

# Inventaire national des matières et déchets radioactifs

RAPPORT DE SYNTHÈSE 2023



**Tous les cinq ans,  
l'Andra réalise  
une nouvelle  
édition  
de l'*Inventaire  
national  
des matières  
et déchets  
radioactifs.***

Le contenu de cet inventaire est ainsi périodiquement actualisé et enrichi en intégrant les résultats des travaux prospectifs et d'évaluation fixés par le Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR).



Retrouvez plus d'infos  
[www.inventaire.andra.fr](http://www.inventaire.andra.fr)

01



## Les matières et déchets radioactifs et leur gestion

L'origine des matières et déchets radioactifs	8
La classification des déchets radioactifs et leurs filières de gestion	12
Les cas particuliers	17
Les matières radioactives	18
Les principes généraux de la gestion des matières et déchets radioactifs	22

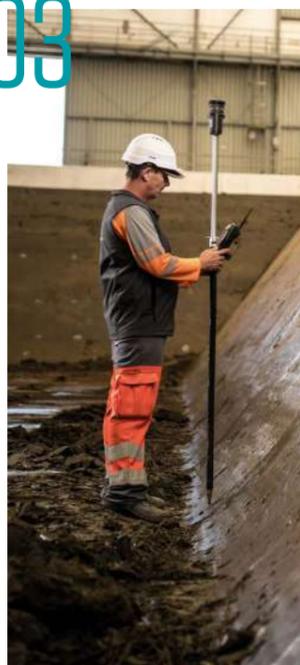
02



## Le bilan des stocks à fin 2021

<b>Le bilan des stocks par catégorie</b>	<b>29</b>
Les déchets radioactifs	29
Les matières radioactives	35
<b>Le bilan des stocks par secteur économique</b>	<b>37</b>
Secteur électronucléaire	38
Secteur de la recherche	46
Secteur de la défense	50
Secteur de l'industrie non-électronucléaire	52
Secteur médical	53

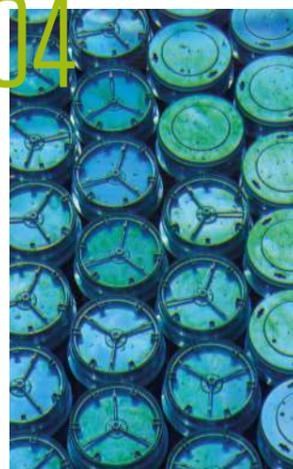
03



## Les inventaires prospectifs

Préambule	56
<b>Scénarios prospectifs : le périmètre de l'Inventaire national</b>	<b>58</b>
Synthèse des résultats des scénarios prospectifs	60
Résultats détaillés des scénarios prospectifs	64
S1 - Renouvellement du parc électronucléaire par des réacteurs EPR2 puis RNR, et multi-recyclage	65
S2 - Renouvellement du parc électronucléaire par des EPR2 uniquement, et poursuite du mono-recyclage	68
S3 - Renouvellement du parc électronucléaire par des EPR2 uniquement, et arrêt du recyclage	70
S4 - Non-renouvellement du parc électronucléaire	72
Volumes des déchets de démantèlement	74
<b>Perspectives</b>	<b>78</b>
Les déchets issus d'un nouveau parc de six EPR2	78
L'impact de l'allongement de la durée de l'exploitation du parc actuel	81

04



## L'entreposage

<b>Entreposage des déchets radioactifs</b>	<b>84</b>
Taux d'occupation des entreposages des déchets radioactifs à fin 2021	84
Localisation des entreposages des déchets radioactifs	86
Prévisions d'extension ou de création d'entreposages des déchets radioactifs à fin 2021	87
Besoins complémentaires	87
<b>Entreposage des matières radioactives</b>	<b>89</b>
Taux d'occupation des entreposages des matières radioactives à fin 2021	90
Localisation des entreposages des matières radioactives	92
Prévisions d'extension ou de création d'entreposages des matières radioactives à fin 2021	93
Besoins complémentaires	94

05



## Les modes de gestion spécifiques

<b>La gestion des situations historiques</b>	<b>98</b>
Les stockages historiques de déchets radioactifs dans les installations de stockage de déchets conventionnels	98
Les stockages historiques de déchets situés au sein ou à proximité d'installations nucléaires de base et de base secrète	100
Les dépôts historiques de déchets à radioactivité naturelle élevée	102
Les stockages de la défense en Polynésie française	103
L'immersion des déchets	103
<b>La gestion des résidus de traitement des mines d'uranium</b>	<b>104</b>
<b>La gestion actuelle des déchets à radioactivité naturelle élevée</b>	<b>106</b>

06



## Les dossiers thématiques

<b>Dossier 1</b> Les solutions existantes et en projet en France pour la gestion à long terme des déchets radioactifs	<b>110</b>
<b>Dossier 2</b> Le traitement et le conditionnement des déchets radioactifs	<b>118</b>
<b>Dossier 3</b> Le démantèlement et l'assainissement des installations nucléaires de base	<b>128</b>
<b>Dossier 4</b> Les sites pollués par la radioactivité	<b>138</b>
<b>Dossier 5</b> Les déchets radioactifs du secteur médical	<b>146</b>
<b>Dossier 6</b> Les sources scellées	<b>158</b>
<b>Dossier 7</b> Les inventaires des déchets radioactifs à l'étranger	<b>166</b>
<b>Dossier 8</b> Les déchets radioactifs immergés	<b>178</b>
<b>Dossier 9</b> La gestion des déchets TFA et FMA-VC	<b>188</b>

07

## Les annexes et glossaire

196



# 01

## Les matières et déchets radioactifs et leur gestion

L'origine des matières et déchets radioactifs	8
La classification des déchets radioactifs et leurs filières de gestion	12
Les cas particuliers	17
Les matières radioactives	18
Les principes généraux de la gestion des matières et déchets radioactifs	22

# L'ORIGINE DES MATIÈRES ET DÉCHETS RADIOACTIFS

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

- **le secteur électronucléaire** qui comprend principalement les centres nucléaires de production d'électricité, ainsi que les usines dédiées à la fabrication du combustible nucléaire (extraction et traitement du minerai d'uranium, conversion chimique et enrichissement des concentrés d'uranium), au retraitement du combustible nucléaire usé et au recyclage des matières extraites de ce dernier ;
- **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), du médical, de la physique nucléaire et des particules, d'agronomie, de chimie, de biologie, etc. ;
- **le secteur de la défense** qui comprend principalement la force de dissuasion, dont la propulsion nucléaire de certains navires ou sous-marins, de la recherche associée, mais également les activités liées aux armées ;
- **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, etc. ;
- **le secteur médical** qui comprend les activités diagnostiques et thérapeutiques (scintigraphies, radiothérapies, etc.).

Les secteurs qui contribuent le plus 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 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 et de la bonne gestion de leurs matières assurant le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement.

## FOCUS



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

**L'article L. 542-1 du code de l'environnement dispose 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. »*

*La recherche et la mise en œuvre des moyens nécessaires à la mise en sécurité définitive des déchets radioactifs sont entreprises afin de prévenir ou de limiter les charges qui seront supportées par les générations futures.*

*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. En cas de défaillance de leurs producteurs ou de leurs détenteurs, l'État est responsable en dernier ressort de ces substances lorsqu'elles ont été produites sur le territoire national et peut charger l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs d'en assurer la gestion en application de l'article L. 542-12. Le responsable d'une activité de gestion du combustible usé ou de déchets radioactifs dispose des capacités techniques et financières lui permettant de respecter les obligations qui lui incombent en vertu du présent chapitre ».*

## i 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 (isotopes d'uranium et de thorium, potassium 40, ou éléments en filiation comme le radium et le radon), rayonnement cosmique (tritium, carbone 14), etc. Ces radionucléides naturels sont répartis dans toute la biosphère. 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 2,9 mSv/an en moyenne en France\* à plus de 50 mSv/an dans certaines régions de l'Inde ou du Brésil).

Les nombreuses utilisations des propriétés de la radioactivité produisent, depuis le début du 20<sup>e</sup> siècle, des matières et déchets radioactifs. Ils proviennent pour l'essentiel des centres nucléaires de production d'électricité, des usines de retraitement des combustibles usés et des autres installations nucléaires civiles et militaires. 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.

\* Source IRSN.



## LA RÉGLEMENTATION

L'article L. 542-1-1 du code de l'environnement définit un certain nombre de notions qu'il est utile de rappeler pour aborder l'*Inventaire national des matières et déchets radioactifs*.

### SUBSTANCE, MATIÈRE ET DÉCHET RADIOACTIF

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

Ces substances radioactives peuvent être qualifiées de matières radioactives ou de déchets radioactifs :

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

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

« Les déchets radioactifs sont des substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée ou qui ont été requalifiées comme tels par l'autorité administrative en application de l'article L. 542-13-2 ».

« 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. La gestion des déchets radioactifs comprend toutes les activités liées à la manipulation, au prétraitement, au traitement, au conditionnement, à l'entreposage et au stockage des déchets radioactifs, à l'exclusion du transport hors site ».

En application de l'article L. 542-13-2, une matière radioactive peut être requalifiée en déchet radioactif par l'autorité administrative, après avis de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), si ses perspectives de valorisation ne sont pas suffisamment établies.

### CONTRÔLE DE RADIOPROTECTION

Lorsqu'une substance contient des radionucléides, la justification du contrôle de radioprotection n'est pas nécessairement établie à partir d'un seuil d'activité ou de

concentration par radionucléide. La justification d'un tel contrôle est, à titre conservatoire, présumée établie lorsque des substances proviennent d'une activité dite nucléaire et qu'elles sont contaminées, activées ou susceptibles de l'être.

Les activités nucléaires selon l'article L. 1333-1 du code de la santé publique, sont des « activités comportant un risque d'exposition des personnes aux rayonnements ionisants lié à la mise en œuvre soit d'une source artificielle, qu'il s'agisse de substances ou de dispositifs, soit d'une source naturelle, qu'il s'agisse de substances radioactives naturelles ou de matériaux contenant des radionucléides naturels ».

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, les États membres de l'Union européenne peuvent mettre en œuvre des seuils dits de libération en deçà desquels les matériaux considérés sortent du domaine réglementé en matière de réglementation relative à la radioactivité. Lorsque le concept de seuils de libération est utilisé, en fonction des pays, ces seuils peuvent être, pour un radioélément donné, soit universels (quels que soient le matériau, son origine et sa destination), soit dépendants du matériau, de son origine et de sa destination.

En France, une législation spécifique encadre la gestion des matières et des déchets radioactifs. La réglementation prévoit en effet une gestion des déchets issus d'une activité nucléaire qui est fonction de leur lieu de production et qui ne repose pas sur une mesure de leur radioactivité. Ainsi, les déchets provenant de zones à production possible de déchets radioactifs doivent être gérés dans des filières spécifiques, indépendamment de toute mesure de radioactivité, et ce, quel que soit leur caractère radioactif ou non.

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2022, l'article D. 1333-6-4 du code de la santé publique introduit une possibilité de dérogation ciblée permettant une valorisation au cas par cas des déchets radioactifs métalliques de très faible activité. Pour les activités qui n'étaient pas considérées comme nucléaires avant la nouvelle définition instaurée par l'ordonnance du 10 février 2016, la justification ou non d'un contrôle de radioprotection est appréciée selon le critère d'une exposition limitée : la somme des doses efficaces dues à ces activités reçues par toute

personne exposée ne doit pas dépasser 1 mSv/an (article R. 1333-38 du code de la santé publique), et selon une étude d'acceptabilité relative à l'impact radiologique associé à la prise en charge des déchets qui doit démontrer qu'un contrôle de radioprotection n'est pas justifié. Dans ce cas, le déchet peut, sous certaines conditions, ne plus être considéré comme radioactif. Les déchets concernés sont notamment des déchets à radioactivité naturelle élevée (NORM). Dans le cadre de la transposition de la directive 2013/59/Euratom, ces modalités de gestion seront revues dans la mesure où les activités mettant en œuvre des radionucléides d'origine naturelle dont les expositions ne peuvent être négligées du point de vue de la radioprotection seront désormais considérées comme des activités nucléaires.

### GESTION DES COMBUSTIBLES USÉS EN FRANCE

« 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 gestion du combustible usé comprend toutes les activités liées à la manipulation, à l'entreposage, au retraitement ou au stockage des combustibles usés, à l'exclusion du transport hors site ».

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

### REJETS

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 des articles L. 125-15 et 16 du code de l'environnement. Les données concernant les rejets des ICPE sont rassemblées chaque année par le ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires.

## DÉFINITIONS DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT

### PRODUCTEUR DE DÉCHETS

**Article L. 541-1-1 :** « 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) ».

### DÉTENTEUR DE DÉCHETS

**Article L. 541-1-1 :** « Producteur des déchets ou toute autre personne qui se trouve en possession des déchets ». 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

**Article L. 541-1-1 :** « Le tri à la source, la collecte, le transport, la valorisation, 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 la

surveillance des installations de stockage de déchets après leur fermeture, conformément aux dispositions relatives aux installations classées pour la protection de l'environnement, ainsi que les activités de négoce ou de courtage et la supervision de l'ensemble de ces opérations ».

### RESPONSABILITÉS

**Article L. 542-12 :** « 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 ».

**Article L. 542-12 :** « 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. En cas

de défaillance de leurs producteurs ou de leurs détenteurs, l'État est responsable en dernier ressort de ces substances lorsqu'elles ont été produites sur le territoire national et peut charger l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs d'en assurer la gestion en application de l'article L. 542-12 ».

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).

la gestion des déchets radioactifs un rapport comportant pour ce site des informations sur les quantités prévisionnelles de matières radioactives et de déchets radioactifs 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 mentionnée au premier alinéa de l'article R. 542-67, le rapport quinquennal ne comporte que la description des déchets radioactifs se rapportant à cette installation ».

**Article R. 542-72 :** « Un arrêté conjoint des ministres chargés de l'énergie et de la sûreté nucléaire détermine les modalités d'application de la présente section. Il précise la nature des informations devant figurer dans les inventaires et rapports exigés, notamment la notion de famille de déchets et les dates de référence à prendre en compte. Il fixe les délais et les modalités de communication des documents à l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs ».

## LES OBLIGATIONS DÉCLARATIVES

Ces obligations sont définies dans le code de l'environnement aux articles R. 542-67 à R. 542-72<sup>1</sup> :

**Article R. 542-67 :** « Aux fins de réaliser l'*Inventaire national* prévu au 1<sup>o</sup> 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, mentionnées à l'article L. 1333-15 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 retraitement 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 mentionnée au premier alinéa du présent article, l'inventaire ne comporte que la description des déchets radioactifs se rapportant à cette installation ».

**Article R. 542-68 :** « Toute personne responsable d'activités nucléaires qui n'entre pas dans les prévisions de l'article R. 542-67 du présent code est tenue de transmettre chaque année à l'Andra un inventaire des déchets radioactifs détenus, arrêté au 31 décembre de l'année écoulée, en indiquant la filière de gestion utilisée ».

**Article R. 542-69 :** « Tout exploitant d'un site mentionné à l'article R. 542-67 est tenu de transmettre tous les cinq ans à l'Agence nationale pour

<sup>1</sup> Ces articles ont codifié les dispositions du 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.

## LA CLASSIFICATION DES DÉCHETS RADIOACTIFS ET LEURS FILIÈRES DE GESTION

En France, la classification des déchets radioactifs repose principalement sur deux paramètres importants pour définir le mode de gestion approprié : 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)** avec une activité moyenne inférieure à 100 becquerels par gramme ;
- **faible activité (FA)** avec une activité comprise entre quelques centaines de becquerels par gramme et un million de becquerels par gramme ;
- **moyenne activité (MA)** avec une activité de l'ordre d'un million à un milliard de becquerels par gramme ;
- **haute activité (HA)** avec une activité de l'ordre de plusieurs milliards de becquerels par gramme.

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 plusieurs catégories de déchets qui font ou feront l'objet d'une gestion particulière.

**i** 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 peuvent contenir un mélange de radionucléides : en fonction de leur composition, ils sont plus ou moins radioactifs, pendant plus ou moins longtemps. Les déchets contenant une majorité d'éléments à vie courte sont appelés déchets à vie courte, et inversement, les déchets tenant une majorité d'éléments à vie longue sont appelés déchets à vie longue.

**i** La période radioactive est le temps au bout duquel la moitié de la quantité d'un même radionucléide aura naturellement disparu par désintégration. Au bout de 10 périodes, le niveau de radioactivité est divisé par 1 000.

### HA LES DÉCHETS DE HAUTE ACTIVITÉ

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 par gramme. Ils proviennent pour l'essentiel de l'industrie électronucléaire et des activités de recherche associées, ainsi que dans une moindre mesure des activités liées à la Défense nationale. Ils sont principalement constitués par les substances non valorisables issues du recyclage des combustibles usés. La plupart de ces déchets sont incorporés dans du verre puis conditionnés dans des fûts en acier inoxydable. En raison de leur radioactivité élevée, ces déchets dégagent de la chaleur.

Ils contiennent :

- des produits de fission à vie courte, 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 CSD-V

### MA-VL LES DÉCHETS DE MOYENNE ACTIVITÉ À VIE LONGUE

Ces déchets sont principalement issus du recyclage des combustibles usés et des activités de maintenance et de fonctionnement des usines de retraitement. Il s'agit notamment des déchets de structure des assemblages de combustibles (embouts et coques), de déchets technologiques (outils usagés, équipements, etc.) 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.



Coques issues des gaines en alliage de zirconium qui enrobent les pastilles de combustible

**i** En France comme à l'international, le stockage en couche géologique profonde est reconnu comme la solution de référence pour gérer les déchets les plus radioactifs. L'Andra conçoit ainsi le projet Cigéo (Centre industriel de stockage géologique) qui vise à stocker les déchets HA et MA-VL à 500 mètres de profondeur, à la frontière de la Meuse et de la Haute-Marne. Le projet est le fruit de 30 ans d'études et recherches, régulièrement évaluées, dont plus de 20 menées dans le Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne. Début 2023, l'Andra a déposé la demande d'autorisation de création (DAC) de Cigéo auprès du ministère de la Transition énergétique et de la Cohésion des territoires.

### FA-VL LES DÉCHETS DE FAIBLE ACTIVITÉ À VIE LONGUE

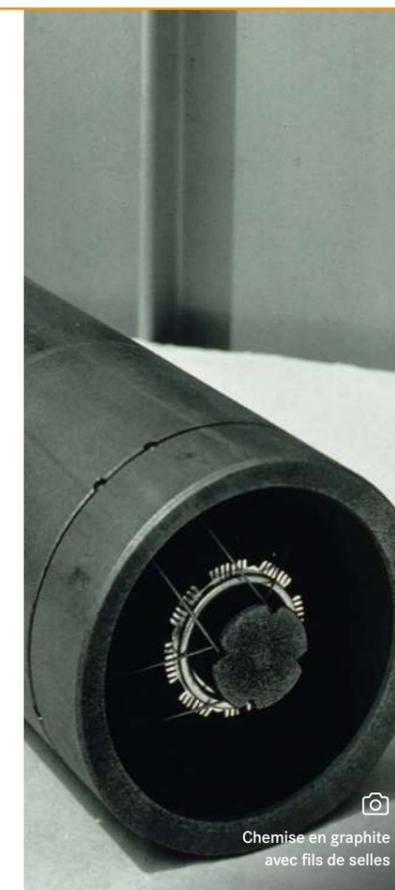
Ils regroupent :

- les déchets radifères provenant 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 provenant du fonctionnement et du démantèlement des premiers réacteurs 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 ;

- d'autres types de déchets tels que certains colis de déchets anciens conditionnés dans du bitume et des résidus de traitement de conversion de l'uranium issus de l'usine d'Orano située à Malvézi, des déchets d'exploitation de l'usine de retraitement de La Hague.

Dans le cadre du PNGMDR 2022-2026, l'Andra finalise la caractérisation des enjeux de sûreté liés au projet de site de stockage de la communauté de communes de Vendevre-Soulaines. Elle doit également proposer des scénarios de gestion des déchets FA-VL, qui permettront d'élaborer un schéma global de gestion de ces déchets à l'horizon 2025.



Chemise en graphite avec fils de selles



## LES DÉCHETS DE FAIBLE ET MOYENNE ACTIVITÉ À VIE COURTE



Déchets issus de l'utilisation de produits radioactifs dans un laboratoire

Ce sont essentiellement des déchets liés à la maintenance (vêtements, outils, filtres, etc.), au fonctionnement (traitement d'effluents liquides ou filtration des effluents gazeux), et au démantèlement des centres nucléaires de production d'électricité, des installations du cycle du combustible et des centres de recherche.

Les déchets FMA-VC contiennent majoritairement 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 FMA-VC sont stockés en surface et sont surveillés pendant le temps nécessaire à la décroissance de leur radioactivité jusqu'à des niveaux d'impact négligeables. Sur les sites de stockage de l'Andra, on considère en général que ce niveau est atteint en 300 ans, durée qui correspond à environ 10 périodes et permettant de diviser par 1 000 le niveau de radioactivité. 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 (CSM) et le Centre de stockage de l'Aube (CSA).

Le CSM ne réceptionne plus de déchets depuis 1994 et est en phase de fermeture, tandis que le CSA est en activité depuis 1992, sur les communes de Soulaines-Dhuys, Épothémont et la Ville-aux-Bois.



## LES DÉCHETS DE TRÈS FAIBLE ACTIVITÉ

Les déchets TFA sont majoritairement issus du fonctionnement, de la maintenance et du démantèlement des centres nucléaires de production d'électricité, 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), de déchets métalliques ou plastiques.

La production de ces déchets évoluera notablement avec le démantèlement des centres 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 moyenne inférieur à 100 becquerels par gramme.

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.

Le PNGMDR prévoit la poursuite des études visant à réduire les volumes des déchets TFA principalement produits lors des opérations de démantèlement. Les pistes étudiées par l'Andra et les producteurs (valorisation de pièces métalliques, de gravats, stockage sur ou à proximité des sites en démantèlement, etc.) doivent alimenter la mise à jour du schéma industriel global de gestion des déchets TFA d'ici à 2024. Ce travail permettra d'identifier les besoins en nouvelles capacités de stockage à prévoir pour prendre le relais du Cires.



Déchets TFA

### i Projet Acaci

Les déchets TFA sont stockés au Cires. À fin 2021, le Centre avait atteint environ 66 % de sa capacité de stockage autorisée de 650 000 m<sup>3</sup>. Dans sa configuration actuelle, le Cires ne suffira pas pour stocker les volumes de déchets TFA issus

des démantèlements à venir dans les prochaines années. Des solutions de gestion complémentaires sont donc actuellement à l'étude. La solution à moyen terme consiste à augmenter la capacité de stockage autorisée du Cires à environ 950 000 m<sup>3</sup>, sans faire évoluer l'emprise

actuelle de la zone de stockage et tout en conservant son niveau de sûreté : c'est l'objectif du projet Acaci. Cette augmentation de capacité, si elle est autorisée, permettra de prolonger l'exploitation du Cires d'une dizaine d'années, soit à l'horizon 2040.



## LES DÉCHETS À VIE TRÈS COURTE

Certains déchets proviennent majoritairement du secteur médical ou de la recherche et contiennent des radionucléides à vie très courte (dont la période radioactive est inférieure à 100 jours) utilisés à des fins diagnostiques ou thérapeutiques. Ils sont gérés par décroissance : ces déchets sont entreposés sur place, de quelques jours à quelques mois,

le temps que leur radioactivité diminue suffisamment afin d'être évacués dans des filières conventionnelles.

Pour le médical, il peut s'agir d'effluents liquides ou gazeux, de déchets solides ou liquides contaminés générés par l'utilisation de radionucléides dans ce domaine.



Cuves de décroissance

La classification permet schématiquement d'associer à chaque catégorie de déchets un ou plusieurs modes de gestion (voir chapitre 6 - dossier thématique 1).

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 et orientations définis dans le code de l'environnement, dont notamment 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 critères de classement unique permettant de déterminer la catégorie 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 les paragraphes précédents ;
- un déchet peut relever d'une catégorie définie, mais peut ne pas être accepté dans l'exutoire final correspondant du fait d'autres caractéristiques (sa composition chimique, par exemple).

De plus, l'amélioration de la connaissance des déchets, lors de leur reprise ou du démantèlement des installations, l'avancée des études menées sur l'optimisation des modes de traitement et de conditionnement ainsi que les études de conception des stockages à l'étude ou en projet peuvent faire évoluer les options de gestion des déchets, ainsi que leur affiliation à une catégorie. On parle alors de « recatégorisation ».



Colis en attente dans le bâtiment de regroupement du Cires

## CLASSIFICATION DES DÉCHETS RADIOACTIFS ET FILIÈRES DE GESTION ASSOCIÉES

Période radioactive* / Activité**	Vie très courte (VTC) (période < 100 jours)	Principalement vie courte (VC) (période ≤ 31 ans)	Principalement vie longue (VL) (période > 31 ans)
Très faible activité (TFA) < 100 Bq/g	VTC Gestion par décroissance radioactive	TFA Stockage de surface (Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage)	
Faible activité (FA) entre quelques centaines de Bq/g et un million de Bq/g		FMA-VC Stockage de surface (centres de stockage de l'Aube et de la Manche)	FA-VL Stockage à faible profondeur à l'étude
Moyenne activité (MA) de l'ordre d'un million à un milliard de Bq/g			MA-VL Stockage géologique profond en projet (projet Cigéo)
Haute activité (HA) de l'ordre de plusieurs milliards de Bq/g	Non applicable	HA Stockage géologique profond en projet (projet Cigéo)	

\* Période radioactive des éléments radioactifs (radionucléides) contenus dans les déchets.

\*\*Niveau d'activité des déchets radioactifs.

## LES CAS PARTICULIERS

### LES DÉCHETS À RADIOACTIVITÉ NATURELLE ÉLEVÉE (NORM)

Les déchets à radioactivité naturelle élevée sont générés par l'utilisation ou la transformation de matières premières naturellement riches en radionucléides naturels (NORM), mais qui ne sont pas utilisées pour leurs propriétés radioactives. Il s'agit notamment de déchets issus d'industries chimiques ou métallurgiques (engrais phosphatés, terres rares, sables de zircon, etc.). Ils peuvent s'apparenter à des déchets de type faible activité à vie longue, voire de très faible activité.

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 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.

La circulaire du 25 juillet 2006<sup>2</sup> 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.



Des résidus provenant du traitement de matériaux très légèrement radioactifs ont été utilisés comme remblais sur le port de La Palice à La Rochelle

*i* La gestion des déchets à radioactivité naturelle élevée a été modifiée par le décret n° 2018-434 du 4 juin 2018<sup>3</sup> qui transpose des dispositions de la directive 2013/59/Euratom du Conseil du 5 décembre 2013 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants. Il est aujourd'hui codifié dans le code de la santé publique.

### 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 au regard de volumes parfois faibles.

On peut citer par exemple des déchets tritiés 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 Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR). Les déchets sans filière sont pour la plupart entreposés sur leur site de production. Ils sont répertoriés dans l'*Inventaire national*.

### LES DÉCHETS EN STOCKAGES HISTORIQUES

Certains déchets radioactifs ont pu, par le passé, faire l'objet de modalités de gestion qui ont, depuis, évolué.

Ces déchets ont pu être stockés au sein ou à proximité d'installations nucléaires, dans des installations de stockage de déchets conventionnels, sur d'anciens sites industriels ou encore en activité ou à proximité de ces sites, ou immergés en mer.



Immersion de colis de déchets radioactifs

### LES RÉSIDUS DE TRAITEMENT DES MINES D'URANIUM

Les résidus miniers recensés dans l'*Inventaire national* sont le plus souvent stockés sur ou à proximité des anciens sites miniers et ont des caractéristiques voisines aux déchets de type TFA ou FA-VL (voir chapitre 5).



Ancienne mine de Bellezane

<sup>2</sup> 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.

<sup>3</sup> Décret n° 2018-434 du 4 juin 2018 portant diverses dispositions en matière nucléaire.

# LES MATIÈRES RADIOACTIVES

## L'URANIUM NATUREL EXTRAIT DE LA MINE (Unat)

L'uranium se présente à l'état naturel sous la forme d'un métal gris très dense. Il est composé de trois isotopes radioactifs : l'uranium 238 (99,3 %), l'uranium 235 (0,7 %, seul isotope naturel fissile) et l'uranium 234 (traces). L'uranium est extrait de mines. En France, les mines d'uranium ont été exploitées jusqu'en 2001. Aujourd'hui, l'approvisionnement de l'uranium naturel extrait de la mine se fait exclusivement à l'international.

Il est ensuite 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 ( $U_3O_8$ ). Les concentrés d'uranium sont transformés en tétrafluorure d'uranium ( $UF_4$ ), puis en hexafluorure d'uranium ( $UF_6$ ), gazeux à basse température : c'est l'étape de conversion de l'uranium.

C'est sous cette forme que l'uranium naturel est utilisé dans l'étape d'enrichissement en vue de fabriquer le combustible nucléaire.

## L'URANIUM NATUREL ENRICHIS (UNE)

L'enrichissement consiste à augmenter la concentration en uranium 235 (isotope énergétique trop faiblement présent – teneur de 0,7 % – dans l'uranium naturel extrait de la mine) de façon à obtenir une matière utilisable comme combustible dans les réacteurs électronucléaires à eau sous pression (REP).

Le procédé d'enrichissement mis en œuvre dans l'usine Georges-Besse II d'Orano sur le site de Tricastin 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, celles qui contiennent un atome d'uranium 235, migrent vers le centre. Le gaz enrichi en isotope léger uranium 235, au centre du tube, monte. Le gaz enrichi en uranium 238, autrement dit appauvri, 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 %. Cette valeur est appelée le taux d'enrichissement.

Après enrichissement, l'uranium qui se trouve sous la forme gazeuse  $UF_6$  est converti sous forme d'oxyde ( $UO_2$ ) puis compacté sous forme de pastilles utilisées dans la fabrication des combustibles.

## L'URANIUM APPAUVRI (Uapp)

Lors du procédé d'enrichissement, la matière résiduelle voit sa teneur en uranium 235 diminuée au profit de celle de l'uranium enrichi. Il s'agit d'un uranium dit appauvri. 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 ( $U_3O_8$ ) se présente sous la forme d'une poudre noire.

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. Ce flux représente environ une centaine de tonnes par an. Il constitue une réserve d'uranium qui peut être converti et à nouveau enrichi (en fonction des conditions économiques du marché de l'uranium).

## FOCUS

### VALORISATION DE L'URANIUM APPAUVRI

Le stock d'uranium appauvri actuellement présent sur le territoire national représente, une fois ré-enrichi, un gisement d'environ 65 000 tonnes d'uranium naturel, soit environ huit années des besoins du parc électronucléaire français actuel.

Le ré-enrichissement peut être pratiqué pour une utilisation comme combustible à base d'uranium naturel enrichi (UNE). L'uranium appauvri, en particulier celui issu d'un second cycle d'enrichissement,

pourrait permettre de répondre à plus long terme aux besoins du parc mondial de réacteurs à neutrons rapides.

L'uranium appauvri présente, outre son potentiel énergétique, des propriétés dont certaines ont déjà été exploitées dans des secteurs non électronucléaires (batteries, catalyseurs thermoélectriques, stockage thermochimique réversible de chaleur). La valorisation de l'uranium par l'exploitation de ces propriétés fait l'objet d'un programme de R&D mené par Orano.

Ces perspectives de valorisation présentent toutefois des incertitudes selon l'ASN. Une étude de faisabilité d'un concept de stockage pour l'uranium appauvri est menée par l'Andra pour le cas où tout ou partie du stock en uranium appauvri ne serait pas valorisable dans des conditions technico-économiques acceptables. L'uranium appauvri est employé dans des industries non électronucléaires en guise de blindage radiologique ou de contrepoids.

## L'URANIUM ISSU DU RETRAITEMENT DES COMBUSTIBLES USÉS (URT)

L'uranium extrait des combustibles usés dans les usines de retraitement d'Orano, situées à La Hague, 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. L'URT est entreposé sous forme d' $U_3O_8$ .

Pour être réutilisé dans des réacteurs à eau sous pression, tels que ceux exploités actuellement par EDF, un enrichissement est nécessaire.

## L'URANIUM ENRICHIS ISSU DU RETRAITEMENT DES COMBUSTIBLES USÉS

L'uranium issu du retraitement des combustibles usés (URT) contient encore une part d'isotope 235 malgré une composition isotopique plus complexe que l'uranium naturel due notamment à la présence d'uranium 234 et 236. Il peut donc par la suite être enrichi. La présence d'uranium 236, absorbant neutronique agissant comme un poison à la fission nucléaire, impose d'enrichir à des teneurs supérieures à celles nécessaires pour l'uranium naturel, de manière à compenser la perte de réactivité. L'uranium enrichi issu du retraitement des combustibles usés peut être utilisé pour fabriquer du combustible à base d'uranium de retraitement enrichi (URE).

Comme pour l'uranium naturel, la centrifugation est utilisable pour enrichir l'uranium issu du retraitement des combustibles usés. Cependant, une seule installation au monde, appartenant au groupe russe Rosatom et basée à Seversk, dans la région de Tomsk, en Sibérie, réalise actuellement cette opération.

L'approvisionnement en assemblages de combustible à l'uranium de retraitement enrichi pour les réacteurs EDF a été interrompu depuis une dizaine d'années pour des raisons technico-économiques. EDF prévoit de reprendre l'utilisation de combustible à l'uranium de retraitement enrichi (URE) à compter de 2023.

Aucun stock d'uranium enrichi issu du retraitement des combustibles usés n'était disponible en France à fin 2021, la première livraison ayant eu lieu fin novembre 2022 en vue de cette reprise.

## FOCUS

### EXEMPLE D'UTILISATION DE MATIÈRES THORIFÈRES PAR ORANO MED

Orano Med est la filiale médicale d'Orano. Créée en 2009, elle concentre ses activités sur le développement de nouvelles thérapies ciblées de lutte contre le cancer, via l'utilisation du plomb 212.

Le plomb 212 est un isotope rare issu de la chaîne de décroissance du thorium 232. Cet élément, émetteur de rayonnement alpha, est aujourd'hui au cœur de projets de recherche en médecine nucléaire pour la mise au point de nouveaux traitements contre le cancer.

Orano Med a développé un procédé permettant l'extraction du plomb 212, qui est aujourd'hui mis en œuvre dans le laboratoire Maurice-Tubiana. Le champ thérapeutique dans lequel intervient Orano Med est appelé alphathérapie, ou radio-immunothérapie alpha lorsque le plomb 212 est associé à l'utilisation d'un anticorps permettant de reconnaître et de détruire les cellules cancéreuses, en limitant l'impact sur les cellules saines environnantes.

Des essais cliniques et précliniques ont été initiés respectivement aux États-Unis et en France.

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. Orano disposant d'une source de nitrate de thorium principalement constitué de thorium 232, Orano Med en conduit la valorisation pour assurer une production du plomb 212 compatible avec les besoins de développement de nouveaux traitements sur le long terme.

L'ASN considère que cette utilisation de plomb 212 ne modifie toutefois pas les quantités détenues de substances thorifères ni leur radiotoxicité.

## LE THORIUM

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

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

## 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.

## LES COMBUSTIBLES NUCLÉAIRES

Plusieurs types de combustibles nucléaires sont ou ont été utilisés en France.

**Les combustibles à l'uranium naturel enrichi (UNE)** sont composés de crayons combustibles contenant des pastilles d' $UO_2$  eux-mêmes regroupés en assemblages combustibles. Il s'agit des combustibles utilisés majoritairement dans les réacteurs à eau sous pression (REP) d'EDF.

**Les combustibles à l'uranium de retraitement enrichi (URE)** sont composés d'uranium enrichi issu du retraitement des combustibles usés. L'utilisation dans quatre réacteurs REP autorisés interrompue depuis une dizaine d'années est prévue pour reprendre en 2023.

**Les combustibles mixtes uranium-plutonium (MOX)** sont composés d'uranium appauvri et de plutonium provenant du retraitement des combustibles usés UNE sous forme de pastilles de poudre d'oxydes (U, Pu) $O_2$ . Les combustibles MOX sont fabriqués à l'usine de Melox à Marcoule et sont utilisés aujourd'hui dans 22 réacteurs REP autorisés à cet effet.

**Les combustibles des réacteurs à neutrons rapides Phénix et Superphénix (RNR)** à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium ont été mis à l'arrêt définitif et ne sont donc plus utilisés.

**Les combustibles du CEA civil** sont utilisés dans des réacteurs particuliers à des fins de recherche. Ils peuvent également servir à la production de radioéléments pour la médecine nucléaire et l'industrie non-électronucléaire. Ceux-ci sont variés en termes de forme et de composition physico-chimique que les combustibles EDF, ils sont aussi beaucoup moins nombreux. Il peut s'agir de combustibles de type oxyde, métallique, hydrure, etc.

### FOCUS

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

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, etc. Environ 10 000 tonnes d'oxydes de terres rares sont récupérables à partir du traitement des matières en suspension (MES) et de l'hydroxyde brut de thorium (HBTh). Le thorium pourrait être valorisable dans des applications nucléaires dans un « cycle thorium ». De même, des pistes sont envisagées pour valoriser le thorium dans des secteurs non électronucléaires.

Ces perspectives de valorisation présentent toutefois des incertitudes, qui ont conduit l'ASN à considérer, dans son avis du 9 février 2016<sup>4</sup>, que la sécurisation du financement de la gestion à long terme des substances thorifères est indispensable.

<sup>4</sup> Avis n° 2016-AV-0256 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 9 février 2016 sur les études relatives à l'évaluation du caractère valorisable des matières radioactives remises en application du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2013-2015, en vue de l'élaboration du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2016-2018.

**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.

Pour l'ensemble de ces combustibles, il existe à tout moment des stocks de combustibles avant utilisation, en cours d'utilisation ou usés.

Les combustibles neufs sont transportés dans des emballages adaptés, par voie routière ou ferroviaire, de l'usine de fabrication de combustible vers les centres nucléaires de production. Dès leur arrivée sur site, ils sont entreposés dans le bâtiment combustible en attente de mise en réacteur.

