Inventaire national des matières et déchets radioactifs

RAPPORT DE SYNTHÈSE 2015



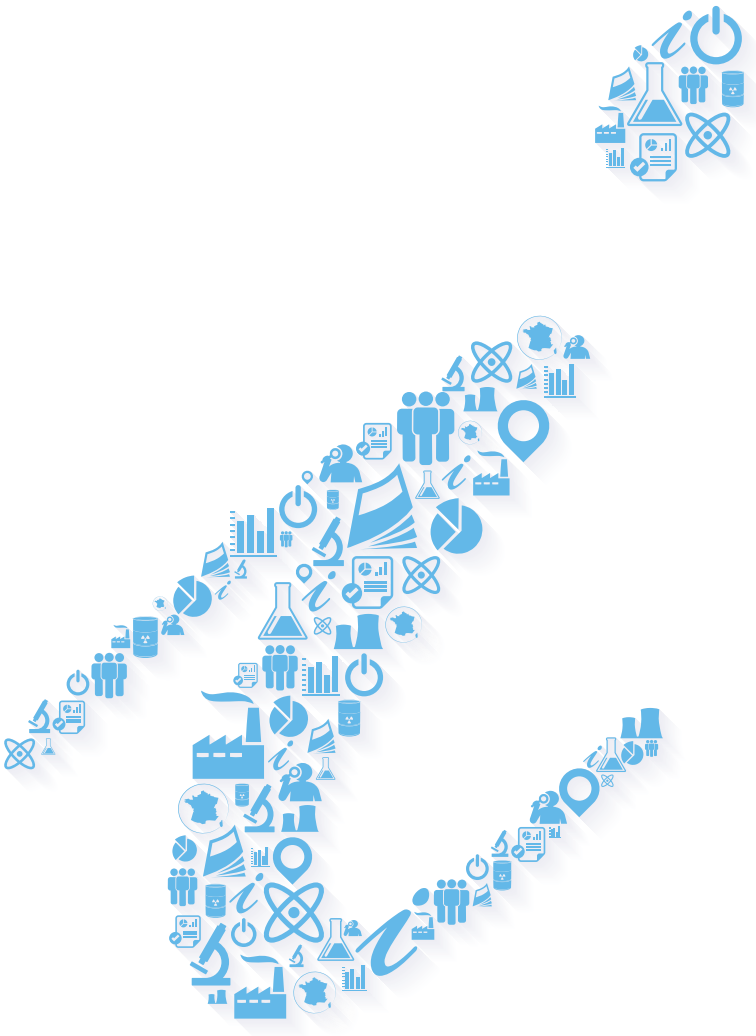


ANDRA

Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE



ÉDITORIAL



FRANÇOIS-MICHEL GONNOT

PRÉSIDENT DU CONSEIL D'ADMINISTRATION DE L'ANDRA



PIERRE-MARIE ABADIE

DIRECTEUR GÉNÉRAL DE L'ANDRA

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 90, 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 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 maintenant codifiée dans le code de l'environnement prévoit ainsi que l'Andra mette à jour tous les ans et publie tous les trois ans ces informations sous la forme du présent « *Inventaire national des matières et déchets radioactifs* ».

Dans un souci de transparence, l'Andra a institué un comité de pilotage pluraliste pour suivre la préparation de l'Inventaire national. Présidé par le directeur général 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 représentants de la société civile et des associations de protection de l'environnement. C'est donc un lieu où peut s'exprimer l'ensemble 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, nombre de nos concitoyens, cet Inventaire national constitue aussi un outil précieux pour le pilotage de la politique française pour la gestion des matières et 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 Etats membres de l'Union européenne par la directive sur les déchets radioactifs adoptée le 19 juillet 2011. Cette directive recommande en effet que chaque Etat membre établisse un programme national pour la gestion du combustible et des déchets radioactifs, s'appuyant sur la réalisation d'inventaires.

> « CET INVENTAIRE NATIONAL CONSTITUE **UN OUTIL PRÉCIEUX POUR LE PILOTAGE DE LA POLITIQUE FRANÇAISE** POUR LA GESTION DES MATIÈRES ET DES DÉCHETS RADIOACTIFS. »

Sur la base des déclarations de chaque détenteur de déchets, l'édition 2015 de l'Inventaire national présente les déchets déjà produits au 31 décembre 2013, ainsi que des prévisions sur les quantités de déchets attendues d'ici 2020, 2030 et à la fin de vie des installations. Un exercice prospectif est également réalisé 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.

L'édition 2015 de l'Inventaire national est constituée de cinq volumes :
- le document **« les essentiels »** qui présente les chiffres globaux de l'Inventaire national sorti en début d'année, pour alimenter le PNGMDR (plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs) mis à jour tous les 3 ans.
- **le rapport de synthèse** qui présente de manière détaillée l'ensemble des matières et déchets radioactifs, existants et futurs, présents sur le territoire français.
- **le catalogue des familles** qui présente une description détaillée de chaque famille de déchets radioactifs. Une famille se définissant comme un ensemble de déchets ayant des caractéristiques analogues.
- **l'inventaire géographique** qui présente chaque site sur lequel il existe des déchets radioactifs en France
- **le « point sur »** qui constitue la version grand public de l'Inventaire national.

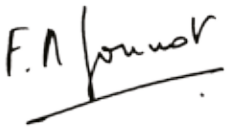
Pour l'édition 2015, l'Andra a créé un site internet dédié à l'Inventaire national, www.inventaire.andra.fr. Ce nouveau site a vocation à être mis à jour chaque année et préfigure la future mise en œuvre d'une politique de données ouvertes (Open data) autour des données de l'Inventaire national.

Par rapport à l'édition 2012, le rapport de synthèse a été enrichi de nouveaux dossiers dédiés au traitement et au conditionnement des déchets ainsi qu'au démantèlement et à l'assainissement des installations nucléaires. Les chantiers de démantèlement constituent en effet des sources conséquentes de déchets ; l'optimisation de leur gestion et notamment la réduction de leur volume représente un enjeu majeur pour les années à venir.

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 cinquième édition.



Pierre-Marie Abadie



François-Michel Gonnot

SOMMAIRE

CHAPITRE 1

LES MATIÈRES ET DÉCHETS RADIOACTIFS & LEUR GESTION | 09

1.1 L'origine des matières et déchets radioactifs | 10

1.2 La classification des déchets radioactifs et leurs filières de gestion | 13

1.3 Les cas particuliers | 17

1.4 Les principes généraux de la gestion des déchets radioactifs | 19

1.5 Les principes généraux de la gestion des matières radioactives | 22

CHAPITRE 2

LES RÉSULTATS GÉNÉRAUX | 25

2.1 Les déchets radioactifs | 27

2.2 Les matières radioactives | 37

2.3 Les perspectives post-2030 | 44

2.4 Les entreposages et stockages de matières et déchets radioactifs | 48

CHAPITRE 3

LES RÉSULTATS DÉTAILLÉS | 53

3.1 Le secteur électronucléaire | 55

3.2 Le secteur de la recherche | 65

3.3 Le secteur de la Défense | 69

3.4 Le secteur de l'industrie non électronucléaire | 73

3.5 Le secteur médical | 75

CHAPITRE 4

LES SITUATIONS HISTORIQUES | 77

4.1 Les centres de stockage de déchets conventionnels | 78

4.2 Les stockages historiques sur site | 80

4.3 Les stockages de déchets à radioactivité naturelle élevée | 83

4.4 Les stockages de la Défense en Polynésie | 84

4.5 Les sites miniers | 85

4.6 Les sites contaminés par la radioactivité | 87

4.7 Les déchets immergés | 91

CHAPITRE 5

LES DOSSIERS THÉMATIQUES | 93

Dossier 1 - Les solutions existantes et en projet en France pour la gestion à long terme des déchets radioactifs | 94

Dossier 2 - Traitement et conditionnement des déchets | 100

Dossier 3 - Démantèlement et assainissement | 108

Dossier 4 - La gestion des sources radioactives usagées | 122

Dossier 5 - Les déchets à radioactivité naturelle élevée | 132

Dossier 6 - Les inventaires des déchets radioactifs à l'étranger | 141

CHAPITRE 6

LES ANNEXES & GLOSSAIRE | 157

Annexe 1 - Méthodologie d'élaboration de l'Inventaire national | 158

Annexe 2 - L'activité des déchets radioactifs | 165

Glossaire & abréviations | 171


3071452 C1 PG S 1



© Andra / Patrice Maurein

CHAPITRE 1

LES MATIÈRES ET DÉCHETS RADIOACTIFS ET LEUR GESTION

1.1 L'origine des matières et déchets radioactifs | 10

1.2 La classification des déchets radioactifs et leurs filières de gestion | 13

1.3 Les cas particuliers | 17
Les déchets à radioactivité naturelle renforcée | 17
Les déchets sans filière | 18
Les déchets ayant fait l'objet d'un mode de gestion historique | 18

1.4 Les principes généraux de la gestion des déchets radioactifs | 19
La politique de gestion | 19
Les acteurs de la gestion des déchets radioactifs | 20

1.5 Les principes généraux de la gestion des matières radioactives | 22
La politique de gestion | 22
Les acteurs de la gestion des matières radioactives | 22

1.1 L'ORIGINE DES MATIÈRES ET DÉCHETS RADIOACTIFS

L'Inventaire national décrit l'origine des matières et déchets radioactifs selon **cinq secteurs économiques** conduisant à la production, la détention ou la gestion de déchets radioactifs :

- **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 et enrichissement des concentrés d'uranium, fabrication du combustible, traitement du combustible usé et recyclage d'une partie des matières extraites de celui-ci) ;

- **le secteur de la recherche** qui comprend la recherche dans le domaine du nucléaire civil (notamment les activités de recherche du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives), les laboratoires de recherche médicale, de physique nucléaire et des particules, d'agronomie, de chimie, de biologie... ;

- **le secteur de la Défense :** il s'agit principalement des activités liées aux armées et à la force de dissuasion, dont la propulsion nucléaire de certains navires ou sous-marins, ainsi que des activités de recherche associées ;

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

- **le secteur médical** qui comprend les activités diagnostiques et thérapeutiques.

Les secteurs ayant historiquement le plus contribué à la production de déchets radioactifs en France sont les secteurs de l'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, **les producteurs de déchets radioactifs sont responsables de la bonne gestion de leurs déchets avant leur évacuation vers un exutoire définitif.**

La majorité des matières et déchets radioactifs produits par le secteur électronucléaire est liée à l'exploitation des installations réalisant les opérations visant à fabriquer, utiliser puis recycler ou entreposer le combustible qui alimente les réacteurs nucléaires.

RADIOACTIVITÉ NATURELLE ET ARTIFICIELLE

Les substances radioactives peuvent avoir une origine naturelle ou être la conséquence d'activités humaines.

Les sources naturelles de radioactivité sont nombreuses : minerais et matériaux renfermant des radionucléides naturellement présents dans notre environnement (isotopes d'uranium et de thorium, tritium, potassium 40, carbone 14, ou éléments en filiation comme le radium et le radon), rayonnement cosmique... Ces radionucléides naturels présents sont répartis dans tous les compartiments de l'environnement. La concentration en radionucléides est extrêmement variable selon le matériau et son origine : l'exposition aux radionucléides d'origine naturelle peut varier de plus d'un ordre de grandeur selon les régions du monde (de 2,4 mSv/an en moyenne en France à plus de 250 mSv/an dans certaines parties de l'Inde ou du Brésil).

Les nombreuses utilisations des propriétés de la radioactivité produisent, depuis le début du XXe siècle, des matières et déchets radioactifs. Ils proviennent pour l'essentiel des centrales nucléaires 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.

ARTICLE L.542-1-1 DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT

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 ».

Il s'agit principalement de combustibles nucléaires, d'uranium naturel, enrichi, appauvri ou de retraitement et de plutonium. Les autres substances radioactives sont des déchets.

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

Dans le cadre du processus de production d'électricité, par exemple, le combustible usé contient encore des matières qui peuvent être utilisées. Ces matières sont traitées en France pour en extraire le plutonium et l'uranium.

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 ».

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

En application de la directive 2013/59/Euratom du 5 décembre 2013 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants et abrogeant les directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/20/Euratom, 97/43/Euratom et 2003/122/Euratom, la majorité des pays retient une approche basée sur la libération, ce qui correspond à la sortie d'un matériau du domaine réglementé. Certains pays mettent en œuvre des seuils de libération, exprimés en activité massique (Bq/g), soit universels (quels que soient le matériau, son origine et sa destination), soit dépendant du matériau, de son origine et de sa destination.

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

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

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. En effet, toutes les substances, notamment minérales, contiennent naturellement des éléments radioactifs 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.

« Un combustible nucléaire est regardé comme un combustible usé 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.

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 n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs codifiée dans le code de l'environnement.*

PRÉCISION

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).

Détenteur de déchets

« 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 des déchets

« 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.

Tout producteur ou détenteur de déchets 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.

Tout producteur ou détenteur de déchets 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 uniquement 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 [II] :

« **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 activités nucléaires visées à l'annexe (1) à l'article R. 511-9 du code de l'environnement, 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 installation 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 ».

[II] *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 LEURS 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 France, la classification des déchets radioactifs repose principalement sur deux paramètres importants pour définir le mode de gestion approprié [III] : le niveau de radioactivité et la période radioactive des radionucléides présents dans le déchet.

Concernant le niveau de radioactivité des déchets, on distingue les déchets de :
- très faible activité (TFA) ;
- faible activité (FA) ;
- moyenne activité (MA) ;
- haute activité (HA).

DÉFINITION

La période radioactive représente le temps nécessaire pour que l'activité initiale d'une quantité d'un radionucléide donné soit divisée par deux.

Concernant la période radioactive, on distingue :

- les déchets dits à vie très courte (VTC) qui contiennent des radionucléides dont la période est inférieure à 100 jours ;

- les déchets dits à vie courte (VC) dont la radioactivité provient principalement de radionucléides qui ont une période inférieure ou égale à 31 ans ;

- les déchets dits à vie longue (VL) 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 qui font ou feront l'objet d'une gestion particulière. Les déchets à vie très courte sont gérés par décroissance.

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

HA LES DÉCHETS DE HAUTE ACTIVITÉ (HA)

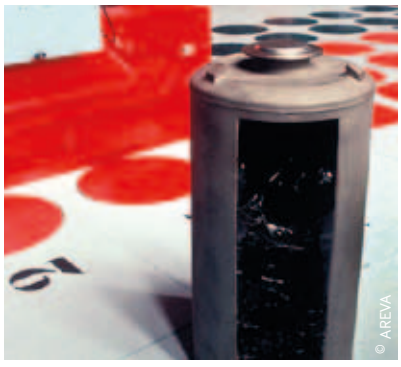
Ces déchets rassemblent, dans un volume réduit, la plus grande partie de la radioactivité des déchets. Le niveau de radioactivité des déchets HA se situe à des niveaux de plusieurs milliards de becquerels (Bq) par gramme. Ils proviennent pour l'essentiel de l'industrie électronucléaire et des activités de recherche associées, ainsi que dans une moindre part des activités liées à la Défense nationale. Ils sont principalement issus du traitement des combustibles usés. La plupart de ces déchets sont vitrifiés dans un conteneur en acier inoxydable. En raison de leur radioactivité élevée, ces déchets dégagent de la chaleur.

Ils contiennent :

- des produits de fission à vie courte comme, par exemple, le césium 134 et le césium 137 ;

- des produits de fission 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.



Colis métallique de déchets HA vitrifiés

[III] *Décret n° 2013-1304 du 27 décembre 2013 pris pour l'application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR).*

MA-VL LES DÉCHETS DE MOYENNE ACTIVITÉ À VIE LONGUE (MA-VL)

Ces déchets sont principalement issus du traitement des combustibles usés et des activités de maintenance et d'exploitation des usines de traitement. Il s'agit notamment des déchets de structure des assemblages de combustibles (embouts et coques), de déchets technologiques (outils usagés, équipements...) et de déchets issus du traitement des effluents comme certaines boues. Ils se caractérisent par une présence significative de radionucléides à vie longue comme le nickel 63 (période 100 ans).

Les autres types de déchets MA-VL proviennent des composants qui ont été activés lors de leur exposition au flux de neutrons des réacteurs.

L'activité de ces déchets est de l'ordre d'un million à un milliard de becquerels par gramme, soit un facteur 10 à 100 inférieur aux déchets HA.



Débris métalliques issus des structures entourant les combustibles usés (coques)

Les déchets HA et MA-VL sont actuellement entreposés dans l'attente de disposer d'une solution de gestion à long terme. L'article L. 542-12 du code de l'environnement retient le stockage profond comme solution de référence pour ces déchets et 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. Conformément au calendrier fixé par la loi, le démarrage de Cigéo (Centre industriel de stockage géologique) est prévu en 2025, sous réserve de son autorisation.

FA-VL LES DÉCHETS DE FAIBLE ACTIVITÉ À VIE LONGUE (FA-VL)

Il s'agit principalement de deux types de déchets :

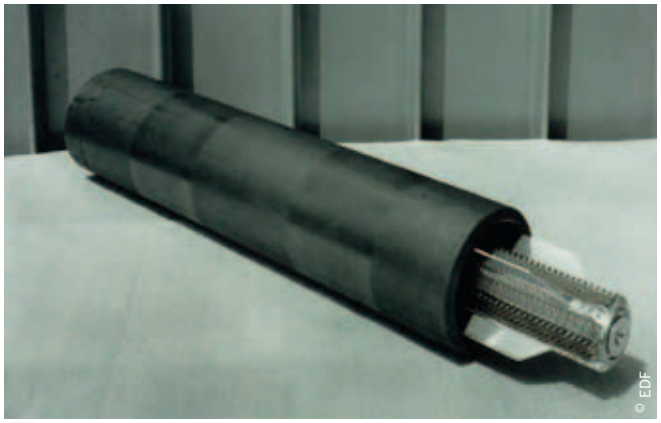
- **Les déchets radifères** proviennent en majorité d'activités industrielles non nucléaires comme certains travaux de recherche et de traitement de minéraux contenant des terres rares. D'autres déchets radifères peuvent également provenir de l'assainissement de sites historiquement pollués au radium, 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 milliers 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 ;

- **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 un niveau de radioactivité se situant entre 10 000 et 100 000 becquerels par gramme et contient essentiellement des radionucléides émetteurs bêta à vie longue. 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 **fûts de boues bitumées anciens, des résidus de traitement de conversion de l'uranium.**

Le stockage à faible profondeur est aujourd'hui à l'étude pour ce type de déchets, dans le cadre de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement.



Cartouche d'élément combustible à Chinon

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 (traitement d'effluents liquides ou filtration des effluents gazeux) des centrales nucléaires, des installations du cycle du combustible et des centres de recherche. Ils peuvent également provenir d'opérations de démantèlement de telles installations.

Les déchets FMA-VC contiennent des radionucléides à vie courte, de période radioactive inférieure ou égale 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 par gramme et un million de becquerels par gramme.

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 négligeable. 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 dédiés au stockage des déchets FMA-VC : le Centre de stockage de la Manche (50) et le Centre de stockage 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 les communes de Soulaines-Dhuys, Épothémont et la Ville-aux-Bois.

Parmi les déchets FMA-VC, les déchets T-FMA-VC peuvent être distingués. Il s'agit de déchets de faible et moyenne activité à vie courte contenant une quantité notable de tritium. 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.

LES DÉCHETS DE TRÈS FAIBLE ACTIVITÉ (TFA)

Les déchets TFA sont majoritairement issus du fonctionnement, de la maintenance et du démantèlement des centrales nucléaires, des installations du cycle du combustible et des centres de recherche. Ils proviennent également des 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 industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) situé essentiellement sur les communes de Morvilliers et de La Chaise (10) et mis en service en août 2003.



Déchets métalliques TFA stockés au Cires

LES DÉCHETS À VIE TRÈS COURTE (VTC)

Certains déchets, principalement hospitaliers, contiennent des radionucléides à vie très courte (dont la période radioactive est inférieure à 100 jours) utilisés à des fins diagnostiques ou thérapeutiques. 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 conventionnelles.



Cuves de décroissance

Cette classification permet schématiquement d'associer à chaque catégorie de déchets une ou plusieurs filières de gestion *(voir dossier 1)*.

Le tableau ci-après présente de manière synthétique les principes de classification des déchets radioactifs et les filières de gestion associées.

CLASSIFICATION DES DÉCHETS RADIOACTIFS ET LES FILIÈRES DE GESTION ASSOCIÉES

<table>
<tr><th></th><th>Déchets dits à vie très courte contenant des radionucléides de période < 100 jours</th><th>Déchets dits à vie courte dont la radioactivité provient principalement de radionucléides de période ≤ 31 ans</th><th>Déchets dits à vie longue dont la radioactivité provient principalement de radionucléides de période > 31 ans</th></tr>
<tr><td>Très faible activité (TFA)</td><td rowspan="3">Gestion par décroissance radioactive
VTC</td><td colspan="2">Stockage de surface (Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage)
TFA</td></tr>
<tr><td>Faible activité (FA)</td><td rowspan="2">Stockage de surface (Centre de stockage de l'Aube)
FMA-VC</td><td>Stockage à faible profondeur à l'étude dans le cadre de l'article 3 de la loi du 28 juin 2006 codifiée
FA-VL</td></tr>
<tr><td>Moyenne activité (MA)</td><td>Stockage profond à l'étude dans le cadre de l'article 3 de la loi du 28 juin 2006 codifiée
MA-VL</td></tr>
<tr><td>Haute activité (HA)</td><td>Non applicable*</td><td colspan="2">Stockage profond à l'étude dans le cadre de l'article 3 de la loi du 28 juin 2006 codifiée
HA</td></tr>
</table>

** La catégorie des déchets de haute activité à vie très courte n'existe pas.*

La classification usuelle des déchets, tenant compte du niveau d'activité des radionucléides et de leur période, permet d'orienter les déchets radioactifs vers la filière de gestion adaptée à leurs caractéristiques.

Elle ne prend toutefois pas en compte certains degrés de complexité qui conduisent à retenir une filière de gestion différente de celle correspondant à la catégorie à laquelle le déchet est assimilé.

D'autres critères, tels que la stabilité ou la présence de substances chimiques toxiques, doivent également être pris en compte.

Par ailleurs, la définition d'un mode de gestion doit tenir compte des principes généraux fixés au livre V, titre IV, chapitre I du code de l'environnement et notamment de la nécessité de réduire le volume et la nocivité des déchets radioactifs ultimes.

Il convient donc de souligner deux aspects importants concernant la classification des déchets radioactifs :

- il n'existe pas de critère de classement unique permettant de déterminer la classe d'un déchet. Il est en effet nécessaire d'étudier la radioactivité des différents radionucléides présents dans le déchet pour le positionner dans la classification. Cependant, à défaut d'un critère unique, les déchets de chaque catégorie se situent en général dans une gamme de radioactivité massique indiquée dans le tableau précédent ;

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

De plus, grâce à l'amélioration de la connaissance des déchets, lors de leur reprise ou du démantèlement des installations, ainsi que 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

LES DÉCHETS À RADIOACTIVITÉ NATURELLE ÉLEVÉE

Les déchets à radioactivité naturelle élevée sont **générés par la transformation de matières premières riches en radionucléides naturels (NORM),** mais qui ne sont pas utilisées pour leurs propriétés radioactives.

Ces radionucléides peuvent se retrouver dans les matériaux ou déchets et nécessitent une gestion particulière.

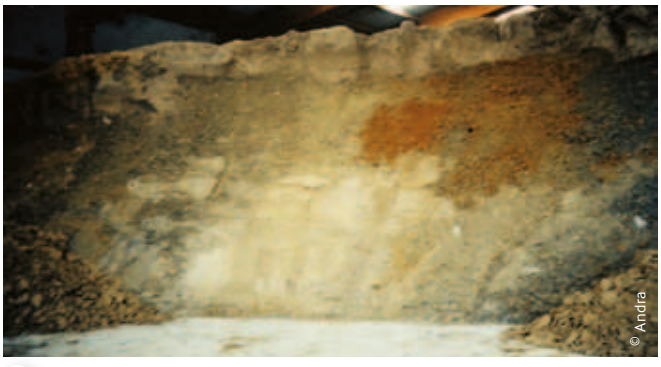
Les radionucléides naturels pris en compte pour les déchets à radioactivité naturelle élevée sont ceux des chaînes de l'uranium 238 et du thorium 232, ainsi que le potassium 40, contenus dans des matériaux qui vont être utilisés dans des procédés industriels. Les procédés industriels peuvent concentrer ou renforcer la radioactivité naturelle présente dans certains produits utilisés et en particulier dans les résidus qu'ils génèrent.

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 une installation de stockage de déchets conventionnels.

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

Leurs filières de gestion et leur inventaire sont présentés dans le dossier 5.



Résidus de l'exploitation des terres rares

[IV] *Circulaire du 25 juillet 2006 relative aux installations classées - Acceptation de déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée dans les centres de stockage de déchets.*

LES DÉCHETS SANS FILIÈRE

Il est parfois impossible d'associer une catégorie à certains déchets, soit pour des raisons de non-acceptabilité dans les filières de gestion existantes 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 en regard de volumes parfois faibles.

On peut citer par exemple certaines huiles et liquides organiques qui ne peuvent être incinérés ou encore les déchets contenant du mercure.

Le suivi du développement et de la mise en place de procédés de traitement de ces déchets est assuré dans le cadre du PNGMDR.

Les déchets sans filière représentent à fin 2013 **0,3 % du volume total** des déchets pris en compte dans l'Inventaire national.

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.**

D'autres types de déchets ont fait l'objet d'une gestion à proximité des sites de production ou ont été utilisés comme remblai.

Enfin, **l'immersion en mer de déchets a été pratiquée par différents pays d'Europe.**

Pour en savoir plus, voir chapitre 4.



Campagne d'immersion de déchets radioactifs

1.4 LES PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

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 outre, 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.

1 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.

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 établisse et maintienne un cadre prévoyant l'élaboration de programmes nationaux pour la gestion du combustible usé et des déchets, l'octroi d'autorisations, la réalisation d'inventaires, de mesures de contrôle et d'inspections, de mesures d'exécution telle que la suspension de l'exploitation, la répartition des responsabilités, l'information et la participation du public et le financement de la gestion des déchets. 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.

2 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, codifiée dans le code de l'environnement).

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, y compris à long terme.

3 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'élimination 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 prescriptions concernant le traitement et le conditionnement, le transport et les installations : elles sont définies par les autorités compétentes, qui en contrôlent ensuite l'application ;

[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] *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.*

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

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

■ des modalités 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 du contenu radiologique : elles sont définies et mises en œuvre par les producteurs de déchets. Des études de recherche et développement sont souvent nécessaires et sont menées par différents organismes, 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 producteurs de déchets, soit de stockage (solution définitive) dont la responsabilité incombe à l'Andra *(voir dossier 1)* ;

■ des opérations de transport et de mise en entreposage ou en stockage, incluant les aspects de suivi et de surveillance, y compris à long terme pour les stockages ;

■ des dispositions destinées à informer le public.

LES ACTEURS DE LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

1 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'installations d'entreposage ou de stockage et déterminer les objectifs à atteindre pour les déchets radioactifs 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 de déchets à radioactivité naturelle élevée *(voir chapitre 3)* ainsi que 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/opecst.

■ 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 l'article L.542-3 du code de l'environnement. La Commission publie annuellement un rapport qui est transmis au Parlement [IX] et rendu public.

■ La Commission nationale d'évaluation du financement (CNEF) des charges de démantèlement des installations nucléaires de base et de gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs est une commission créée par la loi du 28 juin 2006, afin de contrôler le financement des charges nucléaires de long terme.

■ 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 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),
- elle autorise à titre individuel la détention de certaines sources radioactives ou équipements utilisant des rayonnements ionisants.

2 Les producteurs de déchets radioactifs

Conformément à l'article L. 542-1 du chapitre II du titre IV du livre V du code de l'environnement, 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.



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

[IX] *Rapports de la Commission nationale d'évaluation, disponibles notamment sur www.cne2.fr*
[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.*

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 des déchets.

3 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.

C'est un établissement public à caractère industriel et commercial (Épic) dont le rôle a été successivement défini par deux lois :

- Loi du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs de haute activité et à vie longue. Cette loi a créé l'Agence en tant qu'établissement public, en lui confiant notamment les recherches sur le stockage en couche géologique profonde des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue,

- Loi de programme du 28 juin 2006 codifiée dans le code de l'environnement relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs. Cette loi élargit et renforce le rôle de l'Agence et ses domaines d'activité.

Placée sous la tutelle des ministères en charge de l'énergie, de l'environnement et de la recherche, l'Agence est l'opérateur de l'État pour la mise en œuvre de la politique publique de gestion des déchets radioactifs. Elle est indépendante des producteurs de déchets radioactifs.

L'État fixe les objectifs de l'Andra au travers d'un contrat d'objectifs. Sa dernière version couvre la période 2013-2016. Il est disponible sur le site internet de l'Andra (www.andra.fr).

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

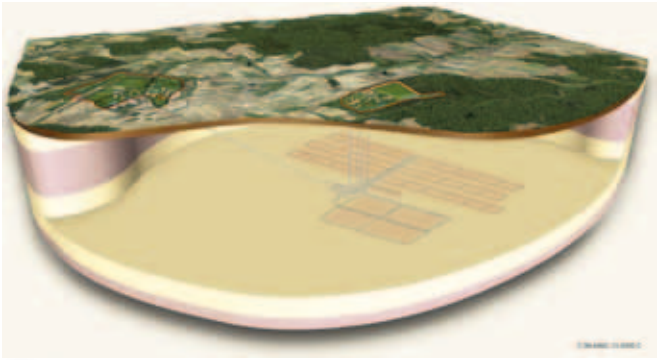
Le code de l'environnement précise les missions de l'Andra :

- Mission de conception, de recherche scientifique et de développement technologique :
  - concevoir et mettre en œuvre des solutions de gestion pérennes pour les déchets de haute activité (HA), de moyenne activité à vie longue (MA-VL) et de faible activité à vie longue (FA-VL) qui sont entreposés.

- Missions industrielles :
  - prendre en charge les déchets radioactifs issus du secteur électronucléaire, de la recherche, de la Défense nationale, de l'industrie non électronucléaire et du secteur médical ;
  - exploiter et surveiller des centres de stockage de déchets radioactifs de façon sûre pour l'homme et l'environnement.

- Missions de service public et d'information :
  - collecter les objets radioactifs auprès des particuliers et des collectivités locales ;
  - assainir et remettre en état les sites pollués par la radioactivité, dont les propriétaires ont disparu ou sont défaillants *(voir chapitre 4)* ;
  - **réaliser chaque année et publier tous les trois ans l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs en France ;**
  - fournir une information claire et vérifiable sur la gestion des déchets radioactifs ;
  - favoriser les rencontres et susciter le dialogue avec toutes les parties prenantes.

- Missions de valorisation des savoir-faire en France et à l'international :
  - développer les collaborations scientifiques aux niveaux national et international ;
  - valoriser l'ensemble des offres de service de l'Agence en France et à l'international ;
  - diffuser le plus largement possible la culture scientifique et technique.



Projet de stockage Cigéo pour les déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue



Camion de collecte pour les déchets FMA-VC chez les particuliers

1.5 LES PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA GESTION DES MATIÈRES RADIOACTIVES

LA POLITIQUE DE GESTION

Les matières radioactives sont constituées pour l'essentiel, de combustibles, d'uranium, de plutonium et de matières valorisables issues d'autres industries que l'industrie électronucléaire (principalement des matières contenant du thorium). La plupart de ces matières sont générées par le cycle du combustible nucléaire.

Les différentes catégories de matières radioactives présentées dans ce rapport sont les suivantes :

- Uranium naturel (extrait de la mine, enrichi, appauvri) ;
- Uranium issu du traitement des combustibles usés (en sortie de traitement, enrichi) ;
- Combustibles à base d'oxyde d'uranium des réacteurs électrogènes UOX ou URE (rebuts, neufs, en cours d'utilisation ou en attente de traitement) ;
- Combustibles à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium des réacteurs électrogènes tels que MOX, combustibles des réacteurs Superphénix et Phénix (rebuts, neufs, en cours d'utilisation ou en attente de traitement) ;
- Combustibles des réacteurs de recherche (neufs, en cours d'utilisation ou en attente de traitement) ;
- Combustibles usés de la Défense nationale ;
- Plutonium ;
- Thorium ;
- Matières en suspension ;
- Autres matières.

LES ACTEURS DE LA GESTION DES MATIÈRES RADIOACTIVES

Le cadre institutionnel de la gestion des matières nucléaires est quasiment le même que celui pour la gestion des déchets radioactifs.

Les principaux propriétaires de matières nucléaires sont les suivants :

- AREVA intervient sur l'ensemble du cycle du combustible hormis l'utilisation des combustibles nucléaires. Ce cycle passe par l'extraction de l'uranium, sa concentration, sa conversion, son enrichissement, la fabrication de combustible puis le traitement-recyclage du combustible usé ;
- CEA utilise le combustible à des fins de recherche ;
- EDF utilise le combustible pour produire de l'électricité ;
- SOLVAY : extrait des terres rares à partir de minerais contenant aussi du thorium ;
- La Défense nationale pour les activités liées à la force de dissuasion, à la propulsion nucléaire de certains navires ou sous-marins et la recherche associées.

De manière marginale, le secteur médical détient des matières nucléaires (uranium appauvri) utilisées en tant que protection biologique.

Le contrôle des matières nucléaires

Compte tenu de l'importance de son industrie nucléaire, et consciente de ses responsabilités en matière de non-prolifération, la France s'est dotée d'une réglementation et d'une organisation parmi les plus complètes au monde. Cette réglementation porte aussi bien sur les matières civiles que sur celles relevant de la Défense nationale.

Au plan national, la protection et le contrôle des matières nucléaires font l'objet d'une réglementation spécifique qui relève du Code de la Défense et des textes réglementaires associés.

Les matières retenues dans la législation française sont au nombre de six : **le plutonium, l'uranium, le thorium, le tritium, le deutérium et le lithium 6** (le deutérium et le lithium 6 ne sont pas radioactifs). Leur définition fait l'objet d'examens périodiques en fonction du développement des connaissances et des techniques.

Cette réglementation vise à prévenir les risques de perte, vol ou détournement de matières nucléaires, ainsi qu'à protéger ces matières et les installations ou transports associés contre les actes de malveillance.

Dans ce cadre, la réglementation impose aux opérateurs et industriels détenant ces matières un certain nombre de dispositions qui se complètent mutuellement, telles que :

- des mesures de protection physique pour protéger les matières contre la malveillance et le sabotage par la mise en place de barrières et autres dispositifs entre le domaine public et les locaux où sont détenues les matières ;

- des mesures de suivi des matières qui permettent de connaître à tout moment la localisation et l'usage des matières ;

- des mesures de comptabilité afin de connaître à tout moment les quantités exactes de matières détenues. Chaque opérateur doit détenir sa propre comptabilité matière qui est comparée régulièrement à une comptabilité centralisée tenue par l'IRSN. Pour le plutonium, cette comptabilité est tenue au gramme près ;

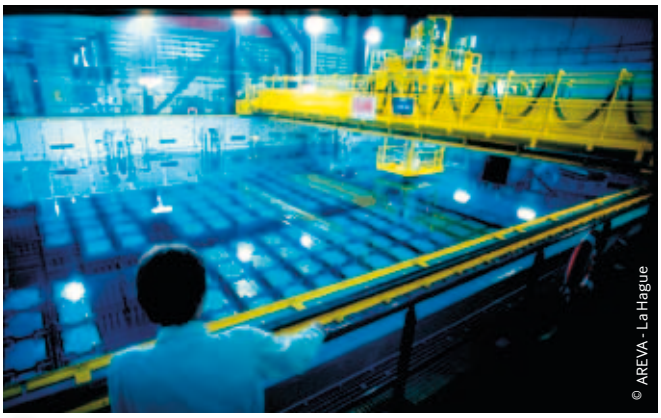
- des mesures de confinement pour prévenir les mouvements de matières non autorisés ;

- des mesures de surveillance qui ont pour but de garantir l'intégrité du confinement et de vérifier l'absence de sortie de matières par des voies illicites.

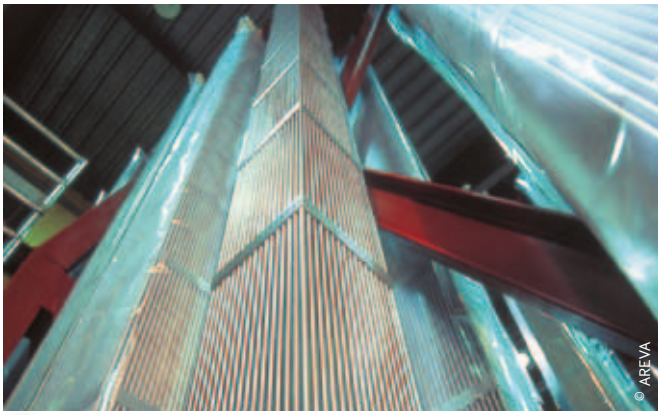
La détention des matières par un opérateur nécessite une autorisation préalable par l'autorité compétente qui est en France le haut fonctionnaire de défense et de sécurité du ministère en charge de l'énergie. Cette autorisation n'est délivrée qu'après analyse d'un dossier fourni par l'opérateur en matière de protection physique, suivi, comptabilité… Cette analyse est effectuée par l'IRSN qui agit en support à l'autorité ministérielle.

L'attribution de l'autorisation nécessite la réalisation par l'opérateur d'une étude de sécurité visant à évaluer l'efficacité et la pertinence du dispositif de protection à l'égard de menaces de référence définies par les pouvoirs publics. Les menaces sont réévaluées périodiquement par les services spécialisés de l'État pour tenir compte de l'évolution du contexte national et international.

Au plan international, les contrôles du respect de l'accord du traité de non-prolifération et du traité Euratom sont exercés respectivement par l'AIEA et par les services de la Commission européenne. Ces contrôles portent d'une part, sur la déclaration et le suivi des mouvements de matières nucléaires (plutonium, uranium et thorium) entre pays, d'autre part sur les déclarations de flux et de stocks de matières détenues au niveau national pour les matières nucléaires qui ne relèvent pas des matières affectées au besoin de la défense nationale. Ces contrôles internationaux se traduisent sur les installations françaises par des inspections menées par des inspecteurs d'EURATOM et dans une moindre mesure de l'AIEA (accord trilatéral entre l'AIEA, Euratom et la France).



Combustibles en piscine



Crayons de combustible


UN 3321 - Matières radioactives de faible activité spécifique (LSA-II)
2400 Kg type IP - 2
Expéditeur
AREVA NC
RAD
Contents
Activity



© Patrice Maurein

CHAPITRE 2

LES RÉSULTATS GÉNÉRAUX

2.1 Les déchets radioactifs | 27
Répartition des déchets radioactifs par catégorie à fin 2013 | 28
Répartition des déchets radioactifs par secteur économique à fin 2013 | 31
Contenu radiologique des déchets radioactifs à fin 2013 | 32
Quantités prévisionnelles des stocks de déchets radioactifs à fin 2020, fin 2030 et à terminaison | 33
Les volumes de déchets de démantèlement | 35

2.2 Les matières radioactives | 37
Stocks de matières radioactives à fin 2013 | 38
Quantités prévisionnelles des stocks de matières radioactives en 2020 et en 2030 | 43

2.3 Les scénarios prospectifs | 44
Scénario 1 : poursuite de la production électronucléaire | 45
Scénario 2 : non-renouvellement de la production électronucléaire | 46

2.4 Les entreposages et stockages de matières et déchets radioactifs | 48
L'entreposage des déchets radioactifs | 48
Le stockage des déchets radioactifs | 50
L'entreposage des matières radioactives | 50

Ce chapitre présente les bilans globaux des déclarations faites par les producteurs ou détenteurs de matières et déchets radioactifs durant l'année 2014. Conformément au décret n°2008-875 du 29 août 2008 et à l'arrêté du 9 octobre 2008 modifié par l'arrêté du 4 avril 2014, ces déclarations portent sur :

- les stocks de matières et déchets radioactifs au 31 décembre 2013 ;
- les prévisions de matières et déchets radioactifs aux dates de référence et à terminaison selon les scénarios industriels ;
- les prévisions de déchets radioactifs à terminaison selon des scénarios prospectifs.

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'INB, d'installations intéressant la Défense (INBS, SIENID) ou d'ICPE nucléaires (rubriques de la nomenclature concernant les substances radioactives).

Au total, près de 1 200 sites géographiques au sens de l'Inventaire national *(voir annexe 1)* sur lesquels se trouvent des déchets radioactifs à fin 2013 sont répertoriés dans l'édition 2015.

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 de l'électronucléaire ou le secteur médical. Ces 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, de la présente édition de l'Inventaire national ou sur www.inventaire.andra.fr.

Ce chapitre offre, dans une première partie, une vision globale quantitative des déchets présents à fin 2013 et des déchets qui seront produits aux échéances de 2020, 2030 et à terminaison. Les prévisions sont fondées sur des scénarios industriels. Seuls les déchets issus des installations (du fait de leur fonctionnement et de leur démantèlement) ayant obtenu leur décret d'autorisation de création au 31 décembre 2013 sont évalués.

Dans la seconde partie de ce chapitre, le recensement des matières radioactives présentes à fin 2013, à fin 2020 et à fin 2030 est également présenté.

Enfin, une vision prospective des déchets radioactifs qui seraient produits par l'ensemble des installations autorisées à fin 2013 jusqu'à leur fin de vie est donnée en fin de chapitre. Ces évaluations sont présentées selon deux scénarios énergétiques spécifiques :

- la poursuite de la production électronucléaire,
- le non renouvellement de la production électronucléaire.

L'Andra reçoit et analyse **1 200** déclarations chaque année.

LE PÉRIMÈTRE DES DÉCHETS PRIS EN COMPTE DANS LES BILANS PRÉSENTÉS

Les déchets pris en compte pour les bilans du présent chapitre ne tiennent pas compte des déchets ayant fait l'objet de modes de gestion « historiques ». Il s'agit :

- **des 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 ;
- **des déchets historiques** qui ont été stockés par le passé à proximité d'installations nucléaires ou d'usines. Ce sont le plus souvent des buttes ou remblais ;
- **des déchets immergés**.

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 conventionnelles. Ils ne sont donc pas envoyés dans un stockage dédié aux déchets radioactifs ;
- enfin, les résidus de traitement de conversion de l'uranium (RTCU) provenant de l'usine d'AREVA à Malvési (11) sont affichés séparément : en effet, AREVA a transmis en 2014 et 2015, au titre du PNGMDR, des études sur la gestion à long terme de ces déchets. Dans l'attente d'une décision, cette famille est présentée séparément dans les bilans chiffrés des stocks de déchets existants au 31 décembre 2013 et dans les prévisions. Ces déchets sont notamment entreposés dans des bassins de décantation et d'évaporation, et ne sont 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

Les déchets radioactifs sont définis dans l'article L. 542-1-1 du code de l'environnement comme « 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 ».

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

Cinq secteurs économiques sont ainsi définis comme suit :

1 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 et enrichissement des concentrés d'uranium, fabrication du combustible, traitement du combustible usé et recyclage d'une partie des matières extraites de celui-ci).

2 LE SECTEUR DE LA RECHERCHE

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

3 LE SECTEUR DE LA DÉFENSE

qui concerne principalement les activités liées aux armées et à la force de dissuasion, dont la propulsion nucléaire de certains navires ou sous-marins, ainsi que les activités de recherche associées.

4 LE SECTEUR INDUSTRIEL (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...

5 LE SECTEUR MÉDICAL

qui comprend les activités diagnostiques et thérapeutiques (scintigraphie, radiothérapie...).

Le volume de déchets radioactifs recensé depuis le début de leur production jusqu'au 31 décembre 2013 est de **1 460 000 m³ environ** (volume équivalent conditionné) soit 140 000 m³ environ de plus qu'au 31 décembre 2010.

73 % de ces déchets sont déjà stockés dans les centres de l'Andra : les déchets TFA au Cires (10) et les déchets FMA-VC au Centre de stockage de la Manche (50) et au CSA (10). Les autres déchets sont entreposés sur les sites de production dans des installations dédiées à cet effet. Il s'agit :

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

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 en colis primaire et appelé colis de stockage sera éventuellement nécessaire afin d'assurer des fonctions de manutention, de sûreté ou de réversibilité. À ce stade des études de conception du projet Cigéo, le volume des colis de stockage des déchets HA pourrait être deux à trois fois plus important que celui des colis primaires et celui des déchets MA-VL cinq à six fois plus important.

Les volumes de déchets recensés correspondent aux volumes de déchets conditionnés, c'est-à-dire pour lesquels aucun traitement complémentaire n'est envisagé par leurs producteurs avant stockage. Les déchets ainsi conditionnés constituent des colis primaires.

À la fin de l'année 2013, il existait en France environ **1 460 000 m³** de déchets radioactifs. Les déchets anciens ayant fait l'objet de modes de gestion historiques ne sont pas comptabilisés.

RÉPARTITION DES DÉCHETS RADIOACTIFS PAR CATÉGORIE À FIN 2013

Les stocks à fin 2013

Les volumes de déchets radioactifs présents sur le territoire français au 31 décembre 2013, y compris les déchets étrangers destinés à repartir dans leur pays *(voir encadré « déchets étrangers » page 29)*, sont présentés dans le tableau et le graphique ci-dessous.

