autorisée en 1969.

Par ailleurs, la France a procédé à des immersions dans le Pacifique afin d'évacuer certains déchets induits par les activités liées aux essais nucléaires réalisés en Polynésie.

Trois sites ont été utilisés, tous situés dans les eaux territoriales françaises : 2 au large de l'atoll de Mururoa, 1 au large de l'atoll d'Hao.

Aucune immersion française n'a été pratiquée en Manche : seuls le Royaume-Uni et la Belgique ont utilisé la fosse des Casquets au nord-ouest du Cap de La Hague (50).

En ce qui concerne la Méditerranée, le CEA a annoncé en 1962 son intention d'immerger 6 500 fûts de déchets radioactifs, à une profondeur de 2 500 m à 80 km au large des côtes entre Toulon (83) et la Corse mais ce projet a été abandonné à la suite de différentes protestations.

Toutefois, afin de vérifier la faisabilité de telles opérations, des fûts inactifs ont été immergés dans cette zone.

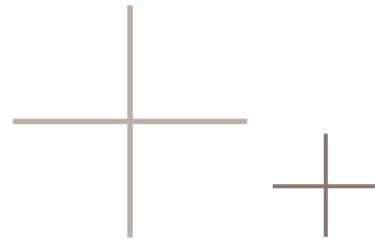
3.1. Détail des immersions françaises en Atlantique Nord-Est

Lors de la campagne d'immersion coordonnée par l'AEN en 1967, la France a immergé 896 conteneurs métalliques (347 tonnes) contenant des déchets enrobés dans du béton, correspondant à une activité d'environ 0,4 térabecquerel et 30 700 fûts en acier galvanisé (8 837 tonnes) contenant des boues de traitement d'effluents liquides épaissies pour une activité de 220 térabecquerels.

Tous ces déchets provenaient du Centre de Marcoule (30).

Lors de la campagne d'immersion coordonnée par l'AEN en 1969, 14 800 conteneurs, soit au total 5 015 tonnes, de fûts métalliques contenant soit des boues de traitement d'effluents liquides enrobées ou non dans du bitume (2 201 tonnes), soit des déchets bétonnés (2 814 tonnes) provenant aussi du Centre de Marcoule (30), ont été immergés entre 4 000 et 4 600 m de profondeur sur le site dit « Porcupine ».

L'activité totale de ces déchets était de 134 térabecquerels.



3.2 Détail des immersions françaises dans le Pacifique

Deux sites ont été utilisés à proximité de Mururoa :

- le site *Novembre*, situé entre 4 et 8 km de l'atoll ;
- le site *Oscar* à une distance de 5 à 10 km (voir carte).

Ces deux sites permettaient des immersions à partir d'hélicoptères pour *Novembre* et de bateaux pour *Oscar* à une profondeur supérieure à 2 000 m.

Un seul site, *Hôtel*, a été utilisé à Hao, à environ 8 km de l'atoll, pour réaliser des immersions par bateau à une profondeur de 2 500 m.

76 tonnes de déchets radioactifs non conditionnés ont été immergés entre 1972 et 1975 sur le site *Novembre*, pour une radioactivité totale de huit gigabecquerels (0,008 TBq).

Sur *Oscar*, ce sont 2 580 tonnes de déchets conditionnés en conteneur béton ou en vrac qui ont été immergés entre 1974 et 1982, pour une radioactivité totale d'environ 60 gigabecquerels (0,06 TBq).

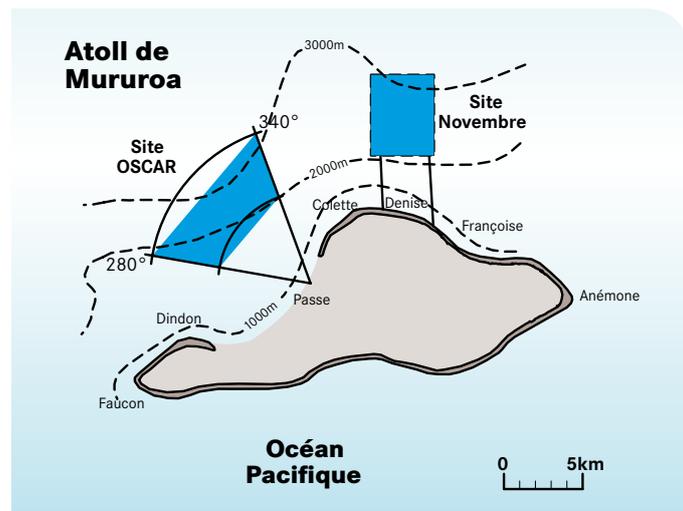
L'activité de ces déchets provient essentiellement des émetteurs alpha, notamment du plutonium.

Enfin, 310 tonnes de déchets radioactifs conditionnés en fûts de béton et 222 tonnes de déchets radioactifs en vrac ont été immergées sur le site *Hôtel* entre 1967 et 1975 : l'activité de ces déchets est due aux émetteurs bêta-gamma et est d'environ 15 gigabecquerels (0,015 TBq).

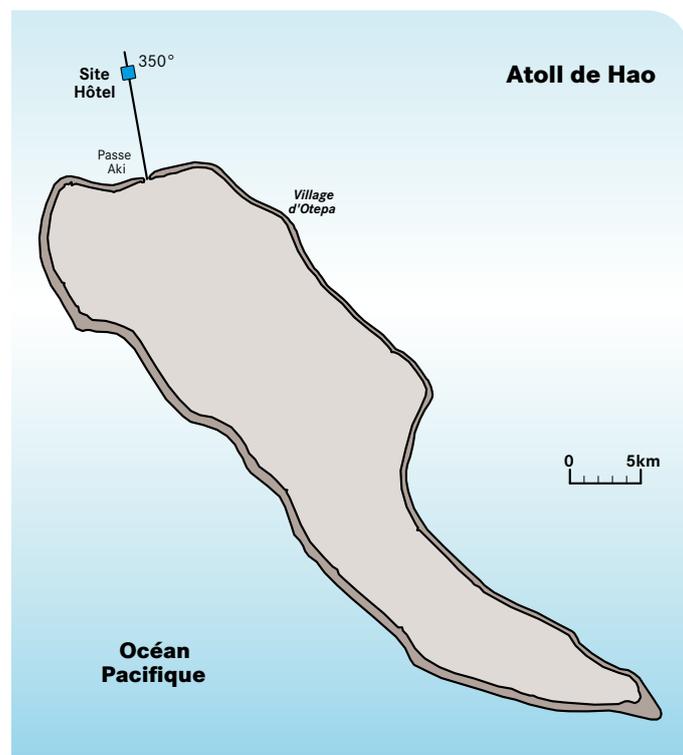
Il faut noter que ces sites ont aussi été utilisés, notamment après 1982, pour immerger des déchets non radioactifs.

Ces trois sites sont décrits plus précisément dans l'Inventaire géographique.

Sites utilisés en Polynésie française



Site de Mururoa



Site d'Hao

4. La surveillance des sites d'immersion

Jusqu'en 1977, conformément aux dispositions prises par la Conférence des Nations Unies sur le droit de la mer de 1958, les États étaient libres d'organiser et de superviser eux-mêmes des opérations d'immersion de déchets radioactifs sous réserve de respecter les recommandations émises par l'AIEA notamment en matière de choix de site d'immersion, de contrôle des opérations et d'évaluation de l'impact radiologique et de tenir informée l'AIEA des détails des opérations pratiquées.

La surveillance des sites se faisait donc sous le seul contrôle de l'État concerné, tel que défini par la Convention de Londres.

En 1977, la plupart des pays membres de l'AEN, notamment ceux qui avaient participé aux opérations coordonnées d'immersion mais aussi ceux qui s'opposaient à ces pratiques ont souhaité accroître leur coopération en vue d'ajouter une surveillance internationale efficace au contrôle national.

Ce souhait a été à l'origine de la décision du Conseil de l'OCDE de mettre en place un « mécanisme multilatéral de consultation et de surveillance pour l'immersion des déchets radioactifs en mer » qui a remplacé les arrangements *ad hoc* et volontaires en vigueur jusqu'alors. Cette décision obligeait les pays membres de l'AEN à se soumettre aux directives et à la surveillance exercée par l'AEN.

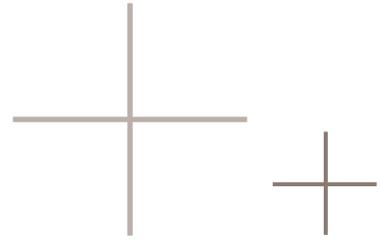
4.1. La surveillance des sites utilisés notamment sous coordination de l'AEN

En 1977, un seul site était encore utilisé par les pays de l'AEN pour faire des immersions (sites repérés en vert sur la *carte page 113*).

La décision du Conseil de l'OCDE obligeait aussi l'AEN à évaluer, au moins tous les 5 ans, si ce site était toujours approprié.

Un programme de recherche baptisé CRESP (acronyme anglais signifiant « programme coordonné de recherches et de surveillance du milieu lié à l'immersion des déchets radioactifs ») [1] a alors été mis en place en 1980 afin d'apporter des bases scientifiques fiables et complètes pour les évaluations du site.

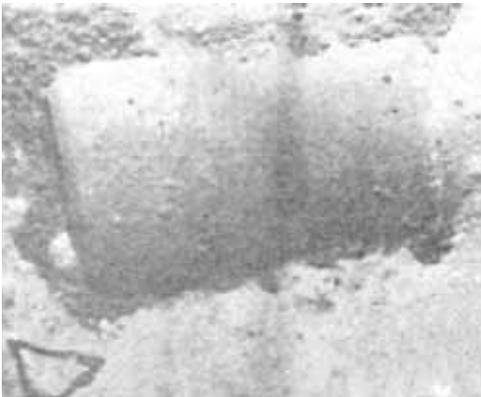
Essentiellement préoccupé des conséquences radiologiques des immersions et basé sur l'étude des processus qui contrôlent le transfert des radionucléides dans le milieu marin pour établir des évaluations de sûreté, ce programme international intégrait de très nombreuses données sur l'océanographie, la géochimie des eaux, la biologie..., récoltées par tous les navires de recherche ayant opéré sur ou dans les parages de la dernière zone d'immersion utilisée de 1971 à 1982 mais également sur les deux sites utilisés par la France en 1967 et 1969 (sites repérés en jaune et rose sur la *carte page 113*).



Photographies prises en 1984 de conteneurs immergés en 1979



Conteneur métallique



Conteneur en béton

Les résultats des analyses d'échantillons collectés n'ont montré aucune augmentation importante des concentrations des radionucléides représentatifs des déchets immergés.

La radioactivité observée dans la zone des déchets immergés se confond aux fluctuations de la radioactivité naturelle de ces fonds marins.

Compte tenu des faibles niveaux d'exposition et d'irradiation qui ont pu être mis en évidence, la nécessité d'une surveillance continue du site de l'AEN après l'interdiction totale en 1993 d'immersion de déchets radioactifs n'a pas été retenue et le programme CRESP s'est donc terminé en 1995.

En parallèle à ces programmes de surveillance basés sur l'interprétation de différentes mesures, une campagne de reconnaissance photographique directe du site de l'AEN a été organisée par l'IFREMER, en collaboration avec le CEA, en juin 1984 [III].

Un submersible inhabité a parcouru 61 km linéaires à une altitude moyenne d'environ 3,6 m au-dessus du fond, permettant de prendre 15 890 photographies à raison d'une photographie toutes les 5 secondes. Six conteneurs ont ainsi pu être photographiés (à comparer aux 123 000 conteneurs immergés dans cette zone). Cinq ont des enveloppes métalliques (comme la plupart des colis immergés sur ce site), le sixième est en béton.

En 1984, ces six conteneurs semblaient intacts malgré quelques déformations. L'impact des conteneurs lors de leur arrivée sur le fond est différent suivant ces deux types et semble être fonction de la densité des conteneurs. Les cinq conteneurs métalliques sont très légèrement enfoncés dans le sédiment ; celui en béton est plus profondément enfoui au centre d'un large cratère.

L'enveloppe de certains conteneurs métalliques semblait corrodée. Deux des conteneurs ont pu être identifiés comme faisant partie de ceux immergés en 1979.

[III] CR de l'Académie des Sciences t. 301, série III, N° 10, année 1985 : « Reconnaissance photographique de conteneurs en place dans la zone d'immersion des déchets faiblement radioactifs de l'Atlantique Nord-Est » par Myriam Sibuet, Dominique Calmet et Gérard Auffret.



Enfin, l'association Greenpeace a procédé, au début des années 2000, à une exploration des fonds marins de la fosse des Casquets, utilisés par le Royaume-Uni et la Belgique, à une profondeur atteignant une centaine de mètres. Après la localisation de fûts de déchets radioactifs, un véhicule commandé à distance équipé de caméras a été descendu vers le fond pour permettre une inspection plus précise qui a permis de constater la dégradation de nombreux fûts.

Les pays qui ont effectué par le passé des opérations d'immersion, y compris dans le cadre des opérations coordonnées par l'AEN, restent responsables de ces opérations. Toute éventuelle nouvelle campagne de mesure ou de reconnaissance photographique reste donc à l'initiative de chaque pays concerné qui le déciderait.

4.2 La surveillance des atolls de Mururoa et d'Hao

Lors de l'arrêt définitif des essais nucléaires français dans le Pacifique en 1996, la France a demandé à l'AIEA de réaliser une expertise radiologique des sites d'expérimentation de Mururoa et Fangataufa et des zones proches de ces sites.

C'est cette expertise qui constitue la situation de référence des niveaux d'activité dans l'environnement des deux atolls d'expérimentation. Bien que les experts de l'AIEA aient conclu qu'il n'était pas nécessaire de continuer la surveillance radiologique des atolls, il a été décidé de maintenir un programme de surveillance afin de détecter, en particulier, d'éventuels relargages des radionucléides à partir des cavités et des sédiments des lagons.

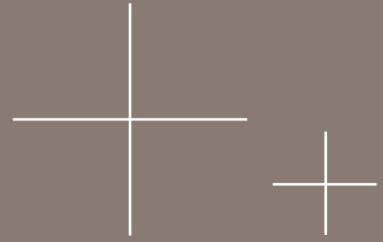
Cette surveillance concerne l'environnement des deux atolls et se compose de deux volets :

- un suivi en continu des aérosols atmosphériques et de la dose intégrée ;
- une campagne annuelle de prélèvement d'échantillons, la mission Turbo, menée chaque année de mars à juin.

Les échantillons des différentes espèces de la flore et de la faune, tant terrestre que marine, ainsi que des eaux souterraines circulant dans le massif, sont prélevés pour en mesurer la radioactivité. L'ensemble des échantillons fait l'objet d'une recherche des radionucléides émetteurs gamma et une sélection d'entre eux d'une mesure du tritium, du strontium 90 et des isotopes du plutonium.

Les radionucléides mesurés entre Mururoa et Fangataufa sont présents à des niveaux très bas et le plus souvent proches de la limite de détection des appareils de mesure de la radioactivité.

Pour ce qui concerne plus particulièrement la zone d'immersion d'Hao, des mesures radiologiques par prélèvements étagés d'eau en profondeur au droit du site d'immersion ont été effectuées en 2007. Il n'a pas été constaté d'élévation de radioactivité par rapport à la radioactivité océanique de référence.



La gestion des sources radioactives usagées

Dossier

2

1.

Les sources radioactives usagées considérées comme des déchets

Les sources radioactives peuvent être de deux types, scellées ou non scellées (voir encadré).

L'usage des sources radioactives est réglementé par le Code de la santé publique qui dispose en particulier (article L. 1333-7) que le fournisseur de sources scellées est tenu de les reprendre lorsqu'elles cessent d'être utilisées.

Les sources scellées usagées en attente d'exutoire final sont entreposées dans des locaux adaptés (obligation du fournisseur de disposer de locaux d'entreposage adaptés). Les sources scellées usagées d'origine étrangère commercialisées en France retournent à l'étranger par l'intermédiaire de leur fournisseur, dans le cadre d'un engagement contractuel entre le fabricant étranger et le fournisseur en France.

De ce fait, seules les sources scellées qui ne sont pas réutilisées par leur fabricant sont considérées comme des déchets et recensées dans le présent inventaire.

De par leur nature, les sources radioactives non scellées ne peuvent faire l'objet de récupération. Leur utilisation produit des déchets solides et des effluents radioactifs qui sont gérés selon les filières usuelles et recensés dans l'*Inventaire national* à ce titre.

Définition des sources radioactives

L'annexe 13-7 du Code de la santé publique définit une source comme un « appareil, substance radioactive ou installation pouvant émettre des rayonnements ionisants ou des substances radioactives ».

Les sources radioactives non scellées : « sources dont la présentation et les conditions normales d'emploi ne permettent pas de prévenir toute dispersion de substance radioactive ». Elles présentent donc à la fois un risque d'irradiation (comme toute source) et un risque de contamination par contact, ingestion ou inhalation. Ces sources peuvent être liquides ou solides.

Les sources radioactives scellées : « une source dont la structure ou le conditionnement empêche, en utilisation normale, toute dispersion de matières radioactives dans le milieu ambiant ». La plupart du temps les sources scellées sont solides.

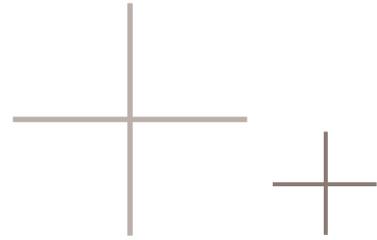
Article R. 1333-52 du Code de la santé publique

« Une source radioactive scellée est considérée comme périmée dix ans au plus tard après la date du premier enregistrement apposée sur le formulaire de fourniture ou, à défaut, après la date de sa première mise sur le marché, sauf prolongation accordée par l'autorité compétente.

Tout utilisateur de sources radioactives scellées est tenu de faire reprendre les sources périmées ou en fin d'utilisation par le fournisseur. Toutefois, à titre dérogatoire, cette obligation n'est pas applicable lorsque les caractéristiques des sources permettent une décroissance sur le lieu d'utilisation. Les sources détériorées sont reprises dans les mêmes conditions sans aucune dérogation.

Le fournisseur de sources radioactives scellées, de produits ou dispositifs en contenant, est dans l'obligation de récupérer, sans condition et sur simple demande, toute source scellée qu'il a distribuée, notamment lorsque cette source est périmée ou que son détenteur n'en a plus l'usage. Lorsque la source est utilisée dans un dispositif ou un produit, il est également tenu de le reprendre en totalité si le détenteur en fait la demande.

Le fournisseur peut soit procéder ou faire procéder à l'évacuation des sources reprises dans une installation autorisée à cet effet, soit les retourner à son fournisseur ou au fabricant. Il doit déclarer auprès de l'Autorité de sûreté nucléaire et de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire toute source scellée, produit ou dispositif en contenant, qui ne lui aurait pas été restitué dans les délais requis. »



2. Déchets produits par l'utilisation de sources non scellées

2.1 Utilisation de sources non scellées

■ Domaine de la recherche

Dans le domaine de la recherche, elles sont utilisées pour le marquage de molécules ou comme traceur radioactif.

Les radionucléides les plus couramment employés sont :

- pour les vies très courtes : le phosphore 32 et 33, le soufre 35, le chrome 51, l'iode 125 ;
- pour les vies courtes : le tritium ;
- pour les vies longues : le carbone 14.

Que ce soit en biologie cellulaire et moléculaire, en hydrogéologie ou autre domaine d'étude de mécanismes physico-chimiques, ils servent à marquer des molécules auxquelles ils sont incorporés pour suivre un mécanisme en dynamique.

■ Domaine médical

Les sources non scellées sont largement employées dans le domaine médical pour l'établissement de diagnostics et pour certains traitements.

■ Les applications diagnostiques *in vitro*

Les radioanalyses, réalisées dans des laboratoires généralement associés à un service de médecine nucléaire, permettent des dosages biologiques sur des échantillons.

Elles 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 pratiquent aussi la radio-immuno-analyse. Il s'agit d'une technique très précise de dosage des substances biologiques telles que les enzymes, les hormones ou d'autres molécules dans le sang, l'urine, la salive par exemple.

Les applications diagnostiques *in vivo*

Diverses applications de diagnostics en imagerie médicale reposent directement sur les propriétés de la radioactivité. 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 sont largement utilisés pour des scintigraphies osseuse, thyroïdienne, cardiaque, pulmonaire...

Parmi les plus utilisés, figurent le technétium 99 métastable, le thallium 201, l'iode 131, l'iode 123 ou le gallium 67 (voir tableau ci-contre).

Les techniques de tomographie s'appuient également sur les propriétés des rayonnements X ou gamma.

Actuellement, la tomographie par émission de positons avec utilisation du fluor 18 se développe pour des applications en neurologie, en cardiologie ou en cancérologie.

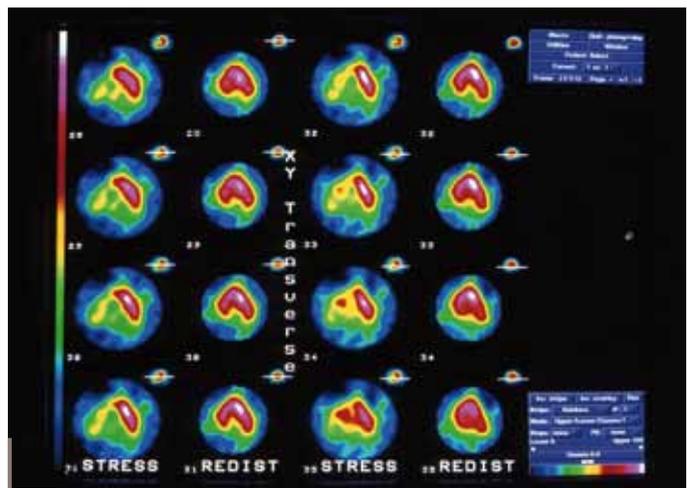
Les applications thérapeutiques

Les applications thérapeutiques des sources non scellées se fondent sur la destruction sélective de cellules, *via* l'utilisation d'un produit radiopharmaceutique sous forme liquide ou de gélule.

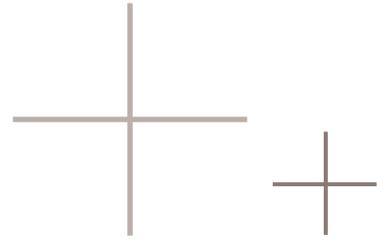
Ce dernier contient un radionucléide qui se fixe de façon durable et spécifique sur l'organe ou tissu à irradier.

L'objectif de cette technique, appelée radiothérapie métabolique, 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).



Scintigraphie cardiaque



Principaux radionucléides utilisés dans le domaine médical (classés par nombre de masse croissant avec indication de leur période radioactive)

Radio-nucléides	Nom	Période radioactive
³ H	Tritium	12,33 ans
¹⁴ C	Carbone 14	5700 ans
¹⁵ O	Oxygène 15	2,04 minutes
¹⁸ F	Fluor 18	1,83 heures
²² Na	Sodium 22	2,6 ans
³² P	Phosphore 32	14,27 jours
³³ P	Phosphore 33	25,38 jours
³⁵ S	Soufre 35	87,32 jours
⁵¹ Cr	Chrome 51	27,7 jours
⁵⁷ Co	Cobalt 57	271,8 jours
⁵⁸ Co	Cobalt 58	70,86 jours
⁶⁷ Ga	Gallium 67	3,26 jours
⁶⁸ Ga	Gallium 68	1,13 heure
⁶⁸ Ge	Germanium 68	270,95 jours
^{81(m)} Kr	Krypton 81 (métastable)	12,8 secondes
⁸¹ Rb	Rubidium 81	4,58 heures
⁸⁸ Y	Yttrium 88	106,63 jours
⁸⁹ Sr	Strontium 89	50,57 jours
⁹⁰ Y	Yttrium 90	2,67 jours

Radio-nucléides	Nom	Période radioactive
⁹⁹ Mo	Molybdène 99	2,75 jours
^{99(m)} Tc	Technétium 99 (métastable)	6,01 heures
¹¹¹ In	Indium 111	2,80 jours
¹²³ I	Iode 123	13,22 heures
¹²⁵ I	Iode 125	59,41 jours
¹³¹ I	Iode 131	8,02 jours
¹³³ Xe	Xénon 133	5,24 jours
¹³⁷ Cs	Césium 137	30,04 ans
¹⁵³ Sm	Samarium 153	1,93 jour
¹⁶⁹ Er	Erbium 169	9,40 jours
¹⁸⁶ Re	Rhénium 186	3,78 jours
^{186(m)} Re	Rhénium 186 (métastable)	1,996.10 ⁹ ans
¹⁹² Ir	Iridium 192	73,82 jours
²⁰¹ Tl	Thallium 201	3,04 jours
²²⁶ Ra	Radium 226	1 600 ans
²²⁷ Ac	Actinium 227	21,77 ans

Source : base de données JEF 3.1.1. (OCDE-AEN).

2.2 Gestion des déchets produits par l'utilisation de sources non scellées

■ Les déchets solides

Les déchets solides sont constitués des flacons usagés ayant reçu des liquides actifs et des petits matériels de laboratoire (tubes, verrerie, gants, seringues, aiguilles, coton souillé).

Ces déchets sont groupés dans des conteneurs spécifiques pour contrer tout risque radioactif.

Les déchets à vie très courte y sont placés en attente de leur évacuation, après décroissance de leur radioactivité.

Ils sont ensuite orientés dans les circuits de gestion des déchets conventionnels après des mesures finales de la radioactivité résiduelle.

Les déchets qui ne peuvent pas être gérés de cette manière, sont envoyés vers un Centre de stockage de l'Andra.

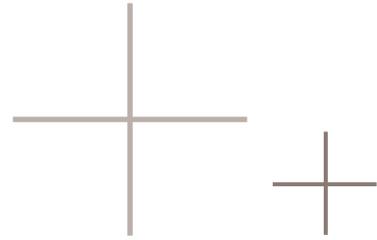
■ Les déchets liquides

Les déchets liquides aqueux, provenant des laboratoires ou des hôpitaux sont collectés dans des cuves et entreposés sur place. Si les déchets ont une période inférieure à 100 jours, ils restent sur place, en attente de la décroissance de leur radioactivité. Si ces effluents contiennent des radionucléides de période supérieure, ils sont rassemblés, traités par incinération à CENTRACO (30), puis stockés par l'Andra.

Ces activités conduisent également à la production de déchets solides (gants, tubes, verreries...) contaminés. Ces déchets sont gérés comme les autres déchets produits par l'utilisation de sources non scellées.



Manipulation en laboratoire



3. Déchets produits par l'utilisation de sources scellées

Dans ce cas, les déchets sont les sources elles-mêmes. Celles-ci peuvent être de géométries et d'activités très différentes selon le domaine dans lequel elles sont utilisées.

Les premières sources scellées ont fait leur apparition dans les années 1920 avec, notamment, les paratonnerres radioactifs au radium (1932) et les aiguilles au radium à usage médical.

Depuis les années 1950, les sources scellées utilisent des radionucléides artificiels.