Les combustibles en cours d'utilisation dans les réacteurs électronucléaires y séjournent pendant trois à quatre ans. Puis, du fait de leur baisse de performances, ils sont retirés et entreposés dans une piscine de refroidissement à proximité du réacteur avant d'être dirigés vers l'usine de retraitement Orano de La Hague dans laquelle les combustibles à l'uranium naturel enrichi sont retraités dans le but d'en extraire les matières fissiles résiduelles ou produites en réacteur. Ces matières seront recyclées au sein d'un nouveau combustible.

À noter que la qualification d'une substance en matière radioactive peut être la conséquence d'une décision de l'État (c'est par exemple le cas des combustibles usés de manière générale) ou d'une décision de son propriétaire. Dans ce dernier cas, l'autorité de contrôle peut s'opposer à cette qualification et demander un classement en tant que déchet radioactif.

*i* Un assemblage combustible est un ensemble de crayons maintenus par des grilles de structure. Ces crayons sont des longs tubes en alliage de zirconium qui contiennent des pastilles de matières nucléaires empilées constituant le combustible. Un réacteur électronucléaire contient plusieurs dizaines d'assemblages combustibles. La paroi ou gaine de ces crayons et leurs embouts assurent le confinement des produits radioactifs par rapport à l'eau sous haute pression et à température élevée.



Atelier T1 - Retraitement du combustible usé (Orano La Hague)

## LE PLUTONIUM ISSU DES COMBUSTIBLES USÉS APRÈS RETRAITEMENT

Lors du retraitement des combustibles UNE irradiés, le plutonium formé par capture neutronique au sein du réacteur en est extrait. Un combustible usé à l'uranium issu d'un réacteur REP contient environ 1 % de plutonium (en masse). Ce plutonium présente un potentiel énergétique environ 100 fois supérieur à celui de l'uranium.

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.

Le plutonium est aujourd'hui utilisé pour fabriquer le combustible MOX.

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

## LES REBUTS DE COMBUSTIBLES

Les rebuts de combustibles non irradiés en attente de retraitement ont vocation à être retraités et recyclés à terme dans les réacteurs électronucléaires.

## AUTRES MATIÈRES

Le cœur neuf de Superphénix est le combustible qui devait remplacer à terme le combustible utilisé pendant le fonctionnement de la centrale. En raison de l'arrêt définitif de Superphénix, cette recharge de combustible n'a jamais été utilisée et n'a donc pas été irradiée.

# LES PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA GESTION DES MATIÈRES ET 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'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA)<sup>5</sup>, qui définit des principes de gestion.

### AU NIVEAU EUROPÉEN

Le Conseil de l'Union européenne a adopté une directive le 19 juillet 2011<sup>6</sup> établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs depuis leur production jusqu'à leur stockage (directive Euratom).

Cette directive couvre toutes les étapes de la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs résultant d'activités civiles. Chaque État membre est responsable en dernier ressort de la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs produits sur son territoire.

La directive prévoit que chaque État membre établit et maintienne un cadre 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.

### AU NIVEAU NATIONAL

La France a défini et mis en œuvre une politique publique en matière de déchets radioactifs, dans un cadre législatif établi en 1991 (loi du 30 décembre 1991<sup>7</sup>) et consolidé en 2006 (loi du 28 juin 2006). Ces textes sont codifiés dans le code de l'environnement.

Conduite par la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) au sein du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, cette politique comporte trois piliers :

- un Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR)<sup>8</sup>, mis à jour tous les cinq 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 du principe pollueur-payeur prévu à 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 doivent être supportés par le pollueur », c'est au producteur du déchet d'en financer la gestion, y compris à long terme.

### 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.

Le code de l'environnement 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 ;
- des modalités pour réduire le volume et la nocivité des déchets :
  - 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 de la responsabilité des producteurs de déchets, soit de stockage (solution définitive) dont la responsabilité incombe à l'Andra (voir chapitre 6 - dossier thématique 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.

## LE CONTRÔLE DES MATIÈRES NUCLÉAIRES

Compte tenu 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 dans le contrôle des matières nucléaires. Cette réglementation porte aussi bien sur les matières civiles que sur celles relevant de la Défense nationale.

Sur le 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 nucléaires retenues dans la législation française sont au nombre de six : le plutonium, l'uranium, le thorium, le tritium, le deutérium et le lithium 6 (article R. 1333-1 du code de la Défense, à noter que 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. Seuls le plutonium, l'uranium et le thorium sont considérés dans l'*Inventaire national*.

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

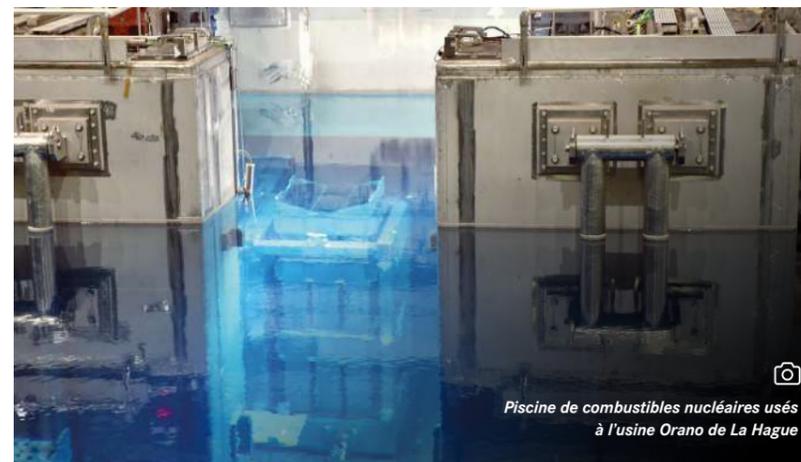
Dans ce cadre, la réglementation impose aux opérateurs et aux industriels détenant ces matières un certain nombre de dispositions qui se complètent mutuellement, telles que :

- 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'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN). Par exemple, pour le plutonium et l'uranium, la 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 vérification de 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, etc. 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.

Sur le 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).



<sup>5</sup> Joint Convention on the safety of spent fuel management and the safety of radioactive waste management, disponible sur : <http://www.ns.iaea.org/conventions/waste-jointconvention.asp>

<sup>6</sup> 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.

<sup>7</sup> Loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs.

<sup>8</sup> PNGMDR (Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs), disponible sur le site [ecologie.gouv.fr](http://ecologie.gouv.fr)

## LES ACTEURS DE LA GESTION DES MATIÈRES ET DÉCHETS RADIOACTIFS

### LE CADRE INSTITUTIONNEL

Le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) s'appuie 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, ainsi que sur les travaux d'un groupe de travail pluraliste, co-présidé par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et la DGEC, constitué de représentants de l'administration, des autorités de sûreté, des gestionnaires de déchets radioactifs, des producteurs de déchets, et de représentants d'associations de protection de l'environnement.

Au sein des ministères en charge de l'écologie et de l'énergie :

- la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) a en charge l'élaboration de la politique et la mise en œuvre des décisions du gouvernement relatives au secteur nucléaire civil ;
- la Direction générale de la prévention des risques (DGPR), et en particulier la mission sûreté nucléaire et radioprotection (MSNR) élabore, coordonne et met en œuvre les missions du gouvernement concernant la sûreté nucléaire et la radioprotection civile, à l'exclusion des missions confiées à l'ASN. Cette mission assure aussi, en lien avec l'ASN, le suivi des questions relatives à la gestion des anciennes mines d'uranium (voir chapitre 5) et des sites et sols pollués par des substances radioactives (voir chapitre 6 - dossier thématique 4). La DGPR élabore également la politique en matière de gestion des déchets conventionnels, y compris ceux dits à radioactivité naturelle élevée (voir chapitre 5 - NORM).

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 matières et des déchets radioactifs et publie des rapports d'évaluation et des recommandations, consultables sur [senat.fr/opecest](http://senat.fr/opecest)

Le Parlement s'appuie sur la Commission nationale d'évaluation (CNE) qui est chargée d'évaluer annuellement l'état d'avancement et la qualité des recherches sur la gestion des matières et des déchets radioactifs. Cette commission a été créée par la loi du 30 décembre 1991, aujourd'hui codifiée à l'article L. 542-3 du code de l'environnement. La Commission publie annuellement un rapport qui est transmis au Parlement et rendu public, disponible sur [cne2.fr](http://cne2.fr)

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)<sup>9</sup>. Ses missions sont aujourd'hui précisées à l'article L. 125-34 du code de l'environnement. Les comptes rendus et recommandations du HCTISN sont consultables sur [hctisn.fr](http://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 dont les missions sont aujourd'hui précisées à l'article L. 592-1 du code de l'environnement :

- 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 de certains équipements utilisant des rayonnements ionisants ;
- elle s'appuie sur l'expertise de l'Institut de radioprotection et sûreté nucléaire (IRSN).

L'Autorité de sûreté nucléaire de défense (ASND) assure le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection pour les activités et installations intéressant la défense. Comme l'ASN, elle s'appuie sur l'expertise de l'IRSN.

### LES PRODUCTEURS DE DÉCHETS RADIOACTIFS

Conformément à l'article L. 542-1 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.

Ils opèrent le conditionnement des déchets, sous des procédures strictes d'assurance qualité requises par la réglementation<sup>10</sup>. 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 en raison du faible volume de déchets qu'ils produisent, tels que les laboratoires de recherche hors CEA ou les hôpitaux, l'Andra peut assurer également la collecte, le traitement, le conditionnement et l'entreposage des déchets.

### LES DÉTENEURS DE MATIÈRES RADIOACTIVES

Les principaux détenteurs de matières radioactives sont les suivants :

- Orano 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 retraitement du combustible usé ;
- le CEA civil effectue de la recherche dans le domaine du nucléaire. Il utilise le combustible dans ses réacteurs à des fins de recherche ;
- Framatome intervient exclusivement sur l'amont du cycle dans la fabrication et la vente d'assemblages neufs ;
- EDF produit de l'électricité en utilisant du combustible dans ses réacteurs électronucléaires ;
- Solvay extrait des terres rares à partir de minerais contenant du thorium ;
- la Défense nationale travaille pour la force de dissuasion et utilise des combustibles pour ses activités de propulsion navale.

### 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 (EPIC) 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 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 ;
- les missions de l'Andra sont aujourd'hui codifiées à l'article L. 542-12 du code de l'environnement.

Placée sous la tutelle des ministères en charge de l'énergie, de l'environnement et de la recherche, l'Andra 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 et de performance. Sa dernière version couvre la période 2022-2026. Il est disponible sur le site internet de l'Andra. [andra.fr](http://andra.fr)

<sup>9</sup> Loi n° 2006-86 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire.

<sup>10</sup> Arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base.



# 202

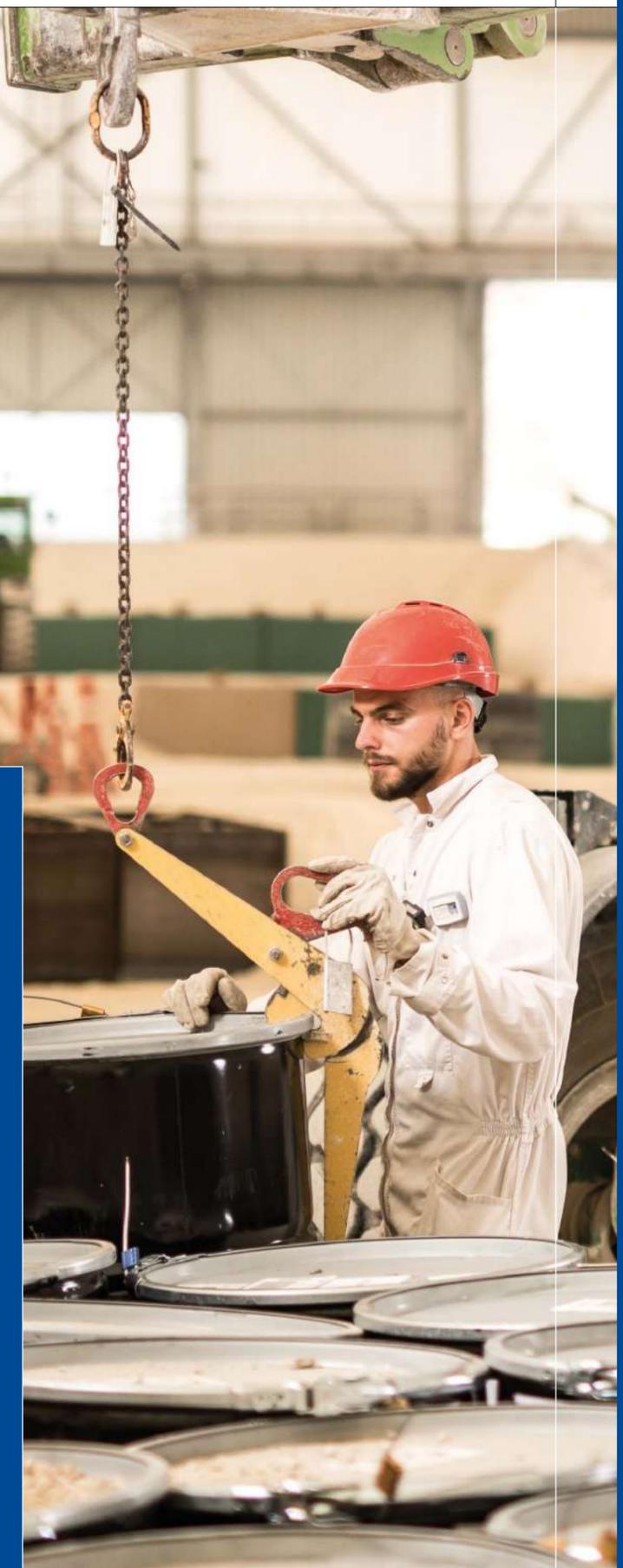
## Le bilan des stocks à fin 2021

### Le bilan des stocks par catégorie

Les déchets radioactifs	29
Les matières radioactives	35

### Le bilan des stocks par secteur économique

Secteur électronucléaire	38
Secteur de la recherche	46
Secteur de la défense	50
Secteur de l'industrie non-électronucléaire	52
Secteur médical	53



Ce chapitre offre, dans une première partie, une vision globale quantitative des matières et déchets en stock à fin 2021, et dans une seconde partie pour chacun des secteurs économiques, les matières et déchets radioactifs répertoriés au 31 décembre 2021.

#### Le périmètre des déchets pris en compte dans les bilans

Si la majorité des déchets radioactifs provient de l'industrie électronucléaire et des activités de recherche associées, de nombreux autres secteurs sont également à l'origine de la production de déchets radioactifs, comme l'industrie non-électronucléaire, la défense, la recherche en dehors de l'électronucléaire ou le médical.

Ce chapitre présente les bilans des déclarations des stocks faites par les producteurs ou détenteurs de matières et déchets radioactifs en 2022. Conformément au décret n° 2008-875 du 29 août 2008 et à l'arrêté du 9 octobre 2008, modifié par les arrêtés du 4 avril 2014 et du 16 mars 2017, ces déclarations portent sur les stocks de matières et déchets radioactifs présents sur les sites au 31 décembre 2021.

Au total, près de 1 000 sites géographiques au sens de l'*Inventaire national* (voir annexe 1) sur lesquels se trouvent des matières et déchets radioactifs à fin 2021 sont répertoriés dans l'Édition 2023. Le détail des sites recensés se trouve sur le site [inventaire.andra.fr](http://inventaire.andra.fr).

#### Déchets non pris en compte

Les déchets pris en compte pour les bilans ne tiennent pas compte des déchets faisant l'objet de modes de gestion « spécifiques ». Il s'agit :

- des résidus de traitement de minerais d'uranium qui sont stockés sur certains anciens sites miniers. L'*Inventaire national* recense 16 sites sur lesquels sont entreposés sur place et de façon définitive ces résidus ;
- des déchets en situation historique qui ont pu être stockés au sein ou à proximité d'installations nucléaires, dans les installations de stockage de déchets conventionnels, dans des dépôts historiques ou encore avoir fait l'objet d'une immersion en mer.

Ne sont également pas quantifiés dans les bilans :

- les substances radioactives se trouvant sur des sites pollués ayant accueilli des activités manipulant la radioactivité (voir chapitre 6 - dossier thématique 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 ;
- les résidus de traitement de conversion de l'uranium (RTCU) provenant de l'usine d'Orano à Malvési qui sont affichés séparément. En effet, Orano a transmis en 2014 et 2015, au titre du Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR), des études sur la gestion à long terme de ces déchets, qui sont notamment entreposés dans des bassins de décantation et d'évaporation, et ne sont pas conditionnés. Des études en vue de leur stockage sur site sont toujours en cours. Dans l'attente d'une décision, ces déchets sont présentés séparément dans les bilans chiffrés des stocks de déchets existants au 31 décembre 2021.

## LE BILAN DES STOCKS PAR CATÉGORIE

### LES DÉCHETS RADIOACTIFS

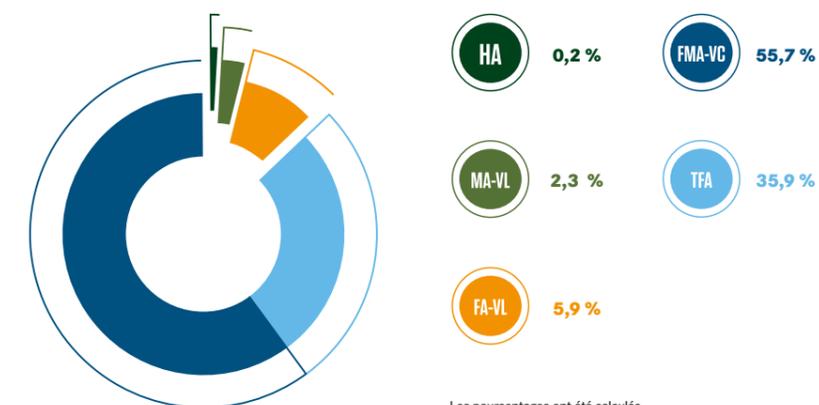
Les déchets radioactifs sont définis dans l'article L. 542-1-1 du code de l'environnement comme « des substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée ou qui ont été requalifiées comme tels par l'autorité administrative en application de l'article L. 542-13-2. 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 ».

### VOLUMES DE DÉCHETS RADIOACTIFS À FIN 2021

Le volume de déchets radioactifs recensé depuis le début de leur production jusqu'au 31 décembre 2021 est de 1 760 000 m<sup>3</sup> environ (volume équivalent conditionné), soit environ 220 000 m<sup>3</sup> de plus qu'au 31 décembre 2016 (Édition 2018 de l'*Inventaire national*).

Les volumes de déchets radioactifs présents sur le territoire français au 31 décembre 2021, y compris les déchets étrangers destinés à repartir dans leur pays (voir encadré page 32 - matières et déchets étrangers), sont présentés dans le tableau et le graphique ci-contre. Dans le tableau, ces volumes sont comparés à ceux présents à fin 2016.

#### ➤ Répartition en volume par catégorie de déchets



Les pourcentages ont été calculés sur la base des chiffres exacts puis arrondis.

#### ➤ Bilan et évolution des déchets par catégorie

Catégorie	Volume à fin 2021 (m <sup>3</sup> )	Évolution 2021/2016 (m <sup>3</sup> )
HA	4 320	+ 670
MA-VL	39 500	- 5 470
FA-VL	103 000	+ 12 600
FMA-VC	981 000	+ 64 100
TFA	633 000	+ 150 000
DSF*	304	- 1 500
<b>Total</b>	<b>~ 1 760 000</b>	<b>+ 220 000</b>

\* Les déchets sans filière représentent un peu moins de 0,1 % du volume total de déchets et ne sont pas repris dans le graphique suivant.



Bâtiment de regroupement des colis de déchets au Cires

### FOCUS

#### L'UNITÉ DE VOLUME UTILISÉE

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 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.

Pour les déchets dont le conditionnement n'est pas connu à ce jour, des hypothèses sont faites pour évaluer le volume équivalent conditionné correspondant au colis primaire envisagé selon les hypothèses à date.

Un colis primaire peut éventuellement être placé dans un conteneur de stockage afin d'assurer des fonctions de manutention, de confinement et potentiellement de récupérabilité. Ce volume n'est pas considéré dans le « volume équivalent conditionné ».

Les volumes présentés dans le tableau page 29 sont fondés sur un certain nombre d'hypothèses, détaillées dans les fiches familles disponibles sur Internet ([inventaire.andra.fr](http://inventaire.andra.fr)). Les principales sont les suivantes :

- les hypothèses de conditionnement pour les déchets non conditionnés. Conformément à l'arrêté du 9 octobre 2008 modifié, les producteurs doivent déclarer « le volume équivalent de déchets conditionnés, y compris pour les déchets non conditionnés ou préconditionnés, selon la ou les hypothèses de conditionnement associées ». Les hypothèses retenues par les producteurs correspondent à la meilleure appréciation qu'ils possèdent au moment de la déclaration. Elles peuvent être en cours d'étude ou en cours de discussion avec l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) ou 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 2021. Pour cette raison, les déchets de graphite FA-VL qui sont encore dans les caissons des réacteurs UNGG (empilements, réflecteurs en place, aires de support) ne sont pas comptabilisés dans les stocks à fin 2021, mais sont pris en compte dans les prévisions de volumes de déchets, en fonction de leur date de démantèlement prévisionnelle (voir chapitre 3) ;
- 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. Le 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 Orano de La Hague ;
- les sources usagées hors paratonnerres (sources scellées, détecteurs de fumée, crayons sources, grappes sources, etc.) 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 (colis MA-VL « blocs sources »). Dans cette édition, 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.



 Alvéoles de stockage de déchets TFA

## FOCUS

### DÉCHETS ISSUS DU SITE ORANO DE MALVÉSI

Le site industriel Orano de Malvési (Narbonne) opère depuis 1960 la première étape de la conversion nécessaire au cycle du combustible nucléaire. Il constitue l'unique point d'entrée en France de l'uranium naturel provenant des mines, et procède à leur purification et à leur transformation en tétrafluorure d'uranium (UF<sub>4</sub>). Les effluents liquides issus du procédé sont neutralisés à la chaux puis dirigés vers les bassins de décantation où s'effectue une séparation solide-liquide. Les bassins de décantation se remplissent donc au fur et à mesure de la fraction solide des effluents (boues de fluorine et d'hydroxydes métalliques) constituant les déchets solides du procédé de conversion. La fraction liquide des effluents (liquides nitrates), clarifiée par la décantation, rejoint les bassins d'évaporation où elle est concentrée par évaporation naturelle.

Les déchets provenant de l'usine d'Orano à Malvési sont affichés séparément dans les bilans chiffrés des stocks de déchets existants au 31 décembre 2021 et dans les prévisions dans l'attente d'une décision sur la gestion à long terme de ces déchets. Les déchets historiques de l'usine d'Orano à Malvési (installation ÉCRIN, ex. Résidus de traitement de conversion de l'uranium (RTCU) historiques, et bassins d'évaporation, ex. effluents nitrates) sont entreposés sur site. La recherche d'une filière sûre de gestion à long terme dans un stockage sur le site de Malvési est en cours du fait de la spécificité des déchets produits (volumes importants).

La diminution du volume de déchets de l'usine d'Orano à Malvési (- 57 000 m<sup>3</sup>) est due à la réévaluation des volumes de boues présents dans les bassins de décantation et la réduction de volume lors du transfert de boues vers l'installation ÉCRIN.

Pour les déchets produits depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2019, Orano a travaillé sur deux projets destinés, d'une part, à réduire le volume des déchets solides produits et à privilégier les filières de gestion existantes, et, d'autre part, à traiter (par un procédé thermique) les effluents liquides de procédé, conjointement à ceux déjà entreposés dans les bassins d'évaporation. Ces évolutions du procédé conduisent à différencier deux familles de déchets à produire :

- des déchets solides, composés de fluorures et gypses qui sont produits par l'usine sous forme de boues densifiées et entreposés en alvéoles sur le site ;
- des déchets solides issus du traitement thermique des effluents liquides nitrates qui sont produits par le fonctionnement des installations de conversion, mais aussi par la reprise du stock déjà entreposé dans les bassins d'évaporation.

Les déchets RTCU produits après 2019 ne sont plus considérés comme assimilables aux RTCU historiques et sont, après traitement et conditionnement, intégrés aux filières de gestion TFA et FA-VL au titre du respect de l'article 63 de l'arrêté du 23 février 2017 (décret n°2017-231).

Déchets Orano de Malvési	Volume à fin 2021 (m <sup>3</sup> ) <sup>*</sup> sur site	
Bassins de décantation	39 000	
Installation ÉCRIN	258 000	
Bassins d'évaporation	372 000	
<b>Total</b>	<b>669 000</b>	
Déchets Orano de Malvési	Volume à fin 2016 (m <sup>3</sup> )	Évolution 2021/2016 (m <sup>3</sup> )
<b>Total</b>	<b>612 000</b>	<b>- 57 000</b>

\* Les quantités sont exprimées en volume brut.

## FOCUS

## MATIÈRES ET 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 retraitement 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 retraitement des combustibles usés, en vue d'en retirer les matières valorisables (uranium et plutonium) pour d'autres utilisations électro-nucléaires 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, devenu successivement Areva et maintenant Orano, ont inclus dans tous leurs contrats une clause permettant de renvoyer à ces clients étrangers les déchets ultimes issus du retraitement de leurs combustibles.

Pour permettre le contrôle du respect de ces dispositions, les exploitants concernés doivent établir chaque année, conformément à l'article L. 542-2-1 du code de l'environnement, un rapport faisant l'état des stocks et des flux de substances radioactives étrangères, ce rapport devant inclure un volet prospectif.

Ces rapports sont publics :

- rapport CEA – Informations relatives aux opérations portant sur des combustibles usés ou des déchets radioactifs en provenance de l'étranger – Rapport 2022, disponible sur le site Internet du CEA : [cea.fr](http://cea.fr) ;
- rapport Orano – Traitement des combustibles usés provenant de l'étranger dans les installations d'Orano La Hague – Rapport 2022, disponible sur le site Internet d'Orano : [orano.group](http://orano.group)



Emballage de transport de combustible usé

LES ÉVOLUTIONS  
DEPUIS L'ÉDITION 2018

Les évolutions constatées entre les volumes de déchets existants à fin 2016 et ceux à fin 2021 sont non seulement dus à la production courante de déchets, mais également à d'autres évolutions dont les principales sont détaillées ci-après.

HA

LES DÉCHETS  
DE HAUTE ACTIVITÉ

L'évolution du stock de déchets HA à fin 2021 correspond essentiellement à la production courante de déchets résultant de la vitrification de solutions de produits de fission issues du retraitement des combustibles usés à l'usine Orano de La Hague.

FMA-VC

LES DÉCHETS DE FAIBLE  
ET MOYENNE ACTIVITÉ  
À VIE COURTE

L'augmentation du volume de déchets FMA-VC à fin 2021 s'explique en grande partie par cinq années supplémentaires de fonctionnement du parc de réacteurs électronucléaires et par les opérations de démantèlement réalisées pendant cette période. À cela s'ajoute des recatégorisations de déchets MA-VL et FA-VL.

TFA

LES DÉCHETS DE TRÈS  
FAIBLE ACTIVITÉ

En comparaison avec les chiffres de fin 2016, on constate une augmentation du volume de déchets TFA d'environ 150 000 m<sup>3</sup> à fin 2021, essentiellement due aux opérations de démantèlement.

MA-VL

LES DÉCHETS DE MOYENNE ACTIVITÉ  
À VIE LONGUE

Le volume du stock à fin 2021 a diminué d'environ 5 470 m<sup>3</sup> par rapport au stock à fin 2016 présenté dans l'Édition 2018.

À la production courante de déchets MA-VL, s'opposent la recatégorisation d'une partie des déchets solides et boues cimentées du CEA Cadarache (initialement MA-VL en FMA-VC) et d'une part importante des colis d'enrobés bitumineux du CEA Marcoule (initialement MA-VL en FA-VL) en raison de leur contenu radioactif.

Ces recatégorisations s'accompagnent d'une modification du scénario de reconditionnement : l'augmentation du volume équivalent conditionné dans les catégories FMA-VC et FA-VL est supérieure à la diminution de volume équivalent conditionné dans la catégorie MA-VL. Cette augmentation ne correspond pas à une augmentation de la quantité de déchets radioactifs.

FA-VL

## LES DÉCHETS DE FAIBLE ACTIVITÉ À VIE LONGUE

Le volume des déchets FA-VL a augmenté de 12 600 m<sup>3</sup> environ depuis la dernière édition de l'*Inventaire national*. La production annuelle courante de déchets de cette catégorie est composée de déchets radifères issus du site Framatome de Jarrie et de boues de procédés produites par l'usine de conversion d'uranium naturel Orano de Malvési.

L'évolution des volumes est due à un équilibre entre :

- la recatégorisation de la totalité des déchets de structure des combustibles

UNGG entreposé dans les silos 115 et 130 du site Orano de La Hague (initialement FA-VL en FMA-VC) en raison de changement d'hypothèses dans les opérations de reprises, notamment en ce qui concerne le conditionnement et le taux d'incorporation des déchets magnésiens ;

- la recatégorisation d'une partie des colis d'enrobés bitumineux du CEA Marcoule (initialement MA-VL) suite à l'amélioration des connaissances et à la prise en compte de leur décroissance radiologique, en adéquation avec la date prévisionnelle de prise en charge en stockage.

DSF

LES DÉCHETS  
SANS FILIÈRE

La diminution du volume de déchets sans filière est due à l'identification d'une filière de gestion pour une partie des déchets sans filière, notamment les huiles et déchets organiques, orientés vers les catégories TFA ou FMA-VC.

### CONTENU RADIOLOGIQUE DES DÉCHETS RADIOACTIFS À FIN 2021

Les activités radiologiques au 31 décembre 2021 sont déclarées par les producteurs.

En ce qui concerne les déchets TFA et FMA-VC, les producteurs déclarent l'activité des déchets présents sur leurs sites. L'Andra déclare l'activité des déchets présents dans ses centres de stockage. Cette activité est estimée suivant une méthode fondée sur des mesures ou des évaluations par calcul.

Dans le cas des déchets HA, MA-VL et FA-VL, l'activité est mesurée lors de la production des colis de déchets. L'activité des déchets en attente de conditionnement est estimée par calcul ou sur la base d'analyses effectuées sur des prélèvements. Elles seront affinées lors de leur conditionnement. L'activité totale déclarée par les producteurs est de l'ordre de 226 000 000 TBq.

Le tableau et le graphique ci-dessous synthétisent l'activité totale déclarée.

#### ACTIVITÉS DÉCLARÉES AU 31 DÉCEMBRE 2021

Catégorie	Activité à fin 2021 (TBq soit 10 <sup>12</sup> Bq)
HA	220 000 000
MA-VL	6 060 000
FA-VL	20 200
FMA-VC	281 000
TFA	968
<b>Total</b>	<b>~ 226 000 000</b>

#### RÉPARTITION DU VOLUME ET DES NIVEAUX DE RADIOACTIVITÉ DES STOCKS DE DÉCHETS À FIN 2021



Les pourcentages ont été calculés sur la base des chiffres exacts puis arrondis.

Les activités déclarées au 31 décembre 2021 mettent en évidence que :

- **les déchets HA contiennent 97,2 % de l'activité totale** des déchets radioactifs présents au 31 décembre 2021. 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 césium 134, le césium 137 et son descendant métastable le baryum 137, le strontium 90 et son descendant l'yttrium 90 ;
- **les déchets MA-VL représentent 2,67 %** de la radioactivité totale. Les déchets activés des réacteurs et les déchets de structure des combustibles nucléaires [colis de coques et embouts compactés (CSD-C) et colis de coques et embouts cimentés] contribuent à près de 75 % 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 et le tritium pour les émetteurs à vie courte, le nickel 63 et l'argent 108 métastable pour les émetteurs à vie longue. Dans le cas des déchets de structure de combustibles, les radionucléides les plus contributeurs à l'activité sont le fer 55, le strontium 90 et son descendant l'yttrium 90, le césium 137 et son descendant métastable le baryum 137, le tritium et le cobalt 60 pour les émetteurs à vie courte et le nickel 63 pour les émetteurs à vie longue ;
- **les déchets FA-VL représentent 0,01 %** de la radioactivité totale. Les déchets de graphite contiennent essentiellement du tritium et du cobalt 60 pour les émetteurs à vie courte, du carbone 14, du nickel 63, et en faible quantité, du chlore 36 pour les émetteurs à vie longue. Les déchets radifères contiennent essentiellement des radionucléides d'origine naturelle émetteurs alpha (radium, uranium, thorium, etc.) ;
- **les déchets FMA-VC représentent 0,12 %** de la radioactivité totale. Les colis de déchets solides produits par le CEA et par Orano La Hague ainsi que les colis de résines échangeuses d'ions d'EDF sont les familles de déchets contribuant le plus à l'activité de l'inventaire FMA-VC ;
- **les déchets TFA représentent 0,0004 %** de la radioactivité totale.

### 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 suivantes sont présentées dans ce chapitre :

- **les combustibles avant utilisation** (UNE, URE, mixtes uranium-plutonium ou des réacteurs de recherche) ;
- **les combustibles en cours d'utilisation** dans les centrales électronucléaires (UNE, URE ou mixtes uranium-plutonium) et dans les réacteurs de recherche ;
- **les combustibles usés** (UNE, URE, mixtes uranium-plutonium, RNR, des réacteurs de recherche ou de la Défense nationale) en attente de retraitement ;
- **les rebuts de combustibles** (uranium ou mixtes uranium-plutonium) non irradiés ;
- **le plutonium** séparé non irradié ;
- **l'uranium naturel extrait de la mine ;**
- **l'uranium naturel enrichi ;**
- **l'uranium issu du retraitement de combustibles usés ;**
- **l'uranium enrichi issu du retraitement de combustibles usés ;**
- **l'uranium appauvri ;**
- **le thorium ;**
- **les matières en suspension** (sous-produit du traitement des terres rares) ;
- **les autres matières.**

### QUANTITÉS DE MATIÈRES RADIOACTIVES

Les quantités de matières radioactives présentes sur le territoire français au 31 décembre 2021, y compris les matières étrangères visées à l'article L. 542-2-1 du code de l'environnement, sont présentées dans le tableau ci-dessous.

L'unité utilisée pour présenter les quantités de matières radioactives est la tonne de métal lourd (tML), unité représentative de la quantité d'uranium, de plutonium ou de thorium contenue dans les matières sauf pour le combustible de la Défense nationale exprimé en tonne d'assemblages (t).

#### BILAN ET ÉVOLUTION DES MATIÈRES RADIOACTIVES

Matières radioactives	Masse à fin 2021 (tML sauf les combustibles usés de la Défense nationale en tonne)	Évolution 2021/2016 (tML sauf les combustibles usés de la Défense nationale en tonne)
Combustibles UNE avant utilisation	733	+ 285
Combustibles UNE en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires	3 970	- 476
Combustibles UNE usés, en attente de retraitement	11 200	- 198
Combustibles URE avant utilisation	-	-
Combustibles URE en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires	-	- 53
Combustibles URE usés, en attente de retraitement	630	+ 52
Combustibles mixtes uranium-plutonium avant utilisation ou en cours de fabrication	11	- 27
Combustibles mixtes uranium-plutonium en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires	215	- 215
Combustibles mixtes uranium-plutonium usés, en attente de retraitement	2 390	+ 558
Rebuts de combustibles mixtes uranium-plutonium non irradiés en attente de retraitement	337	+ 70
Rebuts de combustibles uranium non irradiés en attente de retraitement	-	-
Combustibles usés RNR, en attente de retraitement	125	+ 5
Combustibles des réacteurs de recherche avant utilisation	0,04	+ 0,04
Combustibles en cours d'utilisation dans les réacteurs de recherche	0,7	- 0,1
Autres combustibles usés civils	61	+ 1
Combustibles usés de la Défense nationale	202	+ 25
Plutonium séparé non irradié sous toutes ses formes physico-chimiques	65	+ 11
Uranium naturel extrait de la mine, sous toutes ses formes physico-chimiques	37 800	+ 7 910
Uranium naturel enrichi, sous toutes ses formes physico-chimiques	3 290	- 562
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	34 200	+ 4 580
Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques	324 000	+ 14 300
Thorium, sous la forme de nitrates et d'hydroxydes	8 510	- 54
Matières en suspension (sous-produits du traitement des minerais de terres rares)	5	- 0,1
Autres matières	70	-



### LES ÉVOLUTIONS DEPUIS L'ÉDITION 2018

Les évolutions constatées entre les quantités de matières radioactives de l'Édition 2018 et de l'Édition 2023 de l'*Inventaire national* sont dues :

- à l'exploitation courante du parc électro-nucléaire français ;
- au retraitement des combustibles UNE usés qui permet d'en extraire le plutonium et l'uranium qu'ils contiennent qui entraîne l'augmentation continue du stock d'uranium issu du retraitement des combustibles usés ;
- à l'entreposage des combustibles usés mixtes uranium-plutonium (MOX), URE, des rebuts, de l'uranium appauvri et de l'URT en attente de valorisation ;
- aux difficultés de fonctionnement rencontrées par l'usine Mélox, entraînant notamment une augmentation du stock de plutonium séparé non irradié et des rebuts, une diminution de la production des assemblages MOX, compensée par des combustibles UNE supplémentaires ;
- à la valorisation ponctuelle de thorium et de matières en suspension dans les secteurs de l'industrie non-électronucléaire et de la médecine.

*i* Certains pays ont fait le choix de ne pas retraiter leurs combustibles usés. Aux États-Unis, ils sont entreposés dans des piscines auprès des réacteurs qui les ont produits. Lorsque la température des combustibles a suffisamment décréu, les assemblages sont sortis des piscines pour être entreposés à sec, sous circulation d'air, à l'intérieur d'un système d'entreposage dont les parois épaisses protègent des radiations. En Suède, les combustibles usés sont regroupés et entreposés sous eau dans une installation en subsurface (25 mètres) en attente de la mise en service du stockage géologique.