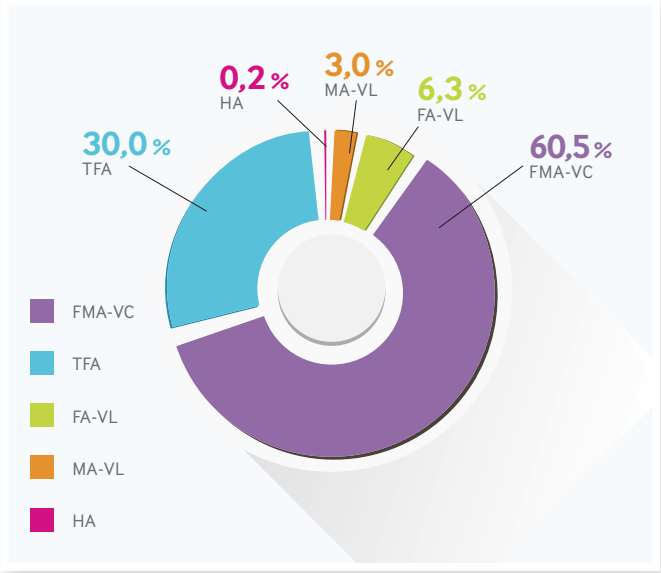
DANS LE TABLEAU, CES VOLUMES SONT COMPARÉS À CEUX PRÉSENTS À FIN 2010 (ÉDITION 2012 DE L'INVENTAIRE NATIONAL)

Catégorie	Volume à fin 2013*	Écart 2013/2010**
HA	3 200	500
MA-VL	44 000	4 000
FA-VL	91 000	4 500
FMA-VC	880 000	52 000
TFA	440 000	77 000
DSF***	3 800	200
Total général	**~1 460 000**	**~140 000**

m³ équivalent conditionné

** Les volumes sont arrondis.*
*** Les écarts ont été calculés sur la base des chiffres exacts puis arrondis.*
**** 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.*

RÉPARTITION EN VOLUME PAR CATÉGORIE DE DÉCHETS



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

Catégorie	Volume à fin 2013 (m³)	Écart 2013/2010 (m³)
RTCU	690 000	90 000

Les volumes présentés dans le *tableau page 28* 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 des producteurs, y compris si ces hypothèses sont encore en cours d'étude 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 2013 ;

- 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 2013 mais sont pris en compte dans les prévisions de volumes de déchets, en fonction de leur date de démantèlement ;

- 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 étrangers visés à l'article L. 542-2-1 du code de l'environnement et ayant vocation à être réexpédiés chez les clients étrangers sont comptabilisés avec les déchets présents sur le site de l'usine AREVA NC de La Hague (50) et du CEA de Marcoule (30) ;

- 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 4 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 codifiée dans le code de l'environnement.

L'industrie nucléaire française a développé une technologie 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 dès les années 1970 (par contrat) à des électriciens étrangers. À partir de 1977, le CEA, puis COGEMA (maintenant AREVA) ont inclu dans tous leurs 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 :
- Rapport CEA - Informations relatives aux opérations portant sur des combustibles usés ou des déchets radioactifs en provenance de l'étranger - Mis à jour au 31 décembre 2013 ;
- Rapport AREVA - Traitement des combustibles usés provenant de l'étranger dans les installations d'AREVA NC La Hague - Mis à jour au 31 décembre 2013.

Les évolutions depuis l'édition 2012

Les écarts constatés entre les déchets existants à fin 2010 et ceux à fin 2013 sont non seulement dus à la production courante de déchets, mais également à :

- la décision de traitement des combustibles usés du réacteur EL4 (Brennilis) considérés précédemment comme des déchets ;

- une évolution des hypothèses de colisage des fûts de boues bitumées de Marcoule, se traduisant par une augmentation du volume conditionné de déchets MA-VL. Cette évolution ne correspond toutefois pas à une augmentation de la quantité de déchets radioactifs ;

- une évolution des hypothèses de conditionnement des colis de déchets radifères issus du traitement de la monazite, se traduisant par une augmentation du volume conditionné de déchets FA-VL. Cette évolution ne correspond toutefois pas à une augmentation de la quantité de déchets radioactifs ;

- la prise en compte de KDU (boues provenant du lavage des conteneurs d'UF6) de Pierrelatte qui contribuent à l'augmentation du volume de déchets FA-VL ;

- l'optimisation des traitements et des conditionnements ;

- les efforts de caractérisation qui ont permis d'orienter les déchets vers la catégorie adaptée.

Une synthèse des principales évolutions par rapport à l'édition 2012 de l'Inventaire national et pour chaque filière de gestion est présentée ci-après.

1 Pour les déchets HA (haute activité)

L'évolution du stock de déchets HA à fin 2013 correspond majoritairement à la production courante de déchets résultant de la vitrification de solutions de produits de fission, issues du traitement des combustibles usés à l'usine AREVA NC de La Hague (50).

Dans les éditions précédentes, l'ensemble des déchets présents sur le territoire français, y compris les déchets étrangers, étaient déclarés à l'Inventaire national, mais seuls les déchets français étaient comptabilisés dans les bilans. Dans ce chapitre, les bilans comprennent l'ensemble des déchets présents sur le territoire, d'où une augmentation du volume supérieure à la production.

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

Le volume du stock à fin 2013 a augmenté d'environ 4 000 m^3 par rapport aux stocks à fin 2010 présentés dans l'édition 2012.

En plus de la production courante de déchets MA-VL, cette augmentation est en grande partie due :

- à la prise en compte de l'ensemble des déchets présents sur le territoire français, y compris les déchets étrangers, comme pour les déchets de haute activité ;
- aux évolutions dans les hypothèses de colisage des fûts retenues par les producteurs de déchets qui ont conduit à des augmentations de volume. L'option de reconditionner l'ensemble des colis d'enrobés bitumineux du CEA en colis de 380 litres a, par exemple, conduit à une augmentation du volume total de cette famille de déchets (de l'ordre de 3 300 m^3).

Il faut noter en outre que certains déchets catégorisés MA-VL dans l'édition 2012 ont été transférés en catégorie FA-VL suite aux avancées du projet FA-VL. On peut citer pour exemple une partie des colis de déchets solides d'exploitation cimentés en conteneurs béton-fibres de l'usine de La Hague (50) dont la quantité diminue de 1 600 m^3 environ.

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

Le volume des déchets FA-VL a augmenté de 4 400 m^3 environ depuis la dernière édition de l'*Inventaire national*.

Les raisons suivantes expliquent principalement cette forte augmentation :

- la production courante de déchets de cette catégorie est de l'ordre de 700 m^3 ;
- les nouvelles hypothèses de conditionnement prises par Solvay pour le conditionnement des résidus radifères et des résidus solides banalisés conduisent à une augmentation du volume total d'environ 3 000 m^3 ;
- la catégorisation en déchets FA-VL d'une partie des colis de déchets solides d'exploitation cimentés en conteneurs béton-fibres de l'usine de La Hague (50) initialement associée à la catégorie MA-VL aboutit à une augmentation de 1 600 m^3 environ.

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

L'augmentation du volume de déchets FMA-VC à fin 2013 s'explique en grande partie par trois années supplémentaires de fonctionnement du parc de réacteurs et par les opérations de démantèlement réalisées pendant cette période. Des évolutions dans les hypothèses de conditionnement retenues par les producteurs de déchets sont observées, et ont conduit à des modifications de volume équivalent conditionné.

5 Pour les déchets TFA (très faible activité)

En comparaison avec les chiffres de fin 2010, on constate une augmentation du volume de déchets TFA d'environ 77 000 m^3 à fin 2013, essentiellement due aux opérations de démantèlement.

6 Pour les déchets DSF (déchets sans filière)

Un déchet sans filière est défini comme étant un déchet qui n'entre dans aucune des filières d'élimination existantes ou en projet, dans l'état des connaissances du moment, en raison notamment de ses caractéristiques physiques ou chimiques particulières. 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 dans une filière 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.

Le suivi du développement et de la mise en place de procédés de traitement est assuré dans le cadre du PNGMDR.

L'augmentation du volume de déchets sans filière est due à la découverte de nouveaux déchets lors des phases de démantèlement des installations nucléaires.

7 Pour les déchets de l'usine d'AREVA à Malvési

L'augmentation du volume de déchets de l'usine d'AREVA à Malvési est due à trois années supplémentaires de production de résidus de traitement de conversion de l'uranium (RTCU).

Pour le cas de l'usine d'AREVA à Malvési, le PNGMDR 2013-2015 indique qu'il est prématuré de ne retenir qu'une solution unique pour la gestion des déchets générés par l'établissement et il convient de distinguer la gestion à long terme des déchets déjà produits, de la gestion des déchets à produire d'ici 2050. Ainsi, l'usine d'AREVA à Malvési doit poursuivre notamment :

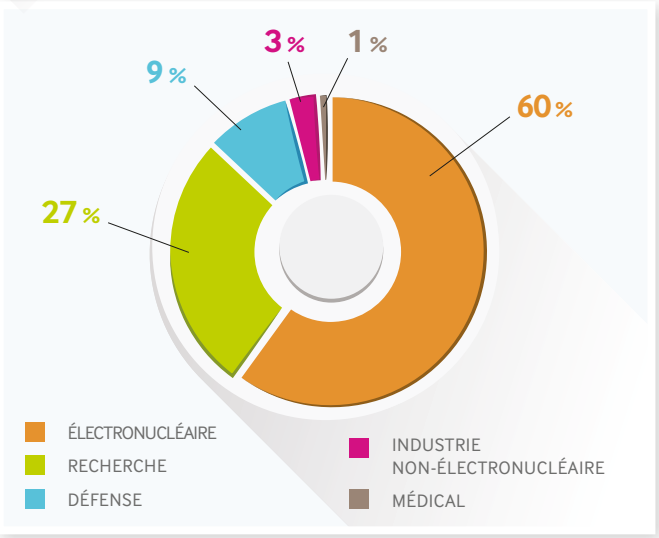
- les caractérisations des déchets déjà produits et des résidus miniers présents sous les bassins de décantation B3 à B6 afin d'affiner l'inventaire radiologique et chimique des déchets à gérer ;
- les études de faisabilité des options de stockage des déchets déjà produits en subsurface, en s'assurant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

RÉPARTITION DES DÉCHETS RADIOACTIFS PAR SECTEUR ÉCONOMIQUE À FIN 2013

Par secteur économique à fin 2013

La répartition des déchets radioactifs à fin 2013 est présentée par secteur économique sur la figure ci-dessous.

RÉPARTITION DU VOLUME TOTAL DE DÉCHETS PAR SECTEUR ÉCONOMIQUE



1 Secteur électronucléaire

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.

2 Secteur recherche

Le secteur économique « recherche » correspond pour la plus grande part aux déchets produits par le CEA notamment dans le domaine du nucléaire civil et pour une moindre part aux déchets produits dans le cadre d'activités de recherche effectuées dans des centres autres que ceux du CEA, par 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 sont 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.

3 Secteur Défense

Les déchets affectés au secteur économique « Défense » regroupent les déchets issus des activités liées aux armées et 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 (Direction générale des Armées, Service de santé des Armées, Armée de terre, Armée de l'air et Marine nationale, Gendarmerie).

Les déchets HA et MA-VL de ce secteur sont produits exclusivement par les activités de la force de dissuasion.

4 Secteur de l'industrie non électronucléaire

Les déchets produits par les industriels utilisant des matériaux naturellement radioactifs en particulier SOLVAY dans le domaine de l'extraction des terres rares, sont rattachés au secteur économique « industrie non électronucléaire ».

Les paratonnerres radioactifs fabriqués entre 1932 et 1986 et progressivement démontés et collectés par l'Andra, font aussi partie de ce secteur économique. On notera que les déchets MA-VL affectés au secteur économique de l'industrie non électronucléaire correspondent aux « blocs sources » contenant des sources scellées usagées.

5 Secteur médical

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. Une grande partie de ces déchets est collectée et déjà stockée par l'Andra.

RÉPARTITION DU VOLUME TOTAL DE DÉCHETS PAR SECTEUR ÉCONOMIQUE ET PAR FILIÈRE DE GESTION

Volume à fin 2013 (m³)	Électronucléaire	Recherche	Défense	Industrie non électronucléaire	Médical
HA	2 700	190	230	-	-
MA-VL	26 000	10 000	6 200	170	-
FA-VL	42 000	20 000	17 000	12 000	2
FMA-VC	580 000	200 000	61 000	22 000	8 500
TFA	220 000	160 000	42 000	11 000	3
DSF	2 400	740	650	4	1
Total général	**880 000**	**390 000**	**130 000**	**45 000**	**8 500**

CONTENU RADIOLOGIQUE DES DÉCHETS RADIOACTIFS À FIN 2013

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 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 de stockage.

Dans le cas des **déchets HA, MA-VL et FA-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 déchets. Elles seront affinées lors de leur conditionnement.

Les activités radiologiques totales résultent d'un calcul de décroissance de l'activité jusqu'à fin 2013. Ces calculs sont réalisés par l'Andra à partir de données fournies par les producteurs.

L'activité totale déclarée par les producteurs et indiquée dans l'inventaire géographique est de l'ordre de 240 000 000 TBq, alors que l'activité totale calculée est de230 000 000 TBq.

L'écart par rapport à l'activité calculée est dû au fait que, pour des raisons de simplicité, l'activité est déclarée par les producteurs à la date de production et ne prend parfois pas en compte la décroissance naturelle des radionucléides ni généralement les radioéléments fils en équilibre séculaire.

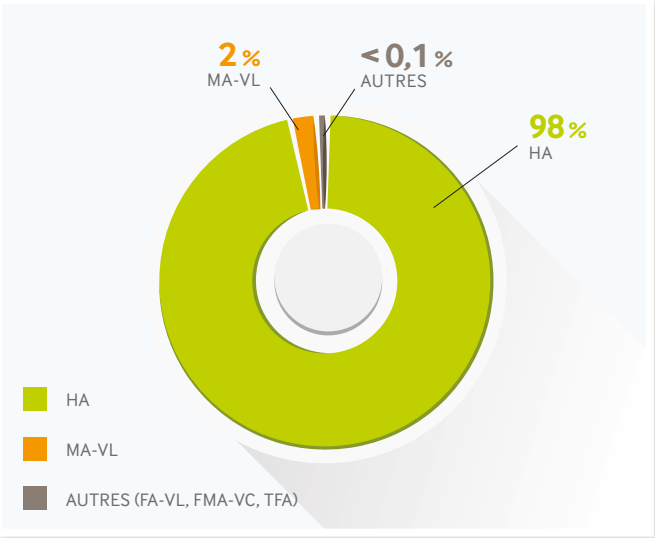
Le tableau et le graphique synthétisent l'activité calculée totale du stock de déchets.

On peut distinguer dans le contenu radiologique, trois types de radionucléides : 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 2013 est présentée dans le tableau ci-dessous.

ACTIVITÉS CALCULÉES AU 31 DÉCEMBRE 2013

Catégorie	Activité à fin 2013 TBq soit 10^{12} Bq
HA	220 000 000
MA-VL	5 500 000
FA-VL	19 000
FMA-VC	36 000
TFA	8
Total	**~ 230 000 000**

ACTIVITÉS CALCULÉES AU 31 DÉCEMBRE 2013



DÉFINITION

- Le rayonnement Alpha (α) : émission d'un noyau d'hélium (constitué de 2 protons et de 2 neutrons) appelé aussi « particule α ».
- Le rayonnement Bêta (β) : transformation d'un neutron en proton accompagnée par l'émission d'un électron.
- Le rayonnement Gamma (γ) : émission d'un rayonnement électro-magnétique, de même nature que la lumière visible ou les rayons X.

ACTIVITÉS DES DÉCHETS ÉVALUÉES À FIN 2013

	α (TBq)	β/γ vie courte (TBq)	β/γ vie longue (TBq)	Activité totale (TBq)
HA	3 500 000	210 000 000	350 000	220 000 000
MA-VL	44 000	4 300 000	1 100 000	5 500 000
FA-VL	720	16 000	2 800	19 000
FMA-VC	910	27 000	8 300	36 000
TFA	3	4	1	8

Cette évaluation de l'activité au 31 décembre 2013 permet de mettre en évidence que :

- **les déchets HA contiennent 98 %** de l'activité totale des déchets radioactifs présents au 31 décembre 2013. Il s'agit des déchets extraits des combustibles usés (produits de fission et actinides mineurs produits en réacteurs). Les principaux radionucléides contribuant à cette activité sont :
  - le curium 244 et l'américium 241 pour les radionucléides émetteurs alpha,
  - le césium 137, le baryum 137 métastable, le strontium 90 et l'yttrium 90 pour les radionucléides émetteurs bêta-gamma à vie courte.

Les radionucléides émetteurs bêta-gamma à vie longue contribuent quant à eux pour moins de 1 % à cette activité.

- **les déchets MA-VL représentent 2 %** 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 principaux radionucléides contenus dans 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, l'yttrium 90, le césium 137, le baryum 137 métastable, 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, uranium...) ;

- **les déchets FMA-VC représentent 0,02 %** de la radioactivité totale. Les colis de déchets solides technologiques de l'usine d'AREVA à La Hague (50) 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.

QUANTITÉS PRÉVISIONNELLES DES STOCKS DE DÉCHETS RADIOACTIFS À FIN 2020, FIN 2030 ET À TERMINAISON

Comme indiqué en préambule de ce chapitre, les prévisions de production de déchets de toutes les installations autorisées à fin 2013, sont déclarées par les producteurs.

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.

Pour évaluer les prévisions à fin 2020, fin 2030 et à terminaison de la présente édition de l'Inventaire national, les hypothèses structurantes retenues dans les scénarios industriels des producteurs sont :

- la poursuite de la production électronucléaire ;

- une durée de fonctionnement uniforme de 50 ans de l'ensemble des réacteurs ;

- un début de démantèlement des réacteurs UNGG et la production de déchets FA-VL graphite prévue à l'horizon 2025 liée à la disponibilité du futur centre de stockage FA-VL. À noter que le démantèlement des installations du parc dit de première génération est en cours avec la production de déchets (FMA-VC et TFA) dont une partie est déjà évacuée vers les centres de stockage de surface ;

- le traitement de la totalité des combustibles usés, correspondant à la politique de gestion actuelle ; ceci suppose par convention un fonctionnement des usines actuelles de traitement du combustible d'une durée suffisante pour assurer ces opérations. Ceci suppose aussi la réutilisation des matières séparées dans le parc électronucléaire actuel ou dans un futur parc ;

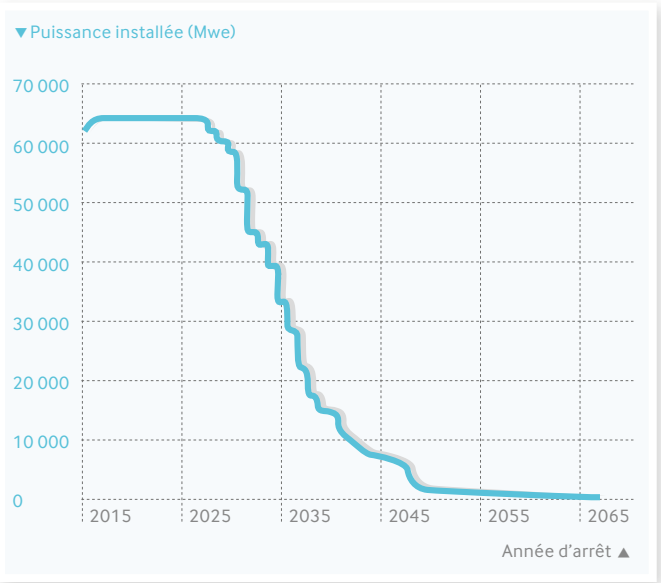
- un flux de traitement des combustibles usés d'environ un millier de tonnes par an.

Les hypothèses structurantes du scénario sont retenues sur la base de la vision stratégique des producteurs en 2013. Ces hypothèses ne présagent pas des décisions qui interviendraient dans les années futures en réponse aux orientations stratégiques d'EDF ou aux évolutions réglementaires.

Le démantèlement des réacteurs REP actuellement en fonctionnement 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, des opérations de démantèlement d'un certain nombre d'installations sur les différents sites de recherche du CEA civil et du CEA/DAM (Direction des applications militaires) se poursuivront.

ÉVOLUTION DE LA PUISSANCE INSTALLÉE EN FONCTION DES ANNÉES DE MISE À L'ARRÊT DÉFINITIF DES RÉACTEURS EN SUPPOSANT UNE DURÉE DE FONCTIONNEMENT UNIFORME DE 50 ANS



Par catégorie

Ces prévisions ont évolué par rapport à celles faites depuis 2007 dans les éditions successives de l'Inventaire national.
Ces évolutions dépendent fortement des scénarios industriels et notamment de la durée de fonctionnement des réacteurs.

À FIN 2020

Catégorie	Prévisions faites en 2007	Prévisions faites en 2010	Prévisions faites en 2013
HA	3 700	4 000	4 100
MA-VL	47 000	45 000	48 000
FA-VL	115 000	89 000	92 000
FMA-VC	1 000 000	1 000 000	1 000 000
TFA	630 000	760 000	650 000
Total général	**~ 1 800 000**	**~ 1 900 000**	**~ 1 800 000**

À FIN 2030

Catégorie	Prévisions faites en 2007	Prévisions faites en 2010	Prévisions faites en 2013
HA	5 100	5 300	5 500
MA-VL	51 000	49 000	53 000
FA-VL	152 000	133 000	120 000
FMA-VC	1 200 000	1 200 000	1 200 000
TFA	870 000	1 300 000	1 100 000
Total général	**~ 2 300 000**	**~ 2 700 000**	**~ 2 500 000**

Les évolutions de quantités prévisionnelles des déchets HA et MA-VL à fin 2020 et à fin 2030 s'expliquent d'une part par les mêmes raisons que les évolutions des stocks à fin 2013, c'est-à-dire, une évolution des hypothèses de colisage des fûts de boues bitumées de Marcoule, se traduisant par une augmentation du volume conditionné de déchets MA-VL. Cette évolution ne correspond toutefois pas à une augmentation de la quantité de déchets radioactifs.

D'autre part, la baisse des prévisions de production de déchets FA-VL à fin 2030 est due à une mise à jour du planning de démantèlement d'installations nucléaires, notamment des réacteurs UNGG, liée à la disponibilité du futur centre de stockage FA-VL.

À TERMINAISON

Catégorie	Prévisions faites en 2013
HA	10 000
MA-VL	72 000
FA-VL	180 000
FMA-VC	1 900 000
TFA	2 200 000
Total général	**~ 4 300 000**

Les prévisions à terminaison évaluées au 31 décembre 2013 ont été déclarées pour la première fois en 2014 suite à la parution au journal officiel de l'arrêté du 4 avril 2014.

Concernant les déchets de l'usine d'AREVA à Malvési (11), dont le mode de gestion à long terme est en cours de définition, les prévisions sont les suivantes :

PRÉVISIONS FAITES EN 2010

Catégorie	Pour 2020	Pour 2030
RTCU	635 000	688 000

PRÉVISIONS FAITES EN 2013

Catégorie	Pour 2020	Pour 2030
RTCU	670 000	580 000

Il est à noter qu'un procédé thermique permettant de traiter les liquides nitratés est en projet, ce qui explique la baisse des volumes prévisionnels fin 2030.

LES VOLUMES DE DÉCHETS DE DÉMANTÈLEMENT

Comme l'industrie électronucléaire est une industrie relativement récente (née au début des années 1960), les principaux chantiers de démantèlement des installations nucléaires du cycle du combustible ainsi que les centres nucléaires de production d'électricité (CNPE) sont à venir, principalement après 2030.

Les déchets induits par les opérations de démantèlement sont de deux types : conventionnels ou radioactifs. 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 production possible de déchets nucléaires sont tous considérés comme radioactifs, même si aucune radioactivité n'y est détectée.

1 Nature des déchets issus du démantèlement

Les déchets de démantèlement sont pour 80 % des déchets conventionnels, notamment des gravats et des métaux, et pour 20 % des déchets radioactifs. Ces derniers sont majoritairement de très faible et faible activité à vie courte :

- 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.

Il s'y ajoute des déchets de faible activité à vie longue, notamment les déchets de graphites provenant de la première filière française de réacteurs dite « uranium naturel graphite gaz » et une petite quantité de déchets de moyenne activité à vie longue (déchets activés, dont des pièces métalliques situées au cœur des réacteurs et certains déchets de l'installation ITER).
Les déchets radioactifs issus du démantèlement sont gérés comme les déchets de fonctionnement des installations. Ils sont triés, subissent éventuellement un traitement puis sont conditionnés (*Voir dossier thématique sur le traitement/conditionnement*), avant d'être entreposés ou transportés vers les centres de stockage adaptés à leur niveau de radioactivité.

2 Estimation des quantités de déchets issus du démantèlement

Lors de la préparation des opérations de démantèlement, la quantité et la nature des déchets qui seront produits sont évalués de façon la plus précise possible et les moyens de traitement et de conditionnement à mettre en œuvre sont définis. Ces évaluations prennent en compte la totalité des déchets produits par l'opération, y compris les déchets secondaires induits, par exemple les volumes d'effluents engendrés par la décontamination.

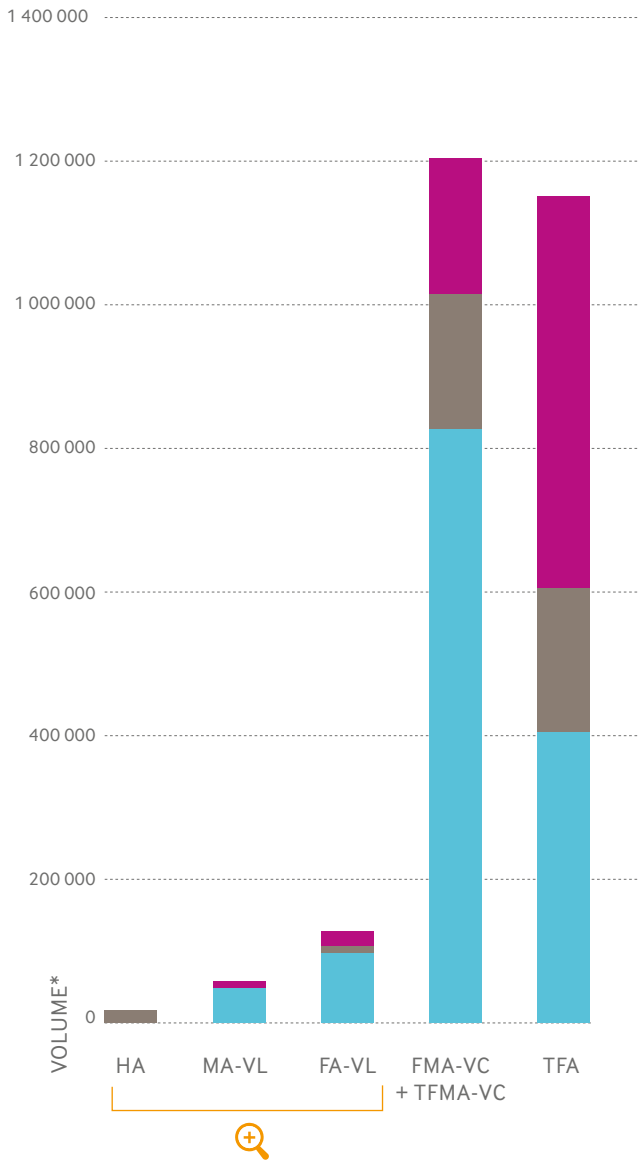
Pour ce faire, en premier lieu, un inventaire rigoureux des installations à assainir, des équipements qu'elles contiennent et de leur niveau de contamination résiduelle est réalisé. Une bonne connaissance de l'historique de l'exploitation de l'installation est à ce titre primordiale.

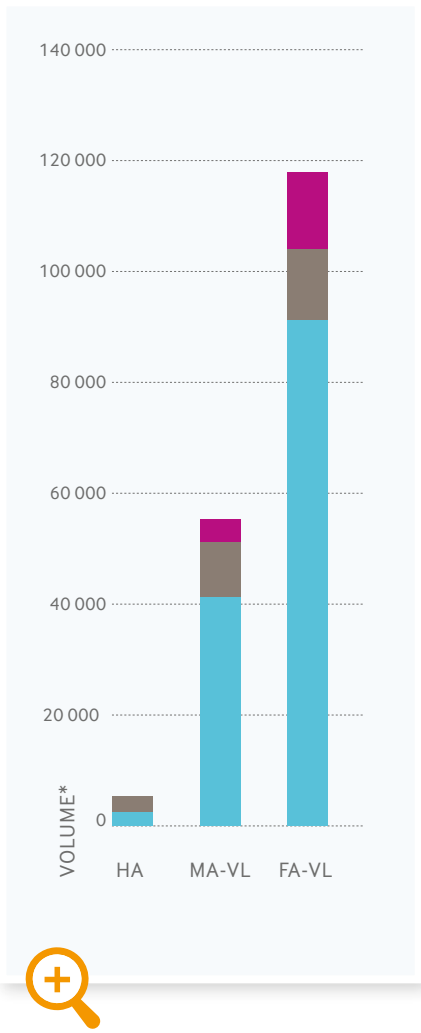
Les quantités de déchets qui seront produites par le démantèlement de ces installations sont alors évaluées en utilisant des « ratios techniques » qui ont été établis et sont régulièrement mis à jour sur la base du retour d'expérience des opérations de démantèlement déjà réalisées. Ces ratios permettent 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.

Voir aussi le dossier thématique 3 sur l'assainissement et le démantèlement.

Le graphique ci-dessous présente les quantités prévisionnelles de déchets 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 produira des déchets FA-VL.

PRÉVISIONS DES QUANTITÉS DE DÉCHETS À FIN 2030





LÉGENDES

- STOCK 2013
- PART FONCTIONNEMENT À FIN 2030
- PART DÉMANTÈLEMENT À FIN 2030

(m³ équivalent conditionné)

2.2 LES MATIÈRES RADIOACTIVES

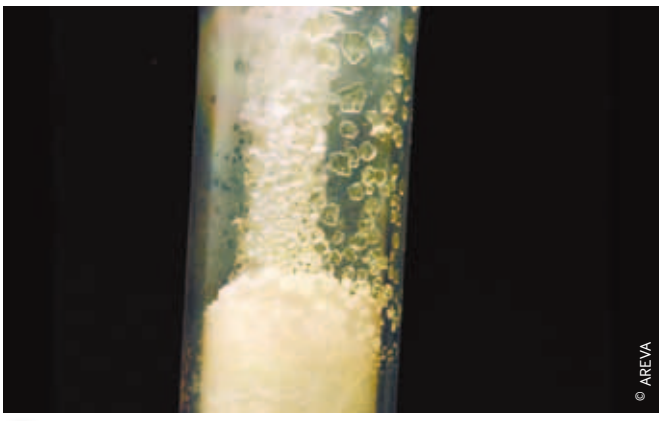
Une matière radioactive est définie dans l'article L. 542-1-1 du code de l'environnement comme « une substance radioactive pour laquelle une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement » *(voir chapitre 1)*.

Les matières radioactives ne font pas l'objet d'une classification particulière. Il s'agit pour l'essentiel d'uranium (naturel, enrichi ou appauvri), de combustibles (neufs, en cours d'utilisation ou usés), d'uranium et de plutonium séparés par traitement des combustibles usés et de matières valorisables issues d'autres industries que l'industrie électronucléaire (principalement des matières contenant du thorium).

Les matières radioactives suivantes sont présentées dans ce chapitre :

- **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 avant utilisation ;**
- **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 ;
- **les rebuts de combustibles.**

Ces matières sont, pour la plupart, générées lors du 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.



Cristaux UF_6



Nucléaire diffus

STOCKS DE MATIÈRES RADIOACTIVES À FIN 2013

Par catégorie

Les quantités de matières radioactives présentes à fin 2013 ainsi que les sites sur lesquels elles sont entreposées sont présentés ci-dessous. Ce stock évolue en fonction de la production électronucléaire.

1 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 2013, environ 26 000 tonnes d'uranium naturel étaient entreposées principalement sur les sites d'AREVA à Malvési (11) et à Pierrelatte (26).

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

2 L'uranium enrichi

L'enrichissement consiste à augmenter la concentration en uranium 235 (isotope énergétique trop faiblement présent - teneur de 0,7 % - 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 II d'AREVA sur le site de Tricastin (26) depuis 2011 est celui de la centrifugation.

Le gaz UF_6 est introduit dans le cylindre tournant à très haute vitesse, sous vide, dans un carter étanche.

Les molécules les plus lourdes, sous l'effet de la force centrifuge, sont envoyées à la périphérie du tube tandis que les plus légères (^{235}U) migrent vers le centre.

Le gaz enrichi en isotope léger uranium 235, au centre du tube, monte. Le gaz enrichi en uranium 238, plus lourd, descend.

Les produits enrichis et appauvris sont récupérés aux deux extrémités, haute et basse, du tube.

Cette étape élémentaire de séparation des molécules est répétée au sein d'un ensemble de centrifugeuses mises en série, appelé cascades.

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

Au 31 décembre 2013, un peu moins de 2 800 tonnes d'uranium enrichi étaient entreposées sur les sites AREVA de Pierrelatte (26), de Romans (26), de Marcoule (30) et sur différents sites du CEA.

3 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 2013, environ 290 000 tonnes d'uranium appauvri (Uapp) étaient entreposées en France dont un peu plus de 170 000 tonnes sur le site AREVA du Tricastin (26), environ 120 000 tonnes sur le site AREVA de Bessines-sur-Gartempe (87), 500 tonnes sur le site d'AREVA à Malvési (11) et 150 tonnes sur différents sites du CEA.

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 410 000 tonnes à fin 2030. Ce stock représente une ressource abondante pour l'avenir de la production d'énergie électronucléaire.

En effet, l'évolution des techniques d'enrichissement, avec la centrifugation, devrait permettre, d'ici quelques années, aux conditions économiques adéquates, de réenrichir l'uranium appauvri.

D'autre part, ces stocks d'uranium appauvri pourront être valorisés dans les réacteurs à neutrons rapides de 4ème génération dont le déploiement pourrait intervenir après 2040. Il est aujourd'hui estimé qu'un parc de réacteurs de 4ème 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 milliers d'années.

4 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'UF_6 soit sous forme d'U_3O_8 en fonction du mode de gestion choisi (réenrichissement pour fabrication de combustibles ou entreposage).

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

Au 31 décembre 2013, 27 000 tonnes d'URT étaient entreposées sur les sites du Tricastin (26) et de La Hague (50). 2 700 tonnes appartiennent à des clients étrangers.

5 Le thorium

Le thorium se présente sous la forme d'hydroxyde de thorium ou de nitrate de thorium. Environ 8 500 tonnes de métal lourd (tML) sont entreposées en France.

Dans le cadre de ses activités de traitement de minerai de terres rares, la société Solvay 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 ci-dessous)* ;
- jusqu'en 1994, du nitrate de thorium, issu du traitement en voie nitrate de la monazite.

Au 31 décembre 2013, environ 6 300 tonnes de métal lourd (tML) 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 métal lourd (tML) de thorium entreposées sur le site CEA de Cadarache (13).

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

6 Les matières en suspension (MES)

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

Au 31 décembre 2013, environ 5 tonnes de métal lourd (tML) de MES, sous-produit du traitement des terres rares, étaient entreposées sur le site de l'usine à La Rochelle (17).

Dans l'édition 2012, les matières en suspension étaient exprimées en tonne. Afin de mieux quantifier la part valorisable, cette matière est maintenant exprimée en tonne de métal lourd (tML), cette unité étant représentative de la quantité d'uranium, de plutonium ou de thorium.

7 Les combustibles nucléaires

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

Ces derniers sont considérés par leurs propriétaires comme des matières radioactives 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 (24 réacteurs 900 Mwe autorisés),
- les combustibles des réacteurs Phénix et Superphénix à neutrons rapides (RNR) qui ne sont plus utilisés (réacteurs mis 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.

VALORISATION DES MATIÈRES EN SUSPENSION ET DE L'HYDROXYDE BRUT DE THORIUM

La valorisation de ces matières est étudiée, par AREVA et SOLVAY.

La valorisation de ces matières 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.

Bien qu'elles ne soient pas encore mises en œuvre industriellement, des pistes sont envisagées pour valoriser le thorium dans des secteurs non électronucléaires :

- 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.

EXEMPLE D'UTILISATION DE MATIÈRES THORIFÈRES PAR AREVA MED

AREVA Med est la filiale médicale d'AREVA. Créée en 2009, elle concentre ses activités sur le développement de nouvelles thérapies ciblées de lutte contre le cancer.
AREVA Med a développé un procédé permettant l'extraction plomb-212 (^{212}Pb), qui est aujourd'hui mis en œuvre dans le laboratoire Maurice Tubiana. Le champ thérapeutique dans lequel intervient AREVA Med est appelé alphathérapie, ou radio-immunothérapie alpha lorsque le ^{212}Pb est associé à l'utilisation d'un anticorps permettant de reconnaître et détruire les cellules cancéreuses, en limitant l'impact sur les cellules saines environnantes. Fin 2014, AREVA Med a achevé le recrutement de patients atteints de cancers intrapéritonéaux pour le premier essai clinique mondial réalisé avec le ^{212}Pb.

L'alphathérapie est connue depuis plusieurs années mais le développement des traitements s'est heurté à la rareté des isotopes émetteurs alpha, et aux difficultés techniques de production et de purification de ces isotopes pour des usages médicaux. AREVA disposant d'une source de nitrate de thorium principalement constitué de 232Th, AREVA Med en conduit la valorisation pour assurer une production du ^{212}Pb compatible avec les besoins de développement de nouveaux traitements sur le long terme.



La stratégie d'EDF consiste à faire traiter les combustibles à l'oxyde d'uranium naturel enrichi. Les combustibles URE et les combustibles MOX commenceront à être traités à l'horizon 2040.

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 avant utilisation

Étaient en attente d'utilisation dans les centrales électronucléaires françaises et dans les réacteurs de recherche au 31 décembre 2013 :

- environ 440 tML de combustibles UOX réparties dans les 19 centrales électronucléaires REP françaises,
- environ 38 tML de combustibles MOX dans les centrales électronucléaires REP du Blayais (33), de Chinon (37), de Dampierre (45) et de Gravelines (59) ;

■ 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 2013 :

- environ 4 300 tML de combustibles UOX dans les 19 centrales électronucléaires REP françaises,
- 200 tML de combustibles URE dans les quatre réacteurs de la centrale électronucléaire de Cruas (07),
- environ 410 tML de combustibles MOX dans les centrales électronucléaires REP du Blayais (33), de Chinon (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 à fin 2013 :

- combustibles UOX usés : 12 000 tML réparties en 3 700 tML sur les sites des 19 centrales électronucléaires REP françaises ; environ 8 200 tML sur le site de La Hague (50). Par ailleurs, 30 tML de combustibles étrangers sont également entreposées sur le site de La Hague (50),
- combustibles URE usés : 110 tML sur le site de la centrale électronucléaire de Cruas (07) ; environ 310 tML sur le site de La Hague (50),
- combustibles MOX usés : 340 tML sur les sites des centrales électronucléaires REP du Blayais (33), de Chinon (37), de Dampierre (45), de Gravelines (59), de Saint-Laurent-des-Eaux (41) et du Tricastin (26) ; 1 200 tML sur le site de La Hague (50),
- combustibles RNR usés : 105 tML de combustibles RNR usés du réacteur Superphénix sur le site de Creys-Malville (38), 38 tML de combustibles RNR usés du réacteur Phénix sur le site de Marcoule (30) et de La Hague (50),
- combustibles usés des réacteurs civils de recherche de type oxyde : 57 tML sur les sites du CEA et 5 tML 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 ; 4 tML de combustibles sur le site de La Hague (50),
- combustibles usés de la propulsion nucléaire : environ 156 tonnes.

8 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 $(U,Pu)O_2$. En France, 24 réacteurs sont aujourd'hui autorisés à utiliser du combustible MOX.

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 2013, un peu plus de 52 tonnes de plutonium étaient entreposées en France, dont :

- 41 tonnes de plutonium entreposées à l'usine AREVA NC de La Hague (50), dont 16 tonnes appartenant à des clients étrangers ;
- 9 tonnes de plutonium en cours d'utilisation dans le processus de fabrication de combustibles MOX (sous forme de PuO_2, d'oxyde mixte $(U,Pu)O_2$ ou encore en assemblages MOX finis), dont 1 tonne appartient à des clients étrangers ;
- environ 2 tonnes de plutonium entreposées dans diverses installations du CEA.

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

9 Les rebuts de combustibles

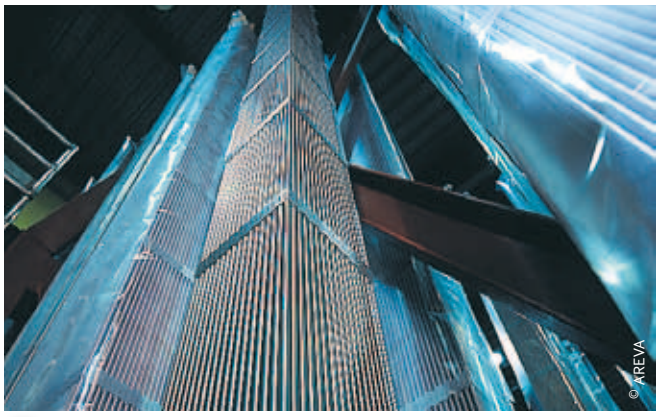
Les rebuts de combustibles mixtes uranium-plutonium non irradiés en attente de retraitement représentent 234 tonnes sur le site de La Hague (50) à fin 2013. Ces rebuts étaient comptabilisés dans les catégories uranium et plutonium dans la précédente édition. Il n'y a pas de rebuts de combustibles uranium non irradiés en attente de retraitement.

10 Autres matières

Le cœur neuf de Superphénix est le combustible qui devait remplacer à terme le combustible utilisé pendant le fonctionnement de la centrale. Étant donné l'arrêt définitif de Superphénix, cette recharge de combustible n'a jamais été utilisée et n'a donc pas été irradiée. Le cœur neuf de Superphénix qui représente 72 tML est actuellement entreposé sur le site de Creys-Malville (38).



Carrousel de boîtes de plutonium



Crayons de combustible

LES MATIÈRES RADIOACTIVES À FIN 2013 SONT PRÉSENTÉES DANS LE TABLEAU CI-DESSOUS

MATIÈRES RADIOACTIVES À FIN 2013 (EN tML)*	
Combustibles UOX avant utilisation	440
Combustibles UOX en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires	4 400
Combustibles UOX usés, en attente de traitement	12 000
Combustibles URE avant utilisation	-
Combustibles URE en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires	200
Combustibles URE usés, en attente de traitement	420
Combustibles mixtes uranium-plutonium avant utilisation	38
Combustibles mixtes uranium-plutonium en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires	410
Combustibles mixtes uranium-plutonium usés, en attente de traitement	1 500
Rebuts de combustibles mixtes uranium-plutonium non irradiés en attente de traitement	230
Rebuts de combustibles uranium non irradiés en attente de traitement	-
Combustibles usés RNR, en attente de traitement	150
Combustibles des réacteurs de recherche avant utilisation	0,2
Combustibles en cours d'utilisation dans les réacteurs de recherche	0,2
Autres combustibles usés civils de type oxyde	57
Autres combustibles usés civils de type métallique	19
Plutonium issu des combustibles usés après traitement, sous toutes ses formes physico-chimiques	52
Uranium naturel extrait de la mine, sous toutes ses formes physico-chimiques	26 000
Uranium naturel enrichi, sous toutes ses formes physico-chimiques	2 800
Uranium enrichi issu du traitement des combustibles usés, sous toutes ses formes physico-chimiques	-
Uranium issu du traitement des combustibles usés, sous toutes ses formes physico-chimiques	27 000
Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques	290 000
Thorium, sous la forme de nitrates et d'hydroxydes	8 500
Matières en suspension (sous-produits du traitement des minerais de terres rares)	5
Autres matières	72
Combustibles usés de la Défense nationale	156 t

** Les quantités de matières radioactives ont été arrondies.*

Par secteur économique

Les matières radioactives se répartissent de la manière suivante :

Secteur économique	Quantité (en tML)*
Électronucléaire	360 000
Recherche	300
Industrie non-électronucléaire	8 600
Médical	15
Défense	156 t

** Les quantités de matières radioactives ont été arrondies.*

Les quantités d'uranium appauvri ont été prises en compte dans le tableau ci-dessus, contrairement à l'édition 2015 des essentiels de l'Inventaire national.

Le secteur **électronucléaire** comprend toutes les matières radioactives concernant les combustibles UOX, MOX et URE (19 659 tML), qu'ils soient neufs, en cours d'utilisation, en attente de traitement ou sous forme de rebuts, ainsi que le plutonium (52 tML), quelques tonnes de thorium (4 tML) et l'uranium sous toutes ses formes physico chimiques sauf l'uranium appauvri (55 670 tML). Le cœur neuf de Superphénix est compris dans ce secteur (72 tML).

Les matières radioactives du secteur **recherche** correspondent aux combustibles des réacteurs de recherche avant utilisation (0,18 tML) ou en cours d'utilisation (0,20 tML) dans les réacteurs de recherche ainsi que des autres combustibles usés civils de type oxyde (57 tML) ou métallique (19 tML). Ce secteur comprend également une part de plutonium (2 tML) et d'uranium sous toutes ses formes physico chimiques sauf l'uranium appauvri (27 tML). Le combustible de Phénix en attente de traitement (43 tML) contribue également à ce secteur économique.

Le secteur **Défense** n'est composé que des combustibles usés de la Défense nationale (156 t).

Le secteur de l'**industrie non électronucléaire,** quant à lui, ne porte que sur des résidus de traitement de minerais et des sous-produits qui comportent une part significative de thorium (8 500 tML) et d'uranium (89 tML). Les matières en suspension dans leur état actuel contiennent encore des matières radioactives (5 tML).

Le secteur **médical** possède uniquement de l'uranium appauvri pour la protection radiologique (15 tML).

QUANTITÉS PRÉVISIONNELLES DES STOCKS DE MATIÈRES RADIOACTIVES EN 2020 ET EN 2030

Les matières radioactives à fin 2013 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.