Collecte de paratonnerres

Seuil d'exemption (extrait de l'annexe 13-8 du Code de la santé publique)

« Les activités nucléaires vues aux a) et b) du 1° de l'article R. 1333-27 peuvent être exemptées d'autorisation dès lors que la quantité ou la concentration d'activité des radionucléides concernés ne dépasse par les valeurs indiquées dans les tableaux » de l'annexe.

Ces activités nucléaires sont :

- la fabrication de produits ou dispositifs en contenant ;
- la distribution de radionucléides, de produits ou dispositifs en contenant ;
- l'utilisation d'appareils émettant des rayons X ou de sources radioactives et l'emploi d'accélérateurs autres que les microscopes électroniques.

Ces sources sont utilisées dans divers domaines :

- sources pour des applications industrielles, d'enseignement et de recherche : irradiation de recherche et industrielle, contrôle non destructif, jauges de densité, de niveau, d'épaisseur, d'humidité..., élimination de l'électricité statique, analyse, étalonnage, chromatographie et détection par capture d'électrons, générateurs de neutrons, analyse par fluorescence X... ;
- sources à finalité médicale : téléthérapie, curiethérapie, stimulateurs cardiaques, marquage anatomique, ostéodensimétrie, irradiation de poches de sang...

D'autres types de sources ont été largement diffusés et ne font pas l'objet d'un suivi individuel car contenant des radionucléides naturels ou radionucléides dont l'activité est inférieure aux seuils d'exemption définis dans l'annexe 13-8 du Code de la santé publique.

Les paragraphes ci-après décrivent les différents types de sources susceptibles de devenir des déchets.

3.1 Sources scellées pour applications industrielles

L'utilisation de radionucléides artificiels, sous forme de sources scellées associées à des appareils, est courante dans le secteur industriel.

■ Les contrôles non destructifs et les analyses des matériaux

Il s'agit par exemple :

- de contrôle de soudure par gammagraphie (sources d'iridium 192 ou de cobalt 60) ;
- de la détection de produits toxiques comme le plomb dans les peintures (sources de cadmium 109 ou de cobalt 57) ;
- de la détection et du dosage des molécules dans les pesticides, les explosifs ou les drogues par chromatographie à phase gazeuse (sources de nickel 63 ou de tritium).

■ Les systèmes de mesure

Des jauges de densité, de niveau ou d'épaisseur, constituées d'un bloc émetteur (au krypton 85, au césium 137, à l'américium 241, au cobalt 60 ou au prométhium 147) ainsi que d'un bloc détecteur de rayonnements, sont utilisées sur le papier, le tissu, le plastique, ou le métal de faible épaisseur.

Ces appareils sont employés dans l'industrie papetière ou du tabac par exemple.

■ Le pilotage et la surveillance du fonctionnement des réacteurs électronucléaires

Ces opérations nécessitent l'emploi de sources scellées notamment dans :

- les chaînes fixes de radioprotection du système de contrôle de réacteur par l'utilisation de sources de césium 137, strontium 90, radium 226, américium 241.

Leurs activités sont inférieures à 3,7 mégabecquerels ;

- les systèmes de mesure de puissance (boremètre, contrôle des chaînes de mesure) par l'utilisation de sources d'américium-béryllium.

Leurs activités sont inférieures à 150 gigabecquerels (0,15 TBq).

■ L'irradiation industrielle

Les rayonnements ionisants émis par les sources radioactives sont utilisés pour leurs effets sur la matière vivante, notamment pour :

- la stérilisation de matériels médicaux et de produits pharmaceutiques ;
- la conservation de certains produits alimentaires (destruction des micro-organismes et des 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 stérilisation industrielle des viandes, des épices, et des aliments préparés par irradiation à forte dose.

3.2 Sources scellées à usage médical

En médecine, les sources radioactives sont principalement employées dans deux grands domaines :

- le traitement du sang : les sources radioactives scellées sont utilisées pour l'irradiation du sang avant une transfusion. Ce traitement permet d'inhiber la prolifération de lymphocytes et de réduire ainsi les problèmes avec le système immunitaire du patient ;

- la radiothérapie : il existe quatre techniques de radiothérapie : la **radiothérapie externe**, la **radiothérapie métabolique**, la **radiochirurgie** et la **curiethérapie**.

La radiothérapie externe ou télégamma-thérapie s'appuie sur le rayonnement gamma de sources de cobalt 60.

L'utilisation de ces sources est en voie de disparition au profit d'accélérateurs linéaires d'électrons produisant des faisceaux de rayons X de haute énergie et des faisceaux d'électrons.



Source scellée – télégamma-thérapie cobalt 60

L'activité des sources scellées utilisées en radiothérapie externe est élevée, avec des radionucléides dont les périodes peuvent être de plusieurs années.

La radiochirurgie se rapproche de la radiothérapie externe. Elle utilise des faisceaux ultrafocalisés provenant d'un accélérateur linéaire ou d'un irradiateur spécialisé (multiples sources de cobalt 60). Cette technique est néanmoins peu répandue.

En curiethérapie (ou brachythérapie), la source radioactive scellée est placée à l'intérieur du patient pour une durée limitée ou définitivement, selon les cas, au contact ou à proximité immédiate de la zone à traiter.

Les principaux radionucléides employés (iridium 192, iode 125, césium 137, cobalt 60, palladium 103 et ruthénium 103) ont définitivement remplacé le radium utilisé historiquement dans la première moitié du xx^e siècle sous forme d'aiguilles et de tubes (voir encadré page 128). Leurs périodes radioactives s'étendent de 17 jours pour le palladium 103 à 31 ans pour le césium 137.



Boîte d'aiguilles au radium

Objets au radium

Au début du xx^e siècle, l'intérêt thérapeutique du radium avait été mis en avant pour détruire des tissus malades. Devant les résultats spectaculaires, une véritable ferveur populaire pour le radium a vu le jour dans les années 1920-1930.

À cette époque, une grande quantité de produits parapharmaceutiques, manufacturés et autres (poudres, pommade, laines, aliments pour bétail, bougies de voitures, fontaines...) a été commercialisée en France.

À la fin des années 1950, leur fabrication, leur production et leur commercialisation ont été interdites en raison des dangers de leur radioactivité. La majorité de ces produits, de par leur nature, a été consommée. D'autres contiennent encore du radium.

Ce sont les objets au radium à usage médical – ORUM – (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 (SCPRI) en 1985, puis l'Office de protection contre les rayonnements ionisants (OPRI) avec l'Andra en 1999 et 2000, ont récolté plus de 3 400 ORUM auprès des cabinets de radiologie, des cliniques, des centres anticancéreux et surtout auprès de particuliers, correspondant à environ 1,3 térabecquerels de radium. Près de 2 800 objets au radium à usage médical ont été recueillis lors de la première campagne, et 500 lors de la deuxième, auxquels s'ajoutent quelques dizaines d'objets récupérés depuis lors. D'autres objets (tubes de pommade, fontaines au radium...) sont aujourd'hui progressivement collectés et entreposés sur les sites du CEA dans l'attente de l'ouverture du centre de regroupement et d'entreposage de l'Andra en octobre 2012.



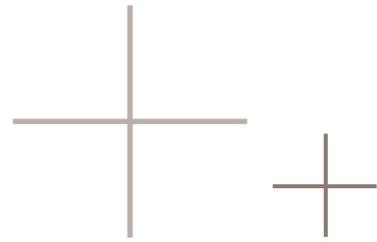
Paratonnerre au radium

3.3 Autres types de sources scellées

■ Les paratonnerres

Au début du xx^e siècle, des scientifiques ont eu l'idée d'ajouter des sources radioactives scellées sur les têtes de paratonnerres afin de renforcer l'ionisation naturelle de l'air. En effet, à cette époque, la communauté scientifique pensait qu'ioniser l'air à proximité du paratonnerre le rendait plus efficace contre la foudre. Les paratonnerres ionisants ont été fabriqués en France de 1932 à 1986 par les sociétés HELITA puis Duval Messien, Franklin France et Indelec. Ils ont été vendus à un grand nombre d'exemplaires à l'étranger. Leur efficacité n'ayant pas été démontrée, leur fabrication a été interdite par l'arrêté du 11 octobre 1983 applicable au 1^{er} janvier 1987.

Le nombre total de paratonnerres installés en France est estimé à environ 50 000 dont 30 000 équipés de sources scellées au radium 226 (ou à la fois de sources de radium 226 et d'américium 241 – paratonnerres mixtes) et 20 000 avec des sources scellées à l'américium 241 (voir encadré page 129).



L'activité d'une tête de paratonnerre au radium 226 est d'environ 50 mégabecquerels, celle d'une tête de paratonnerre à l'américium 241, d'environ 20 mégabecquerels.

Les substances radioactives se présentent sous la forme de plaquettes, feuilles, billes de porcelaine, généralement de petites dimensions.

Cas des paratonnerres

On estime que 50 000 paratonnerres radioactifs ont été commercialisés en France. Leur suppression n'est pas obligatoire. Mais chaque fois que l'un d'entre eux est démonté, il doit être évacué en tant que déchet radioactif.

Ces têtes de paratonnerre sont regroupées en entreposage temporaire par des entreprises professionnelles.

L'Andra transmet sur demande aux détenteurs de paratonnerre, une liste non exhaustive d'entreprises de ce type. Il faut noter que l'activité de regroupement de paratonnerres radioactifs nécessite une autorisation de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN).

L'Andra collecte environ 500 à 600 têtes de paratonnerres par an. Les paratonnerres au radium 226 sont dirigés vers le centre CEA de Cadarache (13) pour y être compactés et conditionnés dans des fûts de 870 litres et entreposés en attente de leur stockage.

Les paratonnerres à l'américium 241 sont conditionnés en fûts de 200 litres puis entreposés sur une plate-forme spécifique, sur le site de SOCATRI à Bollène (84), que l'Andra est autorisée à utiliser depuis août 2003. Le mode de conditionnement définitif de ces paratonnerres et leurs filières de stockage sont à l'étude.

Les détecteurs de fumée

Le modèle de détecteur de fumée le plus répandu en France est le détecteur ionique. Il utilise les propriétés radioactives de petites sources scellées.

La source ionise l'air contenu dans l'appareil. Lorsque de la fumée y pénètre, la conductivité électrique diminue, ce qui déclenche l'alarme. Communément, le nombre de détecteurs de fumée dotés de sources radioactives scellées commercialisés en France est estimé entre 6 et 8 millions. En général, ces détecteurs contiennent une source d'américium 241 ayant une activité d'environ 30 kilobecquerels. L'activité unitaire de certaines sources récentes a été diminuée à environ 10 kilobecquerels, voire moins. Certains détecteurs utilisent des sources de radium 226 ou de plutonium 238. Interdits pour un usage domestique, ces détecteurs s'emploient souvent dans les immeubles de bureaux ou les lieux publics.

L'arrêté du 4 avril 2002 (Code de la santé publique) restreint la mise en service d'équipements contenant des matières radioactives. Des dispositions sont donc mises en œuvre pour le remplacement progressif des détecteurs ioniques par des détecteurs optiques.



Détecteurs de fumée

Les objets radioluminescents au radium 226 et au tritium

Les peintures au radium ont été utilisées jusque dans les années 1960. La peinture radioluminescente était constituée de sulfure de zinc mélangé à de l'huile de lin et du radium, et a été utilisée pour des usages liés à la vision nocturne dans l'industrie horlogère (réveils et horloges) et les armées (boussoles, signalisations, dispositifs de visée, cadrans...).

Le radium a été remplacé par le tritium, radio-nucléide à période plus courte et dont la toxicité est bien moindre, lui-même remplacé en grande partie désormais par des peintures photoluminescentes (non radioactives) lorsque leurs caractéristiques le permettent.



Réveil radioluminescent

Les parasurtenseurs et les tubes électroniques

Dans les années 1960-1970, des parafoudres ou parasurtenseurs et des tubes électroniques (ancêtres du transistor) contenant des radionucléides sous forme de gaz (comme le krypton 85) ou de peinture (tritium ou radium 226 par exemple) étaient utilisés pour protéger les installations électriques des surtensions.

Ces sources ont été produites en très grande quantité ; certaines années la production atteignait plus d'un million d'exemplaires. Elles étaient essentiellement utilisées pour la protection de matériels électroniques (les radars par exemple) et du réseau téléphonique.

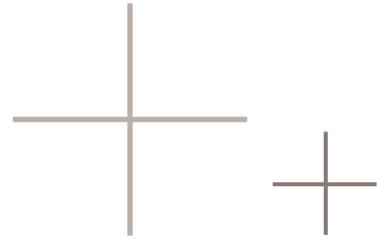
Actuellement, encore quelques tubes électroniques de nickel 63 sont produits pour la protection des radars.

Autres sources scellées historiques

Toutes les sources scellées décrites précédemment ont fait l'objet d'une production à grande échelle, à des milliers voire des millions d'exemplaires.

D'autres sources scellées ont été produites, en faible quantité, au cours du xx^e siècle et présentent des caractéristiques atypiques. Exemples :

- les sources de générateurs isotopiques de strontium 90 pour la production d'électricité, au nombre d'environ 10, présentant une très forte activité ;
- les sources de stimulateurs cardiaques ou « thermopiles » de plutonium 238 fabriquées entre 1968 et 1976 par le CEA à environ 3 000 exemplaires...



Les principaux fabricants en France des sources radioactives scellées

Le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies renouvelables (CEA) - fabricant historique

Le CEA fut le principal fabricant de sources scellées en France.

Cette production a été initiée par le Département des radioéléments et se diversifia progressivement dans d'autres départements du CEA, notamment le Département des transuraniens (sources neutroniques notamment) et le Département des applications et de la métrologie des rayonnements ionisants (DAMRI).

Ce dernier était composé de nombreux laboratoires dont le Laboratoire de mesure des rayonnements ionisants (LMRI) qui fabriquait et commercialisait principalement les étalons, et le Service des applications des rayonnements (SAR), qui était et reste concepteur et distributeur de jauges industrielles.

En 1985, le CEA décida de se séparer d'une partie de ces activités. CIS bio international, alors filiale du CEA, entreprit la fabrication et la commercialisation des sources industrielles, le LMRI conservant la fabrication des sources d'étalonnage.

Peu à peu, le CEA ralentit ses activités industrielles.

En 1992, les activités du Département des transuraniens furent transférées à l'Atelier alpha et laboratoires pour analyses, transuraniens et études de retraitement (ATALANTE) sur le site du CEA à Marcoule (30).

En 1999, le Laboratoire étalons d'activité (LEA) de Cerca (Compagnie pour l'étude et la réalisation de combustibles atomiques - groupe AREVA) racheta les procédés et le catalogue du LMRI.

La société CIS bio international

Aujourd'hui membre du groupe belge IBA (Ion Beam Application), la société CIS bio international dispose de l'irradiateur POSÉIDON, qui regroupe des dispositifs d'irradiation pour les produits biomédicaux et industriels.

En 2000, CIS bio international stoppa sa production de sources scellées industrielles pour se concentrer sur la fabrication de sources médicales non scellées ou produits radiopharmaceutiques contenant des radionucléides de période courte. Cette société a évolué vers la fabrication de produits de substitution aux radionucléides pour des applications diagnostiques et thérapeutiques, et pour l'industrie pharmaceutique.

CIS bio international entrepose, sur son site de Saclay (91), des sources scellées usagées pour son propre compte et pour le compte du CEA. En 2009, le CEA et CIS bio international ont créé le GIP sources HA qui a pour objectif principal la collecte et l'élimination, dans un délai inférieur à 10 ans, des sources de cobalt 60 et césium 137 distribuées par le CEA ou CIS bio international.

Le Laboratoire étalons d'activités (LEA)

Implantée sur le site de Pierrelatte (26), cette entreprise est la seule à produire en quantité importante des sources scellées en France.

Appartenant au groupe AREVA, le LEA fabrique environ 400 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.

Autres fabricants ou fournisseurs

Outre ces fabricants, on peut citer quelques entreprises qui ont une activité de fournisseurs de sources, et sont dans certains cas le fabricant des équipements contenant des sources ou disposent de capacités de production et de reprise des sources hors de France :

- les établissements de maintenance, contrôle de conformité de sources, de décontamination de matériel (CETIC, CERAP, Intercontrôle, Saphymo, SGS Multilab, Elta...) ;
- Thalès qui continue la fabrication de tubes électroniques ;
- les zones de transit de sources de fabricants étrangers (Healthcare-ex. Amersham, par exemple)...

4. L'inventaire des sources radioactives usagées considérées comme des déchets

Les déchets provenant de l'utilisation de sources non scellées ne sont pas différenciés des volumes de déchets des différentes catégories.

En revanche, les sources scellées usagées considérées comme des déchets font l'objet d'un recensement spécifique en cohérence avec les données disponibles dans la base de l'IRSN au titre de l'inventaire des sources scellées.

Au 31 décembre 2010, environ 3 500 000 sources scellées usagées ont été répertoriées.

La majorité de ces sources correspond à des sources de détecteurs ioniques de fumée (74 %). 23 % des sources recensées sont du matériel réformé des armées regroupant des objets radioluminescents au radium et au tritium (boussoles, dispositifs de visée...).

Les 3 % restants correspondent aux sources scellées sans emploi récupérées et entreposées par les principaux fournisseurs ou fabricants de sources.

Les colis de sources scellées usagées historiques comme les « blocs sources » du CEA entreposés à Cadarache (13) représentent 125 m³ équivalent conditionné.

Le volume de colis de paratonnerres est de 120 m³ dont 39 m³ de paratonnerres au radium et 81 m³ à l'américium, entreposés à SOCATRI (30). 1 m³ de sources au colbat 60 est stocké au Centre de stockage FMA de l'Aube.

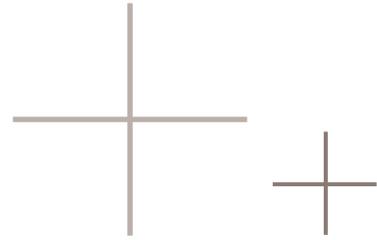
Pour les autres types de sources scellées usagées considérées comme des déchets, il n'y a pas de volume équivalent conditionné associé à ces sources.

En effet, leur conditionnement pour le stockage est à l'étude et de nombreux échanges entre l'Andra et les détenteurs de sources scellées usagées ont lieu. Le CEA a notamment procédé à une première estimation des flux de colis de sources scellées.

Tous ces échanges entrent dans le cadre des axes de travail définis dans le Plan national pour la gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR).



Conteneur de sources scellées usées



Le suivi des sources radioactives

Avant 2002, l'utilisation de radionucléides naturels n'était encadrée que par le Code du travail alors que celle de radionucléides artificiels a été réglementée en sus par le Code de la santé publique dès le début des années 1950 *via* la Commission interministérielle des radioéléments artificiels (CIREA).

En effet, une autorisation encadrait les pratiques impliquant des radionucléides artificiels (fabrication, commercialisation, distribution, détention, utilisation) et au fil des années, une durée limite d'utilisation (10 ans) a été fixée. Dès lors, de nombreuses conditions particulières d'emploi ont été édictées. C'est le cas des sources ne pouvant être retournées au bout de 10 ans (sources médicales implantées, sources en réacteur...) et des sources ne nécessitant pas d'autorisations (activités inférieures aux seuils d'exemption définis dans l'annexe 13-8 du Code de la santé publique, détention sans autorisation sous réserve du respect de prescriptions particulières...).

De plus, les sources contenant des radionucléides naturels (radium par exemple) n'avaient pas besoin d'autorisations car leur usage n'était pas encadré par le Code de la santé publique. Depuis 2002, les autorisations exigées par le Code de santé publique sont délivrées par les autorités compétentes : les préfetures, l'Autorité de sûreté nucléaire pour les activités et les installations intéressant la Défense (ASND)...

L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) enregistre les mouvements de ces sources en France et tient à jour un inventaire.

Cet inventaire national centralise les autorisations délivrées par les différentes autorités compétentes en matière de sources radioactives et les mouvements de sources sur le territoire français (acquisition, cession, exportation, importation, reprise, remplacement...).

Il permet ainsi de repérer la source, de connaître son radionucléide, son niveau d'activité à une date donnée, la date d'autorisation de mise en utilisation, le nom du fabricant, du fournisseur et de l'organisme utilisateur et de la technique à laquelle elle participe.

À chaque instant, on peut donc connaître le nombre et l'utilisation de chaque source.

Pour plus d'informations : www.irsn.fr

Les prévisions de gestion des sources usées du CEA

Le CEA a procédé à une première estimation du nombre et du volume des colis de sources qu'il enverra en stockage (en complément des colis « blocs sources », soit 41 colis de 3 m³ destinés au stockage géologique Cigéo). Cette estimation (en ordre de grandeur) prend en compte les sources fabriquées ou distribuées par le CEA ou CIS bio international, et qui ont été ou seront collectées. Il faut rappeler que le CEA et CIS bio international ont été dans le passé de très loin les plus gros fabricants de sources scellées utilisées en France. Elle concerne uniquement les sources qui seront gérées en tant que déchets radioactifs, et non celles qui seront gérées en tant que matières radioactives et valorisées par recyclage dans l'industrie des sources.

• **Stockage de surface de déchets FMA :**

10 000 sources seraient conditionnées dans 45 colis cimentés de 5 m³ (la grande majorité de ces sources sont des sources de

cobalt 60 ; les autres sont des sources de période inférieure à celle du cobalt 60, et quelques sources d'europium 152/154 ou de baryum 133).

• **Stockage géologique Cigéo :**

- Déchets MA-VL : 400 000 sources seraient conditionnées dans 40 colis cimentés de près de 0,9 m³. Ce modèle de colis peut recevoir tous les types de sources, avec un préconditionnement spécifique par famille de sources ; les sources existantes en plus grand nombre sont les sources d'américium 241 des détecteurs de fumée.

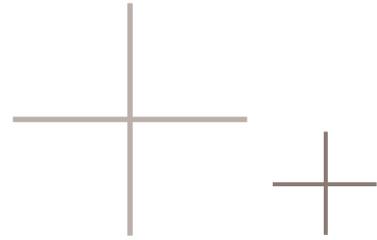
- Déchets HA : 7 000 sources seraient conditionnées dans 6 colis métalliques soudés de près de 0,2 m³. Ce modèle de colis recevra le stock de sources de plutonium 238 récupérées des stimulateurs cardiaques, et les sources de très haute activité de césium 137 et strontium 90.

Ces estimations sont encore susceptibles d'évoluer et représentent avec les hypothèses de conditionnement décrites ci-dessus un volume de 200 à 250 m³ en stockage de surface et de 150 à 200 m³ en stockage profond (dont seulement 1 m³ environ de HA dont 125 m³ de colis historiques déjà constitués).

Les déchets à radioactivité naturelle renforcée (RNR)

Dossier

3



Les déchets à radioactivité naturelle renforcée (RNR) sont des déchets générés par la transformation de matières premières contenant naturellement des radionucléides mais qui ne sont pas utilisées pour leurs propriétés radioactives. Ces radionucléides peuvent se retrouver concentrés dans les matériaux ou déchets, à l'issue de procédés de transformation et nécessiter une gestion particulière.

1. La gestion des déchets RNR et la réglementation

Certaines industries non électronucléaires utilisent des procédés de fabrication conduisant parfois à concentrer la radioactivité naturelle. En fonction de leur historique, de leur niveau d'activité et de la durée de vie des radionucléides qu'ils contiennent, on peut classer ces déchets selon quatre catégories :

- **les déchets RNR de type FA-VL** : ces déchets sont de type radifère et seront stockés dans l'exutoire adapté, aujourd'hui en cours d'étude (voir dossier 4). Les sites qui entreposent ce type de déchets font l'objet de fiches géographiques ;

- **les déchets RNR de type TFA** : ces déchets sont à destination du Centre de stockage TFA de l'Aube. Ceux qui sont entreposés sur site en attente de prise en charge sur ce centre font aussi l'objet de fiches géographiques ;

- **les déchets RNR en stockage *in situ*** : ces déchets ont été stockés, à l'époque de leur production, dans des stockages ne relevant pas de la responsabilité de l'Andra. Certains déchets TFA ont été utilisés comme remblai (exemple du site de La Rochelle - 17) ou éliminés en décharge interne (exemple des terrils de phosphogypses). Ces stockages historiques font l'objet de fiches dans la partie dédiée aux sites historiques de l'Inventaire géographique ;

- **les déchets dirigés vers les centres de stockage de déchets conventionnels** : la réglementation prévoit la possibilité de stocker des déchets RNR dans des installations de stockage conventionnel (ISD : installation de stockage de déchets). Ils doivent pour cela faire l'objet d'une étude d'impact [1].

Certains résidus de procédés industriels à radioactivité naturelle renforcée sont valorisés et ne font pas l'objet de déclaration à l'*Inventaire national* mais sont présentés dans ce dossier : c'est le cas des cendres de charbon.



Usine RHODIA (17) – Déchets FA-VL

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



Jusqu'en 2005, il n'y avait aucune réglementation spécifique à ce type de déchet. En 2005, un arrêté relatif aux « activités professionnelles mettant en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides non utilisés en raison de leurs propriétés radioactives » a été publié. Cet arrêté stipule que tout exploitant d'une installation relevant de l'annexe 1 de l'arrêté doit fournir à l'Autorité de sûreté nucléaire, une étude destinée à estimer la dose reçue par la population du fait de l'installation [III].

La circulaire du 25 juillet 2006 [I] offre un cadre strict pour la gestion de « ces déchets contenant des substances radioactives dont l'activité ou la concentration ne peut être négligée du point de vue de la radioprotection ».

En effet, l'acceptation des déchets RNR dans un centre de stockage de déchets conventionnels est conditionnée à son autorisation par arrêté préfectoral, délivrée à l'issue d'une demande par l'exploitant du centre de stockage.

L'exploitant du centre de stockage doit accompagner toute demande, auprès du préfet dont il dépend, d'une étude d'impact spécifique pour le risque radiologique.

Ce type d'étude est codifié ; elle doit être réalisée conformément au guide technique publié par le ministère en charge de l'Environnement et l'IRSN en 2006 [III].



Usine RHODIA – Déchets radifères

L'étude d'impact doit permettre de démontrer que l'impact du stockage de ces déchets peut être négligé du point de vue de la radioprotection tant pour le personnel d'exploitation que pour la population voisine, y compris sur le long terme. La circulaire précise également que ce mode de gestion est réservé à des lots de déchets limités, bien identifiés et caractérisés. Les bilans périodiques, comprenant l'état des éventuels déchets RNR, doivent par ailleurs être présentés aux commissions locales d'information et de surveillance (CLIS) des centres de stockage pour la bonne information du public avoisinant. La circulaire de juin 2009 renforce les recommandations du HCTISN notamment sur les dispositions de surveillance et d'information sur les sites de stockage contenant des déchets RNR [IV].