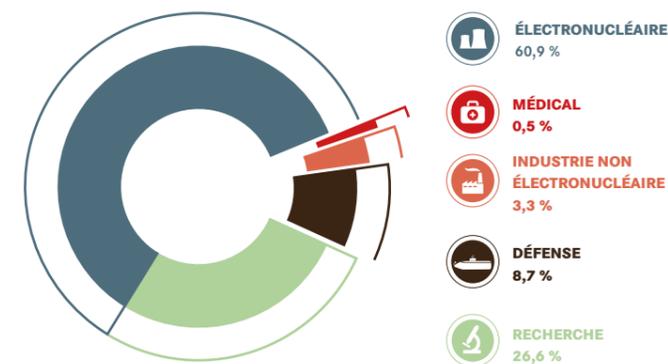
## LE BILAN DES STOCKS PAR SECTEUR ÉCONOMIQUE

Dans cette partie, les déchets radioactifs et les matières radioactives répertoriés au 31 décembre 2021 sont présentés suivant leur secteur économique.

Les cinq secteurs économiques sont définis comme suit :

- **le secteur électronucléaire** qui comprend principalement les centres nucléaires de production d'électricité, ainsi que les usines dédiées à la fabrication du combustible nucléaire (extraction et traitement du minerai d'uranium, conversion chimique et enrichissement des concentrés d'uranium) et au retraitement des combustibles nucléaires usés ;
- **le secteur de la recherche** qui comprend la recherche dans le domaine du nucléaire civil, du médical, de la physique nucléaire et des particules, de l'agronomie, de la chimie, de la biologie, etc. ;
- **le secteur de la défense** qui concerne principalement la force de dissuasion, dont la propulsion nucléaire de certains navires ou sous-marins, la recherche associée mais également les activités liées aux armées ;
- **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 matériels médicaux, la stérilisation et la conservation de produits alimentaires, etc. ;
- **le secteur médical** qui comprend les activités diagnostiques et thérapeutiques (scintigraphie, radiothérapie, etc.).

### ➤ RÉPARTITION DES DÉCHETS RADIOACTIFS À FIN 2021 PAR SECTEUR ÉCONOMIQUE



Les pourcentages ont été calculés sur la base des chiffres exacts puis arrondis.

### ➤ RÉPARTITION DE LA MASSE TOTALE DE MATIÈRES RADIOACTIVES PAR SECTEUR ÉCONOMIQUE

Secteur économique	Quantité à fin 2021 (en tML)
Électronucléaire	421 000
Recherche	218
Défense	202 tonnes
Industrie non-électronucléaire	6 340
Médical	-

### ➤ RÉPARTITION DU VOLUME TOTAL DE DÉCHETS PAR SECTEUR ÉCONOMIQUE ET PAR CATÉGORIE

Volume à fin 2021 (m³)	Électronucléaire	Recherche	Défense	Industrie non-électronucléaire	Médical
HA	3 930	159	232	-	-
MA-VL	26 200	8 090	5 060	172	3
FA-VL	50 100	13 100	19 100	20 700	98
FMA-VC	637 000	248 000	65 700	22 300	8 400
TFA	355 000	200 000	62 800	14 900	103
<b>Total</b>	<b>~ 1 070 000</b>	<b>~ 470 000</b>	<b>~ 153 000</b>	<b>~ 58 100</b>	<b>~ 8 610</b>

## SECTEUR ÉLECTRONUCLÉAIRE

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

Ce secteur produit tous types de déchets radioactifs. Il comprend toutes les matières radioactives concernant les combustibles UNE, MOX et URE, ainsi que du plutonium, du thorium et de l'uranium sous toutes ses formes physico-chimiques. Les combustibles neufs et irradiés de Superphénix sont compris dans ce secteur.

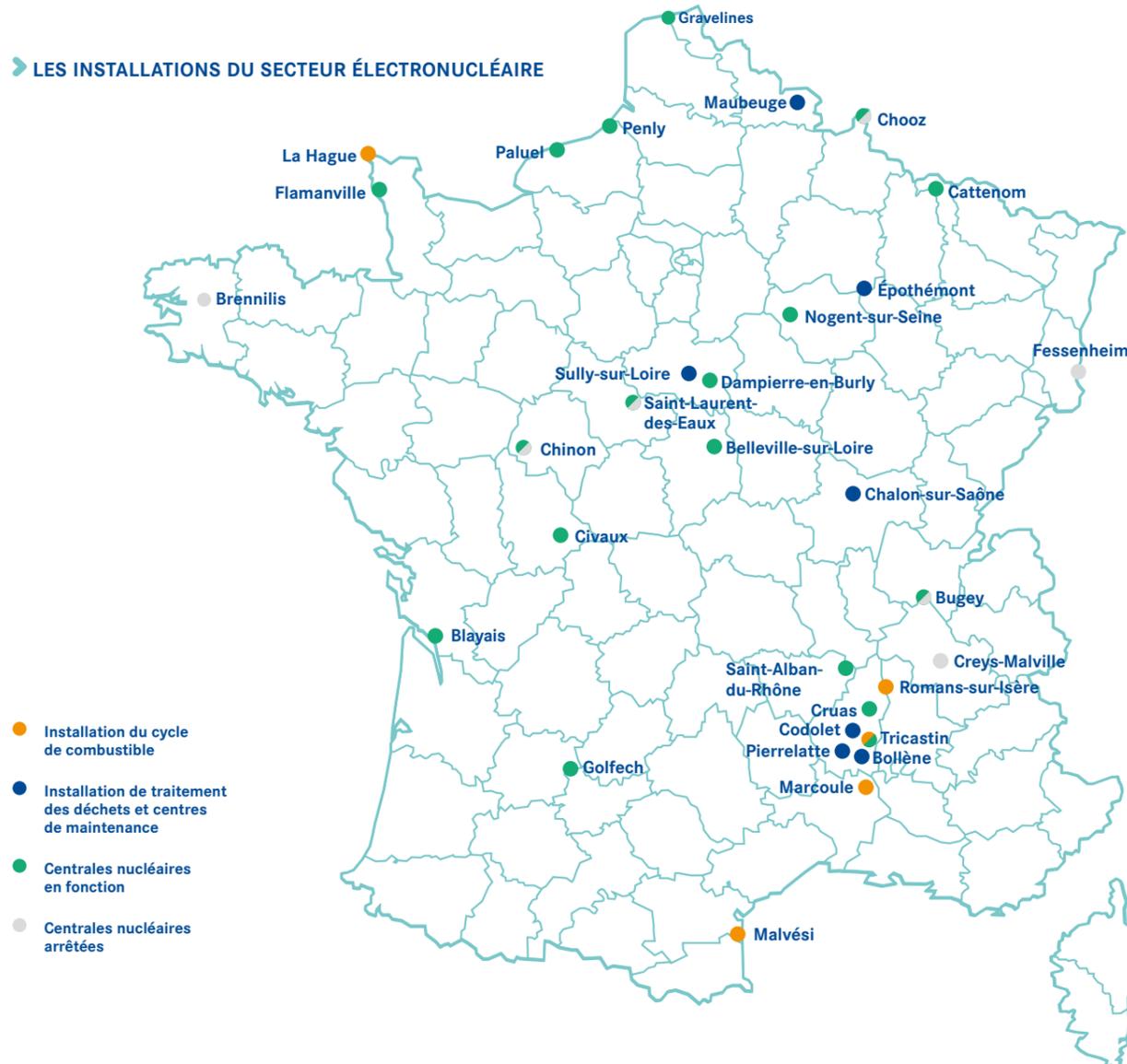
### LES CENTRES NUCLÉAIRES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

#### Les réacteurs en cours de fonctionnement

Le parc électronucléaire français se compose actuellement, depuis l'arrêt des deux réacteurs de la centrale de Fessenheim en 2020, de 56 réacteurs nucléaires en fonctionnement implantés sur 18 sites géographiques.

Ces réacteurs ont été mis en service de 1977 à 1999 et fonctionnent principalement avec des combustibles à l'uranium enrichi (UNE).

### LES INSTALLATIONS DU SECTEUR ÉLECTRONUCLÉAIRE



- Installation du cycle de combustible
- Installation de traitement des déchets et centres de maintenance
- Centrales nucléaires en fonction
- Centrales nucléaires arrêtées

Un réacteur également à eau sous pression de technologie EPR (site de Flamanville) est en cours de construction et viendra compléter le parc en fonctionnement à sa mise en service prévue en 2024<sup>1</sup>.

Le fonctionnement des centres nucléaires de production d'électricité d'EDF et les activités de maintenance associées engendrent majoritairement des déchets TFA et FMA-VC ainsi que dans une moindre mesure des déchets MA-VL.

Au-delà des déchets HA et MA-VL issus du retraitement du combustible irradié des centres nucléaires de production d'électricité, le fonctionnement de l'usine de retraitement produit également des déchets MA-VL, FMA-VC et TFA.

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 sur le site du Bugey (Iceda) qui assure le découpage, le conditionnement en conteneur béton et l'entreposage intermédiaire des colis.

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

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

À l'exception des déchets incinérables et des ferrailles destinées à la fusion, qui sont dirigés vers les unités de Centraco de Cyclife France, les déchets FMA-VC d'EDF sont conditionnés sur les sites des centres nucléaires de production d'électricité dans des colis en béton, des fûts ou des caissons métalliques.

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

Les opérations de maintenance dans les centres nucléaires de production d'électricité du parc, comme le remplacement des couvercles de cuve et des générateurs de vapeur, produisent notamment des volumes importants d'acier. Un projet de technocentre pour la valorisation de ces déchets métalliques TFA est à l'étude, en accord avec le PNGMDR 2022-2026.

**i** Le retraitement du combustible usé : la production annuelle d'un réacteur de déchets des catégories HA et MA-VL est de l'ordre de 3 m<sup>3</sup>. Le démantèlement : il est prévu que la déconstruction d'un réacteur REP produise en moyenne 13 000 m<sup>3</sup> de déchets radioactifs, majoritairement FMA-VC et TFA. Cette quantité de déchets intègre le retour d'expérience d'EDF et varie en fonction de la puissance du réacteur.

## FOCUS

### LES COMBUSTIBLES EN RÉACTEURS ÉLECTRONUCLÉAIRES

Les assemblages combustibles REP séjournent quelques années dans le cœur des réacteurs de production d'électricité. Puis, une fois déchargés, ils sont entreposés dans une piscine de refroidissement à proximité du réacteur avant d'être évacués vers l'usine de retraitement Orano de La Hague.

Un réacteur de 900 mégawatts utilise en permanence 157 assemblages combustibles, chacun d'entre eux contenant environ 500 kg d'uranium. Les matières radioactives présentes dans les réacteurs

électronucléaires sont majoritairement des combustibles UNE à base d'oxyde d'uranium et, dans une moindre mesure, des combustibles MOX à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium utilisés dans 22 réacteurs autorisés à cet effet.

L'utilisation de combustibles URE à l'uranium de retraitement enrichi est actuellement suspendue. À fin 2023, les quatre réacteurs de la centrale nucléaire de Cruas sont autorisés à utiliser du combustible de type URE fabriqué à partir d'uranium de retraitement (URT) enrichi.



Centrale nucléaire de Cruas Meysse, Ardèche

<sup>1</sup> La puissance électrique prévue pour l'EPR de Flamanville est de 1 650 MWe.

## ➤ RÉACTEURS EN SERVICE

Site 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
Bugey (05/1978 – 07/1979)	4	910/880	-
Gravelines (03/1980 – 08/1985)	6	910	6
Dampierre (03/1980 – 08/1981)	4	890	4
Tricastin (05/1980 – 06/1981)	4	915	4
Saint-Laurent-des-Eaux B (01/1981 – 06/1981)	2	915	2
Blayais (06/1981 – 05/1983)	4	910	4
Chinon B (11/1982 – 11/1987)	4	905	4
Cruas (04/1983 – 10/1984)	4	915	-
Paluel (06/1984 – 04/1986)	4	1 330	-
Saint-Alban (08/1985 – 07/1986)	2	1 335	-
Flamanville (12/1985 – 07/1986)	2	1 330	-
Cattenom (11/1986 – 05/1991)	4	1 300	-
Bellemeville (10/1987 – 07/1988)	2	1 310	-
Nogent-sur-Seine (10/1987 – 12/1988)	2	1 310	-
Penly (05/1990 – 02/1992)	2	1 330	-
Golfech (06/1990 – 06/1993)	2	1 310	-
Chooz B (08/1996 – 04/1997)	2	1 455	-
Civaux (12/1997 – 12/1999)	2	1 450	-
<b>18 sites</b>	<b>56 réacteurs</b>	<b>61,3 GWe</b>	<b>24 réacteurs</b>

\* MWe : mégawatt électrique.

### Les réacteurs en phase de préparation au démantèlement

Depuis l'arrêt définitif de sa production d'électricité, le 30 juin 2020, la centrale nucléaire de Fessenheim est entrée en phase de préparation de son démantèlement. La durée prévisionnelle de son démantèlement est de 15 ans à partir de l'entrée en vigueur du décret de démantèlement. Celui-ci sera publié après une période d'instruction. Les activités de démantèlement pourront débuter lors de l'entrée en vigueur du décret qui aura lieu au plus tard un an après cette publication. Le démantèlement devrait ainsi débuter en 2026.

D'ici l'obtention et la mise en application du décret, les opérations de préparation au démantèlement sont réalisées. Elles visent à « réduire les risques et inconvénients présents sur l'installation » avec notamment l'évacuation des assemblages de combustibles vers le centre de retraitement Orano de La Hague. C'est aussi l'évacuation des déchets, des effluents et la vidange des circuits. À ce stade 99,9 % de la radioactivité sera évacuée. Pendant ces opérations EDF affinera également la connaissance de l'installation : inventaires des matières dangereuses, repérage amiante, études radiologiques, etc.

### Les réacteurs en démantèlement

EDF a exploité six réacteurs de l'ancienne filière UNGG (Uranium naturel graphite gaz) développée par le CEA, répartis sur trois sites : les trois réacteurs de Chinon A, les deux réacteurs de Saint-Laurent-des-Eaux A et le réacteur de Bugey 1. Le démantèlement de ces réacteurs est engagé et les déchets résultants sont comptabilisés dans ce secteur économique.

Le début de démantèlement du premier caisson réacteur UNGG, tête de série UNGG d'EDF, est prévu vers 2035. L'évacuation des déchets FA-VL graphite d'EDF débutera à l'horizon 2045, puis se poursuivra à l'horizon 2070, avec le démantèlement des autres réacteurs UNGG. Le reconditionnement des déchets (chemises) contenus dans les silos de Saint-Laurent A est

quant à lui programmé au début de la décennie 2030. Les chemises graphites entreposées dans des silos sur le site de Saint-Laurent-des-Eaux et sur les sites de Marcoule et de La Hague sont comptabilisées comme déchets déjà produits.

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

Sur le site de Creys-Malville sont actuellement entreposés les combustibles RNR irradiés et le cœur neuf du réacteur Superphénix.

## ➤ RÉACTEURS EN DÉMANTÈLEMENT

Site	Type	Nombre de réacteurs
Chooz	REP : réacteur à eau pressurisée	1
Brennilis	EL : eau lourde	1
Saint-Laurent-des-Eaux	UNGG : uranium naturel graphite gaz	2
Chinon	UNGG : uranium naturel graphite gaz	3
Bugey	UNGG : uranium naturel graphite gaz	1
Creys-Malville	RNR : réacteur à neutrons rapides (surgénérateur)	1

## LES INSTALLATIONS DU CYCLE DU COMBUSTIBLE

Le minerai d'uranium extrait de la mine est concassé, broyé puis imprégné d'une solution d'acide oxydante pour dissoudre l'uranium afin de l'extraire sélectivement de la solution. 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 Orano de Malvési en France.



Yellow Cake

### Conversion

Après la purification de l'uranium contenu dans les concentrés miniers, il est transformé en hexafluorure d'uranium ( $UF_6$ ), forme sous laquelle il se trouve 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'Orano à Malvési où le *yellow cake* devient tétrafluorure d'uranium ( $UF_4$ ) ;
- puis dans l'usine d'Orano à Tricastin où un procédé de fluoration permet de passer du tétrafluorure à l'hexafluorure d'uranium.

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

La matière radioactive mise en œuvre dans l'étape de conversion est l'uranium naturel extrait de la mine sous différentes formes physico-chimiques.

### 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.

L'enrichissement consiste à augmenter la proportion d'uranium 235. Aujourd'hui, la plupart des réacteurs utilisent comme combustible de l'uranium enrichi à 4 % environ en uranium 235.

Le procédé d'enrichissement mis en œuvre par l'usine Georges-Besse II d'Orano sur le site de Tricastin depuis 2011 est la centrifugation.

## FOCUS

## LES DÉCHETS ISSUS DE L'EXTRACTION DU MINÉRAI 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 5).



Mine d'uranium à ciel ouvert



Cristaux d'hexafluorure d'uranium

Les sites 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 matières radioactives obtenues après l'étape d'enrichissement sont l'uranium naturel enrichi et l'uranium naturel appauvri.

### Fabrication du combustible

À fin 2023, les combustibles fabriqués pour la production d'électricité sont essentiellement de deux types : UNE (à base d'oxyde d'uranium naturel enrichi) et MOX (à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium). L'utilisation de combustibles URE (à base d'uranium de retraitement enrichi), arrêtée en 2013 pour des raisons technico-économiques, est en cours de reprise par EDF.

#### Le combustible UNE

##### (à base d'oxyde d'uranium naturel enrichi)

L'hexafluorure d'uranium (UF<sub>6</sub>) enrichi est transformé en poudre d'oxyde d'uranium puis compacté sous forme de pastilles pour permettre la fabrication des combustibles UNE. Les pastilles sont introduites dans des gaines métalliques, assurant leur maintien, pour constituer les assemblages combustibles.

L'usine Framatome de Romans-sur-Isère réalise ces deux opérations. Les déchets produits par l'usine sont essentiellement des déchets TFA issus du fonctionnement et de la maintenance des installations.

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

L'usine Melox d'Orano, implantée sur le site de Marcoule, fabrique depuis 1995 le combustible MOX selon un procédé similaire au procédé de fabrication du combustible UNE, mais qui utilise un mélange de poudres d'oxyde d'uranium et d'oxyde de plutonium.

Le plutonium utilisé est issu du retraitement des combustibles usés mis en œuvre à l'usine d'Orano de La Hague. De l'uranium naturel appauvri issu de l'étape d'enrichissement de l'uranium est également utilisé.

 La production de combustible MOX à Cadarache est aujourd'hui arrêtée. Le démantèlement a débuté en 2007. La production industrielle de l'usine Melox a démarré en 1995. Son autorisation de production est de 195 tML de combustible MOX par an (tonne de métal lourd), destiné aux réacteurs français et étrangers de la filière eau légère.

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

Melox produit également des rebuts de combustibles mixtes uranium-plutonium non irradiés (pastilles, poudres, etc.) considérés comme des matières radioactives et qui n'ont pas pu être directement recyclées dans le circuit de production. Les rebuts sont dirigés vers l'usine de retraitement Orano de La Hague pour entreposage en vue d'une utilisation ultérieure.

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.

#### Le retraitement du combustible

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

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

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

- **réception et entreposage** en piscines des assemblages de combustibles usés pour refroidissement avant retraitement (pendant quelques années) ;
- **retraitement des assemblages** de combustibles usés par :
  - cisailage mécanique des assemblages en tronçons de 35 mm environ ;
  - dissolution chimique du combustible usé contenu dans ces tronçons par de l'acide nitrique ;
  - séparation de l'uranium et du plutonium dissous par extraction chimique et purification. L'uranium de recyclage issu du retraitement des combustibles usés (URT) est transféré vers l'atelier du Tricastin pour être transformé sous forme d'U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>. Le plutonium séparé est envoyé à l'usine de fabrication du combustible MOX (Melox) ;



Pastilles de combustible

- **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 ;
- les composants métalliques des assemblages REP (tubes de gainage, grilles, embouts) 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, à Marcoule ou sur le site de Saint-Laurent-des-Eaux. Le procédé de conditionnement est en cours d'étude.

Le retraitement des combustibles génère également des déchets de maintenance et de fonctionnement 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, etc.) sont compactés et mis en fût ; les modes de conditionnement des boues issues du traitement des effluents ont évolué.

Dans un premier temps, le bitumage qui consistait à enrober les boues dans du bitume a été privilégié. La diminution des volumes d'effluents à traiter a largement réduit les quantités produites et l'optimisation des procédés de conditionnement et l'évolution des contraintes liées à la sûreté ont conduit à l'utilisation d'autres procédés tels que la vitrification ou la cimentation. Les déchets FMA-VC sont stockés au CSA. Ils peuvent être préalablement traités à l'usine Centraco de Cyclife France par incinération ou fusion en fonction de leur nature physico-chimique.

Les déchets TFA sont conditionnés en *big-bags* ou en conteneurs métalliques pour être transférés et stockés au Cires.

#### 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

L'installation Centraco de Cyclife France à Codolet exploite deux procédés :

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

## FOCUS

### OPÉRATIONS MENÉES DANS LES USINES DE RETRAITEMENT

Les opérations de retraitement de combustibles usés dans la première usine de retraitement (sur Marcoule) 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. Ces opérations de démantèlement (désormais de responsabilité CEA), hors installations de support, devraient produire plusieurs milliers de tonnes de déchets, en majorité stockables dans un site de surface.

En 1966, une deuxième usine de retraitement 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, devenue Areva puis Orano. Elle est aujourd'hui arrêtée. D'une capacité de 400 tonnes de combustibles par an, l'usine UP2-400 a d'abord traité des combustibles usés de la filière UNGG, puis a été adaptée pour pouvoir retraiter des combustibles de la filière REP.

De 1976 à 1987, l'usine UP2-400 a ainsi traité en alternance des 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 de Marcoule assurait le retraitement des combustibles provenant des autres filières.

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

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

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. L'installation Triade d'Orano à Bollène est spécialisée 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 Daher à Épothémont est spécialisée notamment dans le tri et le conditionnement de déchets TFA selon les spécifications de l'Andra ou de Centraco de Cyclife France. L'installation Sogeval d'Onet Technologies à Pierrelatte propose notamment des services de traitement et d'entreposage de déchets radioactifs.

#### Les centres de maintenance

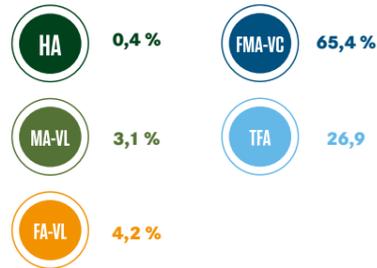
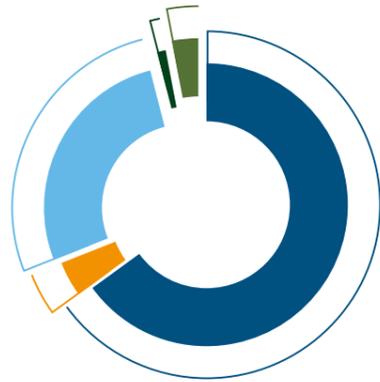
Des entreprises spécialisées assurent la maintenance des grandes installations ou la décontamination de certains équipements.

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

La société Somanu (Société de maintenance nucléaire), à Maubeuge, est spécialisée dans la réparation, l'entretien et l'expertise de matériels provenant principalement du circuit primaire des réacteurs et de ses auxiliaires.

Exploités par Framatome, le Centre de maintenance des outillages à Chalon-sur-Saône et le Centre d'entretien et de décontamination d'outillage à Sully-sur-Loire mènent des opérations de maintenance de l'outillage utilisé lors des interventions sur les sites nucléaires.

► BILAN DES DÉCHETS RADIOACTIFS DU SECTEUR ÉLECTRONUCLÉAIRE



Catégorie	Volume à fin 2021 (m³)
HA	3 930
MA-VL	26 200
FA-VL	50 100
FMA-VC	637 000
TFA	355 000
<b>Total</b>	<b>~ 1 070 000</b>

Les pourcentages ont été calculés sur la base des chiffres exacts puis arrondis.

► VOLUME DE DÉCHETS DE L'USINE D'ORANO DE MALVÉSI

Déchets Orano de Malvési	Volume à fin 2021 (m³)*
Bassins de décantation	39 000
Installation ÉCRIN	258 000
Bassins d'évaporation	372 000
<b>Total</b>	<b>669 000</b>

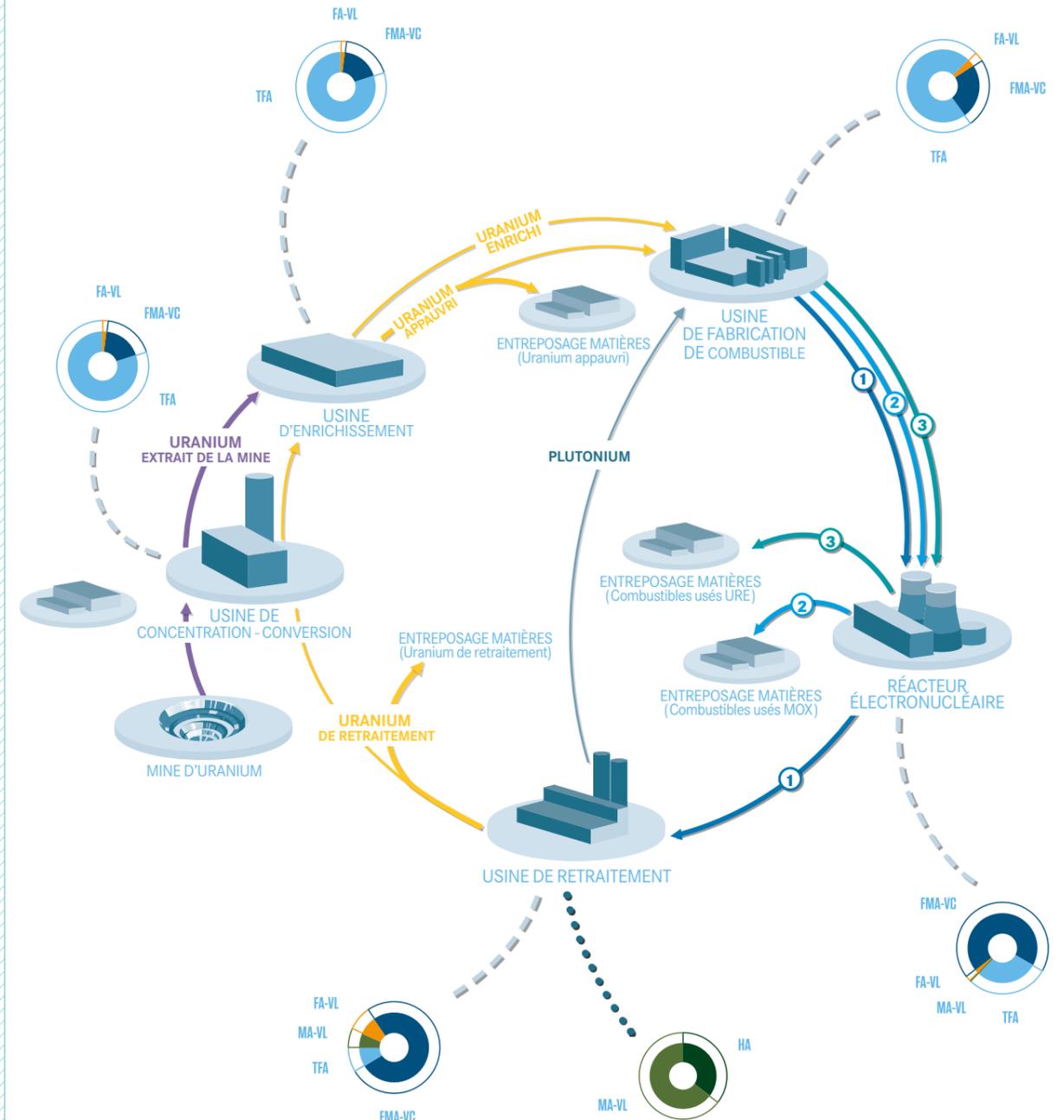
\* Les quantités sont exprimées en volume brut.

► BILAN DES MATIÈRES RADIOACTIVES DU SECTEUR ÉLECTRONUCLÉAIRE

Matières radioactives	Masse à fin 2021 (tML)
Combustibles UNE avant utilisation	733
Combustibles UNE en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires	3 970
Combustibles UNE usés, en attente de retraitement	11 200
Combustibles URE avant utilisation	-
Combustibles URE en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires	-
Combustibles URE usés, en attente de retraitement	630
Combustibles mixtes uranium-plutonium avant utilisation ou en cours de fabrication	11
Combustibles mixtes uranium-plutonium en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires	215
Combustibles mixtes uranium-plutonium usés, en attente de retraitement	2 390
Rebuts de combustibles mixtes uranium-plutonium non irradiés en attente de retraitement	337
Rebuts de combustibles uranium non irradiés en attente de retraitement	-
Combustibles usés RNR, en attente de retraitement	106
Plutonium séparé non irradié sous toutes ses formes physico-chimiques	63
Uranium naturel extrait de la mine, sous toutes ses formes physico-chimiques	37 700
Uranium naturel enrichi, sous toutes ses formes physico-chimiques	3 290
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	34 200
Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques	324 000
Thorium, sous la forme de nitrates et d'hydroxydes	11
Autres matières (cœur neuf de Superphénix)	70

FOCUS LA PRODUCTION DE MATIÈRES ET DÉCHETS RADIOACTIFS PAR LE SECTEUR ÉLECTRONUCLÉAIRE EN FRANCE

- ① Combustible à base d'oxyde d'uranium naturel enrichi (UNE)
- ② Combustible à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium (MOX)
- ③ Combustible à base d'oxyde d'uranium de retraitement enrichi (URE)
- Déchets de fonctionnement et de démantèlement - Stocks à fin 2021
- Déchets résiduels après retraitement des combustibles usés - Stocks à fin 2021



## SECTEUR DE LA RECHERCHE

Le secteur de la recherche regroupe toutes les activités de recherche pour le secteur électronucléaire et le secteur médical. Il ne prend pas en compte celles menées pour le secteur de la défense, qui sont intégrées à ce dernier.

Ce secteur comprend :

- les installations et les établissements des quatre centres d'études civils du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) : Cadarache, Marcoule, Paris-Saclay, Grenoble ;
- tous les établissements publics ou privés à vocation de recherche par exemple : le Centre européen pour la recherche nucléaire à Prévessin-Moëns (Cern), l'Institut Laue-Langevin à Grenoble (ILL), le Grand Accélérateur d'ions lourds à Caen (Ganil) ou encore l'Institut de physique nucléaire d'Orsay (IPN d'Orsay). Parmi ces établissements, la plupart utilisent la radioactivité en particulier comme un outil de caractérisation.

Les déchets radifères produits par l'assainissement de l'ancienne usine de traitement de minerais d'uranium du Bouchet exploitée par le CEA entre 1946 et 1970 sont attribués à ce secteur économique.

Les matières radioactives du secteur de la recherche correspondent aux combustibles des réacteurs de recherche avant utilisation, en cours d'utilisation ou usés. Ce secteur comprend également une part de plutonium et d'uranium sous toutes ses formes physico-chimiques. Le combustible de Phénix en attente de retraitement contribue également à ce secteur économique.

### LES ÉTABLISSEMENTS DES CENTRES D'ÉTUDES CIVILS DU CEA

De par le nombre et la variété des activités nucléaires du CEA civil, les déchets produits et à gérer sont d'une variété très étendue, dont la majeure partie relève des activités liées à l'énergie nucléaire au sein de la Direction des énergies (DES).

La DES apporte aux pouvoirs publics et aux industriels les éléments d'expertises et d'innovation pour la mise en œuvre d'un système énergétique bas carbone. Avec une approche intégrée, elle couvre à la fois :

- la production d'énergie décarbonnée. Elle intervient notamment en soutien aux industriels de la filière nucléaire sur les technologies actuelles et futures (réacteurs de 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> générations, cycle du combustible, réacteurs de 4<sup>e</sup> génération, SMR, défense) ;
- le fonctionnement technique du système énergétique via la mise en place d'outils de flexibilité et de stockage des énergies, le pilotage intelligent de la demande sur les réseaux et la conversion entre les énergies ;
- la gestion des ressources. Elle participe à mieux gérer les matières et les matériaux en travaillant sur les procédés de fabrication, le recyclage et l'analyse du cycle de vie des matériaux.

En parallèle, en tant qu'exploitant nucléaire civil, la DES gère et fait évoluer son parc d'installations nucléaires de recherche (réacteurs de recherche ou maquettes critiques, laboratoires chauds qui permettent de réaliser des études sur les objets irradiés, les plateformes expérimentales) et d'installation de support (atelier, laboratoire d'analyse et caractérisation, installation de traitement des déchets, d'entreposage, etc.). Elle mène des programmes de construction et de rénovation de ses installations, ainsi que des programmes d'assainissement et de démantèlement de celles arrivées en fin de vie et gère les déchets qu'elle produit. Elle développe, dans certains cas, les méthodes et les outils adaptés à ces opérations.

La DES déploie ses activités principalement sur trois centres :

#### Marcoule (Gard)

Les activités nucléaires du centre de Marcoule concernent plus particulièrement la recherche sur le cycle du combustible nucléaire et la réalisation d'importants chantiers d'assainissement et démantèlement (AD) et de reprise et de conditionnement de déchets (RCD) des installations à l'arrêt (atelier pilote et usine liés au retraitement, réacteurs UNGG et Phénix, etc.). Les installations du centre de Marcoule en cours de fonctionnement (notamment Atalante) sont dédiées à la recherche et au développement de techniques de préparation de l'uranium, de retraitement 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 (à l'arrêt depuis fin 2009), 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.

#### Cadarache (Bouches-du-Rhône)

Les activités nucléaires du centre de Cadarache sont orientées principalement vers la recherche sur l'optimisation des réacteurs nucléaires et les études de comportement des combustibles à base d'uranium ou de plutonium dans différentes configurations et sur les réacteurs de quatrième génération.

Le site dispose d'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. Le réacteur Jules-Horowitz (RJH), en cours de construction, sera utilisé pour le développement et la qualification des matériaux et des combustibles nucléaires, mais également pour la médecine nucléaire.

## FOCUS

### LE CENTRE CEA DE GRENOBLE (ISÈRE)

Le programme de dénucléarisation du centre CEA de Grenoble porte sur six installations nucléaires, dont la plus ancienne date de 1958 : trois réacteurs de recherche (Mélusine, Siloette, Siloé), le Laboratoire d'analyse des matériaux actifs (Lama) et deux installations de traitement des effluents et des déchets nucléaires (STED). Le projet consistait à démanteler et à assainir ces six installations.

Les trois réacteurs ont été déclassés et démolis. Le Lama a été déclassé courant 2017. La STED a été déclassée en 2023, constituant la dernière étape vers la dénucléarisation du site.

Le centre de Grenoble consacre désormais l'essentiel de ses recherches au développement des nouvelles technologies dans les domaines de l'énergie, de la santé, de l'information et de la communication.

#### Paris-Saclay

Pluridisciplinaire, le centre de Paris-Saclay (regroupant depuis 2017 les établissements de Saclay et de Fontenay-aux-Roses) exerce ses activités dans l'ensemble des domaines du CEA civil, tels que l'énergie nucléaire, les sciences du vivant, les sciences de la matière, le climat et l'environnement, la recherche technologique et l'enseignement.

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

L'établissement de Fontenay-aux-Roses est en pleine mutation et se tourne vers les applications médicales (radiobiologie, maladies émergentes, thérapies innovantes et génomiques, etc.). 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 nucléaires concernaient les domaines du génie chimique, du retraitement des combustibles et de la chimie des éléments transuraniens.

#### Établissement de Saclay (Essonne)

Les principales activités de l'établissement de Saclay concernent les énergies, le réchauffement climatique, la santé (cancer, maladie d'Alzheimer, prion, etc.), les nanosciences, la robotique, les sciences fondamentales, etc. Il joue également un rôle prépondérant dans la conception et la réalisation des Très Grandes Infrastructures de Recherche (TGIR).

Les activités nucléaires sont tournées plus particulièrement vers la recherche amont, la simulation, les matériaux et la chimie, ainsi que des opérations d'AD et RCD. Le centre de Saclay dispose de moyens nucléaires lourds (laboratoires d'examen, réacteurs Orphée et Osiris à l'arrêt depuis 2015) pour la recherche fondamentale, les recherches appliquées aux besoins de la production électronucléaire, la production de radioisotopes médicaux, la recherche pour les applications médicales. Une partie des déchets produits est traitée et conditionnée dans les installations supports du centre : INB 72 pour les solides et INB 35 pour les liquides. D'autres sont transférés vers Marcoule ou Cadarache pour traitement et entreposage éventuel, avant leur évacuation vers un site de l'Andra existant ou en projet.

## LES SITES DES ÉTABLISSEMENTS DES CENTRES D'ÉTUDES CIVILS DU CEA



### 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 2016, environ 500 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 et de Caen (Ganil) ;
- le réacteur de l'Institut Laue-Langevin (ILL) à Grenoble et le Centre européen pour la recherche nucléaire (Cern) à la frontière franco-suisse ;
- des établissements du secteur privé comme Sanofi ou L'Oréal ;
- des réacteurs et des installations diverses arrêtés.

Dans le secteur de la biologie cellulaire et moléculaire, les radionucléides de durée de vie très courte 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 liquides). Après utilisation, ils deviennent des déchets liquides en général collectés par l'Andra qui les expédie pour traitement à Centraco de Cyclife France.

## FOCUS

### LES DÉCHETS QUI SERONT PRODUITS PAR L'INSTALLATION ITER

ITER est une installation de recherche internationale civile en cours de construction à Cadarache basée sur la fusion nucléaire. Elle utilise un concept de confinement magnétique qui consiste à enfermer un plasma, grâce à des champs magnétiques, dans une chambre à vide en forme d'anneau appelée « tokamak ».

Les déchets 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. Ces déchets seront caractérisés par la présence de tritium, utilisé comme combustible, et de radionucléides issus de l'activation des parois de la chambre à vide par des neutrons de haute énergie.

Selon le planning de référence d'ITER, l'installation commencera à produire des déchets radioactifs après 2030. Les quantités qui seront générées lors de son fonctionnement sont estimées à environ 15 600 m<sup>3</sup> sur toute la durée de vie de l'installation.