À fin 2013, environ **5 000 tML** de combustible sont en cours d'utilisation dans les réacteurs électronucléaires

MATIÈRES RADIOACTIVES À FIN 2013, FIN 2020 ET FIN 2030 (EN tML)*

Matières	2013	2020	2030
Combustibles UOX avant utilisation	440	440	420
Combustibles UOX en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires	4 400	4 600	3 700
Combustibles UOX usés, en attente de traitement	12 000	11 000	11 000
Combustibles URE avant utilisation	-	-	20
Combustibles URE en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires	200	-	290
Combustibles URE usés, en attente de traitement	420	530	1 200
Combustibles mixtes uranium-plutonium avant utilisation	38	45	45
Combustibles mixtes uranium-plutonium en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires	410	490	390
Combustibles mixtes uranium-plutonium usés, en attente de traitement	1 500	2 500	3 900
Rebuts de combustibles mixtes uranium-plutonium non irradiés en attente de traitement	230	240	200
Rebuts de combustibles uranium non irradiés en attente de traitement	-	-	-
Combustibles usés RNR, en attente de traitement	150	150	100
Combustibles des réacteurs de recherche avant utilisation	0,2	0,2	0,3
Combustibles en cours d'utilisation dans les réacteurs de recherche	0,2	0,1	0,1
Autres combustibles usés civils de type oxyde	57	57	57
Autres combustibles usés civils de type métallique	19	19	20
Plutonium issu des combustibles usés après traitement, sous toutes ses formes physico-chimiques	52	33	39
Uranium naturel extrait de la mine, sous toutes ses formes physico-chimiques	26 000	25 000	25 000
Uranium naturel enrichi, sous toutes ses formes physico-chimiques	2 800	960	960
Uranium enrichi issu du traitement des combustibles usés, sous toutes ses formes physico-chimiques	-	-	-
Uranium issu du traitement des combustibles usés, sous toutes ses formes physico-chimiques	27 000	34 000	44 000
Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques	290 000	330 000	410 000
Thorium, sous la forme de nitrates et d'hydroxydes	8 500	8 500	8 400
Matières en suspension (sous-produits du traitement des minerais de terres rares)	5	3	-
Autres matières	72	72	72
Combustibles usés de la Défense nationale	156 t	212 t	271 t

** Les quantités de matières radioactives ont été arrondies.*

2.3 LES SCÉNARIOS PROSPECTIFS

L'objectif de cette partie est de donner une vision prospective des déchets et des matières qui seraient produits par l'ensemble des installations autorisées à fin 2013 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

POURSUITE DE LA PRODUCTION ÉLECTRONUCLÉAIRE

Ce scénario repose sur deux éléments : la poursuite de la production d'électricité d'origine nucléaire et le maintien de la stratégie actuelle en matière de traitement de combustibles usés. Il considère une durée de fonctionnement moyenne de 50 ans pour l'ensemble des réacteurs, tout en garantissant une capacité totale maximum de production d'électricité d'origine nucléaire de 63,2 GWe. Il suppose que la totalité des combustibles consommés par les réacteurs autorisés à fin 2013 est traitée pour séparer les matières (uranium, plutonium) des déchets ultimes. Aucun combustible usé n'est alors stocké directement et tout le plutonium extrait des combustibles usés est recyclé, dans le parc actuel et dans un futur parc, sous forme de combustibles à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium.

Compte-tenu du nombre et de l'âge des réacteurs aujourd'hui autorisés à utiliser ce type de combustibles, le parc électronucléaire actuel permettra la valorisation de plutonium séparé jusque vers 2029. Au-delà, le rythme de traitement des combustibles usés, et donc de la production de plutonium dépendra directement du rythme du déploiement des nouveaux réacteurs qui le consommeront. Ces combustibles usés (UOX, MOX) produits par le parc existant, jusqu'à sa fin de vie, représenteraient environ 30 000 tML à recycler.

SCÉNARIO 2

NON-RENOUVELLEMENT DE LA PRODUCTION ÉLECTRONUCLÉAIRE

Ce scénario suppose le non-renouvellement du parc existant, entraînant l'arrêt du traitement du combustible usé avant l'arrêt des réacteurs afin de ne pas détenir de plutonium séparé. Il prend en compte une durée de fonctionnement des réacteurs de 40 ans. Le recyclage du plutonium est limité à la fabrication du combustible MOX nécessaire au fonctionnement des réacteurs aujourd'hui autorisés à utiliser ce type de combustible. Les dates d'arrêt de ces réacteurs permettent de prévoir que la séparation du plutonium par traitement des combustibles usés cessera d'être nécessaire à partir de 2019.

Dans ce scénario, environ 28 000 tML de combustibles usés, UOX et MOX, deviennent des déchets et doivent être stockés en couche géologique profonde.

Les deux scénarios prospectifs, définis par le comité de pilotage de l'Inventaire national, viennent compléter les scénarios industriels que les producteurs ont utilisés pour évaluer leurs prévisions à fin 2020, fin 2030 et à terminaison.

Ils tiennent compte d'une limitation de la puissance nucléaire installée de 63,2 GWe, en accord avec le projet de loi relatif à la transition énergetique pour la croissance verte, et diffèrent 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.

Le fonctionnement d'un réacteur REP pendant une durée uniforme de 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.

Les producteurs ont estimé 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 par les producteurs se limitent à des ordres de grandeur et aucun de ces scénarios n'entend décrire une réalité industrielle.

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 2017 ;
- 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 24 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 liés à la conversion de l'uranium dans l'usine d'AREVA à Malvési (11) ne sont pas pris en compte dans les estimations.

Les hypothèses 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-après selon ces deux scénarios.

SCÉNARIO 1 : POURSUITE DE LA PRODUCTION ÉLECTRONUCLÉAIRE

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

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. Il ne préjuge pas de la quantité des matières et déchets radioactifs produite par ces nouveaux réacteurs puisque non autorisés au 31 décembre 2013.

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 2067.

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 2 200 tML d'URE).

Le flux de traitement retenu (environ 1 000 tML d'UOX par an) permet d'équilibrer le flux de recyclage du plutonium tant que les réacteurs utilisant du MOX 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 de fonctionnement) de ces réacteurs utilisant du MOX et des quantités de plutonium constituant 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.

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 4e 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 page suivante)*.

SCÉNARIOS DE DÉVELOPPEMENT D'UN FUTUR PARC DES RÉACTEURS

Le CEA, Areva et EDF ont créé un groupe de travail chargé de proposer des scénarios d'intégration de RNR-Na au parc actuel, en prenant notamment pour hypothèse une production électronucléaire de 420 TWhe/an, et le remplacement progressif, à puissance égale, des REP du parc actuel en fin de vie par des EPR durant la période 2030-2060.

Quatre configurations évolutives du parc sont proposées, qui permettent une introduction progressive de RNR. Elles visent à une utilisation optimale des ressources en plutonium pour économiser l'uranium et pour stabiliser l'inventaire du combustible usé en entreposage. Ces configurations utilisent la souplesse des RNR qui peuvent fonctionner en iso-générateurs, en surgénérateurs ou en sous-générateurs ;

- la première configuration consiste à déployer uniquement des EPR, dont certains seraient susceptibles de consommer du MOX ou de l'URE ;
- la deuxième configuration envisage le déploiement de quelques RNR pour stabiliser l'inventaire des combustibles MOX usés ;
- la troisième configuration vise à stabiliser l'inventaire en plutonium grâce à l'utilisation de RNR pour multi-recycler le combustible ;
- enfin, la dernière configuration a pour objectif de ne plus nécessiter d'uranium naturel. Le parc serait constitués de RNR et d'EPR consommant du combustible MOX.

Ces études confirment qu'une transition à puissance et énergie électrique produite constantes ne peut se faire que par changements successifs de la configuration du parc électronucléaire. Les périodes de fonctionnement de chaque configuration et les cadences de construction des réacteurs restent à déterminer.

SCÉNARIO 2 : NON-RENOUVELLEMENT DE LA PRODUCTION ÉLECTRONUCLÉAIRE

À l'inverse, le scénario de non-renouvellement fixe comme objectif principal de ne pas produire, par le traitement de combustible, de 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 2057).

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 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.

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

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).

La synthèse des déchets produits dans le cadre de ces scénarios est présentée dans le tableau ci-dessous.

SCÉNARIOS PROSPECTIFS : ESTIMATION DES DÉCHETS

Catégorie		Poursuite de la production électronucléaire	Non-renouvellement de la production électronucléaire
HA	CU UOX + URE		~ 50 000 assemblages*
	CU RNR		~ 1 000 assemblages*
	CU MOX		~ 6 000 assemblages*
	Déchets vitrifiés	10 000 m³	3 900 m³
MA-VL		72 000 m³	65 000 m³
FA-VL		180 000 m³	180 000 m³
FMA-VC		1 900 000 m³	1 800 000 m³
TFA		2 200 000 m³	2 100 000 m³

m³ équivalent conditionné

** 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).*

2.4 LES ENTREPOSAGES ET STOCKAGES DE MATIÈRES ET DÉCHETS RADIOACTIFS

L'entreposage des matières ou des déchets radioactifs est défini à l'article L. 542-1-1 du code de l'environnement 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'ENTREPOSAGE DES DÉCHETS RADIOACTIFS

L'article 3 de l'arrêté du 9 octobre 2008 impose que les producteurs déclarent à l'Inventaire national un certain nombre d'informations sur les entreposages destinés à accueillir des colis de déchets radioactifs pour lesquels les solutions de gestion définitives n'existent pas ou sont à l'état de projet.

Par ailleurs, le PNGMDR 2013-2015 dresse 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 49 recense ces entreposages autorisés à fin 2013 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.

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

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 (en nombre de colis)*
CEA	EIP ** (Marcoule-30)	Colis de boues bitumées	2019	4 235
CEA	INB 164-CEDRA (Cadarache-13)	Colis 500l, 870l, coques béton 500l de boues de filtration	2025	7 500

** 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 2013

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*	2 360*	67 %
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	11 535	57 %
AREVA NC	ECC (La Hague-50)	Colis CSD-C	2002	20 800	12 812	62 %
AREVA NC	EDS/ADT2 (La Hague-50)	Colis CBF-C'2	2008	2 759	750	27 %
AREVA NC	EDS/EDC-A (La Hague-50)	Colis de coques et embouts cimentés	2009	1 119	492	44 %
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	5 649	87 %
AREVA NC	EEV/SE (La Hague-50)	Colis CSD-V, CSD-B	1996	4 428	4 395	99 %
AREVA NC	EEV/LH (La Hague-50)	Colis CSD-V, CSD-B	2013	4 199	387	9 %
AREVA NC	R7 (La Hague-50)	Colis CSD-V, CSD-B	1989	4 500	4 419	98 %
AREVA NC	T7 (La Hague-50)	Colis CSD-V	1992	3 600	3 599	100 %
CEA	ICPE SOLVAY-bâtiments 420 et 465 (Cadarache-13)	Fûts de résidus radifères	1992	26 800	25 323	94 %
CEA	INB 164-CEDRA (Cadarache-13)	Colis 500l, 870l, coques béton 500l de boues de filtration	2006	9 000	2 818	31 %
CEA	INB 56 (Cadarache-13)	Divers Colis	1968	7 500*	6 240*	83 %
CEA	AVM (Marcoule-30)	Colis de déchets vitrifiés AVM, colis de déchets d'exploitation de l'AVM	1978	3 800	3 468	91 %
CEA	EIP (Marcoule-30)	Colis de boues bitumées	2000	4 235*	3 294*	78 %
CEA	PIVER (Marcoule-30)	Colis de verres PIVER	1976	46*	13*	28 %
CEA/DAM***	Entreposage de déchets tritiés (Valduc-21)	Déchets tritiés	1982	21 500	14 343	67 %
EDF	ICEDA (Bugey-01)	Colis cimentés	2017**	2 000	0	0 %
SOLVAY	Usine Chef de Baie (La Rochelle-17)	Déchets radifères	1988	56 980*	7 580*	13 %

Capacité donnée en m^3.

** ICEDA existe administrativement (INB 173) depuis l'autorisation de création obtenue par décret du 23 avril 2010, mais cette installation ne pourra entrer en service (fonctionnement) qu'après autorisation de l'ASN envisagée en 2017.*

***La capacité de cet entreposage a été augmentée à fin 2012.*

LE STOCKAGE DES DÉCHETS RADIOACTIFS

L'Andra exploite trois centres de stockage *(Voir dossier 1)*. Le Centre de stockage de la Manche (CSM) est en phase de surveillance. Le Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) destiné à stocker des déchets TFA et le Centre de stockage de l'Aube (CSA) destiné à stocker des déchets FMA-VC sont actuellement en phase de fonctionnement. Au 31 décembre 2013 les taux de remplissage des différents centres de stockage de l'Andra sont les suivants :

73 % des déchets produits sont définitivement stockés.

STOCKAGE DES DÉCHETS RADIOACTIFS

Site		Catégorie	Capacité d'accueil totale en m³	Capacité utilisée en m³	Taux de remplissage
Cires	Morvilliers (10)	TFA	650 000 m³	250 000 m³	38 %
CSM	Digulleville (50)	FMA-VC	530 000 m³	530 000 m³	100 %
CSA	Soulaines-Dhuys (10)	FMA-VC	1 000 000 m³	280 000 m³	28 %

L'ENTREPOSAGE DES MATIÈRES RADIOACTIVES

1 Les combustibles usés

La gestion des combustibles usés passe d'abord par un entreposage en piscine. Quelques mètres d'eau sont à même de protéger de l'extrême radioactivité des assemblages de combustibles quand ils sont déchargés du cœur du réacteur. Par ailleurs, l'eau est un excellent liquide de refroidissement à même d'encaisser le dégagement de chaleur, initialement très fort, des assemblages.

La sortie des assemblages du cœur se fait sous eau, de telle sorte qu'à aucun moment ils ne se retrouvent à l'air libre. Ils sont entreposés dans une piscine située à immédiate proximité du réacteur (elle sert également au chargement), dans des paniers en aciers borés.

Cette précaution a pour objet d'éviter tout risque de criticité car, les assemblages ont beau être usés, le combustible contient encore davantage d'uranium-235 fissile (environ 1 %) que dans l'uranium naturel. L'adjonction de bore, un absorbeur de neutrons, a pour effet d'empêcher les réactions en chaîne.

La durée de ce premier entreposage et la suite des opérations dépendent de ce que l'on entend faire du combustible usé.

Dans des pays comme la France et le Japon qui ont choisi de traiter le combustible, la durée de cet entreposage varie de 12 à 18 mois, le temps de laisser décroître suffisamment la radioactivité et la chaleur dégagée pour un transport vers l'usine de traitement.

Les assemblages destinés à être traités sont entreposés après leur transport dans de grandes piscines à l'usine de La Hague (50). La durée minimum du refroidissement des combustibles dans ces piscines est de cinq années. Dans la pratique le séjour est actuellement en moyenne de huit ans. Au bout de ce laps de temps, ils sont traités pour récupérer l'uranium et le plutonium qu'ils contiennent, le résidu étant conditionné sous forme de déchets vitrifiés.

Les combustibles usés, URE et MOX, non traités au fil de la production, sont également regroupés et entreposés dans ces piscines, l'intention d'EDF étant de les traiter à terme afin de réutiliser les matières séparées dans le cadre d'un parc de réacteurs à neutrons rapides de 4ème génération.

L'ENTREPOSAGE DES COMBUSTIBLES USÉS À L'ÉTRANGER

Dans les pays qui ne traitent pas leur combustible, les assemblages continuent dans un premier temps d'être entreposés en piscine. Aux États-Unis ils restent auprès des 103 réacteurs qui les ont produits. Certaines piscines sont pleines ou presque pleines. Dans l'intervalle, la chaleur a suffisamment décru (470 watts par assemblage de combustible à 35 ans) pour qu'un refroidissement par circulation d'air suffise. Les assemblages les plus anciens sont sortis des piscines pour être entreposés à sec à l'intérieur de châteaux dont les parois épaisses protègent des radiations.

La Suède qui ne possède que 12 réacteurs a choisi de regrouper ses combustibles dans un seul endroit et a construit une grande installation d'entreposage souterraine. Les combustibles suédois sont destinés à un stockage géologique.

La situation de l'Allemagne est intermédiaire. Jusqu'en 2005, elle traitait ses combustibles usés à La Hague et devait entreposer les déchets vitrifiés qui lui étaient renvoyés. Depuis 2005, elle doit entreposer aussi ses combustibles usés non traités.

2 L'uranium appauvri

L'uranium appauvri peut se trouver sous deux formes qui sont entreposées dans des conditions adaptées à leurs caractéristiques :

- l'UF_6 est entreposé, généralement sous forme solide, dans des conteneurs cylindriques qui obéissent à des réglementations extrêmement strictes au plan international, du fait de son caractère très toxique en cas de contact avec la vapeur d'eau contenue dans l'air. Ces conteneurs sont conçus pour être entreposés à ciel ouvert. Ils sont utilisés en Russie, aux États-Unis, au Royaume-Uni, en Allemagne et, en France, à Pierrelatte ;

- l'U_3O_8 (qui se présente sous une forme très stable, analogue à celle de l'uranium naturel) est conditionné dans des conteneurs métalliques scellés dits « cubes verts », d'une contenance moyenne de l'ordre de 7 tonnes d'uranium. Ces conteneurs sont entreposés sous bâtiment.

En France, et pour réduire « à la source » les risques liés à son entreposage, l'uranium appauvri destiné à être entreposé pour une longue période se trouve sous forme d'U_3O_8 (qui présente l'avantage d'être extrêmement stable).

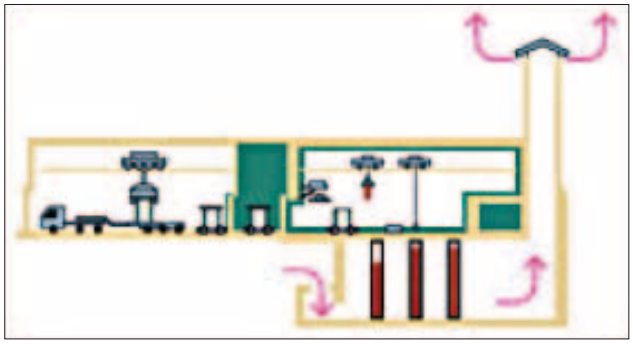
3 L'uranium issu du traitement

L'URT est quant à lui généralement conditionné sous forme d'U_3O_8 dans des conteneurs. Ces conteneurs sont entreposés dans des bâtiments spécifiques sur le site AREVA du Tricastin (26).

EXEMPLE CASCAD - L'ENTREPOSAGE DES COMBUSTIBLES USÉS À SEC

Des installations d'entreposage à sec existent également en France qui accueillent les combustibles dits « sans emploi » (combustibles des réacteurs de recherche ou combustibles résultant des études de R&D menées par le CEA), à Marcoule ou à Cadarache, en attente d'un choix de gestion ultérieur. On peut citer, par exemple, l'installation Cascad (Casemate d'entreposage à sec de Cadarache) située à Cadarache. Opérationnelle depuis 1990, elle a été conçue pour entreposer sur cinquante ans des combustibles nucléaires irradiés conditionnés dans des conteneurs en acier. Elle accueille notamment aujourd'hui les combustibles irradiés en provenance de la centrale de Brennilis et des combustibles usés du réacteur expérimental Osiris. La première partie de l'installation comporte, outre les installations techniques de réception, de contrôle et de conditionnement, une cellule d'entreposage comprenant 319 puits. Ceux-ci sont refroidis par circulation d'air en convection naturelle.





Installation CASCAD : vue d'ensemble et schéma en coupe





© Andra / N. Guillaumey

CHAPITRE 3

LES RÉSULTATS DÉTAILLÉS

3.1 Le secteur électronucléaire **| 55**
Les centres nucléaires de production d'électricité (CNPE) | 56
Les installations du cycle du combustible | 58
Les installations de traitement des déchets et les centres de maintenance | 61
Bilan des déchets radioactifs à fin 2013 | 62
Stock des matières radioactives à fin 2013 | 63

3.2 Le secteur de la recherche **| 65**
Les établissements des centres d'études civils du CEA | 65
Les établissements de recherche (hors centres CEA) | 68
Bilan des déchets radioactifs à fin 2013 | 68
Stock des matières radioactives à fin 2013 | 69

3.3 Le secteur de la Défense **| 69**
Les centres d'études, de production ou d'expérimentations travaillant pour la force de dissuasion | 69
Les établissements de la Défense nationale | 71
Bilan des déchets radioactifs à fin 2013 | 72
Stock des matières radioactives à fin 2013 | 72

3.4 Le secteur de l'industrie non électronucléaire **| 73**
L'industrie qui utilise des matériaux naturellement radioactifs pour leur radioactivité | 73
L'industrie qui utilise des matériaux naturellement radioactifs pour d'autres propriétés que la radioactivité | 73
Bilan des déchets radioactifs à fin 2013 | 74
Stock des matières radioactives à fin 2013 | 74

3.5 Le secteur médical **| 75**
Bilan des déchets radioactifs à fin 2013 | 75
Stock des matières radioactives à fin 2013 | 75

Ce chapitre présente, pour chacun des secteurs économiques, les matières et déchets radioactifs répertoriés au 31 décembre 2013. Pour rappel, les cinq secteurs économiques sont définis comme suit :

CINQ SECTEURS ÉCONOMIQUES



Le secteur **électronucléaire**

Il 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 et enrichissement des concentrés d'uranium, fabrication du combustible, traitement du combustible usé et recyclage d'une partie des matières extraites de celui-ci).



Le secteur de la **recherche**

Il comprend la recherche dans le domaine du nucléaire civil (notamment les activités de recherche du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives), les laboratoires de recherche médicale, de physique nucléaire et des particules, d'agronomie, de chimie, de biologie...



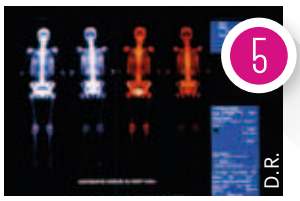
Le secteur de la **Défense**

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



Le secteur **industriel** (non électronucléaire)

Il 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**

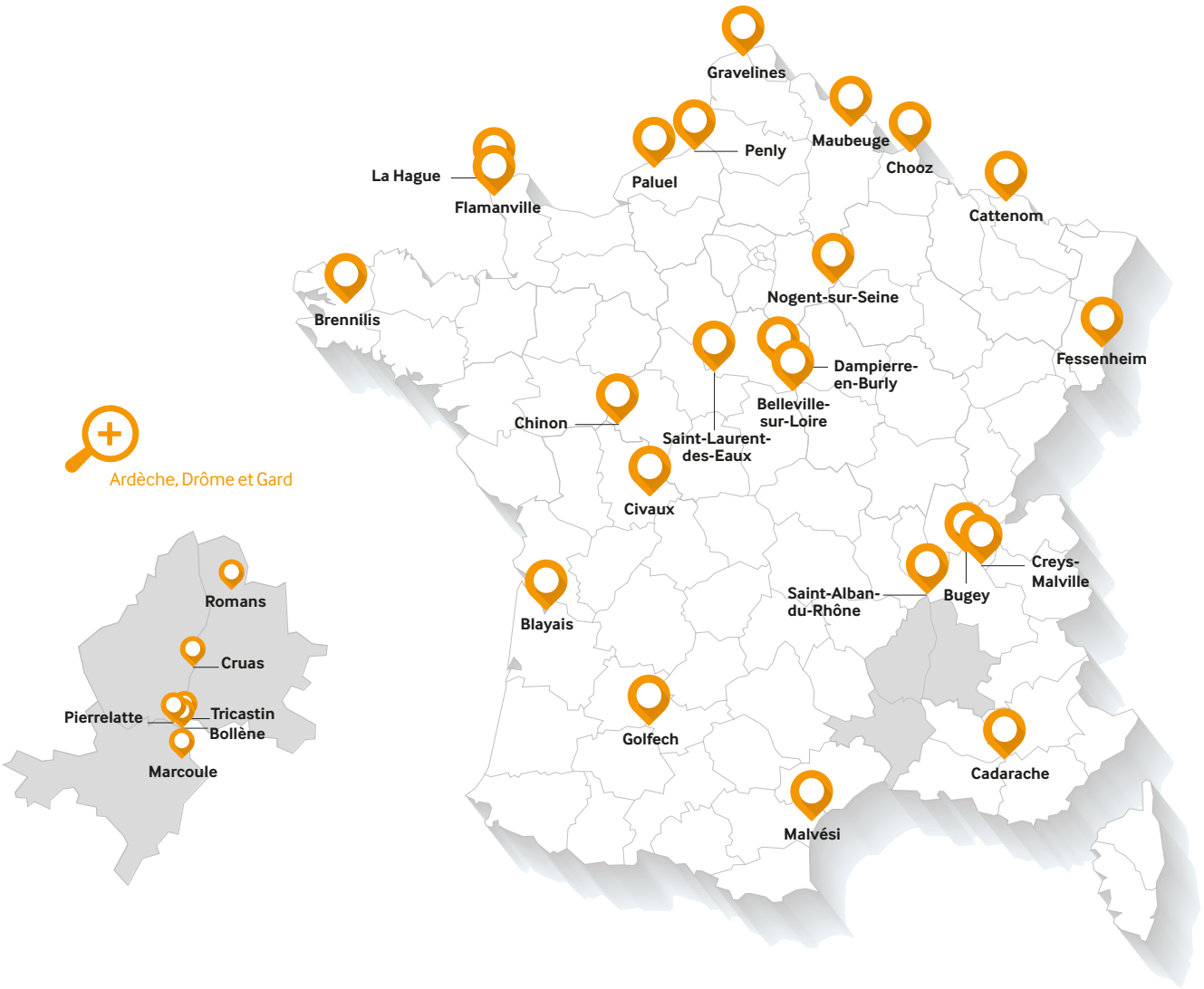
Il comprend les activités diagnostiques (scintigraphie, radiothérapie...) et thérapeutiques.

La présentation retenue pour chaque secteur économique est la suivante :

- **description du secteur économique ;**
- **bilan des volumes de déchets radioactifs existant** au 31 décembre 2013 pour le secteur concerné ; l'état détaillé par site des stocks répertoriés est présenté dans l'inventaire géographique disponible séparément ;
- **stocks de matières radioactives** au 31 décembre 2013.

3.1 LE SECTEUR ÉLECTRONUCLÉAIRE

Ce secteur économique comprend les centres nucléaires de production d'électricité, les installations du cycle du combustible, le traitement des déchets et la maintenance des installations relevant de ce secteur.



LES CENTRES NUCLÉAIRES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ (CNPE)

1 Les réacteurs en cours de fonctionnement

Le parc électronucléaire français se compose actuellement de 58 réacteurs nucléaires en fonctionnement implantés sur 19 sites géographiques.

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 1999, constitue l'intégralité du parc en fonctionnement.

Ce parc devrait être complété à l'horizon 2017 d'un réacteur également à eau pressurisée de type EPR (site de Flamanville - 50).

Le fonctionnement des centrales EDF et les activités de maintenance associées engendrent majoritairement des déchets TFA et FMA-VC, voire aussi des déchets MA-VL.

Le traitement du combustible irradié dans ces centrales produit des déchets HA et MA-VL.

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

L'hypothèse de conditionnement retenue par EDF est une cimentation de ces déchets métalliques dans une installation centralisée (ICEDA) assurant le conditionnement en conteneur béton et l'entreposage intermédiaire des colis. Cette nouvelle installation devrait être mise en fonctionnement à l'horizon 2017 sur le site du Bugey (01).

Les déchets MA-VL 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.

Les déchets FMA-VC et TFA sont constitués d'équipements, de résidus de filtration/épuration (résines, filtres, boues...), de consommables (tenues vinyle, coton...) ou encore de pièces mises au rebut (robinets, tubes...).

Ces déchets ont été contaminés par contact avec les fluides (eau primaire, air de ventilation...) qui véhiculent les produits de fission 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 CSA (10).

LES DÉCHETS PRODUITS PAR UN RÉACTEUR REP EN QUELQUES CHIFFRES

- Un réacteur REP produit, en moyenne, environ **220 m³** de déchets radioactifs par an (hors combustible), majoritairement FMA-VC et TFA, se répartissant entre **60 %** de déchets FMA-VC et **40 %** de déchets TFA ;
- Le traitement du combustible usé produit annuellement, pour un réacteur, environ **3 m³** de déchets HA et **4 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, cette quantité de déchets variant en fonction de la puissance du réacteur.

Les déchets TFA d'EDF sont de nature variée. Il s'agit de déchets issus des « zones à production possible de déchets nucléaires » des centrales présentant un niveau de radioactivité très bas, dans certains cas, voire difficilement mesurable. Une partie de ces déchets est générée par le démantèlement des centrales les plus anciennes et par le fonctionnement des centres nucléaires de production d'électricité (CNPE).

Les importantes opérations de maintenance dans les centrales du parc électronucléaire, notamment le remplacement des générateurs de vapeur et des couvercles de cuve, produisent des déchets volumineux. EDF considère les générateurs de vapeur comme des matières valorisables.

LES COMBUSTIBLES EN RÉACTEUR ÉLECTRONUCLÉAIRE

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, 24 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 ré-enrichi.

RÉACTEURS EN SERVICE

Sites et dates de couplage au réseau (premier réacteur - dernier réacteur)	Nombre de réacteurs en fonctionnement - filière REP	Puissance nette par réacteur en MWe*	Nombre de réacteurs autorisés à charger du combustible MOX
Fessenheim - 68 - (04/1977 – 10/1977)	2	880	-
Bugey - 01 - (05/1978 – 07/1979)	4	910/880	-
Gravelines - 59 - (03/1980 – 08/1985)	6	910	6
Dampierre - 45 - (03/1980 – 08/1981)	4	890	4
Tricastin - 26 - (05/1980 – 06/1981)	4	915	4
Saint-Laurent-des-Eaux B - 41 - (01/1981 – 06/1981)	2	915	2
Blayais - 33 - (06/1981 – 05/1983)	4	910	4
Chinon B - 37 - (11/1982 – 11/1987)	4	905	4
Cruas - 07 - (04/1983 – 10/1984)	4	915	-
Paluel - 76 - (06/1984 – 04/1986)	4	1 330	-
Saint-Alban - 38 - (08/1985 – 07/1986)	2	1 335	-
Flamanville - 50 - (12/1985 – 07/1986)	2	1 330	-
Cattenom - 57 - (11/1986 – 05/1991)	4	1 300	-
Belleville - 18 - (10/1987 – 07/1988)	2	1 310	-
Nogent-sur-Seine - 10 - (10/1987 – 12/1988)	2	1 310	-
Penly - 76 - (05/1990 – 02/1992)	2	1 330	-
Golfech - 82 - (06/1990 – 06/1993)	2	1 310	-
Chooz B - 08 - (08/1996 – 04/1997)	2	1 455	-
Civaux - 86 - (12/1997 – 12/1999)	2	1 450	-
19 sites	**58 réacteurs**	**-**	**24 réacteurs**

** MWe : mégawatt électrique*

2 Les réacteurs arrêtés

EDF a exploité six réacteurs de l'ancienne filière UNGG (uranium naturel graphite gaz) développée par le CEA et répartis sur 3 sites : les trois réacteurs de Chinon (37), les deux réacteurs de Saint-Laurent-des-Eaux (41) et le réacteur de Bugey (01). Le démantèlement de ces réacteurs est engagé et les déchets résultants sont comptabilisés dans ce secteur économique.

Cette filière génère 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 empilements qui sont toujours en place et ne seront comptabilisés comme des déchets qu'au moment de leur démantèlement prévu à l'horizon 2025, lié à la disponibilité du futur centre de stockage FA-VL. 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 m^3 environ.

Par ailleurs, trois réacteurs de trois filières différentes sont également en cours de démantèlement. Il s'agit du premier REP à Chooz (08), du réacteur à eau lourde EL4 de Brennilis (29) et du réacteur à neutrons rapides de Creys-Malville (38).

RÉACTEURS ARRÊTÉS

Sites	Type	Nombre de réacteurs
Chooz (08)	REP : Réacteur à eau pressurisée	1
Brennilis (29)	EL : Eau lourde	1
Saint-Laurent-des-Eaux (41)	UNGG : Uranium naturel graphite-gaz	2
Chinon (37)	UNGG : Uranium naturel graphite-gaz	3
Bugey (01)	UNGG : Uranium naturel graphite-gaz	1
Creys-Malville (38)	RNR : Réacteur à neutrons rapides (surgénérateur)	1

LES INSTALLATIONS DU CYCLE DU COMBUSTIBLE

Le minerai d'uranium qui est extrait de la mine est concassé, broyé puis imprégné d'une solution acide oxydante pour dissoudre l'uranium. L'uranium est ensuite sélectivement extrait de la solution puis viennent ensuite plusieurs étapes de purification avant d'obtenir un concentré minier d'uranium appelé yellow cake. C'est sous cette forme que le minerai arrive dans l'usine de conversion.

LES DÉCHETS ISSUS DE L'EXTRACTION 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 induits sont stockés de façon définitive sur d'anciens sites miniers *(voir chapitre 4)*.

1 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 au procédé utilisé dans les usines d'enrichissement.

Cette transformation se fait en deux étapes :

- dans l'usine d'AREVA à Malvési (11) où le *yellow cake* devient tétrafluorure d'uranium ;



Yellow cake

- puis dans l'usine d'AREVA 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 AREVA 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.

Dans l'attente d'une décision sur le mode de gestion à long terme des déchets produits par l'usine AREVA de Malvési (11), cette famille est présentée séparément dans les bilans chiffrés des stocks de déchets existants au 31 décembre 2013 et dans les prévisions.

2 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 0,7 % de l'uranium naturel.

Aujourd'hui, la plupart des réacteurs utilisent comme combustible de l'uranium enrichi à 4 % environ en uranium 235.

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

Le procédé d'enrichissement mis en œuvre par l'usine George Besse II d'AREVA sur le site de Tricastin (26) depuis 2011 est celui de la centrifugation.

Le gaz UF_6 est introduit dans un cylindre tournant à très haute vitesse, sous vide, dans un carter étanche.

Les molécules les plus lourdes, sous l'effet de la force centrifuge, sont envoyées à la périphérie du tube tandis que les plus légères (^{235}U) migrent vers le centre.

Le gaz enrichi en isotope léger uranium 235, au centre du tube, monte. Le gaz enrichi en uranium 238, plus lourd, descend.

Les produits enrichis et appauvris sont récupérés aux deux extrémités, haute et basse, du tube.

Cette étape élémentaire de séparation des molécules est répétée au sein d'un ensemble de centrifugeuses mises en série, appelé cascades.

Les établissements de conversion et d'enrichissement du combustible produisent des déchets de fonctionnement radioactifs, faiblement ou très faiblement contaminés en uranium, qui sont stockés au CSA et au Cires. Ils sont généralement conditionnés dans des fûts ou des caissons.

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. Environ 85 % du démantèlement est réalisé fin 2014.

La production industrielle de l'usine MELOX a démarré en 1995. Son autorisation de production est de 195 tML de combustible MOX par an (masse de métal lourd), destinées aux réacteurs français et étrangers de la filière eau légère.

3 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 du fonctionnement et de la maintenance des installations ;



Pastilles d'uranium (FBFC)

- 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 poudres d'oxyde d'uranium et d'oxyde de plutonium.

Le plutonium utilisé est issu du 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.

Le complexe de fabrication de Cadarache (CFCa) implanté sur le centre du CEA de Cadarache, a également produit du combustible MOX jusqu'en juillet 2003.

4 Le traitement du combustible usé

En sortie de réacteur, les combustibles usés de type UOX contiennent 95 % d'uranium, environ 1 % de plutonium et 4 % de déchets ultimes.

Le procédé de traitement des combustibles usés consiste à récupérer les matières valorisables que sont l'uranium et le plutonium d'une part, et à conditionner les déchets ultimes d'autre part.

Les opérations menées dans les usines de traitement peuvent se décomposer sommairement en trois étapes :

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

- traitement des assemblages de combustibles usés par :

  - cisaillage mécanique des assemblages en tronçons de 35 mm environ,
  - dissolution chimique du combustible usé contenu dans ces tronçons par de l'acide nitrique,
  - séparation par extraction chimique et purification de l'uranium et du plutonium dissous ;

- traitement et conditionnement des déchets ultimes 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). Le procédé de conditionnement est en cours d'étude.

Les déchets de maintenance et de fonctionnement 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.

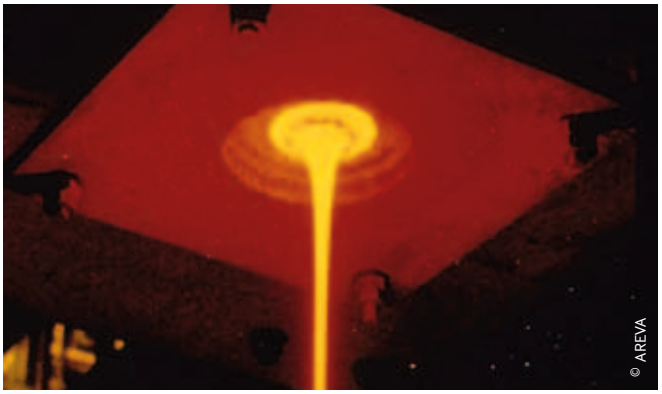
Les déchets FMA-VC sont stockés au CSA (10). Ils peuvent être préalablement traités à l'usine CENTRACO (30) par incinération ou fusion en fonction de leur nature physicochimique.

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

Un CSD-V contient environ **400 kg** de déchets vitrifiés



Coques issues de combustible usé tronçonné



Coulée de déchets vitrifiés dans un CSD-V

OPÉRATIONS MENÉES DANS LES USINES DE TRAITEMENT

Usine de traitement UP1 de **Marcoule (30)**

Les opérations de traitement de combustibles usés dans l'usine UP1 se sont arrêtées fin 1997 et ont été rapidement suivies par le démarrage du programme de démantèlement, qui est le plus grand chantier de démantèlement en France. Cette continuité a permis de bénéficier de la compétence des équipes en place.

Depuis plus d'une dizaine d'années, les équipements liés au procédé d'extraction du plutonium ont donné lieu à des chantiers de rinçage puis de démantèlement qui ont notamment permis de démanteler totalement les unités de séparation qui représentaient le cceur de ce procédé. En parallèle, la première phase de démantèlement de niveau 1 de l'atelier dédié au dégainage a été finalisée en 2013. Ce chantier se terminera avant 2050 avec l'évacuation des derniers déchets, en cohérence avec la disponibilité du stockage géologique profond dont l'ouverture est prévue en 2025. Les opérations de démantèlement visent à :

- démonter les équipements de production ;
- éliminer tout risque radiologique dans l'ensemble des bâtiments concernés ;
- évacuer tous les déchets induits.

Ces opérations de démantèlement de l'usine UP1, hors installations de support, concernent un millier de salles ; elles produiront environ 27 000 tonnes de déchets, en majorité stockables dans un site de surface.

La maîtrise d'ouvrage des opérations ainsi que la responsabilité des installations nucléaires sont assurées par le CEA.

Usine de traitement de **La Hague (50)**

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 de 400 tonnes de combustibles par an, l'usine UP2-400 a d'abord traité des assemblages combustibles usés de la filière UNGG, puis a été adaptée pour pouvoir traiter des assemblages de 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.

À partir de 1987, UP2-400 a été affectée en particulier à la filière REP, tandis que l'usine UP1 de Marcoule (30) assurait le traitement des assemblages de combustibles provenant des autres filières.

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

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

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.

Dans certains cas, l'exploitant peut faire appel à des établissements dédiés, situés sur d'autres sites qui réalisent ces opérations.

LES CENTRES DE TRAITEMENT DES DÉCHETS

La société SOCODEI exploite deux procédés dans l'installation CENTRACO à Marcoule (30) :
- 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 aux centres industriels de l'Andra dans l'Aube. Les lingots issus de la fusion de déchets métalliques sont soit valorisés pour réaliser des protections radiologiques intégrées aux colis de déchets, soit destinés aux centres industriels de l'Andra dans l'Aube.

Suite à un accident sur le four de fusion survenu le 12 septembre 2011, celui-ci a été arrêté et son redémarrage est soumis à autorisation préalable. Son redémarrage a été autorisé en avril 2015. Le procédé d'incinération, qui a été arrêté en même temps que le four de fusion par principe de précaution, a quant à lui redémarré en juillet 2012.

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.

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 à production possible de déchets nucléaires.

LES CENTRES DE MAINTENANCE

Des entreprises spécialisées assurent la maintenance des grandes installations 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 CSA (10).

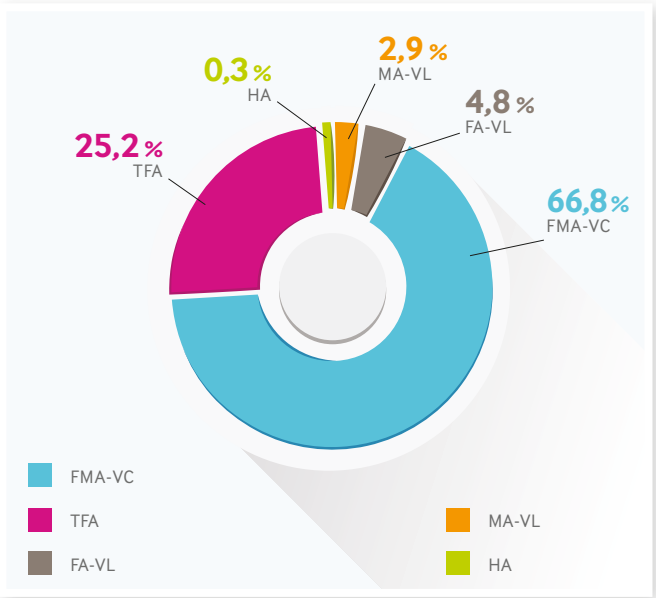
La BCOT (Base chaude opérationnelle du Tricastin), située à Bollène (84), effectue des opérations de maintenance et d'entreposage de matériels contaminés des réacteurs EDF.

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.

BILAN DES DÉCHETS RADIOACTIFS À FIN 2013

Catégorie	Volume à fin 2013 (m^3)*
HA	2 700
MA-VL	26 000
FA-VL	42 000
FMA-VC	580 000
TFA	220 000
Total	**~ 880 000**

** Les chiffres sont arrondis.*



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

Catégorie	Volume à fin 2013 (m^3)
RTCU	690 000

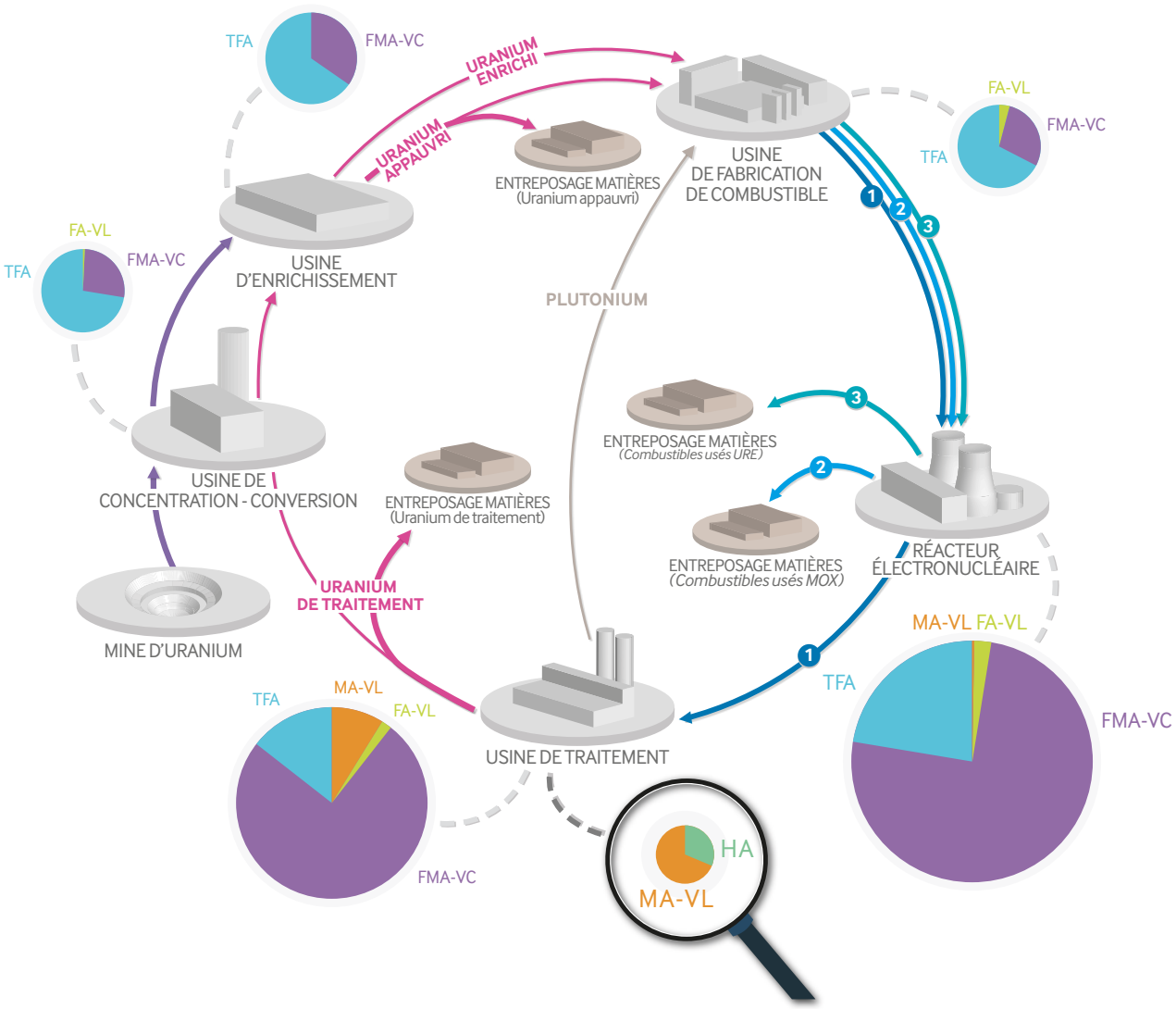
STOCK DES MATIÈRES RADIOACTIVES À FIN 2013

Matières radioactives	Masse (tML)*
Combustibles UOX avant utilisation	440
Combustibles UOX en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires	4 400
combustibles UOX usés, en attente de retraitement	12 000
Combustibles URE avant utilisation	-
Combustibles URE en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires	200
Combustibles URE usés, en attente de retraitement	420
Combustibles mixtes uranium-plutonium avant utilisation	38
Combustibles mixtes uranium-plutonium en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires	410
Combustibles mixtes uranium-plutonium usés, en attente de retraitement	1 500
Rebuts de combustibles mixtes uranium-plutonium non irradiés en attente de retraitement	230
Rebuts de combustibles uranium non irradiés en attente de retraitement	-
Combustibles usés RNR, en attente de retraitement	110
Plutonium issu des combustibles usés après retraitement, sous toutes ses formes physico-chimiques	50
Uranium naturel extrait de la mine, sous toutes ses formes physico-chimiques	26 000
Uranium naturel enrichi, sous toutes ses formes physico-chimiques	2 800
Uranium enrichi issu du retraitement des combustibles usés, sous toutes ses formes physico-chimiques	-
Uranium issu du retraitement des combustibles usés, sous toutes ses formes physico-chimiques	27 000
Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques	290 000
Thorium, sous la forme de nitrates et d'hydroxydes	4
Autres matières (cœur neuf de Superphénix)	72

** Les chiffres sont arrondis.*

Le cœur neuf de Superphénix est le combustible mixte à base d'uranium et de plutonium qui devait remplacer à terme le combustible utilisé pendant le fonctionnement de la centrale. Étant donné l'arrêt définitif de Superphénix, cette recharge de combustible n'a jamais été utilisée et n'a donc pas été irradiée.