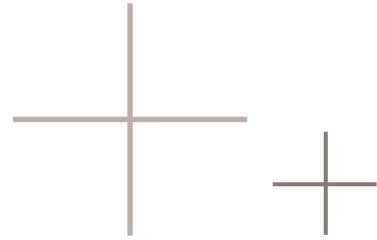
Dossier 3

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

[II] Arrêté du 25 mai 2005 (JO n°126 du 01 juin 2005) relatif aux activités professionnelles mettant en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides non utilisés en raison de leurs propriétés radioactives.

[III] Guide méthodologique pour l'acceptation de déchets présentant une radioactivité naturelle dans les installations classées d'élimination DEI/SARG/2006-009.

[IV] Circulaire du 18 juin 2009 relative à la mise en œuvre des recommandations du Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire.



2. Secteurs d'activité et déchets produits

Une liste exhaustive des industries susceptibles de produire de tels déchets radioactifs naturels est difficile à déterminer. Une typologie des industries susceptibles de produire actuellement ce type de déchets naturellement radioactifs a été établie et est divisée en deux parties : les secteurs industriels listés dans l'annexe 1 de l'arrêté du 25 mai 2005 et les

secteurs non concernés par cet arrêté. Cette liste s'appuie sur le retour d'expérience connu des pratiques industrielles présentes ou passées et sur deux rapports publiés par l'ASN en 2009 [VI] sur la base d'études effectuées par l'association Robin des Bois [VII]. Par ailleurs, le ministère en charge de l'Environnement effectue un suivi national du bilan de la gestion de ces déchets (voir encadré ci-dessous).

Doses efficaces ajoutées compilées par l'IRSN (période 2005-2010)

Tous les ans, l'IRSN publie un rapport qui fait le bilan de l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France.

Le rapport de 2011 [VII] fait notamment le bilan des doses efficaces ajoutées entre les années 2005 et 2010.

Le tableau ci-dessous montre que les doses efficaces ajoutées sont inférieures à 1 mSv/an sauf dans le cas des secteurs du traitement des minerais de certains métaux, de la fabrication de réfractaires et verres ou encore de la production de zircon. Ces expositions restent toutefois inférieures à 5 mSv/an.

Dans le cas de la production ou de l'utilisation de composés contenant du thorium la dose annuelle est plus élevée [VII].

Catégorie	Nombre de postes de travail	Gamme de doses efficaces ajoutées	Part des doses supérieures à 1 mSv/an
Combustion de charbon en centrale thermique	32	< 1 µSv/an à 0,4 mSv/an	0 %
Traitement des minerais d'étain, d'aluminium, de cuivre, de titane, de niobium, de bismuth et de thorium	42	50 µSv/an à 4 mSv/an	30 %
Production de céramiques réfractaires et activités de verrerie, fonderie, sidérurgie et métallurgie	100	13 µSv/an à 1,5 mSv/an	2 %
Production ou utilisation de composés contenant du thorium	6	< 1 µSv/an à 82 mSv/an	35 %
Production de zircon et de baddeleyite, et activités de fonderie et métallurgie	57	< 1 µSv/an à 2 mSv/an	15 %
Production d'engrais phosphatés et fabrication d'acide phosphorique	6	10 µSv/an à 0,5 mSv/an	0 %
Traitement de terres rares et production de pigments	3	65 µSv/an à 0,3 mSv/an	0 %

[VI] Rapport ASN du 20 juillet 2009 « Bilan sur la gestion des déchets contenant de la radioactivité naturelle renforcée » et Rapport ASN du 24 décembre 2009 « Évaluation des expositions aux rayonnements ionisants dans les industries et activités professionnelles mettant en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides non utilisés en raison de leurs propriétés radioactives : bilan de l'application de l'arrêté du 25 mai 2005 relatif à ces activités ».

[VII] Rapports Robin des bois : « La radioactivité naturelle technologiquement renforcée » – 2005 et « Les cendres de charbon et les phosphogypses » – compléments 2009.

[VII] Rapport IRSN/DRPH/DIR/2011-19 « La radioprotection des travailleurs - Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2010 ».

Pour l'édition 2012 de l'*Inventaire national*, les industries relevant de l'arrêté du 25 mai 2005 ont été interrogées. Pour les autres, certaines ont été identifiées mais les déclarations ne peuvent prétendre à l'exhaustivité.

2.1. Les secteurs industriels concernés par l'arrêté du 25 mai 2005

■ Les industries de traitement et de transformation des minerais d'étain, d'aluminium, de cuivre, de titane, de niobium, de bismuth et de thorium

Les minerais concernés contiennent parfois des radionucléides qui se trouvent concentrés dans les résidus. Ces radionucléides peuvent être de même nature chimique que le métal extrait (thorium, bismuth, niobium radioactifs mêlés au métal sous forme stable) ou des éléments chimiques différents.

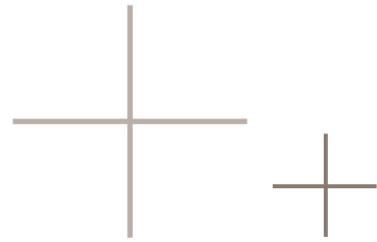
Dans le domaine de l'extraction des terres rares, le site de RHODIA à La Rochelle (17) a utilisé de la monazite pour produire de l'hydroxyde de thorium. Cette production a généré des résidus radifères (RRA) de type FA-VL dont une partie a été transférée dans un entreposage du CEA de Cadarache (13) (5 570 m³ environ). Des résidus solides banalisés (RSB) très peu radioactifs sont stockés sur place et constituent en partie les remblais sur le port de La Pallice (17).
(voir chapitre 4).

Enfin, environ 7 000 m³ de RSB de type FA-VL sont entreposés sur site : c'est la part la plus importante des déchets RNR de type FA-VL. Le traitement de ces déchets pour en extraire les terres rares est à l'étude.

Par ailleurs, à partir de sables ou de minerais naturels, l'industrie chimique extrait des pigments de coloration, pour les peintures notamment, comme le dioxyde de titane. Les activités initiales en thorium et en uranium peuvent être concentrées dans les résidus de procédé. La société Cristal Global a fabriqué du dioxyde de titane sur les sites de Thann (68) et Oschensfeld (68) et sur son site du Havre (76). Les déchets produits sont de catégorie TFA (870 m³ environ) ou FA-VL (80 m³ environ). De même, Tioxide Europe fabrique des pigments de dioxyde de titane dont la production génère des déchets TFA qui sont entreposés sur le site de Calais (62).

La société Rio Tinto Alcan extrait de l'alumine à partir de la bauxite, ce qui génère sur site des dépôts de boues rouges (riches en oxyde de fer) contenant notamment du radium. Ce type de stockage (un peu plus de 8 millions de tonnes) se trouve sur les sites arrêtés d'Aygalade (13), la Barasse-Montgrand (13), la Barasse-Saint-Cyr (13) et Vitrolles (13) ainsi que sur le site encore en exploitation de Gardanne (13). Sur le site de Beyrede-Jumet (65), les déchets produits sont des fines de dépolvoisiérage qui sont évacuées en ISD conformément à la circulaire de 2006. Les volumes de déchets issus de ce secteur sont présentés dans le *tableau ci-dessous*.

Industriel	Filière de gestion	Volume (m ³)
Tioxide Europe	TFA	105
Cristal Global	TFA	871
Cristal Global	FA-VL	82
Rio Tinto Alcan	ISD	20
Rhodia	FA-VL	7 580
CEA	FA-VL	5 572



Les industries de production de céramiques réfractaires et les activités de verrerie, de fonderie, de sidérurgie et de métallurgie

Les céramiques réfractaires doivent leur radioactivité naturelle notamment à la présence de zircon. Celui-ci fait varier la radioactivité de la céramique en fonction de sa quantité.

- La société Savoie Réfractaire (en Île-de-France et en Rhône-Alpes), qui fait partie du groupe Saint-Gobain, produit des revêtements en céramique pour différentes industries ; les déchets qui sont des résidus de sable de zircon sont stockés en ISD.
- La société Thermal Ceramics de France (42) qui produit des fibres céramiques à partir d'un sable de zircon ; les déchets générés par le procédé sont stockés en ISD.
- La Société Imerys à Ploemeur (56) extrait et fabrique des matériaux céramiques à partir de minéraux kaoliniques. La plupart des déchets générés sont stockés en ISD à l'exception d'un faible volume dont l'étude d'impact a montré qu'il doit être stocké au Centre de stockage TFA de l'Aube.

Industriel	Filière de gestion	Volume (m ³)
Société Savoie Réfractaire Groupe S ^t -Gobain	ISD	160
Thermal Ceramics de France	ISD	80
Imerys Ceramics France	TFA	6

Les industries de production et d'utilisation de zircon et de baddeleyite, notamment dans les industries de céramiques réfractaires et abrasives

Le zirconium est utilisé dans les alliages des gaines de combustibles nucléaires.

- La société Cezus (38) produit la matière première nécessaire à la fabrication de l'alliage et génère des déchets radifères de type FA-VL ainsi que des déchets qui seront stockés au Centre de stockage TFA de l'Aube.
- La société Unifrax, établie à Lorette (42), produit un isolant fibreux contenant du zircon. Les déchets qui résultent de la fabrication des fibres sont régulièrement stockés en ISD (150 tonnes en 2010).
- La société Comptoir des minéraux et des matières premières à Saint-Quentin (02) qui transforme le sable de zircon en vue d'une utilisation en fonderie entrepose actuellement une faible quantité (8 m³) de déchets de type FA-VL.
- La SNECMA à Gennevilliers (92) utilise une farine de zircon dans le procédé de fonderie de pièces pour les moteurs de l'aéronautique. Les déchets générés sont stockés en ISD.

Les quantités de ces déchets sont recensées dans le *tableau ci-dessous*.

Industriel	Filière de gestion	Volume (m ³)
Comptoir des minéraux et matières premières	FA-VL	8
Cezus	FA-VL	1 946
Cezus	TFA	1 370
Unifrax	ISD	278
SNECMA	ISD	1

L'industrie de production ou d'utilisation de composés comprenant du thorium

Certaines industries manipulent le 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 procédés industriels mis en œuvre. Le thorium permet d'améliorer la résistance à la chaleur des alliages.

- La fonderie Messier à Arudy (64) fabriquait des objets à base d'alliage de thorium et magnésium pour l'aéronautique. Les déchets issus de cette production, déclarés dans l'Inventaire géographique, sont de type FA-VL et entreposés sur le site d'Arudy (64) en attente d'évacuation.
- Le site d'Arkéma situé à Serquigny (27) a produit du nitrate de thorium à partir de monazite et entrepose des déchets FA-VL en attente d'exutoire définitif.

Industriel	Filière de gestion	Volume (m ³)
Fonderie Messier	FA-VL	27
Arkema	FA-VL	1 604

L'industrie des phosphates, notamment la fabrication d'acide phosphorique et la production d'engrais agricole

Les procédés industriels de production d'engrais phosphatés conduisent à la production de déchets solides (phosphogypses), et à celle de ferrailles contaminées lors du démantèlement de certaines parties des installations.

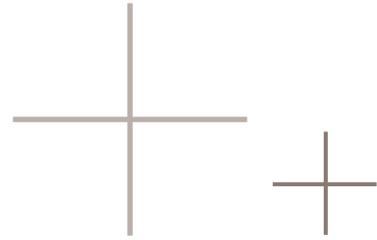
La société Grande Paroisse possède plusieurs sites en Haute-Normandie (Rogerville (76), Grand-Quevilly (76), Anneville-Ambourville (76), Saint-Étienne-du-Rouvray (76), Rouen (76)) sur lesquels des déchets de type FA-VL ou TFA sont entreposés en attente de transfert vers un stockage définitif. Des phosphogypses sont également stockés sur place. Ces sites font l'objet d'une surveillance régulière.

Concernant les phosphogypses stockés en terrils (plus de 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 ; un tiers de la production de phosphogypses de l'usine de Grand-Quevilly (76) a ainsi été absorbé.

Une partie des déchets produits par la société PEC-Rhin à Ottmarsheim (68) qui fabrique l'acide phosphorique a été évacuée en ISD. Moins de 10 m³ de déchets FA-VL sont entreposés sur le site.

Les déchets du site du Boucau (64) en Aquitaine, où des engrais ont été produits et de la monazite a été broyée, ont été envoyés en ISD ou pris en charge par l'Andra au Centre de stockage TFA de l'Aube, notamment en 2010.

Industriel	Filière de gestion	Volume (m ³)
PEC-Rhin	FA-VL	10
Grande Paroisse SA	TFA	64
Grande Paroisse SA	TFA	4 000
Yara France	FA-VL	120
Yara France	TFA	100



■ Les installations de traitement des eaux

Différents procédés permettent de filtrer l'eau souterraine destinée à la consommation. Les principaux procédés sont la filtration par sable, par charbon actif ou par résine. La bibliographie internationale sur le sujet mentionne le dégazage de radon aux niveaux des installations de filtration ou la concentration des radionucléides dans les filtres.

La société Européenne d'embouteillage à Donnery (45), par exemple, utilise des résines échangeuses d'ions pour déferriser et déman-ganiser l'eau. Ces résines sont susceptibles de concentrer la radioactivité. L'Andra a interrogé cette société sur la présence de déchets RNR sur le site de Donnery (45) : aucun déchet RNR n'est déclaré par ce site.

■ Les établissements thermaux

Tout comme les installations de traitement des eaux, les procédés mis en œuvre dans ces établissements produisent du radon par dégazage. Il est possible que les canalisations, filtres ou équipements de pompage concentrent la radioactivité naturelle de l'eau. Dans le bilan dressé par l'ASN (rapport 2009) seule l'exposition due au radon a été évaluée et aucune dose efficace individuelle n'a été retenue.

Ce secteur n'est pas encore inclus dans la présente édition de *l'Inventaire national*. Un travail de recherche sera entrepris pour la prochaine édition.

2.2. Les secteurs industriels non concernés par l'arrêté du 25 mai 2005

Certains secteurs non concernés par l'arrêté du 25 mai 2005 sont identifiés dans le rapport de l'association Robin des Bois comme étant producteur de déchets à radioactivité naturelle renforcée.

■ Les installations industrielles d'extraction et de traitement du pétrole et du gaz naturel

Selon la nature des terrains exploités, les sables, les boues, ou certains outils, peuvent être contaminés par des produits de filiation de l'uranium contenu naturellement dans le sous-sol. Total a exploité des puits en Aquitaine : des fûts contenant des boues et tartres et parfois des graviers, contaminés à l'uranium de type TFA (environ 3 m³), sont conservés sur les sites de Saint-Faust (64) répertoriés dans l'Inventaire géographique. Les déchets qui étaient entreposés sur les sites de Lacq (64) et Monein-Pont-d'As (64) ont été transférés sur les sites de Saint-Faust (64).

■ La géothermie

Concernant la géothermie, les phénomènes de concentration de la radioactivité naturelle semblent sensiblement les mêmes que dans le cas de l'extraction de gaz et de pétrole : la radioactivité naturelle se concentre dans les canalisations (formation de tartre) ou dans les systèmes de filtration. La société GEIE Exploitation Minière de la Chaleur exploite trois forages profonds de 5 000 m sur le site de Kutzenhausen en Alsace (67). Des déchets TFA (moins de 1 m³) issus notamment du nettoyage des canalisations sont entreposés en attente d'évacuation.

Les deux secteurs de l'industrie papetière et de la combustion biomasse ne sont pas inclus dans la présente édition de l'*Inventaire national*. Comme dans le cas des « établissements thermaux », un travail de recherche va être entrepris pour la prochaine édition.

■ L'industrie papetière

Le secteur de la papeterie, identifié dans l'étude de l'association Robin des Bois, peut également être à l'origine de production de déchets RNR en fonction des procédés de fabrication utilisés. Par exemple, l'utilisation d'un procédé de blanchiment sans chlore conduit à précipiter du sulfate de baryum et de radium dans les canalisations et dans le

filtre toile de la première étape du traitement de blanchiment de la pâte à papier. *A priori*, les valeurs de débits de dose mesurées au contact sont au maximum de l'ordre de 4,5 $\mu\text{Sv/h}$, ce qui pourrait induire de ne pas exempter ces industries.

■ La combustion de biomasse

En France dans les années 1990, la combustion de biomasse, et en particulier l'utilisation du bois comme combustible, s'est développée. Le bois est issu des exploitations forestières, des scieries ou des bois de rebuts. Tout comme les centrales au charbon (*voir ci-dessous*), les cendres provenant de ces chaufferies concentrent la radioactivité non seulement issue de radionucléides naturels mais aussi potentiellement de radionucléides artificiels issus des retombées de l'accident de Tchernobyl ou des essais nucléaires (strontium 90 ou césium 137).

3. Les résidus de procédés valorisés

En complément des activités industrielles décrites au *paragraphe 2*, d'autres secteurs listés dans l'annexe 1 de l'arrêté du 25 mai 2005 produisent des résidus de procédés valorisables.

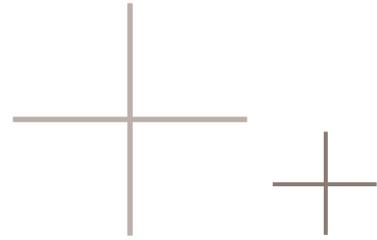
■ Les installations d'extraction du thorium

L'usine RHODIA de La Rochelle (17) utilise des matières premières issues de minerais qui ont été traités avant leur importation en France, pour en abaisser la radioactivité. Cette activité produit des matières en suspension (MES) et des hydroxydes bruts de thorium (*voir page 48*).

Les MES sont considérées par l'industriel comme des matières radioactives valorisables (*voir chapitre 2*). En effet, le thorium est considéré valorisable, dans la mesure où il peut être utilisé dans diverses applications industrielles, notamment le secteur médical. RHODIA étudie actuellement le traitement des hydroxydes bruts de thorium. Les quantités de déchets qui en résulteraient sont évaluées à environ 6 000 m^3 .

■ Les installations industrielles de combustion du charbon

Les cendres sont un coproduit naturel de la combustion du charbon dans les centrales de production d'électricité.



Le charbon contient quelques substances radioactives naturelles (uranium, thorium et leurs descendants) présentes en très faible quantité et concentrées dans les cendres après combustion du charbon. Lorsque ce charbon est brûlé pour produire de l'électricité, 99% des poussières sont captées.

Les cendres volantes, ainsi récupérées, sont notamment utilisées dans la formulation de béton à haute valeur ajoutée. En effet, cet ajout permet d'abaisser la température à cœur des bétons lors de la prise, ce qui limite la fissuration d'une part, et leur confère de bonnes propriétés mécaniques d'autre part.

EDF et E.ON (anciennement SNET issue de la filialisation des centrales de Charbonnages de France en 1995) produisent ce type de cendres et les stockent sur place sous forme de terril.

E.ON et EDF ont choisi de les commercialiser. Afin de valoriser ces cendres et pour répondre à l'arrêté ministériel du 25 mai 2005, EDF a mené deux études en vue de mesurer l'exposition des travailleurs et de la population.

Les résultats de ces études ont conclu, avec des hypothèses pénalisantes, à une exposition du travailleur de l'ordre de 0,14 mSv/an, et de la population à 2 µSv/an pour le transfert par l'air, et inférieure à 0,001 µSv/an pour le transfert par l'eau.

Sur la période 2000-2009 et en comptant ensemble les activités de EDF et E.ON, la production totale de cendres de charbon représente en moyenne 1 400 kilotonnes et les ventes 1 800 kilotonnes. L'excédent de 400 kilotonnes de ventes par rapport à la production provient du déstockage des terrils.

Ces ventes se répartissent en moyenne dans les différents secteurs d'utilisation de la façon suivante :

- bétons prêts à l'emploi et préfabriqués : 44 % ;
- ciments et liants hydrauliques : 25 % ;
- travaux routiers : 16 % ;
- travaux d'injection : 4 % ;
- remblais : 8 % ;
- divers : 3 %.

À ce jour, les stocks totaux de cendres d'EDF et de E.ON sont de l'ordre de 15 millions de tonnes réparties sur les sites mentionnés dans le *tableau ci-dessous*.

Seul un site d'E.ON présente un stock non valorisable de cendres et est répertorié dans l'Inventaire géographique : Fuveau (13).

Sites EDF et E.ON d'entreposage de cendres valorisables

Sites EDF

- > Atton - Blenod-les-Pont-à-Mousson (54)
- > Richemont (57)
- > Woippy (57)
- > Loire-sur-Rhône (69)
- > Allennes-les-Marais (59)
- > Bouchain (59)
- > Champagne-sur-Oise (95)
- > Cordemais (44)
- > Saint-Leu-d'Esserent (02)
- > Nantes (44)
- > Beautor (02)

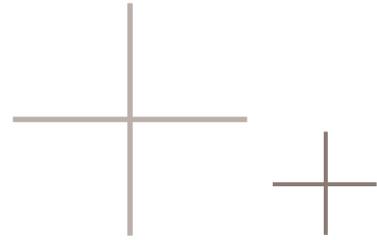
Sites E.ON

- > Hornaing (59)
- > Saint-Avold (57)

Les centrales thermiques de production d'électricité génèrent des cendres de charbon. Cette production est répartie en 90 % de cendres volantes et 10 % de cendres de foyer. Leurs filières de valorisation sont les suivantes :

Ciments et bétons	Cendres volantes	<ul style="list-style-type: none"> - Cendres volantes humides : ajout dans le cru. - Cendres volantes sèches : ajout direct dans le ciment ou béton jusqu'à 20% en teneur. <p>80% des cendres volantes produites sont certifiées suivant la norme EN450*.</p>
Techniques routières	Cendres de foyer	<ul style="list-style-type: none"> - Remblais, quais, sous-couches routières. <p><i>Quelques exemples remarquables</i> : lignes LGV, aéroport Metz-Nancy, Port 2000 au Havre.</p>
Autres	Cendres volantes et de foyer	<ul style="list-style-type: none"> - Liant constitué de ciment (environ 10%) et de cendres volantes pour le comblement de cavité comme par exemple à Till (54) ou au Grand Stade de Lille (59). - Coulis pour tranchées : ce mode permet de creuser des tranchées, en ville, moins larges et de les refermer plus rapidement.

* La norme EN 450 définit les caractéristiques physico-chimiques et les procédures de contrôle qualité de la cendre volante qui doit être ajoutée au béton, mortier ou coulis



D'autres sites identifiés dans le rapport de l'association Robin des Bois de 2009 ne sont pas mentionnés dans le *tableau page 143* puisque les cendres ont été déstockées et les terrains recouverts de terre végétale.

En plus des sites mentionnés précédemment, il existe 24 autres sites sur lesquels des cendres de charbon sont entreposées. Ces sites sont essentiellement des sites orphelins et n'ont pas été déclarés par un exploitant. Une présentation de ces sites sera faite dans la prochaine édition de *l'Inventaire national*.

Stockage de cendres EDF ayant fait l'objet de réhabilitation

ALBI (81) Le peu de cendres restantes (talon de terril) sera recouvert de terre végétale en 2012.	PONT-SUR-SAMBRE (59) La végétalisation de ce site a été réalisée avant sa vente à la communauté d'agglomérations de Maubeuge.
COMMINES (59) Le déstockage des cendres est terminé. Un remblaiement et une mise en place de terre végétale ont été réalisés. Le terrain est en cours de rétrocession à la commune.	PORCHEVILLE (78) Il reste très peu de cendres sur le site qui est naturellement végétalisé.
GONFREVILLE-L'ORCHER (76) Le déstockage des cendres est terminé. Le terrain a été restitué au Grand Port Maritime du Havre.	VAIRES-SUR-MARNE (77) Les cendres ont été régaliées et recouvertes de terre. La construction d'une ZAC est prévue.
LA GRANDE-PAROISSE (77) Il n'y a pas de cendres sur ce site EDF.	VITRY-SUR-SEINE (94) Les cendres ont été évacuées.

4. Stock à fin 2010 des déchets RNR

Déchets RNR destinés à être pris en charge par l'Andra

Catégorie	Volume en m ³ équivalent conditionné
FA-VL	17 000
TFA	7 800
Total	24 800

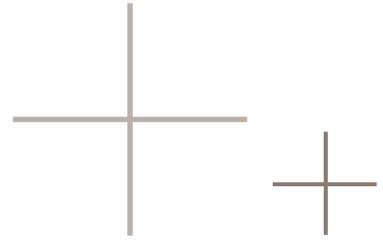
Environ 40 millions de tonnes de déchets RNR (hors cendres de charbon) font l'objet de stockages historiques (*voir chapitre 4*).

Pour les déchets pris en charge par l'Andra, environ 17 000 m³ de déchets RNR sont de catégorie FA-VL et 7 800 m³ de catégorie TFA.

Les solutions existantes et en projet en France pour la gestion des déchets radioactifs

Dossier

4



1.

Le traitement et le conditionnement des déchets radioactifs

Pour être acceptés dans un entreposage ou dans un stockage, les colis de déchets doivent présenter des caractéristiques compatibles avec la protection de l'environnement et de l'homme (stabilité physique et chimique, confinement des substances qu'ils contiennent...).

Ces caractéristiques sont définies par l'exploitant de l'installation d'accueil, en accord avec les règles édictées par l'Autorité de sûreté nucléaire. Certaines concernent la nature des déchets ou leurs caractéristiques radioactives : par exemple, le stockage des liquides, de déchets fermentescibles ou de matières inflammables est interdit.

D'autres caractéristiques portent sur l'objet final à accueillir, c'est-à-dire après traitement et conditionnement du déchet initial : par exemple, les dimensions, la résistance à la chute, la perméabilité...

Le traitement

Cela consiste à transformer le déchet initial en un déchet présentant des caractéristiques plus appropriées pour sa gestion à long terme et en réduisant autant que possible son volume.

De plus, les déchets doivent présenter des propriétés de confinement de la radioactivité sur des durées variables selon la catégorie du déchet et le type de stockage envisagé.

Dans cette perspective le déchet doit, en général, avoir fait l'objet d'un conditionnement.

Procédés de traitement

- 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.

Le conditionnement

Cela consiste en général à immobiliser le déchet dans un conteneur qui contribue au confinement du déchet et à la rétention des radionucléides.

Bien souvent et en fonction des caractéristiques physico-chimiques du déchet, il est nécessaire de le mélanger à un matériau appelé « matrice » qui permet un meilleur confinement de la radioactivité.

L'ensemble matrice/déchet est placé dans un conteneur adapté.

Les déchets les plus radioactifs sont les solutions de produits de fission et d'actinides mineurs provenant du traitement des combustibles usés. Ils sont conditionnés dans une matrice de verre.

Pour les déchets moyennement ou faiblement radioactifs, on utilise des matériaux à base de ciment, de résines polymères ou du bitume.

Les conteneurs sont en béton, en acier non allié ou en acier inoxydable.

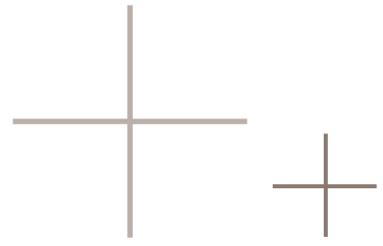
Les déchets très faiblement radioactifs sont généralement conditionnés pour permettre plus facilement leur manipulation. Cependant, il n'est pas toujours nécessaire de les conditionner en conteneur car ils se présentent sous une forme qui permet de les stocker directement de manière sûre.