Celles générées par le démantèlement de l'installation à la fin de son exploitation sont évaluées à environ 143 000 m<sup>3</sup> au total. Plus de 90 % d'entre eux seront des déchets TFA ou FMA-VC gérés dans le cadre des filières existantes.

Les déchets MA-VL 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 HA.

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 à construire.

### ► BILAN DES MATIÈRES RADIOACTIVES DU SECTEUR DE LA RECHERCHE

Matières radioactives	Masse à fin 2021 (tML)
Combustibles en cours d'utilisation dans les réacteurs de recherche	0,7
Autres combustibles usés civils	61
Combustibles usés RNR, en attente de retraitement	19
Plutonium séparé non irradié, sous toutes ses formes physico-chimiques	2
Uranium naturel extrait de la mine, sous toutes ses formes physico-chimiques	17
Uranium naturel enrichi, sous toutes ses formes physico-chimiques	9
Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques	109
Thorium, sous la forme de nitrates et d'hydroxydes	2 260

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

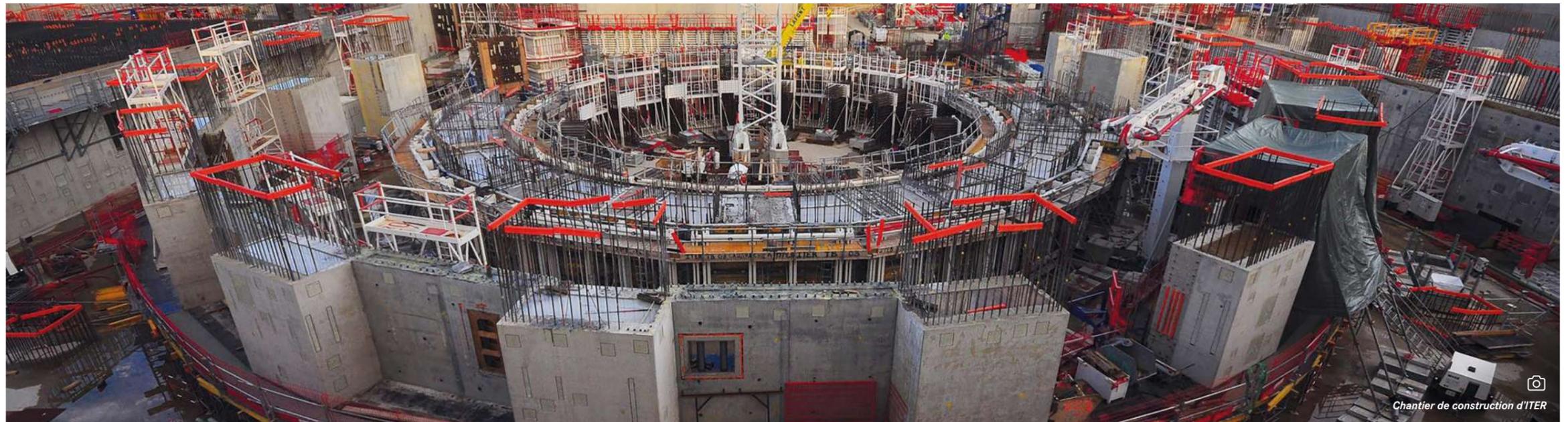
Les centres du CEA ont produit à fin 2021 près de 94 % des déchets du secteur de la recherche.

### ► BILAN DES DÉCHETS RADIOACTIFS DU SECTEUR DE LA RECHERCHE



Catégorie	Volume à fin 2021 (m <sup>3</sup> )
HA	159
MA-VL	8 090
FA-VL	13 100
FMA-VC	248 000
TFA	200 000
<b>Total</b>	<b>470 000</b>

Les pourcentages ont été calculés sur la base des chiffres exacts puis arrondis.



Chantier de construction d'ITER

## 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, etc.), du Service de santé des armées (SSA), de la Direction générale de l'armement (DGA) et de la gendarmerie.

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

### 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.

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

### Les installations du CEA/DAM

La 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.

Les sites concernés par les activités armes et chaufferies nucléaires sont des Installations nucléaires de Base secrète (INBS) :

### Le centre de Bruyères-le-Châtel

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

Le centre de Valduc réalise certains éléments constitutifs des armes nucléaires. Il traite leurs matières radioactives (plutonium, uranium) 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 pour entreposage.

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.

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<sup>3</sup> 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.

Le centre a par ailleurs engagé une phase d'assainissement pour certaines de ses installations.

### Les autres centres

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

De même, des expérimentations en détonique ont été menées par le passé sur le centre du Cesta, 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.

Se trouvent 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 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. Le centre est désormais dans une phase d'assainissement.

Enfin, les installations de la DAM à Cadarache au profit de la propulsion nucléaire, dont les réacteurs à terre, permettent de développer, de qualifier et de maintenir certains systèmes et équipements destinés aux chaufferies nucléaires des bâtiments de la marine.

### Les installations arrêtées

Certaines installations exploitées par Orano pour le compte de la DAM sont arrêtées depuis 2009. Les déchets d'assainissement-démantèlement de ces installations sont, pour une part, des déchets tritiés comptabilisés dans les déchets FMA-VC.

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

Depuis l'arrêt de la production de matières fissiles pour les besoins de la défense, ayant entraîné la fermeture des usines d'enrichissement et de recyclage de Pierrelatte, le CEA/DAM assure la maîtrise d'ouvrage du démantèlement de ces usines.

Par ailleurs, le CEA/DAM assure la maîtrise d'ouvrage du démantèlement des réacteurs prototype à terre (PAT) et réacteur nouvelle génération (RNG) à Cadarache.

### 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.

## 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), Service de santé des armées (SSA) et gendarmerie nationale.

Il est à noter que, depuis le 1<sup>er</sup> 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.

### 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 moteurs 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 pour l'armée de l'air. Un seul centre de regroupement de déchets radioactifs interarmées est en projet sur ce même site de Châteaudun.

### Les ports de la Défense nationale

Les ports militaires de Brest/Île Longue, de Cherbourg et de Toulon 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.

### Les établissements DGA

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

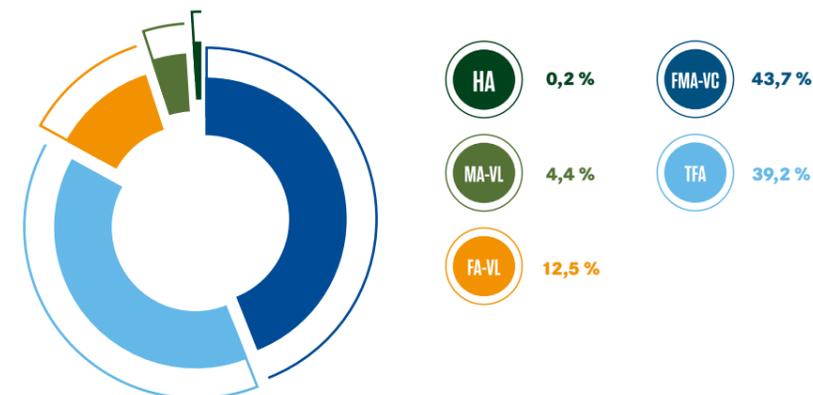
### Les déchets produits par les établissements de la Défense nationale

Un peu plus d'une cinquantaine de sites produisant et/ou détenant des déchets radioactifs a été répertoriée.

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

La plupart de ces objets sont considérés comme des objets radioluminescents.

## ► BILAN DES DÉCHETS RADIOACTIFS DE LA DÉFENSE NATIONALE



Les pourcentages ont été calculés sur la base des chiffres exacts puis arrondis.

Catégorie	Volume à fin 2021 (m <sup>3</sup> )
HA	232
MA-VL	5 060
FA-VL	19 100
FMA-VC	65 700
TFA	62 800
<b>Total</b>	<b>~ 153 100</b>

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

Matières radioactives	Masse à fin 2021 (tonnes)
<b>Combustibles usés de la Défense nationale</b>	<b>202</b>

## SECTEUR DE L'INDUSTRIE NON-ÉLECTRONUCLÉAIRE

### INDUSTRIES UTILISANT 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 radioactifs fabriqués entre 1932 et 1986 progressivement démontés et collectés par l'Andra, détecteurs de fumée, etc.) ou les propriétés de la radioactivité (contrôle de conformité de source, maintenance, etc.).

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 (voir chapitre 6 - dossier thématique 6).

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.

À noter que les déchets MA-VL affectés au secteur économique de l'industrie non-électronucléaire correspondent aux « blocs sources » contenant des sources scellées usagées.

Conformément à l'article R. 1333-161 du code de la santé publique, « une source radioactive scellée est considérée comme périmée 10 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. Le silence gardé par l'Autorité de sûreté nucléaire pendant plus de six mois sur une demande de prolongation vaut décision de rejet de la demande ».

Les sources sont entreposées dans des locaux adaptés. Certaines pourraient être stockées au CSA dans la mesure où elles sont compatibles avec la sûreté du centre.

### INDUSTRIES UTILISANT DES MATÉRIAUX NATURELLEMENT RADIOACTIFS POUR D'AUTRES PROPRIÉTÉS QUE LA RADIOACTIVITÉ

Ce secteur porte également sur les résidus de traitement de minerais et des sous-produits qui comportent une part significative de thorium et d'uranium. Les matières en suspension dans leur état actuel contiennent encore des matières radioactives.

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. C'est le cas par exemple de Solvay dans le domaine de l'extraction des terres rares.

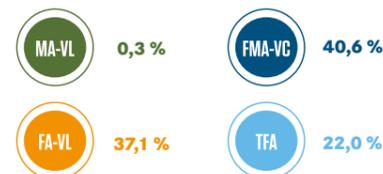
Les déchets produits peuvent présenter alors des niveaux de radioactivité suffisamment élevés pour imposer une gestion particulière. La réglementation prévoit pour ces cas une étude d'impact potentiel pour définir la filière adéquate, classique ou spécifique.

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 MATIÈRES RADIOACTIVES DU SECTEUR INDUSTRIE NON-ÉLECTRONUCLÉAIRE

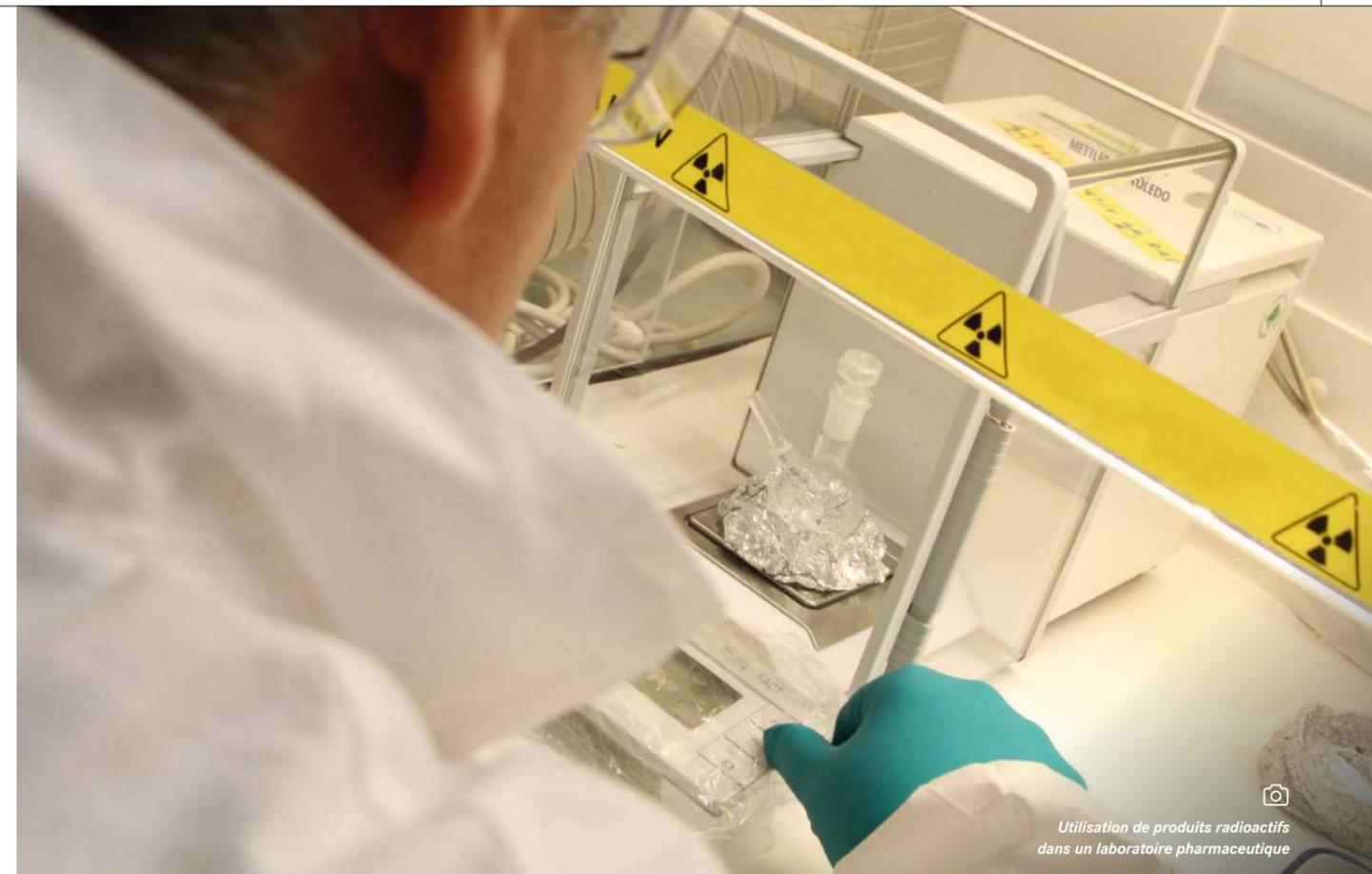
Matières radioactives	Masse à fin 2021 (tML)
Uranium naturel extrait de la mine, sous toutes ses formes physico-chimiques	98
Thorium, sous la forme de nitrates et d'hydroxydes	6 240
Matières en suspension (sous-produits du traitement des minerais de terres rares)	5

### BILAN DES DÉCHETS RADIOACTIFS DU SECTEUR DE L'INDUSTRIE NON-ÉLECTRONUCLÉAIRE



Catégorie	Volume à fin 2021 (m³)
HA	-
MA-VL	172
FA-VL	20 700
FMA-VC	22 300
TFA	14 900
Total	~58 100

Les pourcentages ont été calculés sur la base des chiffres exacts puis arrondis.



Utilisation de produits radioactifs dans un laboratoire pharmaceutique

## 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 de la 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 chapitre 6 - dossier thématique 6).

Les déchets liquides produits sont gérés de deux manières différentes qui dépendent de la durée de vie des radionucléides qu'ils contiennent (voir chapitre 6 - dossier thématique 5) :

- décroissance sur place pour les très courtes durées ;
- traitement à Centraco de Cyclife France puis stockage dans les centres de l'Andra pour les autres.

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 de l'Andra, après traitement et conditionnement.

### BILAN DES DÉCHETS RADIOACTIFS DU SECTEUR MÉDICAL À FIN 2021

À fin 2021, le volume de déchets produits par ces activités médicales, en dehors des sources scellées usagées, est de l'ordre de 8 600 m³.

Catégorie	Volume à fin 2021 (m³)
HA	-
MA-VL	3
FA-VL	98
FMA-VC	8 400
TFA	103
Total	~ 8 610

Aucune matière radioactive du secteur du médical n'est déclarée à fin 2021.

# 03

## Les inventaires prospectifs

<b>Préambule</b>	<b>56</b>
<b>Scénarios prospectifs : le périmètre de l'Inventaire national</b>	<b>58</b>
Synthèse des résultats des scénarios prospectifs	60
Résultats détaillés des scénarios prospectifs	64
S1 - Renouvellement du parc électronucléaire par des réacteurs EPR2 puis RNR, et multi-recyclage	65
S2 - Renouvellement du parc électronucléaire par des EPR2 uniquement, et poursuite du mono-recyclage	68
S3 - Renouvellement du parc électronucléaire par des EPR2 uniquement, et arrêt du recyclage	70
S4 - Non-renouvellement du parc électronucléaire	72
Volumes des déchets de démantèlement	74
<b>Perspectives</b>	<b>78</b>
Les déchets issus d'un nouveau parc de six EPR2	78
L'impact de l'allongement de la durée de l'exploitation du parc actuel	81

## PRÉAMBULE

Afin d'assurer une gestion sûre à long terme des matières et déchets radioactifs, les différents acteurs concernés (décideurs, Andra, exploitants d'INB, évaluateurs, société civile, etc.) doivent disposer d'une vision à moyen et long termes des volumes de matières et déchets radioactifs à venir selon différentes stratégies ou évolutions possibles de la politique énergétique française. Cette projection vise à apporter des éléments pour anticiper et prendre les mesures adaptées afin d'assurer une continuité en termes de disponibilités d'entreposage et de stockage, sans présager des choix industriels qui pourraient être faits.

Pour cela, l'Andra réalise des évaluations et des inventaires prospectifs, sur la base des déclarations des industriels de la filière électronucléaire, qu'ils soient producteurs de déchets ou détenteurs de matières. La vision prospective, objet du présent chapitre, présente les données issues de différents exercices.

Elle intègre en premier lieu l'évaluation des volumes de matières et de déchets radioactifs réalisée pour les installations actuellement autorisées, sur différentes échéances de temps selon des scénarios contrastés de politique énergétique issus de la Programmation pluriannuelle de l'énergie 2019-2028 (PPE2) en vigueur. Cette évaluation correspond à celle réalisée périodiquement dans le cadre fixé pour la réalisation de l'*Inventaire national des matières et déchets radioactifs*.

Afin de couvrir l'impact sur la gestion des matières et déchets radioactifs de l'ensemble des orientations de politique énergétique, elle est complétée par :

- les éléments issus de l'analyse d'impact des déchets radioactifs générés par le potentiel déploiement de six réacteurs électronucléaires supplémentaires de type EPR2, étudiée par l'Andra à la demande de la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) dans le cadre du projet du Nouveau nucléaire français (NNF) ;
- une analyse qualitative des enjeux liés à la poursuite d'exploitation des réacteurs jusqu'à 60 ans, réalisée par l'Andra spécifiquement pour cette édition de l'*Inventaire national*.

### LES ÉVALUATIONS PROSPECTIVES DE L'INVENTAIRE NATIONAL DES MATIÈRES ET DÉCHETS RADIOACTIFS

Réalisées tous les cinq ans, les éditions de l'*Inventaire national* présentent les inventaires prévisionnels détaillés de matières et déchets selon différents scénarios prospectifs. Cet exercice est encadré par plusieurs textes réglementaires et prend en compte le Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR). Il est réalisé pour les installations disposant de leur autorisation de création et considère des scénarios qui déclinent la PPE2. Les scénarios sont établis de manière concertée, dans le cadre du PNGMDR qui, en tant qu'outil de pilotage de la gestion des matières et déchets radioactifs, prend en compte les grandes orientations de la PPE en vigueur, afin de s'assurer que les orientations qu'il définit en matière de gestion des matières et déchets radioactifs sont compatibles avec la stratégie nationale en matière d'énergie.

Comme pour l'édition précédente de l'*Inventaire national*<sup>1</sup>, ces scénarios couvrent différentes évolutions contrastées de la politique énergétique : poursuite de la production électronucléaire selon différentes stratégies de retraitement du combustible ou arrêt de la production électronucléaire.

**i** Conformément au décret n° 2008-875 du 29 août 2008 et à l'arrêté du 9 octobre 2008 modifié, les inventaires prospectifs de matières et déchets radioactifs sont déclarés tous les cinq ans par les producteurs ou détenteurs de matières et déchets radioactifs.

En accord avec l'arrêté du 9 octobre 2008, les quantités prospectives de l'Édition 2023 sont évaluées pour les installations existantes ou ayant obtenu leur décret d'autorisation de création au 31 décembre 2021.

Contrairement aux stocks qui doivent être déclarés tous les ans, ces prévisions sont requises tous les cinq ans<sup>2</sup> uniquement pour les exploitants d'INB, d'installations intéressant la défense (INBS, SIENID) ou d'ICPE dites « nucléaires ».

Plus précisément, ces scénarios sont construits autour des grands principes suivants, qui déclinent la PPE2 :

- **poursuite de la stratégie de retraitement** jusqu'à l'horizon 2040 ;
- **prise en compte de différentes stratégies de traitement-recyclage des combustibles usés** : arrêt du retraitement, mono-recyclage et multi-recyclage en réacteurs à eau pressurisée (REP) puis en réacteurs à neutrons rapides (RNR) ;
- **renouvellement du parc** : les scénarios stipulant un renouvellement du parc prennent l'hypothèse d'une absence de nouveau réacteur de type EPR2 avant 2035 ;
- **fermeture des réacteurs existants** : fermeture de 12 réacteurs de 900 MWe du parc actuel entre 2027 et 2035 (sans compter les deux réacteurs de Fessenheim fermés en 2020) à leur cinquième visite décennale en vue d'atteindre 50 % de part du nucléaire en 2035.

Les scénarios ainsi définis, en intégrant d'une part la PPE2 et d'autre part les différentes orientations de politique énergétique que le PNGMDR demande de prendre en compte, évoluent par rapport aux scénarios définis dans l'Édition 2018.

Le scénario S1 de l'Édition 2023 est un scénario de renouvellement du parc électronucléaire par des EPR puis des RNR et prend comme hypothèse le multi-recyclage en REP puis RNR. Il constitue une mise à jour des scénarios SR1 et SR2 de l'Édition 2018 (qui ne différaient que par la durée d'exploitation des réacteurs)<sup>3</sup>.

Le scénario S2 de l'Édition 2023 est un scénario de renouvellement du parc électronucléaire par des EPR uniquement et prend comme hypothèse le mono-recyclage. Il constitue une mise à jour du scénario SR3 de l'Édition 2018<sup>4</sup>.

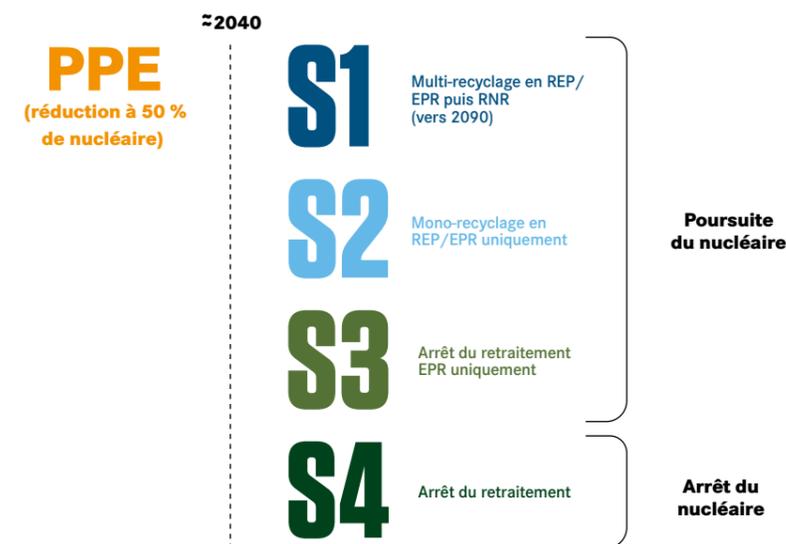
Le scénario S3 de l'Édition 2023 est un scénario de renouvellement du parc électronucléaire par des EPR uniquement et prend comme hypothèse l'arrêt du recyclage. Il constitue une variante du scénario SR3 de l'Édition 2018 en cela qu'il prévoit le mono-recyclage pendant une durée limitée avant un arrêt du retraitement<sup>5</sup>.

Le scénario S4 de l'Édition 2023 est un scénario de non-renouvellement du parc électronucléaire. Il constitue une mise à jour du scénario SNR de l'Édition<sup>6</sup> 2018.

### AUTRES ÉVOLUCTIONS PROSPECTIVES

En 2021, l'État a mené une analyse des conditions techniques et économiques d'une décision de construction de nouveaux réacteurs nucléaires de grande puissance de technologie EPR2. Cette analyse, qui s'inscrivait également dans le cadre de la PPE2, a été réalisée au travers du projet Nouveau nucléaire français (NNF) et a conduit la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) à demander à l'Andra d'analyser l'impact des déchets radioactifs générés par le potentiel déploiement de ces réacteurs pour les filières de gestion à long terme, opérationnelles ou en projet.

### SYNTHÈSE DES DIFFÉRENTS SCÉNARIOS DE L'INVENTAIRE NATIONAL



Cette étude visait à étudier la faisabilité de principe du stockage des déchets radioactifs générés par le projet NNF au regard des enjeux de sûreté à court et à très long terme, sur la base des données transmises par EDF, incluant des prévisions de production de déchets, et considérait l'ensemble des catégories de déchets liés à l'exploitation et au démantèlement de ces installations : TFA, FMA-VC, MA-VL et HA.

L'Édition 2023 de l'*Inventaire national* apporte également un éclairage complémentaire relatif à l'allongement de la durée de vie des réacteurs du parc actuel jusqu'à 60 ans. Il ne préjuge cependant pas de la position de l'ASN quant à la poursuite d'exploitation de ces installations.

En ce qui concerne les *small modular reactors* (SMR), la PPE2 demandait également d'engager la réalisation d'études d'avant-projet permettant notamment de mieux évaluer le potentiel de ces technologies. Ces technologies font actuellement l'objet de nombreux travaux, soutenus notamment par l'appel à projets en soutien aux réacteurs nucléaires innovants de France 2030.

L'Édition 2023 de l'*Inventaire national* n'intègre cependant pas d'élément relatif aux déchets qui seraient produits par des réacteurs de type SMR. En effet, les perspectives de déploiement de tels réacteurs ne sont, à ce jour, pas encore définies de manière suffisamment précise pour réaliser un exercice prospectif. Ce sujet reste suivi étroitement par l'Andra qui échange avec les porteurs de projets de type SMR et AMR (*advanced modular reactor*), de façon à les inciter à identifier la nature, la catégorie et la volumétrie des déchets radioactifs qui seraient produits, et ce, dès les phases initiales des projets. Ces échanges permettent de sensibiliser les porteurs de projets sur la nécessaire prise en compte de la gestion des matières et déchets radioactifs et sur les données qu'ils auront, le jour venu, à transmettre à l'Andra pour identifier les filières de gestion pour leurs déchets radioactifs. Comme dans le cas du projet NNF, des études dédiées pourront être réalisées pour certains réacteurs dans le cadre de la préparation de leur décision de création. Ces éléments seront intégrés dans les éditions suivantes de l'*Inventaire national* au vu de l'actualisation du développement de ces réacteurs.

<sup>1</sup> Édition 2018 : <https://inventaire.andra.fr/sites/default/files/documents/pdf/fr/andra-synthese-2018-web.pdf>

<sup>2</sup> En vertu de l'article L542-12 du code de l'environnement, modifié par loi n° 2020-1225 du 7 décembre 2020.

<sup>3</sup> S1 est désigné comme scénario « SR1 » dans le PNGMDR.

<sup>4</sup> S2 est désigné comme scénario « SR3 » dans le PNGMDR.

<sup>5</sup> S3 est désigné comme scénario « SR3 arrêt du retraitement » dans le PNGMDR.

<sup>6</sup> S4 est désigné comme scénario « SNR » dans le PNGMDR.

## SCÉNARIOS PROSPECTIFS : LE PÉRIMÈTRE DE L'INVENTAIRE NATIONAL

Les évaluations prospectives sont élaborées de manière concertée dans le cadre du PNGMDR 2022-2026 (art. D. 542-79 du décret n° 2022-1547 du 9 décembre 2022). Elles déclinent les orientations de la Programmation pluriannuelle de l'énergie 2019-2028 (PPE2), en vigueur au moment de la préparation de l'*Inventaire national*.

Les quantités de matières et déchets radioactifs évaluées dans l'Édition 2023 sont estimées selon quatre scénarios contrastés : trois scénarios de renouvellement du parc électronucléaire actuel et un scénario de non-renouvellement, avec selon les cas, la poursuite ou non du retraitement des combustibles usés.

Les quatre scénarios s'appuient sur les hypothèses communes suivantes :

- les réacteurs électronucléaires du parc actuel sont au nombre de 57 : les 56 réacteurs de type REP en fonctionnement et le réacteur EPR en cours de construction sur le site de Flamanville dont la mise en service est prévue mi-2024 ;
- une durée de fonctionnement des réacteurs égale à 60 ans, hormis pour 12 d'entre eux qui sont considérés comme arrêtés entre 2027 et 2035, conformément à la PPE2. Ces hypothèses ne préjugent pas des décisions qui seraient prises par l'Autorité de sûreté nucléaire à l'issue des processus de réexamen de sûreté décennaux de chacun des réacteurs ;

- une reprise de la valorisation de l'uranium de retraitement (URT) par EDF (voir chapitre 3 – Focus retraitement des combustibles usés), c'est-à-dire la fabrication et l'utilisation de combustibles composés d'uranium enrichi (URE) issus du retraitement des combustibles usés. Cette reprise de la filière URT est effective depuis 2023 pour les quatre réacteurs 900 MWe du CNPE de Cruas, puis à partir de 2027 sur une partie des réacteurs 1300 MWe ;
- un recyclage du plutonium extrait lors du retraitement des combustibles usés sous forme de combustibles mixtes uranium-plutonium (MOX), qui seraient utilisés dans 24 réacteurs 900 MWe (ceux disposant déjà d'une autorisation, plus deux potentiels réacteurs supplémentaires), puis dans certains réacteurs 1300 MWe.

Les quatre scénarios prévoient un chemin commun jusqu'à l'horizon 2040. La PPE2 fixe en effet une date de référence à l'horizon 2040 pour le maintien de la stratégie de retraitement. Ils divergent ensuite selon différentes hypothèses, dont les principales sont :

- le renouvellement<sup>7</sup> ou non-renouvellement du parc électronucléaire actuel ;
- le choix en matière de retraitement du combustible : poursuite (mono-recyclage) ou arrêt du recyclage des combustibles à l'uranium naturel enrichi (UNE) usés, mise en œuvre du recyclage des combustibles URE ou MOX (multi-recyclage) ;
- le type, le rythme de déploiement et la nature des combustibles utilisés (combustibles UNE, URE ou MOX) dans un éventuel parc de réacteurs futurs (EPR2 et/ou RNR).

L'ensemble des hypothèses envisagées couvre les principaux paramètres qui impactent la production des déchets de fonctionnement et de démantèlement des installations existantes, ou la requalification de certaines matières, sans préjuger des stratégies industrielles ou commerciales futures.

Seuls les réacteurs et les installations existantes ou disposant de leur autorisation de création au 31 décembre 2021 sont considérés pour évaluer les quantités prospectives de matières et déchets radioactifs. Concernant les trois scénarios envisageant le renouvellement du parc nucléaire, les estimations prospectives ne prennent pas en compte les déchets et matières qui seraient générés par l'éventuel parc de réacteurs qui prendraient leurs relais mentionnés dans les hypothèses.

### FOCUS

### RETRAITEMENT DES COMBUSTIBLES USÉS

Le retraitement des combustibles usés permet d'extraire environ 96 % de matières valorisables (plutonium et uranium) et environ 4 % de déchets radioactifs. Le plutonium extrait sert à la fabrication du combustible MOX (combustible à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium) tandis que l'URT (uranium de retraitement) est employé pour la fabrication du combustible URE (uranium de retraitement enrichi). L'utilisation de l'URT doit reprendre en 2023 après avoir été arrêtée en 2013.

Le mono-recyclage consiste à recycler une fois le plutonium et l'uranium issus du traitement des seuls combustibles UNE dans les combustibles MOX et URE. Ces combustibles, une fois irradiés et déchargés des réacteurs REP, contiennent également des matières comme du plutonium.

Le multi-recyclage implique le retraitement de ces combustibles MOX et URE irradiés pour en extraire les matières valorisables puis fabriquer à nouveau du combustible neuf, et ce, plusieurs fois.

En cohérence avec l'objectif de réduction de la quantité et de la nocivité des déchets radioactifs défini à l'article L.542-1-2 du code de l'environnement, la politique énergétique française prévoit que tous les combustibles soient retraités après leur utilisation. En ce sens, la stratégie française inscrite dans la PPE2, est celle du multi-recyclage.

Le retraitement aujourd'hui opéré à l'usine Orano de La Hague concerne les combustibles usés à base d'uranium naturel (UNE). Ainsi, le mono-recyclage constitue la partie de stratégie de retraitement actuellement déjà mise en œuvre en France.

<sup>7</sup> Le renouvellement progressif des réacteurs du parc électronucléaire actuel par des réacteurs EPR2, qui constitueraient à terme la totalité d'un futur parc, correspond à l'un des scénarios étudiés par RTE (scénario S2). <https://www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/bilan-previsionnel-2050-futurs-energetiques>

## SYNTHÈSE DES RÉSULTATS DES SCÉNARIOS PROSPECTIFS

Le tableau ci-après récapitule les évaluations de volumes de matières et déchets radioactifs à terminaison selon les quatre scénarios étudiés.

Les matières sont associées à la catégorie de déchets avec laquelle elles présentent des typologies et des caractéristiques physico-chimiques comparables. Ceci ne présage pas, notamment pour l'uranium, de la solution de gestion qui serait retenue. Le PNGMDR 2022-2026 « vise à donner plus de visibilité sur les perspectives de valorisation des matières et à préciser le cadre d'analyse de l'État pour l'exercice de sa faculté de requalification des matières en déchets ». À ce titre, il prévoit des travaux relatifs à la valorisation des matières et précise que « les travaux se poursuivront autour des différentes matières liés à leur gestion en cas de requalification en déchets ». À ce titre, « des scénarios de stockage de l'uranium appauvri, de l'URT et des matières thorifères » sont étudiés par l'Andra.



Les quantités de déchets sont exprimées en « volume équivalent conditionné » (voir encadré « l'unité de volume utilisée » page 29). Les quantités de matières sont exprimées en « tonne de métal lourd ». Conformément à l'article 4 de l'arrêté PNGMDR du 9 décembre 2022, l'Andra a initié « des réflexions visant à renforcer la lecture comparative des stocks de matières et de déchets radioactifs ». La première étape de la démarche s'est attachée à indiquer une équivalence des quantités de matières

en « volume équivalent conditionné ». Pour ce faire, les hypothèses de conditionnement retenues sont, d'une part, celles associées à l'entreposage des matières (par exemple l'uranium appauvri), et d'autre part, celles retenues dans les études d'adaptabilité de l'installation Cigéo au stockage des combustibles usés présentées dans le dossier support à la demande d'autorisation de création (DAC) déposée le 16 janvier 2023 et dont l'instruction par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) est en cours.



Centrale nucléaire de Chozy

### SYNTHÈSE DES SCÉNARIOS

		S1	S2	S3	S4
<b>Durée totale de fonctionnement des réacteurs</b>		60 ans hors fermeture de 12 réacteurs entre 2027 et 2035 (voir PPE 2019-2018)			
<b>Production électronucléaire</b>		Poursuite	Poursuite	Poursuite	Non-renouvellement
<b>Type de réacteurs déployés dans le futur parc</b>		EPR2 puis RNR	EPR2	EPR2	-
<b>Retraitement des combustibles usés</b>		Multi-recyclage	Mono-recyclage	Arrêt du retraitement	Arrêt du retraitement
		Tous : UNE à terminaison, URE, MOX, EL4, RNR Phénix et Superphénix, Recherche	UNE à terminaison, EL4	UNE à horizon 2040	UNE à horizon 2040
<b>Requalification des matières en déchets</b>		Aucune	Combustibles usés : URE, MOX, RNR Phénix et Superphénix, Recherche hors EL4  Uranium appauvri, plutonium de la recherche	Combustibles usés : UNE (après 2040), URE, MOX, RNR Phénix et Superphénix, Recherche dont EL4  Uranium appauvri, plutonium de la recherche	Combustibles usés : UNE (après 2040), URE, MOX, RNR Phénix et Superphénix, Recherche dont EL4  Uranium appauvri, plutonium de la recherche
<b>HA</b>	Combustibles UNE usés	-	-	14 500 tML ~ 7 000 m <sup>3</sup>	14 500 tML ~ 7 000 m <sup>3</sup>
	Combustibles URE usés	-	6 110 tML ~ 3 000 m <sup>3</sup>	6 110 tML ~ 3 000 m <sup>3</sup>	6 110 tML ~ 3 000 m <sup>3</sup>
	Combustibles MOX usés	-	5 030 tML ~ 3 000 m <sup>3</sup>	5 030 tML ~ 3 000 m <sup>3</sup>	5 030 tML ~ 3 000 m <sup>3</sup>
	Rébuts MOX	-	386 tML ~ 200 m <sup>3</sup>	386 tML ~ 200 m <sup>3</sup>	386 tML ~ 200 m <sup>3</sup>
	Combustibles RNR usés	-	149 tML ~ 100 m <sup>3</sup>	149 tML ~ 100 m <sup>3</sup>	149 tML ~ 100 m <sup>3</sup>
	Combustibles usés de la recherche	-	6,4 tML ~ 10 m <sup>3</sup>	56 tML ~ 100 m <sup>3</sup>	56 tML ~ 100 m <sup>3</sup>
	Plutonium séparé non irradié	-	2 tML ~ 20 m <sup>3</sup>	2 tML ~ 20 m <sup>3</sup>	2 tML ~ 20 m <sup>3</sup>
	Autres matières	-	70 tML ~ 90 m <sup>3</sup>	70 tML ~ 90 m <sup>3</sup>	70 tML ~ 90 m <sup>3</sup>
	Déchets à terminaison hors matières requalifiées en déchets	11 800 m <sup>3</sup>	8 960 m <sup>3</sup>	6 890 m <sup>3</sup>	6 890 m <sup>3</sup>
	Total à terminaison	11 800 m <sup>3</sup>	~ 15 000 m <sup>3</sup>	~ 20 100 m <sup>3</sup>	~ 20 100 m <sup>3</sup>
<b>MA-VL</b>	Déchets à terminaison	68 800 m <sup>3</sup>	67 100 m <sup>3</sup>	63 200 m <sup>3</sup>	63 200 m <sup>3</sup>
<b>FA-VL</b>	Uranium appauvri	-	899 000 tML* ~ 300 000 m <sup>3</sup>	899 000 tML* ~ 300 000 m <sup>3</sup>	899 000 tML* ~ 300 000 m <sup>3</sup>
	Déchets à terminaison	218 000 m <sup>3</sup>	218 000 m <sup>3</sup>	218 000 m <sup>3</sup>	218 000 m <sup>3</sup>
<b>FMA-VC</b>	Déchets à terminaison	1 870 000 m <sup>3</sup>	1 870 000 m <sup>3</sup>	1 850 000 m <sup>3</sup>	1 850 000 m <sup>3</sup>
<b>TFA</b>	Déchets à terminaison	2 430 000 m <sup>3</sup>	2 410 000 m <sup>3</sup>	2 400 000 m <sup>3</sup>	2 400 000 m <sup>3</sup>

Tonne de métal lourd : valeur arrondie à trois chiffres significatifs.