LES MODES DE GESTION ACTUELS DES MATIÈRES ET DÉCHETS RADIOACTIFS PRODUITS PAR LE SECTEUR ÉLECTRONUCLÉAIRE



LÉGENDES

1	Combustible à base d'oxyde d'uranium naturel enrichi (UOX)
2	Combustible à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium (MOX)
3	Combustible à base d'oxyde d'uranium de traitement réenrichi (URE)
▭ ▭ ▭	Déchets de fonctionnement et de démantèlement
▬ ▬ ▬	Déchets issus du traitement des combustibles usés

3.2 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 donc partie.

Ce secteur comprend les installations et les établissements des centres d'études civils du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (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.

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 de l'électronucléaire 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.

Conformément à la loi du 28 juin 2006 le CEA réalise des études sur un prototype de réacteur de 4ème génération (réacteur ASTRID). Par ailleurs le CEA poursuit, 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 cinq centres civils d'études.

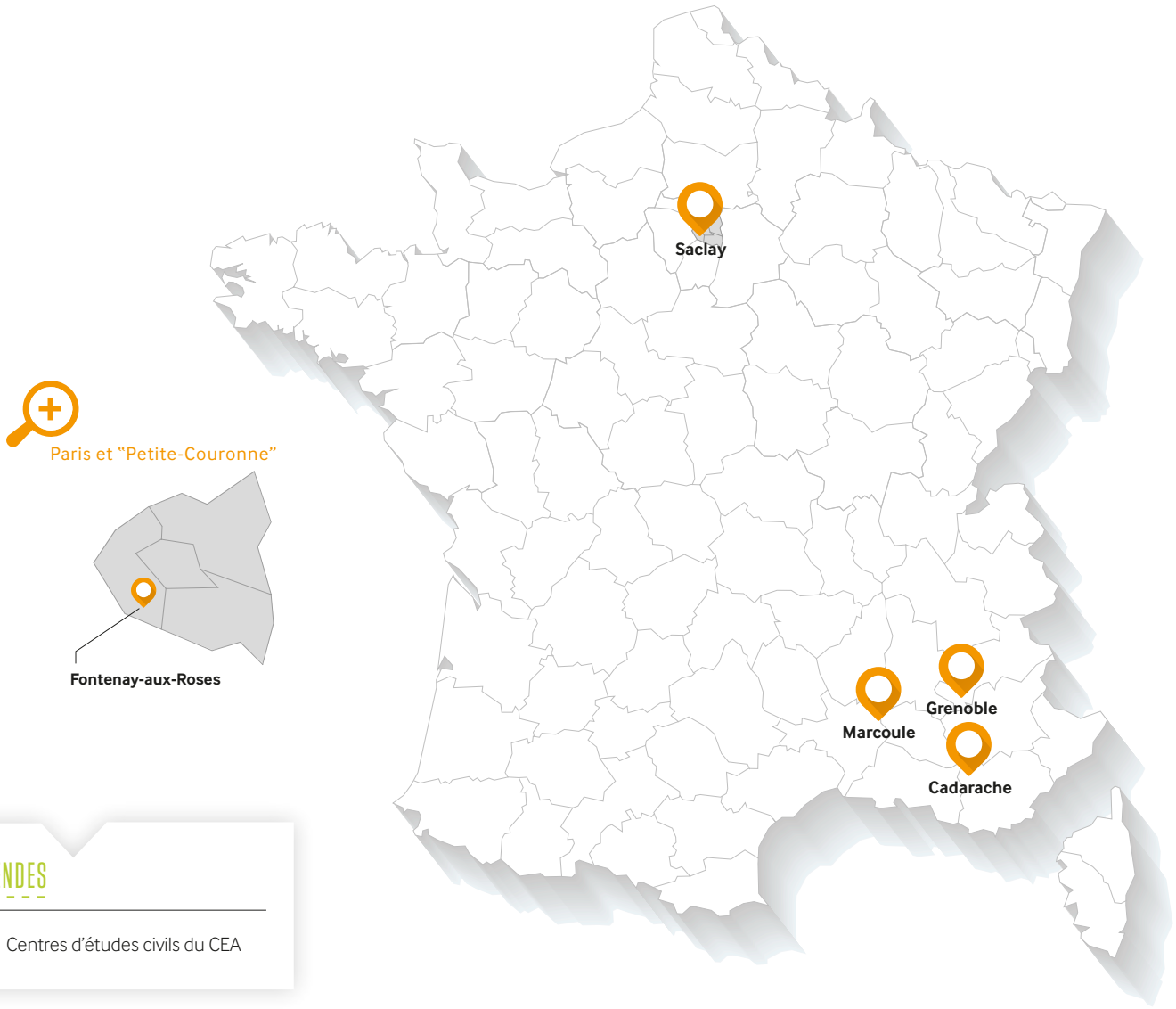
Il y exploite de nombreuses installations, laboratoires et réacteurs nucléaires de recherche pour mener à bien ses programmes de R&D. La gestion de ces installations nucléaires induit la production de déchets similaires à ceux des autres exploitants nucléaires (déchets de maintenance, outils contaminés...) 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.



Laboratoire de recherche



Hall du réacteur Phénix à Marcoule (30)



Les centres civils du CEA

1 CADARACHE (BOUCHES-DU-RHÔNE)

Les activités du centre de Cadarache sont réparties autour de plusieurs plateformes 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 réacteurs actuels 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.

Le site dispose d'une vingtaine d'installations parmi lesquelles des installations de R&D sur les combustibles nucléaires (réacteur expérimental de la filière RNR aujourd'hui arrêté : RAPSODIE, ou de la filière REP : SCARABÉE, CABRI) et les matériaux irradiés, des installations de traitement des déchets et des installations d'entreposage de déchets et de matières.

2 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 de démantèlement. 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.

3 GRENOBLE (ISÈRE)

Le programme de dénucléarisation du centre CEA de Grenoble porte sur six installations nucléaires, dont la plus ancienne datait de 1958 : trois réacteurs de recherche (Mélusine, Silœtte, Siloé), le laboratoire d'analyse des matériaux actifs (LAMA) et deux installations de traitement des effluents et des déchets nucléaires (STED). Le projet PASSAGE a consisté à démanteler et assainir ces six installations en 12 ans. Les trois réacteurs ont été déclassés respectivement en 2011, 2007 et 2015 et démolis.

Les travaux d'assainissement du LAMA et de la STED sont en cours d'achèvement en vue d'un déclassement de ces installations au plus tard en 2016.

4 MARCOULE (GARD)

Les activités du centre de Marcoule concernent le traitement du combustible. Les déchets issus de ces opérations liés à des activités de R&D sont intégrés dans les bilans du présent paragraphe.

Les installations du centre de Marcoule en cours de fonctionnement sont dédiées à la recherche et au développement de techniques de préparation de l'uranium, de traitement des combustibles nucléaires usés, de techniques de démantèlement des installations nucléaires en fin de vie et de gestion des déchets les plus radioactifs.

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 démantèlement.



Centrale Phénix à Marcoule (30)

5 SACLAY (ESSONNE)

Le centre de Saclay dispose de moyens lourds (laboratoire LECI, 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 (STELLA) pour les liquides. D'autres sont transférés vers Marcoule (30) ou Cadarache (13) pour traitement et entreposage éventuel. Les réacteurs pilotes EL2 et EL3 de la filière à eau lourde restent à démanteler.



INB35 - STELLA

LES DÉCHETS PRODUITS PAR L'INSTALLATION ITER

Les déchets nucléaires générés par ITER seront constitués de déchets technologiques tels que les éléments issus du remplacement de certains composants de la machine lors de son fonctionnement ou encore des déchets de démantèlement.

Les quantités de déchets radioactifs générés lors de son fonctionnement sont estimées à environ 650 tonnes par an pendant 14 ans. Celles générées par le démantèlement de l'installation à la fin de son exploitation sont évaluées à environ 37 000 tonnes au total. Plus de 90 % d'entre eux seront des déchets très faiblement ou faiblement radioactifs et de faible radiotoxicité gérés dans le cadre des filières existantes.

Les déchets faiblement et moyennement radioactifs et à vie longue (supérieure à 30 ans) seront traités, conditionnés et entreposés dans le cadre des filières qui seront mises en œuvre pour ce type de déchets, conformément à la réglementation. ITER ne produira aucun déchet de haute activité.

Il est à noter que ce réacteur de fusion industriel, des recherches sont actuellement prévues en vue de définir des matériaux à faible activation sous irradiation (comme l'eurofer), afin de réduire de manière significative la quantité de déchets produite. C'est l'objectif du programme IFMIF (International Fusion Materials Irradiation Facility). Il s'agit d'un projet de recherche et développement faisant appel à une installation d'irradiation des matériaux qui sera construite au Japon.

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 2013, plus de 400 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.

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 collectés par l'Andra qui les expédie pour traitement à CENTRACO (30).



Installation d'incinération de Centraco (30)

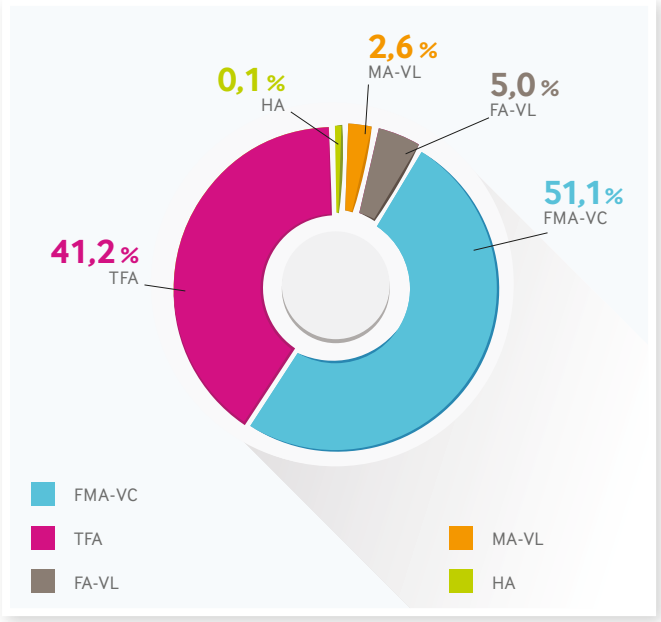
Les déchets de période inférieure à 100 jours sont gérés sur place par décroissance de leur radioactivité.

BILAN DES DÉCHETS RADIOACTIFS À FIN 2013

Catégorie	Volume à fin 2013 (m^3)*
HA	190
MA-VL	10 000
FA-VL	20 000
FMA-VC	200 000
TFA	160 000
Total	**~ 390 000**

** Les chiffres sont arrondis.*

Les Centres du CEA ont produit à fin 2013 près de 93 % des déchets du secteur de la recherche.



STOCK DES MATIÈRES RADIOACTIVES À FIN 2013

Matières radioactives	Masse (tML)*
Combustibles des réacteurs de recherche avant utilisation	0,2
Combustibles en cours d'utilisation dans les réacteurs de recherche	0,2
Combustibles usés RNR, en attente de retraitement	43
Autres combustibles usés civils de type oxyde	57
Autres combustibles usés civils de type métallique	19
Plutonium issu des combustibles usés après retraitement, sous toutes ses formes physico-chimiques	2
Uranium naturel extrait de la mine, sous toutes ses formes physico-chimiques	13
Uranium naturel enrichi, sous toutes ses formes physico-chimiques	14
Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques	150

** Les chiffres sont arrondis.*

3.3 LE SECTEUR DE LA DÉFENSE

Ce secteur économique regroupe les activités des centres d'études, de recherche, 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…), de la Direction Générale de l'Armement (DGA) et de la Gendarmerie.

LES CENTRES D'ÉTUDES, DE PRODUCTION OU D'EXPÉRIMENTATIONS TRAVAILLANT POUR LA FORCE DE DISSUASION

Il s'agit de toutes les activités liées à 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.

1 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.



Sous-marin Le Redoutable en cours de démantèlement

Les sites concernés par les activités armes et chaufferies nucléaires sont des installations nucléaires de bases secrètes (INBS) :

- 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.

- 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).

La plupart des colis de boues et de concentrats bloqués en fûts métalliques, produits autrefois par la station de traitement des effluents du centre ont été transférés pour être entreposés à Cadarache (13).

Les déchets FMA-VC sont constitués d'une part de déchets technologiques et métalliques divers conditionnés en fûts de 200 litres ou en caissons métalliques de 5 m^3 et d'autre part d'effluents de l'installation.

Les déchets TFA produits sont essentiellement des déchets de fonctionnement.

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.

- Les autres centres

Des essais de détonique ont été réalisés jusqu'à fin 2013 à Moronvilliers (51). Ils utilisaient de l'uranium sous forme appauvrie en isotope 235. Le centre est maintenant dans une phase d'assainissement.



Atoll de Mururoa

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 d'assainissement) contaminés en uranium.

Le centre de Gramat (46) 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 de fonctionnement.

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.

2 Les installations arrêtées

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 et de l'Atelier Tritium à Marcoule (ATM) (30) dont les productions sont arrêtées depuis 2009 et 2011 respectivement. Une part des déchets d'assainissement-démantèlement de ces installations sont des déchets tritiés comptabilisés dans les déchets FMA-VC.

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 usines d'enrichissement et de recyclage, le CEA/DAM assure la maîtrise d'ouvrage du démantèlement de ces usines 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.

Par ailleurs le CEA/DAM assure la maîtrise d'ouvrage du démantèlement des réacteurs PAT et RNG à Cadarache (13) .

3 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.

ENTREPOSAGE DE DÉCHETS TRITIÉS

À fin 2013, le volume de déchets tritiés présents en France est de 5 900 m³ environ. La majeure partie de ces déchets (5 600 m³) est générée par les activités liées à la force de dissuasion.

Conformément au dossier d'orientation préconisant des solutions pour l'entreposage de déchets tritiés élaboré par le CEA dans le cadre du PNGMDR 2007-2009, le CEA/DAM a construit un premier entreposage à Valduc pour augmenter la capacité d'accueil des déchets tritiés des installations travaillant pour la force de dissuasion. Ce premier bâtiment a été mis en service en 2012.



© Andra / P.Demail

Lunettes de visée nocturne

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) 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 1er 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 celles des autres états-majors. Dans la suite du chapitre, la Gendarmerie est donc rattachée aux établissements de la Défense nationale.

1 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. Le site de Saint-Priest (69) n'accueille plus les déchets de l'armée de terre depuis 2013 et sa fermeture définitive est programmée courant 2015.

À terme, il est prévu un seul centre de regroupement de déchets radioactifs interarmées : le site de Châteaudun (28).

2 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, de fonctionnement, 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).

3 Les établissements DCNS et DGA

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

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

4 Les déchets produits par les établissements de la Défense nationale

Une centaine de sites produisant et/ou détenant des déchets radioactifs ont été répertoriés.

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

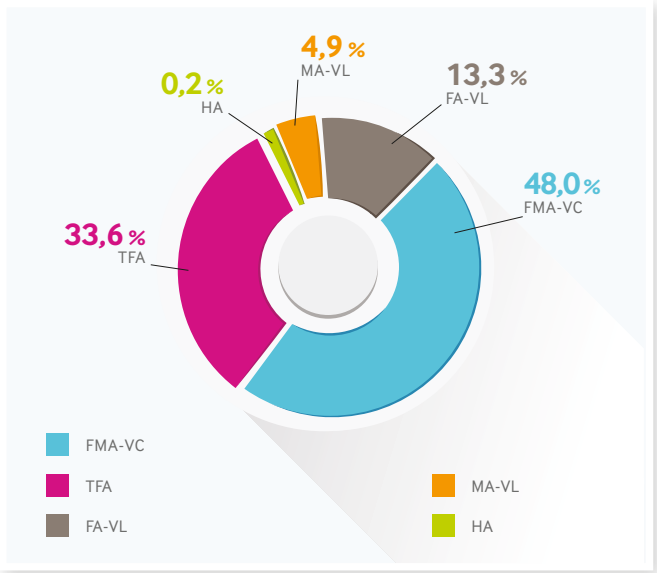
La plupart de ces objets sont considérés comme des objets radio-luminescents.

BILAN DES DÉCHETS RADIOACTIFS À FIN 2013

Catégorie	Volume à fin 2013 (m³)*
HA	230
MA-VL	6 200
FA-VL	17 000
FMA-VC	61 000
TFA	42 000
Total	**~130 000**

** Les chiffres sont arrondis.*

À fin 2013, le volume de déchets tritiés présents en France est de **5 900 m³** environ.



Actuellement, la quasi-totalité des déchets tritiés est produite par le secteur de la Défense.

STOCK DES MATIÈRES RADIOACTIVES À FIN 2013

Matières radioactives	Masse (t)
Combustibles usés de la Défense nationale	156

3.4 LE SECTEUR DE L'INDUSTRIE NON ÉLECTRONUCLÉAIRE

L'INDUSTRIE QUI UTILISE DES MATÉRIAUX NATURELLEMENT RADIOACTIFS POUR LEUR 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...).

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. Les sources ne sont pas systématiquement considérées comme des déchets ultimes.

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.

Conformément à l'article R. 1333-52 du code de la santé publique, modifié par le décret n°2015-231 du 27/02/2015, une source radioactive scellée est considérée comme périmée dix ans au plus tard après la date du premier enregistrement apposé 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.

Les autres sont entreposées dans des locaux adaptés. Certaines pourraient être stockées au CSA (10) dans la mesure où elles sont compatibles avec la sûreté du Centre *(voir dossier 4)*.

L'INDUSTRIE QUI UTILISE DES MATÉRIAUX NATURELLEMENT RADIOACTIFS POUR D'AUTRES PROPRIÉTÉS QUE LA RADIOACTIVITÉ

Des activités liées à la chimie, à la métallurgie ou à la production d'énergie, manipulent des radionucléides contenus dans certaines matières premières minérales naturelles.

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

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.

Une typologie des industries susceptibles de produire actuellement des déchets naturellement radioactifs est décrite dans le dossier 5.

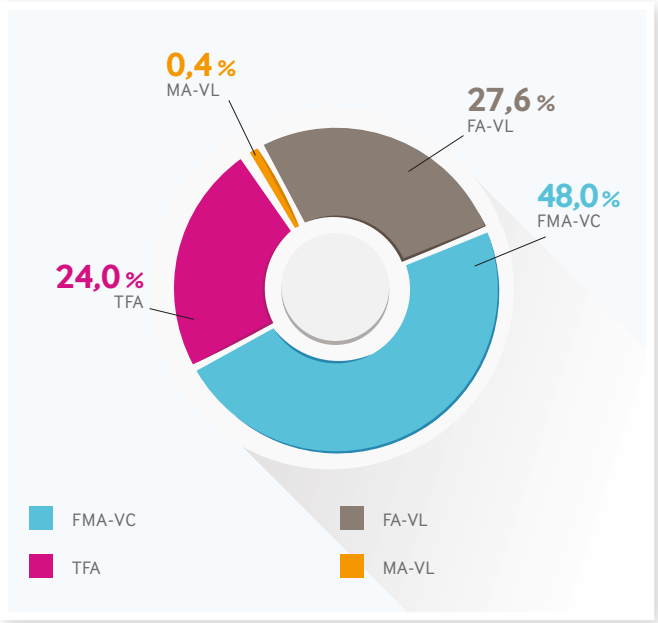
Les filières de gestion recensées à ce jour pour ce type de déchets sont le Cires, le futur centre de stockage FA-VL, les centres de stockage conventionnels lorsque l'étude d'impact a montré qu'il n'y a pas d'incidence sur l'homme et l'environnement.

Certains déchets ont été stockés par le passé à proximité des installations.

BILAN DES DÉCHETS RADIOACTIFS À FIN 2013

Catégorie	Volume à fin 2013 (m^3)*
HA	-
MA-VL	170
FA-VL	12 000
FMA-VC	22 000
TFA	11 000
Total	**~ 45 000**

** Les chiffres sont arrondis de manière à ne garder que deux chiffres significatifs.*



STOCK DES MATIÈRES RADIOACTIVES À FIN 2013

Matières radioactives	Masse (tML)*
Uranium naturel extrait de la mine, sous toutes ses formes physico-chimiques	89
Thorium, sous la forme de nitrates et d'hydroxydes	8 500
Matières en suspension (sous-produits du traitement des minerais de terres rares)	5

** Les chiffres sont arrondis.*

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.

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 thérapeutiques, effectuées *in vitro* ou *in vivo*.

Les établissements relevant de ce secteur 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 sont les plus grands utilisateurs de radionucléides.

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) puis 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 dans des centres de stockage conventionnels, ou dans un centre Andra après traitement et conditionnement.

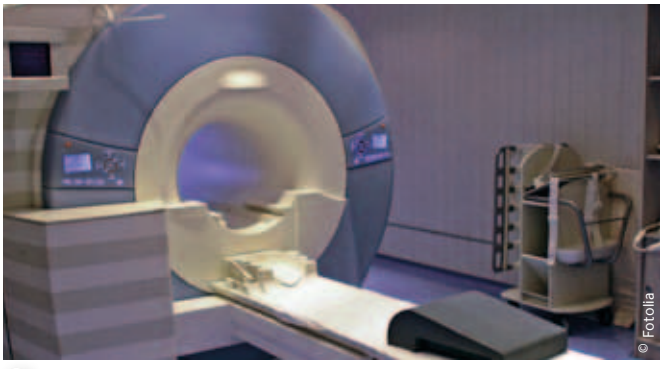
BILAN DES DÉCHETS RADIOACTIFS À FIN 2013

A fin 2013, le volume de déchets produits par ces activités médicales, en dehors des sources scellées usagées, est de l'ordre de 8 500 m^3. La quasi-totalité de ces déchets est de catégorie FMA-VC.

STOCK DES MATIÈRES RADIOACTIVES À FIN 2013

Matières radioactives	Masse (tML)
Uranium appauvri	15

L'uranium appauvri du secteur médical est utilisé comme protection radiologique.



Tomographe



CRÈME POUD

THO-RADIA

EMBELLISSANTES PARCE QUE CURAT

à base de thorium et de radium selon la form

CRÈME
Le Pot 15f
Le Tube 10f

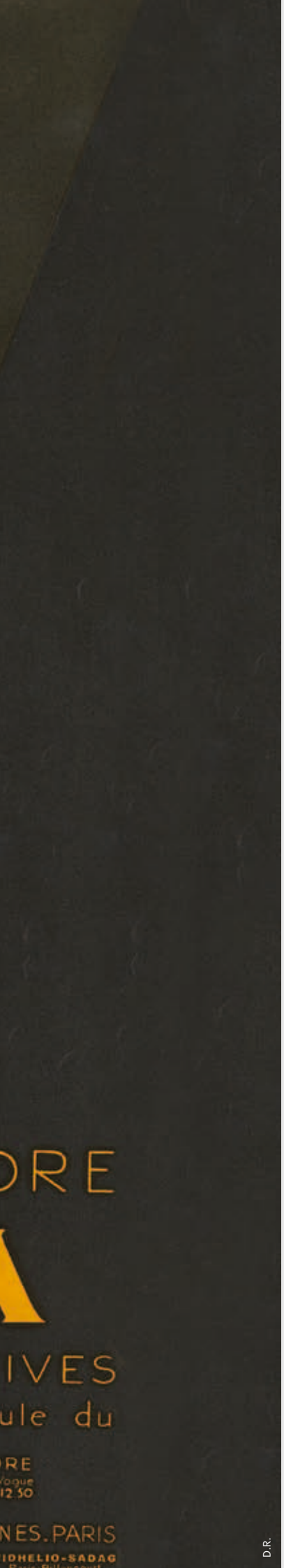
DOCTEUR ALFRED CURIE

EXCLUSIVEMENT CHEZ LES PHARMACIENS

POUD
Nuancer
La Boite

BROCHURE GRATUITE SUR DEMANDE A THO-RADIA, 20 RUE DES CAPUCI

Création Tony Burnand & Cie



CHAPITRE 4

LES SITUATIONS HISTORIQUES

4.1 Les centres de stockage de déchets conventionnels | 78

4.2 Les stockages historiques sur site | 80

4.3 Les stockages de déchets à radioactivité naturelle élevée | 83

4.4 Les stockages de la Défense en Polynésie | 84

4.5 Les sites miniers | 85

4.6 Les sites contaminés par la radioactivité | 87

4.7 Les déchets immergés | 91

Certains déchets radioactifs ont fait l'objet de modes de gestion pratiqués à l'époque où ils ont été produits et ne seront pas pris en charge dans les centres de stockage de l'Andra. Ces déchets ont notamment pu être stockés au sein ou à proximité de leurs sites de production, être utilisés comme remblais, gérés au sein de filières dédiées à la gestion des déchets conventionnels ou même immergés en mer. Ces cas sont qualifiés de « 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 faits à l'époque où ils ont été pris en charge :

- évacuation de déchets très faiblement actifs provenant de l'industrie conventionnelle ou nucléaire vers des installations de stockage de déchets conventionnels ;

- stockage de déchets dans le périmètre ou à proximité des installations nucléaires de base ou des installations nucléaires de base secrètes ainsi que dans des zones historiquement utilisées comme dépendances de ces installations ;

- constitution de dépôts de déchets à radioactivité naturelle élevée, générés par la transformation de matières premières contenant naturellement des radionucléides mais qui ne sont pas utilisées pour leurs propriétés radioactives. Ils ne relèvent pas de la réglementation des installations classées. Il s'agit notamment de déchets de phosphogypses provenant de la production d'engrais, de résidus provenant de la production d'alumine et de résidus provenant des activités de production de terres rares à partir de monazite ;

- immersion dans les océans (Atlantique ou Pacifique) de déchets de faible ou moyenne activité.

Tous ces sites (hors ceux liés à l'immersion) 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 car les déchets correspondants ne seront pas pris en charge dans les centres de stockage de l'Andra en exploitation ou en projet.

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 avoisinant quelques becquerels par gramme. Ces pratiques sont maintenant interdites pour les déchets radioactifs.

Les déchets de très faible activité qui ont pu être stockés par le passé dans des installations de stockage de déchets conventionnels sont essentiellement constitués de boues, terres, résidus industriels, gravats et ferrailles provenant de certaines activités historiques de l'industrie conventionnelle ou de l'industrie nucléaire civile ou militaire, notamment d'opérations de démantèlement ou d'assainissement.

Ces déchets ne présentent pas d'enjeu de radioprotection et ont ainsi pu être éliminés dans une filière conventionnelle, conformément aux réglementations et instructions en vigueur à l'époque.

Le stockage de déchets radioactifs dans des installations de stockage de déchets conventionnels est dorénavant interdit, depuis 1997 pour les installations de stockage de déchets non dangereux, 1992 pour les installations de stockage de déchets dangereux et 2004 pour les installations de stockage de déchets inertes. Seule, l'évacuation dans de telles installations de certains déchets à radioactivité naturelle élevée peut être autorisée sous certaines conditions.

Les installations de stockage de déchets conventionnels ayant reçu des déchets radioactifs de manière régulière ou occasionnelle recensées dans l'Inventaire national sont au nombre de treize. Elles se trouvent sur les communes suivantes :

- Angervilliers dans l'Essonne (91),
- Argences dans le Calvados (14),
- 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),
- Solérieux dans la Drôme (26),
- Vif dans l'Isère (38),
- Villeparisis en Seine-et-Marne (77).

Parmi ces installations, quatre sont autorisées aujourd'hui à prendre en charge des déchets à radioactivité naturelle élevée, conformément à la réglementation en vigueur *(voir dossier 5)*. Ce sont les installations de stockage de déchets dangereux de Villeparisis (77) et de Bellegarde (30) et les installations de stockage de déchets non dangereux de Champteussé-sur-Baconne (49) et Argences (14).



LÉGENDE

Installations de stockage de déchets conventionnels ayant reçu des déchets radioactifs

4.2 LES STOCKAGES HISTORIQUES SUR SITE

Certains déchets radioactifs ont été stockés par le passé, conformément aux réglementations de l'époque, à proximité d'installations nucléaires ou d'usines. Ils constituent le plus souvent des buttes ou des remblais. Les sites identifiés dans ce chapitre sont ceux desquels l'exploitant du site ou le producteur des déchets n'envisage pas d'évacuer à court terme les déchets à la date de sa déclaration à l'Inventaire national.

Les sites de ce type recensés dans l'Inventaire national à fin 2013 sont les suivants :

- **L'autoroute A126 de Chilly-Mazarin (91) :**

Des terres (1 700 m^3) ont été utilisées sur le chantier de cette autoroute dans les années 1970. Ces terres provenaient de l'assainissement des terrains de l'ancienne usine de la Société Nouvelle du Radium (SNR) à Gif-sur-Yvette ainsi que des matériaux très faiblement radioactifs issus d'opérations d'assainissement de l'ancienne usine du Bouchet (2 200 m^3). La teneur moyenne en radium et en uranium de ces terres est comparable à celle rencontrée dans la nature (jusqu'à 3 becquerels par gramme).

- **La butte de Montboucher (91) :**

Cette butte contient notamment des déchets qui seraient aujourd'hui catégorisés TFA (24 600 m^3) produits lors de l'assainissement de l'ancienne usine du Bouchet entre mai 1975 et mars 1977.

- **Le bâtiment 133 du centre CEA de Saclay (91) :**

Des remblais de déchets qui seraient aujourd'hui catégorisés TFA (17 m^3 de débris en grès d'anciennes canalisations et 57 m^3 de gravats et terres) ont été mis en place au niveau des fondations nord et sud du bâtiment 133 du centre de Saclay. Un retrait éventuel est envisageable à terme dans le cadre de la déconstruction (non programmée) du bâtiment 133.

- **Le bassin bétonné de l'ancien pilote de dégainage du centre CEA de Marcoule (30) :**

Il s'agit d'un ancien bassin de la STEL qui a été équipé pour dégainer sous eau les combustibles pendant quelques mois avant que l'atelier de dégainage soit mis en actif en 1959. Ce bassin semi-enterré, contenant quelques machines et matériels ayant servi au procédé de dégainage a ensuite été rempli de béton. Ce bassin d'un volume total de 1 116 m^3 est entièrement isolé du procédé, toutes les tuyauteries ayant été déposées. Il a été étanché en partie supérieure. Un contrôle trimestriel de contamination surfacique est réalisé par le service de radioprotection dans le cadre des contrôles périodiques. Aucune anomalie n'a, à ce jour, été détectée.

- **La zone d'entreposage de déchets inertes (ZEDI) du centre CEA de Cadarache (13) :**

Cette zone de stockage de déchets a été créée à l'ouverture du centre. 192 000 m^3 de déchets inertes y ont été stockés entre 1961 et 2007, dont 1 650 m^3 de déchets contaminés (4 600 MBq) stockés entre 1963 et 1991. Le réseau de piézomètres a été complété en 2002. Il permet d'assurer la surveillance de la nappe.

- **Les puits d'expérimentations du PEM - Polygone d'Expérimentation de Moronvilliers (51) :**

Il existe une centaine de puits contenant les résidus des expérimentations qui ont été menées au Polygone d'Expérimentation de Moronvilliers. Ces puits ont été comblés et obturés. Dans le cadre du recensement des sites et sols pollués, le CEA a déclaré le site du PEM dans la base de données BASOL en mai 1997. L'ensemble du site, y compris la centaine de puits, fait l'objet d'une surveillance environnementale renforcée dont les résultats sont régulièrement transmis par l'ASND au Préfet. Enfin, la cartographie radiamétrique du site réalisée par hélicoptère a permis de confirmer la maîtrise du référentiel radiologique de ce site.

- **Les six premiers stockages de déchets conventionnels du centre CEA de Valduc (21) :**

Jusqu'au début des années 1990, du fait de l'isolement du centre, les déchets ménagers et industriels banals ainsi que les gravats étaient mis en décharge, en six endroits sur le centre, conformément aux normes de l'époque et aux pratiques de l'ensemble des communes françaises. Ces stockages ont concerné principalement des matières banales, non dangereuses, déposées dans les points creux, tels que les amorces ou départs de combe. Les déchets et gravats ont ainsi été utilisés pour aplanir les zones en question. Un marquage radiologique ne peut pas être totalement exclu du fait des pratiques anciennes de décontamination. Les volumes concernés étant importants (de 100 000 à 150 000 m^3 estimés) et leur niveau de contamination radioactive étant estimé nul ou très faible par le CEA, celui-ci n'envisage aucune reprise. Ces aires de stockage font cependant l'objet d'une surveillance, notamment par des piézomètres situés en aval des zones de stockage, qui permettent de s'assurer qu'aucun élément radioactif susceptible de polluer les nappes phréatiques ne s'en échappe.

- **Le stockage de l'aire 045 du centre CEA de Valduc (21) :**

Cette aire a principalement accueilli les terres contaminées issues de l'opération de remédiation de la combe « au tilleul » réalisée en 1995. Elle est constituée d'un silo, dont le fond et les parois sont tapissés d'une membrane constituée par du PEHD soudé, en sandwich entre deux couches de tissu géotextile, le tout recouvert de sable.

Le confinement est ainsi assuré. Ces terres ont une activité faible (en moyenne de 1 Bq/g et au maximum inférieure à 10 Bq/g). Le volume concerné est de 8 990 m^3. Cette aire de stockage fait l'objet d'une surveillance. Des piézomètres situés en aval permettent notamment de s'assurer qu'aucun élément radioactif susceptible de polluer les nappes phréatiques ne s'en échappe.

La butte du centre de Pierrelatte (26)
Cette butte, d'une superficie d'environ 37 000 m^2, a été formée au début des années 1960. Entre 1964 et 1977, des tranchées ont été réalisées afin d'y stocker 14 055 m^3 de déchets comprenant des fluorines issues du traitement de l'uranium et des boues chromatées. Un plan de surveillance de la qualité de la nappe est en place depuis 1998 et une surveillance de l'intégrité de l'ouvrage est mise en œuvre.

La butte de Bugey (01)
La présence d'environ 130 m^3 de résines échangeuses d'ions (non radioactives selon les critères de l'époque), enfouies entre 1979 et 1984 au droit d'une butte artificielle d'environ 1 million de m^3 de remblais a été mise en évidence en 2005 au cours des premières études d'implantation de l'installation ICEDA au sud du site de Bugey. Cette butte est constituée de déblais naturels divers et de déchets non radioactifs issus de la construction des différentes unités de production. La surveillance de la qualité des eaux souterraines de cette zone est assurée par onze piézomètres répartis autour de la butte.

La lagune de Vernay à Loos-lez-Lille (59)
Ce site de traitement de minerai a généré des boues de filtration qui ont été stockées (3 600 m^3) sur le site.

Le site de l'usine Chef-de-Baie à La Rochelle (17)
35 000 m^3 de résidus solides issus du traitement de la monazite ont été utilisés comme remblai sur le site de l'usine.

Le port de La Pallice à La Rochelle (17)
L'usine Solvay a produit des résidus provenant du traitement de matériaux naturels très légèrement radioactifs. 50 000 m^3 de ces résidus ont été utilisés comme remblai sur ce port.



Port de La Pallice à La Rochelle (17)

On estime entre 250 000 et 300 000 m^3 la quantité de déchets stockés sur ces sites. L'évolution à la hausse de l'inventaire de ce type de déchets vient du fait que la liste des sites présentée dans l'édition 2012 de l'Inventaire national a été complétée par les sites issus des investigations menées dans le cadre du PNGMDR.

Par rapport à la liste détaillée ci-dessus, deux situations supplémentaires ont été identifiées à fin 2014 par le CEA comme devant être rapportées au recensement des stockages historiques :

- la déposante interne de Marcoule : pour ce qui concerne cette déposante interne, les investigations menées n'indiquent pas de marquage radiologique, cependant, la cohérence entre les pratiques identifiées de gestion mise en œuvre au cours du temps dans les différents centres amène par précaution à déclarer cette déposante comme celles de même nature à Cadarache (ZEDI) et à Valduc. Le volume actuel est estimé à environ 126.000 m^3 de déchets composés essentiellement de terres mélangées à des gravats. Afin de caractériser ce volume, 32 sondages répartis de façon homogène ont été réalisés dans la déposante jusqu'au terrain naturel rencontré entre 5 et 12 m de profondeur ;

- les tranchées de la zone nord CDS de Marcoule : quatre tranchées ont été successivement exploitées de 1963 à 1993 dans la zone nord de CDS pour recevoir des déchets nucléaires de très faible activité et faible activité. Ces déchets sont principalement constitués de gravats, de ferrailles, de bétons, de cendres, de boues et de terres issues des terrassements du site, dont le conditionnement en fût n'était pas justifié à l'époque, et dont l'évacuation en décharge n'était pas acceptable. A la fin de l'exploitation de chacune des tranchées, des remblais propres ont été mis en place sur 1 m à 1,5 m au-dessus des déchets. Les quatre tranchées contiennent approximativement 50 000 m^3 de déchets.

Ces sites seront intégrés à l'Inventaire national à partir de la déclaration au 31 décembre 2014.

CARTE DE FRANCE DES STOCKAGES HISTORIQUES (DSH)



LÉGENDE

Stockages historiques (DSH)

Les stockages historiques sont surveillés dans le cadre des programmes de surveillance de l'environnement des sites. Des dispositions permettant de conserver la mémoire de la présence de déchets (définition de servitudes spécifiques tenant compte de la nature de l'activité, de son historique et des éventuels risques résiduels) sont mises en œuvre le cas échéant.

250 000 à **300 000 m³**
de déchets en stockage historique.

4.3 **LES STOCKAGES** DE DÉCHETS À RADIOACTIVITÉ NATURELLE ÉLEVÉE

Plusieurs dizaines de stockages de déchets contenant de la radioactivité naturelle élevée sont présents sur le territoire français. Il s'agit notamment de dépôts de déchets de phosphogypses provenant de la production d'engrais, de résidus de la production d'alumine et de cendres de charbon issues des centrales thermiques, pour certains encore valorisables.

Les principaux sites de stockage de déchets à radioactivité naturelle élevée sont les suivants :

- 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),
  - Douvrin (62),
  - Rogerville (76),
  - Saint-Étienne-de-Rouvray (76),
  - Wattrelos (59) ;

- stockage de résidus issus de la production d'alumine :
  - Gardanne (13),
  - Vitrolles (13),
  - Marseille (13) (Aygalades, 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 5)*.

CARTE DE FRANCE DES STOCKAGES DE DÉCHETS À RADIOACTIVITÉ NATURELLE ÉLEVÉE



4.4 LES STOCKAGES DE LA DÉFENSE EN POLYNÉSIE

Entre 1966 et 1996, la France a procédé à des expérimentations 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 produits par ces expérimentations et le démantèlement des installations associées ont été stockés sur place dans des puits ou immergés dans les eaux territoriales françaises.

Les déchets stockés *in situ* dans le cadre de ces opérations sont présentés dans l'inventaire géographique (Outre-mer).

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, 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 de ces deux atolls.

Bien que les experts de l'AIEA aient conclu qu'il n'était pas nécessaire de continuer la surveillance radiologique des atolls de Mururoa et d'Hao, 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.

4.5 LES SITES MINIERS

L'exploitation des mines d'uranium en France entre 1948 et 2001 (en mine à ciel ouvert ou en mine souterraine) a conduit à la production de 76 000 tonnes d'uranium. Les activités d'exploration, d'extraction et de traitement ont concerné environ 250 sites de dimensions très variables (de simples travaux de reconnaissance à des chantiers d'exploitation de grande ampleur) répartis sur 25 départements en France. Le traitement des minerais a été effectué principalement dans huit usines. Tous ces sites sont décrits dans l'Inventaire national des sites miniers d'uranium « MIMAUSA » (Mémoire et Impact des Mines d'urAniUm : Synthèse et Archives) élaboré par l'IRSN.

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

- les stériles miniers qui désignent les produits constitués des sols et roches excavés pour accéder aux gisements d'intérêt. Le volume des stériles miniers extraits peut être évalué à 167 millions de tonnes ;

- les résidus de traitement qui désignent les produits restant après extraction de l'uranium contenu dans le minerai par traitement statique ou dynamique. Les résidus correspondent de fait à des déchets de procédé, leur volume peut être évalué à 50 millions de tonnes.

Pour l'essentiel, les stériles sont restés sur leur site de production. Ils ont été utilisés en comblement des mines à ciel ouvert ou des ouvrages miniers souterrains tels que les puits, pour les travaux de réaménagement en couverture des stockages de résidus ou placés en tas sous forme de verses. Des stériles miniers de teneur inférieure à 100 ppm ont pu être utilisés comme matériaux de remblai, de terrassement ou en tant que soubassements routiers sur des lieux situés à proximité des sites miniers. Leur volume est estimé être de 1 à 2 % des volumes de stériles extraits des sites, soit environ 2 millions de tonnes.

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

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

- **les résidus de traitement de minerais à forte teneur moyenne** (de l'ordre de 1 000 à 10 000 ppm ou 0,1 à 1 % d'uranium) avec une activité massique moyenne totale de 312 Bq/g (dont environ 29 Bq/g de radium 226). Ces résidus, issus de la lixiviation dynamique (environ 30 millions de tonnes), sont stockés soit dans d'anciennes mines à ciel ouvert avec parfois une digue complémentaire, soit dans des bassins fermés par une digue de ceinture ou derrière une digue barrant un thalweg.

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'Escarpière (44),
- Les-Bois-Noirs-Limouzat (42),
- Lodève (34),
- Montmassacrot (87),
- Rophin (63),
- Saint-Pierre-du-Cantal (15),
- Teufelsloch (68).



Mine d'uranium de Bellezane (78) après réhabilitation

L'inventaire MIMAUSA est consultable sur le site Internet de l'IRSN : http://mimaubdd.irsn.fr

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'Escarpière (44), Les-Bois-Noirs-Limouzat (42).

Par ailleurs, trois sites de la Division minière de la Crouzille (87) (AREVA, anciennement COGEMA), ont été utilisés dans les années 1970 et 1980 comme décharges pour des déchets très faiblement actifs issus de divers établissements de l'amont du cycle : Fanay (87), Margnac (87) et Peny (87).

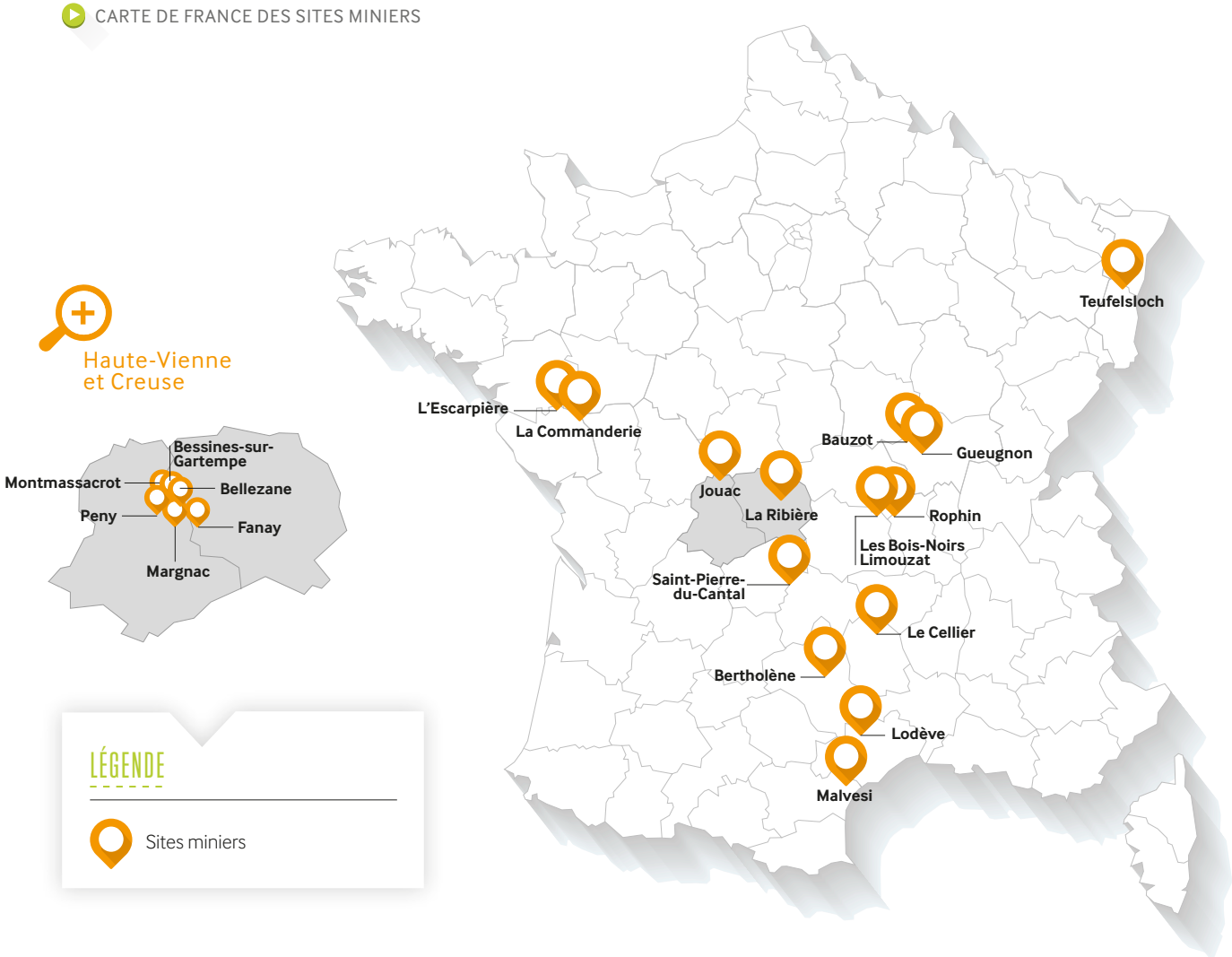
L'ensemble de ces sites est recensé dans l'inventaire géographique.

Dans le cadre du PNGMDR, AREVA a remis des études relatives à l'évaluation de l'impact à long terme sur la santé et l'environnement des stockages de résidus de traitement miniers (caractérisation physico-chimique des résidus, tenue géo-mécanique des digues et impact radiologique à long terme des stockages) ainsi que des anciens sites miniers d'extraction (gestion des rejets diffus et traitement des eaux, impact à long terme des stériles miniers).

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 [II].