Aujourd'hui, les producteurs de déchets, en accord avec l'Andra et sous contrôle de l'ASN, définissent et mettent en œuvre les modes de conditionnement de la plupart des déchets qu'ils produisent.

Dans certains cas particuliers, des déchets anciens traités selon les normes de l'époque ou entreposés en vrac dans des installations, doivent faire l'objet d'une reprise pour être, selon les cas, conditionnés, reconditionnés ou entreposés dans de meilleures conditions. On parle alors d'opération de reprise et conditionnement des déchets (RCD). La loi du 28 juin 2006 impose que les déchets MA-VL produits avant 2015 soient conditionnés avant 2030, par leurs propriétaires [1].



Déchargement de big-bags de déchets TFA



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

Les recherches menées dans le domaine de l'électronucléaire ont abouti à des procédés de traitement et de conditionnement qui permettent de réduire le volume de déchets à stocker ou à entreposer.

On peut citer plusieurs exemples. Dans le cas des déchets MA-VL, le compactage est souvent mis en œuvre et permet par exemple de réduire d'un facteur 4, les volumes de déchets de structures des combustibles usés. Ces déchets étaient autrefois cimentés en l'état.

Le recyclage des effluents de l'usine AREVA NC de La Hague (50) et l'envoi des flux résiduels vers la vitrification contribuent à réduire fortement le flux de déchets bitumineux produits. L'optimisation des procédés de traitement et de conditionnement des effluents a permis de réduire les volumes annuels des déchets HA et MA-VL d'un facteur 6 : de l'ordre de 3 m³ par tonne de combustible traité à la conception des ateliers de traitement de l'usine de La Hague (50), à moins de 0,5 m³ actuellement.



Compactage d'un fût de déchets FMA-VC



Atelier de compactage des coques (ACC) de AREVA La Hague (50)

2. Les solutions de gestion des déchets radioactifs

Le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) [1] décrit les filières de gestion des différentes catégories de déchets radioactifs.

Les filières de gestion comprennent quatre types de stockage : deux types de stockage sont aujourd'hui opérationnels, deux autres sont à l'étude.

L'acceptation d'un déchet dans l'un ou l'autre de ces stockages est examinée sur la base d'une évaluation de la sûreté à court, moyen et long terme.

Avant d'être stockés, les déchets sont généralement entreposés dans des installations dédiées.

Un entreposage est une installation sûre, qui permet d'une part d'optimiser la gestion du flux de déchets vers les exutoires définitifs (existants ou en projet) et d'autre part de maintenir les déchets en conditions sûres, dans l'attente d'un conditionnement et/ou de leur acceptation en stockage.

La fonction de l'entreposage peut être :

- **pour les déchets à destination des centres de stockage existants :**

- entreposage à caractère logistique, permettant de gérer les flux vers les installations de l'Andra,
- entreposage de déchets, notamment anciens, en attente de conditionnement avant stockage ;

- **pour les déchets à destination de centres en projet :**

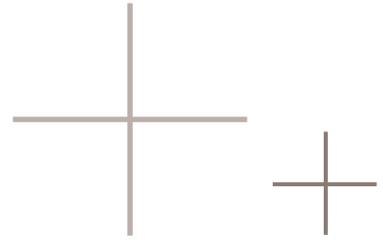
- entreposage en attente de la disponibilité des filières de stockage,
- pour les déchets de haute activité, ceux-ci devront par ailleurs être entreposés plusieurs dizaines d'années en entreposage de décroissance pour refroidir, avant de pouvoir être pris en charge en stockage profond.

2.1 Les déchets HA et MA-VL

Les déchets HA et MA-VL ne disposent pas aujourd'hui d'exutoire définitif.

Cependant, la loi de programme n° 2006-739 du 28 juin 2006 charge l'Andra de mener des études et des recherches pour choisir un site et concevoir un centre de stockage réversible profond.

L'Andra porte ainsi un projet de Centre industriel de stockage géologique, Cigéo, qui accueillera les déchets radioactifs qui ne pourront pas être stockés en surface ou à faible profondeur pour des raisons de sûreté ou de radioprotection.



La mise en service d'un tel centre, sous réserve de son autorisation, est prévue en 2025. La réversibilité du stockage devra être assurée pendant une durée qui ne pourra pas être inférieure à 100 ans. Les conditions de la réversibilité seront fixées par une future loi.

L'installation souterraine de stockage sera implantée dans la formation d'argilites du Callovo-Oxfordien actuellement étudiée au Laboratoire souterrain de l'Andra en Meuse/ Haute-Marne.

Dans l'attente de l'ouverture de Cigéo, l'entreposage temporaire est un outil indispensable pour la gestion des déchets HA et MA-VL.

On peut citer l'exemple d'utilisation de l'entreposage dans la gestion des colis de solutions de dissolution de combustibles UOX contenant des produits de fission et des actinides mineurs (CSD-V). Ces colis doivent être maintenus dans des puits ventilés de l'entreposage EV-SE de l'usine de la Hague (50) durant 60 ans environ, afin de diminuer leur puissance thermique et de répondre aux spécifications pour leur stockage profond.

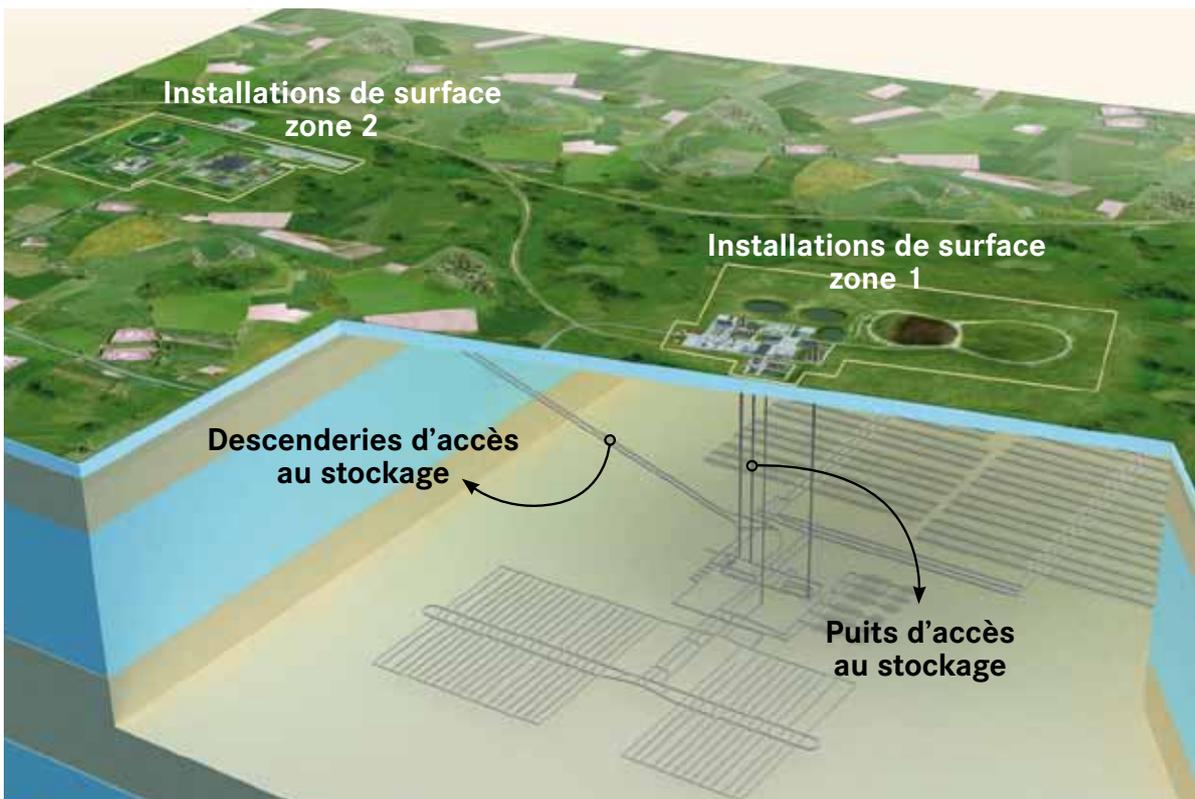


Schéma de principe des installations de Cigéo

2.2 Les déchets FA-VL

La loi de programme n° 2006-739 du 28 juin 2006 a chargé l'Andra de mettre au point des solutions de stockage à faible profondeur pour les déchets de graphite issus principalement de l'exploitation et du démantèlement des réacteurs électronucléaires de première génération UNGG et pour les déchets radifères.

La recherche de site pour l'implantation d'un centre de stockage à faible profondeur a été lancée par l'Andra, avec l'accord du Gouvernement, en juin 2008.

L'État a également demandé à l'Andra d'examiner la possibilité d'inclure d'autres déchets de faible activité à vie longue (FA-VL) dans l'inventaire du centre.

Deux options de conception ont été considérées.

La première option est **un stockage à couverture remaniée (SCR)** qui consiste à implanter le stockage à une quinzaine de mètres de profondeur dans une couche à dominante argileuse de faible perméabilité. Après excavation jusqu'au niveau du stockage, les alvéoles sont creusés à même l'argile, une fois remplis, ils sont couverts d'une couche d'argile compactée, provenant des déblais du site, puis d'une couche de protection végétale reconstituant le niveau naturel du site.

Cette option est notamment applicable aux déchets radifères.

Dans la seconde option, les alvéoles de stockage sont implantés au milieu d'une formation argileuse épaisse à une profondeur de 50 à 200 mètres.

L'accès est effectué par une descenderie et des galeries qui, une fois les déchets stockés, sont remblayées. Cette option est dite **« stockage avec couverture intacte (SCI) »**.

Fin 2008, une quarantaine de communes avait marqué leur intérêt pour ce projet. En 2009, deux communes avaient été retenues pour la réalisation d'investigations géologiques visant à vérifier la faisabilité d'un tel stockage. Pendant l'été 2009, les conseils municipaux des deux communes ont décidé de retirer leur candidature sous la pression des opposants. L'État et l'Andra ont pris acte de ces décisions.

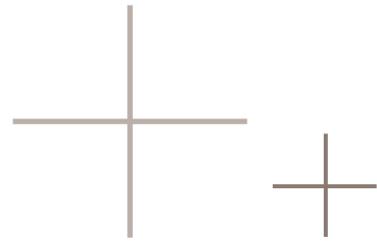
Dans ce contexte, l'État a annoncé un relâchement du calendrier du projet pour donner le temps à la concertation et a demandé à l'Andra de poursuivre les discussions avec les territoires où des communes avaient exprimé leur candidature.

L'État a également demandé à l'Andra de rouvrir les différentes options de gestion des déchets de graphite et radifères, en étudiant notamment les possibilités de gestion séparée de ces deux types de déchets. Un bilan des travaux sera remis par l'Andra à l'État fin 2012.

Le Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN) a constitué un groupe de travail afin de faire un retour d'expérience du processus de recherche d'un site pour les déchets FA-VL. Cette analyse a été menée en collaboration avec l'ANCCLI¹.

Dans l'attente de disposer d'une solution de stockage de ces déchets FA-VL, les colis sont entreposés dans diverses installations. Les principaux producteurs disposent de leurs propres installations d'entreposage. Pour les déchets des « petits producteurs », dont l'Andra assure la prise en charge, ceux-ci ont été entreposés dans diverses installations des principaux exploitants nucléaires. Certaines de ces installations ne peuvent plus les accueillir et doivent les évacuer. L'Andra a donc prévu la construction sur le site du centre de stockage TFA qu'elle exploite dans l'Aube, un nouvel entreposage. La mise en service est prévue courant 2012 (voir encadré page 155).

¹ ANCCLI : Association Nationale des Comités et Commissions Locales d'information.



2.3 Les déchets FMA-VC

Le stockage des déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC) en surface existe depuis 1969.

L'objectif de ce stockage est d'isoler les produits radioactifs de l'environnement pendant le temps nécessaire à la décroissance de leur radioactivité jusqu'à des niveaux d'impact négligeable. Il existe en France deux sites de ce type : le Centre de stockage de la Manche et le Centre de stockage FMA de l'Aube.

Le centre de stockage de la Manche n'accueille plus de déchets depuis 1994 (environ 527 000 m³ y ont été stockés) et il est en phase de surveillance, tandis que le Centre de stockage FMA de l'Aube est en activité depuis 1992, sur la commune de Soulaïnes-Dhuys (10).

Ces centres sont des installations nucléaires de base. Le centre de stockage FMA de l'Aube couvre une superficie de 95 ha, dont 30 réservés au stockage, et a une capacité autorisée d'un million de mètres cubes de colis de déchets radioactifs.



Le Centre de stockage FMA de l'Aube



Le Centre de stockage de la Manche

Au Centre de stockage FMA de l'Aube, les colis sont stockés dans des ouvrages en béton armé de 25 m de côté et de 8 m de hauteur.

Pendant le remplissage de la case, les colis sont protégés de la pluie par des toits mobiles.

Lorsqu'une case est remplie, elle est fermée par une dalle de béton et recouverte d'une couche de polyuréthane imperméable.

On vérifie l'étanchéité de ces cases grâce à un réseau de galeries souterraines, régulièrement contrôlées.

Les ouvrages de stockage sont construits sur une zone géologique constituée d'une couche argileuse surmontée d'une couche sableuse.

La couche d'argile est imperméable et constitue une barrière naturelle en cas de dispersion accidentelle d'éléments radioactifs dans le sous-sol.

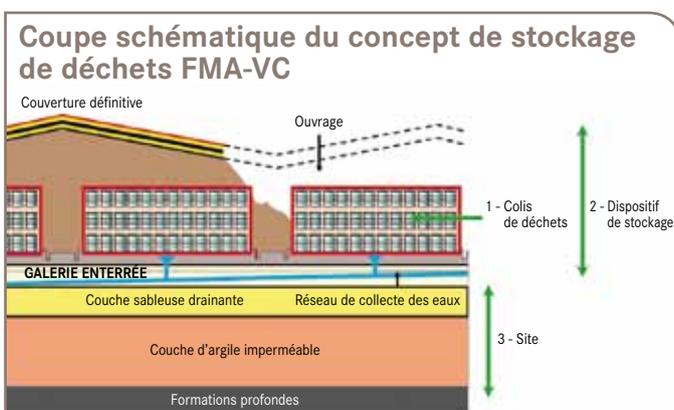
Au-dessus de l'argile, la couche sableuse draine les eaux de pluie vers un exutoire unique qui facilite la surveillance de l'environnement.

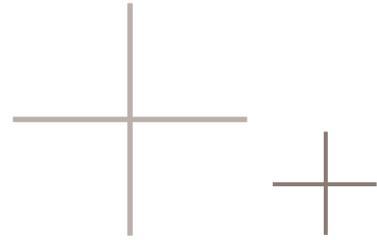


Dépôt d'une coque béton dans un alvéole



Fût de déchets cimentés et coques bétons de déchets cimentés





Déchets TFA conditionnés en big-bag



Vue aérienne du Centre de stockage des déchets TFA dans l'Aube

2.4 Les déchets TFA

À la demande des pouvoirs publics, l'Andra a développé une solution spécifique pour les déchets de très faible activité, inspirée dans son principe des installations de stockage pour les déchets dangereux de l'industrie chimique.

Ce centre de stockage de déchets de très faible activité est une installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE), dont l'exploitation est autorisée par l'arrêté n° 03-2176 A du 26 juin 2003. L'Andra l'exploite depuis l'été 2003.

Afin de ne pas saturer le centre avant la date prévue lors de sa conception, des pistes d'optimisation de la gestion des déchets TFA sont en cours d'étude, comme par exemple la valorisation des métaux et bétons issus du démantèlement des installations nucléaires.

Regroupement et entreposage de déchets à Morvilliers (10)

L'insuffisance de capacité des solutions actuelles et la dépendance vis-à-vis d'autres exploitants industriels ont conduit l'Andra à s'interroger, depuis fort longtemps, sur l'intérêt de posséder en propre des installations lui permettant d'assumer ses missions de prise en charge des déchets des « petits producteurs », et notamment l'entreposage des déchets à destination des centres en projet.

Plus récemment, sont venus s'ajouter :

- l'annonce par le CEA du démantèlement du Centre de Regroupement Nord de Saclay (91) ;
- l'annonce par SOCATRI (26) de la nécessité de modifier le bâtiment actuellement utilisé ainsi que les règles générales d'exploitation et leurs autorisations d'entreposage afin de pouvoir continuer à répondre au besoin ;

- l'objectif fixé à l'Andra, au travers du PNGMDR, de prendre en charge d'ici 10 ans des déchets des « petits producteurs », en particulier les paratonnerres et les détecteurs ioniques de fumée.

Dans ce contexte, l'Andra a engagé la construction d'une installation d'entreposage et de regroupement au Centre de stockage TFA qui prendra la forme de deux bâtiments distincts :

- l'un pour l'entreposage relevant pour des déchets de la catégorie FA-VL actuellement entreposés sur diverses installations (SOCATRI (26), INB 56 à Cadarache (13), INB 72 à Saclay (91)...) et qui, pour diverses raisons, ne peuvent y rester entreposés en attente de la mise en service du centre de stockage de déchets FA-VL ;
- l'autre pour le regroupement et la réexpédition de déchets collectés par la filière de petits producteurs, vers des installations de traitement, d'entreposage ou de stockage appropriés de déchets. Cette fonction est assurée aujourd'hui par le Centre de Regroupement Nord (CRN) installé au CEA/Saclay (91).

Cette installation devrait être mise en service fin 2012.

Le Centre de stockage TFA couvre une superficie de 45 ha, située essentiellement sur la commune de Morvilliers (10). Il est destiné à accueillir 650 000 m³ de déchets provenant pour l'essentiel du démantèlement des installations nucléaires françaises arrêtées.

Les colis de déchets, contrôlés à leur arrivée sur le site, sont stockés dans des alvéoles creusées dans l'argile, dont le fond est aménagé pour recueillir d'éventuelles eaux infiltrées.

Ils sont ainsi isolés de l'environnement par un dispositif comprenant :

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

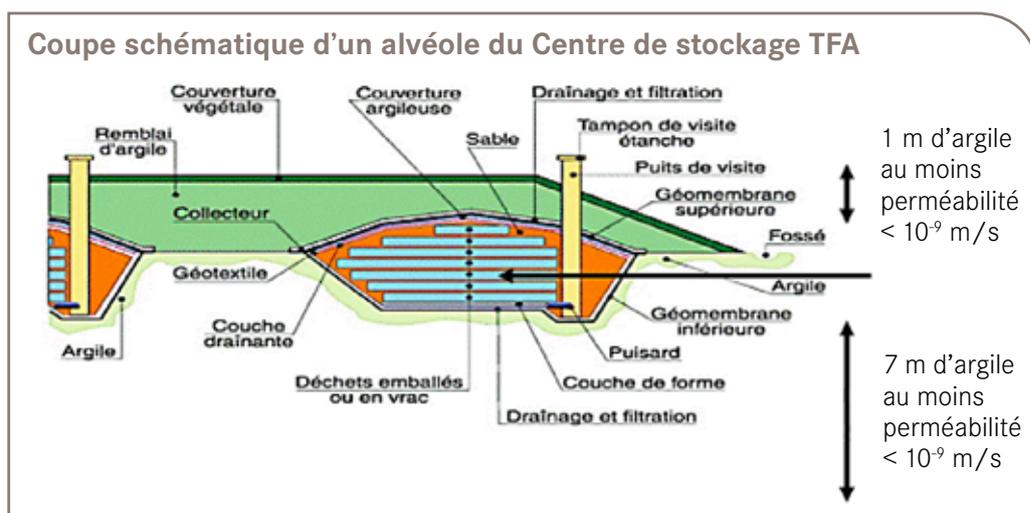
Pendant leur exploitation, les alvéoles sont protégés par des toits démontables en forme de tunnel et équipés de dispositifs de surveillance.

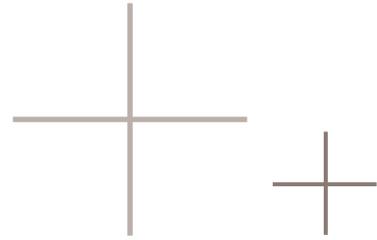
Les déchets de très faible activité se situent entre les déchets conventionnels définis dans l'article L. 541 du Code de l'environnement et les déchets de faible activité (FMA-VC ou FA-VL), car il n'existe pas en France, contrairement à d'autres pays, de seuils de libération fixés à l'avance pour des déchets contenant, ou susceptibles de contenir, une quantité très faible de radioactivité.

Des limites d'acceptabilité en stockage peuvent être fixées à des niveaux différenciés en fonction des radionucléides.



Alvéole de stockage de déchets TFA





2.5 Les déchets tritiés (FMA et TFA)

Bien que le tritium soit un radionucléide à vie courte, il se confine difficilement et peut facilement migrer vers l'environnement et le marquer.

Les déchets tritiés sont gérés spécifiquement. Ils sont, en grande majorité, solides. Les déchets liquides et gazeux, dont les quantités sont très faibles, doivent être traités et stabilisés avant de rejoindre un entreposage.

Après une cinquantaine d'années d'entreposage, ces déchets sont orientés, en fonction de leur radioactivité et du taux de dégazage résiduel, vers un centre de stockage adapté.

Ces déchets résultent en grande majorité des activités liées à la force de dissuasion (> 95% en volume).

Par ailleurs, des industriels et des laboratoires de recherche médicale et pharmaceutique ont utilisé et utilisent encore du tritium pour différentes applications qui ont généré des déchets tritiés, dont une quantité limitée doit être entreposée avant de rejoindre un exutoire définitif.

Enfin, l'installation ITER générera également des déchets tritiés à partir 2024 et deviendra le premier contributeur à l'inventaire, d'abord dans sa phase d'exploitation puis, à partir de 2055, en phase de démantèlement.

On peut classer ces déchets en six catégories :

- les déchets contenant exclusivement du tritium :
 - les déchets très faiblement actifs,
 - les déchets peu dégazants,
 - les déchets dégazants ;
- les déchets tritiés mixtes, c'est-à-dire associés à d'autres radionucléides :
 - les déchets uraniés tritiés,
 - les déchets tritiés irradiants à vie courte,
 - les déchets tritiés irradiants à vie longue.

Le critère dimensionnant pour l'entreposage de ces déchets, vis-à-vis de la radioprotection, est le niveau de dégazage en tritium. Il implique alors une conception de l'entreposage en différents modules avec une ventilation adaptée au niveau de dégazage des déchets.

Par ailleurs, pour limiter le transport de ce type de déchets, le principe d'entreposer les déchets au plus près des installations qui les produisent a été retenu.

Pour entreposer ses déchets, le CEA construit à Valduc (21) un premier module d'entreposage, dont la mise en service est prévue fin 2012 pour recevoir les déchets tritiés de très faible activité.

Concernant ITER, les premiers modules seront disponibles en 2024 pour les déchets TFA et les déchets irradiants à vie courte.

Les déchets tritiés issus des « petits producteurs » sont des déchets tritiés purs peu dégazants dont l'inventaire identifié aujourd'hui représente un peu plus de 20 m³ à fin 2010 et de l'ordre de 100 m³ à l'horizon 2060.

Actuellement, ces déchets sont sur les sites de production. Ils pourraient être entreposés de façon transitoire, en cas d'urgence pour l'environnement ou la santé, après accord au cas par cas de l'autorité de sûreté compétente sur le site de Valduc (21) (INBS).

Il faut noter que pour les besoins immédiats des différentes entités du groupe, la société Thales Air Systems a développé une solution d'entreposage temporaire sur son site de Fleury-les-Aubrais (45), d'une capacité d'accueil de déchets tritiés de 10 m³.

À terme, il est envisagé de bénéficier des infrastructures d'entreposage des déchets d'exploitation d'ITER pour entreposer les déchets tritiés des « petits producteurs ».

2.6 Cas spécifique des déchets gérés en décroissance sur place

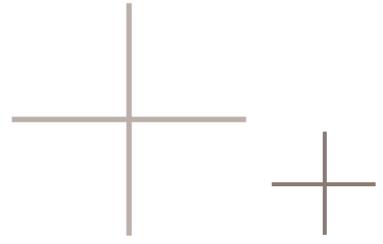
La majeure partie de ces déchets gérés en décroissance sont les déchets hospitaliers, qui contiennent des radionucléides à vie très courte utilisés à des fins de diagnostic ou thérapeutique.

Il suffit d'attendre que leur radioactivité décroisse pendant des durées variant de quelques jours à quelques mois.

Les déchets correspondants sont ensuite évacués dans des filières conventionnelles. Ils ne sont plus considérés comme des déchets radioactifs.

Dossier

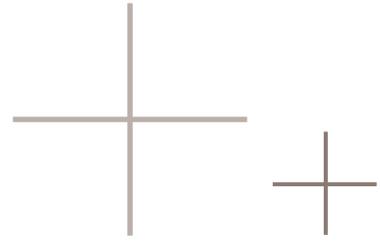
4



Les inventaires de déchets radioactifs à l'étranger

Dossier

5



1.

Finalité des inventaires de déchets

Dans un grand nombre de pays dotés d'installations nucléaires les intervenants ont établi une évaluation précise des déchets radioactifs et des combustibles usés qu'ils produisent. Il s'agit d'un suivi quantifié et régulier qui couvre aussi bien les phases de traitement, de transport, d'entreposage et de stockage.

Les pays dressent aussi des inventaires rendant compte des volumes de déchets radioactifs produits et de leurs situations, fournissant également beaucoup d'autres informations sur leur localisation ou leur radioactivité. Ils sont publiés régulièrement, notamment par les signataires de la convention commune sur la sûreté de gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs de l'AIEA.

Selon le rapport du *Government Accountability Office* (GAO) ¹ américain établi en 2007 [I] : 18 pays (dont la France, le Japon, l'Allemagne, le Canada...), à partir de bases de données nationales d'inventaire des déchets radioactifs, parvenaient à établir :

- l'inventaire de tous les déchets radioactifs par type, volume, emplacement et producteur ;
- l'inventaire de l'état et de l'utilisation des sources radiologiques scellées détenues.

Ces pays ont désigné une autorité nationale assurant la gestion des bases de données d'inventaire permettant :

- de vérifier l'exhaustivité et l'exactitude de ces bases de données ;
- d'exiger des producteurs de déchets de soumettre des informations d'inventaire des déchets à l'autorité nationale au moins une fois par an ;
- d'établir, à partir des bases de données d'inventaire, des prévisions des volumes de déchets à produire et de pouvoir informer le public sur les volumes de déchets à entreposer et à stocker.

De son côté, la Commission européenne a entrepris une évaluation de ses pays membres [II].

Cette étude donne un aperçu des systèmes de suivi des données nationales sur les déchets mis en œuvre parmi les États membres de l'Union européenne. Elle établit des recommandations pour les futurs systèmes de gestion des déchets. L'étude couvre la collecte, la publication et la gestion des données des déchets radioactifs et combustibles usés dans les États de l'Union européenne et les pays candidats cités dans le *tableau page suivante*.