Volume de matières requalifiées en déchets : volume arrondi à un chiffre significatif.

Volume équivalent conditionné : valeur arrondie à trois chiffres significatifs pour les déchets radioactifs.

\* Pour l'uranium appauvri d'Orano, les quantités indiquées et le statut de « requalification en déchet » ne tiennent pas compte des pistes de valorisation déjà mises en œuvre et envisagées dans des filières électronucléaires en France ou à l'étranger et dans des pistes innovantes hors nucléaire, conformément au plan de valorisation de l'uranium appauvri élaboré dans le cadre du PNGMDR 2022-2026.

Le terme « à terminaison » signifie à la fin du démantèlement des installations nucléaires autorisées à fin 2021.

Les enseignements tirés de la comparaison des différents scénarios pour chaque catégorie de déchets et de matières sont expliqués ci-après.

## LES MATIÈRES REQUALIFIÉES EN DÉCHETS

Parmi les différentes hypothèses considérées dans les scénarios, seule la stratégie de retraitement des combustibles usés impacte les quantités de matières requalifiées en déchets. La stratégie de multi-recyclage permet de valoriser l'ensemble des matières radioactives contenues dans les combustibles usés du parc actuel (UNE, URE, MOX) tandis que la stratégie de mono-recyclage ne permet de valoriser que les matières contenues dans les combustibles usés de type UNE. Ainsi, considérer l'hypothèse d'un arrêt du retraitement implique de prendre la requalification en déchets de tous les combustibles usés ainsi que de l'uranium appauvri.

## LES DÉCHETS DE HAUTE ACTIVITÉ ET DE MOYENNE ACTIVITÉ À VIE LONGUE (HA ET MA-VL)

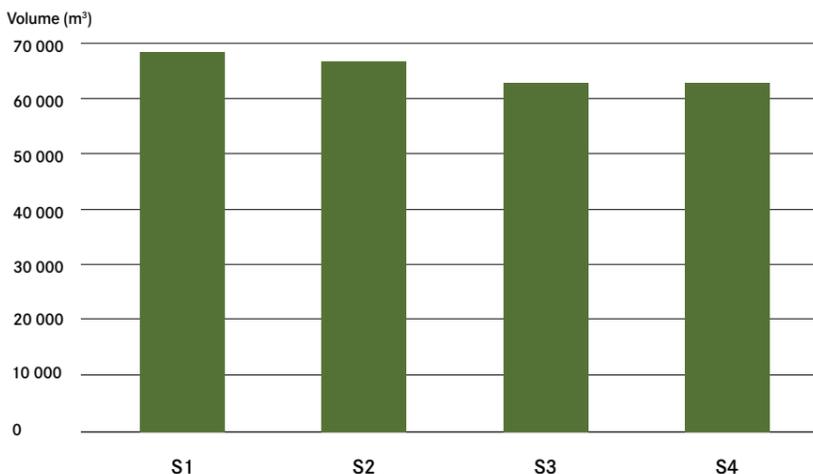
La durée de fonctionnement des réacteurs du parc électronucléaire actuel et la poursuite du retraitement des combustibles usés ont un impact direct sur la quantité de déchets vitrifiés (HA) et des déchets de structures métalliques entourant les combustibles (MA-VL) : plus le parc fonctionne longtemps, plus il y a de combustibles à retraiter, et plus le volume de ces déchets à terminaison est élevé.

La nature et la quantité de déchets HA et MA-VL à terminaison du parc actuel sont également impactées par la stratégie de gestion des combustibles usés du parc actuel, et en particulier les stratégies de mono-recyclage ou de multi-recyclage. À noter que les combustibles usés, du fait de leurs caractéristiques, relèveraient de la catégorie HA s'ils étaient requalifiés en déchets.

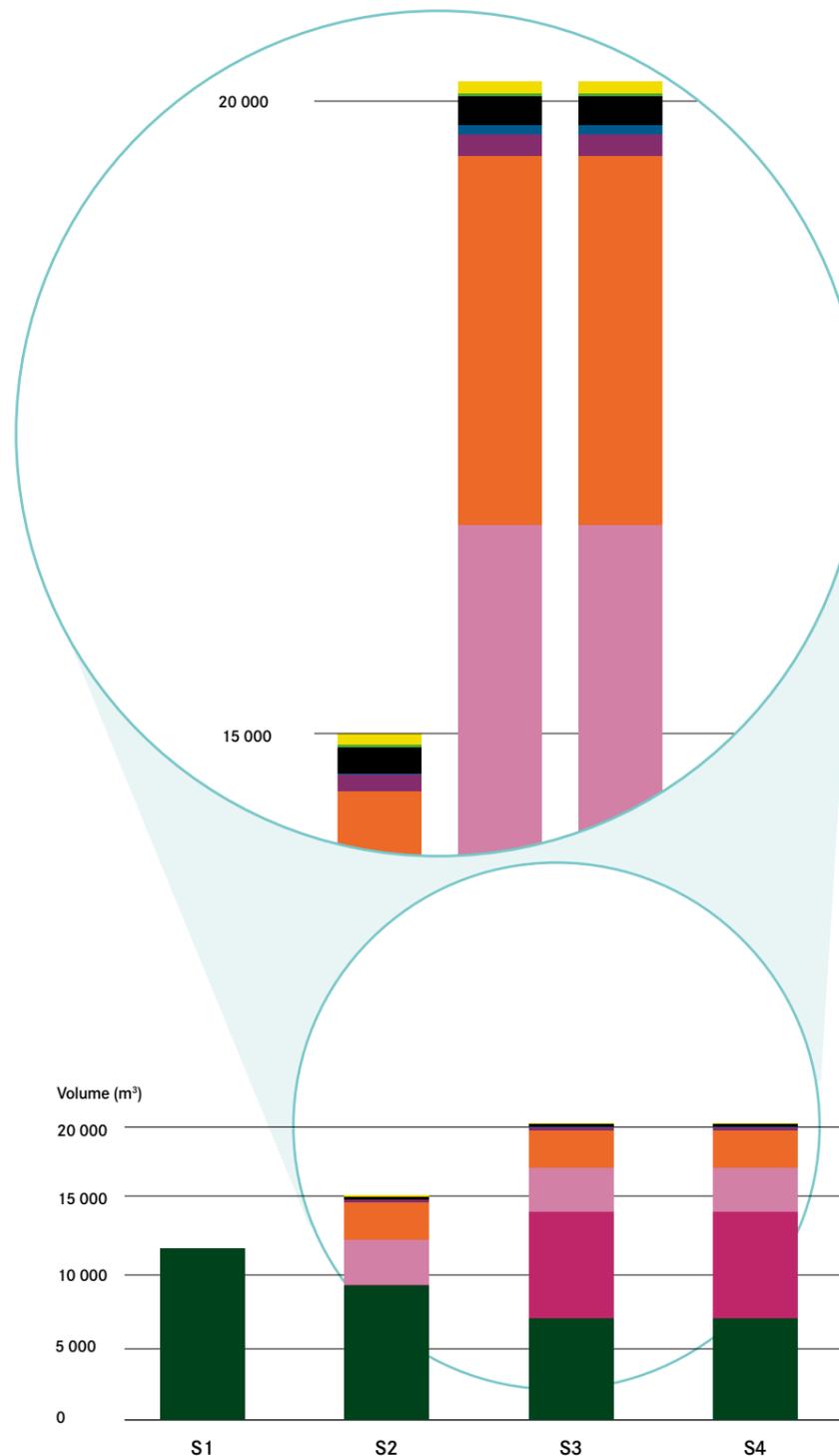
Ainsi :

- **scénario S1** : dans l'hypothèse d'un renouvellement du parc par des EPR2 puis des RNR, le retraitement des combustibles usés issus de l'exploitation des réacteurs conduit à terminaison à des déchets vitrifiés (HA) et des déchets de structures métalliques entourant les combustibles (MA-VL). Les hypothèses de retraitement de la totalité des combustibles usés et du déploiement de réacteurs EPR2 puis RNR supposent que toutes les matières précédemment citées sont valorisées : aucune n'est requalifiée en déchet ;
- **scénario S2** : dans l'hypothèse d'un renouvellement du parc avec des EPR2 et d'une stratégie de mono-recyclage, seul le retraitement des combustibles UNE produit des déchets vitrifiés (HA) et des déchets de structures métalliques entourant les combustibles (MA-VL). Les combustibles URE, MOX, RNR de Phénix et Superphénix et de la recherche ne sont pas retraités, aucun déchet vitrifié issu de leur retraitement n'est donc produit. Le volume de déchets HA et MA-VL à terminaison est donc inférieur au volume de déchets du scénario S1. Cependant, du fait de la requalification des combustibles usés non retraités, le volume global de déchets et de matières qui relèverait de la filière de gestion HA est supérieur à celui du scénario S1 ;
- **scénarios S3 et S4** : l'hypothèse de l'arrêt à l'horizon 2040 du retraitement des combustibles usés UNE entraîne un arrêt anticipé de la production des déchets vitrifiés (HA) et des déchets de structures métalliques entourant les combustibles (MA-VL) et donc une quantité plus faible de déchets HA et de déchets MA-VL. Les combustibles usés UNE restants, URE et MOX, RNR de Phénix et Superphénix et de la recherche seraient requalifiés en déchets. Par conséquent, le volume global de déchets et matières qui relèverait de la filière de gestion HA est supérieur à celui des scénarios S1 et S2.

### INVENTAIRE DES DÉCHETS DES CATÉGORIES MA-VL À TERMINAISON



### INVENTAIRE DES DÉCHETS DES CATÉGORIES HA À TERMINAISON



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

La production de déchets FA-VL est en grande partie liée au démantèlement d'installations existantes et déjà arrêtées. Il s'agit principalement des démantèlements des caissons réacteurs Uranium naturel, graphite – gaz (UNGG) programmés au-delà de 2040. En conséquence, le volume à terminaison des déchets FA-VL est indépendant des scénarios prospectifs de l'*Inventaire national*.

Les résidus de traitement de conversion de l'uranium (RTCU) produits après 2019 par l'usine Orano de Malvézi et les déchets radifères produits par l'installation de production d'éponges de zirconium de Framatome à Jarrie contribuent également au volume de déchets FA-VL.

Compte tenu de ses perspectives de réutilisation, le stock d'uranium issu du retraitement des combustibles usés est considéré comme matière. Du fait de sa typologie, ce stock pourrait relever de la catégorie FA-VL s'il était requalifié en déchet.

## LES DÉCHETS DE FAIBLE ET MOYENNE ACTIVITÉ À VIE COURTE ET DE TRÈS FAIBLE ACTIVITÉ (FMA-VC ET TFA)

Le volume de déchets FMA-VC et TFA<sup>8</sup> produits est lié, dans ces scénarios, à la durée de fonctionnement des réacteurs (une augmentation de la durée entraîne de fait une augmentation du volume de déchets produits) et à leur démantèlement. L'hypothèse de durée de fonctionnement et les stratégies de démantèlement étant identiques pour tous les scénarios, la quantité de déchets FMA-VC et TFA à terminaison est globalement identique. La variabilité des quantités de combustibles traités ou l'arrêt de leur retraitement influe peu sur leur inventaire à terminaison.

<sup>8</sup> Les prévisions de productions transmises dans le cadre des scénarios de l'*Inventaire national* ne prennent pas en compte la possible valorisation de déchets radioactifs appartenant à la catégorie TFA étudiée dans le cadre du PNGMDR 2022-2026.

## RÉSULTATS DÉTAILLÉS DES SCÉNARIOS PROSPECTIFS

Les quatre scénarios prévoient un chemin commun jusqu'à l'horizon 2040 ainsi que l'équilibre des flux de matières via l'utilisation du combustible MOX et la reprise de la valorisation de l'uranium de retraitement (URT).

En conséquence, les estimations des quantités de déchets radioactifs aux dates intermédiaires 2030 et 2040 réalisées pour le scénario S1 sont extrapolables dans le cadre des scénarios S2, S3 et S4.

Ainsi, les tableaux présentant l'estimation des quantités de déchets radioactifs de ces trois scénarios reprennent les bilans à fin 2030 et fin 2040 du scénario S1.

<b>Scénario S1</b> Renouvellement du parc électronucléaire par des réacteurs EPR2 puis RNR, et multi-recyclage	<b>65</b>
<b>Scénario S2</b> Renouvellement du parc électronucléaire par des EPR2 uniquement, et poursuite du mono-recyclage	<b>68</b>
<b>Scénario S3</b> Renouvellement du parc électronucléaire par des EPR2 uniquement, et arrêt du recyclage	<b>70</b>
<b>Scénario S4</b> Non-renouvellement du parc électronucléaire	<b>72</b>

## SCÉNARIO S1

### RENOUVELLEMENT DU PARC ÉLECTRONUCLÉAIRE PAR DES RÉACTEURS EPR2 PUIS RNR, ET MULTI-RECYCLAGE

En complément des données communes à l'ensemble des scénarios présentées en introduction, le scénario S1 retient comme hypothèses structurantes :

- la poursuite de la production électronucléaire, avec le renouvellement progressif des réacteurs du parc électronucléaire actuel par des réacteurs EPR2 à partir de 2035, puis progressivement, à horizon 2090, par des RNR qui pourraient constituer à terme la totalité d'un futur parc ;
- la poursuite du retraitement des combustibles usés : le retraitement de la totalité des combustibles usés du parc électronucléaire actuel et des combustibles usés provenant des RNR de Phénix et Superphénix, du réacteur EL4 de Brennilis et de la recherche.

Ceci suppose par convention :

- la disponibilité d'usines de retraitement du combustible usés (UNE, URE et MOX) permettant d'assurer ces opérations, ainsi que celles de fabrication de combustibles neufs (URE et MOX) à partir des matières valorisables issues du retraitement ;
- la valorisation de l'uranium et du plutonium issus du retraitement des combustibles usés UNE dans des combustibles à destination des réacteurs du parc actuel, puis dans les réacteurs EPR2 du futur parc. Le plutonium séparé issu du retraitement des combustibles usés est recyclé sous forme de combustibles MOX et l'uranium de retraitement (URT) est utilisé pour la fabrication de combustibles URE ;

### ESTIMATION DES QUANTITÉS DE DÉCHETS RADIOACTIFS AUX DATES INTERMÉDIAIRES 2030 ET 2040 ET À TERMINAISON POUR LE SCÉNARIO S1

Déchets radioactifs	À fin 2021	À fin 2030	À fin 2040	À terminaison
HA	4 320	5 630	6 620	11 800
MA-VL	39 500	43 500	48 300	68 800
FA-VL	103 000	114 000	125 000	218 000
FMA-VC	981 000	1 100 000	1 260 000	1 870 000
TFA	633 000	926 000	1 380 000	2 430 000
<b>Total</b>	<b>~ 1 760 000</b>	<b>~ 2 190 000</b>	<b>~ 2 820 000</b>	<b>~ 4 590 000</b>

- à partir de l'horizon 2050, le multi-recyclage des combustibles usés est mis en œuvre impliquant la valorisation des matières issues du retraitement des combustibles usés MOX et URE permettent la fabrication de combustibles pour les réacteurs des parcs futurs (EPR2 puis RNR) ;
- l'utilisation d'une part de l'uranium appauvri (Uapp) pour la fabrication des combustibles MOX.

L'exploitation (fonctionnement et démantèlement) des installations existantes ou ayant obtenu leur décret d'autorisation de création au 31 décembre 2021 conduit à une augmentation du volume de déchets jusqu'à terminaison. Cette augmentation s'explique différemment selon les catégories de déchets radioactifs :

- après 2040, le démantèlement des réacteurs du parc électronucléaire actuel, des usines du cycle et ateliers supports et des installations de recherche conduit à une augmentation significative de la production des déchets des catégories FMA-VC et particulièrement ceux de la catégorie TFA ;
- l'augmentation du volume de déchets FA-VL est liée au démantèlement des caissons réacteurs UNGG qui débutera au-delà de 2040 ;

- l'augmentation de la quantité de déchets HA et MA-VL est modulée par la mise à l'arrêt progressive des réacteurs du parc actuel. En effet, la réduction du nombre de tranches en fonctionnement entre 2027 et 2035, entraînant une baisse de la quantité de combustibles UNE utilisée et de la quantité de combustibles du parc actuel retraitée, induit une baisse du rythme de production de ces déchets radioactifs après 2035.

Les hypothèses de retraitement de la totalité des combustibles usés et du déploiement de réacteurs EPR2 puis RNR supposent que toutes les matières sont valorisées. Les matières issues du retraitement des combustibles usés produits par le parc électronucléaire actuel sont valorisées dans un futur parc de réacteurs EPR2 puis RNR. Aucune matière n'est requalifiée en déchet.



► ESTIMATION DES QUANTITÉS DE MATIÈRES RADIOACTIVE EN tML\*  
AUX DATES INTERMÉDIAIRES 2030 ET 2040 POUR LE SCÉNARIO S1

N°	Matières radioactives	À fin 2021	À fin 2030	À fin 2040
1	Combustibles UNE avant utilisation	733	341	286
2	Combustibles UNE en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires	3 970	3 410	2 860
3	Combustibles UNE usés, en attente de retraitement	11 200	11 200	8 900
4	Combustibles URE avant utilisation	-	80	122
5	Combustibles URE en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires	-	805	1 220
6	Combustibles URE usés, en attente de retraitement	630	815	2 740
7	Combustibles MOX avant utilisation ou en cours de fabrication	11	44	50
8	Combustibles MOX en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires	215	441	503
9	Combustibles MOX usés, en attente de retraitement	2 390	2 980	4 010
10	Rebuts de combustibles MOX non irradiés en attente de retraitement	337	328	377
11	Rebuts de combustibles uranium non irradiés en attente de retraitement	-	-	-
12	Combustibles usés RNR, en attente de retraitement	125	130	130
13	Combustibles des réacteurs de recherche avant utilisation	0,04	0,03	0
14	Combustibles en cours d'utilisation dans les réacteurs de recherche	1	0	0,1
15	Autres combustibles usés civils	61	59	59
16	Combustibles usés de la Défense nationale	202 t	260 t	335 t
17	Plutonium séparé non irradié sous toutes ses formes physico-chimiques	65	59	43
18	Uranium naturel extrait de la mine, sous toutes ses formes physico-chimiques	37 800	37 800	37 800
19	Uranium naturel enrichi, sous toutes ses formes physico-chimiques	3 290	3 410	3 390
20	Uranium enrichi issu du retraitement des combustibles usés, sous toutes ses formes physico-chimiques	-	-	-
21	Uranium issu du retraitement des combustibles usés, sous toutes ses formes physico-chimiques	34 200	29 900	17 700
22	Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques	324 000	471 000	569 000
23	Thorium, sous la forme de nitrates et d'hydroxydes	8 510	8 020	7 540
24	Matières en suspension (sous-produits du traitement des minerais de terres rares)	5	0	0
25	Autres matières	70	70	70

\* Hors combustibles usés de la Défense nationale exprimés en tonnes d'assemblages

L'évolution des quantités de combustibles UNE, URE et MOX avant utilisation et en cours d'utilisation (catégories 1, 2, 4, 5, 7 et 8) dans le parc actuel entre 2021 et 2040 s'explique par la reprise progressive du recyclage de l'URT et le maintien du nombre de réacteurs moxés. Par conséquent, la quantité de combustibles UNE (catégories 1, 2) diminue au profit du nombre de combustibles URE (catégories 4, 5) et MOX (catégories 7, 8).

La poursuite du retraitement des combustibles usés (maintien de la stratégie actuelle) entraîne une stabilisation sur la période 2021-2040 de la quantité de combustibles UNE usés (catégorie 3) en attente de retraitement. Les combustibles URE et MOX usés (catégories 6 et 9) seront quant à eux entreposés dans l'attente d'une valorisation dans le futur parc EPR2 puis RNR, ce qui se traduit par une augmentation de leur quantité entre 2021 et 2040.

La reprise progressive de l'utilisation des combustibles URE dans les réacteurs EDF a un impact direct sur la quantité d'uranium issue de retraitement des combustibles usés, qui, une fois enrichi, est utilisé dans la fabrication des combustibles URE.

Ainsi, le stock d'uranium issu du retraitement des combustibles usés (catégorie 21, URT) diminue. Le stock d'uranium enrichi issu du retraitement (catégorie 20) est considéré comme nul, car supposé transformé immédiatement en assemblage combustible (catégorie 4).

Les rebuts de combustibles mixtes uranium-plutonium non irradiés en attente de retraitement (catégorie 10) ont vocation à être traités puis recyclés dans le parc actuel ou futur. Les variations observées résultent d'un équilibre entre la production de rebuts, lors de la fabrication de combustibles MOX neufs, et leur traitement.

La poursuite de la production nucléaire se traduit notamment par la poursuite de l'enrichissement d'uranium. La quantité d'uranium appauvri en entreposage (catégorie 22) continue d'augmenter entre 2021 et 2040. L'uranium appauvri pourrait cependant être réenrichi en fonction des conditions économiques du marché ou valorisé partiellement pour les combustibles MOX ou dans des réacteurs de quatrième génération à neutrons rapides ou être valorisé dans des filières autres qu'électronucléaires (voir chapitre 1 – Focus valorisation de l'uranium appauvri).

Les quantités d'uranium naturel enrichi (catégorie 19) et d'uranium naturel extrait de la mine (catégorie 18), sous toutes ses formes physico-chimiques, sont une projection basée sur des hypothèses à date en cohérence avec le nombre et la durée de fonctionnement des réacteurs du parc électronucléaire.

La baisse de la quantité de plutonium (catégorie 17) entre 2021 et 2030 est due à la fabrication et au renvoi de combustibles MOX vers l'étranger. Durant la même période, la part française de plutonium est globalement en hausse, du fait des difficultés de production de MOX rencontrées à l'usine Melox. La restauration de la capacité nominale de production de l'usine Melox prévue d'ici 2025 entraîne la diminution de la quantité de plutonium entre 2031 et 2040.

Les quantités de combustibles usés de la recherche et de la Défense nationale (catégories 12, 15, 16 et 25) traduisent le caractère marginal de leur retraitement d'ici 2040.

La vente de matières thorifères à l'étranger par Solvay explique la diminution progressive du stock de thorium (catégorie 23). Quant aux matières en suspension (contenant des oxydes de terres rares et des traces de thorium et d'uranium) (catégorie 24), elles présentent un stock nul dès 2030, leur valorisation étant prévue jusqu'en 2025.

# SCÉNARIO S2

## RENOUVELLEMENT DU PARC ÉLECTRONUCLÉAIRE PAR DES EPR2 UNIQUEMENT, ET POURSUITE DU MONO-RECYCLAGE

En complément des données communes à l'ensemble des scénarios présentées en introduction, le scénario S2 retient comme hypothèses structurantes :

- la poursuite de la production électronucléaire, avec le renouvellement progressif des réacteurs du parc électronucléaire actuel par des réacteurs EPR2, qui constitueraient à terme la totalité d'un futur parc ;
- le retraitement des combustibles usés UNE uniquement (principe de mono-recyclage) et des combustibles du réacteur EL4 de Brennilis.

Ceci suppose par convention :

- la disponibilité d'usines de retraitement du combustible usé UNE permettant d'assurer ces opérations et de fabrication de combustible neuf URE et MOX à partir des matières valorisables issues du traitement ;
- la valorisation de l'uranium et du plutonium issus du retraitement des combustibles usés UNE dans les réacteurs du parc actuel puis dans les réacteurs qui constitueront le futur parc. Le plutonium séparé issu du retraitement des combustibles usés est recyclé sous forme de combustibles MOX et l'uranium de retraitement (URT) issu du retraitement des combustibles est recyclé sous forme de combustibles URE ;

- les combustibles usés MOX et URE ne sont pas retraités ;
- les combustibles RNR de Superphénix et Phénix ainsi que les combustibles usés de la recherche ne sont pas retraités ;
- les matières du CEA contenant du plutonium ainsi que l'uranium appauvri sont requalifiées en déchets ;
- l'uranium appauvri d'Orano est considéré requalifié en déchet. Les quantités indiquées ne tiennent pas compte des pistes de valorisation déjà mises en œuvre et envisagées dans des filières électronucléaires en France ou à l'étranger et dans des pistes innovantes hors nucléaire, conformément au plan de valorisation de l'Uranium appauvri élaboré dans le cadre du PNGMDR 2022-2026.

### ESTIMATION DES QUANTITÉS DE DÉCHETS RADIOACTIFS AUX DATES INTERMÉDIAIRES 2030 ET 2040 ET À TERMINAISON POUR LE SCÉNARIO S2

Déchets radioactifs	À fin 2021	À fin 2030	À fin 2040	À terminaison
HA	4 320	5 630	6 620	8 960
MA-VL	39 500	43 500	48 300	67 100
FA-VL	103 000	114 000	125 000	218 000
FMA-VC	981 000	1 100 000	1 260 000	1 870 000
TFA	633 000	926 000	1 380 000	2 410 000
<b>Total</b>	<b>~ 1 760 000</b>	<b>~ 2 190 000</b>	<b>~ 2 820 000</b>	<b>~ 4 580 000</b>

De même que pour le scénario S1, le scénario S2 prévoit une augmentation du volume de déchets induit par l'exploitation (fonctionnement et démantèlement) des installations existantes ou ayant obtenu leur décret d'autorisation de création au 31 décembre 2021.

Le rythme de production des différentes catégories de déchets radioactifs varie dans le temps en fonction, principalement, des éléments suivants :

- la mise à l'arrêt progressive des réacteurs électronucléaires du parc actuel, notamment sur la période 2027-2035 conformément à la PPE2 ;
- le démantèlement des caissons réacteurs UNGG au-delà de 2040 ;
- le démantèlement, après 2040, des réacteurs du parc électronucléaire actuel, des usines du cycle et ateliers supports et des installations de recherche.

La quantité totale de déchets radioactifs des catégories FA-VL, FMA-VC, et TFA à terminaison dans le S2 est globalement équivalente à celle du scénario S1. Les estimations prospectives dépendent peu des différences d'hypothèses prises pour ces catégories.

Concernant les catégories HA et MA-VL, le mono-recyclage, entraîne une réduction des quantités de combustibles usés retraités par rapport au scénario S1 après 2040, date à laquelle les hypothèses des scénarios se différencient. La production des déchets vitrifiés et des déchets de structures métalliques entourant les combustibles (coques et embouts) est donc plus faible. En conséquence, la quantité prospective de déchets HA et MA-VL à terminaison selon le scénario S2 est inférieure à celle du scénario S1.

### ESTIMATION DES QUANTITÉS DE MATIÈRES RADIOACTIVES EN tML\* SUSCEPTIBLES D'ÊTRE REQUALIFIÉES EN DÉCHETS À TERMINAISON POUR LE SCÉNARIO S2

N°	Matières radioactives pouvant être requalifiées en déchets à terminaison	À terminaison
6	Combustibles URE usés, en attente de retraitement	6 110
9	Combustibles mixtes uranium-plutonium usés, en attente de retraitement	5 030
10	Rebuts de combustibles MOX non irradiés en attente de retraitement	386
12	Combustibles usés RNR, en attente de retraitement	149
15	Autres combustibles usés civils	6,4
17	Plutonium séparé non irradié sous toutes ses formes physico-chimiques	2
22	Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques	899 000
25	Autres matières	70
<b>Total</b>		<b>911 000</b>

\* Hors combustibles usés de la Défense nationale exprimés en tonnes d'assemblages

Dans ce scénario (renouvellement du parc et mono-recyclage), les combustibles usés URE, MOX, RNR de Phénix et Superphénix et de la recherche seraient requalifiés en déchets :

- environ 6 110 tML de combustibles URE usés, 5 030 tML de combustibles MOX usés et 386 tML de rebuts MOX ;
- environ 106 tML de combustibles usés RNR provenant de Superphénix, 43 tML de combustibles usés RNR provenant de Phénix, 6,4 tML de combustibles usés civils (hors réacteur EL4 de Brennilis) ;
- 70 tML du cœur neuf de Superphénix (catégorie « autres matières »).

La quantité d'uranium appauvri à terminaison prend en compte le stock issu des activités de recherche du CEA, égal à 109 tML, auquel a été ajouté l'inventaire valorisable d'Orano (voir chapitre 1 – Focus valorisation de l'uranium appauvri), évalué à environ 899 000 tML.

Le plutonium séparé issu du retraitement des combustibles usés UNE issu du parc actuel est destiné à la fabrication de combustibles MOX. Seul le stock issu des activités de recherche du CEA est requalifié en déchet à terminaison.

Les matières qui seraient requalifiées en déchets, si aucune autre filière de valorisation n'est identifiée, devront être prises en charge dans des filières de gestion à long terme dédiées.

La requalification des combustibles usés non retraités impliquerait une augmentation du volume de déchets relevant de la filière HA d'environ 6 000 m<sup>3</sup>. Ainsi, le volume global de déchets et matières qui relèverait de cette catégorie, estimé à environ 15 000 m<sup>3</sup>, serait supérieur à celui du scénario S1.

# SCÉNARIO S3

## RENOUVELLEMENT DU PARC ÉLECTRONUCLÉAIRE PAR DES EPR2 UNIQUEMENT, ET ARRÊT DU RECYCLAGE

En complément des données communes à l'ensemble des scénarios présentées en introduction, le scénario S3 retient comme hypothèses structurantes :

- la poursuite de la production électronucléaire, avec le renouvellement progressif des réacteurs du parc électronucléaire actuel par des réacteurs EPR2, qui constitueraient à terme la totalité d'un futur parc ;
- la fin du retraitement des combustibles usés à l'horizon 2040.

Ceci suppose par convention :

- la fermeture et le démantèlement des usines de retraitement du combustible et des usines de fabrication des combustibles neufs à partir des matières valorisables issues du traitement ;
- les combustibles usés UNE produits après l'arrêt du retraitement à l'horizon 2040 et l'ensemble des combustibles usés MOX et URE ne sont pas retraités. Les combustibles usés RNR de Superphénix et Phénix, des réacteurs de la recherche du CEA et du réacteur EL4 de Brennilis ne sont pas retraités et ainsi considérés comme des déchets devant être stockés ;
- tous les types de combustibles usés (UNE, URE, MOX) non retraités sont considérés comme des déchets devant être stockés ;
- les matières du CEA contenant du plutonium ainsi que l'uranium appauvri sont requalifiées en déchets ;
- la totalité des matières plutonium ou URT (hors stock issu des activités de recherche du CEA) est recyclée dans le parc actuel ;
- l'uranium appauvri d'Orano est considéré requalifié en déchet. Les quantités indiquées ne tiennent pas compte des pistes de valorisation déjà mises en œuvre et envisagées dans des filières électronucléaires en France ou à l'étranger, et dans des pistes innovantes hors nucléaire, conformément au plan de valorisation de l'uranium appauvri élaboré dans le cadre du PNGMDR 2022-2026.

### ESTIMATION DES QUANTITÉS DE DÉCHETS RADIOACTIFS AUX DATES INTERMÉDIAIRES 2030 ET 2040 ET À TERMINAISON POUR LE SCÉNARIO S3

Déchets radioactifs	À fin 2021	À fin 2030	À fin 2040	À terminaison
HA	4 320	5 630	6 620	6 890
MA-VL	39 500	43 500	48 300	63 200
FA-VL	103 000	114 000	125 000	218 000
FMA-VC	981 000	1 100 000	1 260 000	1 850 000
TFA	633 000	926 000	1 380 000	2 400 000
<b>Total</b>	<b>~ 1 760 000</b>	<b>~ 2 190 000</b>	<b>~ 2 820 000</b>	<b>~ 4 540 000</b>

Le scénario S3 prévoit une augmentation du volume de déchets corrélée à la poursuite de l'exploitation des installations existantes ou ayant obtenu leur décret d'autorisation de création au 31 décembre 2021.

Au-delà de 2040, les variations du rythme de production des catégories FMA-VC, TFA et FA-VL sont essentiellement dues aux plannings de démantèlement des caissons réacteurs UNGG et des réacteurs du parc électronucléaire actuel, des usines du cycle et ateliers supports et des installations de recherche.

L'arrêt du retraitement à l'horizon 2040 se traduit par une diminution significative des quantités de déchets des catégories HA et MA-VL après 2040.

En comparaison des estimations relatives aux scénarios S1 et S2, la quantité totale de déchets radioactifs des catégories FA-VL, FMA-VC, et TFA à terminaison dans le S3 est globalement équivalente. Les estimations prospectives dépendent peu des différences entre les hypothèses prises pour ces catégories.

En revanche, en ce qui concerne les catégories HA et MA-VL, l'arrêt à l'horizon 2040 du retraitement entraîne une diminution de la production des déchets vitrifiés et des déchets de structures métalliques entourant les combustibles (coques et embouts). En conséquence, la quantité prospective de déchets HA et MA-VL à terminaison selon le scénario S3 est plus faible que celles des scénarios S1 et S2.

### ESTIMATION DES QUANTITÉS DE MATIÈRES RADIOACTIVES EN tML\* SUSCEPTIBLES D'ÊTRE REQUALIFIÉES EN DÉCHETS À TERMINAISON POUR LE SCÉNARIO S3

N°	Matières radioactives pouvant être requalifiées en déchets à terminaison	À terminaison
3	Combustibles UNE usés, en attente de retraitement	14 500
6	Combustibles URE usés, en attente de retraitement	6 110
9	Combustibles mixtes uranium-plutonium usés, en attente de retraitement	5 030
10	Rebuts de combustibles MOX non irradiés en attente de retraitement	386
12	Combustibles usés RNR, en attente de retraitement	149
15	Autres combustibles usés civils	56
17	Plutonium séparé non irradié sous toutes ses formes physico-chimiques	2
22	Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques	899 000
25	Autres matières	70
<b>Total</b>		<b>926 000</b>

\* Hors combustibles usés de la Défense nationale exprimés en tonnes d'assemblages

Dans ce scénario (renouvellement du parc avec arrêt du traitement à l'horizon 2040), les combustibles usés URE, MOX, RNR de Phénix et Superphénix et de la recherche seraient requalifiés en déchets, ainsi que les combustibles UNE après arrêt du retraitement :

- environ 14 500 tML de combustibles UNE usés, 6 110 tML de combustibles URE usés, 5 030 tML de combustibles MOX usés et 386 tML de rebuts MOX ;
- environ 106 tML de combustibles usés RNR provenant de Superphénix, 43 tML de combustibles usés RNR provenant de Phénix, 56 tML de combustibles usés civils (dont le réacteur EL4 de Brennilis) ;
- 70 tML du cœur neuf de Superphénix (catégorie « autres matières »).

La quantité d'uranium appauvri à terminaison prend en compte le stock issu des activités de recherche du CEA, égal à 109 tML, auquel a été ajouté l'inventaire valorisable d'Orano (voir chapitre 1 – Focus valorisation de l'uranium appauvri), évalué à environ 899 000 tML.

Le plutonium séparé issu du retraitement du combustible est destiné à la fabrication de combustible MOX. Seul le stock issu des activités de recherche du CEA est requalifié en déchet à terminaison.

Les matières qui seraient requalifiées en déchets, si aucune filière de valorisation n'est identifiée, devront être prises en charge dans des filières de gestion à long terme dédiées.

La requalification des combustibles usés non retraités impliquerait une augmentation du volume de déchets relevant de la filière HA d'environ 13 200 m<sup>3</sup>. Ainsi, le volume global de déchets et matières qui relèverait de cette catégorie est estimé à environ 20 100 m<sup>3</sup> et serait supérieur à celui des scénarios S1 et S2.

# SCÉNARIO S4

## NON-RENOUVELLEMENT DU PARC ÉLECTRONUCLÉAIRE

En plus des données communes à l'ensemble des scénarios présentées en introduction, le scénario S4 retient comme hypothèses structurantes :

- le non-renouvellement du parc existant ;
- les combustibles UNE usés traités jusqu'à l'horizon 2040 génèrent des déchets vitrifiés et des déchets de structures métalliques entourant les combustibles (coques et embouts) ;
- la fin du retraitement des combustibles usés à l'horizon 2040. Ceci suppose par convention :
  - les combustibles UNE non traités post-2040 et l'ensemble des combustibles URE et MOX issus du parc actuel sont considérés comme des déchets destinés au stockage ;
  - la fermeture et le démantèlement des usines de retraitement du combustible et des usines de fabrication des combustibles neufs à partir des matières valorisables issues du traitement ;
  - les combustibles usés UNE produits après l'arrêt du retraitement à l'horizon 2040, l'ensemble des combustibles usés MOX et URE non retraités ainsi que l'ensemble de l'inventaire matière du CEA Civil sont considérés comme des déchets destinés au stockage ;
  - les combustibles Phénix et Superphénix, des réacteurs de la recherche du CEA et d'EL4 de Brennilis ne sont pas traités et ainsi considérés comme des déchets destinés au stockage ;
- la totalité des matières plutonium ou URT (hors stock issu des activités de recherche du CEA) est recyclée dans le parc actuel ;
- l'uranium appauvri d'Orano est considéré requalifié en déchet. Les quantités indiquées ne tiennent pas compte des pistes de valorisation déjà mises en œuvre et envisagées dans des filières électronucléaires en France ou à l'étranger, et dans des pistes innovantes hors nucléaire, conformément au plan de valorisation de l'uranium appauvri élaboré dans le cadre du PNGMDR 2022-2026.