Enfin, conformément à la circulaire du 22 juillet 2009 [III], 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 (dont le responsable n'est pas connu ou insolvable) est aussi en cours.

CARTE DE FRANCE DES SITES MINIERS



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

[III] Circulaire du 22 juillet 2009 relative à la gestion des anciennes mines d'uranium.

4.6 LES SITES CONTAMINÉS PAR LA RADIOACTIVITÉ

La circulaire interministérielle du 17 novembre 2008 [V] 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 ».

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 détectables de radionucléides naturels ou artificiels, sans qu'il y ait d'action particulière à envisager du fait de l'absence de risques.

L'origine de la pollution pour chacun de ces sites est rappelée dans les fiches de l'inventaire géographique.

On trouve essentiellement des sites où du radium (ou des objets en contenant) a été extrait, entreposé ou commercialisé dans la première moitié du XXe siècle.

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).



Chantier d'assainissement d'un appartement

OPÉRATION DIAGNOSTIC RADIUM

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

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

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, certains 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 des logements privés ou des locaux professionnels. Estimé à 134 lors du lancement de l'Opération Diagnostic Radium en 2010, le nombre de sites nécessitant un diagnostic a été revu à 164 après l'ajout d'adresses identifiées plus récemment.

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 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 financée par des fonds publics, 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. Depuis cette date, 30 sites ont été diagnostiqués, dont certains, notamment pour les immeubles parisiens, abritaient de très nombreux appartements, bureaux ou commerces. Au total, ce sont ainsi plus de 300 propriétés qui ont été contrôlées. 23 d'entre elles ont été identifiées comme polluées, et 6 ont d'ores et déjà été réhabilitées.

[V] *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.*

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 élevée.

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.



Site d'Orflam-Plast

POLITIQUE EN MATIÈRE DE GESTION DES SITES ET DES 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 [VI].

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.

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.

[VI] *Guide ASN-DGPR-IRSN de gestion des sites et sols potentiellement pollués par des substances radioactives de décembre 2011.*

BASE DE DONNÉES BASIAS

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 [VII]. Cette base répertorie environ 180 000 sites qui ont accueilli par le passé une activité industrielle ou de service.

http://basias.brgm.fr/

BASE DE DONNÉES BASOL

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.

http://basol.developpement-durable.gouv.fr/

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 dans l'édition 2012 ne font plus l'objet de fiche.
Cependant, la mémoire de ces sites est conservée dans la base BASIAS développée par le BRGM (http://basias.brgm.fr) ;
- **les sites en cours de réhabilitation :** les chantiers de réhabilitation de ces sites sont en cours. Ils sont pour la plupart répertoriés dans la base de données BASOL (http://basol.developpement-durable.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 au 31 décembre 2013 plus de soixante-dix sites :

- 17 sites réhabilités depuis la précédente édition ;
- 23 sites en cours de réhabilitation ;
- 31 sites en attente de réhabilitation.

Dans le tableau ci-après, par convention, un site correspond à un propriétaire. Le nombre de site par localité est indiqué entre crochet, en fonction de l'état du site.

ASSAINISSEMENT DU SITE **NAVARRA**



Chantier Navarra

La SARL Navarra (démolitions de structures industrielles), basée en Aquitaine sur la commune de Marcheprime, a récupéré dans le cadre de son activité des matériaux et produits divers. Ceux-ci ont été stockés sur une parcelle du site.

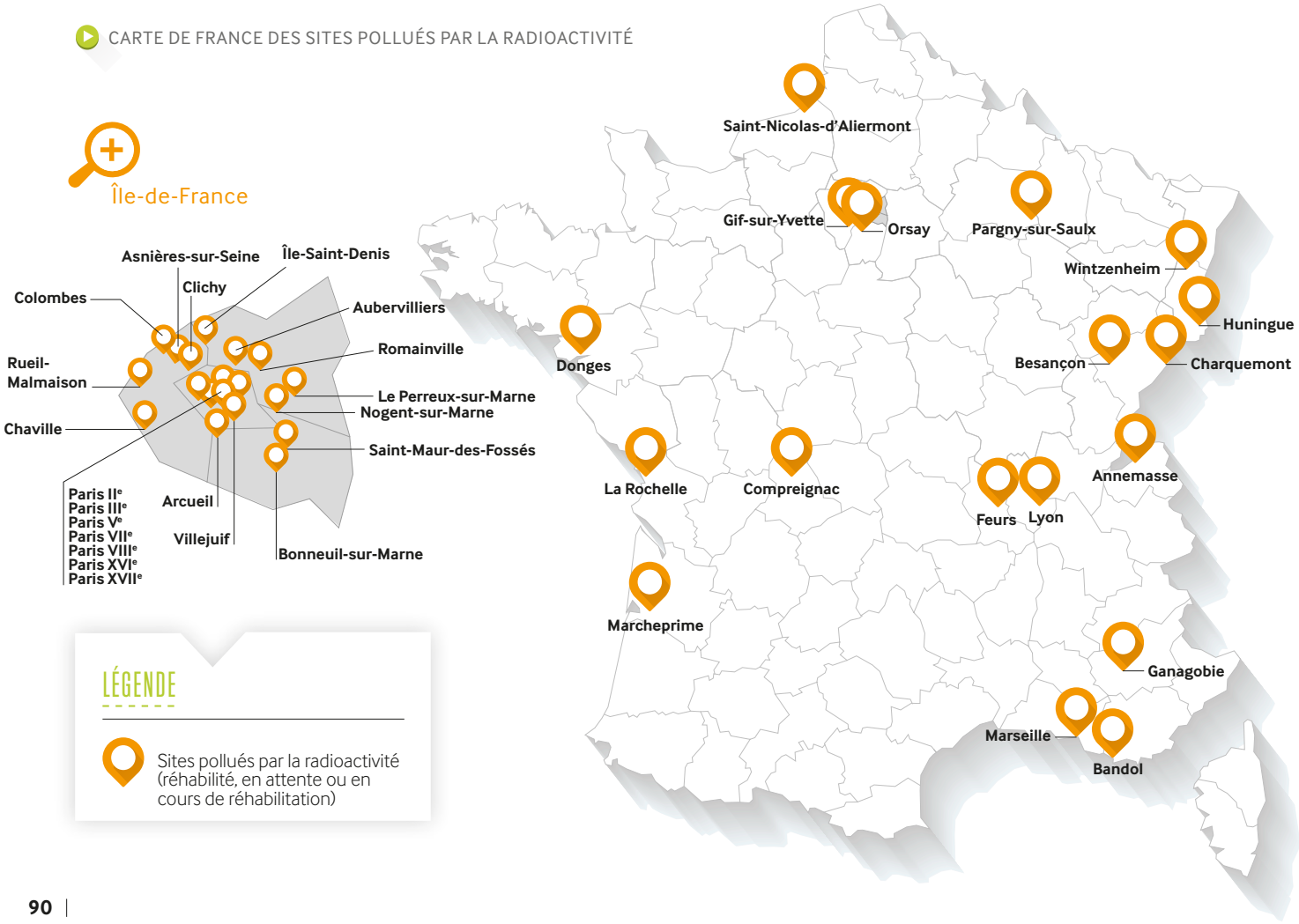
Suite à la cessation d'activité de cet industriel en 2008, un diagnostic du site a fait apparaître une contamination radioactive, générant l'équivalent d'environ **400 m³ de déchets TFA.**

L'exploitant vient d'achever la dépollution de ce site industriel. L'ensemble des déchets a été pris en charge sur le Cires durant les mois d'août et septembre 2014.

[VII] *Arrêté du 10 décembre 1998 relatif à la création d'une base de données sur les sites industriels et d'activités de service anciens.*

Sites réhabilités	Sites en cours de réhabilitation	Sites en attente de réhabilitation
Annemasse (74) [2 sites]	Annemasse (74) [1 site]	Aubervilliers (93) [1 site]
Bonneuil-sur-Marne (94) [1 site]	Arcueil (94) [1 site]	Bandol (83) [2 sites]
Compreignac (87) [1 site]	Asnières (92) [1 site]	Besançon (25) [1 site]
Donges (44) [1 site]	Chaville (92) [3 sites]	Charquemont (25) [1 site]
Gif-sur-Yvette (91) [2 sites]	Feurs (42) [1 site]	Chaville (92) [3 sites]
Marcheprime (33) [1 site]	Ganagobie (04) [1 site]	Clichy (92) [1 site]
Orsay (91) [1 site]	Gif-sur-Yvette (91) [2 sites]	Colombes (92) [2 sites]
Pargny-sur-Saulx (51) [3 sites]	La Rochelle (17) [1 site]	Gif-sur-Yvette (91) [3 sites]
Paris 2 (75) [1 site]	Le Perreux-sur-Marne (94) [1 site]	Huningue (68) [1 site]
Paris 3 (75) [1 site]	Lyon (69) [1 site]	Île-Saint-Denis (93) [6 sites]
Paris 5 (75) [2 sites]	Marseille (13) [1 site]	Marseille (13) [1 site]
Rueil-Malmaison (92) [1 site]	Pargny-sur-Saulx (51) [2 sites]	Nogent-sur-Marne (94) [2 sites]
	Paris 3 (75) [3 sites]	Pargny-sur-Saulx (51) [1 site]
	Paris 17 (75) [1 site]	Paris 7 (75) [2 sites]
	Saint-Maur-des-Fossés (94) [1 site]	Paris 8 (75) [1 site]
	Saint-Nicolas-d'Aliermont (76) [1 site]	Paris 16 (75) [1 site]
	Wintzenheim (68) [1 site]	Romainville (93) [1 site]
		Villejuif (94) [1 site]
17 sites	**23 sites**	**31 sites**

CARTE DE FRANCE DES SITES POLLUÉS PAR LA RADIOACTIVITÉ



LÉGENDE

Sites pollués par la radioactivité (réhabilité, en attente ou en cours de réhabilitation)

4.7 LES DÉCHETS IMMERGÉS

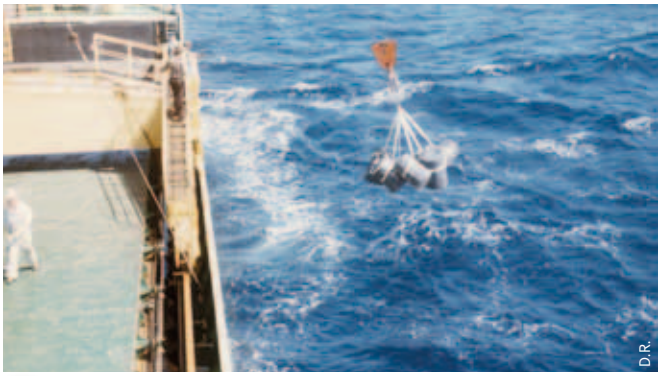
L'évacuation en mer a été de tout temps un moyen de gestion de tous types de déchets. Les déchets radioactifs n'ont pas fait exception à cette règle. La solution de l'immersion simple de ces déchets était en effet considérée comme sûre par la communauté scientifique car la dilution et la durée présumée 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.

D'abord organisées par les pays producteurs de déchets eux-mêmes, les immersions ont été coordonnées par les instances internationales à partir des années 1960. C'est dans ce cadre que la France a procédé à des immersions de déchets radioactifs dans l'Atlantique, en participant aux campagnes organisées par l'AEN en 1967 et 1969. Lors de ces deux opérations, la France a ainsi immergé 14 200 tonnes de déchets radioactifs conditionnés, d'activité totale d'environ 350 TBq, provenant tous du site de Marcoule.

Dès la mise en service du centre de stockage de la Manche en 1969, la France a renoncé à l'immersion pour la gestion de la plus grande partie des déchets radioactifs.

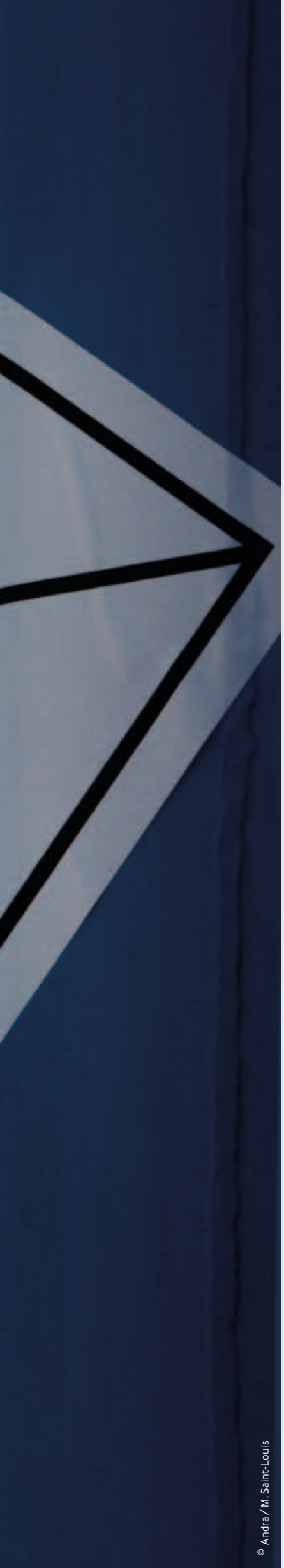
Ce mode de gestion a toutefois continué à être utilisé par la France, jusqu'en 1982, pour les déchets induits par les activités liées aux essais nucléaires en Polynésie française : 3 200 tonnes de déchets radioactifs, d'une activité totale inférieure à 0,1 TBq, ont ainsi été immergés dans les eaux territoriales françaises en Polynésie.

Il faut noter qu'aucune immersion française de déchets radioactifs 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).



Immersion de déchets radioactifs en mer dans les années 1960


RADIOACTIVE I
CONTENTS : ^{134}Cs ^{3}H ^{36}Cl ^{22}Na
ACTIVITY : 24,2 MBq
7
FORM-EDIT - Réf 7A



© Andra / M. Saint-Louis

CHAPITRE 5

LES DOSSIERS THÉMATIQUES

Dossier 1 - Les solutions existantes et en projet en France pour la gestion à long terme des déchets radioactifs | 94

Dossier 2 - Traitement et conditionnement des déchets | 100

Dossier 3 - Démantèlement et assainissement | 108

Dossier 4 - La gestion des sources radioactives usagées | 122

Dossier 5 - Les déchets à radioactivité naturelle élevée | 132

Dossier 6 - Les inventaires des déchets radioactifs à l'étranger | 141

DOSSIER 1 |

LES SOLUTIONS EXISTANTES ET EN PROJET EN FRANCE POUR LA GESTION À LONG TERME DES DÉCHETS RADIOACTIFS

1. Les déchets HA et MA-VL | **95**

2. Les déchets FA-VL | **96**

3. Les déchets FMA-VC | **98**

4. Les déchets TFA | **98**

5. Les cas spécifiques | **99**
   Les déchets tritiés
   Les déchets à vie très courte



INTRODUCTION

Comme de nombreux pays, la France a fait le choix de mettre en place une gestion à long terme pour tous les déchets radioactifs. Cette gestion repose sur le stockage définitif qui permet d'isoler les déchets pendant le temps nécessaire à la décroissance des éléments radioactifs qu'ils contiennent jusqu'à ce qu'ils ne présentent plus de risque pour l'homme et l'environnement.

La conception de chaque centre de stockage est adaptée aux types de déchets qu'il accueille selon le principe du confinement multi-barrières généralement composé par le colis, l'ouvrage de stockage et la géologie du site, qui garantit la sûreté.

Aujourd'hui, il existe en France trois centres de stockage de surface (deux en phase d'exploitation et un en phase de surveillance) qui permettent de stocker plus de 90 % des déchets radioactifs produits chaque année en France (déchets TFA et FMA-VC). Pour les autres types de déchets (FA-VL, MA-VL et HA) les centres de stockage adaptés sont à l'étude. En attendant, ils sont entreposés dans des installations spécifiques, en général sur leurs sites de production.



Principe du concept multi-barrières

1. LES DÉCHETS HA ET MA-VL

Après 15 ans de recherche sur la gestion des déchets HA et MA-VL et un débat public, la loi de programme n° 2006-739 du 28 juin 2006, aujourd'hui codifiée dans le code de l'environnement, a retenu le principe du stockage profond comme seule solution sûre à long terme pour gérer, sans en reporter la charge sur les générations futures, les déchets qui ne peuvent pas être stockés en surface ou à faible profondeur pour des raisons de sûreté ou de radioprotection. Dans l'objectif de la mise en œuvre de cette solution, cette loi a chargé l'Andra de mener des études et des recherches pour choisir un site et concevoir un centre de stockage réversible profond pour les déchets HA et MA-VL.

L'Andra porte ainsi un projet de Centre industriel de stockage géologique, Cigéo, conçu pour stocker la totalité des déchets HA et MA-VL produits par l'ensemble des installations nucléaires actuelles, y compris ceux résultant de leur démantèlement, et par le traitement des combustibles usés utilisés dans les centrales nucléaires.

Si sa création est autorisée, le centre Cigéo sera implanté dans l'Est de la France, à la limite de la Meuse et la Haute-Marne.

Cigéo sera composé d'installations de surface, notamment pour accueillir et préparer les colis de déchets et pour réaliser les travaux de creusement et de construction des ouvrages souterrains. Les déchets seront stockés dans des installations souterraines situées à environ 500 mètres de profondeur, dans une couche de roche argileuse imperméable choisie pour ses propriétés de confinement sur de très longues échelles de temps.

Cigéo est prévu pour être exploité pendant au moins 100 ans, tout en étant flexible afin de laisser aux générations futures un maximum de possibilités pour permettre des adaptations.

Sous réserve de l'obtention des autorisations nécessaires, le calendrier prévisionnel de Cigéo est le suivant :

- 2015, remise à l'Etat d'une proposition de plan directeur pour l'exploitation de Cigéo et à l'Autorité de sûreté nucléaire d'un dossier d'options de sûreté et d'un dossier d'options techniques de récupérabilité pour préparer l'instruction de la demande d'autorisation de création de Cigéo ;
- 2017, dépôt de la demande d'autorisation de création par l'Andra ;
- 2020, démarrage de la construction du stockage ;
- 2025, démarrage de l'installation par une phase industrielle pilote.

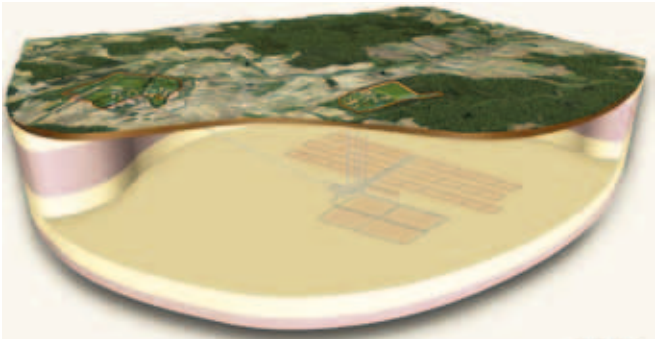


Schéma des installations de surface et souterraines du centre en projet Cigéo

Dans l'attente de l'ouverture de Cigéo, l'entreposage sur les sites des producteurs de ces déchets est un outil indispensable pour la gestion des déchets HA et MA-VL.

AVANT LE STOCKAGE : L'ENTREPOSAGE

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 de les récupérer pour les conditionner ou les évacuer vers un stockage. Contrairement à un stockage, un entreposage est par définition temporaire.

Ses principales fonctions sont :

- entreposage à caractère logistique, permettant de gérer les flux vers les installations de l'Andra, notamment pour les déchets à destination des centres de stockage existants ;
- entreposage de déchets bruts, notamment anciens, en attente de conditionnement avant stockage ;
- entreposage de colis de déchets conditionnés, en attente de la création des centres pour les déchets de haute activité et de faible et moyenne activité à vie longue.

L'entreposage peut aussi être utilisé à des fins de décroissance de la radioactivité des radioéléments à vie courte contenus dans les déchets, par exemple pour permettre l'évacuation vers le CSA de certains déchets ou pour attendre que les colis de déchets de haute activité aient suffisamment refroidi pour être pris en charge en stockage profond.

2. LES DÉCHETS FA-VL

La loi de programme n° 2006-739 du 28 juin 2006, aujourd'hui codifiée dans le code de l'environnement, a chargé l'Andra de mettre au point des solutions de stockage 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. 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.

Une démarche nationale de recherche de site pour l'implantation d'un centre de stockage FA-VL a été lancée en 2008 à la demande du Gouvernement. L'Andra a contacté 3 115 communes, dont le territoire était a priori géologiquement favorable à l'implantation d'un centre de stockage à faible profondeur, afin de leur présenter le projet. Fin 2008, l'Andra a remis au Gouvernement un rapport d'analyse au plan géologique, environnemental et socio-économique de la quarantaine de communes qui avaient marqué leur intérêt pour le projet.

Après consultation de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), de la Commission nationale d'évaluation (CNE) et des élus des territoires concernés, le Gouvernement a demandé à l'Andra en 2009 de mener des investigations géologiques approfondies sur deux communes. Toutefois, ces dernières ont retiré leur candidature.

Suite à ce retrait, le Gouvernement a décidé de repousser les échéances pour donner du temps à la concertation et a demandé à l'Andra d'explorer d'autres scénarios possibles pour la gestion de ces déchets, notamment d'étudier une gestion séparée des déchets radifères et graphite.

En outre, le Gouvernement a saisi le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire pour que soit effectué un retour d'expérience sur la recherche de site. Le HCTISN a remis ses recommandations au Gouvernement en septembre 2011[1].

L'Andra a remis en 2012 un rapport sur les scénarios de gestion à long terme des déchets FA-VL. Ce rapport concluait à la nécessité de lancer des investigations géologiques et de poursuivre les travaux de caractérisation et de R&D sur les déchets pour avancer dans la conception d'un projet de stockage à faible profondeur.

Suite à ce rapport, le Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie a demandé à l'Andra de poursuivre les travaux de recherche de site de stockage, tant auprès des sites accueillant déjà des installations nucléaires que des territoires où des communes s'étaient portées candidates en 2008, comme l'a préconisé le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire.

La Communauté de communes de Soulaines dans l'Aube, qui fait partie des territoires concernés et accueille déjà les centres de stockage de surface exploités par l'Andra, a donné son accord en 2013 pour la réalisation d'investigations géologiques sur son territoire. Conformément à la demande des élus locaux, une démarche de concertation a été mise en place avant toute présence sur le terrain. Les investigations géologiques qui ont été menées dans l'Aube entre mi 2013 et mi 2015 avaient pour objectif d'acquérir une meilleure connaissance de la géologie locale, afin de déterminer si la nature du sous sol est adaptée à l'implantation éventuelle d'un centre de stockage pour des déchets de faible activité à vie longue et pour des déchets de très faible activité.

Conformément à la demande du PNGMDR 2013-2015, l'Andra remettra un rapport d'étape sur la gestion des déchets FA-VL en 2015. Ce rapport portera notamment sur le bilan des investigations géologiques réalisées sur le territoire de la communauté de communes de Soulaines, l'inventaire des déchets retenu pour la suite des études et les actions à mener pour consolider cet inventaire, notamment en matière de caractérisation des éléments radioactifs à vie longue, les options de conception étudiées, et l'évaluation préliminaire des performances du stockage après fermeture ainsi que le calendrier du projet et ses différentes étapes.

En attendant la création par l'Andra d'un centre de stockage adapté, les déchets FA-VL sont entreposés, le plus souvent sur les sites où ils sont produits ou au Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) de l'Andra notamment en ce qui concerne les déchets de l'industrie non électronucléaire.

L'INSTALLATION D'ENTREPOSAGE DU CIRES

L'Andra a mis en service en 2012, au Cires, un bâtiment d'entreposage de déchets radioactifs à vie longue destiné notamment aux déchets de l'industrie non-électronucléaire, d'une surface de 2 000 m².

Les déchets, qui relèvent des catégories FA-VL (pour la plus grande partie) et MA-VL, y sont regroupés dans différents halls selon leurs caractéristiques radiologiques. Ils seront repris pour être stockés au fur et à mesure de la mise en service des centres de stockage.

Les principaux déchets entreposés au Cires à fin 2013 sont :

- des paratonnerres radioactifs ;
- des objets radioactifs détenus par les particuliers (fontaines au radium, objets radioluminescents..) ;
- des objets radioactifs à usage médical utilisés dans l'entre-deux-guerres comme des objets de collection (aiguilles, tubes, compresses au radium) ;
- des déchets (terres, gravats...) résultant de l'assainissement de sites pollués par la radioactivité contenant des éléments radioactifs à vie longue (radium, thorium).



Géophone lors des investigations géologiques FA-VL en 2013



Investigations géologiques FA-VL en 2013

1 *HCTISN – Groupe de travail FAVL – Rapport et recommandations (http://www.hctisn.fr/IMG/pdf/rapport_gtfavl_vf_cle025317.pdf)*

3. LES DÉCHETS FMA-VC

Le stockage en surface des déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC) est pratiqué en France depuis 1969. Il existe en France deux centres dédiés aux déchets de cette catégorie : le Centre de stockage de la Manche (CSM) et le Centre de stockage de l'Aube (CSA).

Environ 527 000 m^3 ont été stockés au Centre de stockage de la Manche entre 1969 et 1994. Ce centre est en phase de surveillance depuis 1994 et n'accueille donc plus de déchets.

Le Centre de stockage de l'Aube, en activité depuis 1992, est implanté sur les communes de Soulaines-Dhuys, Epothémont et La Ville-aux-Bois (10). Il 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.

Les déchets stockés au CSA sont conditionnés dans des colis en béton ou métalliques. Ces colis sont stockés dans des ouvrages en béton armé de 25 m de côté et de 8 m de hauteur, 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, ce qui facilite la surveillance de l'environnement.

Les espaces entre les colis dans un ouvrage sont comblés par du béton ou des gravillons selon qu'il contient des colis métalliques ou en béton. L'ouvrage est ensuite fermé par une dalle de béton et recouvert d'une couche de polyuréthane imperméable. À la fin de l'exploitation du centre, une couverture composée notamment d'argile, sera placée sur les ouvrages pour assurer le confinement des déchets à long terme puis le site sera surveillé pendant au moins 300 ans.

L'étanchéité des ouvrages est vérifiée grâce à un réseau de galeries souterraines, régulièrement contrôlées.



Stockage d'un colis de déchets FMA-VC

4. LES DÉCHETS TFA

À la demande des pouvoirs publics, l'Andra a développé une solution spécifique pour les déchets de très faible activité. En effet, dans de nombreux pays, en dessous d'un certain niveau de radioactivité ou « seuil de libération », les déchets sont gérés comme des déchets conventionnels. En France, tous les déchets contenant ou susceptibles de contenir des éléments radioactifs sont gérés dans des filières dédiées.

Depuis 2003, ces déchets sont stockés au Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires), situé sur les communes de Morvilliers et de La Chaise (10). Ce centre, qui est une installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE), couvre une superficie de 46 ha dont 28,5 réservés au stockage. Il est destiné à accueillir 650 000 m^3 de déchets provenant pour l'essentiel du démantèlement des installations nucléaires françaises. Il s'inspire, dans son principe, des installations de stockage pour les déchets dangereux de l'industrie chimique.

Les colis de déchets, contrôlés à leur arrivée sur le site, sont stockés dans des alvéoles creusés dans l'argile, dont le fond est aménagé pour recueillir d'éventuelles eaux infiltrées. Ils sont isolés de l'environnement par un dispositif comprenant :

- une membrane synthétique entourant les alvéoles de déchets, associée à un système de contrôle de l'étanchéité ;
- la couche d'argile sous et sur les flancs des alvéoles de stockage.

Pendant leur exploitation, les alvéoles sont protégés par des toits démontables formant un tunnel et équipés de dispositifs de surveillance. Une fois remplis, les alvéoles sont couverts d'une couche d'argile associée à un système de collecte de lixiviats et de contrôle.



Alvéole de stockage de déchets TFA

5. LES CAS SPÉCIFIQUES

LES DÉCHETS TRITIÉS

Le tritium est un radionucléide à vie courte (période radioactive d'environ 13 ans), qui est difficilement confinable et peut facilement migrer vers l'environnement. Les déchets contenant du tritium (déchets « tritiés ») sont donc gérés spécifiquement : ils sont entreposés pendant une durée suffisamment longue pour permettre la décroissance de l'activité tritium des colis avant d'être orientés, en fonction de leur niveau de radioactivité et du taux de dégazage résiduel, vers un centre de stockage adapté.

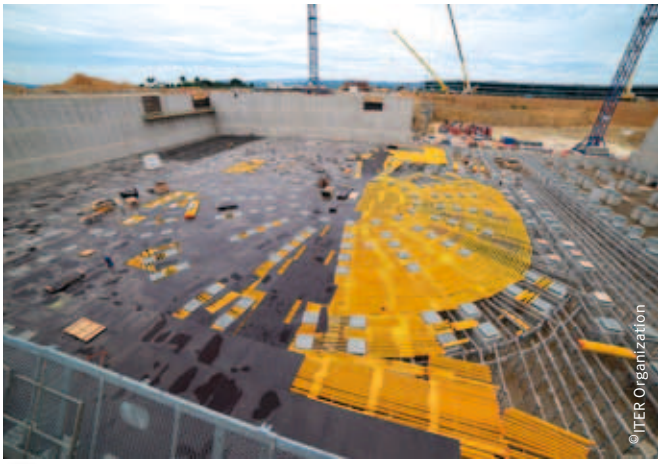
A fin 2013, le volume de déchets tritiés entreposés est d'environ 5 900 m^3. Ces déchets sont la plupart du temps sous forme solide, bien qu'il existe de faibles quantités de déchets tritiés liquides et gazeux.

La grande majorité des déchets tritiés (de l'ordre de 95 %, soit environ 5 550 m^3 à fin 2013) provient du secteur de la Défense nationale, plus précisément en quasi-totalité des activités liées à la force de dissuasion. Par ailleurs, des industriels et des laboratoires de recherche médicale et pharmaceutique ont utilisé et utilisent encore du tritium, générant ainsi des déchets tritiés : à fin 2013, le volume correspondant est de 350 m^3. Enfin, l'installation ITER générera également des déchets tritiés à partir de 2024 et deviendra le premier producteur de déchets tritiés, d'abord dans sa phase de fonctionnement puis, à l'horizon 2060, dans sa phase de démantèlement.

Actuellement, les déchets tritiés sont entreposés sur les sites de production. Le CEA notamment a mis en service en 2012 un centre d'entreposage à Valduc (21) pour accueillir ses propres déchets tritiés de très faible activité. De la même façon, ITER a prévu la construction d'un entreposage pour les déchets produits par son fonctionnement et son démantèlement. Les premiers modules d'entreposage seront disponibles en 2027.

À terme, il est envisagé de bénéficier de l'entreposage d'ITER pour entreposer les déchets tritiés issus des secteurs de la recherche (hors CEA), de l'industrie non électronucléaire et du médical.

Dans l'attente de la mise en service de cette installation, en cas d'urgence pour l'environnement ou la santé, ils pourraient être entreposés sur le site de Valduc (21) de façon transitoire, après accord au cas par cas de l'autorité de sûreté compétente (ASND).



Installation ITER en construction

LES DÉCHETS À VIE TRÈS COURTE

La majeure partie des déchets à vie très courte sont des déchets hospitaliers qui contiennent des radionucléides de période radioactive inférieure à 100 jours, utilisés à des fins diagnostique ou thérapeutique.

Ces déchets sont gérés en décroissance sur leur site de production : ils sont entreposés pendant une durée supérieure à dix fois la période la plus longue des radionucléides qu'ils contiennent.

Leur radioactivité a alors décru d'un facteur 1000 et ils peuvent être évacués vers des filières conventionnelles.



Cuve de décroissance

DOSSIER 2 |

TRAITEMENT ET CONDITIONNEMENT DES DÉCHETS

1. Objectifs du traitement et du conditionnement des déchets | 101

2. Les procédés de traitement et de conditionnement industriels | 102
Compactage
Incinération
Fusion
Évaporation
Cimentation
Bitumage
Enrobage par des résines polymères
Vitrification

3. La recherche et développement sur le conditionnement | 107





1. OBJECTIFS DU TRAITEMENT ET DU CONDITIONNEMENT DES DÉCHETS

Lorsqu'ils sont produits, les déchets radioactifs se trouvent sous une forme brute, gazeuse, liquide ou solide. Pour pouvoir gérer ces déchets, il est nécessaire de les **conditionner,** c'est-à-dire de fabriquer des « colis de déchets » permettant de les manutentionner et garantissant la non dispersion des radionucléides. En fonction de la nature physico-chimique des déchets, l'opération de conditionnement peut être précédée d'un traitement qui transforme le déchet initial en un déchet présentant des caractéristiques plus appropriées pour sa gestion à long terme en réduisant autant que possible son volume et sa nocivité.

Le conditionnement peut ainsi être défini comme étant l'ensemble des opérations consistant à introduire les déchets, éventuellement traités au préalable, dans un conteneur, où ils peuvent être incorporés ou non dans un matériau d'enrobage, pour former un colis de déchets.

Le choix du traitement, de la matrice et du conteneur est principalement lié aux caractéristiques, notamment radiologiques, des déchets bruts. Il vise aussi à la meilleure réduction de volume possible. Par exemple, les déchets TFA sont simplement mis en big-bags ou en grands caissons, sans matrice de blocage tandis que les solutions de produits de fission issues du traitement des combustibles usés sont vitrifiées puis mises dans des conteneurs en inox soudés.

Les principales matrices utilisées de façon industrielle pour conditionner des déchets liquides ou pulvérulents sont :

- la matrice vitreuse notamment pour les solutions de produits de fission ;

- le bitume notamment pour l'enrobage de boues et de concentrats d'évaporation résultant du traitement des effluents liquides ;

- la matrice cimentaire pour les boues, concentrats d'évaporation, cendres d'incinération...

La matrice homogène contenant les radionucléides est alors coulée dans un conteneur pour constituer le colis.

Pour les déchets solides, deux procédés sont utilisés couramment :

- l'enrobage par un liant hydraulique des déchets compactés ou non après leur mise en conteneur ;

- sans ajout de ciment, l'empilement direct de galettes compactées dans un conteneur.

D'autres procédés peuvent être mis en œuvre dans des cas particuliers :

- les boues de coprécipitation pourraient être séchées puis compactées sous forme de pastilles. Ces pastilles seraient ensuite introduites dans des fûts en acier inoxydable. Du sable serait enfin ajouté aux pastilles afin de combler les vides industriels ;

- enfin, des billes de verre pourraient être utilisées pour combler les vides interstitiels dans le cas de conditionnement de déchets solides de haute activité.

Les colis de déchets ainsi obtenus sont hétérogènes.

Les conteneurs sont de différentes formes (cylindriques ou parallélépipédiques), adaptées à leur contenu. Différents matériaux sont utilisés pour ces conteneurs. Les plus utilisés aujourd'hui sont le béton, fibré ou non, et l'acier inoxydable.

Un colis de déchets est donc généralement constitué d'un conteneur primaire contenant :

- des déchets initialement liquides, pulvérulents ou sous forme de boues, incorporés dans un matériau d'enrobage ;

- des déchets solides enrobés ;

- des déchets solides, compactés ou non.

Pour pouvoir être pris en charge dans une installation d'entreposage ou de stockage, le colis de déchets doit respecter les spécifications d'acceptation définies pour cette installation. Ces spécifications sont établies à partir des caractéristiques de l'installation concernée et précisent les performances attendues du colis en fonction des déchets qu'il contient. Par exemple, elles peuvent interdire la présence de déchets putrescibles ou liquides ou limiter la quantité de rejet gazeux d'un colis de déchets.

DÉFINITIONS

Les différents documents de l'Inventaire national utilisent les définitions suivantes, issues de l'arrêté du 9 octobre 2008 modifié par l'arrêté du 4 avril 2014 [1] :

- *« Déchet conditionné »* : un déchet qui :
  - soit est accepté sans traitement complémentaire dans un centre de stockage en exploitation,
  - soit est conforme aux spécifications d'acceptation en stockage du centre en exploitation auquel il est destiné,
  - soit pour lequel aucun traitement complémentaire n'est envisagé par son producteur avant stockage dans le cas où il n'existe pas de centre de stockage en exploitation pour ce déchet ;
- *« Déchet préconditionné »* : un déchet qui n'est pas en vrac et pour lequel un traitement complémentaire (décontamination, blocage, compactage, vitrification, fusion, injection, incinération…) est envisagé par son producteur avant stockage ;
- *« Déchet non conditionné »* : un déchet qui est en vrac, notamment s'il se trouve dans des cuves, des fosses ou des silos.

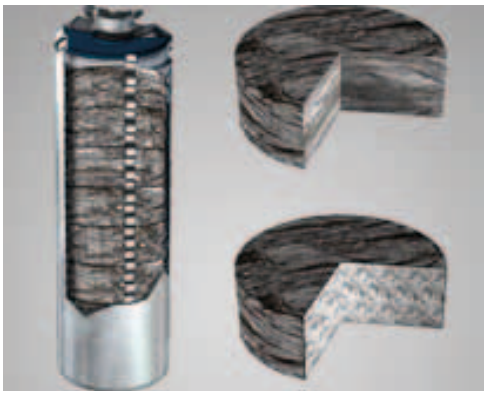
2. LES PROCÉDÉS DE TRAITEMENT ET DE CONDITIONNEMENT INDUSTRIELS

Depuis les années 1950 et la mise en service des premiers réacteurs nucléaires en France, de nombreux procédés de traitement et de conditionnement ont été développés pour gérer les déchets produits par l'ensemble des installations nucléaires.
Les principaux procédés mis en œuvre couramment et de façon industrielle sont décrits ci-après.

COMPACTAGE

Le compactage est destiné à réduire le volume de certains déchets solides, notamment métalliques ou plastiques. Ce procédé utilise des presses de différentes technologies et de capacité allant de quelques centaines de tonnes à quelques milliers de tonnes, en fonction de la nature des déchets à compacter. Après compactage, les déchets sont mis en conteneur et éventuellement bloqués par un liant hydraulique.

Le compactage est généralement mis en œuvre par les producteurs de déchets (La Hague, Cadarache…), mais les centres de stockage en exploitation disposent aussi d'installations de compactage.



Colis standard de déchets compactés fabriqué à La Hague

[1] *Arrêté du 4 avril 2014 modifiant l'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.*

Ainsi, le Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) de déchets de très faible activité dispose de deux presses.

De même, le Centre de stockage de l'Aube (CSA) dédié aux déchets de faible et moyenne activité à vie courte dispose d'une presse destinée au compactage de ferrailles peu massives ou de déchets comme des chiffons ou des plastiques préconditionnés en fût de 200 litres.

Sur le site AREVA de La Hague, le compactage est également utilisé pour le conditionnement des déchets de structure issus des combustibles usés après traitement ainsi que pour le conditionnement de certains déchets technologiques métalliques. Les déchets de structure et les déchets technologiques sont répartis dans des étuis. Ces derniers sont ensuite compactés. Les galettes ainsi obtenues sont empilées dans un conteneur standard de déchets en acier inoxydable, à raison d'environ huit par colis.



Presse à compacter du CSA

EXEMPLE



COLIS DE DÉCHETS COMPACTÉS

Les éléments des structures des assemblages de combustibles usés des réacteurs de la filière à eau légère : tubes de gainage, pièces d'extrémité d'assemblage, grilles, ressorts... sont compactés et conditionnés dans l'atelier de compactage des coques (ACC) de La Hague, démarré en 2002. Les colis contiennent également des déchets solides métalliques d'exploitation compactés.

Ces colis de déchets, qui relèvent de la famille F2-3-02, se présentent sous la forme d'un conteneur en inox d'environ 1,4 m de hauteur et 43 cm de diamètre contenant de l'ordre de 600 kg de déchets compactés.

INCINÉRATION

L'incinération, qui permet de réduire de façon significative la masse et le volume de déchets et de concentrer leur radioactivité dans les cendres, est particulièrement adaptée aux déchets liquides aqueux et organiques ou aux solvants ainsi qu'aux déchets solides organiques, notamment de très faible activité ou de faible et moyenne activité à vie courte. Les résidus d'incinération se présentent sous la forme de mâchefers, de scories et de cendres, qui peuvent être ensuite conditionnés par cimentation.

La plupart du temps, l'incinération est réalisée dans l'installation Centraco de Socodei à Marcoule, en service depuis 1999, qui peut traiter des déchets liquides et solides.

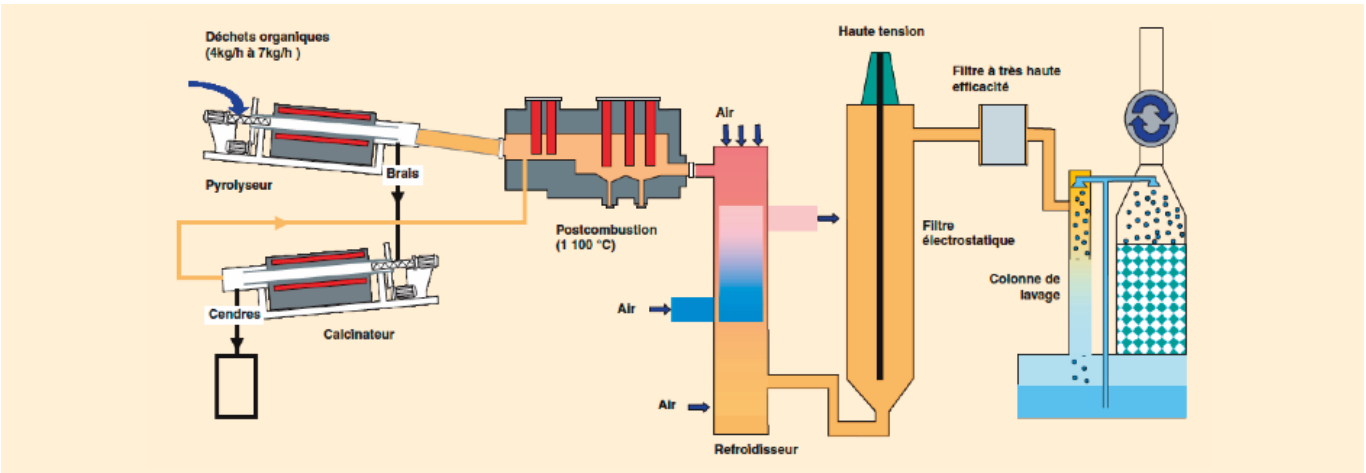


Schéma de principe du procédé IRIS d'incinération développé par le CEA

EXEMPLE


D.R.

COLIS DE DÉCHETS DE RÉSIDUS D'INCINÉRATION CIMENTÉS

Les résidus d'incinération dans l'usine Centraco de déchets liquides aqueux et organiques, de solvants et liquides de scintillation, ainsi que de déchets solides de maintenance incinérables se présentent sous la forme de mâchefers, de scories et de cendres. Ces résidus d'incinération bruts sont broyés et mélangés avec un matériau à base de ciment, pour être coulés dans un fût en acier non allié dont le couvercle est ensuite soudé, constituant ainsi les colis rattachés à la famille F3-7-01.

La masse du colis fini est d'environ 1,5 tonne pour un volume de 450 litres : un tel colis contient environ 370 kg de résidus bruts d'incinération.

FUSION

Comme l'incinération, la fusion permet de réduire le volume de déchets. Par contre, elle ne réduit pas leur masse mais permet une certaine décontamination de ces déchets qui peuvent ensuite éventuellement être recyclés. La fusion est utilisée pour le traitement de déchets métalliques.

La fusion est pratiquée dans l'installation Centraco pour traiter des déchets en acier ou en métal non ferreux provenant des opérations de maintenance ou de démantèlement des installations nucléaires.

ÉVAPORATION

Avant conditionnement, les déchets liquides sont parfois, lorsque leurs caractéristiques chimiques le permettent, concentrés par chauffage et évaporation, ce qui permet d'en réduire le volume. Les concentrats ainsi obtenus sont ensuite conditionnés directement, par cimentation ou bitumage par exemple.

L'évaporation est généralement intégrée, sur le site des producteurs, à l'installation mettant en œuvre le conditionnement retenu pour les concentrats.

CIMENTATION

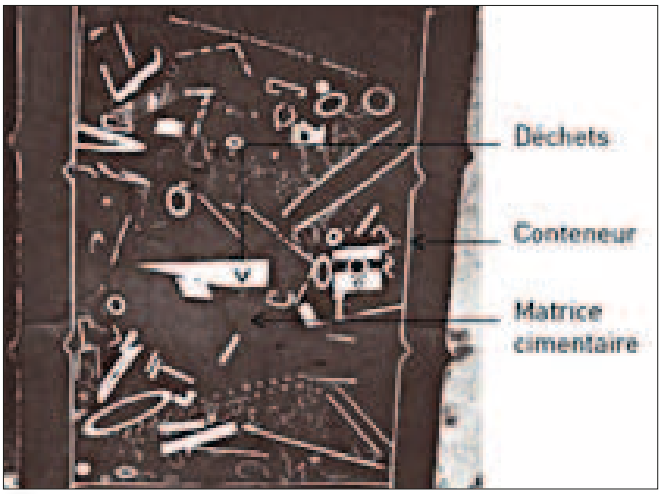
Le procédé de cimentation est utilisé soit :

- pour conditionner des déchets solides tels que des déchets technologiques, des déchets activés et des déchets de structure. Il produit dans ce cas des colis de déchets hétérogènes ;

- pour enrober des déchets en solution ou sous forme pulvérulente : concentrats d'évaporation, boues de traitements chimiques, résines échangeuses d'ions... Les colis de déchets ainsi fabriqués sont homogènes.

Il s'agit du procédé de conditionnement le plus largement utilisé. En effet, les ciments réunissent de nombreux facteurs favorables : disponibilité, coût modeste, simplicité de mise en œuvre, bonne résistance mécanique et, en général, stabilité dans le temps.

Bien que la cimentation soit largement mise en œuvre sur les sites des producteurs de déchets (La Hague, Cadarache, Marcoule, Saclay...), des installations de cimentation sont aussi disponibles au Cires et au CSA.



Vue en coupe d'un colis de déchets technologiques en vrac immobilisés par cimentation

EXEMPLE


D.R.