[I] LLRW management, GAO-07-221.

[II] « Radioactive Waste and Spent Fuel Data Collection, Reporting, Record Keeping and Knowledge Transfer by EU Member States Final Report BS-Project No. 0707-03 Contract No. TREN/07/NUCL/S07.78807 ».

¹ Organisme d'audit, d'évaluation et d'investigation du Congrès des États-Unis en charge du contrôle des comptes publics.

Type de base de données d'inventaire national des matières et des déchets radioactifs

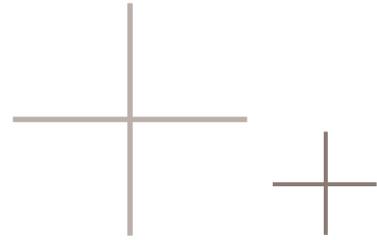
Réponse	Pays
Base de données informatique centralisée avec soumission électronique des données	Allemagne, Belgique, Croatie, Espagne, Estonie, Finlande, France, Hongrie, Italie, Lettonie, Macédoine, Pays-Bas, Roumanie, Slovénie, Royaume-Uni
Base de données informatique située à la centrale nucléaire	Lituanie
Base de données informatique centralisée avec soumission des données par réseau	République Tchèque
Base de données informatique centralisée avec collecte des données par bordereau papier	Bulgarie, Slovaquie
Archive centralisée sur papier avec collecte des données par bordereau papier	Grèce
Non mentionné	Autriche, Chypre, Danemark, Irlande, Luxembourg, Malte, Pologne, Suède, Turquie

Source UE : BS-Project No. 0707-03 Contract No. TREN/07/NUCL/S07.78807

Tous ces pays disposent de spécifications réglementaires concernant la tenue d'un système de collecte de données nationales sur les déchets et les combustibles usés.

L'attribution des responsabilités pour la tenue d'un inventaire est généralement précisée dans le cadre réglementaire.

Le système national de collecte de données est organisé de différentes manières en fonction de l'importance du programme nucléaire de l'État et de la gestion des déchets mis en place. Le *tableau de la page suivante* montre les objectifs des pays à réaliser des bases de données d'inventaire pour leurs déchets radioactifs. Il apparaît que la gestion des capacités des installations constitue l'une des préoccupations majeures.



Objectifs des pays pour la réalisation de base de données d'inventaire

Pays	Décisions politiques	Information du public	Plan de gestion	Sécurité	Gestion financière	Gestion technique
Allemagne	x	x	x		x	
Autriche			x	x	x	x
Belgique	x	x	x			x
Bulgarie		x	x	x	x	x
Croatie	x	x	x	x	x	x
Chypre	<i>Non communiqué</i>					
Danemark		x	x	x		x
Espagne	x		x	x	x	x
Estonie	x		x			
Finlande	« Les principaux objectifs de la base de données sont : I) de servir de support à la réglementation sur les déchets et les inspections associées ; II) de faire un état d'avancement régulier aux ministères ; III) d'informer le public. »					
France	x	x	x			
Grèce	<i>Non communiqué</i>					
Hongrie	x	x	x	x	x	x
Irlande	<i>Non communiqué</i>					
Italie		x	x			
Lettonie	x	x	x	x	x	x
Lituanie			x			x
Luxembourg						x
Macédoine		x	x	x	x	x
Malte	<i>Non communiqué</i>					
Pays-Bas	<i>Non communiqué</i>					
Pologne	<i>Non communiqué</i>					
Portugal	<i>Non communiqué</i>					
République Tchèque	x	x	x	x	x	x
Roumanie		x	x		x	x
Slovaquie		x	x		x	x
Slovénie	x	x	x	x	x	x
Suède	<i>Non communiqué</i>					
Turquie	<i>Non communiqué</i>					
Royaume-Uni	x	x	x			x

Source UE : BS-Project No. 0707-03 Contract No. TREN/07/NUCL/S07.78807

2. Nouvelle directive européenne relative à la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs (2011/70/Euratom)

Le Conseil de l'Union européenne a adopté la directive 2011/70/Euratom du Conseil du 19 juillet 2011 établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs depuis leur production jusqu'à leur stockage. Elle complète ainsi les instruments législatifs d'Euratom qui ne traitaient pas encore de ce sujet.

Elle responsabilise les États membres et les producteurs pour une gestion sûre des combustibles et des déchets ainsi que pour la protection des personnes et de l'environnement contre les dangers des rayonnements ionisants. Elle impose aux États membres de se doter d'un cadre légal sur la sûreté nucléaire à même d'établir :

- une autorité de sûreté et de contrôle compétente, indépendante des producteurs de déchets ;
- des titulaires d'autorisation à même de démontrer et de maintenir la sûreté de leurs installations en matière de gestion de combustibles usés et de déchets sur toute leur durée de vie.

Elle impose aussi que les États établissent un programme national pour élaborer et mettre en œuvre la politique de gestion des combustibles et déchets doté :

- d'objectifs généraux que les politiques nationales des États membres auront à atteindre en matière de gestion du combustible usé et des déchets radioactifs ;

• d'échéances importantes en tenant compte des objectifs à atteindre pour les programmes nationaux ;

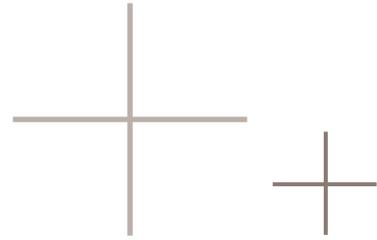
• d'un inventaire de tous les combustibles usés et des déchets radioactifs, et les estimations relatives aux quantités futures, y compris celles résultant d'opérations de démantèlement. Cet inventaire doit indiquer clairement la localisation et la quantité de déchets radioactifs et de combustibles usés, conformément à la classification appropriée des déchets radioactifs.

Par ailleurs, les États membres devront :

- assurer les ressources financières nécessaires à la gestion des combustibles usés et des déchets ;
- maintenir les ressources humaines adéquates ;
- assurer la transparence de l'information et la participation du public ;
- réexaminer et mettre à jour régulièrement leur programme national pour prendre en compte les évolutions et les progrès, et faire réaliser des revues par les pairs ;
- privilégier le stockage des déchets dans l'État producteur, mais pouvoir stocker leurs déchets dans un autre pays (État membre ou, sous certaines conditions, État tiers).

Cette directive est entrée en vigueur le 23 août 2011 et les États membres disposent d'un délai de deux ans pour la transposer en droit national.

Dans ses attendus, la directive mentionne que le stockage géologique est la solution de référence pour les déchets de moyenne activité à vie longue et de haute activité. En effet dans la plupart des pays, le stockage géologique s'est imposé comme une solution à long terme. Il est entrepris dans des roches hôtes variées, fonction des possibilités géologiques des pays concernés.



3.

Le suivi réalisé par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA)

L'AIEA, agence de l'Organisation internationale des Nations Unies (ONU), met à la disposition du public une base de données, appelée « NEWMDB », qui est en premier lieu une base d'inventaire des déchets radioactifs dans différents pays. Les données sont mises à jour régulièrement et leurs présentations tendent à se normaliser.

Chaque pays dispose généralement de sa propre classification de déchets radioactifs qui est convertie selon une classification commune, proche de celle de la France [III].

Les volumes indiqués restent en revanche ceux choisis par le pays concerné : volumes bruts, traités, conditionnés, entreposés ou encore prêts à être stockés.

Tous les trois ans les pays membres publient sous l'égide de l'AIEA un rapport national dans le cadre de la Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs. La dernière conférence s'est déroulée en mai 2012 au siège de l'AIEA à Vienne (Autriche). Une importante part de ces rapports est consacrée aux inventaires des déchets radioactifs et des combustibles usés existants mis à jour à l'occasion des publications.

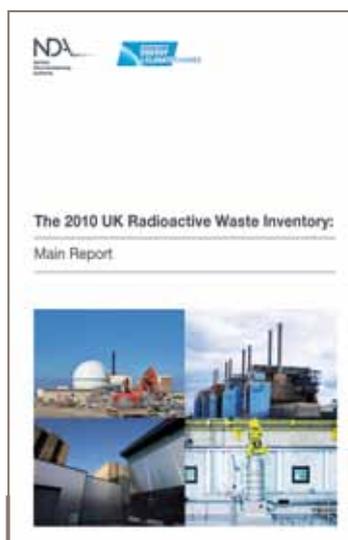
4.

L'inventaire dans certains pays

4.1. ROYAUME-UNI

Au Royaume-Uni, un inventaire est réalisé tous les trois ans par la nouvelle autorité de démantèlement nucléaire, la NDA, en partenariat avec le ministère de l'Énergie et du changement climatique (DECC).

La dernière version en vigueur qui constitue l'inventaire 2010 est parue en 2011. Cet inventaire dresse l'état des déchets existant au 1^{er} avril 2010 et présente l'ensemble des déchets à venir au Royaume-Uni.



L'inventaire du Royaume-Uni

[III] IAEA Safety Standards Series No GSG-1, 2009.

Cet inventaire comprend des informations sur les quantités, les types et les caractéristiques des déchets. Les prévisions sont fondées sur des hypothèses diverses de production d'électricité, de démantèlement et d'autres opérations. À l'exception du stockage de déchets de faible et moyenne activité à vie courte situé près de la commune de Drigg, non loin de Sellafield, aucune installation nucléaire ne contient de déchets radioactifs autres que les installations qui les produisent. L'inventaire 2010 a porté sur l'examen de 1 312 sites et il inclut les activités de la Défense. Il prend en compte les déchets produits ou prévus, situés principalement sur leur lieu de production et qui n'ont pas fait l'objet d'un stockage définitif. L'inventaire ne recense donc que les déchets considérés comme entreposés ou à venir. Il ne recense pas les 800 000 m³ de déchets stockés à Drigg. Les volumes de déchets enregistrés dans l'inventaire correspondent principalement à l'état dans lequel ils se trouvent au moment de leur prise en compte, c'est-à-dire celui qu'ils occupent dans la cuve (pour les liquides devant être traités), les alvéoles, les silos, les fûts... qui les contiennent.

L'inventaire se présente sous la forme de plusieurs documents :

- un résumé de l'inventaire 2010 qui cible une large audience. Il renseigne sur la définition et la nature des déchets radioactifs au Royaume-Uni : comment sont-ils produits ? combien y en a-t-il ? Comment sont-ils gérés ?

- un rapport principal d'inventaire qui donne des informations détaillées sur les poids, les volumes, le conditionnement et le colisage des déchets. Il détaille les déchets produits et à venir en établissant un comparatif avec l'inventaire 2007 ;

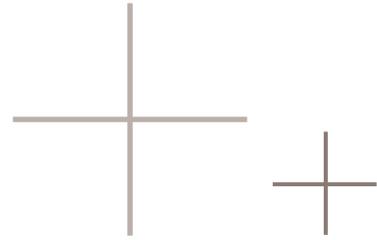
- un résumé d'inventaire pour une publication internationale qui répond aux besoins de déclaration internationale des déchets radioactifs au 1^{er} avril 2010. Il reprend la classification des déchets radioactifs au Royaume-Uni à la fois pour ceux à vie courte et à vie longue.

4.2. SUISSE

Dans un contexte d'activité nucléaire relativement modeste, la Suisse, à travers la Nagra (Société coopérative pour le stockage des déchets radioactifs), a compilé un premier inventaire de ses déchets en 1984. Mise à jour en 1994, en 2008 puis en 2012, la publication reflète le contenu de la base de données MIRAM (« Inventaire type des matières radioactives ») établie pour répondre aux besoins des organismes chargés de la gestion des déchets.



L'inventaire de la Suisse



Cet inventaire recense l'ensemble des matières considérées comme des déchets selon la classification suisse et ne comprend par conséquent ni les déchets TFA, ni les matières valorisables. Il est composé d'un rapport principal complété par 142 fiches signalétiques correspondant chacune à un type de déchets. L'ensemble est disponible sur le site internet de la Nagra (www.nagra.ch) où il peut être consulté par un large public. Une mise à jour périodique, en liaison avec l'avancement de la procédure de sélection des sites de stockage (« plan sectoriel »), est prévue.

4.3. BELGIQUE

L'Ondraf, Organisme national des déchets radioactifs, est chargé de dresser un inventaire qui comporte deux volets, l'un des substances radioactives présentes sur le territoire belge, et l'autre des « passifs nucléaires » qui inventorie les différents sites et producteurs de déchets radioactifs.

Cette mission lui a été confiée par l'arrêté royal du 16 octobre 1991 et étendue à tous les sites et producteurs par la loi du 12 décembre 1997.

L'Ondraf tient à jour, de façon permanente, un inventaire quantitatif et qualitatif de tous les déchets radioactifs présents et à venir, y compris les matières fissiles inutilisées et les déchets futurs de démantèlement des installations nucléaires.

L'inventaire est quinquennal et le dernier publié en 2008 portait sur la période 2003-2007. Il répertoriait 824 sites comportant des déchets radioactifs, des matériaux radioactifs issus des démantèlements et des matières nucléaires.

Il établit une prévision des volumes de déchets jusqu'en 2070, date à laquelle l'ensemble des installations nucléaires existantes seront démantelées. L'inventaire répertorie des sites non nucléaires comme celui d'Olen qui contient les déchets radifères de traitement de minerais, ou encore des installations qui détiennent des sources radioactives.

L'inventaire réalisé en Belgique vise à assurer que les moyens financiers nécessaires existent bien pour permettre la prise en compte de l'ensemble des déchets par ceux qui les ont produits. Il s'agit d'éviter qu'ils ne deviennent une charge pour la collectivité si ces moyens étaient insuffisants ou manquants.

L'édition 2008 développe en particulier des aspects méthodologiques d'évaluation des moyens financiers et des provisions qui leur sont associées. La mission confiée à l'Ondraf d'inventaire des passifs nucléaires, définie par l'article 9 de la loi-programme du 12 décembre 1997, consiste à :

(source : site internet Ondraf www.nirond.be)

« • établir un répertoire de la localisation et de l'état de toutes les installations nucléaires et de tous les sites contenant des substances radioactives, où une substance radioactive est « toute substance contenant un ou plusieurs radionucléides dont l'activité ou la concentration ne peut être négligée pour des raisons de radioprotection » ;

- estimer leur coût de déclassement et d'assainissement ;
- évaluer l'existence et la suffisance de provisions pour le financement de ces opérations futures ou en cours ;
- mettre cet inventaire à jour tous les cinq ans. »

L'inventaire est déclaratif, laissant aux exploitants la responsabilité des informations transmises à l'Ondraf.

Le rapport d'inventaire n'est pas public dans la mesure où il contient des données financières des exploitants que certains estiment sensibles d'un point de vue commercial.

Une synthèse de l'inventaire est disponible sur le site internet de l'Ondraf.

Le troisième rapport d'inventaire sera publié en 2013 pour le volet sur les passifs nucléaires, et en 2012 pour celui sur les déchets radioactifs.

Ce dernier rassemble les données physiques, radiologiques et chimiques des déchets.

4.4. ALLEMAGNE

En 2001 le parlement allemand a décidé de réaliser un Plan national de gestion des déchets radioactifs comportant l'état, le traitement envisagé et le mode de gestion considéré pour les différents types de déchets radioactifs. Après la fin de la 15^e législature, la mise en œuvre de ce Plan n'a pas été poursuivie.

Indépendamment de la préparation du Plan national de gestion des déchets fondée sur l'inventaire national des déchets, le Bureau fédéral de radioprotection (BfS) a développé depuis 1984 une approche systématique. Il réalise la collecte et la mise à jour des données de base de l'inventaire des déchets radioactifs, les quantités et volumes existants et des prévisions pour l'année suivante et pour chaque décennie jusqu'à l'horizon 2080. Le BfS procède annuellement par enquête auprès des producteurs, au moyen d'un questionnaire portant sur les volumes des déchets produits, traités et conditionnés. Cela ne concerne que les déchets devant être stockés. Les déchets susceptibles d'être libérés, au sens de la radioprotection en Allemagne, l'uranium appauvri ainsi que l'uranium et le plutonium issus du traitement utilisés dans la fabrication d'éléments combustibles, ne sont pas comptabilisés dans l'inventaire.

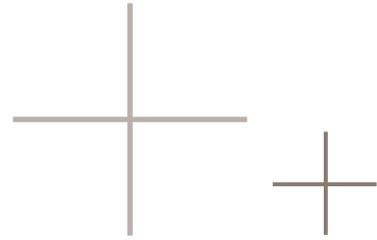
L'uranium et le plutonium recyclés sont cependant comptabilisés annuellement par le ministère de l'Environnement, de la Préservation de la nature et de la Sécurité nucléaire (BMU). Les données des volumes de déchets présents et futurs de l'inventaire sont complétées par des données chimiques qui

mentionnent les compositions organiques des déchets et les substances dangereuses, non organiques, en rapport avec la préservation de l'eau du sous-sol.

Les prévisions de production de déchets radioactifs sont établies par le BfS selon un scénario modifié par le 13^e amendement, du 6 août 2011, de la loi sur l'énergie nucléaire. Avec cet amendement, pris consécutivement aux événements du Japon de 2011 qui conduisirent à reconsidérer les risques liés à l'utilisation de l'énergie nucléaire, huit autorisations d'exploitation de centrales nucléaires n'ont pas été renouvelées. Les demandes d'autorisation d'exploitation des neuf réacteurs restants prendront fin entre 2015 et 2022. La présentation publique de l'inventaire national en Allemagne sous une forme exhaustive, détaillant tous les aspects de sa réalisation, n'existe pas encore (tous les aspects de sa préparation ne sont pas encore couverts). Elle pourrait constituer l'un des volets du futur Plan national de gestion des déchets radioactifs, où le choix du futur site de stockage des déchets exothermiques reste à définir. Un inventaire est présenté tous les trois ans dans le rapport de la République Fédérale d'Allemagne pour la convention commune sous l'égide de l'AIEA sur la sûreté de gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs. Il a été publié en 2011 en préparation de la 4^{ème} conférence de la convention commune qui s'est tenue en mai 2012.

4.5. ESPAGNE

Enresa (l'homologue de l'Andra) réalise et met à jour un inventaire des déchets radioactifs produits en Espagne sur la base des informations fournies par les producteurs de déchets. Les premières études d'inventaire ont démarré en 1986 en même temps que le premier Plan général des déchets radioactifs. Aujourd'hui, les informations sont rassemblées dans une base de données à partir de laquelle est élaboré un document de synthèse. La dernière publication date de janvier 2006 sur la base des données au 31 décembre 2004. L'inventaire est principalement destiné à fournir les volumes de déchets produits et entreposés sur chaque installation, ainsi que des prévisions de production de déchets qui devront être gérés en Espagne. Les données sont présentées par type de producteurs. Elles comprennent les éléments combustibles, les déchets des réacteurs et celles



du stockage d'El Cabril. Elles indiquent les volumes des déchets déjà produits, ceux à produire et ceux produits en Espagne dont le traitement et l'entreposage sont effectués à l'étranger. Les résidus des anciennes installations minières font aussi partie de l'inventaire.

Le décret royal 1349/2003 du 31 octobre 2003 réglemente les activités d'Enresa et son financement. Cet organisme public a la charge de dresser un inventaire des déchets radioactifs entreposés et stockés, ainsi que ceux des installations démantelées ou fermées.

Le contrat établi entre les producteurs de déchets et Enresa fait obligation aux producteurs de fournir un inventaire initial présentant par type et quantité de déchets radioactifs la situation réelle au moment de la signature du contrat. En complément le producteur doit indiquer tous les ans :

- les estimations prévisionnelles à 5 ans des déchets radioactifs d'exploitation à produire, classés par famille ;
- les estimations prévisionnelles à 10 ans des types de combustibles ;
- les estimations prévisionnelles à 5 ans des déchets radioactifs spécifiques ;
- les inventaires de déchets produits l'année précédente, par famille (exploitation, combustibles usés et déchets spécifiques) ;
- le programme à venir de fermeture des installations.

Une base de données nationale des déchets radioactifs et des combustibles usés est tenue à jour par Enresa.

Son principal objet consiste à contribuer à la planification d'exploitation et stratégique de la gestion des déchets. Cet inventaire n'est pas publié directement et publiquement par Enresa. Il fait cependant l'objet d'une description par l'intermédiaire de la NEWMDB de l'AIEA et par le rapport national espagnol publié à l'occasion de la 4^{ème} conférence de la convention commune sur la gestion sûre des combustibles usés et des déchets radioactifs organisée par l'AIEA.

4.6. ÉTATS-UNIS

Plusieurs systèmes d'inventaire et de suivi des déchets radioactifs existent aux États-Unis qui diffèrent selon les organismes chargés de les réglementer :

- le *Department of Energy* (DOE) pour le secteur de la Défense ;
- la *Nuclear Regulatory Commission* (NRC) pour le secteur commercial.

L'origine et la nature des déchets conditionnent souvent aussi le lieu de stockage.

La NRC réalise des inventaires nationaux pour les combustibles usés du secteur commercial et les sources scellées.

Pour les autres catégories de déchets, il n'existe pas de système national d'inventaire qui rassemble de façon homogène l'ensemble des informations de chaque installation et organisme, qu'il soit un producteur, un intermédiaire dans la gestion des déchets (*broker* ou *processor*)² ou un gestionnaire de stockage.

Cependant, les producteurs de déchets du secteur nucléaire commercial établissent des manifestes d'expédition des déchets vers des intermédiaires (*Manifest Information Management System*). Les déchets de plusieurs producteurs peuvent ainsi être regroupés avant leur traitement et leur stockage. Les exploitants des installations de stockage conservent les données pendant la durée de vie des installations et organisent l'archivage après fermeture.

² Un broker est un intermédiaire qui se charge, pour le compte du producteur, de gérer ses déchets radioactifs et, suivant leur nature, de choisir l'entreprise de conditionnement et de traitement (*processor*) et l'entreprise de stockage.

Les déchets radioactifs sont stockés à la fois par le Gouvernement fédéral et par des organismes privés. Les sites de stockage seront à terme placés sous la responsabilité des Gouvernements des États ou du Gouvernement fédéral. Les combustibles usés et les déchets de haute activité sont entreposés.

Les spécifications des inventaires relèvent des législations de chaque État ou de l'État fédéral dans lequel les stockages sont situés. L'inventaire doit conserver une trace papier, à partir de sa production et pendant toute la durée du stockage.

La NRC requiert des producteurs de déchets du secteur privé qu'ils établissent des systèmes d'inventaire des déchets détenus sur les sites de stockage.

Pour le secteur de la Défense, le DOE (www.em.doe.gov) possède également ses propres systèmes d'inventaires établis sur les sites et illustrés par les exemples ci-après :

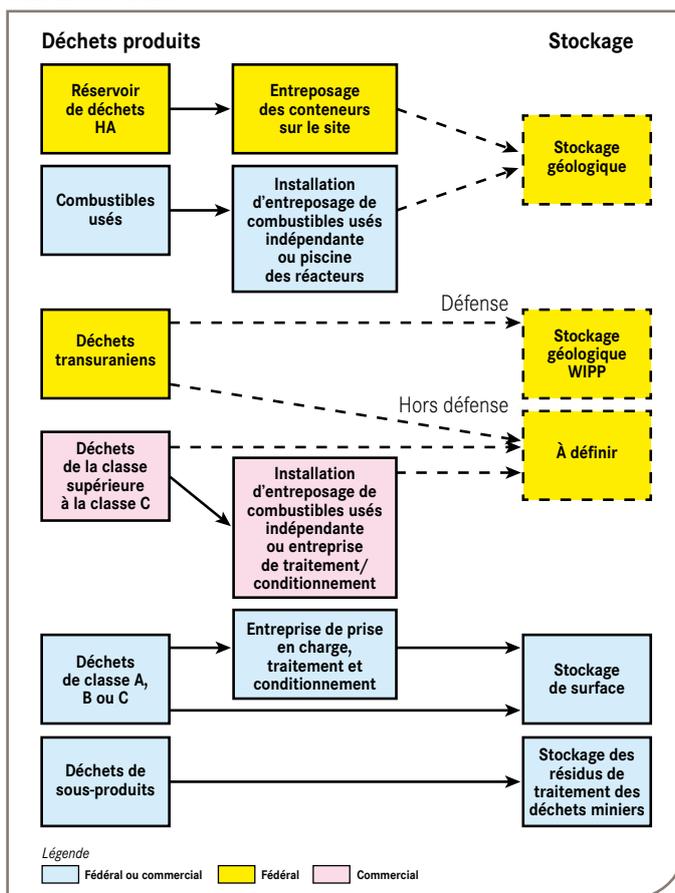
- *Solid Waste Information Tracking System* (SWITS), utilisé pour les déchets solides, FMA et transuraniens, du site de Hanford ;
- *Integrated Waste Tracking System* (IWTS) à l'*Idaho National Laboratory* ;
- *Waste Isolation Pilot Plant Waste Information Management System* (WWIS) qui constitue l'inventaire (déchets transuraniens) du premier stockage géologique en exploitation.

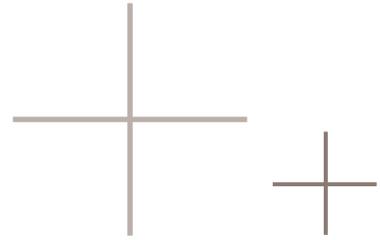
Souvent très complets, les inventaires américains portent sur toutes les productions à l'origine des déchets radioactifs : déchets miniers, activités d'assainissement de sites et déchets dits mixtes de faible activité, comportant à la fois de la radioactivité et des résidus toxiques chimiques.

Les informations sont souvent librement accessibles sous forme de bases de données à partir d'internet, en particulier celle du WIPP exploitée par le DOE.

Enfin le DOE réalise une synthèse des informations d'inventaire des installations nucléaires. Elle est publiée dans le rapport national, adressé à l'AIEA (Agence internationale de l'énergie atomique), en application de la Convention commune sur la sûreté de la gestion des combustibles usés et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs. Elle est également mise à jour dans la base de données d'inventaire NEWMDB exploitée par l'AIEA.

Illustration de la gestion des déchets radioactifs aux États-Unis





4.7. CANADA

Le Canada publie tous les trois ans un inventaire qui précise l'emplacement des déchets radioactifs, et dresse un état des productions et des quantités accumulées. Il fournit également des prévisions de quantités qui seront produites jusqu'à la fin de l'exploitation du parc actuel des réacteurs, envisagée en 2050.

Les données sur l'inventaire des déchets radioactifs proviennent de plusieurs sources. Elles sont tirées des documents réglementaires, des rapports et informations fournis par l'organisme de réglementation, les producteurs de déchets et les installations de gestion des déchets.

Les documents réglementaires comprennent : les rapports de conformité annuels ou trimestriels, les examens annuels de la sûreté et les rapports de déclassement soumis à l'autorité de sûreté (la CCSN).

Enfin, chaque titulaire d'autorisation doit élaborer et mettre en œuvre un système de

comptabilité portant aussi sur les déchets radioactifs et les combustibles usés. Ce système et les registres afférents sont assujettis à une surveillance réglementaire.