### ESTIMATION DES QUANTITÉS DE DÉCHETS RADIOACTIFS AUX DATES INTERMÉDIAIRES 2030 ET 2040 ET À TERMINAISON POUR LE SCÉNARIO S4

Déchets radioactifs	À fin 2021	À fin 2030	À fin 2040	À terminaison
HA	4 320	5 630	6 620	6 890
MA-VL	39 500	43 500	48 300	63 200
FA-VL	103 000	114 000	125 000	218 000
FMA-VC	981 000	1 100 000	1 260 000	1 850 000
TFA	633 000	926 000	1 380 000	2 400 000
<b>Total</b>	<b>~ 1 760 000</b>	<b>~ 2 190 000</b>	<b>~ 2 820 000</b>	<b>~ 4 540 000</b>

Les scénarios S3 et S4 prennent tous les deux en compte l'hypothèse d'un arrêt du retraitement à l'horizon 2040, et ne diffèrent que par le renouvellement du parc électronucléaire dans le cas du scénario S3, et le non-renouvellement pour le scénario S4.

Les volumes de déchets produits à terminaison, toutes catégories confondues, sont identiques pour ces deux scénarios. Ces deux scénarios, en comparaison avec les scénarios S1 et S2 montrent que les variations de volumes de déchets à terminaison sont principalement impactées par la poursuite ou l'arrêt du retraitement des combustibles usés.

À noter que les volumes de déchets qui seraient produits par le nouveau parc stipulé par le scénario S3 ne sont pas comptabilisés.

### ESTIMATION DES QUANTITÉS DE MATIÈRES RADIOACTIVES EN tML\* SUSCEPTIBLES D'ÊTRE REQUALIFIÉES EN DÉCHETS À TERMINAISON POUR LE SCÉNARIO S4

N°	Matières radioactives pouvant être requalifiées en déchets à terminaison	À terminaison
3	Combustibles UNE usés, en attente de retraitement	14 500
6	Combustibles URE usés, en attente de retraitement	6 110
9	Combustibles mixtes uranium-plutonium usés, en attente de retraitement	5 030
10	Rebuts de combustibles mixtes uranium-plutonium non irradiés en attente de retraitement	386
12	Combustibles usés RNR, en attente de retraitement	149
15	Autres combustibles usés civils	56
17	Plutonium séparé non irradié sous toutes ses formes physico-chimiques	2
22	Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques	899 000
25	Autres matières	70
<b>Total</b>		<b>926 000</b>

\* Hors combustibles usés de la Défense nationale exprimés en tonnes d'assemblages

Dans ce scénario (non-renouvellement du parc et arrêt du recyclage à l'horizon 2040), la nature des matières, ainsi que les quantités, qui seraient requalifiées en déchets, sont similaires à celles du scénario S3.

## FOCUS

### REQUALIFICATION DES MATIÈRES EN DÉCHETS RADIOACTIFS

Le devenir des substances radioactives considérées comme des matières radioactives par leurs propriétaires doit être périodiquement examiné.

Dans l'hypothèse où les possibilités de valorisation d'une substance radioactive seraient remises en cause, il faut s'assurer que les garanties nécessaires, notamment financières, sont mises en place pour la prise en charge de ces substances dans des filières de gestion dédiées.

Le cadre législatif permet notamment à l'État, après avis de l'ASN, de requalifier tout ou partie des matières radioactives en déchets radioactifs, ou réciproquement. En complément des études relatives à la valorisation, le PNGMDR 2022-2026 prévoit que « les travaux se poursuivront autour des différentes matières afin d'approfondir la qualification des enjeux liés à leur gestion en cas de requalification en déchets ». À ce titre,

« des scénarios de stockage de l'uranium appauvri (Uapp), de l'uranium de retraitement (URT) et des matières thorifères » sont étudiés par l'Andra.

Une réévaluation du caractère effectivement valorisable des matières radioactives a été demandée au titre du PNGMDR 2013-2015 et du PNGMDR 2016-2018. Les propriétaires de matières radioactives, Orano, le CEA, EDF et Solvay ont remis leurs descriptifs des procédés de valorisation envisagés, en apportant notamment leur analyse de l'adéquation entre les perspectives de valorisation et les quantités détenues et à détenir. Ces éléments ont fait l'objet d'un avis par l'ASN et l'ASND<sup>1</sup>.

Dans le cadre du PNGMDR 2016-2018, l'Andra a approfondi, pour les combustibles usés, l'uranium appauvri, l'URT et le thorium, les études relatives au stockage de ces substances dans les cas où elles seraient à l'avenir qualifiées de déchets, en lien avec leur propriétaire.

L'édition du PNGMDR 2022-2026 a prescrit un renforcement du contrôle du caractère valorisable des matières radioactives, en particulier pour celles qui ne sont actuellement pas valorisées. Pour ce faire, le Plan demande l'élaboration de plans de valorisation, le soutien à la recherche pour la valorisation des matières et la poursuite des études de scénarios possibles de stockage de différentes matières en cas de requalification comme déchets.

<sup>1</sup> Les avis n° 2016-AV-0256 du 9 février 2016 et n° 2020-AV-0363 du 8 octobre 2020 de l'Autorité de sûreté nucléaire sur l'évaluation du caractère valorisable des matières radioactives sont disponibles sur le site Internet : [asn.fr](http://asn.fr)



Démonstrateurs de conteneurs pour les combustibles usés exposés au CEA de Marcoule

## VOLUME DES DÉCHETS DE DÉMANTÈLEMENT

L'industrie électronucléaire étant 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 restent à venir.

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 délimitées 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 (ZDC) sont des déchets non radioactifs, qui sont donc éliminés après contrôle vers des filières agréées conventionnelles ;
- les déchets issus des Zones à production possible de déchets nucléaires (ZppDN) sont tous gérés comme s'ils étaient radioactifs, même si aucune radioactivité n'y est détectée, et sont conditionnés et caractérisés pour une prise en charge par l'Andra en vue de leur gestion à long terme.

Le zonage déchets peut être revu entre le fonctionnement et le démantèlement de l'installation pour prendre en compte les spécificités des différentes phases de l'exploitation et permettre une gestion optimisée des déchets.

Le démantèlement d'une installation nucléaire génère des déchets radioactifs principalement TFA et FMA-VC. Des études sont en cours visant à optimiser leur gestion et notamment réduire leur volume.

### PRINCIPES DE GESTION DES DÉCHETS ISSUS DU DÉMANTÈLEMENT

La politique de gestion des déchets radioactifs du démantèlement s'appuie, comme pour les autres déchets, sur :

- la garantie de la traçabilité des déchets issus des installations nucléaires (zonage déchets, caractérisation, contrôle) ;
- la minimisation du volume des déchets ;
- l'optimisation de leur catégorisation ;
- l'envoi en ligne autant que possible des déchets vers les centres de stockage existants. Dans le cas où les déchets ne disposent pas d'exutoire, ils sont entreposés dans des installations dédiées.



Démantèlement de la centrale Chooz A

### NATURE DES DÉCHETS ISSUS DU DÉMANTÈLEMENT

Les déchets de démantèlement sont majoritairement des déchets conventionnels, notamment des gravats et des métaux. Par exemple, dans le cas de la déconstruction de la centrale nucléaire de Chooz A, 60 % des 50 000 tonnes de déchets produits peuvent être orientés vers les filières de gestion conventionnelles et seulement 40 % sont des déchets radioactifs.

Les déchets radioactifs de démantèlement sont majoritairement (> 99 %) de très faible activité (TFA) et de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC). Il s'agit :

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

Il s'y ajoute des déchets de faible activité à vie longue (FA-VL), notamment les déchets de graphite liés au démantèlement des réacteurs de la filière UNGG mais aussi des déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL) en faible quantité. Il s'agit principalement de déchets activés, dont certaines pièces métalliques situées au cœur des réacteurs ou de déchets issus du démantèlement des installations du cycle.

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 chapitre 6 - dossier thématique 2), avant d'être transportés vers le centre de stockage existant adapté à leur niveau de radioactivité (actuellement le Cires pour les déchets TFA et le CSA pour les déchets FMA-VC) ou entreposés en attente de l'ouverture de la filière de stockage adéquate.

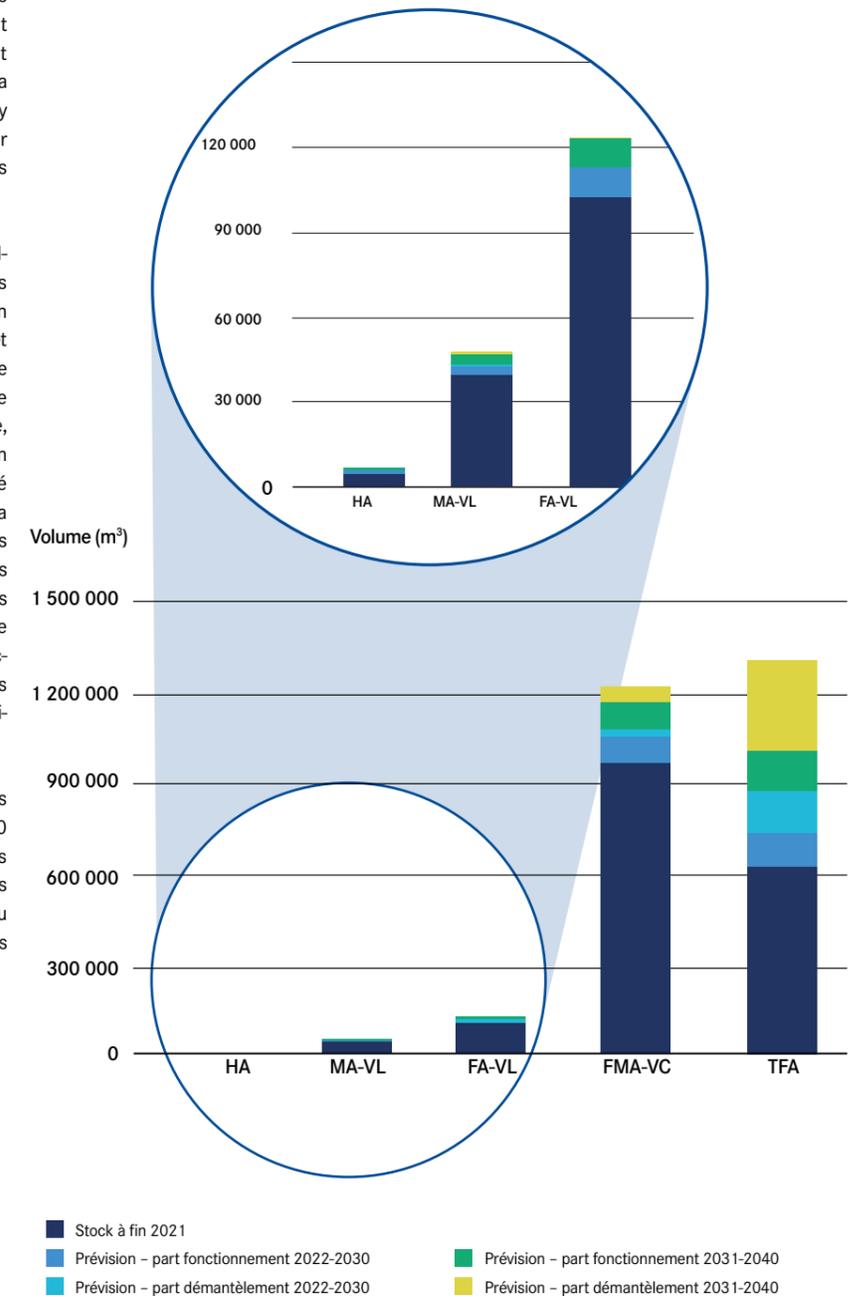
### ESTIMATION DES QUANTITÉS DE DÉCHETS ISSUS DU DÉMANTÈLEMENT

Lors de la préparation des opérations de démantèlement, la quantité et la nature des déchets à produire sont évaluées 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 conditionnés d'effluents engendrés par la décontamination.

Pour ce faire, un inventaire rigoureux des installations à assainir, des équipements qu'elles contiennent et de leur niveau de contamination résiduelle est réalisé. Il constitue l'état initial et requiert une bonne connaissance de l'historique de l'exploitation de l'installation. Les quantités de déchets qui seront produites sont, par la suite, évaluées en fonction de l'état final envisagé, 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 chapitre 6 - dossier thématique 3).

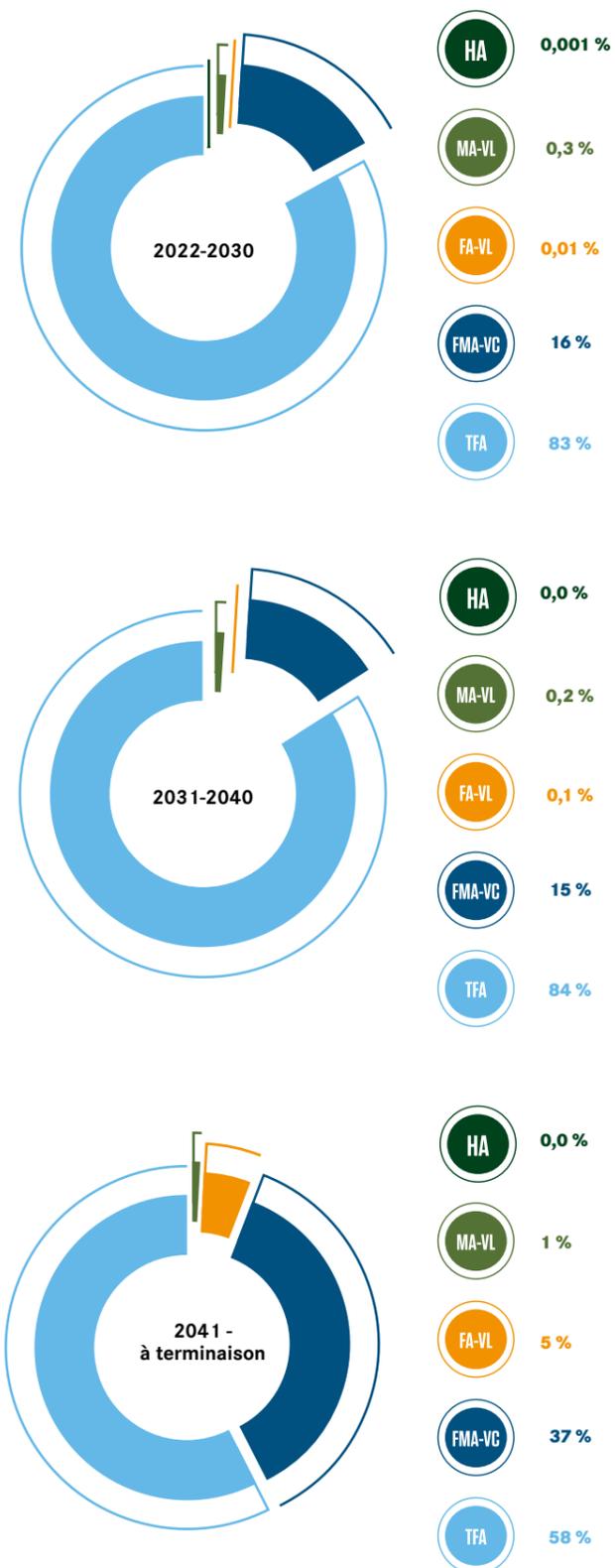
Les graphiques ci-contre présentent les quantités prévisionnelles de déchets à fin 2030 et 2040 pour le scénario S1 en fonction des catégories en distinguant les stocks de déchets produits à fin 2021, les prévisions de déchets issus du démantèlement et les prévisions de déchets issus du fonctionnement des installations.

#### PRÉVISIONS DES QUANTITÉS DE DÉCHETS À FIN 2030 ET 2040 POUR LE SCÉNARIO S1



Les graphiques ci-après présentent la répartition entre les différentes catégories des déchets de démantèlement produits de 2022 à 2030, de 2031 à 2040 et de 2041 à terminaison. Jusqu'en 2040, la majorité des déchets radioactifs issus des opérations de démantèlement est 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 des catégories FA-VL ou MA-VL. De 2041 à terminaison, la proportion de déchets radioactifs issus des opérations de démantèlement appartenant à la catégorie FMA-VC augmente. Par ailleurs, le démantèlement des réacteurs UNGG produira des déchets FA-VL.

#### ► PRODUCTION DE DÉCHETS DE DÉMANTÈLEMENT DE 2022 À 2030, DE 2031 À 2040, ET DE 2041 À TERMINAISON



## PERSPECTIVES

Afin d'apporter un éclairage complet sur les enjeux des filières gestion des déchets radioactifs, le chapitre relatif aux scénarios prospectifs de l'édition 2023 de l'Inventaire national est complété par une partie : « Perspectives ».

Cette partie présente les résultats d'études réalisées par l'Andra sur le volume des déchets radioactifs générés par le potentiel déploiement de nouveaux 6 réacteurs ou le prolongement de l'exploitation de réacteurs existants. Elle complète ainsi l'évaluation réalisée pour les installations actuellement autorisées et selon des scénarios déclinant les grands principes de la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE2) en vigueur. L'intégration à l'*Inventaire national* de ces études, qui s'inscrivent également dans le cadre de la PPE2, permet ainsi d'évaluer les volumes prévisionnels de déchets radioactifs en couvrant l'ensemble des orientations actuelles de politique énergétique.

### LES DÉCHETS ISSUS D'UN NOUVEAU PARC DE SIX EPR2

Sur sollicitation du Gouvernement dans la perspective du rapport *Travaux relatifs au nouveau nucléaire*<sup>9</sup> publié en février 2022, l'Andra a réalisé une première évaluation technique de l'impact du déploiement éventuel de 6 nouveaux réacteurs EPR2 sur les filières de stockage de déchets radioactifs en exploitation ou en projet.

Ce travail s'est inscrit dans le cadre de la PPE2 qui demandait d'exposer les réflexions du Gouvernement quant aux conditions techniques et économiques d'une décision de construction de nouveaux réacteurs nucléaires de grande puissance de technologie EPR2.

L'évaluation préliminaire de l'Andra s'est fondée sur les hypothèses figurant dans le rapport du gouvernement : six réacteurs EPR2, déployés par paires espacées de quatre ans à compter de l'horizon 2035 et exploités durant 60 ans.

Les volumes de matières et déchets estimés dans cette évaluation préliminaire ne sont pas comptabilisés dans les scénarios prospectifs mentionnés au préambule du présent chapitre, ceux-ci portant sur les seules installations déjà autorisées. Ils pourront donc être intégrés dans les versions suivantes, sous réserve de l'obtention de l'autorisation de création de ces nouveaux réacteurs.

#### ESTIMATION DES QUANTITÉS DE DÉCHETS

##### Déchets des catégories HA et MA-VL

Les volumes de déchets MA-VL et HA produits par l'exploitation de six réacteurs EPR2 varient en fonction de la stratégie de retraitement du combustible considérée et sont présentés dans le tableau suivant.

#### VOLUMES ESTIMÉS DE DÉCHETS DES CATÉGORIES HA ET MA-VL PRODUITS PAR L'EXPLOITATION DE SIX EPR2

Type de déchets HA	Multi-recyclage	Mono-recyclage	Arrêt du recyclage
<b>CSD-V</b>	1 872 m <sup>3</sup>	971 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>
Type de déchets MA-VL			
<b>CSD-C</b>	1 273 m <sup>3</sup>	710 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>
<b>Déchets activés et/ou contaminés d'exploitation et de démantèlement des réacteurs EPR2 et des autres installations du cycle</b>			
	2 678 m <sup>3</sup>	3 219 m <sup>3</sup>	2 574 m <sup>3</sup>
<b>Total</b>	<b>3 951 m<sup>3</sup></b>	<b>3 929 m<sup>3</sup></b>	<b>2 574 m<sup>3</sup></b>

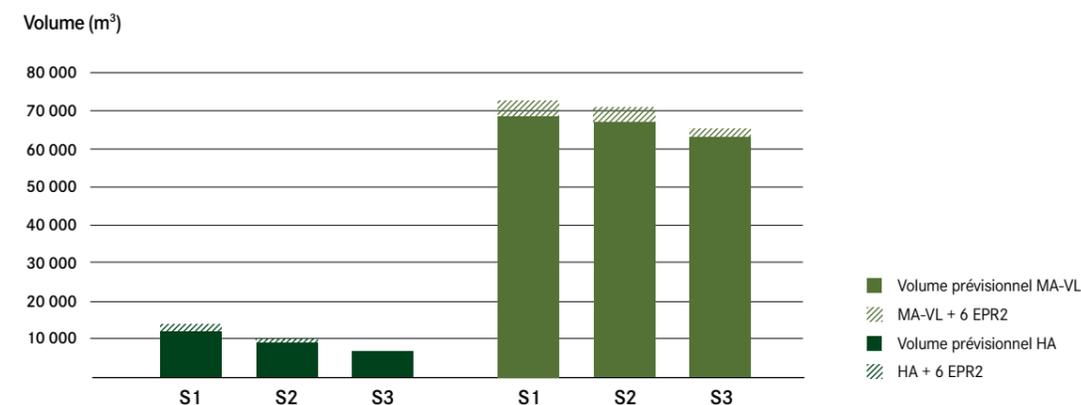
À titre de comparaison, l'évaluation prospective du volume de déchets des catégories HA et MA-VL généré par les installations ayant obtenu leur décret d'autorisation de création au 31 décembre 2021, pour une durée de fonctionnement des réacteurs des parcs électronucléaires de 60 ans, sauf en ce qui concerne les 12 tranches qui sont supposées être fermées entre 2027 et 2035 (conformément à la PPE2) est de :

- **concernant les déchets HA :**
  - 11 800 m<sup>3</sup> pour le scénario S1 de la présente édition de l'*Inventaire national*. Dans le cadre où le multi-recyclage serait mis en œuvre, le volume de déchets HA issus de l'exploitation de 6 EPR2 représenterait un volume supplémentaire de déchets de 16 % ;
  - 8 960 m<sup>3</sup> pour le scénario S2 de la présente édition de l'*Inventaire national*. Dans le cadre où le mono-recyclage serait mis en œuvre, le volume de déchets HA issus de l'exploitation de 6 EPR2 représenterait un volume supplémentaire de déchets de 11 % ;

6 890 m<sup>3</sup> pour le scénario S3 de la présente édition de l'*Inventaire national*. Dans le cadre où un arrêt du recyclage serait mis en œuvre, l'absence de retraitement ne génère pas de volume supplémentaire de déchets HA, mais conduit à requalifier les combustibles usés en déchets.

- **concernant les déchets MA-VL :**
  - 68 800 m<sup>3</sup> pour le scénario S1 de la présente édition de l'*Inventaire national*. Dans le cadre où le multi-recyclage serait mis en œuvre, le volume de déchets MA-VL issus de l'exploitation de 6 EPR2 représenterait un volume supplémentaire de déchets de 6 % ;
  - 67 100 m<sup>3</sup> pour le scénario S2 de la présente édition de l'*Inventaire national*. Dans le cadre où le mono-recyclage serait mis en œuvre, le volume de déchets MA-VL issus de l'exploitation de 6 EPR2 représenterait un volume supplémentaire de déchets de 6 % ;
  - 63 200 m<sup>3</sup> pour le scénario S3 de la présente édition de l'*Inventaire national*. Dans le cadre où un arrêt du recyclage serait mis en œuvre, le volume de déchets MA-VL issus de l'exploitation de 6 EPR2 représenterait un volume supplémentaire de déchets de 4 %.

#### VOLUMES ESTIMÉS DE DÉCHETS DES CATÉGORIES HA ET MA-VL PRODUITS PAR L'EXPLOITATION DE SIX RÉACTEURS DE TYPE EPR2



<sup>9</sup> [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2022.02.18\\_Rapport\\_nucleaire.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2022.02.18_Rapport_nucleaire.pdf)

Les volumes de combustibles usés produits par 6 réacteurs EPR2 et pouvant être requalifiés en déchets dans le cadre des stratégies d'arrêt du recyclage et de mono-recyclage sont donnés dans le tableau suivant :

#### ► NOMBRE ESTIMÉ D'ASSEMBLAGES COMBUSTIBLES PRODUITS PAR SIX RÉACTEURS DE TYPE EPR2 POUVANT ÊTRE REQUALIFIÉS EN DÉCHETS

Type de combustibles	Mono-recyclage	Arrêt du recyclage
UNE	Sans objet	18 720
URE	5 295	1 358
MOX	3 712	0
<b>Total</b>	<b>9 007</b>	<b>20 078</b>

#### Déchets des catégories TFA et FMA-VC

Les caractéristiques radiologiques et physico-chimiques des déchets qui seraient générés par les 6 nouveaux réacteurs EPR2 seraient quasi similaires aux déchets actuellement produits par les réacteurs les plus récents du parc. Compte tenu de ces similitudes, les ratios de déchets d'exploitation FMA-VC et TFA produits par réacteur de type EPR2 sont considérés comme identiques à ceux des réacteurs du parc actuel.

Ces volumes de déchets sont par ailleurs indépendants de la stratégie de retraitement des combustibles usés considérée.

Les volumes estimés de déchets radioactifs FMA-VC et TFA conditionnés qui seraient produits sur l'ensemble du cycle de vie de six réacteurs EPR2, en considérant 60 ans d'exploitation, sont présentés ci-contre.

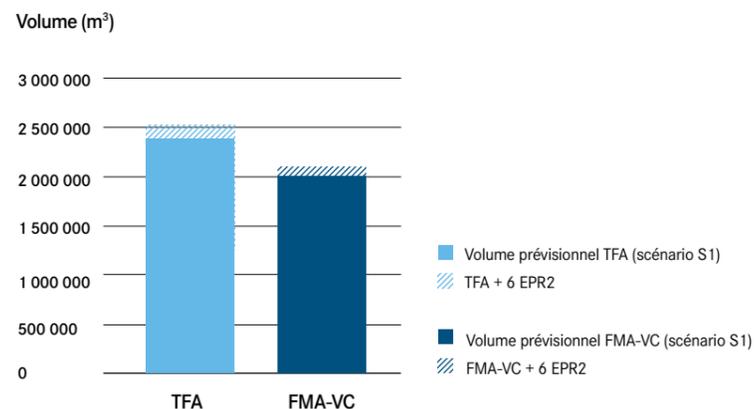
À titre de comparaison, l'évaluation prospective du volume de déchets FMA-VC généré par les installations ayant obtenu leur décret d'autorisation de création au 31 décembre 2021, pour une durée de fonctionnement des réacteurs des parcs électronucléaires de 60 ans, sauf en ce qui concerne les 12 tranches qui sont supposées être fermées entre 2027 et 2035 (conformément à la PPE2), est :

- concernant les déchets FMA-VC près de 2 000 000 m<sup>3</sup>, quel que soit le scénario de la présente édition de l'*Inventaire national*. Le volume de déchets FMA-VC issus de l'exploitation de 6 EPR2 représenterait un volume supplémentaire de déchets de 5 % ;
- concernant les déchets TFA près de 2 400 000 m<sup>3</sup>, quel que soit le scénario de la présente édition de l'*Inventaire national*. Le volume de déchets TFA issus de l'exploitation de 6 EPR2 représenterait un volume supplémentaire de déchets de 5 %.

#### ► VOLUME ESTIMÉ DE DÉCHETS DES CATÉGORIES FMA-VC ET TFA PRODUITS PAR L'EXPLOITATION DE SIX RÉACTEURS DE TYPE EPR2

Catégorie	FMA-VC	TFA
Fonctionnement	40 200 m <sup>3</sup>	23 400 m <sup>3</sup>
Démantèlement	58 200 m <sup>3</sup>	96 000 m <sup>3</sup>
<b>Total</b>	<b>98 400 m<sup>3</sup></b>	<b>120 000 m<sup>3</sup></b>

#### ► VOLUMES ESTIMÉS DE DÉCHETS DES CATÉGORIES FMA-VC ET TFA PRODUITS PAR L'EXPLOITATION DE SIX RÉACTEURS DE TYPE EPR2



## L'IMPACT DE L'ALLONGEMENT DE LA DURÉE DE L'EXPLOITATION DU PARC ACTUEL

La durée de fonctionnement des réacteurs électronucléaires est un des éléments de la politique énergétique française. Dans l'inventaire prospectif détaillé au début du présent chapitre, les hypothèses de durée de fonctionnement ont été prises conformément à la Programmation pluriannuelle de l'énergie 2019-2028 (PPE2) et intègrent donc l'arrêt de 12 réacteurs d'ici 2035. Le présent paragraphe vise à estimer l'influence des orientations actuelles de politique énergétique relatives à l'allongement de la durée de vie des réacteurs du parc actuel jusqu'à 60 ans. Il ne préjuge cependant pas de la position de l'ASN quant à la poursuite d'exploitation de ces installations.

Afin d'apporter un éclairage concernant l'impact de la durée de fonctionnement des réacteurs sur les quantités de déchets, ce chapitre présente des ordres de grandeur, pour chaque catégorie, des quantités de déchets liées à l'exploitation des réacteurs électronucléaires. En effet, la poursuite d'exploitation impacte avant tout la production de déchets de fonctionnement, sans impact sur les déchets liés au démantèlement des installations.

Ces valeurs ont été calculées sur la base des données transmises par EDF et Orano à l'*Inventaire national*, qui permettent notamment de distinguer les déchets liés au fonctionnement et au démantèlement et qui présentent une évaluation de la production sur les périodes 2022-2030 et 2031-2040. Elles ont été obtenues en considérant les typologies de déchets liées au fonctionnement des réacteurs, soit :

- les déchets MA-VL (déchets activés des réacteurs EDF hors déchets sodés), FMA-VC et TFA issus des centrales nucléaires ;
- les déchets HA et MA-VL issus du traitement des combustibles. Il s'agit des déchets vitrifiés et des déchets de structures métalliques entourant les combustibles (coques et embouts) produits à l'installation Orano de La Hague.

#### ► VOLUME CONDITIONNÉ DE DÉCHETS DE FONCTIONNEMENT D'UN RÉACTEUR AU COURS D'UNE ANNÉE

Catégorie	Volume
HA	De l'ordre de 3 m <sup>3</sup>
MA-VL	De l'ordre de 3 m <sup>3</sup>
FMA-VC	Entre 110 et 150 m <sup>3</sup>
TFA	Entre 60 et 80 m <sup>3</sup>

Ces estimations permettent ainsi d'apprécier l'influence de la prolongation de la durée de fonctionnement de 10 ans de 12 réacteurs sur la production de déchets, montrant que cet impact ne dépasse pas quelques pour cent de l'inventaire des déchets à terminaison pour chaque catégorie, et ce, quel que soit le scénario considéré.

#### ► IMPACT DES QUANTITÉS DE DÉCHETS PRODUITS PAR L'EXPLOITATION DE 12 RÉACTEURS PENDANT 10 ANS

Catégorie	Impact
HA	Entre 2 % et 5 % suivant les scénarios
MA-VL	Inférieur à 1 %
FMA-VC	Inférieur à 1 %
TFA	Inférieur à 1 %

# 04

## L'entreposage

### Entreposage des déchets radioactifs 84

Taux d'occupation des entreposages des déchets radioactifs à fin 2021	84
Localisation des entreposages des déchets radioactifs	86
Prévisions d'extension ou de création d'entreposages des déchets radioactifs à fin 2021	87
Besoins complémentaires	87

### Entreposage des matières radioactives 89

Taux d'occupation des entreposages des matières radioactives à fin 2021	90
Localisation des entreposages des matières radioactives	92
Prévisions d'extension ou de création d'entreposages des matières radioactives à fin 2021	93
Besoins complémentaires	94

En France, un cadre réglementaire a été mis en place pour garantir l'adéquation des capacités d'entreposage<sup>1</sup> existantes et futures au regard des quantités de matières et déchets radioactifs présentes et prospectives. À ce titre, à chaque édition du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR), des demandes et recommandations sont adressées aux détenteurs de matières radioactives, aux producteurs de déchets radioactifs et aux organismes responsables de leur conditionnement, de leur entreposage ou de leur stockage afin, notamment, de recenser les besoins et préciser leurs capacités et leurs dates prévisionnelles de fermeture.

L'*Inventaire national des matières et déchets radioactifs* restitue les informations relatives aux entreposages conformément à :

- l'article 3 de l'arrêté du 9 octobre 2008 modifié. Celui-ci impose que les producteurs déclarent à l'Andra des informations concernant les entreposages (taux d'occupation des entreposages, les extensions et les créations prévues au 31 décembre 2021) 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 ;
- l'article 3 de l'arrêté du 9 décembre 2022 pris en application de décret n° 2022-1547 du 9 décembre 2022 prévu par l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions de PNGMDR. Il vise à anticiper les besoins en capacités d'entreposage et de stockage et à améliorer la vision d'ensemble des choix à effectuer en termes de gestion des matières et déchets radioactifs en fonction des quatre scénarios prospectifs présentés au chapitre 3.

Ce chapitre présente les données relatives aux entreposages de matières et de déchets radioactifs fournies à l'Andra par le CEA, EDF, Orano, Framatome et Solvay conformément à la réglementation. Ces données sont présentées de la manière suivante :

- le taux d'occupation des entreposages ainsi que leur localisation à fin 2021 ;
- les prévisions d'extension ou de création d'entreposage planifiées à fin 2021 ;
- les besoins complémentaires en entreposage en fonction des scénarios prospectifs.

## ENTREPOSAGE DES DÉCHETS RADIOACTIFS

Les déchets radioactifs sont entreposés sur différents sites industriels dans des installations dédiées à cet effet. Ces déchets sont destinés à être stockés par l'Andra dans des installations spécifiques existantes ou en projet ou selon des solutions qui restent à définir selon les cas.

Il s'agit :

- pour les déchets à destination des **centres de stockage existants** :
  - d'entreposages intermédiaires 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 traitement, de conditionnement, avant évacuation vers les installations de l'Andra ;
- pour les déchets à destination des **centres de stockage en projet** :
  - d'entreposages de déchets, notamment anciens, en attente de reprise (RCD), avant évacuation vers d'autres entreposages ;
  - d'entreposages en attente de la disponibilité des filières de stockage ;
  - d'entreposages pour les déchets de haute activité (HA), ceux-ci devant être entreposés plusieurs dizaines d'années en décroissance, avant de pouvoir être pris en charge en stockage profond.

### TAUX D'OCCUPATION DES ENTREPOSAGES DES DÉCHETS RADIOACTIFS À FIN 2021

Le tableau ci-contre recense les entreposages en exploitation à fin 2021 avec leur taux d'occupation. Conformément à l'article 3 de l'arrêté du 9 octobre 2008 modifié, sont présentées les installations accueillant des colis de déchets radioactifs pour lesquels les solutions de gestion définitives n'existent pas ou sont à l'état de projet.

De nouvelles installations sont mises en service afin de prendre le relais des installations plus anciennes, soit parce qu'elles arrivent à saturation, soit parce qu'elles doivent être démantelées. De cette manière, l'ensemble des colis de déchets, tel que ceux en cours de production, dispose d'une capacité d'entreposage existante.



Installation de conditionnement et d'entreposage de déchets actifs (ICEDA) d'EDF

### INSTALLATIONS D'ENTREPOSAGE AUTORISÉES À FIN 2021 DESTINÉES À ACCUEILLIR DES COLIS DE DÉCHETS RADIOACTIFS POUR LESQUELS LES SOLUTIONS DE STOCKAGE N'EXISTENT PAS OU SONT À L'ÉTAT DE PROJET

Déclarant	Site	Typologie de déchets entreposée	Date de mise en service	Capacité d'accueil total	Capacité utilisée à fin 2021	Taux d'occupation à fin 2021
Andra	Cires, Bâtiment entreposage (Morvilliers)	Déchets issus d'activités non électrochimiques	2012	6 000 m <sup>3</sup>	945 m <sup>3</sup>	16 %
Framatome	CEZUS (Jarrie)	Déchets radifères	2005	24 000 colis	18 393 colis	77 %
Orano	Bâtiment S (La Hague)	Colis de boues bitumées	1987	20 000 colis	11 928 colis	60 %
Orano	Bâtiment ES (La Hague)	Fûts alpha	1995	30 704 colis	14 483 colis	47 %
Orano	Bâtiment R7 (La Hague)	Colis CSD-V, CSD-B	1989	4 500 colis	4 094 colis	91 %
Orano	Bâtiment T7 (La Hague)	Colis CSD-V	1992	3 600 colis	3 179 colis	88 %
Orano	Bâtiment EEV/SE (La Hague)	Colis CSD-V, CSD-B	1996	4 320 colis	4 316 colis	100 %
Orano	Bâtiment EEV/LH Fosse 30 (La Hague)	Colis CSD-V, CSD-B	2013	4 212 colis	4 201 colis	100 %
Orano	Bâtiment EEV/LH Fosse 40 (La Hague)	Colis CSD-V, CSD-B	2017	4 212 colis	4200 colis	100 %
Orano	Bâtiment ECC (La Hague)	Colis CSD-C	2002	23 584 colis	18 195 colis	77 %
Orano	Bâtiment EDS/EDT (La Hague)	Colis CBF-C'2 et CAC	1990	6 512 colis	6 208 colis	95 %
Orano	Bâtiment EDS/ADT2 (La Hague)	Colis CBF-C'2	2008	2 759 colis	1 200 colis	43 %
Orano	Bâtiment EDS/EDC-A (La Hague)	Colis de coques et embouts cimentés	2009	1 125 colis	1 125 colis	100 %
Orano	Bâtiment EDS/EDC-B et C (La Hague)	Colis de coques et embouts cimentés	1990	1 656 colis	822 colis	50 %
Orano	Bâtiment D/E EDS (La Hague)	Colis de coques et embouts cimentés	1995	5 280 colis	4 548 colis	86 %
CEA DAM	Entreposages de déchets tritiés (Valduc)	Déchets tritiés	1995	5 000 colis	3 732 colis	75 %
CEA civil	Entreposage des colis d'enrobés bitumineux (nouvelle génération) (Marcoule)	Colis de boues bitumées	2012	16 620 colis	13 036 colis	78 %
CEA civil	Entreposage des colis d'enrobés bitumineux (nouvelle génération) (Marcoule)	Colis de boues bitumées	2000	11 500 colis	11 257 colis	98 %
CEA civil	Entreposage des colis de déchets vitrifiés (production) (Marcoule)	Colis de déchets vitrifiés et colis de déchets d'exploitation de l'atelier de production	1978	3 800 colis	3 473 colis	91 %
CEA civil	DIADEM (Marcoule)	Colis de déchets irradiant et alpha de démantèlement	2025	2 430 colis	0 colis	0 %
CEA civil	INB 56 (Cadarache)	Colis divers	1968	25 999 m <sup>3</sup>	6 197 m <sup>3</sup>	24 %
CEA civil	INB 164 (Cadarache)	Colis 500L, 870L, coques béton 500L de boues de filtration	2006	7 488 colis	4 309 colis	58 %
CEA civil	ICPE 420 et 465 (Cadarache)	Déchets radifères	1992	26 800 colis	25 302 colis	94 %
CEA civil	Entreposage des colis de déchets vitrifiés (pilote) (Marcoule)	Colis de verres du pilote	1976	640 colis	216 colis	34 %
CEA civil	Entreposage des colis d'enrobés bitumineux (ancienne génération) (Marcoule)	Colis de boues bitumées	1966	60 000 colis	52 173 colis	87 %
EDF	ICEDA (Bugey)	Colis cimentés	2020	2 180 colis	0 colis	0 %
EDF	SILOS (Saint-Laurent A)	Déchets en graphite	1971	2 000 tonnes	2 000 tonnes	100 %
Solvay	Usine Chef de Baie (La Rochelle)	Déchets radifères	1988	56 980 m <sup>3</sup>	7 593 m <sup>3</sup>	13 %

<sup>1</sup> Le code de l'environnement définit l'entreposage à l'article L. 542-1-1 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, avec intention de les retirer ultérieurement ».