COLIS DE DÉCHETS CIMENTÉS

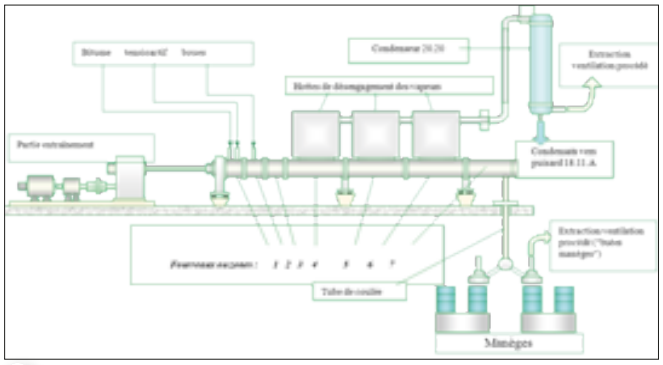
Les déchets générés lors du fonctionnement courant des différents ateliers et laboratoires, d'opérations de maintenance ou de démantèlement des installations du site de La Hague sont conditionnés dans des conteneurs cylindriques en béton-fibres. Sur la base de l'activité des déchets, ces colis sont soit stockés au CSA (famille F3-3-11) soit entreposés dans l'attente de la disponibilité d'un centre de stockage adapté (familles F2-3-08 ou F9-3-03).

La masse du colis fini est d'environ 2,5 tonnes pour un volume de 1,18 m^3 : un tel colis contient environ 450 kg de déchets.

BITUMAGE

Le procédé d'enrobage par bitumage consiste à mélanger à chaud des déchets se présentant sous forme de boues à du bitume. Le mélange obtenu est déshydraté et coulé dans un conteneur où il est refroidi. À l'origine, le bitume a été choisi comme matériau d'enrobage des déchets radioactifs pour son pouvoir agglomérant élevé, sa grande inertie chimique, son imperméabilité, sa faible solubilité dans l'eau, son pouvoir de confinement important, son coût modéré et, enfin, sa disponibilité.

Ce procédé a essentiellement été mis en œuvre sur les sites des producteurs de déchets pour conditionner les boues de précipitation résultant du traitement des effluents liquides. Il est aujourd'hui progressivement abandonné au profit de la cimentation ou de la vitrification, en fonction de la nature des déchets à traiter.



Principe du procédé de bitumage

EXEMPLE


D.R.

COLIS DE BOUES BITUMÉES

Les effluents de faible et moyenne activité, issus des installations de Marcoule, sont traités par coprécipitation chimique à la station de traitement des effluents liquides. Le déchet résiduel se présente sous forme de boues. Celles-ci sont ensuite enrobées dans une matrice bitumineuse et conditionnées dans des fûts en acier inoxydable.

Sur la base de l'activité des déchets, ces colis sont soit stockés au CSA (famille F3-4-03) soit entreposés dans l'attente de la disponibilité d'un centre de stockage adapté (famille F2-4-03).

ENROBAGE PAR DES RÉSINES POLYMÈRES

En fonction de leurs caractéristiques radiologiques et physico-chimiques, les déchets solides peuvent aussi être enrobés par une résine polymère, plutôt que par un liant hydraulique ou du bitume. Ce procédé est notamment mis en œuvre pour conditionner les résines échangeuses d'ions qui sont utilisées dans les circuits de contrôle volumétrique et chimique du circuit primaire des réacteurs nucléaires, de traitement et purification des eaux de piscines et de traitement des effluents usés.

Ce procédé consiste à mélanger les résines échangeuses d'ions avec une matrice époxy puis à les conditionner dans des conteneurs cylindriques en béton.

VITRIFICATION

La vitrification consiste à mélanger intimement, dans un creuset et à haute température, des déchets radioactifs généralement liquides, préalablement calcinés, à une fritte de verre dont la composition est adaptée à la nature chimique des déchets afin d'intégrer, à l'échelle atomique, tous les radionucléides présents dans les déchets au réseau vitreux de manière homogène. Le mélange ainsi obtenu est ensuite coulé dans un conteneur en inox. Du fait de sa composition chimique et de sa structure amorphe, le verre se révèle particulièrement résistant à l'échauffement et à l'irradiation et présente une bonne durabilité chimique sur de longues durées.

Mis en œuvre depuis plusieurs décennies dans les usines de Marcoule et de La Hague, ce procédé est aujourd'hui la référence industrielle pour le conditionnement des solutions de produits de fission issues du traitement des combustibles usés. Des développements technologiques, notamment autour de l'utilisation d'un creuset froid, ont permis d'une part de limiter les déchets induits par le procédé et d'autre part d'élargir le champ d'application de ce procédé à d'autres types de déchets.

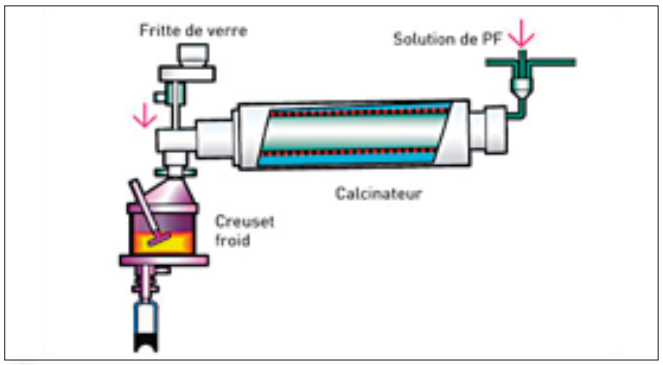


Schéma du procédé de vitrification en creuset froid en deux étapes (calcination-vitrification)

EXEMPLE


D.R.

COLIS DE DÉCHETS VITRIFIÉS

La première mise en œuvre industrielle de la vitrification s'est faite dans l'atelier de vitrification de Marcoule, en 1978. Cet atelier, qui est arrêté depuis 2012, a produit 3 159 colis de déchets vitrifiés, relevant de la famille F1-4-01.

Ces colis de déchets se présentent sous la forme d'un conteneur en inox d'environ 1 m de hauteur et 50 cm de diamètre contenant de l'ordre de 360 kg de déchets vitrifiés.

3. LA RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT SUR LE CONDITIONNEMENT

PIVIC

VERS UN NOUVEAU PROCÉDÉ POUR TRAITER LES DÉCHETS CONTAMINÉS PAR DES ÉMETTEURS ALPHA

Areva et le CEA, en lien avec l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra), développent un nouveau procédé pour traiter les déchets contaminés par des émetteurs alpha. Ce projet porte sur le traitement et le conditionnement des déchets technologiques solides, mélange de métaux et de matières organiques (vinyles, polyéthylène, gants en polymères) issus principalement du fonctionnement de l'usine MELOX qui produit le MOX.

Beaucoup moins radioactifs que les déchets issus du traitement des combustibles usés, ils doivent cependant être stockés dans des colis adaptés. C'est là qu'interviendrait un procédé innovant, appelé PIVIC (Procédé d'Incinération Vitrification In Can), qui vise à les traiter et les conditionner en une seule étape.

Le principe consiste à introduire les déchets dans un four et à les incinérer par une torche à plasma sur un bain de verre fondu. Les cendres résultantes sont ainsi incorporées au verre. Le conteneur de déchets contiendra ainsi une phase métallique en fond de conteneur et une phase verre sur le dessus. Ce conteneur sera ensuite introduit dans un colis adapté pour son stockage.

Ce procédé, aujourd'hui à l'étude, rassemble plusieurs procédés et notamment l'incinération par torches à plasma, la vitrification, la fusion par induction et le traitement des gaz.

Si sa faisabilité est démontrée, la mise en œuvre industrielle du procédé PIVIC pourrait avoir lieu à l'horizon 2035.

GÉOPOLYMÈRE

DÉVELOPPEMENT D'UN LIANT HYDRAULIQUE SPÉCIFIQUE POUR LES DÉCHETS MAGNÉSIENS

Les déchets magnésiens entreposés dans les fosses de l'atelier de dégainage à Marcoule se présentent sous forme de gaines de magnésium métallique en vrac, broyées ou compactées. Des développements d'un liant hydraulique spécifique (dénommé géopolymère) sont actuellement conduits pour maîtriser les interactions physico-chimiques entre le matériau d'enrobage et les déchets.

DOSSIER 3 |

DÉMANTÈLEMENT ET ASSAINISSEMENT

1. Le démantèlement des installations nucléaires | **109**
Introduction
Les déchets issus du démantèlement
Les opérations de démantèlement réalisées ou en cours en France

2. L'assainissement des sites pollués par la radioactivité | **120**
Le rôle de l'Andra dans sa mission de service public
Exemple de chantier d'assainissement Andra - Focus sur l'assainissement de deux parcelles à Gif-sur-Yvette



1. LE DÉMANTÈLEMENT DES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES

Comme toute installation industrielle, une installation nucléaire[1] a une durée de fonctionnement limitée. Lorsqu'elle arrive en fin de vie, il est nécessaire de procéder à son démantèlement afin de parvenir à un état où l'impact et le risque résiduel de cette installation sur le public, les travailleurs et l'environnement sont aussi faibles que possible.

LES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES DE BASE SECRETES

Une installation nucléaire de base secrète (INBS) est un périmètre géographique comprenant au moins une installation nucléaire de base qui intéresse la Défense et qui justifie d'une protection particulière contre la prolifération nucléaire, la malveillance ou la divulgation d'informations classifiées. L'ensemble des installations et équipements, nucléaires ou non, compris dans le périmètre susmentionné fait partie de l'INBS. Les installations nucléaires comprises dans l'INBS sont appelées « installations individuelles de l'INBS ».

Le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection des INBS relève de l'Autorité de sûreté nucléaire de Défense, placée sous l'autorité du Délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection pour les activités et installations intéressant la Défense (DSND). L'Autorité de Sûreté Nucléaire Défense (ASND) définit la réglementation en matière de sécurité nucléaire des INBS de façon cohérente et coordonnée avec celle définie par l'Autorité de sûreté nucléaire. Comme cette dernière, elle est indépendante des exploitants nucléaires.

1 Les phases de vie d'une installation nucléaire

Deux grandes phases peuvent être distinguées dans la vie d'une installation nucléaire :

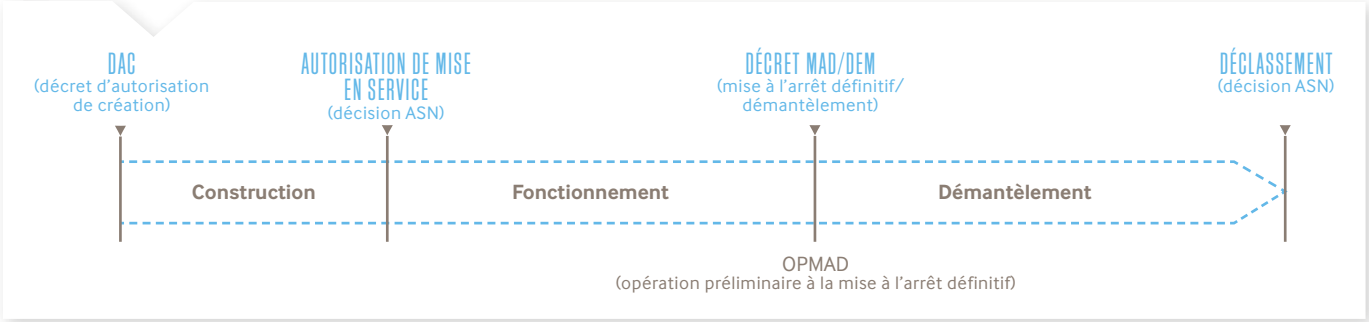
- la phase de fonctionnement de l'installation ;
- la phase de démantèlement, succédant à la mise à l'arrêt définitif de l'installation.

Excepté en cas de risques graves et imminents, c'est l'exploitant d'une installation nucléaire qui décide de l'arrêt de son fonctionnement et avertit les autorités de cette décision. Dès cette décision, la phase de préparation à la mise à l'arrêt définitif commence. Cette étape de transition permet aux équipes chargées de l'exploitation de l'installation nucléaire, dans le cadre de l'autorisation d'exploitation, de procéder à l'évacuation du maximum de substances radioactives et dangereuses de l'installation, à la mise à l'arrêt des procédés et à la préparation des opérations de démantèlement (préparation des chantiers, formation des équipes, etc.). Dans le cas d'un réacteur nucléaire, le combustible est évacué de l'installation. Dans le cas d'une usine de retraitement, par exemple, les procédés sont vidangés et rincés. Les fonctions de sûreté requises continuent à être assurées.

À l'issue de la phase de préparation à la mise à l'arrêt définitif, l'installation doit s'engager dans la phase de démantèlement, qui nécessite une nouvelle autorisation administrative sous forme d'un décret d'autorisation de mise à l'arrêt définitif et de démantèlement.

À l'issue de son démantèlement, et sous certaines conditions, liées notamment à l'état final atteint, une installation nucléaire peut être déclassée : dans ce cas, elle n'est plus soumise au régime juridique et administratif.

PHASE DE VIE D'UNE INB



1 *Par installation nucléaire, on désigne dans ce dossier soit une installation nucléaire de base soit une installation individuelle d'une installation nucléaire de base secrète.*

2 La stratégie de démantèlement adoptée en France

Deux stratégies différentes sont envisageables pour le démantèlement des installations nucléaires :

- démantèlement différé, plusieurs décennies après l'arrêt de l'installation, la décroissance radioactive devant alors permettre des opérations de démantèlement moins complexes ;
- démantèlement immédiat, dès l'arrêt de l'installation.

Le choix dépend des réglementations nationales, des facteurs socio-économiques, de la capacité et du mode de financement des opérations, de la disponibilité des filières d'élimination de déchets, de la disponibilité de techniques de démantèlement et de personnel qualifié.

La stratégie retenue en France est celle du démantèlement au plus tôt après l'arrêt définitif de l'installation. Cette stratégie permet en effet de profiter des connaissances et compétences présentes au sein des équipes d'exploitation de l'installation, de ne pas reporter les opérations sur les générations futures et de s'assurer de la disponibilité des fonds pour le déroulement des opérations *(voir le paragraphe 1.5 du PNGMDR 2013-2015 « le coût et le financement de la gestion des déchets »)*. La mise en œuvre de cette stratégie dans un délai aussi court que possible est dépendante de la disponibilité des exutoires.

DÉFINITION : DÉMANTÈLEMENT

Le démantèlement est l'ensemble des opérations techniques qui visent, après l'arrêt définitif d'une installation nucléaire, à l'assainir en éliminant les substances radioactives et dangereuses et les structures ou équipements les ayant contenues. Ces opérations sont conduites en vue d'atteindre un état final préalablement défini, notamment en fonction de l'usage futur : démontage des équipements, assainissement des locaux, assainissement ou réhabilitation des sols, destruction éventuelle du génie civil, conditionnement, évacuation et élimination des déchets générés (radioactifs ou non).

DÉFINITION : DÉCLASSEMENT

Le déclassement est une opération administrative consistant à supprimer l'installation de la liste des « installations nucléaires de base ». L'installation n'est dès lors plus soumise au régime juridique et administratif des installations nucléaires de base. Le déclassement permet la levée des contrôles réglementaires auxquels est soumise une installation nucléaire de base.

Le déclassement peut être subordonné à la mise en place de servitudes d'utilité publique (restrictions d'usage, surveillance...)

LES DÉCHETS ISSUS DU DÉMANTÈLEMENT

Les déchets induits par les opérations de démantèlement sont de deux types : conventionnels ou radioactifs. Pour identifier les déchets qui relèvent de l'une ou l'autre de ces catégories, les installations sont découpées en zones, qui prennent en compte l'historique 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 production possible de déchets nucléaires (ZDN) sont tous gérés comme s'ils étaient radioactifs, même si aucune radioactivité n'y est détectée.

Le zonage déchets peut être revu entre le fonctionnement et le démantèlement pour prendre en compte les spécificités des différentes phases de l'exploitation et permettre une gestion optimisée des déchets. Afin de déclasser les zones à production possible de déchets nucléaires (ZDN) en zone à déchets conventionnels (ZDC), les structures de ces zones sont assainies de manière à éliminer les parties considérées comme déchets nucléaires.

1 Nature des déchets issus du démantèlement

Les déchets de démantèlement sont pour 80 % des déchets conventionnels, notamment des gravats et des métaux, et pour 20 % des déchets radioactifs. Ces derniers sont majoritairement de très faible activité (TFA) et de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC) :

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

Il s'y ajoute des déchets à faible activité à vie longue, notamment les déchets de graphite provenant de la première filière française de réacteurs dite « uranium naturel graphite gaz » et des déchets de moyenne activité à vie longue en faible quantité (déchets activés, dont des pièces métalliques situées au cœur des réacteurs).

Les déchets radioactifs issus du démantèlement sont gérés de la même manière que les déchets de fonctionnement des installations. Ils sont triés, subissent éventuellement un traitement puis sont conditionnés *(Voir dossier thématique sur le traitement/conditionnement)*, avant d'être entreposés en attente de l'ouverture de la filière de stockage adéquate ou transportés vers les centres de stockage adaptés à leur niveau de radioactivité.

2 Estimation des quantités de déchets issus du démantèlement

Lors de la préparation des opérations de démantèlement, la quantité et la nature des déchets qui seront produits sont évalués de la façon la plus précise possible et les moyens de traitement et de conditionnement à mettre en œuvre sont définis. Ces évaluations prennent en compte la totalité des déchets produits par l'opération, y compris les déchets secondaires induits, par exemple les volumes d'effluents engendrés par la décontamination.

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

Les quantités de déchets qui seront produites par le démantèlement de ces installations sont alors évaluées en utilisant des « ratios techniques » qui ont été établis et sont régulièrement mis à jour sur la base du retour d'expérience des opérations de démantèlement déjà réalisées. Ces ratios 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.

PERSPECTIVES DU DÉMANTÈLEMENT À L'INTERNATIONAL

De 300 à 400 réacteurs nucléaires atteindront leur fin de vie, à l'échelle mondiale, dans les vingt ans qui viennent. D'autres installations nucléaires devront également être assainies et démantelées : des dizaines d'installations de recherche ainsi que des usines de fabrication et de recyclage de combustible.

Les plus grands marchés internationaux sont en Amérique et surtout aux Etats-Unis, mais aussi en Europe. Une croissance significative est attendue en Allemagne dans quelques années en raison de l'arrêt de huit de ses centrales en 2011. Il y a aussi des projets importants au Royaume-Uni. Le Japon est un cas particulier en raison de l'accident de Fukushima et des besoins de démantèlement du site.

Les opérations d'assainissement-démantèlement nucléaire sont des chantiers complexes qui nécessitent différents savoir-faire et technologies spécifiques. Même si une majeure partie des opérations utilise des techniques courantes, adaptées au milieu nucléaire, le développement de méthodes, procédés et outils spécifiques est nécessaire dans certains domaines. La France a ainsi acquis une compétence reconnue dans les domaines de la mesure de la radioactivité, de la décontamination, de la robotique, de la découpe (procédés laser notamment), mais aussi du conditionnement des déchets et du traitement des effluents spécifiques générés par ces opérations.

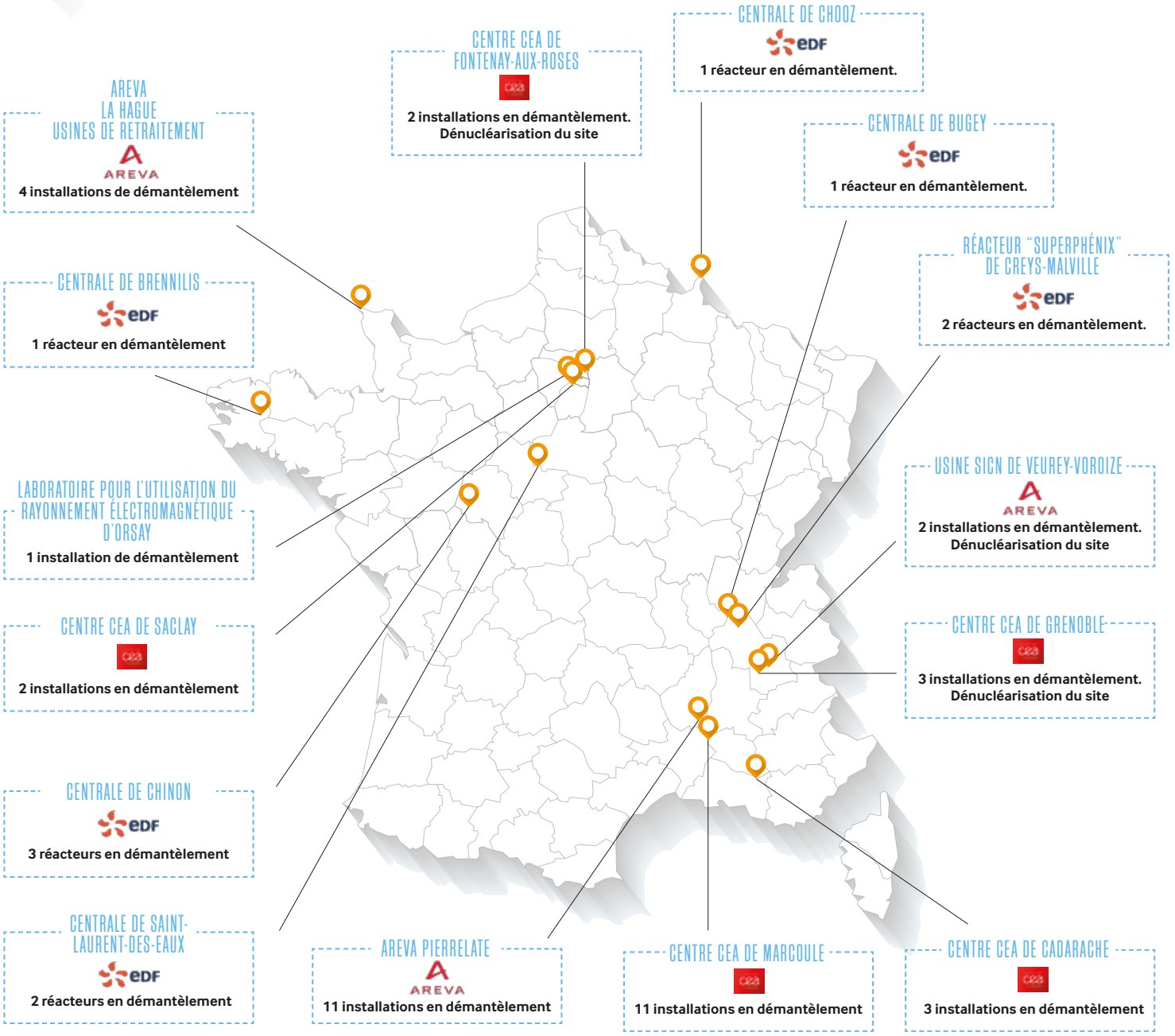
L'expertise acquise par les entreprises françaises dans l'ensemble des domaines concernés, de façon intégrée, au travers des opérations d'assainissement-démantèlement menées sur des installations de recherche ou de production depuis plus de 20 ans positionne clairement ces entreprises comme étant susceptibles de répondre efficacement pour répondre aux défis que présentent ces grands chantiers internationaux.

LES OPÉRATIONS DE DÉMANTÈLEMENT RÉALISÉES OU EN COURS EN FRANCE

Depuis plus d'une trentaine d'années, des opérations de démantèlement d'installations de R&D, de réacteurs de recherche ou d'installations liées au cycle du combustible, ont été réalisées sur différents sites. Trente installations nucléaires, dont quatorze réacteurs de recherche, deux accélérateurs ... ont ainsi été déclassées.

Actuellement neuf réacteurs électronucléaires dits de première génération, de technologie et de conception différentes (réacteurs rapides à sodium, à eau lourde, graphite/gaz...) sont en cours de démantèlement par EDF. D'autres installations nucléaires sont également en cours de démantèlement et concernent des installations d'AREVA (cycle du combustible) et du CEA (réacteurs de recherche ou prototypes, installations de recherche et laboratoires).

LES INSTALLATIONS EN COURS DE DÉMANTÈLEMENT



Démantèlement de deux anciens sites de production de combustible d'uranium naturel et d'usinage d'uranium métal

1 Historique des activités industrielles de SICN

La SICN (Société Industrielle de Combustible Nucléaire) a été fondée en 1957 et le siège social fut domicilié dès l'origine à Annecy dans l'établissement déjà construit de la SACM (Société Alsacienne de Constructions Mécaniques) qui fabriquait des engins pour la Marine Nationale. Dès 1954-1955, un atelier avait été installé à Annecy pour fabriquer des éléments combustibles pour les réacteurs G1, G2 et G3 en liaison avec le centre du CEA de Saclay. Le souhait du CEA que SICN puisse commencer rapidement les études et la mise au point des futurs éléments combustibles de la filière graphite-gaz a conduit au projet de construction du Laboratoire SICN de Veurey. L'activité a démarré dès novembre 1960.

De 1961 à 1980, les activités d'études métallurgiques, de comportement des matériaux, de conception et de fabrication des combustibles à base d'uranium métal et d'UO_2 fritté ont été réalisées pour les réacteurs de recherche, les réacteurs graphite gaz et les réacteurs à « neutrons rapides » dans les deux INB 65 (Usine de fabrication de combustibles nucléaires) et 90 (Atelier de pastillage) du site de Veurey.

Après 1980, les activités ont été orientées vers l'usinage d'uranium métal (CEA/DAM), le développement de procédés pour les combustibles de réacteurs d'essais (ex: MOX) et la fabrication de machines spéciales.

Pour le site d'Annecy, dont les activités sont réglementées par la législation relative aux installations classées pour la protection de l'environnement, son activité principale jusqu'en 1980 était orientée vers la mise au point et la fabrication de combustibles, à partir d'uranium métal pour la filière graphite-gaz. L'activité s'est ensuite diversifiée dans la mécanique générale et la micromécanique. C'est à la même période, en 1980, que SICN a intégré le groupe COGEMA, aujourd'hui AREVA NC. Les fabrications de combustibles pour les réacteurs de type Uranium Naturel Graphite Gaz dans le bâtiment principal ont cessé en 1992. SICN s'est alors orientée vers la fabrication de munitions à obus flèches en uranium appauvri (activité abandonnée en 1998) et la production de divers composés en acier destinés à l'industrie.

En 2002, la décision est prise d'arrêter les activités et de lancer le projet d'assainissement et de démantèlement.

En 2013, la fin des travaux de démantèlement et d'aménagement permet un retour à usage industriel des deux sites.

2 Objectif et enjeux du projet

En 2003, l'objectif du projet SICN (Veurey et Annecy) est d'assainir les deux sites et de procéder aux démantèlements nécessaires de façon à les déclasser pour des fins d'usage industriel.

Les principaux enjeux du projet ont été le traitement d'environ 100.000 m² de surface développée des bâtiments et le retrait des canalisations et puisards, l'évacuation de plus de 16.000 t de déchets TFA produits par les travaux d'assainissement et la conduite des opérations entre 2003 et 2012 dans le but d'atteindre un état final défini avec l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) et la DREAL de Haute-Savoie.

L'état final visé est tel que l'impact et le risque résiduel des installations sur le public, les travailleurs et l'environnement soient aussi faibles que possible.



Site de Veurey

DÉROULEMENT DU PROJET DE DÉMANTÈLEMENT



Chantier de reconditionnement des déchets



Aménagement de la zone travaux de Veurey

Le projet du démantèlement s'est déroulé en trois phases :

1 « **Préparatoire** au démantèlement »

Cette première phase s'est déroulée depuis l'arrêt des activités industrielles en 2002 jusqu'à l'obtention des décrets d'autorisation de mise à l'arrêt définitif et de démantèlement en 2006 pour Veurey et les Arrêtés Préfectoraux autorisant la réalisation des travaux en 2005 pour Annecy.

Pendant cette période, les opérations préparatoires à la mise à l'arrêt définitif (OPMAD) ont été très intenses comme le conditionnement et l'évacuation des matières radioactives résiduelles vers les différents propriétaires (environ 70 tonnes), les cartographies et investigations radiologiques et chimiques des différentes zones des sites pour définir les catégorisations des surfaces à traiter des bâtiments et les modes opératoires associés et également pour préparer les dossiers d'étude d'impact des aires extérieures.

Sur l'aspect logistique, la préparation des futurs chantiers et surtout l'organisation de la gestion de l'élimination des déchets depuis les zones de production jusqu'aux centres de stockage y compris les dossiers d'acceptation sont prépondérants.

Les plus importants ont été l'aménagement d'un hall d'entreposage des déchets, le remplacement de la station de traitement d'effluents, l'installation de vestiaires, le dévoiement des réseaux des utilités et les déménagements.

DÉROULEMENT DU PROJET DE DÉMANTÈLEMENT

2 « Travaux de démantèlement »



Opérations de démontage de machines-outils et boîtes à gants



Assainissement de la dalle de sol et des galeries du bâtiment A



Travaux de déconstruction sous sas de l'ancienne fonderie d'Annecy

La réalisation des travaux de démantèlement entre 2005 et 2012 constitue la deuxième étape du projet. Les travaux ont été réalisés par bâtiment jusqu'au déclassement de toutes les zones à déchets « nucléaires ». L'assainissement des structures de génie civil des bâtiments des sites a été réalisé suivant les recommandations de l'ASN [I] et validée par les administrations compétentes. Cette procédure d'assainissement des structures de génie civil a été déclinée à chaque bâtiment du site d'après leur historique et les cartographies radiologiques initiales, permettant ainsi d'obtenir une vision précise des surfaces à assainir.

Les travaux de dépose et de conditionnement des équipements de production et des utilités (machines-outils, boites à gants, ventilations, tuyauteries de procédés, des alimentations électriques, des réseaux d'eau industrielle et d'air comprimé) sont réalisés en préalable à l'assainissement et démantèlement des structures de chaque bâtiment.

Les travaux d'assainissement et de démantèlement des structures des bâtiments permettent le traitement des structures de génie civil, des charpentes métalliques, des galeries et fosses enterrées. Plusieurs scénarios ont été étudiés en fonction des spécificités des bâtiments notamment liées à la nature des matériaux et de leur type de contamination pour définir les moyens de confinement (sas éventuel) et les outillages.

Pendant cette période, les déchets produits ont été évacués principalement au Cires (environ 16 000 t de déchets TFA pour les deux sites qui ont nécessité la mise en œuvre de 1 000 transports). On peut noter également le traitement d'une partie des déchets dits « exotiques » issus de l'exploitation comme les huiles contaminées et les boues issues des stations de traitement d'effluents avant incinération à Centraco.

DÉROULEMENT DU PROJET DE DÉMANTÈLEMENT

3 « Réindustrialisation des sites »

La troisième phase est celle relevant des actions mises en œuvre permettant la ré-industrialisation des sites (2011/2013). Elle regroupe l'ensemble des travaux de démolition et d'aménagement du site pour la réutilisation des surfaces. Dans ce cadre, l'ensemble des structures hors sol restantes des bâtiments a été déconstruit de façon conventionnelle. Concernant les volumes compris entre les structures de génie civil enterrées comme les galeries techniques, ils ont été comblés par des matériaux conventionnels. Pour les canalisations et puisards, l'ensemble des circuits ayant véhiculé de l'eau uranifère a été retiré. Enfin, l'aménagement des aires goudronnées du site a été réalisé pour permettre la circulation future.

C'est également pendant cette période que les dossiers de demande d'institution de servitudes d'utilité publique (SUP) pour chaque site et le dossier de demande de déclassement des INB de Veurey ont été préparés.

[I] *Guide de l'ASN n°14 : Méthodologie d'assainissement complet acceptable dans les installations nucléaires de base en France.*

3 Situation actuelle des sites

À ce jour, pour le site d'Annecy, les Arrêtés Préfectoraux de SUP et de surveillances sont parus le 1er juillet 2014. L'ensemble des surfaces du site est loué et réutilisé. La réindustrialisation s'achèvera par la mise en service industrielle des chaufferies gaz et bois par la société IDEX.
Pour le site de Veurey, les dossiers de demande de SUP et de déclassement déposés en mars 2014 sont en cours d'instruction par l'ASN. Quant à la réutilisation du site, 60 % des surfaces et l'ensemble des utilités du site sont louées à la société SOFRADIR (Société française d'infrarouge), la réutilisation de la parcelle restante est en cours d'étude avec la METRO (Communauté d'Agglomération de Grenoble).



Site d'Annecy

4 Conclusion

L'ensemble des opérations de coordination des travaux de démantèlement et assainissement des sites de SICN Veurey et Annecy ont été menées par AREVA. Ces travaux intégraient les aspects liés à la surveillance réglementaire, et ont permis de tirer des enseignements desquels SICN/AREVA retient notamment :

- l'atteinte des objectifs assignés au projet, dans des conditions économiques réadaptées au contexte (évolutions réglementaires) ;
- l'importance à attacher à la définition précise de l'état final pour permettre l'évaluation précise des moyens nécessaires à l'atteinte des objectifs ;
- l'importance de la définition du zonage déchets et de la caractérisation de l'état radiologique, qui conditionnera les modes de gestion de l'assainissement.

Ces constats ont été établis sur un large éventail de locaux, type de structures, et modes de contamination permettant de valoriser cette expérience pour d'autres activités de démantèlement et assainissement.



Site de Veurey

Passage, un projet abouti de dénucléarisation du centre du CEA de Grenoble

1 Présentation du centre du CEA de Grenoble

Créé par Louis Néel en 1956 pour contribuer au développement de la filière électronucléaire française, le centre du CEA de Grenoble a vu ses activités de recherche nucléaire décroître à la fin des années 90, pour s'orienter vers le développement de technologies innovantes dans trois grands secteurs : l'énergie, l'information, et la santé. Le CEA Grenoble a ainsi conduit à partir de 2001 un ambitieux projet d'assainissement et de démantèlement de 6 installations nucléaires (projet Passage), en ayant comme priorités la sécurité, le respect de l'environnement, la gestion des compétences, et la communication la plus large vers le public.

Les six installations nucléaires - trois réacteurs nucléaires, le laboratoire d'analyse des matériaux actifs et les deux installations pour le traitement des effluents et déchets nucléaires - ont fait l'objet d'importants travaux d'assainissement et de déconstruction, visant à leur déclassement.



Vue aérienne de Grenoble

SILOETTE (INB 21)

Était un réacteur expérimental de type piscine d'une puissance de 100 kilowatts mis en service en 1964 et arrêté en 2002. Deux bassins servaient à l'entreposage des combustibles des trois réacteurs du site ainsi qu'à l'entreposage des eaux des réacteurs. Le réacteur avait été conçu pour l'étude de la physique du cœur de Siloé (configurations de cœur, mesures d'efficacité d'éléments combustibles, études neutroniques). À partir de 1973, il avait également été utilisé pour la formation des agents de conduite des réacteurs de puissance d'EDF et des réacteurs de recherche du CEA.


© P.Avavian CEA

MELUSINE (INB 19) ET SILOÉ (INB 20)

MELUSINE (INB19) était un réacteur expérimental de type piscine, d'une puissance de 8 mégawatts, mis en service en 1958 et arrêté en 1988. SILOE (INB 20) était un réacteur expérimental de type piscine, d'une puissance nominale de 35 mégawatts, mis en service en 1963 et arrêté en 1997. Les deux réacteurs étaient utilisés dans les domaines suivants :

- la recherche fondamentale sur les structures cristallines, à l'aide de faisceaux de neutrons ;
- le soutien scientifique au parc nucléaire français ;
- les études de comportement des structures et des combustibles nucléaires du futur ;
- la production de radioéléments pour la médecine ;
- la production de silicium dopé pour les industries de la microélectronique.


© CEA

LE LAMA (INB 61)

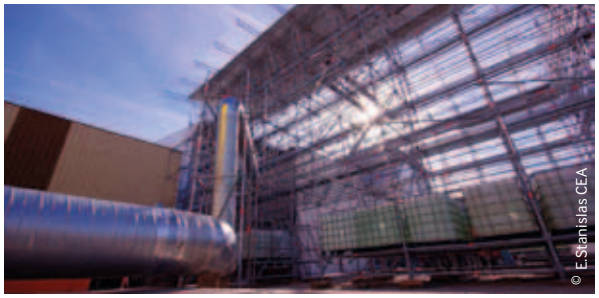
Était le laboratoire d'analyse des matériaux actifs, mis en service en 1961 et dont la capacité avait été doublée en 1965, pour étudier, après irradiation, les combustibles nucléaires à base d'uranium ou de plutonium et les matériaux de structure des réacteurs nucléaires. Le LAMA a cessé ses activités en décembre 2002. Le bâtiment du laboratoire comporte deux parties :

- La première contient une chaîne de six enceintes en béton, dites « de très haute activité » (THA) ;
- La seconde partie se compose de cinq cellules blindées au plomb, de haute activité, et de cinq laboratoires spécialisés contenant des chaînes de cellules en plomb.


© E.Stanislas CEA

LA STED (INB 36 ET 79)

Était la station de traitement des effluents et déchets constituée de deux installations nucléaires de base. Diverses opérations étaient effectuées : compactage des déchets solides, bétonnage de déchets de moyenne activité, incinération de liquides organiques (huiles et solvants), caractérisation des déchets solides, entreposage avant l'évacuation des déchets vers l'Andra.


© E.Stanislas CEA

2 Les exigences du projet de démantèlement

Le projet s'est étendu sur une période de 14 ans, avec de nombreuses étapes administratives ayant nécessité conjointement une maîtrise technique du projet, une maîtrise budgétaire et une maîtrise des ressources humaines.

Fin 2014, toutes les opérations telles qu'initialement prévues au démarrage du projet en vue de répondre aux exigences de l'ASN relatives à l'état final avant d'autoriser le déclassement des 4 INB, étaient terminées.

Les réacteurs Siloette, Mélusine et Siloé ont été déclassés et démolis. La STED et le laboratoire chaud Lama sont dans le processus final de déclassement. Tous les bâtiments de la STED sont démolis, et les sols assainis.

3 La production de déchets radioactifs

La production cumulée de déchets à la fin du projet se décompose comme suit :

Type	Quantité (tonnes)	Destination
Déchets MA-VL	8	CEA Cadarache CEA Saclay
Déchets FMA-VC	~850	Andra/CSA
	~ 130	SOCODEI (Centraco)
Déchets TFA	~ 25 000	Andra/Cires
Déchets conventionnels	~ 25 000	CEA Grenoble (gravats de démolition gérés sur place)

Tous les déchets TFA et FMA-VC résultant des chantiers de démantèlement ont été évacués vers les centres de stockage de surface.

4 Les coûts du projet

Le projet a été réalisé pour un budget de 350 M€. La répartition par poste est la suivante :

- Opération de démantèlement : 49 %
- Gestion des déchets : 22 %
- Exploitation : 21 %
- Conduite de projet : 8 %

5 Conclusion

Les trois réacteurs du CEA-Grenoble ont été assainis puis démolis. Les trois hectares de terrain qu'ils occupaient vont être réutilisés pour des activités de recherche et développement sur la biomasse. Les travaux d'assainissement du laboratoire d'analyse des matériaux actifs et des deux installations dédiées au traitement des effluents et déchets sont achevés. L'instruction administrative pour le déclassement des denières INB est en cours.

Le CEA considère qu'il démontre ainsi la capacité de la filière nucléaire française à « boucler la boucle », dans le respect de la sécurité et de la sûreté.

Le CEA considère qu'il dispose à ce jour d'une base complète technico-économique de retour d'expérience (RETEX) qu'il utilise pour ses autres projets de démantèlement. Ce RETEX alimente également la réflexion du CEA sur le lien objectif entre les coûts des opérations ayant abouti à l'assainissement final visé et les gains obtenus en matière d'impact sanitaire et environnemental.

La déconstruction de la centrale nucléaire de Chooz A

1 Généralités

En France, le scénario de référence adopté par EDF depuis 2001 est une déconstruction sans période d'attente, en cohérence avec la réglementation française qui prévoit une déconstruction « dans un délai aussi court que possible, entre l'arrêt définitif du fonctionnement de l'installation et le démantèlement de celle-ci » *(voir Arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base)*.

Le processus réglementaire de la déconstruction est encadré par le code de l'environnement. Pour un site donné, il se caractérise par :

- un décret d'autorisation unique, après avis de l'Autorité de sûreté nucléaire, permettant la déconstruction ;

- des rendez-vous clés avec l'ASN, intégrés dans un référentiel de sûreté propre aux opérations de mise à l'arrêt définitif et de démantèlement ;

- un processus d'autorisation interne de l'exploitant, indépendant des opérationnels et audité par l'ASN, et qui permet d'engager certains travaux en limite du référentiel autorisé ;

- des phases préliminaires à l'obtention du décret d'autorisation, durant lesquelles :
  - l'exploitant doit fournir au moins trois ans avant la mise à l'arrêt définitif un dossier de demande à ses autorités de tutelle et à l'ASN (article 37 du décret d'application n° 2007-1557) précisant notamment les modalités de déclassement (article 40 du décret d'application n° 2007-1557),
  - des consultations et enquêtes publiques doivent être organisées (article 38 du décret d'application n° 2007-1557).

2 La gestion par EDF des déchets issus de la déconstruction

Les déchets issus de la déconstruction sont triés, généralement compactés et conditionnés, avant d'être transportés vers des centres de stockage adaptés à leur nature. Pour garantir la protection des hommes et de l'environnement lors des opérations de déconstruction, EDF applique strictement les mêmes règles de sûreté, de sécurité et de radioprotection que celles en vigueur pour l'exploitation de son parc nucléaire.

Au total, la déconstruction des neuf réacteurs à l'arrêt générera environ 800 000 tonnes de déchets conventionnels, c'est-à-dire non radioactifs qui seront recyclés ; et environ 180 000 tonnes de déchets radioactifs (150 tonnes de déchets MA-VL, 17 000 tonnes de déchets FA-VL (graphite), 53 000 tonnes de déchets FMA-VC, 115 000 tonnes de déchets TFA.

3 Exemple de Chooz A : déconstruction du premier réacteur à eau pressurisée

Située dans les Ardennes, en bord de Meuse, la centrale nucléaire de Chooz compte deux réacteurs en fonctionnement (Chooz B1 et B2) et un réacteur en déconstruction (Chooz A). Chooz A fait partie des 9 réacteurs actuellement en déconstruction en France. Mis en service en 1967, ce dernier a fonctionné jusqu'en 1991. Première centrale en France de la filière Réacteur à Eau Pressurisée (REP), Chooz A est le fruit d'un partenariat entre EDF et un groupement de producteurs belges qui décidèrent de créer la SENA (Société d'Energie Nucléaire des Ardennes). La particularité de Chooz A est d'avoir son réacteur ainsi que ses auxiliaires nucléaires principaux installés dans des cavernes rocheuses, à flanc de colline. EDF est aujourd'hui l'exploitant nucléaire de cette installation.

4 Les opérations déjà réalisées

- 1991-1999 : fermeture sous surveillance de l'installation :
  - vidange des tuyauteries,
  - transfert des éléments combustibles usés vers l'usine de retraitement,
  - évacuation des déchets d'exploitation,
  - démantèlement des matériels de la salle des machines.

- 1999-2008 : démantèlement partiel des installations,
  - démolition de la salle des machines,
  - démontage, assainissement et démolition des bâtiments nucléaires de la colline,
  - réhabilitation des vestiaires,
  - démantèlement des installations des galeries principales,
  - démantèlement de la galerie reliant le fond de la caverne aux installations situées sur la colline.

5 Les opérations en cours

- 2008-2014 : démantèlement des circuits nucléaires (hors cuve) :
  - découpe du réseau secondaire,
  - césure du circuit primaire ; extraction et décontamination des générateurs de vapeur,
  - décontamination du circuit primaire et du pressuriseur,
  - évacuation des générateurs de vapeur en déchets monoblocs au centre de stockage de l'Andra.

Depuis le retrait du combustible nucléaire et la vidange des circuits, **99,9 % de la radioactivité de la centrale est évacuée du site**. La dernière phase du démantèlement de Chooz A, commencée en 2008, est autorisée par un **décret d'autorisation de démantèlement complet**, obtenu en 2007 après une enquête publique réalisée en 2006.


© Didier Marc/EDF


© EDF

6 Les prochaines étapes de la déconstruction

- démantèlement de la cuve dans la caverne du réacteur :
après le démantèlement du circuit primaire principal et de ses auxiliaires (opérations en cours), les opérations de démantèlement de la cuve du réacteur et de ses structures internes commenceront. Elles consisteront principalement en des découpes sous eau (cisailles, scies à ruban, etc.) ;

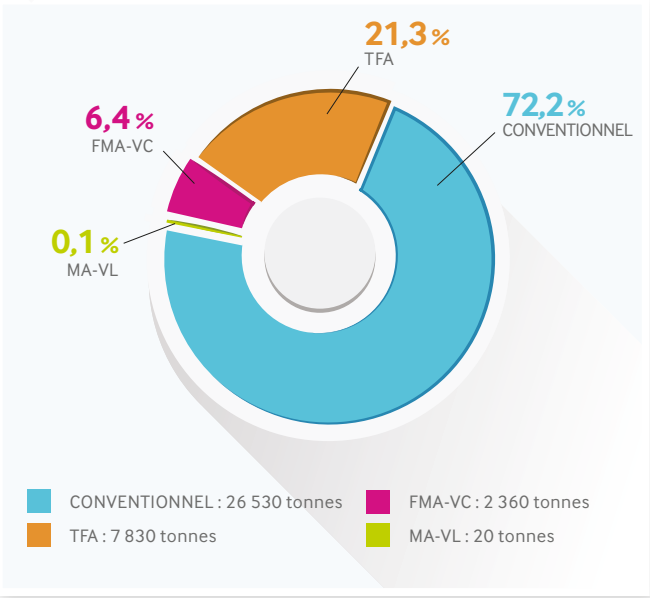
- assainissement et réhabilitation du site :
les derniers équipements présents dans la caverne des auxiliaires nucléaires et dans la station de traitement des effluents seront démantelés. Les bâtiments de la plateforme extérieure seront alors assainis puis démolis et le site sera entièrement réhabilité.



LE BILAN DES DÉCHETS PRODUITS SUR LE SITE DE CHOOZ A

Classification déchets	Masse totale de déchets à produire sur l'opération du Démantèlement de Chooz A (t)	Masse déchets bruts évacués en cumulé à fin 2014 (t)	% déchets évacués
MA-VL	20	/	0
FMA-VC	2 360	485	20
TFA	7 830	3440	45

LE BILAN DES DÉCHETS PRODUITS SUR LE SITE DE CHOOZ A



2. L'ASSAINISSEMENT DES SITES POLLUÉS PAR LA RADIOACTIVITÉ

LE RÔLE DE L'ANDRA DANS SA MISSION DE SERVICE PUBLIC

Dans le cadre de sa mission de Service Public, l'Andra est chargée par l'État de réhabiliter les sites pollués radioactifs dits « orphelins. » Il s'agit de sites qui, parce que le responsable de la pollution a disparu, ne peuvent plus être dépollués par et aux frais de ce dernier, en application du principe pollueur-payeur.