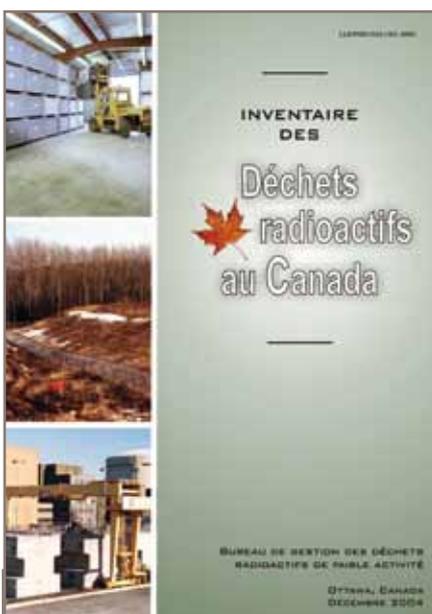
Les déchets radioactifs y sont présentés suivant trois catégories qui correspondent aux politiques de gestion de ces déchets mises en œuvre dans ce pays :

- déchets de combustible nucléaire ;
- déchets de faible activité et de moyenne activité ;
- déchets issus de l'extraction minière et de la concentration de l'uranium.

La première catégorie concerne les grappes de combustibles des différents réacteurs de type Candu. La seconde se partage en déchets courants, qui résultent de l'exploitation et du démantèlement des installations, et en déchets historiques issus d'anciennes activités, par exemple de raffinage du radium à Port Hope. Enfin, le Canada répertorie les résidus de traitement de l'uranium sur des sites en opération, inactifs et déclassés.

Le Bureau de gestion des déchets radioactifs de faible activité réalise l'inventaire. Cette instance, chargée par ailleurs des programmes de gestion des déchets courants et historiques, est administrée par l'organisme de recherche EAAC (Énergie atomique du Canada limitée) pour le compte du ministère des Ressources naturelles.

Trois inventaires sont actuellement disponibles, publiés en 1999, 2004 et le dernier en 2009.



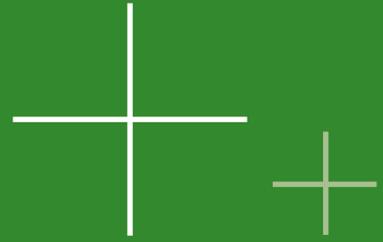
L'inventaire du Canada

Historique

Le Canada produit des déchets radioactifs depuis le début des années 1930, époque à laquelle la première mine d'uranium est entrée en exploitation à Port Radium, dans les Territoires du Nord-Ouest. Le radium était raffiné à des fins médicales, et, plus tard, l'uranium a été traité à Port Hope, en Ontario. Les activités de recherche et développement sur l'utilisation de l'énergie nucléaire pour la production d'électricité ont commencé dans les années 1940, aux Laboratoires de Chalk River (LCR) d'Énergie atomique du Canada limitée (EAAC).

Aujourd'hui, les déchets radioactifs générés au Canada proviennent : des mines et des usines de concentration d'uranium, des raffineries d'uranium et des usines de conversion de l'uranium, de la fabrication de combustible nucléaire, de l'exploitation de réacteurs nucléaires pour la production d'électricité, de la recherche nucléaire, et de la production et de l'utilisation de radio-isotopes.



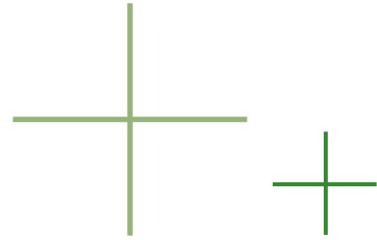


nnexes

Comment construit-on *l'Inventaire national* ? La méthodologie

Annexe

1



1.1 Organisation retenue pour le recensement des matières et des déchets radioactifs

1.1.1 Le contexte législatif

L'article L. 542-12 du Code de l'environnement modifié par la loi du 28 juin 2006 charge l'Andra « d'établir, de mettre à jour et de publier tous les trois ans l'Inventaire des matières et déchets radioactifs présents en France ainsi que leur localisation sur le territoire national. »

L'Agence a pour mission d'informer le public sur la nature et la localisation des déchets radioactifs. Le décret du Conseil d'État du 29 août 2008 [I] pris pour l'application de l'article 22 de la loi du 28 juin 2006 et un arrêté ministériel du 9 octobre 2008 [II] définissent les obligations déclaratives des producteurs et détenteurs de matières et de déchets radioactifs.

L'*Inventaire national* contient aussi des informations sur les entreposages de déchets demandés par le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) [III].

Pour l'édition 2012 de l'*Inventaire national*, les stocks de déchets existants sont établis à fin 2010, les prévisions sont établies aux horizons 2020 et 2030 selon les dates définies par l'arrêté ministériel du 3 février 2011 [IV].

1.1.2 Les principes de réalisation de l'*Inventaire national*

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

Un double objectif est poursuivi :

- recenser les déchets et les matières sur le territoire français, auprès de chaque producteur ou détenteur. L'Andra accomplit ce travail de recensement depuis 1992. Initialement effectué sur la base de la libre déclaration des producteurs et détenteurs, ce travail, depuis 5 ans, est réalisé dans le cadre réglementaire décrit au *paragraphe précédent* ;
- établir une vue synthétique des matières et des déchets présents et à venir selon des scénarios prévisionnels avec des photographies des stocks aux dates clés définies par arrêté ministériel.

À noter que seuls les déchets correspondants à l'exploitation et au démantèlement des installations existantes ou autorisées à fin 2010 sont évalués dans l'*Inventaire national*.

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

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

[III] Décret n° 2012-542 du 23 avril 2012 pris pour l'application de l'article L. 542-1-2 du Code de l'environnement et établissant les prescriptions relatives au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs.

[IV] Arrêté du 3 février 2011 relatif aux informations à transmettre à l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs en vue de l'édition 2012 de l'*Inventaire national des matières et déchets radioactifs*.

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

■ La disponibilité de l'information

Une mise en forme des données rendues compréhensibles pour un large public, sans abuser d'un vocabulaire technique, permet de répondre à l'exigence d'information des citoyens.

Parallèlement, l'objectif est de mettre à disposition des pouvoirs publics pour l'élaboration du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR), un inventaire réaliste, correspondant à la meilleure vision des producteurs de déchets au moment de leur déclaration.

■ L'exhaustivité

l'Inventaire national recense les déchets existants liés aux productions récentes et en cours, mais aussi aux productions du passé depuis le début des utilisations des propriétés de la radioactivité qu'elles soient industrielles, de la Défense ou médicales. L'objectif est de présenter une « photographie » de tous les déchets présents sur le territoire français à un instant donné, quel que soit leur état physique ou chimique, conditionnés ou non, liquides ou solides, de radioactivité forte ou faible. Le champ d'investigation du recensement ne se limite pas aux seuls stockages ou aux entreposages des déchets. Il concerne également toutes les installations possédant, même à titre provisoire, des dépôts en attente de prise en charge par l'Andra, par exemple dans les

laboratoires de recherche médicale ou universitaire. Il s'étend également aux matières radioactives. L'édition 2012 a aussi porté son attention sur les sites pollués.

■ La neutralité

l'Inventaire national retranscrit les informations recueillies de manière factuelle, sans porter de jugement sur le caractère dangereux ou non des situations et modes de gestion décrits.

■ La transparence

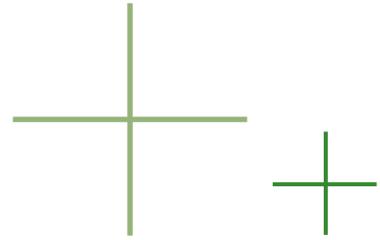
l'Inventaire national présente une image de l'ensemble des matières et des déchets radioactifs, quelle que soit leur origine. Cette approche se veut complémentaire des efforts de transparence engagés depuis plusieurs années par les pouvoirs publics, les producteurs de déchets et l'Autorité de sûreté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

Pour respecter ce principe de transparence, un comité de pilotage, présidé par la directrice générale de l'Andra et composé de membres extérieurs à l'Agence, pilote l'élaboration de cet Inventaire.

Le comité de pilotage de *l'Inventaire national*

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

- de représentants des administrations concernées (ministère en charge de l'Environnement et ministère en charge de l'Énergie) ;
- d'un représentant de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) ;
- de représentants des principaux producteurs de déchets (électronucléaire et hors électronucléaire) ;
- d'un représentant de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) à titre d'observateur ;
- d'un représentant de la Commission nationale d'évaluation (CNE, voir chapitre 1), à titre d'observateur ;
- de représentants des associations de défense de l'Environnement et des CLI ;
- d'un représentant du Haut comité pour la transparence et l'information sur la sûreté nucléaire (HCTISN).



La responsabilité du déclarant et la vérification par l'Andra de la filière de gestion

L'*Inventaire national* présente les données déclarées par les producteurs de déchets. Chaque producteur est donc responsable de sa déclaration. L'Andra n'a pas de pouvoir de police, mais les dispositions réglementaires issues de la loi du 28 juin 2006, décrites en

page 175, lui permettent le cas échéant de faire appel à l'administration en cas de manquement d'un producteur ou d'un détenteur de déchets à ses obligations déclaratives. Par ailleurs, conformément à l'article 2 du décret du 23 avril 2012 établissant les prescriptions du PNGMDR, l'Andra vérifie la pertinence de la filière de gestion du déchet proposée par le producteur. Les obligations déclaratives des producteurs ou des détenteurs de déchets ne dispensent toutefois pas l'Agence de veiller à l'exhaustivité de son recensement en recoupant diverses sources d'information. Lorsque la présence de déchets radioactifs est avérée sur des sites non encore répertoriés, ils intègrent l'*Inventaire national* lors de la mise à jour suivante.

1.2

Le recensement des déchets radioactifs existants

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

- **le présent rapport de synthèse ;**

- **l'Inventaire géographique** qui présente les sites qui produisent, traitent, conditionnent, entreposent et stockent des déchets radioactifs.

Il présente aussi les anciens sites miniers sur lesquels sont stockés sur place et de façon définitive des résidus de traitement des minerais d'uranium, les sites de stockages historiques et les sites pollués par la radioactivité assainis, en cours d'assainissement ou avérés, et sur lesquels sont entreposés des déchets ;

- **le Catalogue descriptif des familles** qui présente le recensement des déchets regroupés par famille. Une famille se définit comme un ensemble de déchets ayant des caractéristiques analogues au regard de certains critères. Cette classification est notamment utilisée pour bâtir les prévisions.

1.2.1 L'Inventaire géographique

L'Inventaire géographique présente les sites qui produisent, traitent, conditionnent et entreposent des déchets radioactifs, exploités par les producteurs et détenteurs de déchets. Il répertorie aussi les Centres de stockage de l'Andra, les établissements de la Défense nationale, les sites des « petits producteurs » et les sites historiques. Ces sites historiques recouvrent les sites miniers, les sites historiques de stockage et les sites pollués avérés dont notamment ceux liés à l'utilisation du radium.

L'information est reportée de façon factuelle, pour chaque région, en tableaux synthétiques pour les « petits producteurs » et les établissements de la Défense hors INBS, et en fiches géographiques pour les autres déclarants. Dans ces tableaux ou ces fiches figurent les informations sur les radionucléides utilisés et le volume des déchets (lorsque ces informations sont disponibles) ; les filières de gestion sont précisées. Selon son importance, un site peut donner lieu à une ou plusieurs fiches géographiques. Les fiches géographiques les plus détaillées présentent les inventaires des plus grands producteurs comme par exemple EDF, AREVA et le CEA.

La catégorie du déchet, définie au *chapitre 1*, est précisée ainsi que la famille à laquelle il appartient (décrite dans le Catalogue descriptif des familles). Chaque type de déchet présent sur le site est mentionné, associé à son activité et au volume de ce déchet une fois conditionné. Le rapport de synthèse exploite et analyse les données issues de cet Inventaire géographique.

Les sites pollués par la radioactivité

Ces sites sont identifiés grâce à des études de risques réalisées sur les anciens sites industriels ou des enquêtes historiques sur certaines activités industrielles plus ou moins anciennes.

De plus, dans le cadre de la circulaire interministérielle du 17 novembre 2008 relative aux missions d'intérêt général de l'Andra, les Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) et l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) peuvent également porter à la connaissance de l'Andra des informations susceptibles de compléter ou de préciser le recensement des sites pollués.

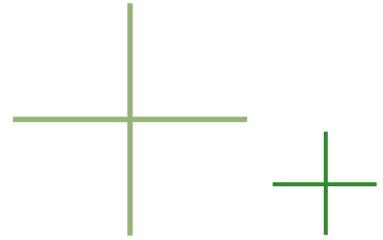
Après un « lever de doute » (*voir chapitre 4*), la réhabilitation de ces sites est prise en charge par l'Andra dans le cadre de sa mission d'intérêt général. Ces sites sont alors répertoriés sous forme de fiche dans l'Inventaire géographique.

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

Les sites pollués à responsable défaillant sont gérés par l'Andra dans le cadre de sa mission d'intérêt général.

C'est donc souvent l'Andra qui effectue la déclaration. Les fiches relatives à ces sites pollués avérés présentent un bref historique du site et son état (réhabilité, en cours de réhabilitation ou en attente de réhabilitation).

Les sites qui étaient déclarés comme réhabilités à fin 2007 dans l'édition 2009 de l'*Inventaire national* ne figurent plus dans l'édition 2012.



Les établissements de la Défense

Ce secteur d'activité regroupe les activités professionnelles liées à la Défense nationale qui relèvent soit directement du ministère de la Défense soit 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.

Il s'agit essentiellement de petits matériels de type boussoles au radium ou au tritium, de dispositifs de visée, de plaques et de 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).

1.2.2 Le Catalogue descriptif des familles de déchets radioactifs

Le regroupement des déchets par famille

Le recensement effectué selon les principes précédents conduit à une grande diversité de déchets déclarés. Les déchets ont été regroupés par famille, par souci de simplification et pour bâtir des prévisions quantitatives. La description détaillée de chaque famille de l'*Inventaire national* fait l'objet du Catalogue descriptif des familles de déchets radioactifs.

Une famille se définit comme un ensemble de déchets ayant des caractéristiques analogues au regard des critères choisis pour leur regroupement.

Les critères suivants ont permis de retenir plus d'une centaine de familles pour l'édition 2012 :

- la catégorie du déchet au sein de la classification des déchets radioactifs par filière de gestion, depuis la très faible activité jusqu'à la haute activité ;
- le secteur économique à l'origine de la production du colis de déchets ;
- la nature et les caractéristiques physiques et chimiques du déchet brut avant conditionnement : 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...

- l'état de la production du déchet brut et du colis ; deux états étant définis pour les déchets comme pour les colis :

- déchet dont la production est terminée, déchet en cours de production ou déchet dont la production est « non démarrée »,
- colis dont la production est arrêtée, colis en cours de production ou colis dont la production est « non démarrée » ;

- le mode de conditionnement réel ou prévu, en particulier le matériau de la matrice et du conteneur.

Les volumes de déchets dans l'*Inventaire national* sont présentés en « m³ équivalent conditionné ». Cette unité est adoptée pour effectuer les bilans. Cela permet d'utiliser une unité de compte homogène pour l'ensemble des déchets. Les prévisions adoptent, elles aussi, cette unité.

Les activités des déchets ont été calculées par l'Andra pour chaque famille, à partir des caractéristiques des colis qui sont données par les producteurs et détenteurs de déchets radioactifs (voir annexe 3).

L'activité totale des déchets ainsi que l'activité par gramme de colis sont calculées à la date de l'inventaire (fin décembre 2010) en becquerel et en becquerel par gramme de colis.

■ Les prévisions de production des déchets radioactifs

Comme indiqué précédemment, les déchets d'exploitation, ceux devant faire l'objet d'opérations de reprise et de conditionnement (RCD) et ceux de démantèlement des installations existantes ou autorisées au 31 décembre 2010 sont recensés dans l'*Inventaire national*.

Dans le cas des prévisions de production de déchets, il est indispensable de définir auparavant les scénarios de production du secteur de l'électronucléaire. Les natures et les volumes de déchets radioactifs produits par l'industrie électronucléaire ne peuvent être évalués sans hypothèses préalables sur la consommation électrique future, l'avenir des centrales nucléaires, la politique de traitement des combustibles usés... En fonction de ces scénarios, les hypothèses prises en compte pour l'évaluation des volumes de déchets dans le temps sont différentes.

Les prévisions de production de déchets radioactifs ont été effectuées pour les jalons temporels dictés par arrêté [VI] : 2020 et 2030. Les hypothèses sur lesquelles reposent ces scénarios sont décrites au chapitre 2.

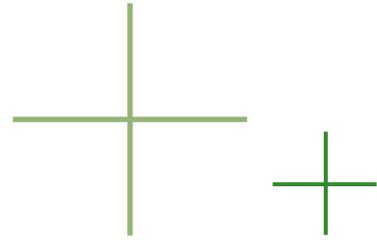
L'*Inventaire national* présente tous les déchets, qu'ils soient ou non déjà conditionnés ; des hypothèses sur les modes de conditionnement sont donc également nécessaires pour quantifier ces prévisions.

Les prévisions de volumes de déchets équivalents conditionnés sont présentées par famille.

Les matières et les déchets produits dépendront fortement des choix politiques et énergétiques à venir.

Annexe 1

[VI] Arrêté du 3 février 2011 relatif aux informations à transmettre à l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs en vue de l'édition 2012 de l'*Inventaire national des matières et déchets radioactifs*.



Ces choix porteront notamment sur l'importance et la nature d'une éventuelle prolongation des centrales et/ou d'un renouvellement du parc électronucléaire en fonctionnement aujourd'hui (les plus anciennes centrales nucléaires de production électrique atteindront 40 ans à partir de 2017). Ils porteront également sur l'aval du cycle du combustible nucléaire.

Le scénario retenu dans le cadre de l'édition 2012 pour évaluer les déchets par famille en 2020 et en 2030 est un scénario de poursuite de la production électronucléaire avec une durée de fonctionnement des centrales de 50 ans. Dans un souci d'homogénéité, les dates de 2020 et 2030 ont été choisies pour évaluer les déchets radioactifs issus de l'ensemble des secteurs de production : non seulement du secteur électronucléaire mais également de la recherche et de la Défense.

Au-delà de 2030, l'édition 2012 présente, comme l'édition précédente, une estimation de la quantité totale de déchets produits par les installations actuelles jusqu'à leur fin de vie, démantèlements compris (voir chapitre 2). Comme déjà évoqué, ce type d'estimation est dépendant de la politique énergétique de la France à l'issue de la fin de vie du parc électronucléaire actuel.

L'*Inventaire national* a donc procédé à des estimations avec deux types de scénarios :

- l'arrêt de l'électronucléaire et une durée de fonctionnement de 40 ans et donc le non-renouvellement du parc ;
- le renouvellement complet des centrales avec une durée de fonctionnement de 50 ans.

Il ne s'agit là que de deux scénarios possibles parmi de nombreuses variantes.

Les évaluations sont donc à comprendre comme des ordres de grandeur. Ces estimations ainsi que les scénarios qui les sous-tendent sont présentés dans le *chapitre 2*.

1.2.3 Le recensement des matières radioactives

L'*Inventaire national*, conformément à l'article L. 542-12 du Code de l'environnement modifié par la loi du 28 juin 2006 effectue également un recensement des matières radioactives.

Les masses de ces matières nucléaires sont suivies par chaque exploitant dans le cadre de la « comptabilité des matières nucléaires » : celle-ci est régulièrement contrôlée, tant par les autorités françaises que par celles de l'Union européenne dans le cadre du traité Euratom.

L'*Inventaire national* n'a pas pour objectif de se substituer à cette comptabilité, qui est confidentielle. Il présente simplement des chiffres globaux, sans prétendre atteindre le même niveau de détail que la comptabilité précitée. Comme pour les déchets, les évaluations de stocks et les prévisions de production sont issues des déclarations des producteurs.

L'Inventaire national peut-il prétendre à l'exhaustivité ?

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

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

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

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

Au fil des éditions, certaines installations ne sont plus recensées car elles ne contiennent plus de déchets radioactifs (sites démantelés et assainis). *A contrario*, de nouvelles installations productrices de déchets apparaissent.

Depuis une quinzaine d'années, l'*Inventaire national* a progressé dans la prise en compte des déchets de la Défense et dans le recensement des installations du cycle du combustible et des installations de recherche.

Le caractère réglementaire des déclarations à partir de 2008 a contribué à accroître l'exhaustivité des données déclarées pour la présente édition de l'*Inventaire national*. Par ailleurs, les incidents sur le site du Tricastin (26) de l'été 2008 ont conduit le ministre de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire à saisir le Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN). À la suite de cette saisine, les informations concernant certains sites historiques présentés dans l'*Inventaire national* ont été précisées. .../...

Dans la nuit du 7 au 8 juillet 2008, lors d'opérations de transfert, environ 20 m³ d'effluents uranifères ont été déversés dans l'environnement par la société SOCATRI (site nucléaire du Tricastin - 26), se traduisant par un rejet dans la rivière Gaffière d'environ 70 kg d'uranium non enrichi.

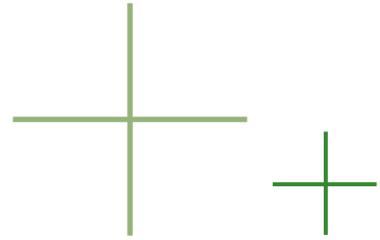
Cet incident a conduit les pouvoirs publics à prendre par précaution des mesures temporaires de restriction de l'usage de la consommation d'eau, d'interdiction de la pêche dans les rivières environnantes ainsi que d'interdiction de baignade dans les plans d'eau à proximité.

Le ministre de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire a alors souhaité l'avis du Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN) sur les suites de cet incident et son suivi au niveau local.

Par ailleurs, le ministre d'État a étendu sa demande d'avis au suivi radioécologique de l'ensemble des sites nucléaires et à la gestion des anciens sites d'entreposage de déchets radioactifs [VII].

Annexe 1

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



...Toutefois, il existe nécessairement des détenteurs potentiels de déchets radioactifs qui ne se sont jamais adressés à l'Andra, ou des sites pollués par la radioactivité pas encore répertoriés.

Pour les sites pollués, des enquêtes historiques ont été conduites pour identifier les sites potentiellement contaminés par la radioactivité et oubliés au cours du temps. Par ailleurs, parmi les recommandations émises par le Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire dans le cadre de la saisine du ministre d'État [VII], figure la recommandation numéro 15 : « Le Haut comité recommande que le site BASIAS développé par le ministère en charge de l'Écologie relatif aux

anciennes industries ou activités de service, soit étendu aux sites industriels susceptibles d'être concernés par des pollutions de nature radioactive. » La mise en œuvre de cette recommandation pourra conduire à de nouvelles enquêtes historiques.

Pour l'identification des détenteurs potentiels, il est encore difficile de garantir la complétude du recensement pour certains secteurs d'activité mentionnés *page 178* (hospitaliers, laboratoires de recherche autres que CEA...), à la fois en termes de localisation et de présence effective de déchets sur les sites répertoriés.

Enfin, comme vu au *chapitre 1*, la notion même de « déchet radioactif » est sujette à interprétation pour certains déchets présentant des niveaux de radioactivité très bas.

L'*Inventaire national* tente cependant d'être le plus complet possible.

1.3

La gestion informatique des données

Les déclarations des producteurs et détenteurs de déchets sont, depuis 2008, effectuées par internet.

La mise en place de la télédéclaration constitue un progrès notable dans la transmission des informations jusqu'alors obtenues par échange de fichiers informatiques avec les principaux producteurs, par échange de courrier ou fax pour les « petits producteurs ».

L'interrogation par internet est maintenant effective pour tous les producteurs.

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

Une fois analysées par l'Andra, les données sont introduites dans une base de données informatisée. Cette base permet de réaliser les bilans.

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

1.3.1

La vérification des données des stocks à la fin 2010

Les déclarations sont effectuées par les différents types de producteurs.

Les procédures de vérification des données dépendent du type de producteur :

- **les grands industriels du nucléaire** (EDF, AREVA, CEA) gèrent plusieurs sites.

Chaque site dispose de correspondants qui connaissent bien l'état des stocks et effectuent les déclarations (le déclarant). Elles sont ensuite vérifiées puis validées par une personne responsable au niveau de chaque organisme (valideur producteur).

La fiabilité des déclarations repose sur des procédures de contrôles internes à l'industriel : systèmes de vérification, de validation et relecture de cohérence.

- **les « petits producteurs »** produisent moins de déchets radioactifs. Dans de nombreux cas, ces entités s'adressent déjà à l'Andra pour l'évacuation de leurs déchets. L'Agence entretient des relations directes avec les correspondants de chaque site ;

- **les sites d'entreposage ou de stockage de déchets** sont la plupart du temps des installations nucléaires de base (INB ou INBS) ou des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Dans tous les cas, elles sont réglementairement tenues de conserver la traçabilité des déchets reçus et d'effectuer des déclarations aux autorités compétentes. Leurs inventaires sont donc connus et maîtrisés ;

- **dans le cas des sites pollués par de la radioactivité**, la connaissance des sites dont l'Andra a la charge de l'assainissement permet d'établir les déclarations les plus fiables possibles.

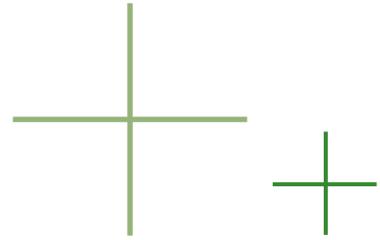
Pour les autres sites, l'Agence s'adresse au propriétaire du site ou à l'organisme chargé de son assainissement.

Chaque donnée déclarée est vérifiée par l'Andra : comparaison avec la déclaration précédente, contrôle de cohérence, recouplement avec d'éventuelles autres sources d'informations, analyse de la filière de gestion des déchets retenue par le producteur...

La filière de gestion proposée dans l'*Inventaire national* ne préjuge pas de l'acceptation du déchet dans le centre de stockage correspondant.

Les données une fois analysées sont ensuite, le cas échéant après échanges avec le producteur et reprise des déclarations, validées par l'Andra.

Les données consolidées sous forme de bilan sont soumises au comité de pilotage de l'*Inventaire national* qui valide la cohérence d'ensemble des volumes relatifs aux déchets et aux matières.



1.3.2 La vérification des scénarios et des hypothèses

Dans la mesure où elles concernent le futur, les prévisions et les hypothèses qui figurent dans l'*Inventaire national* (prévisions sur les modes de conditionnement, sur les quantités produites dans le futur, sur les évolutions des modes de production de déchets radioactifs) ne peuvent être « vérifiées » au sens propre.

En dépit de cette difficulté, certaines dispositions garantissent que les hypothèses énoncées sont crédibles :

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

1.3.3 Les autres types d'informations

L'*Inventaire national* comporte également des données à caractère descriptif sur les colis de déchets, notamment dans le Catalogue descriptif des familles de déchets radioactifs.