## LOCALISATION DES ENTREPOSAGES DES DÉCHETS RADIOACTIFS

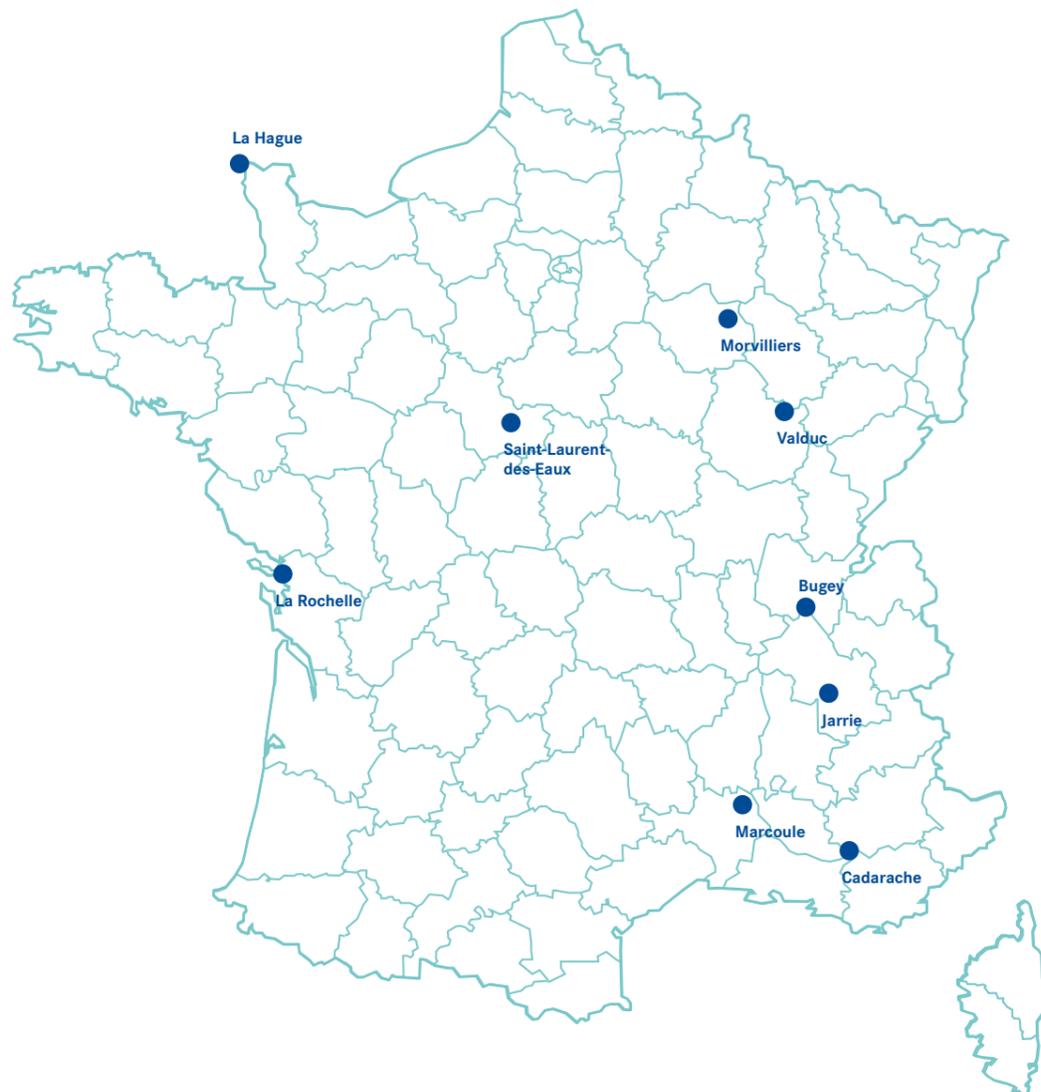
La localisation des entreposages destinés à accueillir des colis de déchets radioactifs pour lesquels les solutions de stockage n'existent pas ou sont à l'état de projet au 31 décembre 2021 est présentée ci-dessous.

La nature, la quantité de déchets entreposés et les lieux d'entreposage sont décrits dans l'*Inventaire géographique* disponible sur le site internet de l'*Inventaire national*. [inventaire.andra.fr](http://inventaire.andra.fr)



Entreposage des colis de déchets de haute activité sur le site Orano de La Hague

## LES SITES D'ENTREPOSAGE DES DÉCHETS RADIOACTIFS AU 31 DÉCEMBRE 2021



## PRÉVISIONS D'EXTENSION OU DE CRÉATION D'ENTREPOSAGES DES DÉCHETS RADIOACTIFS À FIN 2021

Les producteurs prévoient des extensions ou le déploiement de nouvelles installations afin de disposer des capacités d'accueil suffisantes pour entreposer les colis issus de la production, la reprise et le reconditionnement de déchets radioactifs.

Conformément à l'article 3 de l'arrêté du 9 octobre 2008 modifié, le tableau ci-contre présente les prévisions d'extension ou de création d'entreposage pour la décennie à venir, comme planifiées à fin 2021.

### PRÉVISIONS D'EXTENSION OU DE CRÉATION D'ENTREPOSAGES

Déclarant	Site	Colis de déchets prévus	Date de mise en service prévisionnelle				Capacité d'accueil totale
			S1	S2	S3	S4	
Orano	Bâtiment S (La Hague)	Colis de boues bitumées			2025		1 008 colis
Orano	Bâtiment ES (La Hague)	Fûts alpha			2022*		6 880 colis
Orano	Bâtiment EEV / LH Fosses 50 (La Hague)	Colis CSD-V, CSD-B			2022*		4 212 colis
Orano	Bâtiment EEV / LH Fosses 60 (La Hague)	Colis CSD-V, CSD-B			2027		4 212 colis
Orano	Bâtiment EDS / EDT (La Hague)	Colis CBF-C'2 et CAC			2022*		173 colis
Orano	Bâtiment EDS / EDC-A (La Hague)	Colis de coques et embouts cimentés			2022*		140 colis
Orano	Bâtiment ECC (La Hague)	Colis CSD-C			2025		5 928 colis
CEA civil	INB 164-CEDRA (Cadarache)	Colis 500 L, 870 L, coques béton 500 L de boues de filtration			2029		7 488 colis
CEA civil	Entreposage des colis d'enrobés bitumineux (nouvelle génération) (Marcoule)	Colis de boues bitumées			2027		11 500 colis
CEA DAM	Entreposage de déchets tritiés (Valduc)	Déchets tritiés			2026		2 700 colis
					2027		7 200 colis

\* Planifié à fin 2021, l'extension a effectivement été mise en service durant l'année 2022.

## BESOINS COMPLÉMENTAIRES

Conformément à l'article 3 de l'arrêté PNGMDR du 9 décembre 2022, des données complémentaires sont transmises par les producteurs afin d'évaluer d'ici 2050 les rythmes d'atteinte des capacités maximales autorisées des installations et prévoir le déploiement de nouvelles capacités d'entreposage en fonction des scénarios prospectifs (S1, S2, S3 et S4).

Le tableau ci-contre présente les besoins complémentaires d'ores et déjà identifiés pour répondre aux besoins futurs évalués par les producteurs.

Les besoins complémentaires en capacité d'entreposage des déchets radioactifs pour les trois décennies à venir peuvent dépendre des scénarios prospectifs étudiés dans le cadre de l'*Inventaire national*. En effet, pour certaines typologies de déchets radioactifs, les prévisions de production diffèrent en fonction des hypothèses faites, notamment en ce qui concerne la stratégie de retraitement des combustibles usés.

### BESOINS COMPLÉMENTAIRES EN CAPACITÉ D'ENTREPOSAGE DES DÉCHETS RADIOACTIFS

Déclarant	Site	Colis de déchets prévus	Date de mise en service prévisionnelle				Capacité d'accueil totale
			S1	S2	S3	S4	
Orano	Bâtiment EEV / LH Fosses 70 (La Hague)	Colis CSD-V, CSD-B			2032		4 212 colis
Orano	Bâtiment EEV / LH Fosses 80 (La Hague)	Colis CSD-V, CSD-B			2037		4 212 colis
Orano	Bâtiment EEV / LH Fosses 90 (La Hague)	Colis CSD-V, CSD-B			2042	Pas de besoin	4 212 colis
Orano	Bâtiment EEV / LH Fosses 100 (La Hague)	Colis CSD-V, CSD-B			2047	Pas de besoin	4 212 colis
Orano	Bâtiment ECC2 (La Hague)	Colis CSD-C			2033		23 000 colis
Orano	Bâtiment EDS (La Hague)	Colis CBF-C'2			2035		À définir
Orano	Bâtiment ES (La Hague)	Fûts alpha			2042		7 318 colis
EDF	Entreposage de déchets en graphite (Saint-Laurent)	Colis de chemises en graphite			Début de la décennie 2030		2 000 tonnes
Framatome	CEZUS (Jarrie)	Déchets radifères			À définir		À définir
CEA civil	Entreposage des colis d'enrobés bitumineux (nouvelle génération) (Marcoule)	Colis de boues bitumées			2040		45 000 colis

C'est le cas pour le site Orano de La Hague. Afin de couvrir l'ensemble des potentiels besoins en entreposage, Orano met en place deux stratégies :

- la première concerne les colis de déchets solides d'exploitation cimentés (CBFC'2) et les colis de déchets compactés (CSD-C). Elle vise à définir une capacité d'accueil pour les extensions des bâtiments EDS et ECC à même de couvrir la production future la plus élevée, telle qu'évaluée dans le scénario S1<sup>2</sup> ;
- la seconde concerne les colis de déchets vitrifiés (CSD-V). Le déploiement progressif de fosses dans le bâtiment EEV/LH, à raison de deux par décennie, permet de s'adapter aux éventuelles évolutions de stratégie vis-à-vis du retraitement des combustibles usés, notamment dans le cas d'un arrêt à l'horizon 2040, tel qu'envisagé dans les scénarios S3 et S4. Ainsi, le choix de construire les fosses 90 et 100 entre 2040 et 2050 se fera en fonction de la stratégie énergétique française.

Concernant les sites d'EDF et de Framatome, l'hypothèse sur la durée de fonctionnement des réacteurs du parc actuel étant la même, quel que soit le scénario, les prévisions de production de déchets radioactifs sont équivalentes. Par conséquent, leurs besoins complémentaires en capacité d'entreposage sont indépendants des scénarios.

Pour le CEA civil, ses activités de recherche étant équivalentes dans tous les scénarios étudiés, les besoins complémentaires en capacité d'entreposage sont identiques quel que soit le scénario.

#### ILLUSTRATION N° 1 : DÉMANTÈLEMENT DES SILOS DE SAINT-LAURENT-DES-EAUX (EDF)

Outre les deux anciens réacteurs UNGG aujourd'hui en phase de démantèlement, le site EDF de Saint-Laurent-des-Eaux dispose de deux silos d'entreposage de chemises de graphite irradié (déchets de faible activité à vie longue) provenant de l'exploitation de ces réacteurs, autorisés par le décret du 14 juin 1971 (INB 74). Cet entreposage figure dans le tableau page 85 sous l'intitulé « SILOS ».

Dans le cadre du démantèlement programmé de ces silos, EDF a pris la décision de créer une nouvelle installation d'entreposage sur le site de Saint-Laurent-des-Eaux afin d'accueillir, au début de la décennie 2030, les colis de chemises de graphite irradié (voir le second tableau page 87 - *entreposage de déchets en graphite*).



Silos de Saint-Laurent-des-Eaux (EDF)

#### ILLUSTRATION N° 2 : REPRISE DES FÛTS D'ENROBÉS BITUMÉS DU SITE CEA DE MARCOULE

Depuis mai 1966, le procédé d'enrobage par bitumage des boues résultant du traitement d'effluents liquides de moyenne et haute activité est mis en œuvre sur le site CEA de Marcoule et a conduit à la production de plus de 60 000 fûts. En l'absence d'exutoire associé, les fûts ont été entreposés sur le site, initialement en fosses (Zone Nord) et en casemates (Zone Sud). Cet entreposage figure dans le tableau page 85 sous l'intitulé *Entreposage des colis d'enrobés bitumineux (ancienne génération)*.

À partir de 2000 et jusqu'à 2018, plus de 10 000 fûts entreposés dans les fosses de la zone nord et les casemates 1 et 2 ont été repris, reconditionnés et entreposés dans le bâtiment d'Entreposage intermédiaire polyvalent (EIP). Ce bâtiment est actuellement composé de deux alvéoles et dispose d'une capacité d'accueil de 11 500 colis (voir page 85 le tableau - *entreposage des colis d'enrobés bitumineux - nouvelle génération*).

Dès 2027, deux alvéoles complémentaires, d'une capacité d'environ 11 500 fûts, seront mises en service, permettant la reprise et l'entreposage des fûts actuellement entreposés dans les casemates 3 et 4. Cette extension d'entreposage figure dans le premier tableau page 87 sous l'appellation *Entreposage des colis d'enrobés bitumineux (nouvelle génération)*.

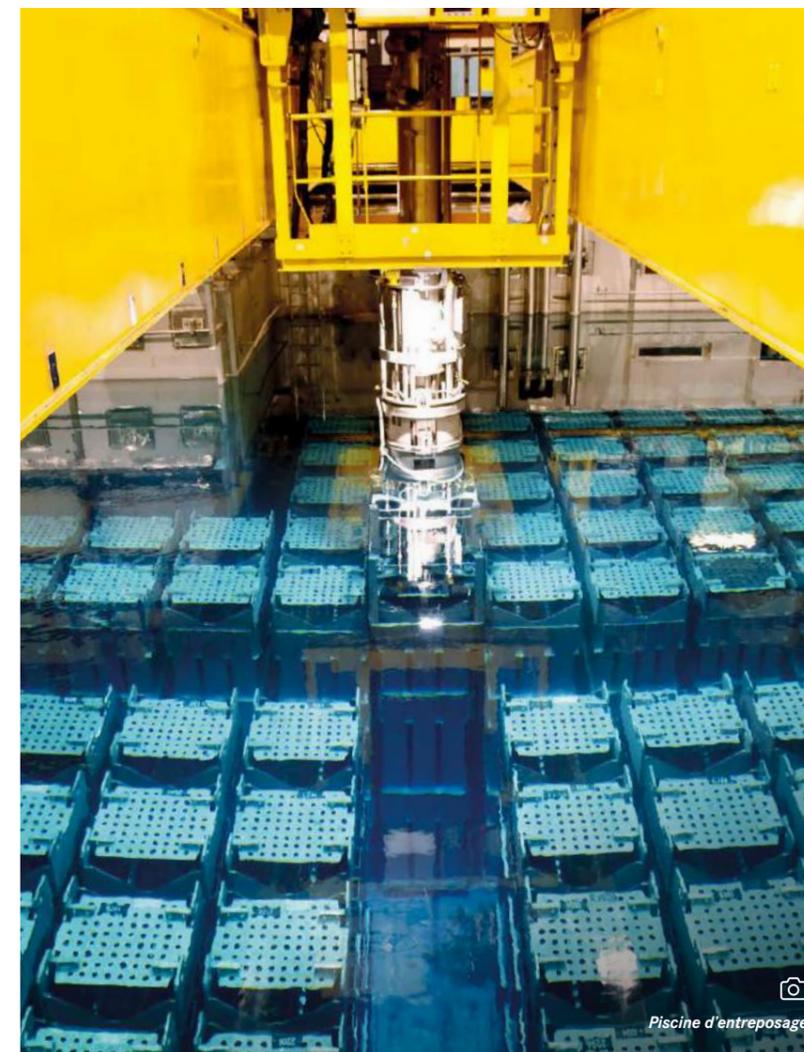
Enfin, dans le cadre de la reprise des dernières casemates, une troisième phase, de 2034 à 2055 environ pourrait suivre, avec le déploiement, à l'horizon 2040, d'une extension de l'EIP d'une capacité complémentaire d'environ 45 000 fûts (voir le second tableau page 87 - *entreposage des colis d'enrobés bitumineux - nouvelle génération*).

## ENTREPOSAGE DES MATIÈRES RADIOACTIVES

Par nature, une matière radioactive est une substance dont une utilisation ultérieure est prévue (voir article L. 542-1-1 du code de l'environnement). Dans l'attente de cette utilisation, la gestion passe par une période d'entreposage en fonction de l'utilisation prévue ou envisagée (voir article L. 542-1-1 du code de l'environnement) avant sa valorisation. Les pistes de valorisation mises en œuvre ou envisagées diffèrent en fonction de la matière radioactive concernée.

Conformément à l'article 3 de l'arrêté PNGMDR du 9 décembre 2022, les producteurs transmettent à l'Andra des informations concernant les entreposages des matières radioactives. Ces informations concernent :

- au 31 décembre 2021, le taux d'occupation des entreposages ainsi que leur localisation et les prévisions d'extension et de création d'entreposage ;
- les besoins en capacités d'entreposage selon les scénarios prospectifs (S1, S2, S3 et S4).



Piscine d'entreposage

## TAUX D'OCCUPATION DES ENTREPOSAGES DES MATIÈRES RADIOACTIVES À FIN 2021

### INSTALLATIONS D'ENTREPOSAGE AUTORISÉES À FIN 2021 DESTINÉES À ACCUEILLIR DES MATIÈRES RADIOACTIVES

Déclarant	Site	Catégories de matières entreposées	Date de mise en service	Capacité d'accueil totale <sup>3</sup>	Taux d'occupation à fin 2021
EDF	Piscines BK* palier 900 MWe - CPO	Combustibles UNE usés, en attente de retraitement (3)	Selon CNPE concernés	4 16 assemblages	78 %
EDF	Piscines BK* palier 900 MWe - CPY	Combustibles UNE usés, en attente de retraitement (3)	Selon CNPE concernés	5 180 assemblages	82 %
EDF	Piscines BK* palier 1300 MWe - P4	Combustibles URE usés, en attente de retraitement (6)	Selon CNPE concernés	1 616 assemblages	83 %
EDF	Piscines BK* palier 1300 MWe - P'4	Combustibles URE usés, en attente de retraitement (6)	Selon CNPE concernés	4 350 assemblages	66 %
EDF	Piscines BK* palier 1450 MWe - N4	Combustibles mixtes uranium-plutonium usés, en attente de retraitement (9)	Selon CNPE concernés	1 356 assemblages	64 %
EDF	Piscine BK* Flamanville 3	Combustibles mixtes uranium-plutonium usés, en attente de retraitement (9)	2020	635 assemblages	42 %
EDF	Piscine APEC (Creys-Malville)	Combustibles usés RNR, en attente de retraitement (12)			
		Autres matières -SPX (25)	2000	1 344 assemblages	99,6 %
CEA	CASCAD (Cadarache)	Autres combustibles usés civils (15)	1990	315 puits	85 %
CEA	MAGENTA (Cadarache)	Uranium enrichi issu du retraitement des combustibles usés, sous toutes ses formes physico-chimiques (20)		1 486 alvéoles	76 %
		Uranium issu du retraitement des combustibles usés, sous toutes ses formes physico-chimiques (21)			
		Uranium naturel extrait de la mine, sous toutes ses formes physico-chimiques (18)			
		Uranium naturel enrichi, sous toutes ses formes physico-chimiques (19)			
		Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques (22)			
		Plutonium séparé non irradié sous toutes ses formes physico-chimiques (17)			
		Thorium, sous la forme de nitrates et d'hydroxydes (23)	2011	1 110 fûts	73 %
CEA	MMB (Cadarache)	Uranium naturel extrait de la mine, sous toutes ses formes physico-chimiques (18)			
		Uranium naturel enrichi, sous toutes ses formes physico-chimiques (19)			
		Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques (22)	1961	102 parcs <sup>4</sup>	90 %
Orano	Entreposages Pu à La Hague	Plutonium séparé non irradié sous toutes ses formes physico-chimiques (17)	1966	6 632 conteneurs	95 %
Orano	Entreposages combustibles usés à La Hague	Combustibles UNE usés, en attente de retraitement (3)			
		Combustibles URE usés, en attente de retraitement (6)			
		Combustibles mixtes uranium-plutonium usés, en attente de retraitement (9)			
		Rebuts de combustibles mixtes uranium-plutonium non irradiés en attente de retraitement (10)			
		Autres combustibles usés civils (15)	1980	2 851 places de panier	93 %
Orano	Atelier T5 (La Hague)	Uranium issu du retraitement des combustibles usés, sous toutes ses formes physico-chimiques (21)	1980	2 000 m <sup>3</sup>	37 %
Orano	Entreposages AC MOX à Mélox	Combustibles mixtes uranium-plutonium avant utilisation ou en cours de fabrication (7)	Avant 2000	149 assemblages	95 %
Orano	Entreposages Pu à Mélox	Plutonium séparé non irradié sous toutes ses formes physico-chimiques (17)	Avant 2000	192 étuis	82 %
Orano	Malvési	Uranium naturel extrait de la mine, sous toutes ses formes physico-chimiques (18)	1958	40 000 tU <sup>5</sup>	82 %
Orano	INB93 (Tricastin)	Uranium naturel, enrichi ou appauvri (18, 19, 22)	1998	50 000 tU	20 %

Déclarant	Site	Catégories de matières entreposées	Date de mise en service	Capacité d'accueil totale	Taux d'occupation à fin 2021
Orano	INB178 hors P17 (Tricastin)	Uranium naturel extrait de la mine, sous toutes ses formes physico-chimiques (18)			
		Uranium naturel enrichi, sous toutes ses formes physico-chimiques (19)			
		Uranium issu du retraitement des combustibles usés, sous toutes ses formes physico-chimiques (21)			
		Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques (22)	1998	46 000 tU	20 %
Orano	P17 (Tricastin)	Uranium issu du retraitement des combustibles usés, sous toutes ses formes physico-chimiques (21)			
		Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques (22)	1998	16 000 tU dont 3 820 pour protection biologique <sup>6</sup>	21 %
Orano	P35 (Tricastin)	Uranium naturel extrait de la mine, sous toutes ses formes physico-chimiques (18)			
		Uranium issu du retraitement des combustibles usés, sous toutes ses formes physico-chimiques (21)			
		Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques (22)	1998	93 500 tU dont 60 000 pour protection biologique <sup>6</sup>	86 %
Orano	P18 (Tricastin)	Uranium issu du retraitement des combustibles usés, sous toutes ses formes physico-chimiques (21)			
		Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques (22)	1998	48 002 tU dont 41 761 pour protection biologique <sup>6</sup>	61 %
Orano	P09 (Tricastin)	Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques (22)	1998	2 184 DV70	100 % <sup>7</sup>
Orano	P19 (Tricastin)	Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques (22)	1998	134 835 tU	41 %
Orano	Parc Bessines	Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques (22)	1998	24 762 DV70 <sup>8</sup>	75 %
Framatome	Recherche (CERCA, Romans-sur-Isère)	Uranium naturel extrait de la mine, sous toutes ses formes physico-chimiques (18)			
		Uranium naturel enrichi, sous toutes ses formes physico-chimiques (19)			
		Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques (22)			
		Thorium sous forme de nitrates ou hydroxydes (23)	Années 1960	33,031 tonnes	27 %
Framatome	Puissance (Romans-sur-Isère)	Uranium naturel extrait de la mine, sous toutes ses formes physico-chimiques (18)			
		Uranium naturel enrichi, sous toutes ses formes physico-chimiques (19)			
		Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques (22)	Années 1990	1 805,052 tonnes	26 %

\* Pour des raisons de sûreté et de disponibilité des réacteurs, la capacité d'accueil totale des piscines BK considérée en exploitation est la capacité totale des piscines moins la capacité correspondant à 1 cœur complet et moins 1 recharge neuve.

<sup>3</sup> Les capacités d'accueil sont exprimées dans des unités diverses, dépendant du type de matière, du conditionnement et de la nature de l'installation.

<sup>4</sup> MMB est composé de six halls d'entreposage, et chacun de ces halls est découpé en parcs ou en travées.  
<sup>5</sup> tU : tonne d'uranium.

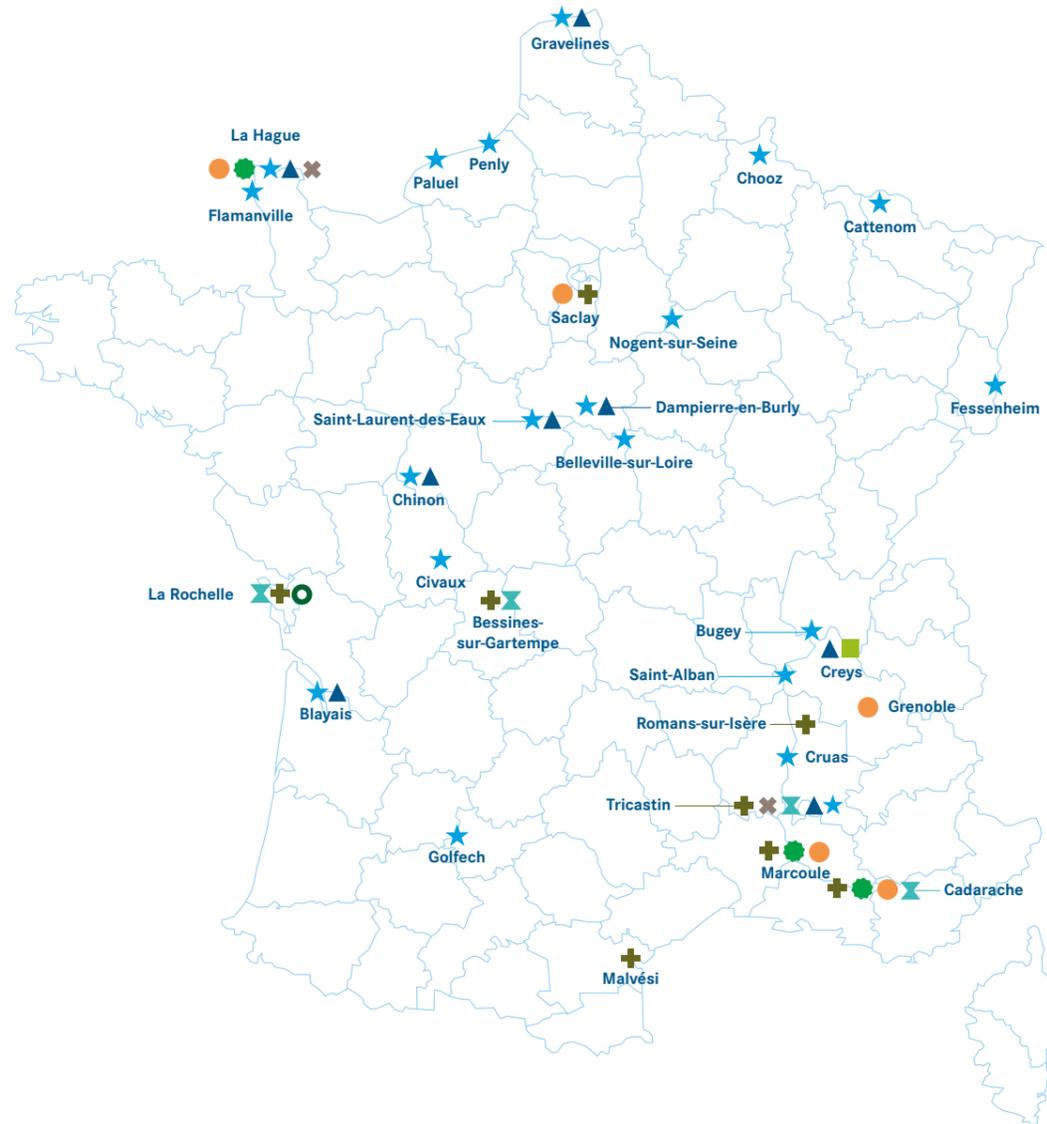
<sup>6</sup> De l'uranium appauvri est employé pour assurer la protection radiologique, en vertu des propriétés atténuantes de ce matériau.

<sup>7</sup> Bien que 100 % des capacités de cet entreposage soient occupées, d'autres entreposages d'uranium appauvri sont actuellement en exploitation et le risque de saturation n'existe pas pour cette catégorie de matière.

<sup>8</sup> Les conteneurs DV 70 sont des cubes d'acier de 3 m<sup>3</sup>

## LOCALISATION DES ENTREPOSAGES DES MATIÈRES RADIOACTIVES

### LES SITES D'ENTREPOSAGE DES MATIÈRES RADIOACTIVES AU 31 DÉCEMBRE 2021



- + Uranium naturel
- x Uranium issu du retraitement des combustibles usés
- ★ Combustibles à base d'oxyde d'uranium (UNE, URE)
- ▲ Combustibles à base d'oxyde mixte (MOX, RNR)
- Combustibles des réacteurs de recherche
- x Thorium
- Matières en suspension
- Plutonium
- Autres matières

## PRÉVISIONS D'EXTENSION OU DE CRÉATION D'ENTREPOSAGES DES MATIÈRES RADIOACTIVES À FIN 2021

Les détenteurs de matières prévoient l'extension ou le développement de nouvelles installations afin de disposer des capacités d'accueil suffisantes pour entreposer les matières qui sont ou seront mises en oeuvre dans le cycle du combustible.

En application de l'article 3 de l'arrêté PNGMDR du 9 décembre 2022, le tableau ci-dessous présente les prévisions d'extension ou de création d'entreposage.

Les entreposages concernés sont pour la plupart déjà autorisés, mis en service en 2022 ou seront mis en service en 2023.

Les installations Fleur 1 et Fleur 2 d'Orano sur le site du Tricastin seront utilisées pour entreposer de l'uranium de retraitement avant son enrichissement, tandis que le parc S9 de Framatome servira à entreposer de l'uranium enrichi issu du retraitement.

L'augmentation de l'autorisation de détention de Framatome Puissance, portée à 2 164 406 kg, permettra de suivre l'augmentation d'activité de confection d'assemblages combustibles.

La demande d'autorisation de création pour le projet de piscine d'entreposage centralisé d'EDF doit être déposée à la fin de l'année 2023.

S'il est autorisé, sa mise en service est prévue en 2034. Dans l'attente de son exploitation, une opération de densification des piscines de l'usine Orano La Hague est en cours d'inscription par l'autorité de sûreté nucléaire et permettra d'augmenter la capacité d'environ 3 200 tML supplémentaires. La décision sur ce projet est attendue en 2024. L'entreposage à sec des combustibles sera également étudié si cela devenait nécessaire et pourrait débuter en 2029 pour un potentiel de 650 tML.

Enfin, le plutonium étant utilisé pour la confection d'assemblages combustibles MOX et ceux-ci étant livrés au client EDF au fur et à mesure de leur production, l'usine Mélox ne nécessite pas de capacités d'entreposage supplémentaires pour les matières radioactives employées.

### PRÉVISIONS D'EXTENSION OU DE CRÉATION D'ENTREPOSAGE À VENIR

Déclarant	Site	Nature	Catégories de matières prévues	Date de mise en service prévisionnelle	Capacité d'accueil totale
EDF	Piscine d'entreposage centralisé (La Hague)	Création	Combustibles UNE usés, en attente de retraitement (3) Combustibles URE usés, en attente de retraitement (6) Combustibles mixtes uranium-plutonium usés, en attente de retraitement (9)	2034	13 000 assemblages
Orano	P36 - Fleur 1 et Fleur 2 (Tricastin)	Création	Uranium issu du retraitement des combustibles usés, sous toutes ses formes physico-chimiques (21) Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques (22)	2023	42 093 fûts
Framatome	Puissance (Romans-sur-Isère)	Augmentation de l'autorisation de détention	Uranium naturel extrait de la mine, sous toutes ses formes physico-chimiques (18) Uranium naturel enrichi, sous toutes ses formes physico-chimiques (19) Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques (22)	2022	359 354 kg
Framatome	Parc S9 (Romans-sur-Isère)	Création	Uranium naturel extrait de la mine, sous toutes ses formes physico-chimiques (18) Uranium naturel enrichi, sous toutes ses formes physico-chimiques (19) Uranium enrichi issu du retraitement des combustibles usés, sous toutes ses formes physico-chimiques (20) Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques (22)	2022	113,85 tonnes
Framatome	Nouvelle Zone Uranium (Romans-sur-Isère)	Création	Uranium naturel extrait de la mine, sous toutes ses formes physico-chimiques (18) Uranium naturel enrichi, sous toutes ses formes physico-chimiques (19) Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques (22)	2022	46 tonnes

## BESOINS COMPLÉMENTAIRES

Conformément à l'article 3 de l'arrêté PNGMDR du 9 décembre 2022, des données complémentaires sont transmises par les producteurs afin d'évaluer d'ici 2050 les rythmes d'atteinte des capacités autorisées des installations, et ce afin de prévoir le déploiement de nouvelles capacités d'entreposage en fonction des scénarios prospectifs.

Le tableau ci-dessous présente les besoins complémentaires d'ores et déjà identifiés pour répondre aux besoins futurs évalués par les détenteurs (S1, S2, S3 et S4).

Le besoin complémentaire de capacités d'entreposage de combustibles usés UNE, URE et MOX dépend du scénario de politique énergétique : le besoin est identifié dans les scénarios S3 et S4, qui prévoient un arrêt anticipé du retraitement, lequel se traduirait par l'atteinte des capacités maximales autorisées des installations existantes.

Les besoins complémentaires d'Orano pour l'entreposage d'uranium de retraitement dépendent essentiellement de la reprise de la filière URT (fabrication et utilisation de combustibles URE) des centrales nucléaires, menant à un désentreposage de cet uranium pour son enrichissement en vue de la fabrication de combustibles.

### ► BESOINS COMPLÉMENTAIRES EN CAPACITÉ D'ENTREPOSAGE DES MATIÈRES RADIOACTIVES

Déclarant	Site	Catégories de matières prévues	Date de mise en service prévisionnel				Capacité totale d'accueil
			S1	S2	S3	S4	
EDF	Entreposage de combustibles usés à définir	Combustibles UNE usés, en attente de retraitement (3) Combustibles URE usés, en attente de retraitement (6) Combustibles mixtes uranium-plutonium usés, en attente de retraitement (9)	Pas de besoin		Avant 2050		À définir
Orano	Tricastin - Fleur 3 (Tricastin)	Uranium issu du retraitement des combustibles usés, sous toutes ses formes physico-chimiques (21) Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques (22)	Vers 2040		Pas de besoin		À définir
Framatome	Puissance (Romans-sur-Isère)	Uranium naturel extrait de la mine, sous toutes ses formes physico-chimiques (18) Uranium naturel enrichi, sous toutes ses formes physico-chimiques (19) Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques (22)	Avant 2030				3 030 168 kg d'uranium

### COMBUSTIBLES USÉS D'EDF

Les prévisions actuelles de quantité de combustibles usés UNE, URE et MOX à entreposer indiquent que l'atteinte des capacités actuelles de l'usine de La Hague arriverait à l'horizon 2030, et ce, quel que soit le scénario de politique énergétique étudié.

Pour cette raison, EDF porte un projet de développement d'une piscine d'entreposage centralisé sous eau, pour compléter les capacités déjà existantes sur l'usine de La Hague. L'atteinte de la capacité maximale autorisée du bassin de cette piscine (13 000 assemblages combustibles – 6 500 tML) pourrait survenir à l'horizon 2050, dans les scénarios impliquant un arrêt du retraitement. Un besoin complémentaire de capacité serait donc nécessaire à ce même horizon sous forme, par exemple, d'un second bassin.

Une densification des piscines actuelles de La Hague est également en cours d'instruction par l'Autorité de sûreté nucléaire pour couvrir le besoin jusqu'à la mise en service de la piscine d'entreposage centralisé dont la mise en service industrielle est prévue en 2034.

### ► BESOIN COMPLÉMENTAIRE D'ENTREPOSAGE DES COMBUSTIBLES USÉS D'EDF

		Fin 2030	Fin 2040	Fin 2050
Taux d'occupation des piscines existantes d'Orano La Hague		93 %	100 %	100 %
Taux d'occupation du 1 <sup>er</sup> bassin de la future piscine d'entreposage centralisé	S1	Piscine d'entreposage	14 %	72 %
	S2	centralisée EDF pas encore mise en service	12 %	85 %
	S3		14 %	100 %
	S4		17 %	100 %
Besoin complémentaire après le remplissage du 1 <sup>er</sup> bassin de la piscine d'entreposage centralisé	S1	Piscine d'entreposage	-	-
	S2	centralisée EDF pas encore mise en service	-	-
	S3		-	3 012 tML
	S4		-	1 774 tML

### FLEUR 3 (ORANO)

La capacité totale des entreposages du site Orano de Tricastin Fleur 1 et 2 (42 096 fûts) est estimée atteinte à l'horizon 2050. Le besoin d'augmentation de capacité serait d'environ 25 % supplémentaires. Bien qu'une partie du stock d'uranium de retraitement (URT) soit utilisée sous forme de combustible URE, ce désentreposage n'a pas été pris en compte pour l'estimation des besoins complémentaires (Fleur 3).