Il s'agit majoritairement de sites anciens liés à l'histoire du radium. En effet, dès sa découverte par Marie Curie en 1898 et jusqu'à la fin des années 1950, le radium a connu de très nombreuses applications, certaines rationnelles comme en médecine ou en horlogerie, et d'autres moins scientifiquement fondées, comme dans les domaines de la cosmétique, des engrais, ou des paratonnerres. Face à la demande du public pour les produits à base de radium, des usines, manufactures, voire de petits ateliers installés en ville ont ainsi vu le jour. À la fin de ces « années folles du radium », ces sites ont été réutilisés sans dépollution préalable, ou sans dépollution suffisante eu égard aux normes actuelles. C'est ainsi que l'Andra est amenée à intervenir sur des sites industriels, des appartements, ou des pavillons qui ont, il y a plus de 70 ans, abrité une société ayant manipulé du radium et aujourd'hui disparue.

L'Andra intervient également sur des sites anciens dont la pollution est due à ce qui est communément appelé de la « radioactivité naturelle élevée ». Il arrive en effet qu'une activité industrielle conduise, sans que ce soit le but, à concentrer dans des résidus la radioactivité présente à l'état naturel dans certains minerais. C'est le cas par exemple pour d'anciennes usines ayant produit du cérium, du titane, des phosphates, etc.

Assainir des bâtiments consiste à retirer les matériaux de construction contaminés : parquets, dalle de béton, conduits, etc. Exceptionnellement, il peut arriver qu'une démolition pure et simple soit nécessaire. Concernant les sols, il s'agit d'excaver les terres polluées jusqu'à retrouver un niveau de radioactivité résiduel sans risque pour les usagers actuels ou futurs du site.

Les déchets produits sont majoritairement des déchets TFA, qui en tant que tels sont expédiés pour stockage sur le Cires. Plus rarement, des déchets FA-VL peuvent également être produits. Dans ce cas, ils sont également expédiés au Cires, mais pour entreposage, dans l'attente de l'ouverture d'un centre de stockage adapté.

Compte-tenu de la typologie des sites traités par l'Andra, les déchets produits sont donc principalement constitués de gravats, de terres, de bois ainsi que de déchets technologiques (tenues d'intervention, outillages...).

Ils sont conditionnés en big-bags ou en conteneurs métalliques injectables, parfois après avoir été temporairement placés en fûts plus petits. En effet, du fait de la localisation des sites en milieu urbain (la majeure partie des sites se trouvant pour la plupart sur Paris ou en Ile-de-France), il est quelquefois nécessaire de constituer d'abord des fûts navettes de 120 litres, faciles à manipuler dans des appartements ou des escaliers parisiens. Transportés sur une plateforme d'entreposage, ces fûts sont ensuite vidés, et les déchets reconditionnés dans leur emballage définitif.

Dans certains cas, la gestion des déchets peut s'avérer plus délicate avec la présence de polluants chimiques, d'amiante ou de produits liquides radioactifs.

EXEMPLE DE CHANTIER D'ASSAINISSEMENT ANDRA

Focus sur l'assainissement de deux parcelles à Gif-sur-Yvette

Au début des années 1900, la Société Nouvelle du Radium est créée sur la commune de Gif-sur-Yvette. Elle comprend :

- Un Laboratoire d'Essais des Substances Radioactives (LESR) implanté sur le quartier des Coudraies ;
- Une usine d'extraction du radium situé sur le quartier voisin du Clos Rose.

L'usine fonctionnera entre 1913 et 1935. Depuis, le site a toujours connu un usage industriel, qu'il a toujours aujourd'hui.

Le laboratoire fonctionnera jusqu'à la fin des années 50. À sa fermeture, les bâtiments sont démolis pour faire place à un lotissement, dont le sol présente, çà et là, quelques zones de pollution.

C'est dans ce cadre que l'Andra est intervenue sur deux parcelles résidentielles de ce quartier afin d'effectuer des travaux d'assainissement. Chacune de ces parcelles abritait une maison édifiée dans les années 60 sur un sol déjà pollué, avec à la clé une teneur en radon dans les habitations supérieure aux recommandations sanitaires.

Les études techniques et économiques préalables ont montré qu'il n'était pas possible de retirer les terres polluées situées sous les maisons sans démolir ces dernières. C'est pourquoi il a été décidé de racheter les deux parcelles à leur propriétaire et les affecter à un usage de type « espace vert ».

Le chantier de réhabilitation, commencé en septembre 2013, a duré une année. Après démolition des maisons, les terres les plus polluées ont été extraites et éliminées, et la faible pollution résiduelle présente en fond de fouille a été confinée sous une épaisseur de terre saine comprise entre 50 cm et plusieurs mètres. Des restrictions d'usage sont en vigueur sur le quartier afin de prévenir les creusements au-delà de la couche de terre saine.

Au total, ce sont 339 m^3 de déchets TFA, et 0,2 m^3 de déchets FA-VL qui ont été produits.



Chantier 1 - Avant assainissement



Chantier 1 - Après assainissement (avant engazonnement)



Chantier 2 - Avant assainissement



Chantier 2 - Après assainissement

DOSSIER 4 |

LA GESTION DES SOURCES RADIOACTIVES USAGÉES

1. Les sources radioactives usagées considérées comme des déchets | 123

2. Déchets produits par l'utilisation de sources non scellées | 124
Utilisation de sources non scellées
Gestion des déchets produits par l'utilisation de sources non scellées

3. Déchets produits par l'utilisation de sources scellées | 126
Sources scellées pour applications industrielles
Sources scellées à usage médical
Autres types de sources scellées

4. L'inventaire des sources radioactives usagées considérées comme des déchets | 131



1. LES SOURCES RADIOACTIVES USAGÉES CONSIDÉRÉES COMME DES DÉCHETS

Les sources radioactives peuvent être de deux types, scellées ou non scellées.

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, solides, ou gazeuses.

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.*

** Une source est considérée scellée en France si elle est conforme aux normes NFM 61 002 et NF 550 9978.*

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 ou sur simple demande de l'utilisateur.

Les sources scellées usagées en attente d'exutoire final sont entreposées dans des locaux adaptés, que le fournisseur a l'obligation de posséder.

Les sources scellées usagées d'origine étrangère commercialisées en France retournent à l'étranger par l'intermédiaire de leur fournisseur. Cette disposition fait partie d'un engagement contractuel entre le fabricant étranger, son fournisseur en France et l'autorité de sûreté, en application de l'autorisation de distribuer accordée par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) agissant à la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN).

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 de gestion des déchets radioactifs et recensés dans l'Inventaire national à ce titre.

ARTICLE R.1333-52 DU CODE DE LA SANTÉ PUBLIQUE (modifié par le décret n° 2015-231 du 27/02/2015)

Une source radioactive scellée est considérée comme périmée dix ans au plus tard après la date du premier enregistrement apposé 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 détenteur de sources radioactives scellées périmées ou en fin d'utilisation est tenu de les faire reprendre, quel que soit leur état, par un fournisseur qui y est habilité par l'autorisation prévue à l'article L. 1333-4 du code de la santé publique. Les sources qui ne sont pas recyclables dans les conditions techniques et économiques du moment peuvent être reprises en dernier recours par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs. Les frais afférents à la reprise de ces sources sont à la charge du détenteur. Si le détenteur fait reprendre ses sources par un autre fournisseur que celui d'origine ou si celles-ci sont reprises par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, il transmet, dans le délai d'un mois à compter de la réception de l'attestation de reprise délivrée par le repreneur, copie de cette attestation au fournisseur d'origine et à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire.

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. Il déclare auprès de l'Autorité de sûreté nucléaire et de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire le défaut de restitution, dans les délais requis, à lui-même, un autre fournisseur ou l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, de toute source scellée qu'il a distribuée ou de produit ou dispositif en contenant.

Tout fournisseur peut soit procéder ou faire procéder à l'élimination des sources reprises dans une installation autorisée à cet effet, soit les retourner à son fournisseur ou au fabricant. Il doit disposer d'un site d'entreposage, dans des conditions compatibles avec la protection de la santé et de l'environnement, d'une capacité suffisante pour recevoir des sources en fin d'utilisation pendant la période précédant leur élimination ou leur recyclage.

2. DÉCHETS PRODUITS PAR L'UTILISATION DE SOURCES NON SCELLÉES

UTILISATION DE SOURCES NON SCELLÉES

1 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 dans d'autres domaines d'étude de mécanismes physico-chimiques, ils servent à marquer des molécules auxquelles ils sont incorporés pour suivre la dynamique des mécanismes vivants.

2 Domaine médical

Les sources non scellées sont largement employées dans le domaine médical pour l'établissement de diagnostics et pour certains traitements.

3 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.

Ces applications deviennent indispensables lorsque les techniques conventionnelles de dosage atteignent leurs limites, par exemple en raison de la faible teneur de la substance à doser ou de sa complexité chimique. La radioactivité des produits marqués par des radionucléides permet leur détection à des niveaux inaccessibles à la chimie.

Les principaux radionucléides utilisés sont le tritium, le phosphore 32, l'iode 125…

De nombreux laboratoires pratiquent aussi la radio-immunoanalyse. Il s'agit d'une technique de dosage très précise, utilisant la radioactivité et servant à mesurer la concentration de substances biologiques telles que les enzymes, les hormones ou d'autres molécules dans le sang, l'urine, la salive par exemple.

4 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, par exemple, établir une image dynamique interne d'un organe. L'opérateur 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 osseuses, thyroïdiennes, cardiaques, pulmonaires…

Parmi les radionucléides les plus utilisés, figurent le technétium 99 métastable, le thallium 201, l'iode 131, l'iode 123 ou le gallium 67 *(voir tableau ci-après)*.

Les techniques de tomographie (techniques permettant de reconstruire le volume d'un objet à partir d'une série de mesures effectuées par tranche depuis l'extérieur de cet objet) s'appuient également sur les propriétés des rayonnements X ou gamma.

Actuellement, la tomographie par émission de positons avec utilisation du fluor 18 est de plus en plus utilisée pour des applications en neurologie, en cardiologie ou en cancérologie.



Appareil de radiothérapie

5 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 de 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).

PRINCIPAUX RADIONUCLÉIDES UTILISÉS DANS LE DOMAINE MÉDICAL (CLASSÉS PAR NOMBRE DE MASSE CROISSANT AVEC INDICATION DE LEUR PÉRIODE RADIOACTIVE)

Radionucléides	Nom	Période radioactive
^{3}H	Tritium	12,33 ans
^{14}C	Carbone 14	5 700 ans
^{15}O	Oxygène 15	2,04 minutes
^{18}F	Fluor 18	1,83 heure
^{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
^{81m}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
^{99}Mo	Molybdène 99	2,75 jours
^{99m}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 jours
^{169}Er	Erbium 169	9,40 jours
^{186}Re	Rhénium 186	3,78 jours
^{186m}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 JEFF 3.1.1. (OCDE-AEN)

* *Métastable : état dans lequel un noyau atomique est "bloqué" dans un état excité (à un niveau d'énergie supérieur à son état fondamental) pendant un certain laps de temps, de quelques milliardièmes de seconde à plusieurs milliards d'années.*

GESTION DES DÉCHETS PRODUITS PAR L'UTILISATION DE SOURCES NON SCELLÉES

1 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 adaptés au risque radioactif.

- Les déchets à vie très courte y sont placés en attente de leur évacuation après décroissance de leur radioactivité (période inférieure à 100 jours).
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 (période supérieure à 100 jours), sont envoyés vers un Centre de stockage de l'Andra.

2 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 à 100 jours, ils sont rassemblés et traités par incinération au centre de traitement Centraco (30). Les cendres et mâchefers solides résultant de l'incinération sont conditionnés puis stockés dans les centres de stockage de l'Andra.

Ces activités de traitement 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.

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.

Ces sources sont utilisées dans divers domaines :

- sources pour des applications industrielles, d'enseignement et de recherche : irradiation dans le cadre de programmes de recherche et industriels, contrôle non destructif, jauges de densité, de niveau, d'épaisseur, d'humidité..., élimination de l'électricité statique, analyse, étalonnage et chromatographie ;

- sources à finalité médicale : télégammathérapie, 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 elles contiennent des radionucléides naturels ou des radionucléides dont l'activité est inférieure aux seuils d'exemption définis dans l'annexe 13-8 du code de la santé publique.

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 du code de la santé publique peuvent être exemptées d'autorisation dès lors que la quantité ou la concentration d'activité des radionucléides concernés ne dépasse pas les valeurs indiquées dans le tableau de l'annexe.

Ces activités nucléaires sont :

- la fabrication de produits ou dispositifs contenant des radionucléides ;

- la distribution de produits ou dispositifs contenant des radionucléides ;

- l'utilisation d'appareils émettant des rayons X ou de sources radioactives ;

- l'emploi d'accélérateurs autres que les microscopes électroniques.

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.

1 Les contrôles non destructifs et les analyses des matériaux

Il s'agit par exemple :

- de contrôle de soudure par gammagraphie (sources d'iridium 192, de cobalt 60 ou de césium 137) ;
- 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 en phase gazeuse (sources de nickel 63 ou de tritium).

2 Les systèmes de mesure

Constituées d'un bloc émetteur (au krypton 85, au césium 137, à l'américium 241, au cobalt 60 ou au prométhium 147) et d'un bloc détecteur de rayonnements, ces sources sont utilisées pour le grammage du papier, du tissu, du plastique ou du métal de faible épaisseur.

Ces appareils sont employés dans l'industrie papetière ou du tabac par exemple.

3 Le pilotage et la surveillance du fonctionnement des réacteurs électronucléaires

Ces opérations nécessitent l'emploi de sources scellées, notamment dans :

- les chaînes de mesure de radioprotection du système de contrôle du 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 du réacteur par l'utilisation de sources d'américium-béryllium. Leurs activités sont inférieures à 150 gigabecquerels (0,15 TBq).

4 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 (destruction des micro-organismes) ;
- 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.

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 liés au 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 télégammathérapie 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.

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 selon les cas pour une durée limitée ou définitivement, au contact ou à proximité immédiate de la zone à traiter.



Gammagraphe

Les principaux radionucléides employés (iridium 192, iode 125, césium 137, cobalt 60, palladium 103 et ruthénium 103) ont définitivement remplacé le radium *(voir encadré ci-dessous)* utilisé historiquement dans la première moitié du XXe siècle sous forme d'aiguilles et de tubes. Leurs périodes radioactives s'étendent de 17 jours pour le palladium 103 à 31 ans pour le césium 137.

OBJETS AU RADIUM

Au début du XXe siècle, l'intérêt thérapeutique du radium a 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 para-pharmaceutiques, 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 liés à leur radioactivité. La majorité de ces produits, de par leur nature, a été utilisée (dont les poudres, pommades, aliments pour le bétail...). D'autres existent toujours et contiennent encore du radium.

Les objets au radium à usage médical – ORUM – (aiguilles, sondes et applicateurs utilisés dans le traitement des tumeurs) constituent la majeure partie des sources restantes et sont potentiellement récupérables.

Le Service central de protection contre les rayonnements ionisants (SCPRI) en 1985, devenu 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. Cela correspond 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 par l'Andra dans l'Aube, au Cires (Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage).

AUTRES TYPES DE SOURCES SCELLÉES

1 Les paratonnerres

Au début du XXe 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 rendait ce dernier 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 en grand nombre d'exemplaires à l'étranger. Leur supplément d'efficacité n'ayant pas été démontré, leur fabrication a été interdite par l'arrêté du 11 octobre 1983 applicable au 1er 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 équipés de sources scellées à l'américium 241 *(voir encadré page suivante)*.

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 pastilles frittées, de plaquettes, feuilles ou billes de porcelaine peintes, généralement de petites dimensions.



Paratonnerre au radium

CAS DES PARATONNERRES

On estime que 50 000 paratonnerres radioactifs ont été commercialisés en France. Aucun texte n'impose leur suppression.

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 agréées par l'autorité de sûreté.

L'Andra transmet aux détenteurs de paratonnerre, sur demande, 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 étaient auparavant dirigés vers le centre CEA de Cadarache (13) pour y être compactés, conditionnés dans des fûts de 870 litres et entreposés en attente de leur stockage. Depuis 2011 ils sont dirigés vers la plateforme d'entreposage de l'Andra au Cires, en attente de la création d'une filière d'élimination. Les paratonnerres à l'américium 241 sont conditionnés en fûts de 200 litres puis entreposés sur une plate-forme spécifique de l'Andra au Cires. Le mode de conditionnement définitif de ces paratonnerres et leurs filières de stockage sont encore à l'étude.

2 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 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 installés 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.



Détecteur de fumée doté d'une source radioactive scellée

3 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), l'aéronautique et les armées (boussoles, signalisations, dispositifs de visée, cadrans…).

Le radium a été progressivement remplacé par le tritium, radionucléide à période plus courte et dont la toxicité est bien moindre. Désormais, le tritium est lui-même remplacé en grande partie par des peintures photoluminescentes (non radioactives) lorsque cela est possible.

4 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 comme filtre pour protéger les installations électriques des surtensions brutales.

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.

Les détecteurs de fumée dotés de sources radioactives scellées sont **interdits** en France pour tout usage **domestique.**

5 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 XXe 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, présentent une très forte activité et sont entreposées sur certains CNPE ;

- les sources de stimulateurs cardiaques ou « thermopiles » de plutonium 238 fabriquées entre 1968 et 1976 par le CEA à environ 3 000 exemplaires et entreposées sur le site du CEA de Saclay (91).

LES PRINCIPAUX FABRICANTS EN FRANCE DE SOURCES RADIOACTIVES SCELLÉES

Le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (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 le concepteur et le 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 et médicales. Le LMRI conserva la fabrication des sources d'étalonnage et demeura le laboratoire de référence.

Peu à peu, le CEA ralentit ses activités industrielles dans ce domaine.

En 1999, le Laboratoire étalons d'activités (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 de produits radiopharmaceutiques contenant des radionucléides de période courte. Cette société a évolué ensuite vers la fabrication de produits de substitution aux radionucléides pour des applications diagnostiques et thérapeutiques, et pour l'industrie pharmaceutique.

CIS bio international entrepose des sources scellées usagées sur son site de Saclay (91), 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 quantités importantes 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. Elles sont aussi dans certains cas le fabricant des équipements contenant les sources ou disposent de capacités de production et de reprise des sources hors de France :

- les établissements de maintenance, contrôle de conformité de sources, décontamination de matériel (CETIC, CERAP, Intercontrôle, Saphymo, SGS Multilab, Elta...) ;

- Thalès qui continue la fabrication de tubes électroniques ;

- les entreprises qui possèdent des zones de transit pour les 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 en particulier ne sont pas différenciés des autres déchets radioactifs.

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 2013, environ 2 300 000 sources scellées usagées ou objets radioluminescents ont été répertoriées.

Les quantités de colis calculées dans le tableau ci-contre ne sont qu'une estimation ; elles reposent sur l'évaluation des stocks pour chaque détenteur et par un calcul simplifié du nombre de colis nécessaires pour gérer ces sources comme déchets radioactifs.

Ces évaluations entrent dans le cadre des axes de travail définis dans le Plan national pour la gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR).

INVENTAIRE CONSOLIDÉ POUR L'ENSEMBLE DES DÉTENTEURS

Filière de stockage	Type de colis de stockage	Nombre de colis (stock)
TFA (Cires)	Panier 1 m^3	6
FMA-VC (CSA)	Colis 5 m^3	31
MA-VL (Cigeo) ou FA-VL	Colis 870 l	78
	Colis CSM entreposés par le CEA	41
HA (Cigeo)	CDT 175 l	6

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 était réglementée en sus par le code de la santé publique depuis 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[1]. 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...).

Cependant, 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 préfectures, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN)...

L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) enregistre les mouvements de ces sources en France (les autorisations de mise sur le marché des sources et leur retour vers leur distributeur) 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 son utilisation.

À chaque instant, on peut donc connaître le nombre et l'utilisation de chaque source (environ 40 000).

Pour plus d'informations : www.irsn.fr

1 *La durée d'utilisation de 10 ans a été fixée quand la distribution des sources radioactive a été assortie d'une garantie financière pour leur retour aux distributeurs (une garantie financière doit comporter un domaine de garantie, un montant et une échéance).*

DOSSIER 5 |

LES DÉCHETS À RADIOACTIVITÉ NATURELLE ÉLEVÉE

1. La gestion des déchets à radioactivité naturelle élevée et la réglementation | 133

2. Secteurs industriels et déchets produits | 135
Les secteurs industriels concernés par l'arrêté du 25 mai 2005
Les secteurs industriels non concernés par l'arrêté du 25 mai 2005

3. Les résidus de procédés valorisés | 138

4. Stock à fin 2013 des déchets à radioactivité naturelle élevée | 140





INTRODUCTION

Les déchets à radioactivité naturelle élevée, qui incluent les déchets à radioactivité naturelle renforcée (RNR), sont générés par la transformation de matières premières naturellement riches en radionucléides naturels (NORM) mais qui ne sont pas utilisées pour leurs propriétés radioactives. Ces radionucléides peuvent se retrouver dans les matériaux ou déchets et nécessiter une gestion particulière.

1. LA GESTION DES DÉCHETS À RADIOACTIVITÉ NATURELLE ÉLEVÉE ET LA RÉGLEMENTATION

Certaines industries non électronucléaires utilisent des procédés de fabrication conduisant parfois à utiliser ou 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 à radioactivité naturelle élevée de type FA-VL :** ces déchets sont de type radifère, c'est-à-dire qu'ils contiennent des radionucléides naturels à vie longue, notamment du radium et/ou du thorium. Ils seront stockés dans l'exutoire adapté, aujourd'hui en cours d'étude. Les sites qui entreposent ce type de déchets font l'objet de fiches géographiques ;



Port de La Pallice à La Rochelle (17)

- **les déchets à radioactivité naturelle élevée 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 font aussi l'objet de fiches géographiques ;

- **les déchets à radioactivité naturelle élevée 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 dans des décharges internes (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 à radioactivité naturelle élevée dans des installations de stockage conventionnel (ISD : installation de stockage de déchets).

Par ailleurs, certains résidus de procédés industriels à radioactivité naturelle élevée 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.

LA GESTION DES DÉCHETS À RADIOACTIVITÉ NATURELLE ÉLEVÉE DANS LES INSTALLATIONS DE STOCKAGE DE DÉCHETS

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 [I].

La circulaire du 25 juillet 2006 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 ».

L'exploitant du centre de stockage doit accompagner toute demande de prise en charge de déchets à radioactivité naturelle élevée, auprès du préfet dont il dépend, d'une étude d'impact spécifique pour le risque radiologique [II].

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].

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 à radioactivité naturelle élevée, doivent par ailleurs être présentés aux commissions de suivi des sites (CSS, EX-CLIS) des centres de stockage pour la bonne information du public avoisinant. La circulaire du 18 juin 2009 [IV] renforce les recommandations du HCTISN notamment sur les dispositions de surveillance et d'information sur les sites de stockage contenant des déchets à radioactivité naturelle élevée.



Entreposage de déchets radifères conditionnés



Entreposage de déchets radifères en vrac

[I] *Arrêté du 25 mai 2005 (JO n°126 du 1er juin 2005) relatif aux activités professionnelles mettant en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides non utilisés en raison de leurs propriétés radioactives.*
[II] *Circulaire du 25 juillet 2006.*
[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 INDUSTRIELS ET DÉCHETS PRODUITS

Une liste exhaustive des industries susceptibles de produire de tels déchets à radioactivité naturelle élevée est difficile à déterminer. Une typologie des industries susceptibles de produire actuellement ce type de déchets 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 [V] sur la base d'études effectuées par l'association Robin des Bois [VI].

Par ailleurs, le ministère en charge de l'Environnement effectue un suivi national du bilan de la gestion de ces déchets.

Pour l'édition 2015 de l'Inventaire national, les industries relevant de l'arrêté du 25 mai 2005 ont été interrogées. En outre, d'autres industries que celles listées par l'arrêté ont été identifiées par l'Andra comme susceptibles de produire des déchets à radioactivité naturelle élevée et ont aussi été solicitées. Toutefois, l'Inventaire ne peut prétendre à l'exhaustivité.

LES SECTEURS INDUSTRIELS CONCERNÉS PAR L'ARRÊTÉ DU 25 MAI 2005

1 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 Solvay 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 (6 400 m^3 environ) dont la majeure partie a été transférée dans un entreposage du CEA de Cadarache (13).

Par ailleurs, des résidus solides banalisés (RSB) très peu radioactifs sont stockés sur place et constituent en partie les remblais du port de La Pallice (17). Il s'agit de déchets en stockage historique.

Enfin, environ 10 000 m^3 de RSB de type FA-VL sont entreposés sur site : c'est la part la plus importante des déchets à radioactivité naturelle élevée de type FA-VL. Le traitement de ces déchets pour en extraire les terres rares est à l'étude.

Globalement, la quantité de RRA et de RSB conditionnés a augmenté d'environ 3 000 m^3 par rapport à l'édition 2012. Cette évolution ne correspond toutefois pas à une augmentation de la quantité de déchets radioactifs mais à une évolution des hypothèses de conditionnement des colis de déchets radifères.

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 Ochsenfeld (68) et sur son site du Havre (76). Les déchets produits sont de catégorie TFA (1 820 m^3 environ) ou FA-VL (210 m^3 environ).

L'alumine est extraite 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 d'Aygalade (13), la Barasse-Montgrand (13), la Barasse-Saint-Cyr (13) et Vitrolles (13). La société ALTEO exploite le site de Gardanne (13).

De même, la société Tioxide Europe fabrique des pigments de dioxyde de titane dont la production génère sur le site de Calais (62) des déchets qui peuvent être évacués en ISD conformément à la circulaire de 2006.

[V] *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 ».*

[VI] *Rapports Robin des Bois : « La radioactivité naturelle technologiquement renforcée » – 2005 et « Les cendres de charbon et les phosphogypses » – compléments 2009.*

Industriel	Filière de gestion	Volume (m³)
CEA (entreposage des déchets pour le compte de Solvay)	FA-VL	6 128
Cristal Global	TFA	1 823
	FA-VL	209
Solvay	FA-VL	10 284
Tioxide Europe	ISD	75

2 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 Imeyris à Plœmeur (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 (m³)
Société Savoie Réfractaire Groupe Saint-Gobain	ISD	5
Thermal Ceramics de France	ISD	18
Imerys Ceramics France	TFA	6

3 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 Cires ;

- 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 (3 m³) de déchets destinés à un stockage en ISD en 2014 ;

- 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 ;

- 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 (56 m³).

Industriel	Filière de gestion	Volume (m³)
Cezus	TFA	195
	FA-VL	2 360
Comptoir des minéraux et des matières premières	ISD	3
SNECMA	ISD	11
Unifrax	ISD	56

4 L'industrie de production ou d'utilisation de composés comprenant du thorium

Certaines industries manipulent le thorium ou ses dérivés. 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 (27 m³), sont de type FA-VL et entreposés sur le site d'Arudy (64) en attente d'évacuation vers le Cires pour un entreposage et dans l'attente de la disponibilité d'un centre de stockage adapté ;

- Le site d'Arkéma situé à Serquigny (27) a produit du nitrate de thorium à partir de monazite et entrepose des déchets FA-VL (1 780 m³ environ) en attente d'évacuation vers le Cires pour un entreposage et dans l'attente de la disponibilité d'un centre de stockage adapté.

Industriel	Filière de gestion	Volume (m³)
Fonderie Messier	FA-VL	27
Arkéma	FA-VL	1 778

5 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 (Anneville-Ambourville (76), Douvrin (62), Grand-Quevilly (76), Rouen (76), Saint-Étienne-du-Rouvray (76)) sur lesquels des déchets de très faible activité sont entreposés en attente de transfert vers un stockage définitif. Tout comme la société Yara France qui possède un site à Rogerville (76). La caractérisation des 4 000 m^3 de déchets recensés comme TFA dans l'édition 2012 a permis de les évacuer vers une ISD. 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.

La société BOREALIS PEC-RHIN à Ottmarsheim (68) fabrique de l'acide phosphorique et produit des déchets TFA et FA-VL. Ces déchets sont entreposés sur le site.

Industriel	Filière de gestion	Volume (m^3)
BOREALIS PEC-RHIN	TFA	5
	FA-VL	21
Grande Paroisse SA	TFA	13
Yara France	TFA	100
	FA-VL	120

6 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 au niveau des installations.

La société Européenne d'embouteillage à Donnery (45), par exemple, utilise des résines échangeuses d'ions pour déferriser et démanganiser l'eau. Ces résines sont susceptibles de concentrer la radioactivité. L'Andra a interrogé cette société sur l'éventuelle présence de déchets à radioactivité naturelle élevée sur le site de Donnery (45) : aucun déchet à radioactivité naturelle élevée n'est déclaré par ce site.

7 Les établissements thermaux

Tout comme les installations de traitement des eaux, les procédés mis en œuvre dans les établissements thermaux 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.

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 producteurs de déchets à radioactivité naturelle élevée.

1 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, ce qui a conduit à produire des déchets à radioactivité naturelle élevée tels que des boues, des tartres et parfois des graviers (environ 1 535 m^3) et contaminés à l'uranium. Ces déchets sont répertoriés sur plusieurs sites dans l'inventaire géographique.

2 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.

D'autres secteurs seraient susceptibles de produire des déchets à radioactivité naturelle élevée tels que l'industrie papetière et la combustion de biomasse. Cependant, dans l'attente d'investigations complémentaires, ces déchets ne sont actuellement pas pris en considération dans l'Inventaire national. Ces deux industries sont brièvement présentées ci-après.

3 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 la production de déchets à radioactivité naturelle élevée 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 utilisé. Les débits de dose mesurées au contact peuvent atteindre des valeurs de 4,5 µSv/h, ce qui pourrait induire de ne pas exempter ces industries.

4 La combustion de biomasse

En France dans les années 1990, la combustion de biomasse, 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 celles provenant des 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.

1 Les installations d'extraction du thorium

L'usine Solvay 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. L'utilisation de ces matières premières produit des matières en suspension (MES) considérées par l'industriel comme des matières très faiblement radioactives, valorisables par leur contenu résiduel en terres rares *(voir chapitre 2)*.

L'usine Solvay de La Rochelle a également produit jusqu'en 1987 des hydroxydes bruts de thorium (voir page 39), liés au traitement du minerai de monazite définitivement arrêté en 1994. Ces hydroxydes sont considérés par l'industriel comme des matières et non des déchets. En effet, le thorium est considéré valorisable, dans la mesure où il peut être utilisé dans diverses applications industrielles, notamment le secteur médical, et à plus long terme dans la filière nucléaire. Solvay étudie actuellement le retraitement des hydroxydes bruts de thorium. Les quantités de déchets FA-VL qui en résulteraient sont évaluées à environ 11 000 m^3.

2 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 d'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 l'encadré ci-contre.

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 - Blénod-lès-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)



Centrale thermique de Blénod lès Pont-à-Mousson (54)

D'autres sites identifiés dans le rapport de l'association Robin des Bois de 2009 ne sont pas mentionnés dans le tableau ci-dessous 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.

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 :

Valorisation	Type de centres	Utilisation
Ciments et bétons	Cendres volantes	■ Cendres volantes humides : ajout dans le cru. ■ Cendres volantes sèches : ajout direct dans le ciment ou béton jusqu'à 20 % en teneur. 80 % des cendres volantes produites sont certifiées suivant la norme EN450*.
Techniques routières	Cendres de foyer	■ Remblais, quais, sous-couches routières. *Quelques exemples remarquables :* lignes LGV, aéroport Metz-Nancy, Port 2000 au Havre.
Autres	Cendres volantes et de foyer	■ Liant constitué de ciment (environ 10 %) et de cendres volantes pour le comblement de cavité comme 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.*

4. STOCK À FIN 2013 DES DÉCHETS À RADIOACTIVITÉ NATURELLE ÉLEVÉE

À fin 2013, les stocks de déchets à radioactivité naturelle élevée destinés à être pris en charge par les centres de l'Andra s'élèvent à environ 21 000 m³ de déchets FA-VL et 2 100 m³ de déchets TFA.

D'autres déchets de ce type sont stockés dans des stockages historiques : ces stockages (hors ceux dédiés aux cendres de charbon) sont présentés au *chapitre 4*.

DÉCHETS À RADIOACTIVITÉ NATURELLE ÉLEVÉE DESTINÉS À ÊTRE PRIS EN CHARGE PAR L'ANDRA

Catégorie	Volume
FA-VL	21 000
TFA	2 100
Total	**23 100**

m³ équivalent conditionné

DOSSIER 6 |

LES INVENTAIRES DES DÉCHETS RADIOACTIFS À L'ÉTRANGER

1. Finalité des inventaires de déchets | 142

2. Directive européenne relative à la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs (2011/70/Euratom) | 144

3. Le suivi réalisé par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) | 145

4. L'inventaire dans certains pays | 146

Royaume-uni
Suisse
Belgique
Allemagne
Espagne
États-unis
Canada



1. FINALITÉ DES INVENTAIRES DE DÉCHETS

La gestion des déchets radioactifs commence par la connaissance de leurs types, quantités respectives et caractéristiques. 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 à chacune des phases de traitement, transport, entreposage et stockage. Ce suivi peut couvrir plusieurs finalités :

- définir un programme de gestion des déchets radioactifs, prévoir les installations nécessaires et les programmes de R&D destinés à apporter des réponses aux déchets sans solution disponible ;

- organiser une traçabilité (à des fins opérationnelles et prévisionnelles) afin de coordonner les flux des déchets à partir de leur production jusqu'à leur entreposage ou leur stockage ;

- veiller à ce que les informations associées à l'entreposage et au stockage des déchets à long terme soient préservées, conformément aux exigences de gestion de la qualité et appropriées aux besoins des générations futures (Retrieval, Restoration and Maintenance of Old Radioactive Waste Inventory Records - IAEA-TECDOC-1548) ;

- établir « un inventaire de tous les combustibles usés et des déchets radioactifs produits ainsi qu'une prévision des quantités à venir, y compris celles résultant du démantèlement. Cet inventaire indique la localisation et la quantité de déchets radioactifs et de combustible usé, conformément à la classification appropriée des déchets radioactifs », selon la directive 2011/70/EURATOM DU CONSEIL du 19 juillet 2011.

Au travers de ces inventaires, les pays rendent compte des volumes de déchets radioactifs produits et de leurs situations (par exemple s'il existe des filières de stockage). Ils fournissent également des informations sur leurs localisations, radioactivité, conditionnement, origine, destination etc. Ils sont publiés régulièrement, en particulier 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...) établissent, à partir de bases de données nationales d'inventaire des déchets radioactifs :

- 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 avait entrepris une évaluation de ses pays membres sur ce thème publiée en 2009 [II]. Cette évaluation donnait un aperçu des systèmes de suivi des données nationales sur les déchets mis en œuvre par les États membres de l'Union européenne. Elle établissait des recommandations pour les futurs systèmes de gestion des déchets. L'étude couvrait 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 suivant.

1 *Organisme d'audit, d'évaluation et d'investigation du Congrès des États-Unis en charge du contrôle des comptes publics.*

[I] *GAO-07-221 LLRW Foreign Radwaste Management Experiences.*

[II] *« Radioactive Waste and Spent Fuel Data Collection, Reporting, Record Keeping and Knowledge Transfer by EU Member States Final Report BS-Project N°. 0707-03 Contract N°. TREN/07/NUCL/S07.78807 ».*

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, 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	France [2], 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 suivant montre les objectifs des pays à réaliser des bases de données d'inventaire pour leurs déchets radioactifs. Il y apparaît que la gestion des capacités des installations (volume de stockage disponible) constitue l'une des préoccupations majeures.

OBJECTIFS DES PAYS POUR LA RÉALISATION DE BASE DE DONNÉES D'INVENTAIRE

	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	*Non communiqué*					
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	*Non communiqué*					

2 *Postérieurement à la parution de l'étude.*

	Décisions politiques	Information du public	Plan de gestion	Sécurité	Gestion financière	Gestion technique
Hongrie	X	X	X	X	X	X
Irlande						
Italie		X	X			
Lettonie	X	X	X	X	X	X
Lituanie			X			X
Luxembourg						X
Macédoine		X	X	X	X	X
Malte	*Non communiqué*					
Pays-Bas	*Non communiqué*					
Pologne	*Non communiqué*					
Portugal	*Non communiqué*					
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	*Non communiqué*					
Turquie	*Non communiqué*					
Royaume-Uni	X	X	X			X

Source UE : BS-Project No. 0707-03 Contract No. TREN/07/NUCL/S07.78807

Le travail d'inventaire au sein de la Commission Européenne a été précisé par la Directive de 2011 décrite ci-après.

2. DIRECTIVES EUROPÉENNES

RELATIVE À LA GESTION DU COMBUSTIBLE USÉ ET DES DÉCHETS RADIOACTIFS (2011/70/EURATOM)

En 2011, le Conseil de l'Union européenne a adopté la directive 2011/70/Euratom qui établit un cadre communautaire pour la gestion 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 sur une gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs ainsi que sur la protection des personnes et de l'environnement contre les dangers des rayonnements ionisants.

Elle impose aux États de se doter d'un cadre légal de sûreté nucléaire avec :

- 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 du combustible usé et des déchets radioactifs, sur toute leur durée de vie.

Elle impose aussi aux États d'établir un programme national pour élaborer et mettre en œuvre la politique de gestion du combustible usé et de déchets radioactifs 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 déchets radioactifs, et des estimations relatives aux quantités futures, y compris celles résultant d'opérations de démantèlement. Cet inventaire doit indiquer clairement la localisation et la quantité des déchets radioactifs et du combustible usé, conformément à la classification appropriée des déchets radioactifs.

Par ailleurs, les États membres devront :

- assurer les ressources financières nécessaires à la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs ;

- 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 radioactifs dans l'État producteur. Toutefois, la directive ouvre la possibilité aux États membres de pouvoir stocker leurs déchets radioactifs 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 disposaient 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, après de nombreuses recherches portant sur différentes options, comme une solution à long terme.

Les États membres remettront à la Commission un rapport sur la mise en œuvre de la directive à l'échéance du 23 août 2015, puis tous les trois ans, en mettant à profit les évaluations et rapports rédigés au titre de la convention commune.

La Commission remettra au Parlement européen et au Conseil :

- un rapport sur les progrès réalisés dans le cadre de la mise en œuvre de la directive ;

- un inventaire des combustibles usés et des déchets radioactifs présents sur le territoire de la Communauté et des prévisions pour l'avenir.

3. **LE SUIVI RÉALISÉ** PAR L'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE

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 des différents pays membres. Les données sont mises à jour régulièrement et leurs présentations tendent à s'harmoniser entre les pays.

Chaque pays, qui dispose généralement de sa propre classification de déchets radioactifs, peut la transposer dans celle de l'AIEA, précisée dans le guide général de sûreté GSG-1 [III]. Ainsi converti selon une classification commune, chaque inventaire peut être intégré de manière homogène dans la NEWMDB.

Par ailleurs, les volumes d'inventaire de déchets radioactifs dans chaque pays peuvent être établis de différentes manières : volumes de déchets bruts, traités, conditionnés, entreposés ou encore prêts à être stockés. On tend cependant vers une harmonisation des volumes reportés qui de plus en plus sont ceux des déchets prêts au stockage (volume équivalent conditionné).

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 2015 au siège de l'AIEA à Vienne (Autriche). Une part de ces rapports est consacrée aux inventaires des déchets radioactifs et des combustibles usés existants mis à jour à l'occasion de leurs publications.

Les rapports nationaux publiés par les pays membres sont accessibles à partir du site de l'AIEA. Pour la réunion de la 4ème révision de la Convention commune de l'AIEA les rapports des pays suivants ont été publiés : Allemagne - Argentine - Australie - Belgique - Brésil - Canada - Corée - Danemark - Emirats Arabes Unis - Espagne - Estonie - États-Unis - EURATOM - Fédération de Russie - Finlande - France - Irlande - Japon - Lituanie - Norvège - République Tchèque - Royaume-Uni - Slovaquie - Slovénie - Suède.

[III] *IAEA Safety Standards series n° GSG-1, 2009.*

4. L'INVENTAIRE DANS CERTAINS PAYS

ROYAUME-UNI

Au Royaume-Uni, un inventaire est réalisé tous les trois ans par l'autorité de démantèlement nucléaire, la NDA, en partenariat avec le ministère de l'Énergie et du changement climatique (DECC).

La dernière parution en 2014 dresse l'état des déchets existants au 1er avril 2013 et présente l'ensemble des déchets à venir au Royaume-Uni. Il est accessible directement à partir d'un nouveau site dédié http://www.nda.gov.uk/ukinventory/.

Il comprend des informations sur les quantités, types et caractéristiques des déchets existants et à produire. Les prévisions sont fondées sur des hypothèses de production d'électricité, de démantèlement et de choix de filière.

À l'exception du centre de stockage de déchets de faible et moyenne activité à vie courte, le « LLRW Repository » situé près de la commune de Drigg, non loin de Sellafield, aucun site nucléaire ne répertorie de déchets radioactifs autres que ceux qu'il produit. L'inventaire 2013 relève 1 326 sites et filières de déchets qui concernent les activités de l'industrie nucléaire, la défense mais aussi celles des petits producteurs. Il comptabilise les déchets produits ou prévus, situés principalement sur leur lieu de production et qui n'ont pas encore été définitivement stockés.

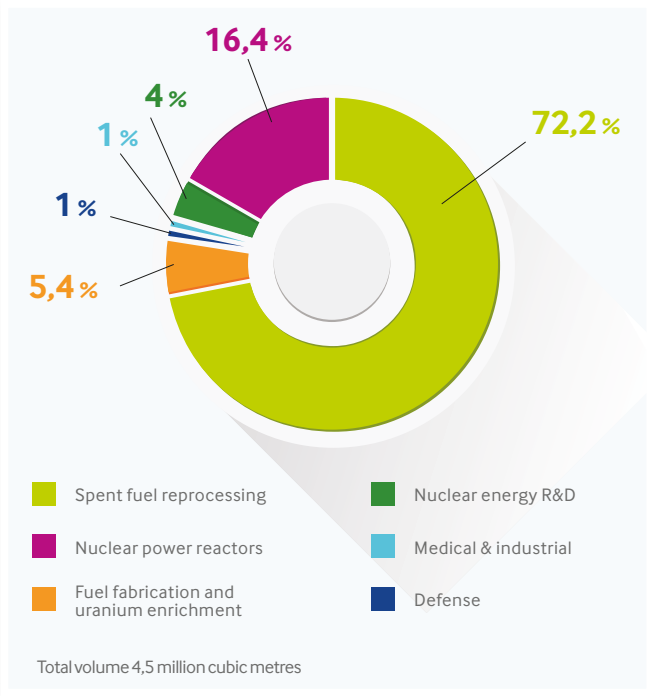
L'inventaire recense 4 450 000 m³ de déchets existants ou à venir, déjà entreposés ou à produire par les installations en exploitation. Ce volume ne comprend pas les 900 000 m³ de déchets déjà stockés dans le « LLRW Repository », comptabilisés de manière distincte. Les données d'inventaires correspondent à l'état dans lequel se trouvent les déchets, 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.
Les volumes globaux attendus de déchets, existants et prévisionnels, sont évalués sous forme de déchets conditionnés.

L'inventaire se présente en plusieurs documents :

- résumé de l'inventaire ;
- résumé des données pour communication à l'International (AIEA, et autres) ;
- champ de l'inventaire et ses modalités ;
- scénario de prévision de production de matières et déchets radioactifs ;
- quantités de déchets suivant leurs origines ;
- composition des déchets radioactifs ;
- contenu radioactif des déchets ;
- matières et déchets radioactifs non comptabilisés dans l'inventaire du Royaume-Uni 2013.

Le résumé de l'inventaire 2013 vise 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 ?

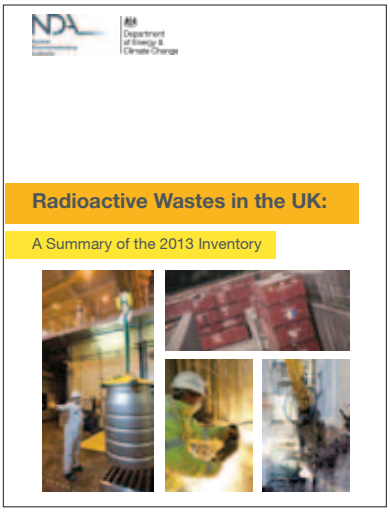
RÉPARTITION DES DÉCHETS RADIOACTIFS PRODUITS ET PRÉVUS AU ROYAUME-UNI 2013



UK Radioactive Waste Inventory, NDA and DEC

Les différents autres rapports d'inventaire fournissent des informations détaillées sur les caractéristiques : masse, volumes, radioactivité, conditionnement et colisage des déchets répertoriés. Ils détaillent les déchets produits et à venir en établissant un comparatif avec l'inventaire 2010.

Le résumé de l'inventaire 2013 destiné à une publication internationale au 1er avril 2013, répond aux besoins de déclaration d'inventaire des déchets radioactifs à des instances comme l'AIEA, la Commission européenne ou encore l'AEN/OCDE. Il reprend la classification à la fois des déchets radioactifs à vie courte et à vie longue au Royaume-Uni.



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 2014, 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.

Cet inventaire recense l'ensemble des matières considérées comme 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 162 fiches signalétiques correspondant chacune à un type de déchet.

Il est établi selon un scénario de base tablant sur, d'une part, une exploitation des centrales nucléaires existantes pendant 60 ans, à l'exception de la centrale de Mühleberg qui cessera son activité en 2019 et, d'autre part, une période de collecte des déchets provenant de la médecine, de l'industrie et de la recherche allant jusqu'en 2065.

Les fiches techniques contiennent des informations notamment sur le type de déchets (déchets bruts), leur provenance, leur conditionnement, l'évolution de leurs quantités, l'inventaire des matières radioactives et des radionucléides, la radiotoxicité, le débit de dose et la puissance thermique, les rapports surfaces/masses, ainsi que sur la production de gaz de radiolyse.

L'inventaire fournit une représentation graphique de l'évolution des volumes, des inventaires et de la radiotoxicité des déchets sur toute la durée de leur production et, pour les caractéristiques radiologiques, sur une période allant jusqu'à un million d'années.