Ces données sont notamment issues de documents techniques fournis par les producteurs ou de contrôles de colis effectués par l'Andra sur les sites des industriels ou d'autres informations disponibles à l'Andra.

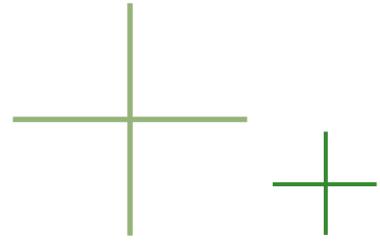
Elles ont été relues par les producteurs concernés. D'un caractère illustratif, elles sont destinées à donner au lecteur une bonne vision des caractéristiques principales des déchets.

Elles sont susceptibles d'évoluer, ou d'être complétées au fur et à mesure des éditions de l'*Inventaire national*.

La gestion des déchets radioactifs français et étrangers issus des combustibles usés dans les installations AREVA de La Hague

Annexe

2



2.1 Le traitement des combustibles usés étrangers à La Hague

Démarrée en 1966, la première usine de traitement de combustibles usés de La Hague (50), UP2-400, a traité de l'ordre de 5 000 tonnes de combustibles usés de la filière française UNGG (uranium naturel graphite gaz, des réacteurs des centrales de Chinon (37), Saint-Laurent-des-Eaux (41) et Bugey (01)), à l'instar de l'usine UP1 de Marcoule (30) (démarrée en 1958) qui a traité des combustibles de même nature.

Au début des années 1970, la France a décidé de se doter d'un parc électronucléaire de type eau légère, au combustible à uranium enrichi.

L'usine UP2-400 s'est adaptée à cette évolution (ateliers dits HAO en particulier), et sa capacité (portée à 400 tonnes/an de combustibles de réacteurs à eau) a permis de proposer cette prestation de traitement également à des clients étrangers, avec lesquels des contrats ont été signés dans les années 1970.

Avec le démarrage des usines UP3-A (1990) et UP2-800 (1994), ce sont plus de 26 000 tonnes de combustibles usés de type eau légère qui ont été traitées à La Hague à fin 2010, dont environ 61 % pour la France, 21 % pour des clients allemands, 11 % pour des clients japonais, et le reste principalement pour des clients belges, suisses, néerlandais et italiens.

Dès 1977, AREVA a fait figurer dans les contrats signés avec les électriciens étrangers une clause lui donnant la possibilité de réexpédier des déchets conditionnés à l'usine de La Hague.

512 tonnes de combustibles usés étrangers ont été traitées au titre de contrats antérieurs à 1977, ne comportant donc pas ce type de 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, une première loi a encadré le traitement des combustibles usés étrangers traités en France, en interdisant le stockage en France des déchets qui en sont issus [I].

L'article L. 542-2 II du Code de l'environnement (article 8 de la loi du 28 juin 2006 [II]) encadre le traitement des combustibles usés et des déchets radioactifs étrangers. Désormais, dans une volonté de transparence, l'introduction de combustibles usés ou de déchets radioactifs en France en vue de leur traitement est soumise à la signature d'accords inter-gouvernementaux publiés au Journal officiel de la République française qui précise les périodes prévisionnelles de réception et de traitement de ces substances.

Cet article requiert également que l'exploitant de l'installation de traitement de combustibles usés remette un rapport (rendu public sur internet) avant le 30 juin de chaque année au ministre chargé de l'Énergie (le premier a été réalisé en 2008), comportant l'inventaire des combustibles usés et des déchets radioactifs en provenance de l'étranger ainsi que des matières et des déchets radioactifs et leurs prévisions relatives aux opérations de traitement.

[I] Loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs, dite loi Bataille.

[II] Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs. Les dispositions de cette loi ont été codifiées dans le Code de l'environnement.

Dans le cadre des dispositions de cette loi du 28 juin 2006 (codifiées aux articles L. 542-2 et L. 542-2-1 du Code de l'environnement) et du décret n° 2008-209 du 3 mars 2008 [III], AREVA a mis en place un système d'inventaire et d'expédition des déchets après traitement des combustibles usés en provenance de l'étranger dans les installations nucléaires de

base (INB) de La Hague (50), approuvé par l'arrêté du 2 octobre 2008 [IV]. Il s'agit du système EXPER (pour « EXPÉdition des Résidus »), outil destiné à « répartir, parmi les déchets issus du traitement, ceux qui doivent être expédiés hors du territoire national, et ceux qui relèvent d'une gestion à long terme sur le territoire national, et d'attribuer à chaque destinataire la part qui lui revient » [III]. Les principes de répartition exigés par le décret d'application n° 2008-209 sont détaillés au *paragraphe 3* de cette annexe.

2.2 Le conditionnement des déchets radioactifs ultimes issus des combustibles usés

Le **traitement des combustibles usés** à La Hague (50) consiste à **séparer**, d'une part, **les matières** (uranium et plutonium) et, d'autre part, **les déchets radioactifs ultimes** (produits de fission, actinides mineurs et déchets de structure) qui représentent l'essentiel de la radioactivité du combustible usé.

Les matières sont recyclées sous forme de combustibles à l'uranium ou au plutonium (combustible MOX) afin d'être utilisées dans les réacteurs électrogènes.

Les déchets radioactifs ultimes, quant à eux, sont conditionnés sous forme de colis, appelés résidus par AREVA permettant leur entreposage et leur transport dans les conditions de sûreté requises.

Le conditionnement des déchets radioactifs ultimes est également conçu pour assurer de hautes performances de durabilité et de confinement à long terme en vue de leur gestion ultérieure.

« Les déchets ultimes contenus dans les combustibles usés traités dans les installations de La Hague (50) appartiennent à deux catégories :

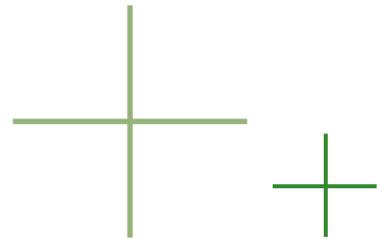
- **les produits de fission et les actinides mineurs** issus de la combustion nucléaire en réacteur sont séparés dans l'usine de La Hague des matières valorisables, puis calcinés et incorporés dans une matrice de verre. Le verre est coulé dans un colis CSD-V (conteneur standard de déchets vitrifiés) pour constituer un colis de déchets vitrifiés, ce qui permet ainsi de conditionner sous forme compacte, durable et confinante la quasi-totalité de l'activité contenue dans les déchets ultimes. Tous les déchets concernés sont des déchets de haute activité (HA) ;
- **les déchets de structure** sont les composants métalliques (tubes de gainage, plaques) assurant le maintien et le confinement du combustible, ainsi que les pièces d'assemblage (grilles, embouts) de ces premiers composants. Dans l'usine de La Hague (50), ils sont compactés et conditionnés en colis CSD-C (conteneurs standard de déchets compactés) pour constituer des colis de déchets compactés. Tous les déchets concernés sont des déchets de moyenne activité et à vie longue (MA-VL).

L'expédition de colis de déchets à leurs propriétaires étrangers, au titre du traitement de leurs combustibles usés, se fait donc en standard sous ces deux formes. » [IV]

Annexe 2

[III] Décret 2008-209 du 3 mars 2008 relatif aux procédures applicables au traitement des combustibles usés et des déchets radioactifs provenant de l'étranger.

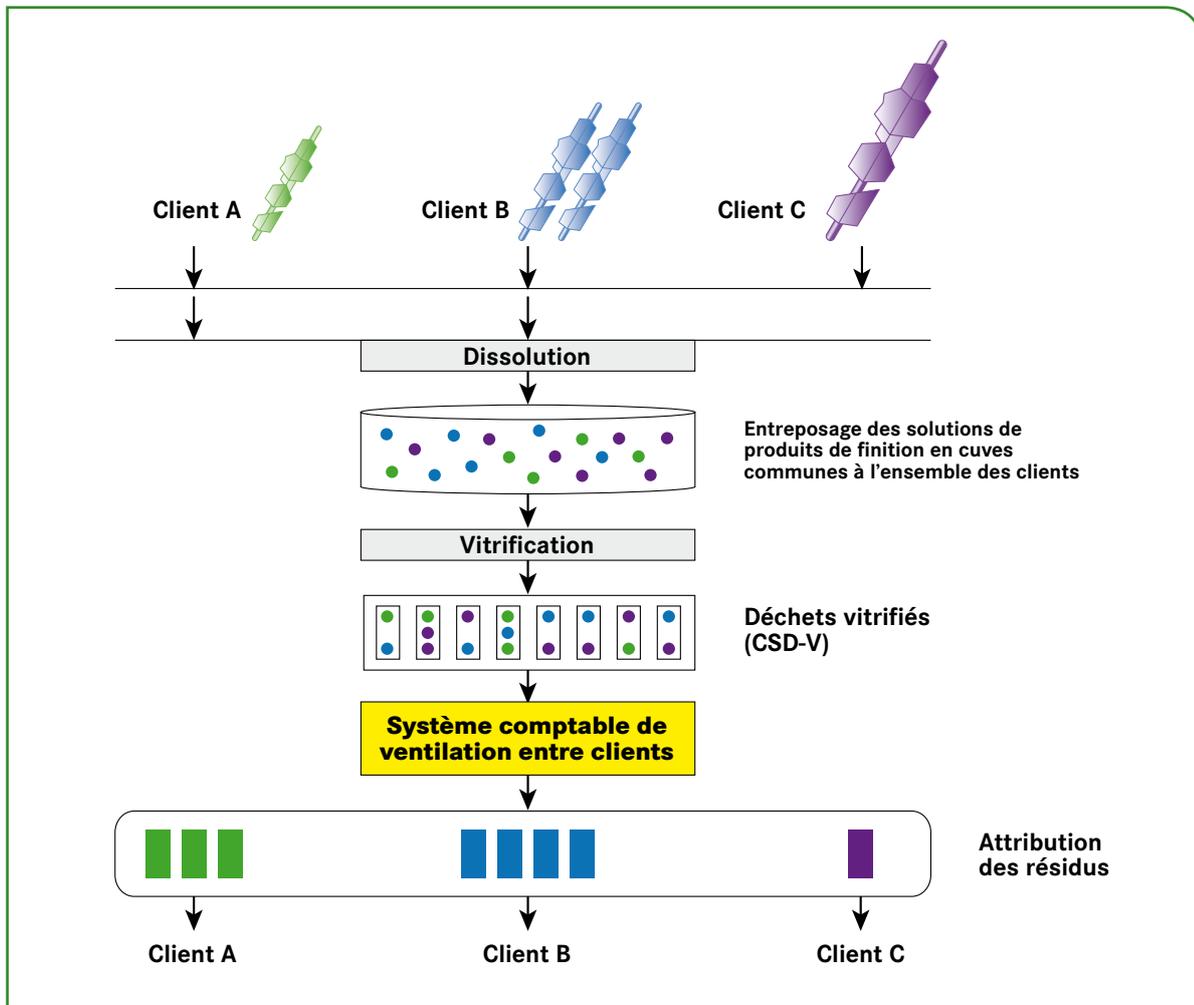
[IV] Arrêté du 2 octobre 2008 portant approbation du système d'inventaire et d'expédition des déchets après traitement des combustibles usés en provenance de l'étranger dans les INB de La Hague (50).



Le fonctionnement du procédé en continu ne permet pas à AREVA de discriminer les flux de matière pour ses différents clients. En revanche, la comptabilité des substances radioactives en entrée et en sortie permet un suivi client par client.

Le schéma ci-dessous présente les principes du système d'attribution des colis de déchets et illustre le cas de la gestion mutualisée des produits de fission et des actinides mineurs.

Système d'attribution des résidus (colis de déchets) aux clients d'AREVA La Hague (50) : cas des colis de déchets vitrifiés



2.3 Le système de gestion comptable mis en œuvre à La Hague : EXPER

Comme expliqué précédemment, AREVA a mis en place le **système EXPER** dans le cadre des dispositions légales et réglementaires [V].

L'arrêté du 2 octobre 2008 le définit comme suit : « Il porte exclusivement sur le traitement des combustibles usés. Il a pour but :

- **de régir l'attribution des colis** de déchets conditionnés aux clients ;
- **de suivre les échéanciers réalisés et prévisionnels**, de la réception des combustibles usés à leur traitement, jusqu'à l'expédition des colis de déchets.

Ce système fait ainsi suite au système d'unités de résidus (ou système « UR ») mis en place par AREVA au début des années 1990. Il en reprend l'indicateur d'activité et lui ajoute un indicateur de masse ».

2.3.1 Principes de répartition du système EXPER

Les principes de répartition des déchets issus des combustibles usés après traitement ou de déchets provenant de l'étranger sur lesquels repose EXPER sont les suivants :

- égalité de l'activité radioactive entrante et sortante ;
- égalité de la masse des substances radioactives entrantes et sortantes.

Ces égalités portent sur les déchets à comptabiliser pour expédition.

Ce système comptable permet donc de déterminer :

- **l'activité à expédier à chaque propriétaire**. Celle-ci est exprimée en UAR (unité d'activité des résidus) et correspond à la quantité de néodyme, un produit de fission contenu dans les déchets ultimes, choisi pour sa représentativité de l'activité globale et sa capacité à être mesuré précisément ;
- **la masse à expédier**, qui est exprimée en UMR (unité de masse des résidus) et qui correspond à la masse (en kg) des structures métalliques des combustibles usés.

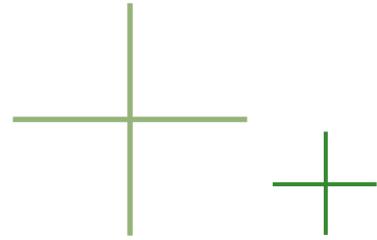
« Ces déterminations sont réalisées notamment au niveau des combustibles usés en entrée et des colis de déchets en sortie. » [V]

Annexe 2

[V] Arrêté du 2 octobre 2008 portant approbation du système d'inventaire et d'expédition des déchets après traitement des combustibles usés en provenance de l'étranger dans les INB de La Hague (50).

Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs. Les dispositions de cette loi ont été codifiées dans le Code de l'environnement.

Décret 2008-209 du 3 mars 2008 relatif aux procédures applicables au traitement des combustibles usés et des déchets radioactifs provenant de l'étranger.



Dans son article 3, le décret du 3 mars 2008 [III] précise qu'« un exploitant qui assure ou envisage d'assurer le traitement de combustibles usés ou de déchets radioactifs provenant de l'étranger doit disposer d'un système de suivi des entrées de combustibles usés et de déchets radioactifs et des sorties de déchets radioactifs à expédier vers l'étranger.

Ce système précise les quantités et la nature physique des substances par provenance, tient le décompte des déchets traités et organise leur attribution à chaque destinataire.

Il enregistre les dates de réception de ces substances sur le territoire national, les périodes de leur traitement et les dates de sortie des déchets du territoire national. Il est adapté aux conditions d'application de chaque accord intergouvernemental. »

2.3.2 Mécanismes d'attribution des colis

Les attributions des colis aux clients sont effectuées dans le cadre de ce système.

« Avant la phase d'expédition, l'identification des colis concernés est appelée attribution. Le principe mis en place est l'attribution aux clients de colis de déchets correspondant

en activité et en masse aux combustibles usés entrants, parmi l'ensemble des colis disponibles pour cette attribution.

L'attribution est réalisée préalablement à l'expédition.

Avant l'expédition, le client est propriétaire (crédeur) d'unités de comptes UAR et UMR. La règle générale est l'interchangeabilité des colis au sein de chaque catégorie.

Ainsi, tout colis standard produit conformément à une spécification acceptée par le client lui est attribuable. La correspondance entre UAR (ou UMR) entrantes et sortantes est arrêtée à la fin des contrats (...). » [IV]

2.3.3 Gestion des comptes des clients

L'arrêté [IV] précise qu'AREVA « tient à jour pour chaque client de l'usine de traitement de La Hague (50) des comptes sur lesquels lui sont allouées des UAR et des UMR.

Ces comptes sont crédités et débités lors des différentes étapes du processus de traitement des combustibles usés.

Au plus tard au moment du début du traitement physique du combustible usé, les comptes du client sont crédités des unités d'activité et de masse correspondantes. Au moment de l'expédition des colis (...), les nombres d'unités d'activité et de masse sont débités des comptes du client ».

[III] Décret 2008-209 du 3 mars 2008 relatif aux procédures applicables au traitement des combustibles usés et des déchets radioactifs provenant de l'étranger.

[IV] Arrêté du 2 octobre 2008 portant approbation du système d'inventaire et d'expédition des déchets après traitement des combustibles usés en provenance de l'étranger dans les INB de La Hague (50).

2.4 Les expéditions de déchets aux clients étrangers

2.4.1 Déchets visés à l'article L. 542-2-1 du Code de l'environnement

En conformité avec l'arrêté du 2 octobre 2008 [IV], les colis CSD-V et CSD-C sont expédiés, respectivement, au titre de l'activité et de la masse des combustibles usés importés.



Retour des déchets vitrifiés au Japon



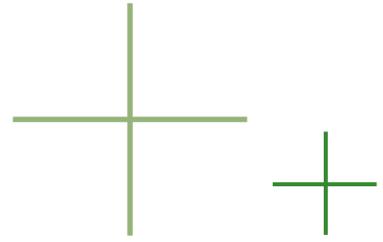
Colis de type CSD-V

■ Colis de type CSD-V

Le processus d'expédition des résidus aux clients étrangers a débuté en 1995 par les CSD-V, dans lesquels l'essentiel de l'activité des déchets ultimes contenus dans les combustibles usés est conditionné.

Au 31 décembre 2010, la plupart des colis CSD-V étrangers (88,7% soit 4780 CSD-V) ont été expédiés ; dès lors, comme cela est présenté dans le *tableau page 195*, la grande majorité des colis CSD-V produits et présents sur le site de La Hague (50) revient à la France (94,1%).

[IV] Arrêté du 2 octobre 2008 portant approbation du système d'inventaire et d'expédition des déchets après traitement des combustibles usés en provenance de l'étranger dans les INB de La Hague (50).



Emballage TN28 utilisé pour transporter les CSD-V vers la Belgique, les Pays-Bas et le Japon

Les clients étrangers entreposent actuellement les CSD-V livrés :

- soit en puits, dans des installations similaires à celles de La Hague (Rokkasho-Mura au Japon, Mol en Belgique, HABOG aux Pays-Bas, projet Almacen Temporal Centralizado ou ATC en Espagne) ;
- soit dans des emballages de transport et d'entreposage (Gorleben en Allemagne, Zwiilag en Suisse).



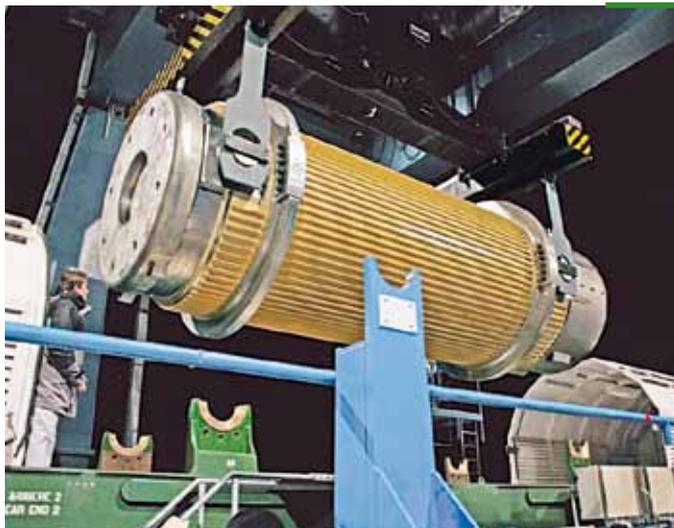
L'installation des déchets vitrifiés HABOG (pour « déchets radioactifs de haute activité » soit « Hoogradioactief Afval Behandelings-en Opslag Gebouw ») de COVRA aux Pays-Bas

Colis de type CSD-C

À la date du 31 décembre 2010, 292 CSD-C ont été expédiés. Les estimations des parts revenant aux propriétaires français et de celles revenant aux clients étrangers sont présentées dans le *tableau page suivante*.

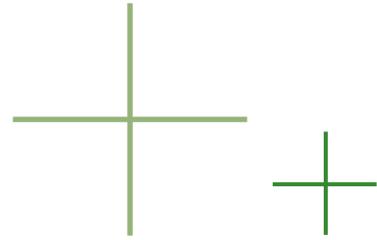


Coupe d'un colis CSD-C



Emballage TN 81 utilisé pour transporter les colis CSD-C

Pour les colis CSD-C, la part des colis restants à expédier est plus importante que pour les colis vitrifiés, dans la mesure où la priorité a été donnée par AREVA à l'expédition de l'activité radiologique, avant celle de la masse.



Au 31 décembre 2010, 10 828 CSD-V et 10 270 CSD-C sont présents dans les installations nucléaires de base exploitées par AREVA NC à La Hague (50). La part de ces déchets radioactifs par pays est donnée dans le *tableau ci-dessous*.

Estimation de la part de colis CSD-V et CSD-C revenant à chaque état
(pour les colis présents au 31 décembre 2010)

**Déchets radioactifs présents sur le site AREVA NC
LA HAGUE (50) au 31 décembre 2010**

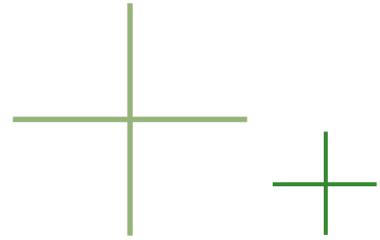
		Part par pays en %	
		CSD-V	CSD-C
France		94,1	52,1
Allemagne		2,7	27,8
Australie		< 0,1	0
Belgique		0	2,6
Espagne		0,6	- ⁽¹⁾
Italie		0,6	1,5
Japon		0	12,5
Pays-Bas		< 0,1	0,8
Suisse		2,0	2,7
Total		100	100

⁽¹⁾ L'Espagne n'est pas concernée actuellement par l'expédition de déchets de structure de type CSD-C. L'expédition en Espagne concerne des colis conditionnant l'activité d'effluents et des colis cimentés qui sont décrits dans le Catalogue des familles de déchets.

L'activité des déchets radioactifs

Annexe

3



Comment mesure-t-on l'activité des déchets ?

La connaissance de l'activité d'un déchet est indispensable pour sa catégorisation et le choix de son exutoire définitif.

L'activité d'une substance radioactive est le nombre de ses atomes qui se désintègrent spontanément par unité de temps. **Cette activité décroît au cours du temps.**

Chaque désintégration est accompagnée de l'émission de rayonnement (gamma) ou de particules (alpha, bêta, neutron). Leur énergie étant représentative du noyau qui s'est désintégré, la mesure de ces rayonnements (intensité et énergie) par des instruments adaptés et correctement calibrés permet d'évaluer l'activité d'un déchet et de quantifier les différents radionucléides.

Les mesures sont effectuées par spectrométries sur colis et/ou sur échantillons.

Certains radionucléides sont cependant difficilement mesurables du fait de leur faible quantité et /ou de leur rayonnement peu énergétique. Des facteurs de corrélation sont alors établis entre l'activité de ces radionucléides et celle d'un radionucléide, plus facilement mesurable, utilisé comme traceur.

La répartition des activités des différents radionucléides dans le déchet (spectre radiologique) est ainsi évaluée.

Le producteur évalue, le plus souvent, l'activité du déchet lors de sa production ou de son conditionnement. C'est cette activité, évaluée à la date de production, qui est déclarée par les producteurs pour des raisons de simplicité.

La déclaration d'activité ne prend donc pas en compte la décroissance naturelle des radionucléides.

Afin de présenter des données homogènes dans le Catalogue des familles, l'Andra indique une valeur d'activité par famille, à fin 2010, qu'elle calcule elle-même à partir des données à sa disposition.

Ce calcul est réalisé sur la base des 144 radionucléides de durée de vie supérieure à 6 mois, et intègre la décroissance radioactive depuis les dates de production des déchets. Ces chiffres ne sont donc pas directement comparables aux valeurs déclarées par les producteurs.

La méthode de calcul utilisée par l'Andra est exposée ci-après. Elle est appliquée à un cas concret de colis de déchets HA pour plus de clarté.

■ Calcul de l'activité : cas des colis de déchets vitrifiés CSD-V d'AREVA à La Hague

Cette famille (F1-3-01) concerne les colis de déchets vitrifiés CSD-V d'AREVA à La Hague (50).

À fin 2010, 10 828 colis de cette famille de déchets ont été produits.

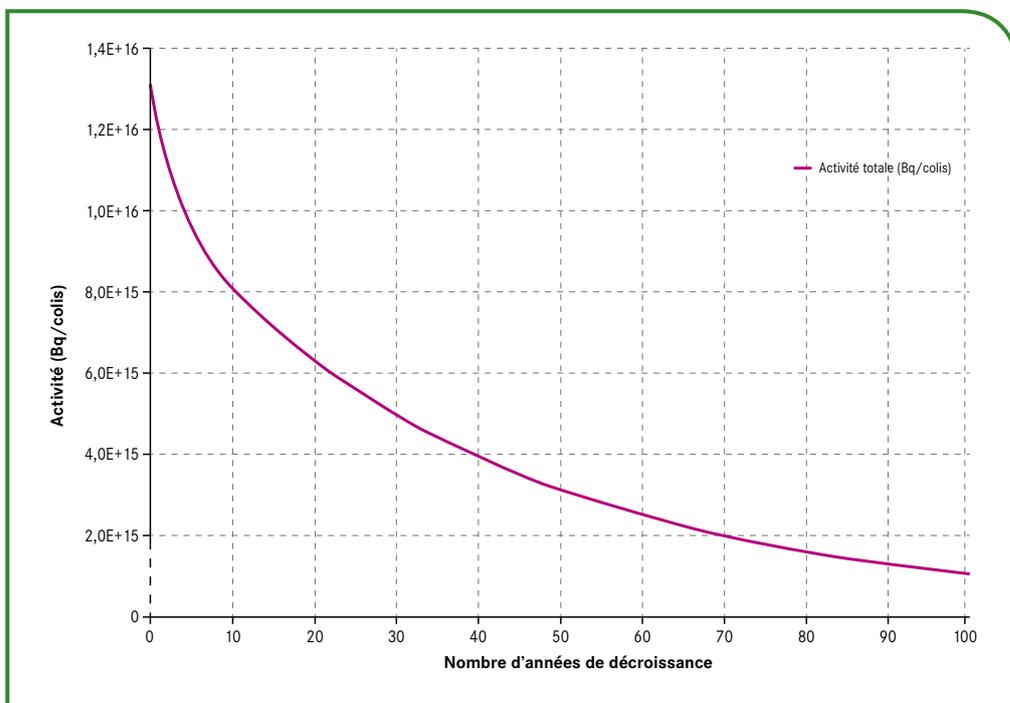
L'activité radiologique déclarée par le producteur, relative à ces colis, s'élève à 173 exabecquerels ($173 \cdot 10^{18}$ Bq).

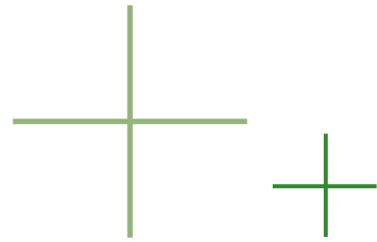
Elle correspond à l'activité évaluée lors de la production des colis.

Ces colis ont été produits depuis 1989, date à laquelle l'atelier R7 de l'usine de La Hague (50) a été mis en exploitation.

L'activité de chaque colis décroît régulièrement depuis sa production. Par exemple, l'activité des premiers colis décroît depuis 21 ans, de leur production en 1989 jusqu'à la fin 2010, tandis que l'activité des colis produits en 2009 n'aura diminué que pendant une année (*voir ci-dessous*).

En tenant compte de la décroissance et du nombre de colis produits chaque année depuis 1989, l'activité totale de cette famille calculée par l'Andra est de 100 exabecquerels.





■ Décroissance radioactive des déchets sur le long terme

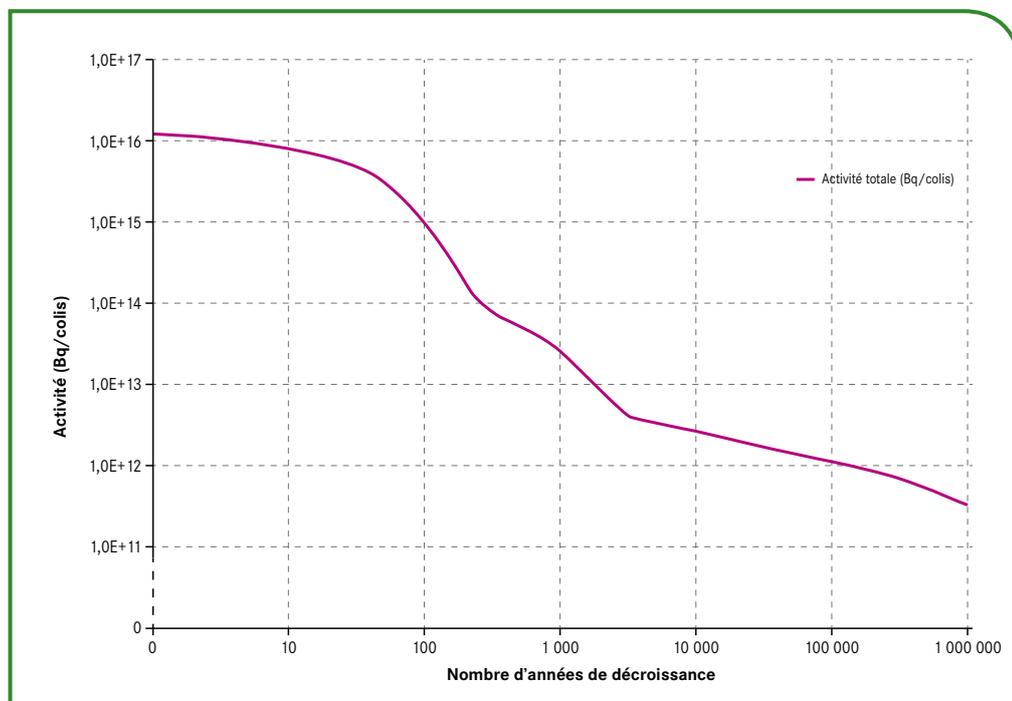
La radioactivité totale des colis de déchets décroît en fonction de la période de chacun des radionucléides qui la compose. Au bout de quelques siècles, seule la composante dite à vie longue, c'est-à-dire celle des radionucléides dont la période est supérieure à quelques dizaines d'années, demeure.

La courbe suivante illustre, pour le spectre moyen de la famille F1-3-01 (colis CSD-V), l'évolution de la radioactivité totale sur un million d'années.

La décroissance est au départ dominée par celle du césium 137 et du strontium 90, qui sont des éléments à vie courte.

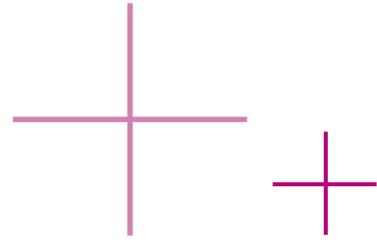
Au bout de 1 000 ans, l'activité a décru d'un facteur d'environ 800. La décroissance des radionucléides entraîne celle de la puissance thermique du colis, c'est-à-dire de la chaleur qu'il émet.

Celle-ci passe de 2 kW par colis en moyenne à la fabrication à 0,6 kW au bout d'une cinquantaine d'années, et à environ 0,001 kW après 10 000 ans.



Glossaire





A	Actinide	Radioélément naturel ou artificiel, de numéro atomique compris entre 89 (actinium) et 103 (lawrencium). Certains auteurs font commencer la série des actinides à l'élément 90 (thorium).
	Actinide mineur	Terme d'usage désignant le neptunium, l'américium ou le curium formé dans les combustibles nucléaires.
	Activité	Nombre de désintégrations ou de transitions isomériques nucléaires qui se produisent par unité de temps, dans une substance radioactive. L'unité d'activité est le becquerel.
	Amont du cycle du combustible	Ensemble des opérations du cycle du combustible depuis l'exploitation minière jusqu'à la fabrication du combustible.
	Assainissement radioactif	Pour une installation ou un site nucléaire, ensemble d'opérations visant à éliminer ou à réduire la radioactivité, notamment par décontamination ou évacuation de matériels, en permettant la récupération contrôlée des substances radioactives. Terme équivalent à « dépollution » dans le domaine des pollutions par des substances radioactives.
	Assemblage combustible	Groupement d'éléments combustibles qui restent solidaires, notamment au cours du chargement ou du déchargement du cœur d'un réacteur nucléaire.
	Aval du cycle du combustible	Ensemble des opérations du cycle du combustible postérieures au séjour de ce dernier en réacteur, depuis le traitement éventuel des combustibles usés jusqu'au stockage des déchets radioactifs.
B	Baddeleyite	La baddeleyite est un minéral naturel rare d'oxyde de zirconium (ZrO_2).
	Becquerel (Bq)	Unité du système international (SI) de mesure de l'activité. C'est l'activité d'une quantité de nucléides radioactifs pour laquelle le nombre moyen de désintégrations ou de transitions isomériques nucléaires par seconde est égal à 1 ($1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$). Cette unité remplace le curie ($1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$). On emploie plus couramment ses multiples : le mégabecquerel (MBq, million de becquerels, 10^6 Bq), le gigabecquerel (GBq, milliard, 10^9 Bq), le térabecquerel (TBq, mille milliards, 10^{12} Bq), le pétabecquerel (PBq, million de milliards, 10^{15} Bq) ou l'exabecquerel (EBq, milliard de milliards, 10^{18} Bq).
	Boues bitumées	Boues issues d'une opération de coprécipitation dans les stations de traitement des effluents radioactifs liquides et conditionnées dans du bitume.

Boîte à gants

Une boîte à gants est une enceinte de confinement isolant complètement un procédé par une paroi transparente (matériaux spéciaux qui filtrent une partie du rayonnement). Des gants sont installés dans la paroi pour permettre les manipulations de matières radioactives en toute sécurité. Le dispositif comprend en général une ventilation mettant la boîte en dépression par rapport à l'extérieur, ce qui permet de confiner les matières radioactives au sein de celle-ci.

C Centre de stockage de déchets radioactifs

Installation destinée à recevoir de manière potentiellement définitive des déchets radioactifs. En fonction des risques radiologiques des déchets, des installations à la surface du sol, en subsurface ou en formation géologique profonde sont envisageables.

Colis de blocs sources

Ces colis de catégorie MA-VL contiennent des sources scellées usagées collectées auprès des « petits producteurs ». Les déchets ont été conditionnés en colis de béton entre 1972 et 1985, en vue de leur stockage. Ils ont ensuite été reconditionnés dans des conteneurs en acier non allié et entreposés à Cadarache (13) en 1994.

Colis de déchets radioactifs

Déchets radioactifs conditionnés et emballés.

Colis de stockage

Réceptacle complémentaire dans lequel peuvent être disposés un ou plusieurs colis de déchets radioactifs en vue de leur stockage dans une installation spécifique. Ce conditionnement complémentaire est nécessaire afin d'assurer des fonctions de manutention, de sûreté ou de réversibilité.

Combustible (nucléaire)

Matière contenant des nucléides dont la consommation par fission dans un réacteur nucléaire permet d'y entretenir une réaction nucléaire en chaîne.

Combustible MOX

Forme abrégée de combustible mixte d'oxydes de plutonium et uranium.

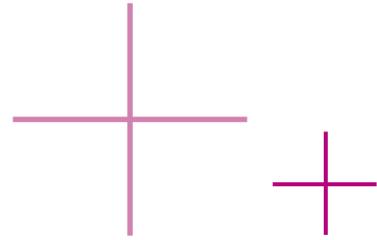
Combustible UOX

Combustible nucléaire à base d'oxyde d'uranium. On distingue :

- UOX1 : combustible élaboré à partir d'uranium naturel enrichi à 3,25 % en U235, taux de combustion moyen de 33 GWj/t ;
- UOX2 : combustible élaboré à partir d'uranium naturel enrichi à 3,7 % en U235, taux de combustion moyen de 45 GWj/t ;
- UOX3 : combustible élaboré à partir d'uranium naturel enrichi à 4,5 % en U235, taux de combustion moyen de 55 GWj/t.

Combustible(s) Usé(s)

Combustible nucléaire déchargé d'un réacteur après irradiation et entreposé en piscine de refroidissement.



Conditionnement des déchets radioactifs

Ensemble des opérations consistant à mettre les déchets radioactifs sous une forme convenant à leur transport, leur entreposage ou leur stockage.

Note : Ces opérations peuvent comprendre notamment le compactage, l'enrobage, la vitrification, la cimentation, le bitumage et la mise en conteneur.

Confinement (de matières radioactives)

Maintien de matières radioactives à l'intérieur d'un espace déterminé grâce à un ensemble de dispositifs (ou barrières) visant à empêcher leur dispersion en quantités inacceptables au-delà de cet espace.

Contamination (radioactive)

Présence indésirable de substances radioactives à la surface ou à l'intérieur d'un milieu quelconque.

Conteneur

Dans l'industrie nucléaire, récipient fermé manutentionnable utilisé pour des opérations de transport, d'entreposage ou de stockage.

Coques et embouts

Déchets radioactifs comprenant les coques et les embouts des assemblages après découpe des crayons et dissolution du combustible.

Crayon de combustible

Tube de faible diamètre, fermé à ses deux extrémités, contenant les pastilles de combustible.

D Déchets à vie courte

Déchets radioactifs dont la radioactivité provient principalement de radionucléides dont la période radioactive est inférieure ou égale à 31 ans.

Déchets à vie longue

Déchets radioactifs contenant en quantité importante des radionucléides dont la période radioactive est supérieure à 31 ans.

Déchets à radioactivité naturelle renforcée (RNR)

Déchets générés par la transformation de matières premières contenant naturellement des radionucléides mais qui ne sont pas utilisées pour leurs propriétés radioactives ; ces radionucléides peuvent se retrouver concentrés dans les matériaux ou les déchets, à l'issue de procédés de transformation, nécessitant une gestion particulière.

Déchets de structure

Déchets radioactifs comprenant les structures métalliques des assemblages combustibles des réacteurs à eau. Ce terme peut aussi s'employer pour les assemblages combustibles des réacteurs rapides à sodium.

Déchets graphites

En France, catégorie de déchets radioactifs comprenant le graphite issu du cœur des anciens réacteurs graphite gaz (soit environ 20 000 tonnes). Ce graphite contient du tritium et des éléments à vie longue (carbone 14, chlore 36).

Déchets radioactifs

Substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée. Les déchets radioactifs ultimes sont des déchets radioactifs qui ne peuvent plus être traités dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de leur part valorisable ou par réduction de leur caractère polluant ou dangereux.

Déchets tritiés

Déchets radioactifs, contenant du tritium, pouvant nécessiter une gestion spécifique compte tenu de la grande mobilité de cet élément.

Déchets vitrifiés

Dans le domaine nucléaire, déchets radioactifs conditionnés en utilisant du verre comme matrice de conditionnement. Les solutions de produits de fission ont été les premiers déchets vitrifiés. Il est envisagé que d'autres déchets, moins radioactifs, soient vitrifiés à l'avenir.

Démantèlement

1. Ensemble des opérations techniques exécutées pour démonter et, éventuellement, mettre au rebut un équipement ou une partie d'une installation nucléaire.
2. Dans la réglementation française, phase de la déconstruction d'une installation nucléaire qui comprend toutes les opérations postérieures au décret de mise à l'arrêt définitif.

Détenteur de déchets radioactifs

Producteur de déchets ou toute autre personne qui se trouve en possession de déchets (L. 541-1-1).

E Entreposage (de matières ou de déchets radioactifs)

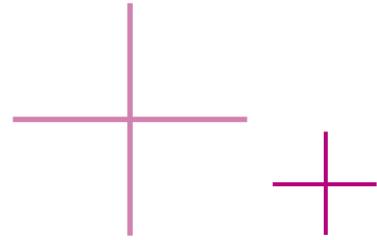
Opération consistant à placer ces substances à titre temporaire dans une installation spécialement aménagée en surface ou en faible profondeur à cet effet, dans l'attente de les récupérer.

F FA-VL

Les déchets de faible activité à vie longue sont essentiellement des déchets de graphite provenant des réacteurs de première génération à uranium naturel graphite gaz et des déchets radifères. Les déchets de graphite ont, en ordre de grandeur, une activité se situant entre dix mille et quelques centaines de milliers de becquerels par gramme. Les déchets radifères possèdent une activité comprise entre quelques dizaines de becquerels par gramme et quelques milliers de becquerels par gramme.

FMA-VC

Les déchets de faible et moyenne activité à vie courte sont essentiellement issus de l'exploitation et du démantèlement des centrales nucléaires, des installations du cycle du combustible, des centres de recherche et, pour une faible partie, des activités de recherche biomédicale. L'activité de ces déchets se situe entre quelques centaines de becquerels par gramme à un million de becquerels par gramme.



Fissile

1. Se dit d'un noyau qui peut subir une fission par interaction avec des neutrons de toute énergie, notamment des neutrons thermiques. Les noyaux de la série des actinides ayant des nombres de neutrons impairs sont soit fissiles (^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu , ^{241}Pu , etc.) soit émetteurs β à vie courte (^{237}U , ^{243}Pu , etc.). Pour ces derniers, la probabilité de fission induite par neutrons est négligeable même à haut flux.
2. Se dit d'une substance qui contient un ou des nucléides fissiles. On parle alors de matière fissile.

Fission nucléaire

Désintégration d'un noyau lourd par division généralement en deux noyaux de masse atomique comprise entre 70 et 170.

H HA

Les déchets de haute activité sont principalement issus des combustibles usés après traitement. Le niveau d'activité de ces déchets est de l'ordre de plusieurs milliards de becquerels par gramme.

I Installation nucléaire de base (INB)

En France, c'est une installation nucléaire qui, par sa nature et ses caractéristiques ou en raison des quantités ou des activités de toutes les substances radioactives qu'elle contient, est soumise à une réglementation spécifique.

Installation nucléaire de base secrète (INBS)

C'est une installation nucléaire de base intéressant la Défense nationale.

ISD

Installation de stockage de déchets conventionnels.

Isotope

1. Tout nucléide d'un élément donné.
2. Qualifie des nucléides d'un même élément.

M Marqué (site)

Site présentant des traces de radionucléides naturels ou artificiels, détectables sans qu'il y ait nécessairement d'action particulière envisagée.

Matière radioactive

Substance radioactive pour laquelle une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement.

Matrice (de conditionnement)

Matériau solide utilisé pour immobiliser ou pour confiner les déchets radioactifs ou simplement pour améliorer la résistance à l'écrasement du colis de déchets.

MA-VL

Les déchets de moyenne activité à vie longue sont en majorité issus du traitement des combustibles usés. L'activité de ces déchets est de l'ordre d'un million à un milliard de becquerels par gramme.

Métal lourd (tML)

En pratique, cette expression concerne essentiellement l'uranium et le plutonium : cette quantité est la tonne d'uranium ou de plutonium contenus dans le combustible avant irradiation.

Modérateur

Matériau formé de noyaux légers qui ralentissent les neutrons par diffusion élastique. Utilisé dans les réacteurs nucléaires à neutrons lents afin d'augmenter la probabilité d'interaction des neutrons avec les noyaux lourds du combustible, le modérateur doit être peu capturant afin de ne pas « gaspiller » les neutrons et être suffisamment dense pour assurer un ralentissement efficace.

N Nucléide

Espèce nucléaire caractérisée par son numéro atomique Z et par son nombre de masse A , égal au nombre de nucléons de son noyau. Chaque élément chimique possède en général plusieurs nucléides isotopes. On désigne un nucléide par son symbole chimique précédé de son nombre de masse A en exposant et de son numéro atomique Z en indice, par exemple $^{238}_{92}\text{U}$.

P Période radioactive (ou demi-vie)

Durée nécessaire à la désintégration de la moitié des noyaux d'atomes d'un nucléide radioactif. La valeur de sa période radioactive est une caractéristique essentielle de chaque nucléide radioactif.

Plutonium

Élément de numéro atomique $Z = 94$. Il a été produit initialement pour les applications militaires. Généré dans les réacteurs nucléaires par irradiation à partir de l'uranium 238, il est utilisé aujourd'hui comme constituant des combustibles MOX dans certains réacteurs à eau légère. C'est aussi le combustible retenu dans la plupart des études de réacteurs à neutrons rapides.

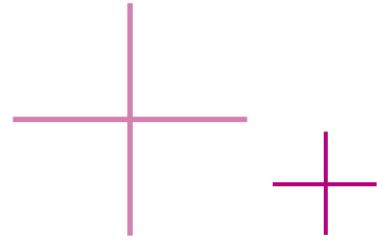
Pollué (site)

Dans le contexte de la contamination radioactive, qualifie une zone ou un site contaminé de manière importante par des substances radioactives, naturelles ou artificielles.

Pollution

Introduction, directe ou indirecte, par l'activité humaine, de substances radioactives dans l'environnement susceptibles de contribuer ou de causer un danger pour la santé de l'homme, des détériorations aux ressources biologiques, aux écosystèmes ou aux biens matériels, une entrave à un usage légitime de l'environnement.

- Une pollution historique est une pollution qui résulte d'une activité humaine passée.
- Une pollution résiduelle concerne une quantité ou une concentration de polluants restant dans un milieu déterminé après réhabilitation.



Producteur (de déchets)

Toute personne dont l'activité produit des déchets (producteur initial de déchets) ou toute personne qui effectue des opérations de traitement des déchets conduisant à un changement de la nature ou de la composition de ces déchets (producteur subséquent de déchets) (L. 541-1-1).

Produit de fission

Nucléides résultant de la fission d'un élément (un noyau) fissile : chaque noyau de matière fissile subissant une fission nucléaire se casse en deux (exceptionnellement trois) morceaux, qui se stabilisent sous forme de nouveaux atomes. En sortie de réacteur nucléaire, la plupart (environ 95 % en masse) des produits de fission sont stables (environ 85 %) ou radioactifs à vie courte (environ 10 %). Quelques uns (environ 5 %), par exemple ⁹⁹Tc ou ¹²⁹I sont à vie longue.



Radioactivité

Propriété d'un nucléide de se transformer spontanément en un autre nucléide, avec émission d'un rayonnement (particules, rayons gamma...), ou d'être le siège d'une fission spontanée accompagnée d'une émission de particules et de rayons gamma. Outre la fission spontanée, on distingue principalement la radioactivité alpha, la radioactivité bêta (β^+ , β^- , conversion interne), la radioactivité gamma et celle provenant d'une capture électronique. La radioactivité gamma accompagne souvent l'une des autres.

Radioélément

1. Élément chimique dont tous les isotopes sont radioactifs.
2. Terme d'emploi déconseillé parfois utilisé pour radioisotope ou radionucléide.

Radionucléide/Radioisotope

Nucléide radioactif.

Radioprotection

Ensemble des mesures destinées à réaliser la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les effets des rayonnements ionisants et à assurer le respect des normes de base. Elle comprend aussi la mise en œuvre des moyens nécessaires pour y parvenir.

Réacteurs à eau pressurisée (REP)

Synonyme de réacteur à eau sous pression. Réacteur à neutrons thermiques utilisant l'eau légère comme modérateur et caloporteur. Cette eau est maintenue liquide dans le cœur grâce à une pression suffisamment élevée pour que, à la température de fonctionnement, l'ébullition en masse ne puisse pas se produire.

Réacteurs à neutrons rapides

Réacteur nucléaire dans lequel on limite la présence de matières pouvant ralentir les neutrons afin que les fissions soient produites principalement par des neutrons rapides.

Réacteur uranium graphite gaz (UNGG)

Réacteur nucléaire à fission de première génération utilisant le graphite comme modérateur et le dioxyde de carbone gazeux comme fluide caloporteur.

Réhabilitation

Ensemble des opérations de dépollution et de réaménagement effectuées en vue de rendre un site apte à un usage donné.

S Scénario

Ensemble d'hypothèses relatives à des événements ou des comportements permettant de décrire les évolutions possibles d'un système dans le temps et dans l'espace.

Source

Appareil, substance radioactive ou installation pouvant émettre des rayonnements ionisants ou des substances radioactives.

Site pollué avéré

Zone polluée par une activité industrielle actuelle ou passée sur laquelle est déployée une interprétation de l'état d'un milieu (IEM) ou un plan de gestion.

Stockage de déchets radioactifs

Opération consistant à placer ces substances dans une installation spécialement aménagée pour les conserver de façon potentiellement définitive dans le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement.

Substance radioactive

Substance qui contient des radionucléides, naturels ou artificiels, dont l'activité ou la concentration justifie un contrôle de radioprotection.

T Taux de combustion

Énergie totale libérée par unité de masse d'un combustible nucléaire. Il est couramment exprimé en gigawatts-jour par tonne de métal lourd (GWj/t).

Tenue Active

(également désignée par « Tenue Rouge ») est utilisée pour les interventions en zones présentant un risque non nul de contamination. Elle comprend en particulier :

- une tenue tissée ;
- un appareil filtrant ;
- une cagoule ;
- des gants ;
- des surbottes.

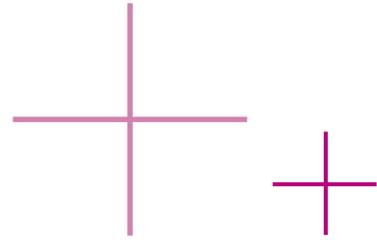
Tenue de base

La tenue de base est la tenue de travail obligatoire chez les exploitants nucléaires en France, qui remplace en zone contrôlée les vêtements de ville. Elle est composée :

- d'un tee-shirt ;
- d'une paire de chaussettes ;
- d'une combinaison.



Glossaire



Tenue vinyle

(également désignée par « Tenue Emmanuelle ») est utilisée lorsqu'il y a des risques de contamination par des liquides.

Elle est constituée en plus de la tenue active :

- d'une paire de gants supplémentaire ;
- d'une veste vinyle avec cagoule ;
- d'un pantalon vinyle ;
- de surbottes.

Terre rare

Élément d'un groupe contenant les lanthanides et deux éléments chimiquement voisins, l'yttrium et le scandium.

TFA

Les déchets de très faible activité sont majoritairement issus de l'exploitation de maintenance et du démantèlement des centrales nucléaires, des installations du cycle du combustible et des centres de recherche. Le niveau d'activité de ces déchets est en général inférieur à cent becquerels par gramme.

Toxique chimique

Substance ou élément chimique susceptible d'induire des effets néfastes sur la santé humaine en cas d'ingestion et/ou d'inhalation. L'impact d'un toxique chimique sur la santé humaine est notamment quantifié par sa valeur toxicologique de référence (VTR) qui est une appellation générique regroupant tous les types d'indices toxicologiques qui permettent d'établir une relation entre une dose et un effet (dans le cas d'un toxique à seuil d'effet), ou entre une dose et une probabilité d'effet (dans le cas d'un toxique sans seuil d'effet, souvent cancérigène). Plusieurs éléments ou substances utilisés dans le domaine nucléaire ou présents dans les produits de fission présentent une toxicité radioactive. Pour le stockage de déchets radioactifs en formation géologique profonde, sont notamment pris en compte dans les études l'arsenic, le cadmium, le cyanure, le chrome, le mercure, le nickel, le plomb, l'antimoine, le sélénium, le bore, l'uranium, le béryllium et l'amiante.

Traitement d'un déchet

Ensemble d'opérations mécaniques, physiques ou chimiques ayant pour but de modifier les caractéristiques des déchets.

Traitement des combustibles usés

Ensemble des opérations effectuées sur le combustible usé issu des réacteurs nucléaires pour en extraire des matières valorisables comme l'uranium et le plutonium et conditionner les déchets restants. Le traitement peut aussi être envisagé pour séparer d'autres éléments.

Tritium

Isotope de l'hydrogène de nombre masse égal à 3. C'est un émetteur bêta de faible énergie (en moyenne 13 KeV) et d'une période de 12,3 ans. Il est utilisé dans de nombreuses molécules marquées. Les projets actuels d'application de la fusion nucléaire font tous appel à la réaction deutérium-tritium. Dans les applications industrielles civiles actuelles, c'est surtout un déchet radioactif, qui nécessite une gestion particulière en raison de sa grande mobilité.

U Uranium de retraitement (URT)

Uranium issu du traitement des combustibles usés. On dit aussi uranium de retraitement ou encore uranium de traitement.

Uranium de retraitement enrichi (URE)

Uranium enrichi provenant de l'enrichissement d'uranium issu du traitement des combustibles usés. On dit aussi uranium de traitement enrichi.

V Volume équivalent conditionné

Unité adoptée pour effectuer les bilans. Cela permet d'utiliser une unité de compte homogène pour l'ensemble des déchets. Les prévisions adoptent, elles aussi, le « volume équivalent conditionné » comme unité. Pour les déchets dont le conditionnement n'est pas connu à ce jour, des hypothèses sont faites pour évaluer le volume équivalent conditionné.

Volume industriel

Ce volume correspond au volume d'eau déplacé par immersion du colis.

Z Zircon

Le zircon est un minéral naturel du groupe des silicates ($ZrSiO_4$).



Crédits photos : M. Aubert, P. Bourguignon, J. Cresson, F. Dano, P. Demail, V. Duterme, Fotolia, Les Films Roger Leenhardt, E. Gaffard, A. Gonin, N. Guillaumex, E. Le Marchand, S. Lawson, P. Maurein, A. Maurin, S. Muzerelle, Photothèques : Andra, AREVA, CEA, EDF, D. Vincon, G. Wallet.

2012



INVENTAIRE NATIONAL des matières et déchets radioactifs

- Rapport de synthèse
- Inventaire géographique
- Catalogue descriptif des familles
- Résumé

L'ensemble de ces documents est disponible en version multimédia et sur le site Internet de l'Andra www.andra.fr