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.



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 2013 portait sur la période 2008-2012.

Il répertoriait 685 sites comportant des déchets radioactifs, des matériaux radioactifs issus des démantèlements et des matières nucléaires.

Il établit une prévision des volumes de déchets selon un scénario qui implique que l'ensemble des installations nucléaires existantes soit démantelé et ne produise plus de déchets. Cet horizon de temps dépend grandement des scénarios et calendriers de gestion considérés : le scénario de gestion des combustibles usés, les scénarios de démantèlement des installations, les calendriers du stockage, etc. 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 un passif, c'est-à-dire une charge pour la collectivité si ces moyens étaient insuffisants ou manquants.

L'édition 2013 développe en particulier des aspects méthodologiques d'évaluation des moyens financiers et des provisions qui leur sont associées. Définie par l'article 9 de la loi-programme du 12 décembre 1997, la mission d'inventaire des passifs nucléaires confiée à l'Ondraf (www.nirond.be) consiste à :

- « établir un répertoire de la localisation et de l'état de toutes les installations nucléaires et de tous les sites contenant des substances radioactives (une substance radioactive est une 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 des provisions pour le financement de ces opérations en cours ou futures ;
- 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 quatrième rapport d'inventaire pour la période 2013-2017 devrait être publié en 2018 sur le volet concernant les passifs nucléaires. Il est précédé d'un inventaire des déchets radioactifs établi à partir des informations des producteurs.

Ce dernier rassemble les données physiques, radiologiques et chimiques des déchets.



ALLEMAGNE

Depuis 1984 le Bureau fédéral de radioprotection (BfS) a développé une approche systématique de collecte et de mise à jour des données de base de l'inventaire des déchets radioactifs. Ces données sont les quantités et volumes existants ainsi que les prévisions pour l'année suivante, pour chaque décennie jusqu'à l'horizon 2080.

Le BfS procédait annuellement par enquête auprès des producteurs, au moyen d'un questionnaire portant sur les volumes des déchets produits, traités et conditionnés. Cela ne concernait que les déchets devant être stockés.

En Allemagne, les déchets susceptibles d'être libérés au sens de la radioprotection ne sont pas comptabilisés dans l'inventaire. Il s'agit principalement d'uranium appauvri ainsi que d'uranium et de plutonium issus du traitement utilisés dans la fabrication d'éléments combustibles.

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 Sûreté nucléaire (BMU). Les volumes de déchets présents et futurs sont complétés 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 aujourd'hui établies par le BfS selon un scénario modifié par le 13ème amendement, du 6 août 2011, de la loi sur l'énergie nucléaire (loi atomique). Avec cet amendement, pris consécutivement aux événements survenus en 2011 au Japon conduisant 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 autorisations d'exploitation des neuf réacteurs restants prendront fin entre 2015 et 2022. La version publique de l'Inventaire national en Allemagne sous une forme exhaustive, détaillant tous les aspects de sa réalisation, n'est pas encore publiée. 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.

D'autre part, sur un plan légal et réglementaire, le décret de 2001 sur la radioprotection contient des dispositions sur les déchets radioactifs prises en application des normes énoncées dans la loi atomique.

Conformément à ce décret, le titulaire d'une autorisation est tenu de fournir à l'avance et annuellement les prévisions de quantité de déchets radioactifs qui résulteront de ses activités et de décrire la façon dont ils seront gérés et stockés. Il lui faut également établir un inventaire des déchets radioactifs dans les formes prévues à l'annexe du même décret.

Bien qu'il ne soit pas public, l'inventaire des déchets radioactifs et combustibles usés en Allemagne est donc régulièrement établi par l'Office Fédéral de Radioprotection – BfS. Une présentation en est cependant faite tous les trois ans par le rapport de la République Fédérale d'Allemagne à la Convention commune sur la sûreté de gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs. Ce rapport national a été publié en 2014 en préparation de la 5ème conférence de l'AIEA sur la Convention commune de mai 2015.

Enfin, en lien avec le Plan national de gestion des déchets radioactifs établi à la demande de la directive 2011/70/Euratom, les informations et données sur les quantités de déchets radioactifs et de combustibles usés sont présentées à la Commission européenne.



Konrad

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.

Bien que l'inventaire soit mis à jour annuellement, sa 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 centre de stockage d'El Cabril. Elles indiquent les volumes des déchets déjà produits, ceux à produire et ceux produits en Espagne mais 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 102/2014, portant sur la responsabilité et la sûreté des combustibles usés et des déchets radioactifs, 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 de ceux des installations démantelées ou fermées. En application de ce décret, le Plan général des déchets radioactifs (Programme national de la Directive déchets) comprend un inventaire des combustibles usés et des déchets radioactifs produits et à produire, indiquant précisément leurs quantités et emplacements, en fonction d'une classification fondée sur leur destination ultime.

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 cinq ans des déchets radioactifs d'exploitation à produire, classés par famille ;
- les estimations prévisionnelles à dix ans des combustibles ;
- les estimations prévisionnelles à cinq ans des déchets radioactifs spéciaux et particuliers ;
- les inventaires de déchets produits l'année précédente, par famille (exploitation, combustibles usés et déchets spéciaux et particuliers) ;
- 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 planificationd'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 4ème conférence de la convention commune sur la gestion sûre des combustibles usés et des déchets radioactifs organisée par l'AIEA.



El Cabril

ÉTATS-UNIS

Plusieurs systèmes d'inventaire et de suivi des déchets radioactifs existent aux États-Unis Ils diffèrent selon les organismes chargés de les réglementer :

- le Department of Energy (DOE) pour le secteur de la Défense, dépendant du Gouvernement fédéral ;
- la Nuclear Regulatory Commission (NRC) pour le secteur commercial.

L'origine et la nature des déchets conditionnent souvent 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) 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 radioactifs sont stockés à la fois par le DOE et par des organismes privés. Les sites de stockage seront à terme placés sous la responsabilité du Gouvernement fédéral ou des Gouvernements des États. Les combustibles usés et les déchets de haute activité sont actuellement entreposés.

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.

Les spécifications des inventaires relèvent des législations de chaque État dans lequel les stockages sont situés ou de l'État fédéral.

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 généralement 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, 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.

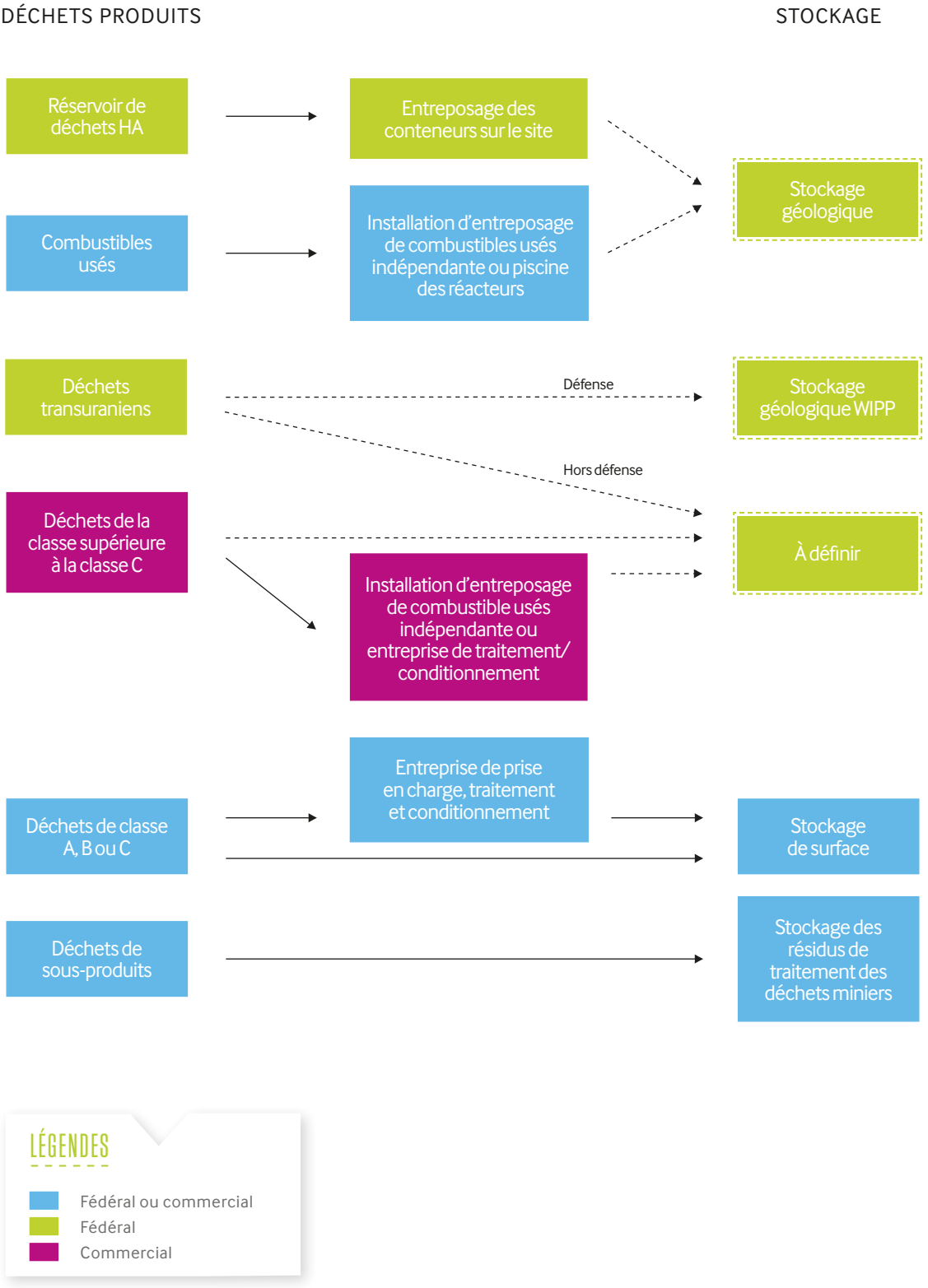
L'inventaire américain publié dans ce rapport national sur la sûreté des combustibles usés et déchets radioactifs répertorie les déchets selon les classifications respectives du DOE et de la NRC. Il inclut les matières et résidus miniers :

- l'inventaire prévisionnel du combustible usé est mis à jour annuellement. Le combustible usé n'est pas actuellement stocké, mais entreposé dans les installations des producteurs ;
- l'inventaire des déchets radioactifs stockés est publié de façon synthétique et détaillé par secteur (DOE ou NRC). Les déchets entreposés sur les sites de production ne sont pas répertoriés dans cet inventaire. Ils font l'objet d'un inventaire de suivi d'exploitation et de flux établi par les exploitants.



Waste Isolation Pilot Plant

ILLUSTRATION DE LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS AUX ÉTATS-UNIS



Source : D. Tonkay, DOE, Waste Inventory Records Keeping Systems United States of America, August 2005

TABLEAU SYNTHÉTIQUE DES INVENTAIRES DES DÉCHETS RADIOACTIFS STOCKÉS PAR SECTEUR ET INSTALLATION (US 5TH NATIONAL REPORT FOR THE JOINT CONVENTION IAEA, SEPT. 2014)

Secteur	Type de stockage	Type de déchet	Nombre	Inventaire	Unité
Gouvernement	Stockage Géologique (WIPP)	TRU	1	$9{,}10.10^{4}$	m^3
	"Greater Confinement Disposal (boreholes)" au Nevada National Security Site	TRU	1	$2{,}00.10^{2}$	m^3
	Stockage de surface	LLW	18	$1{,}51.10^{7}$	m^3
				$1{,}25.10^{2}$	Compartiments réacteur
Commercial	Stockage de surface en exploitation	LLW (Class A, B, C)	4	$4{,}63.10^{6}$	m^3
		AEA Section 11e.(2)	1	$1{,}40.10^{6}$	m^3
	Stockage de surface après fermeture	LLW	4	$4{,}38.10^{5}$	m^3
Gouvernement/ Commercial	Title I UMTRCA Stockage de produits miniers	Residual Radioactive Material (tailings)	22	$2{,}45.10^{8}$	tonnes
Commercial	Title II UMTRCA Stockage de produits miniers	AEA Section 11e.(2)	44		
Gouvernement	Autres cellules de stockage, après fermeture (Weldon Spring Site and Monticello)	Residual Radioactive Material (tailings)	2	$3{,}03.10^{6}$	m^3

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 des quantités qui seront produites jusqu'à la fin de l'exploitation du parc actuel des réacteurs, envisagée en 2050.

Les données de l'inventaire des déchets radioactifs proviennent de plusieurs sources et en particulier de la Société de gestion des déchets nucléaires SGDN/NWMO en charge de dresser l'inventaire des combustibles usés.

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 du fonctionnement 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 EACL (Énergie atomique du Canada limitée) pour le compte du ministère des Ressources naturelles.

Quatre inventaires ont été publiés entre 2009 et 2012.

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 (EACL).

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.



Laboratoire souterrain de Pinawa





CHAPITRE 6

LES ANNEXES & GLOSSAIRE

Annexe 1 - Méthodologie d'élaboration de l'Inventaire national | 158

Annexe 2 - L'activité des déchets radioactifs | 165

Glossaire & abréviations | 171

ANNEXE 1 |

MÉTHODOLOGIE D'ÉLABORATION DE L'INVENTAIRE NATIONAL

1. Les modalités de réalisation de l'Inventaire national | **159**
La réglementation
Les principes
Les acteurs

2. La restitution des informations | **162**
Le rapport de synthèse
L'inventaire géographique
Le catalogue descriptif des familles
Le « point sur »
Les essentiels



1. LES MODALITÉS DE RÉALISATION DE L'INVENTAIRE NATIONAL

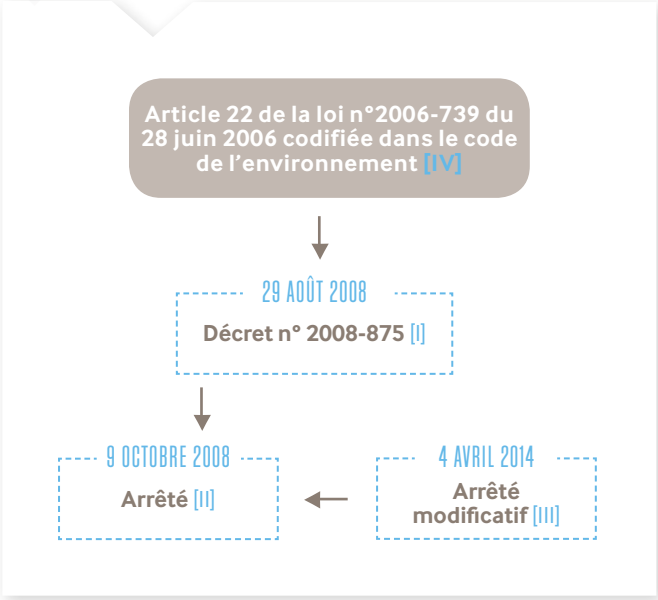
LA RÉGLEMENTATION

L'article L. 542-12 du code de l'environnement 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 ».*

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 l'arrêté ministériel du 9 octobre 2008 [II] modifié par l'arrêté ministériel du 4 avril 2014 [III] définissent les obligations déclaratives des producteurs et détenteurs de matières et déchets radioactifs.

Pour l'édition 2015 de l'Inventaire national, les stocks de déchets existants sont établis à fin 2013, les prévisions sont établies à fin 2020, fin 2030 et à la fin de la durée d'exploitation envisagée pour chaque installation.

LA RÉGLEMENTATION APPLICABLE À L'INVENTAIRE NATIONAL



L'ARTICLE VIII DE L'ARRÊTÉ DU 4 AVRIL 2014 [III] DÉFINIT LES DATES DE RÉFÉRENCE POUR LA PRÉSENTE ET LES FUTURES ÉDITIONS

Édition	Date des stocks	Dates des prévisions	
2015	31/12/2013	Fin 2020	Fin 2030
2018	31/12/2016	Fin 2030	Fin 2040
2021	31/12/2019	Fin 2030	Fin 2040
2024	31/12/2022	Fin 2030	Fin 2040
2027	31/12/2025	Fin 2040	Fin 2050
2030	31/12/2028	Fin 2040	Fin 2050

Seuls les déchets correspondants au fonctionnement et au démantèlement des installations existantes ou autorisées à fin 2013 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] *Arrêté du 4 avril 2014 modifiant l'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.*

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

LES PRINCIPES

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 triple objectif est poursuivi :

- recenser les matières et déchets radioactifs sur le territoire français, y compris les déchets étrangers destinés à retourner chez les clients étrangers, auprès de chaque producteur ou détenteur. L'Andra accomplit ce travail de recensement depuis 1992. Initialement effectué sur la base de la libre déclaration des producteurs et détenteurs, ce travail est réalisé depuis 2008 dans le cadre réglementaire décrit au paragraphe précédent ;

- établir une vue synthétique des matières et déchets radioactifs présents et à venir selon des scénarios prévisionnels avec des photographies des stocks aux dates clés définies par arrêté ministériel ainsi qu'à terminaison, c'est-à-dire à la fin d'exploitation de leur installation ;

- dessiner les grandes tendances de productions de matières et déchets radioactifs à la fin d'exploitation des installations nucléaires, selon des scénarios prospectifs contrastés.

SCÉNARIOS

Scénario prévisionnel

Tout exploitant d'un site accueillant soit une ou plusieurs INB, soit une ou plusieurs INBS, soit une ou plusieurs ICPE mettant en œuvre des substances radioactives [1] est tenu de transmettre tous les trois ans à l'Andra des informations sur les quantités prévisionnelles de matières et déchets radioactifs. Ces informations sont établies sur la base de leur scénario industriel et commercial d'exploitation de leurs installations.

Scénario prospectif

Les scénarios prospectifs, définis par le comité de pilotage de l'Inventaire national, se fondent sur des hypothèses volontairement contrastées de politique électronucléaire. Ils permettent d'estimer les quantités de déchets qui résulteraient de la mise en œuvre de ces scénarios. Ils ne sauraient préjuger des évolutions éventuelles de la politique énergétique française.

MATIÈRES ET DÉCHETS RADIOACTIFS SUR LE TERRITOIRE FRANÇAIS

L'Inventaire national recense l'ensemble des matières et déchets radioactifs présents sur le territoire français. Il prend donc en compte les matières et déchets radioactifs provenant du traitement de combustibles étrangers, bien que ceux-ci soient destinés à repartir dans leur pays d'origine.
Les exploitants d'installations nucléaires effectuant des opérations de traitement pour le compte de clients étrangers rendent public chaque année un rapport qui recense l'ensemble des matières et déchets radioactifs appartenant à leurs clients étrangers, conformément à l'article L. 542-2-1 du code de l'environnement.

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

1 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.

2 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 les sites pollués ainsi que toutes les installations possédant, même à titre provisoire, des déchets en attente de prise en charge par l'Andra, par exemple dans les laboratoires de recherche médicale ou universitaire. Il s'étend également aux matières radioactives.

[1] *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.*

3 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.

4 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 [V].

Pour respecter ce principe de transparence, un comité de pilotage, présidé par le directeur général de l'Andra et composé de membres extérieurs à l'Agence, pilote l'élaboration de l'Inventaire national.

5 La responsabilité du déclarant et 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 lui permettent le cas échéant de faire appel à l'administration en cas de manquement d'un producteur ou détenteur de déchets à ses obligations déclaratives. Par ailleurs, conformément à l'article 2 du décret n°2013-1304 du 27 décembre 2013 fixant 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 détenteurs de déchets ne dispensent toutefois pas l'Agence de veiller à l'exhaustivité de son recensement en recoupant diverses sources d'information, et notamment en analysant la presse nationale et régionale. 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.

LES ACTEURS

Les déclarations des producteurs et détenteurs de déchets peuvent être effectuées par Internet depuis 2008. Les procédures de vérification des données déclarées dépendent du type de producteur :

- **les grands industriels du nucléaire** (Andra, AREVA, CEA, EDF) qui gèrent plusieurs sites.
Chaque site dispose de correspondants qui connaissent précisément l'état des stocks et effectuent les déclarations (les déclarants). Ces déclarations sont ensuite vérifiées puis validées par une personne responsable au niveau central de chaque organisme (le superviseur déclarant). Les prévisions sont directement déclarées par les superviseurs ;

- **les « petits producteurs »** produisent moins de déchets radioactifs. Chaque responsable d'activité nucléaire effectue directement sa déclaration sans validation par un superviseur.

DÉFINITION : "PETIT PRODUCTEUR"

Par « petit producteur » on entend les producteurs ou détenteurs de déchets radioactifs issus du secteur médical, de la recherche (hors CEA) et de l'industrie hors électronucléaire. Il s'agit principalement de producteurs relevant de l'article R.542-68 du décret n° 2008-875 du 29 août 2008 [I].

Chaque donnée déclarée est vérifiée par l'Andra : comparaison avec la déclaration précédente, contrôle de cohérence, recoupements avec d'éventuelles autres sources d'informations, analyse de la filière de gestion des déchets retenue par le producteur...

Les déclarations une fois analysées sont ensuite, le cas échéant après échanges avec le producteur et reprise des déclarations, validées par l'Andra.

Le comité de pilotage (COPIL) de l'Inventaire national a été créé dans un souci de transparence et d'efficacité. Il permet de partager une vision consensuelle de cet inventaire. La principale mission du COPIL est de valider les hypothèses nécessaires à la réalisation de l'Inventaire national et les principales conclusions résultant de l'analyse des déclarations avant que celles-ci ne soient rendues publiques. Il doit aussi s'assurer que les informations soient transmises au public dans la plus grande transparence possible.

Par ailleurs, conformément aux prescriptions du PNGMDR 2013-2015, l'Andra présente chaque année, lors d'une réunion du groupe de travail PNGMDR, une actualisation des quantités de déchets stockés ou entreposés sur la base des déclarations annuelles des producteurs.

[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.*

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

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 prospectifs. Les modalités de restitution des données dans l'Inventaire national sont définies 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), à titre d'observateur ;
- de représentants des associations de la société civile, 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).

2. **LA RESTITUTION** DES INFORMATIONS

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 cinq documents :

- **le présent rapport de synthèse :** présentation détaillée de l'ensemble des matières et déchets radioactifs français existants et futurs par filière de gestion, secteur économique, propriétaire… ;
- **l'inventaire géographique** ;
- **le catalogue descriptif des familles** ;
- **le « point sur »** ;
- **les essentiels** ;

L'ensemble de ces documents est disponible en version multimédia sur le site Internet de l'Andra : www.inventaire.andra.fr.

La filière de gestion proposée dans l'Inventaire national ne préjuge pas de l'acceptation du déchet dans le centre de stockage correspondant.

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 les volumes de déchets.

CINQ DOCUMENTS



LE RAPPORT DE SYNTHÈSE

Ce document présente de manière détaillée l'ensemble des matières et déchets radioactifs, existants et futurs, présent sur le territoire français. Les quantités sont regroupées par catégorie et par secteur économique.

La partie quantitative est complétée par des dossiers thématiques qui permettent de faire un focus sur des sujets particuliers tels que le traitement et le conditionnement des déchets ou bien encore le démantèlement et l'assainissement des installations.



L'INVENTAIRE GÉOGRAPHIQUE

L'inventaire géographique est la copie conforme des déclarations des producteurs. Ce document présente chaque site par sa région administrative, son département et sa commune, en le classant selon le secteur économique auquel est rattaché le producteur ou détenteur 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 SIENID, 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 Areva, CEA ou EDF.

La catégorie du déchet telle que 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 CATALOGUE DESCRIPTIF DES FAMILLES

Le recensement effectué selon les principes précédents conduit à un nombre élevé de déchets déclarés. Les déchets ont été regroupés par famille, par souci de simplification et de présentation. 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.

Les volumes de déchets dans le catalogue des familles sont présentés en « m^3 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.

L'activité totale des déchets est calculée par l'Andra à la date de l'inventaire (31 décembre 2013 de l'année précédente) en becquerel alors que l'activité massique en becquerel par gramme de colis est généralement indiquée à la date de production du colis.

Dans l'édition 2015, le catalogue des familles présente pour chaque fiche famille les stocks de déchets à fin 2013, qu'ils soient entreposés ou stockés, ainsi que les prévisions de production à fin 2020 et à fin 2030. Ces quantités sont exprimées en volumes de déchets équivalent conditionné.

Les prévisions se fondent sur les scénarios des industriels. Pour le secteur de l'électronucléaire, le scénario retenu dans le cadre de l'édition 2015 de l'Inventaire national est un scénario de poursuite de la production électronucléaire avec une durée de fonctionnement des centrales de 50 ans.



LE « POINT SUR »

Le « point sur » constitue la version grand public de l'Inventaire national.

Ce document définit la notion de matières et déchets radioactifs, présente le bilan des quantités existantes et prévues et fait ensuite état de leur filière de gestion actuelle ou en projet.



LES ESSENTIELS

Le document « Les essentiels 2015 » présente les chiffres globaux de l'Inventaire national 2015 et permet d'alimenter le PNGMDR (plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs) mis à jour tous les 3 ans.

L'INVENTAIRE NATIONAL PEUT-IL PRÉTENDRE À L'EXHAUSTIVITÉ ?

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

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

Le caractère obligatoire des déclarations, à partir de 2008, a contribué à accroître l'exhaustivité des données déclarées à l'Inventaire national. Par ailleurs, les incidents sur le site du Tricastin (26) de l'été 2008 ont conduit le ministère 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. Toutefois, il est possible qu'il existe des détenteurs 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 [VI], figure la recommandation numéro 15 : « Le Haut comité recommande que le site BASIAS développé par le ministère en charge de l'Ecologie 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.

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.

[VI] *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*

ANNEXE 2 |

L'ACTIVITÉ DES DÉCHETS RADIOACTIFS

1. La radioactivité | 166

2. Les rayonnements | 166

3. Le niveau d'activité et la durée de vie | 167

4. Les radioéléments fils en équilibre séculaire | 168

5. La mesure de la radioactivité | 169

6. Comment mesure-t-on l'activité des colis de déchets ? | 170



1. LA RADIOACTIVITÉ

Dans la nature, la plupart des noyaux des atomes (constituant la matière) sont stables. Les autres ont des noyaux instables : ils présentent un excès de particules (protons, neutrons ou les deux) qui les conduit à se transformer (par désintégration) en d'autres noyaux (stables ou non). On dit alors qu'ils sont radioactifs car en se transformant ils émettent des rayonnements dont la nature et les propriétés sont variables.

2. LES RAYONNEMENTS

On distingue trois types de rayonnements, correspondant à trois formes de radioactivité :

LES RAYONNEMENTS

Le rayonnement α

Émission d'un noyau d'hélium (constitué de 2 protons et de 2 neutrons) appelé aussi « particule α ». La portée dans l'air de ces particules est de quelques centimètres, elles sont arrêtées par une simple feuille de papier.



Le rayonnement β

Transformation d'un neutron en proton accompagnée par l'émission d'un électron. Il suffit d'une feuille d'aluminium ou d'une vitre en verre ordinaire pour interrompre le parcours des électrons.



Le rayonnement γ

Émission d'un rayonnement électromagnétique, de même nature que la lumière visible ou les rayons X, mais beaucoup plus énergétique et donc plus pénétrant. Plusieurs centimètres de plomb ou plusieurs décimètres de béton sont nécessaires pour les arrêter.

3. LE NIVEAU D'ACTIVITÉ ET LA DURÉE DE VIE

Certains isotopes d'éléments sont très radioactifs (milliards de milliards de becquerels), d'autres ont une faible activité (qui se mesure en milliers de becquerels). Ces éléments radioactifs sont appelés radionucléides.

Par ailleurs, la durée de vie des radionucléides (durée pendant laquelle ils émettent des rayonnements) est très variable, d'un radionucléide à l'autre. On appelle période radioactive le temps au bout duquel une matière radioactive perd naturellement la moitié de sa radioactivité. Ainsi, au bout de 10 périodes radioactives, la radioactivité d'un produit est divisée par 1 000.

Cette période peut aller par exemple d'une fraction de seconde pour le polonium 214 à 4,5 milliards d'années pour l'uranium 238.

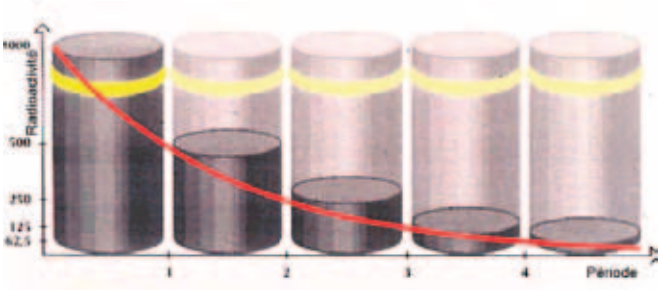
La période radioactive d'un radionucléide est systématiquement reliée par une fonction inverse à l'activité : plus la période est longue, plus l'activité massique est faible. Le tableau suivant donne des exemples d'activités pour 1 gramme de matière (Iode 131, Césium 137, Plutonium 239 et Uranium 238).

DÉFINITION : ACTIVITÉ MASSIQUE

En physique nucléaire, l'activité est souvent rapportée à un volume (activité volumique en Bq/l ou Bq/m^3), une masse (activité massique en Bq/g) ou une surface (activité surfacique en Bq/cm^2).

L'activité massique est le nombre de désintégrations d'une substance radioactive par unité de temps et par unité de masse. Dans le catalogue des familles, elle s'exprime en becquerels par gramme de colis fini.

COURBE DE DÉCROISSANCE DE LA RADIOACTIVITÉ



La radioactivité est divisée par quatre après deux périodes, par huit après trois périodes…

QUELQUES EXEMPLES DE RELATION ENTRE PÉRIODE ET ACTIVITÉ

Radioélément	Période	Activité massique
Iode 131	8 jours	4,6 millions de milliards de Bq/g
Césium 137	30 ans	3 200 milliards de Bq/g
Plutonium 239	24 113 ans	2,3 milliards de Bq/g
Uranium 238	4,5 milliards d'années	12 400 Bq/g

4. LES RADIOÉLÉMENTS FILS EN ÉQUILIBRE SÉCULAIRE

Les atomes radioactifs se transforment par désintégration pour devenir d'autres atomes radioactifs ou des atomes stables. Ce phénomène naturel se déroule dans un ordre et dans un laps de temps spécifiques à chaque radionucléide. Cet enchaînement est appelé « chaîne de désintégration » ou « chaîne de filiation ».

Dans chaque chaîne de filiation, le radionucléide de départ est nommé « radionucléide père ». Chaque radionucléide intermédiaire, produit par désintégration, est appelé « radionucléide fils ». Au bout de la chaîne de filiation, le dernier élément est un atome stable.

Lorsque la période du père est très nettement supérieure à celle des fils, les activités des différents fils se mettent à l'équilibre avec celle du père. Cet équilibre, dit séculaire, est obtenu après un temps égal à environ 10 fois la période du fils dont la période est la plus longue. L'activité de chacun des fils est alors considérée comme proportionnelle à celle du père.

La directive 2013/59/Euratom du 5 décembre 2013 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants indique les différents équilibres séculaires à considérer.

Le tableau suivant présente les radioéléments père et fils[1] pris en considération pour les calculs des activités radiologiques pour l'édition 2015 de l'Inventaire national :

LISTE DES DIFFÉRENTS ÉQUILIBRES SÉCULAIRES À CONSIDÉRER

Radionucléide père	Filiation
^{52}Fe	^{52m}Mn
^{69m}Zn	^{69}Zn
^{90}Sr	^{90}Y
^{91}Sr	^{91m}Y
^{95}Zr	^{95}Nb
^{97}Zr	^{97m}Nb, ^{97}Nb
^{97}Nb	^{97m}Nb
^{99}Mo	^{99m} Tc
^{101}Mo	^{101}Tc
^{103}Ru	^{103m}Rh
^{105}Ru	^{105m}Rh
^{106}Ru	^{106}Rh
^{103}Pd	^{103m}Rh
^{109}Pd	^{109m}Ag
^{110m}Ag	^{110}Ag
^{109}Cd	^{109m}Ag
^{115}Cd	^{115m}In
^{115m}Cd	^{115m}In

Radionucléide père	Filiation
^{114m}In	^{114}In
^{113}Sn	^{113m}In
^{125}Sb	^{125m}Te
^{127m}Te	^{127}Te
^{129m}Te	^{129}Te
^{131m}Te	^{131}Te
^{132}Te	^{132}I
^{137}Cs	^{137m}Ba
^{144}Ce	^{144}Pr, ^{144m}Pr
^{232}U	^{228}Th, ^{224}Ra, ^{220}Rn, ^{216}Po, ^{212}Pb, ^{212}Bi, ^{208}Tl
^{240}U	^{240m}Np, ^{240}Np
^{237}Np	^{233}Pa
^{244}Pu	^{240}U, ^{240m}Np, ^{240}Np
^{242m}Am	^{238}Np
^{243}Am	^{239}Np
^{247}Cm	^{243}Pu
^{254}Es	^{250}Bk
^{254m}Es	^{254}Fm

1 *Les derniers éléments des chaînes de filiations, non radioactifs, ne sont pas indiqués ici.*

5. LA MESURE DE LA RADIOACTIVITÉ

1 Les rayonnements issus de la radioactivité ne sont pas directement perceptibles par nos sens. Nous les mesurons par quantification de leurs effets.

Les méthodes pour y parvenir sont fondées sur le fait qu'un rayonnement laisse une trace au sein de la matière traversée. Les détecteurs couramment utilisés sont de conceptions diverses (compteurs contenant un gaz, scintillateurs, semi-conducteurs) mais ils utilisent tous le même principe : ils convertissent en un signal électrique les photons ou les électrons créés par le rayonnement, pour compter le nombre de désintégrations.

2 Les unités de mesures de la radioactivité

Le Becquerel et le Gray sont les unités qui mesurent la radioactivité et son énergie. Le Sievert est une grandeur qui en estime les effets.

- Le Becquerel (Bq)

Il permet de mesurer le niveau de radioactivité, également appelé activité. Il correspond au nombre d'atomes qui se désintègrent par unité de temps (seconde).
L'ancienne unité était le Curie (Ci) : 1 Ci = $3{,}7.10^{10}$ Bq, en référence au nom des découvreurs du radium (Pierre et Marie Curie).

- Le Gray (Gy)

Il permet de mesurer la quantité d'énergie absorbée (dose absorbée) par de la matière (organisme ou objet) exposée à des rayonnements ionisants. 1 Gray correspond à une énergie absorbée de 1 joule par kilo de matière.
L'ancienne unité était le rad : 1 Gy = 100 rad.

- Le Sievert (Sv)

Il permet d'évaluer les effets biologiques des rayonnements d'origine naturelle ou artificielle sur l'homme, en fonction du type de rayonnement.
L'ancienne unité était le rem : 1 Sv = 100 Rem.

PRINCIPALES GRANDEURS MESURÉES

Grandeur mesurée	Définition	Unités
Activité	Nombre de désintégrations par seconde	Becquerel (Bq)
Dose absorbée	Quantité d'énergie transférée à la matière	Gray (Gy)
Dose efficace	Effets des rayonnements sur l'organisme	Sievert (Sv)

Bien que le becquerel soit une unité extraordinairement faible, les appareils de mesure dont on dispose sont souvent assez sensibles pour déceler la radioactivité dans des conditions optimales. De plus, la radioactivité se mesure sur des appareils portables et en lecture instantanée, sous réserve que l'appareil utilisé soit adapté aux rayonnements réellement présents.



Mesure d'un fût de déchets

6. **COMMENT MESURE-T-ON** L'ACTIVITÉ DES COLIS DE DÉCHETS ?

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 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, mais la déclaration d'activité ne prend pas toujours 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 2013, 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 six mois et des radioéléments fils en équilibre séculaire, et intègre la décroissance radioactive depuis les dates de production des déchets.

Ces chiffres ne sont donc pas toujours directement comparables aux valeurs déclarées par les producteurs.

GLOSSAIRE
& ABRÉVIATIONS



TERMES	DÉFINITIONS
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.
AIEA (IAEA EN ANGLAIS)	Agence internationale pour l'énergie nucléaire (www.iaea.org).
AMONT DU CYCLE DU COMBUSTIBLE	Ensemble des opérations du cycle du combustible depuis l'exploitation minière jusqu'à la fabrication du combustible.
ASSAINISSEMENT RADIOACTIF	Pour une installation ou un site nucléaire, ensemble d'opérations visant à éliminer ou réduire la radioactivité, notamment par décontamination ou évacuation de matériels, en permettant la récupération contrôlée des substances radioactives. 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 Bq = 1 s^{-1}). Cette unité remplace le curie (1 Ci = $3{,}7.10^{10}$Bq). On emploie plus couramment ses multiples : le mégabecquerel (MBq, million de Becquerels, 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 durable des déchets radioactifs. En fonction des risques radiologiques des déchets, des installations à la surface du sol, à faible profondeur ou en formation géologique profonde sont envisageables.
CIGÉO	Centre industriel de stockage géologique.
CIRES	Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage.
CNE	Commission nationale d'évaluation.

TERMES	DÉFINITIONS
CNEF	La Commission nationale d'évaluation du financement des charges de démantèlement des installations nucléaires de base et de gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs est une commission créée par la loi du 28 juin 2006, afin de contrôler le financement des charges nucléaires de long terme.
CNPE	Centre nucléaire de production d'électricité.
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	Récipient 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 RNR	Combustibles des réacteurs à neutrons rapides Phénix et Super Phénix. Ces combustibles peuvent être de type UOX ou MOX.
COMBUSTIBLE URE	Combustibles composés d'uranium de traitement.
COMBUSTIBLE(S) USÉ(S)	Combustible nucléaire, déchargé d'un réacteur après irradiation et envoyé à un centre d'entreposage, de stockage ou de traitement.
CONDITIONNEMENT DES DÉCHETS RADIOACTIFS	Ensemble des opérations consistant à mettre les déchets radioactifs sous une forme convenant à leur transport, leur entreposage ou leur stockage. *Note : ces opérations peuvent comprendre notamment le compactage, l'enrobage, la vitrification, la cimentation, le bitumage et la mise en conteneur.*
CONFINEMENT (DE MATIÈRES RADIOACTIVES)	Maintien de matières radioactives à l'intérieur d'un espace déterminé grâce à un ensemble de dispositifs (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.

TERMES	DÉFINITIONS
CRAYON DE COMBUSTIBLE	Tube de faible diamètre, fermé à ses deux extrémités, contenant les pastilles de combustible.
CSA	Centre de stockage de l'Aube pour les déchets FMA-VC.
D	
DÉCHETS À VIE COURTE	Déchets radioactifs dont les composants radioactifs principaux sont des 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 ÉLEVÉE	Les déchets à radioactivité naturelle élevée sont des déchets générés par l'utilisation ou la transformation de matières premières contenant naturellement des radionucléides mais qui ne sont pas utilisées pour leurs propriétés radioactives. Ces déchets inclus les déchets à radioactivité naturelle renforcée (RNR) et peuvent nécessiter une gestion particulière.
DÉCHETS À RADIOACTIVITÉ NATURELLE RENFORCÉE (RNR)	Les déchets à radioactivité naturelle renforcée 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 se retrouvent concentrés dans les matériaux ou déchets, à l'issue de procédés de transformation.
DÉCHETS D'EXPLOITATION	Les déchets d'exploitation sont les déchets produits lors du fonctionnement ou du démantèlement d'une installation.
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	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.
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	Ensemble des opérations techniques exécutées pour démonter et, éventuellement, mettre au rebut un équipement ou une partie d'une installation nucléaire. 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 qui consiste à placer provisoirement des matières ou des déchets radioactifs dans une installation spécialement aménagée à cet effet, dans l'attente de les récupérer.

TERMES	DÉFINITIONS
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.
FISSILE	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, ^{244}Am, etc.). Pour ces derniers, la probabilité de fission induite par neutrons est négligeable même à haut flux. 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.
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.
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.
HCTISN	Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire.
I	
ICPE	Installation classée pour la protection de l'environnement.
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	Tout nucléide d'un élément donné. Qualifie des nucléides d'un même élément.
M	
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.
MARQUÉ (SITE)	Site présentant des traces de radionucléides naturels ou artificiels, détectables sans qu'il y ait nécessairement d'action particulière envisagée.
MATIÈRE RADIOACTIVE	Une matière radioactive est une substance radioactive pour laquelle une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement.
MATRICE	Matériau de blocage ou d'enrobage auquel des déchets sont plus ou moins intimement liés dans le but de limiter la dispersion de substances radioactives.
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.

TERMES	DÉFINITIONS
MES	Matières en suspension, résidus issus du traitement des terres rares contenant du thorium.
MÉTASTABLE	État dans lequel un noyau atomique est « bloqué » dans un état excité (à un niveau d'énergie supérieur à son état fondamental) pendant un certain laps de temps, de quelques milliardièmes de seconde à plusieurs milliards d'années.
MÉTAL LOURD (TML)	Dans le domaine du combustible nucléaire, ensemble des actinides. En pratique, cette expression concerne essentiellement l'uranium, le plutonium et le thorium et s'exprime le plus généralement en tonne de métal lourd (tML).
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 $^{238}_{92}U$.
O	
OPECST	Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques.
P	
PÉRIODE RADIOACTIVE (OU DEMI-VIE)	Temps au bout duquel la moitié de la quantité d'un même radionucléide aura naturellement disparu par désintégration. Le niveau de radioactivité d'un échantillon d'un même atome est donc divisé par deux. Au bout de 10 périodes, le niveau de radioactivité est divisé par 1 000.
PLUTONIUM	Elément de numéro atomique Z = 94. Il a été produit initialement pour les applications militaires. Généré dans les réacteurs nucléaires par irradiation à partir de l'uranium 238, il est utilisé aujourd'hui comme constituant des combustibles Mox dans certains réacteurs à eau légère. C'est aussi le combustible retenu dans la plupart des études de réacteurs à neutrons rapides.
PNGMDR	Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs.
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	Les produits de fission sont des 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 ^{99}Tc, ^{129}I sont à vie longue.

TERMES	DÉFINITIONS
R	
RADIOACTIVITÉ	Propriété d'un nucléide de se transformer spontanément en un autre nucléide, avec émission d'un rayonnement (particules, rayons X, rayons gamma, etc.), ou d'être le siège d'une fission spontanée accompagnée d'une émission de particules et de gammas. Outre la fission spontanée, on distingue principalement la radioactivité alpha, la radioactivité bêta (B^+, B^-, conversion interne), la radioactivité gamma et celle provenant d'une capture électronique. La radioactivité gamma accompagne souvent l'une des autres.
RADIOÉLÉMENT	Elément chimique dont tous les isotopes sont radioactifs. Terme d'emploi déconseillé parfois utilisé pour radio-isotope ou radionucléide.
RADIONUCLÉIDE/RADIO-ISOTOPE	Atomes radioactifs qui en se désintégrant émettent des rayonnements à l'origine du phénomène de la radioactivité.
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.
RCD	Les déchets de reprise et conditionnement des déchets (RCD) sont des déchets historiques qui n'ont pas été conditionnés en ligne lors de leur production et qui sont ou seront repris par leur détenteur pour conditionnement et stockage.
RÉACTEURS À EAU PRESSURISÉE (REP)	Synonyme de réacteur à eau sous pression. Réacteur à neutrons thermiques utilisant l'eau légère comme modérateur et caloporteur. Cette eau est maintenue liquide dans le cœur grâce à une pression suffisamment élevée pour qu'à la température de fonctionnement, l'ébullition en masse ne puisse pas se 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 évènements ou des comportements permettant de décrire les évolutions possibles d'un système dans le temps et dans l'espace.
SERVITUDE D'UTILITÉ PUBLIQUE (SUP)	Les servitudes d'utilité publique constituent des charges existant de plein droit sur des immeubles (bâtiments ou terrains), ayant pour effet soit de limiter, voire d'interdire, l'exercice des droits des propriétaires, soit d'imposer la réalisation de travaux.
SIENID	Sites et Installations d'Expérimentations Nucléaires Intéressant la Défense.
SITE POLLUÉ AVÉRÉ	Zone polluée par une activité industrielle actuelle ou passée sur laquelle est déployée une Interprétation de l'Etat d'un Milieu (IEM) ou un plan de gestion.
SOURCE RADIOACTIVE	Appareil, substance radioactive ou installation pouvant émettre des rayonnements ionisants ou des substances radioactives.
STOCKAGE DE DÉCHETS RADIOACTIFS	Le stockage de déchets radioactifs est l'opération consistant à placer ces substances dans une installation spécialement aménagée pour les conserver de façon durablement définitive dans le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement.
SUBSTANCE RADIOACTIVE	Une substance radioactive est une substance qui contient des radionucléides, naturels ou artificiels, dont l'activité ou la concentration justifie un contrôle de radioprotection.

	TERMES	DÉFINITIONS
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).
	TERRE RARE	Elément 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)	Abréviation utilisée pour l'uranium issu du traitement des combustibles usés. On dit aussi uranium de retraitement ou encore uranium de traitement.
	URANIUM DE RETRAITEMENT ENRICHI (URE)	Uranium enrichi provenant de l'enrichissement d'uranium issu du traitement des combustibles usés. On dit aussi uranium de traitement enrichi.
V	VOLUME ÉQUIVALENT CONDITIONNÉ	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, 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. Pour le stockage profond, un conditionnement complémentaire appelé colis de stockage est 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 2 à 3 pour les déchets HA et de l'ordre d'un facteur 4 pour les déchets MA-VL. Seul le volume primaire est indiqué dans le présent document.
	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 : P. Avavian, P. Demail, D. Filipone, P. Maurein, A. Prévot, E. Stanislas, F. Vigouroux - Photothèques : Andra, AREVA, BFS, CEA, EDF, Fotolia, ITER Organization, Medisystem, Socodei

Retrouvez l'Inventaire national
des matières et déchets radioactifs en ligne sur :

www.inventaire.andra.fr



Le **site Web de référence**
pour **mieux connaître**
les déchets radioactifs
et **leur localisation**.

ANDRA

AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

1-7, rue Jean-Monnet
92298 Châtenay-Malabry cedex

www.andra.fr twitter.com/andra_france

©Andra - 558 - DICOD/15-0122 - ISSN : 2105-3065 - Juin 2015 - 2 000 exemplaires - Conception graphique et réalisation : CIMAYA - Impression avec des encres végétales par un imprimeur détenteur du label Imprim'Vert sur un papier partiellement recyclé - Gratuit - Ne peut être vendu