### FRAMATOME PUISSANCE (ROMANS-SUR-ISÈRE)

Après une autorisation d'augmentation de la capacité totale d'accueil en 2022, passant d'environ 1 800 tonnes d'uranium à environ 2 100 tonnes d'uranium, Framatome estime un besoin de 40 % supplémentaire à l'horizon 2030. Cela correspond à environ 900 kg d'uranium supplémentaires, portant la capacité totale de l'entreposage à environ 3 000 tonnes d'uranium.



Entreposage d'uranium appauvri



Démantèlement de la centrale de Chooz A

# 05

## Les modes de gestion spécifiques

<b>La gestion des situations historiques</b>	<b>98</b>
Les stockages historiques de déchets radioactifs dans les installations de stockage de déchets conventionnels	98
Les stockages historiques de déchets situés au sein ou à proximité d'installations nucléaires de base et de base secrète	100
Les dépôts historiques de déchets à radioactivité naturelle élevée	102
Les stockages de la défense en Polynésie française	103
L'immersion des déchets	103
<b>La gestion des résidus de traitement des mines d'uranium</b>	<b>104</b>
<b>La gestion actuelle des déchets à radioactivité naturelle élevée</b>	<b>106</b>



Certains déchets radioactifs font l'objet de modes de gestion spécifiques.

Il peut s'agir :

- de déchets radioactifs dont les choix de gestion ont été faits à l'époque où ils ont été produits et qui ont, depuis, évolué. Il s'agit des situations historiques. Ces déchets ont pu être stockés au sein ou à proximité d'installations nucléaires, dans des installations de stockage de déchets conventionnels, sur d'anciens sites industriels ou encore en activité ou à proximité de ces sites, ou immergés ;
- des résidus de traitement des mines d'uranium, qui, du fait de leur volume important, font l'objet d'une gestion *in situ* ;
- des déchets à radioactivité naturelle élevée qui, selon leurs caractéristiques radiologiques, peuvent faire l'objet d'un stockage *in situ*, être valorisés, être évacués dans des centres de stockage de déchets conventionnels ou dans les centres de stockage de l'Andra.

Tous les sites sur lesquels sont stockés les déchets radioactifs (hors zones d'immersion internationales) font l'objet d'une surveillance environnementale adaptée, qui permet de vérifier que l'impact lié à ces déchets est négligeable, ou, dans le cas contraire, de prendre les mesures adéquates de protection de l'environnement et des populations.

Les sites mentionnés ici sont référencés dans l'*Inventaire géographique*. Les quantités de déchets présentées dans ce chapitre ne sont pas incluses dans les bilans présentés dans les chapitres 2, 3 et 4, car les déchets correspondants n'ont pas vocation à être pris en charge dans les centres de stockage de l'Andra en exploitation ou en projet, de par leur statut historique et du fait qu'ils sont déjà gérés.

## LA GESTION DES SITUATIONS HISTORIQUES

Certains déchets radioactifs ont pu, par le passé, faire l'objet de modalités de gestion qui ont, depuis, évolué.

Des déchets radioactifs ont été stockés par leur producteur ou détenteur sur des sites qualifiés de « stockages historiques » qui ne sont pas sous la responsabilité de l'Andra.

Il s'agit notamment :

- des installations de stockage de déchets conventionnels ayant reçu des déchets TFA provenant de l'industrie conventionnelle ou nucléaire ;
- des stockages de déchets situés au sein ou à proximité d'installations nucléaires ;
- des dépôts de déchets à radioactivité naturelle élevée sur d'anciens sites industriels ou encore en activité ou à proximité de ces sites ;
- des stockages de la défense en Polynésie française ;
- des zones d'immersion des déchets.

### LES STOCKAGES HISTORIQUES DE DÉCHETS RADIOACTIFS DANS LES INSTALLATIONS DE STOCKAGE DE DÉCHETS CONVENTIONNELS

Des centres de stockage de déchets conventionnels ont reçu, régulièrement ou occasionnellement, des déchets comportant de très faibles quantités de radioactivité avoisinant quelques becquerels par gramme. Il s'agit essentiellement de boues, de terres, de résidus industriels, de gravats et de ferrailles provenant de l'industrie conventionnelle ou de l'industrie nucléaire civile ou militaire.

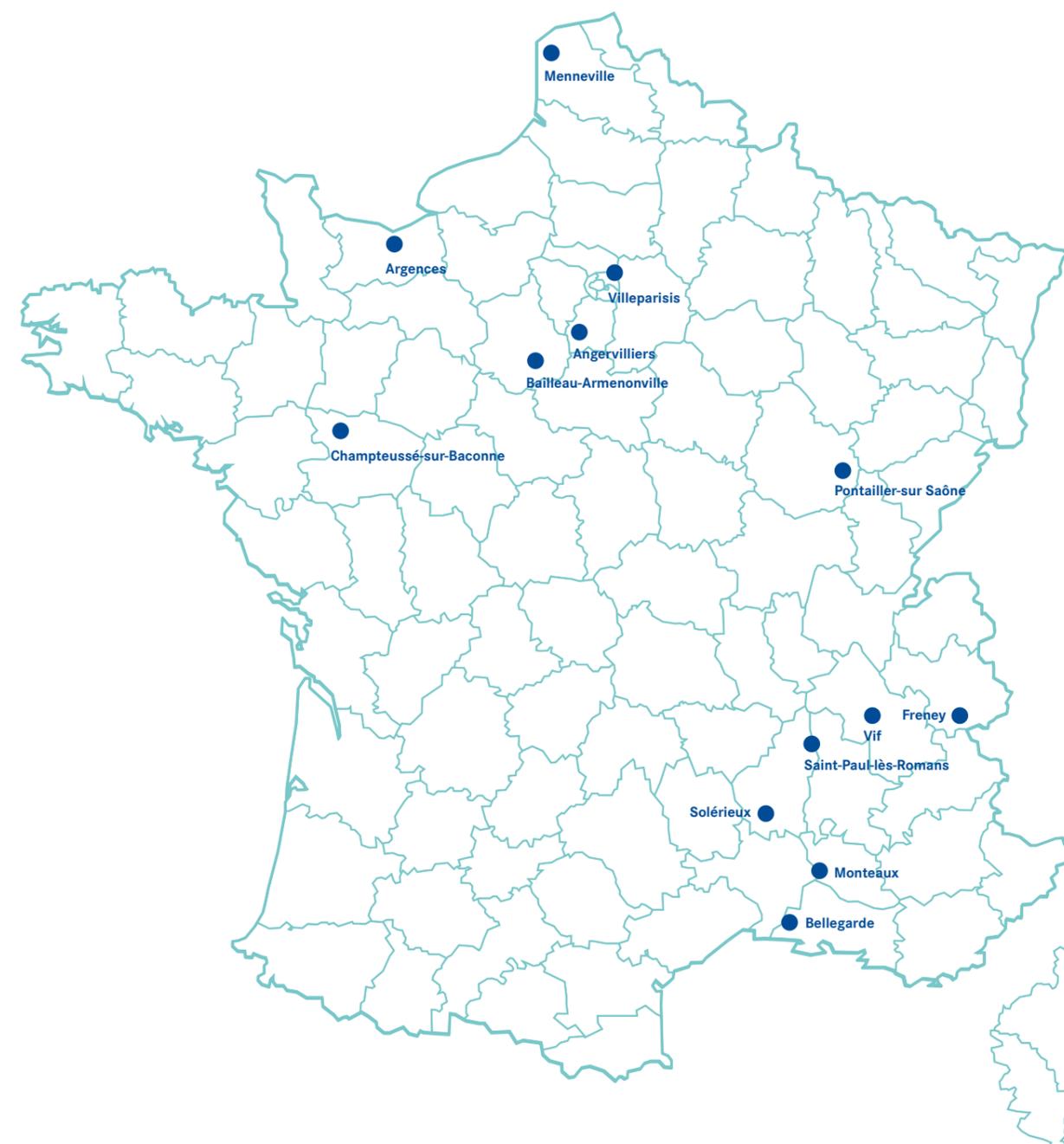
Le stockage de déchets radioactifs dans des installations de stockage de déchets conventionnels est interdit, depuis 1997 pour les installations de stockage de déchets non dangereux, 1992 pour les installations de stockage de déchets dangereux et 2004 pour les installations de stockage de déchets inertes.

Les installations de stockage de déchets conventionnels ayant reçu des déchets radioactifs de manière régulière ou occasionnelle, et référencées dans l'*Inventaire géographique*, sont au nombre de 13.

Elles se trouvent sur les communes suivantes :

- **Angervilliers** dans l'Essonne ;
- **Argences** dans le Calvados ;
- **Bailleau-Armenonville** dans l'Eure-et-Loir ;
- **Bellegarde** dans le Gard ;
- **Champteussé-sur-Baconne** dans le Maine-et-Loire ;
- **Freney** en Savoie ;
- **Menneville** dans le Pas-de-Calais ;
- **Monteux** dans le Vaucluse ;
- **Pontailier-sur-Saône** en Côte-d'Or ;
- **Saint-Paul-lès-Romans** dans la Drôme ;
- **Solérieux** dans la Drôme ;
- **Vif** dans l'Isère ;
- **Villeparisis** en Seine-et-Marne.

### INSTALLATIONS DE STOCKAGE DE DÉCHETS CONVENTIONNELS AYANT REÇU DES DÉCHETS RADIOACTIFS



## LES STOCKAGES HISTORIQUES DE DÉCHETS SITUÉS AU SEIN OU À PROXIMITÉ D'INSTALLATIONS NUCLÉAIRES DE BASE ET DE BASES SECRÈTES

Les stockages de déchets situés au sein ou à proximité d'installations nucléaires ont pu recevoir régulièrement ou occasionnellement des déchets comportant, pour la plupart, une radioactivité ajoutée de l'ordre de quelques becquerels par gramme. Au total, une douzaine de stockages historiques est à ce jour recensée.

### L'AUTOROUTE A126 DE CHILLY-MAZARIN

Des terres (1 700 m<sup>3</sup>) et des matériaux très faiblement radioactifs (2 200 m<sup>3</sup>) ont été utilisés sur le chantier de cette autoroute dans les années 1970. Les terres provenaient de l'assainissement des terrains de l'ancienne usine de la Société nouvelle du radium (SNR) à Gif-sur-Yvette et les matériaux très faiblement radioactifs sont issus d'opérations d'assainissement de l'ancienne usine du Bouchet. 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

Cette butte contient notamment des déchets qui seraient aujourd'hui catégorisés TFA (24 600 m<sup>3</sup>) 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

Des remblais de déchets qui seraient aujourd'hui catégorisés TFA (17 m<sup>3</sup> de débris en grès d'anciennes canalisations et 57 m<sup>3</sup> de gravats et terres) ont été mis en place au niveau des fondations nord et sud du bâtiment 133 du centre de Saclay.

### LE BASSIN BÉTONNÉ DE L'ANCIEN PILOTE DE DÉGAINAGE DU CENTRE CEA DE MARCOULE

Il s'agit d'un ancien bassin qui a été équipé pour dégainer sous eau les combustibles pendant quelques mois avant que l'atelier dédié ne soit mis en actif en 1959. Ce bassin semi-enterré, contenant quelques machines et matériels, a ensuite été rempli de béton. Ce bassin d'un volume total de 1 116 m<sup>3</sup> 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.

### LA DÉPOSANTE INTERNE DE MARCOULE

Le volume actuel est estimé à environ 126 000 m<sup>3</sup> 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 dépositante jusqu'au terrain naturel rencontré entre 5 et 12 m de profondeur.

À souligner que les investigations menées n'indiquent pas de marquage radiologique, cependant, la cohérence entre les pratiques de gestion mise en œuvre amène par précaution à déclarer cette dépositante comme celles de même nature à Cadarache (ZEDI) et à Valduc.

### LES TRANCHÉES DE MARCOULE

Quatre tranchées ont été successivement exploitées de 1963 à 1993 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. À la fin de l'exploitation de chacune des tranchées, des remblais ont été mis en place sur 1 m à 1,5 m au-dessus des déchets. Les quatre tranchées contiennent approximativement 50 000 m<sup>3</sup> de déchets.

### LA ZONE D'ENTREPOSAGE DE DÉCHETS INERTES (ZEDI) DU CENTRE CEA DE CADARACHE

Cette zone de stockage de déchets a été créée à l'ouverture du centre. 192 000 m<sup>3</sup> de déchets inertes y ont été stockés entre 1961 et 2007, dont 1 650 m<sup>3</sup> de déchets contaminés (4 600 MBq) stockés entre 1963 et 1991. Le plan de surveillance chimique et radiologique de la zone prévoit une surveillance de la nappe par des piézomètres avec des prélèvements semestriels ou annuels en fonction des paramètres mesurés.

### LES Puits D'EXPÉRIMENTATION DU PEM – POLYGONE D'EXPÉRIMENTATION DE MORONVILLIERS

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 des 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 le Délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection pour les activités et installations intéressant la défense (DSND) au préfet. Enfin, la cartographie radiométrique 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

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 les dépôts de combe. Les déchets et les 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 sont estimés entre 100 000 à 150 000 m<sup>3</sup> et le niveau de contamination radioactive est estimé nul ou très faible par le CEA. Ces aires de stockage font l'objet d'une surveillance, notamment par des piézomètres situés en aval des zones de stockage.

### LE STOCKAGE DE L'AIRE 045 DU CENTRE CEA DE VALDUC

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<sup>3</sup>. Cette aire de stockage fait l'objet d'une surveillance. Des piézomètres situés en aval permettent notamment d'en assurer la surveillance.

### LA BUTTE DU CENTRE DE PIERRELATTE

Cette butte, d'une superficie d'environ 37 000 m<sup>2</sup>, a été formée au début des années 1960. Entre 1964 et 1977, des tranchées ont été réalisées afin d'y stocker environ 14 000 m<sup>3</sup> de déchets comprenant des fluorures 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

La présence d'environ 130 m<sup>3</sup> 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 mètres cubes 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 débris 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 11 piézomètres répartis autour de la butte.

### LA ZONE DE DÉPÔT HISTORIQUE DE DÉCHETS DE FLAMANVILLE

Localisée au niveau de l'actuel parking de l'EPR, cette ancienne zone de dépôt de déchets de chantier date de la construction dans les années 1980 des 2 premières tranches. Elle était constituée de débris naturels divers et de déchets non radioactifs parmi lesquels ont été retrouvés de l'ordre de 3 m<sup>3</sup> de déchets (tenues coton, surchaussures, vinyle) présentant des traces de Cobalt 60 (activité massique < 0,1 Bq/g). Les travaux d'excavation ont retiré 9 000 tonnes de matériaux, dont ces déchets radioactifs. Les analyses radiochimiques des prélèvements de terres et gravats et ceux réalisés dans les puits piézométriques ont permis de confirmer l'absence de tout marquage des sols ou des eaux. Les déchets radioactifs ont été évacués et orientés vers la filière de gestion adaptée.

## STOCKAGES HISTORIQUES DE DÉCHETS SITUÉS AU SEIN OU À PROXIMITÉ D'INSTALLATIONS NUCLÉAIRES DE BASE ET DE BASES SECRÈTES



## LES DÉPÔTS HISTORIQUES DE DÉCHETS À RADIOACTIVITÉ NATURELLE ÉLEVÉE

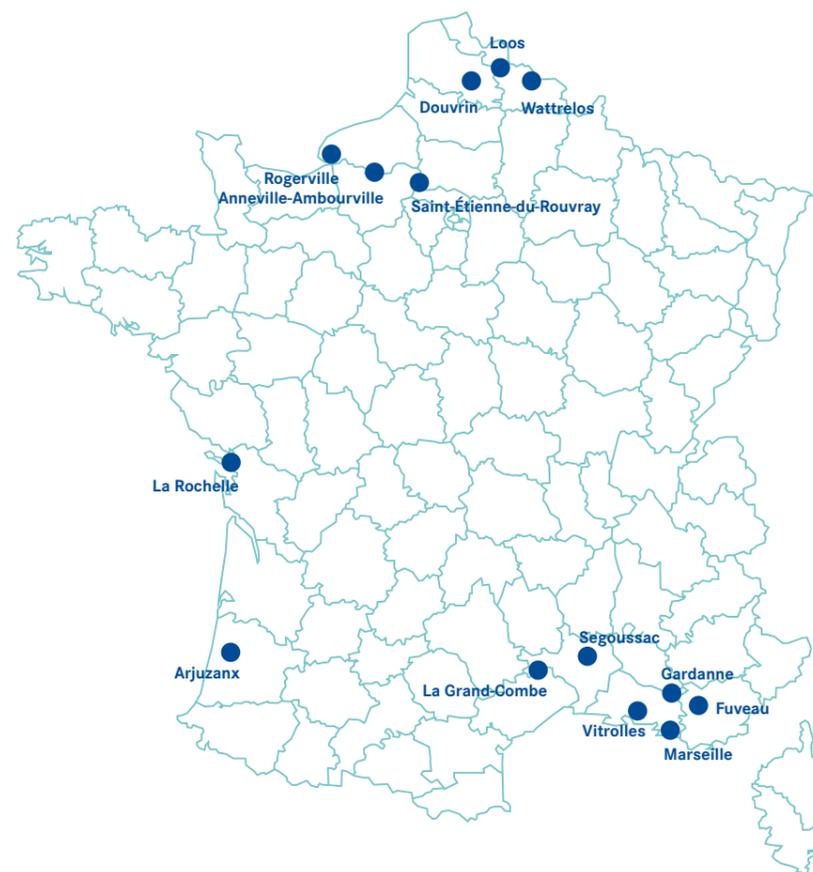
Plusieurs dizaines de dépôts de déchets contenant de la radioactivité naturelle élevée sont référencés dans l'*Inventaire géographique*. Il s'agit notamment de dépôts de déchets de phosphogypses provenant de la production d'engrais, de résidus de la production d'alumine et de cendres de charbon issues des centrales thermiques, pour certaines encore valorisables. Le code de l'environnement s'applique à ces dépôts, notamment la mise en place d'une surveillance afin de contrôler qu'il n'y a pas de pollution de l'environnement significative. La plupart de ces dépôts de déchets NORM historiques peuvent être comparés à des déchets de très faible activité (TFA) possédant un niveau de radioactivité extrêmement faible, voire nul.

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

- les stockages de résidus issus de la production d'alumine : **Gardanne, Vitrolles, Marseille** (Aygaldes, La Barasse-Saint-Cyr, La Barasse-Montgrand), **Segoussac** ;
- les stockages de cendres de charbon issues des centrales thermiques et non valorisables : **La Grand-Combe, Fuveau, Arjuzanx** ;
- les stockages 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, Douvrin, Rogerville, Saint-Étienne-du-Rouvray, Wattrelos** ;
- la lagune de Vernay à **Loos**. Ce site de traitement de minerai a généré des boues de filtration qui ont été stockées (3 600 m<sup>3</sup>) sur le site ;
- les zones portuaires de **La Rochelle** dont les installations ont été remblayées par des résidus provenant des activités historiques de production de terres rares à partir de minerai de monazite : le site de l'usine Chef-de-Baie à La Rochelle sur lequel 35 000 m<sup>3</sup> de résidus solides issus du traitement de la monazite ont été utilisés comme remblai, le port de La Pallice à La Rochelle : l'usine Solvay a produit des résidus provenant du traitement de matériaux naturels très légèrement radioactifs, 50 000 m<sup>3</sup> de ces résidus ont été utilisés comme remblai sur ce port.

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

### ► DÉPÔTS HISTORIQUES DE DÉCHETS À RADIOACTIVITÉ NATURELLE ÉLEVÉE



## LES STOCKAGES DE LA DÉFENSE EN POLYNÉSIE FRANÇAISE

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 (voir l'*immersion des déchets*, ci-contre).

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. Cette expertise 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. À ce jour, aucun relargage n'a été détecté.



Atoll de Mururoa



Immersion de déchets radioactifs en mer dans les années 1960

## L'IMMERSION DES DÉCHETS

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 jugées 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 immergées 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.

## LA GESTION DES RÉSIDUS DE TRAITEMENT DES MINES D'URANIUM

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 naturel. 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 27 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 des roches excavés pour accéder aux gisements d'intérêt. La quantité des stériles miniers extraits peut être évaluée à environ 170 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. Environ 2 millions de tonnes de stériles miniers, soit 1 à 2 % de la quantité extraite, ont pu être utilisées comme matériaux de remblai, de terrassement ou en tant que soubassements routiers sur des lieux situés à proximité des sites miniers ;
- les résidus de traitement des mines d'uranium (RTMU) 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 quantité peut être évaluée à 50 millions de tonnes. Ces résidus correspondent à des déchets de procédé au sens du code de l'environnement, c'est pourquoi les installations de stockage de ces résidus sont soumises à la nomenclature des ICPE et sont classées sous la rubrique 1735.

Les résidus de traitement sont stockés sur 16 sites, tous à proximité des installations de traitement de minerai d'uranium et correspondent à des déchets de type TFA ou FA-VL caractérisés par leur granulométrie et leur activité massique :

- 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 16 sites de stockage concernés sont :

- **Bauzot** ;
- **Bellezane** ;
- **Bessines-sur-Gartempe** ;
- **Bertholène** ;
- **Gueugnon** ;
- **Jouac** ;
- **La Commanderie** ;
- **La Ribière** ;
- **Le Cellier** ;
- **L'Escarprière** ;
- **Les-Bois-Noirs-Limouzat** ;
- **Lodève** ;
- **Montmassacrot** ;
- **Rophin** ;
- **Saint-Pierre-du-Cantal** ;
- **Teufelsloch**.

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, Saint-Pierre-du-Cantal, Bessines-sur-Gartempe, Gueugnon, Lodève, Jouac, L'Escarprière, Les-Bois-Noirs-Limouzat et Le Cellier.

Par ailleurs, 3 sites de la Division minière de la Crouzille (Orano, anciennement Cogema puis Areva) 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** ;
- **Margnac** ;
- **Peny**.

Dans le cadre du PNGMDR, Orano 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 géomécanique 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). Les études remises dans le cadre des PNGMDR 2013-2015 et 2016-2018 ont permis :

- d'apporter des éléments concernant la modélisation de l'impact des stockages de résidus miniers ;
- d'améliorer la connaissance des phénomènes de transport de l'uranium des verses à stériles vers l'environnement ;
- d'améliorer la connaissance des mécanismes régissant la mobilité de l'uranium et du radium au sein des résidus miniers uranifères.

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<sup>1</sup>.

Enfin, conformément à la circulaire du 22 juillet 2009<sup>2</sup>, des bilans environnementaux de l'ensemble des sites miniers de responsabilité Orano, 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.

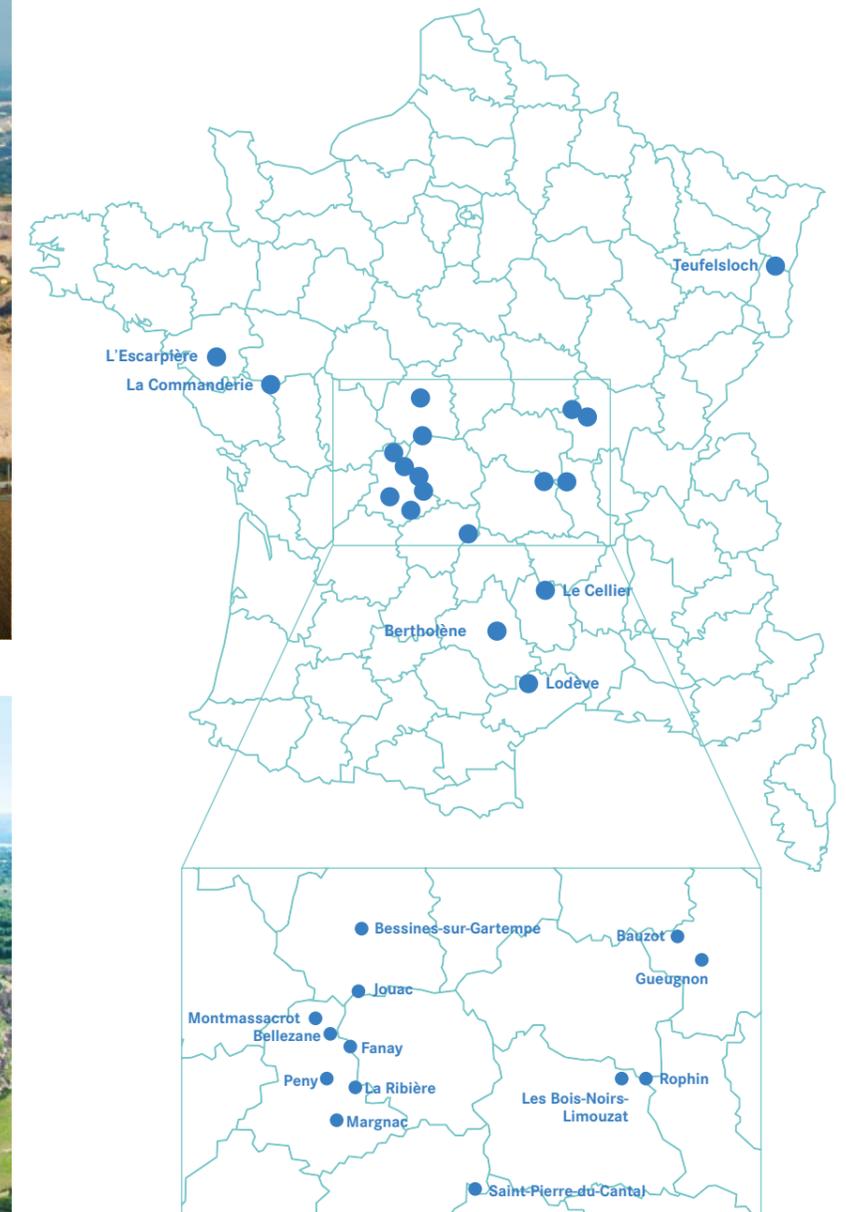


Ancienne mine d'uranium de Bellezane en exploitation...



... et après réhabilitation

### LES SITES MINIERES



<sup>1</sup> Recommandations pour la gestion des anciens sites miniers d'uranium en France. Des sites du Limousin aux autres sites, du court au long terme, rapport final du Groupe d'expertise pluraliste sur les mines d'uranium du Limousin (GEP), septembre 2010.

<sup>2</sup> Circulaire du 22 juillet 2009 relative à la gestion des anciennes mines d'uranium.

## LA GESTION ACTUELLE DES DÉCHETS À RADIOACTIVITÉ NATURELLE ÉLEVÉE

Les déchets à radioactivité naturelle élevée sont des déchets générés par l'utilisation ou la transformation de matières premières naturellement riches en radionucléides naturels (NORM), mais qui ne sont pas utilisées pour leurs propriétés radioactives. Il s'agit de déchets de catégorie de faible activité à vie longue, voire de très faible activité.

Les déchets à radioactivité naturelle élevée font l'objet, depuis l'arrêté du 25 mai 2005<sup>3</sup>, de modalités de gestion spécifiques. En fonction de leurs caractéristiques radiologiques, les déchets à radioactivité naturelle élevée peuvent être :

- gérés *in situ* ;
- valorisés en raison de leurs propriétés physico-chimiques, notamment pour être utilisés dans la fabrication de produits de construction ;
- stockés dans les Installations de stockage de déchets conventionnels (ISD). La réglementation prévoit la possibilité de stocker des déchets à radioactivité naturelle élevée dans des Installations de stockage de déchets dangereux (ISDD), des Installations de stockage de déchets non dangereux

(ISDnD), des Installations de stockage de déchets inertes (ISDI). Quatre installations ont été autorisées à prendre en charge des déchets à radioactivité naturelle élevée. Ce sont les installations de stockage de déchets dangereux de Villeparisis, de Bellegarde, de Champteussé-sur-Baconne et d'Argences. Ces Installations de stockage de déchets dangereux (ISDD) ont effectué les démarches pour accepter ce type de déchets selon les modalités de la circulaire du 25 juillet 2006<sup>4</sup>. Cette circulaire précise entre autres les modalités de réception et de contrôle des déchets dans les installations de stockage de déchets, les conditions de surveillance de l'impact radiologique de l'admission de ces déchets sur l'environnement et les modalités d'information de l'inspection des installations classées au travers du bilan annuel d'exploitation. Les quantités de déchets à radioactivité naturelle élevée reçues sur ces installations sont largement inférieures aux capacités autorisées (moins de 10 % de la capacité autorisée) ;

- stockés dans les centres de stockage de l'Andra. Les déchets à radioactivité naturelle élevée de très faible activité qui ne peuvent être acceptés dans les installations de stockage de déchets conventionnels sont stockés au Cires. Environ 1 400 m<sup>3</sup> de déchets de cette catégorie sont recensés (hors déchets générés par les établissements thermaux, les papeteries et la combustion de biomasse). De plus, les stocks de déchets à radioactivité naturelle élevée relevant de la catégorie FA-VL s'élèvent à environ 21 000 m<sup>3</sup>.

La gestion des déchets à radioactivité naturelle élevée a été profondément modifiée par le décret n° 2018-434 du 4 juin 2018<sup>5</sup> qui entre en vigueur le 1<sup>er</sup> juillet 2018 et qui transpose des dispositions de la directive 2013/59/Euratom du Conseil du 5 décembre 2013 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants.

À fin 2023, seules les installations de stockage de déchets dangereux de Villeparisis, de Bellegarde et d'Argences continuent à stocker des déchets à radioactivité naturelle élevée.

### FOCUS

#### LE SITE D'ORFLAM PLAST À PARGNY-SUR-SAULX

Dans les années 1930, l'usine de traitement de la monazite, qui deviendra ensuite l'usine Orflam-Plast, s'installe à Pargny-sur-Saulx pour fabriquer des pierres à briquets à partir de monazite. L'usine fonctionne jusqu'en 1967 puis ferme définitivement en 1997.

L'extraction de la monazite, minerai riche en thorium, engendra la production de résidus faiblement radioactifs concentrant la radioactivité initialement présente dans la monazite. Ces résidus sont à l'origine de la pollution sur le site qui a, par la suite, été assaini.

Une grande partie des déchets et des terres produits lors de l'assainissement a été évacuée vers le Cires. Une autre partie, majoritairement constituée de gravats très faiblement radioactifs, a fait l'objet d'un confinement sur site (3 000 m<sup>3</sup>).



L'ancien site d'Orflam avant...

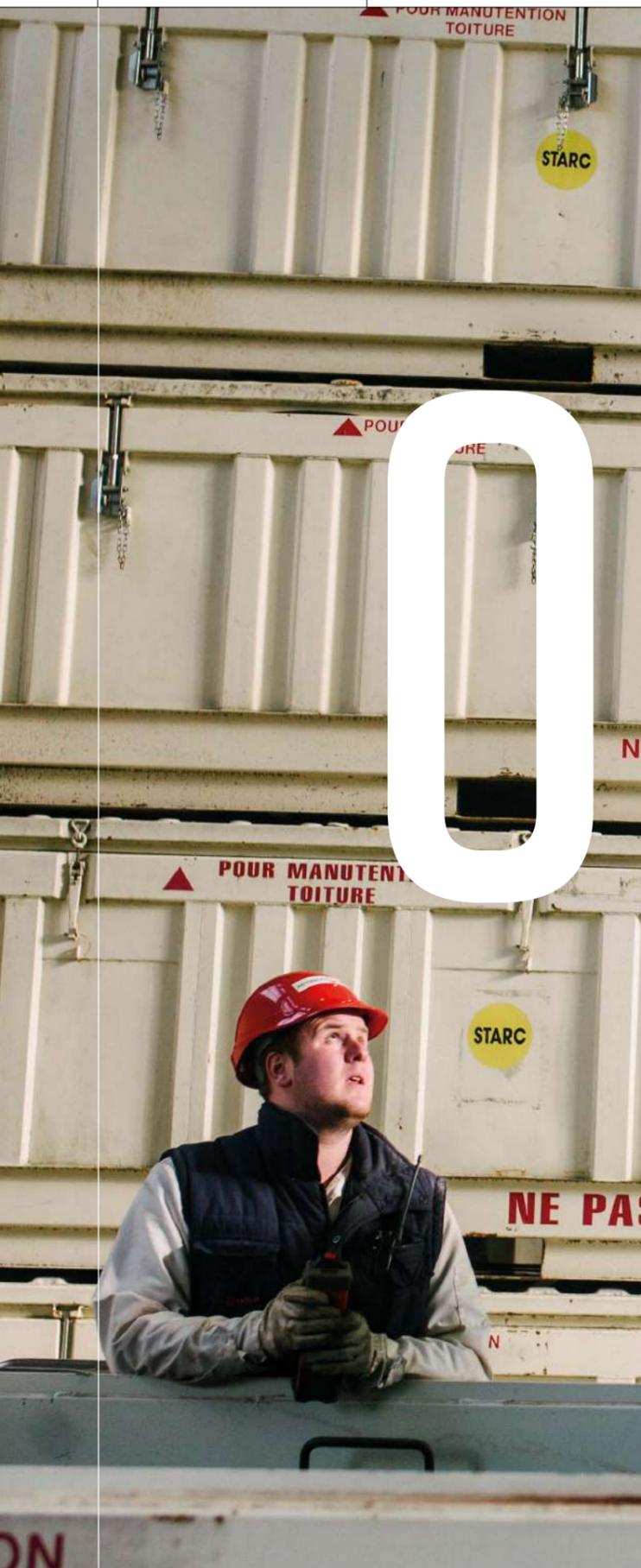


... et après réhabilitation

<sup>3</sup> Arrêté du 25 mai 2005 relatif aux activités professionnelles mettant en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides non utilisés en raison de leurs propriétés radioactives.

<sup>4</sup> Circulaire du 25 juillet 2006 relative aux conditions d'acceptation des déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée dans les centres de stockage de déchets.

<sup>5</sup> Décret n° 2018-434 du 4 juin 2018 portant diverses dispositions en matière nucléaire.



# 06

## Dossiers thématiques



<b>Dossier 1</b> Les solutions existantes et en projet en France pour la gestion à long terme des déchets radioactifs	110
<b>Dossier 2</b> Traitement et conditionnement des déchets radioactifs	118
<b>Dossier 3</b> Démantèlement et assainissement des installations nucléaires de base	128
<b>Dossier 4</b> Les sites pollués par la radioactivité	138
<b>Dossier 5</b> Les déchets radioactifs du secteur médical	146
<b>Dossier 6</b> Les sources scellées	158
<b>Dossier 7</b> Les inventaires des déchets radioactifs à l'étranger	166
<b>Dossier 8</b> Les déchets radioactifs immergés	178
<b>Dossier 9</b> La gestion des déchets TFA et FMA-VC	188



## Dossier 1

# Les solutions existantes et en projet en France pour la gestion à long terme des déchets radioactifs

Introduction	111
Stockage en couche géologique profonde pour les déchets HA et MA-VL	111
Étude en cours pour la gestion des déchets FA-VL	113
Stockage en surface pour les déchets FMA-VC et TFA	114
Les déchets FMA-VC	114
Les déchets TFA	114
Les cas particuliers	116
Les déchets tritiés	116
Les déchets à vie très courte	116
Les déchets de Malvési	117
Les déchets sans filière	117

## 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 (en surface, à faible profondeur ou en couche géologique profonde), seule solution viable permettant le confinement des 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.

Le confinement consiste à isoler les contaminants, de façon à prévenir d'une manière pérenne leur propagation, et à assurer le suivi et le maintien des mesures mises en place lors de la conception de chaque centre de stockage. Cette conception est adaptée aux types de déchets accueillis selon trois composantes.

Aujourd'hui, il existe en France trois centres de stockage de surface (deux en phase d'exploitation et un en phase de fermeture) qui permettent de stocker la majorité des volumes de 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 en projet ou à l'étude. En attendant, les déchets correspondants sont entreposés dans des installations spécifiques, principalement sur leurs sites de production.

### FOCUS

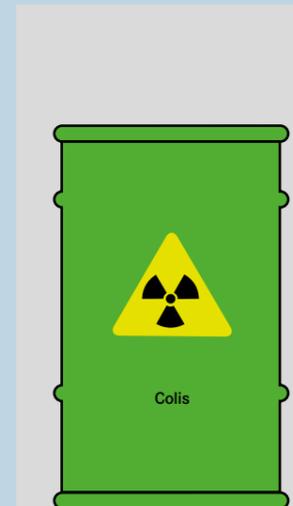
#### LES COMPOSANTES D'UN STOCKAGE

Historiquement, la sûreté d'une installation nucléaire, quelle qu'elle soit, est basée sur la notion de redondance des moyens de protection. Cette notion se traduit par la mise en place entre les radioéléments et la biosphère de barrières successives. Leur rôle est de ralentir et si possible, empêcher la dispersion des radionucléides dans l'écosystème en :

- limitant les afflux d'eau ;
- retardant le relâchement des radioéléments dans la phase aqueuse ;
- retenant les éventuels radioéléments relâchés.

Dans le cas d'une installation de stockage de déchets nucléaires, le système de confinement est constitué de trois composantes :

- les colis qui contiennent les déchets ;
- les ouvrages de stockage dans lesquels sont placés les colis ;
- la géologie du site qui constitue une barrière naturelle.



Barrière ouvragée

Barrière géologique

## STOCKAGE EN COUCHE GÉOLOGIQUE PROFONDE POUR 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 développe 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, ou disposant d'une autorisation de création à fin 2016, y compris ceux résultant de leur démantèlement, et par le retraitement 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 de la Haute-Marne.

Cigéo sera composé d'installations de surface, notamment pour accueillir 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, et pour être réversible, afin de laisser aux générations futures un maximum d'options ouvertes.

En avril 2016, l'Andra a remis pour instruction à l'ASN une série de documents, dont une proposition de plan directeur pour l'exploitation de Cigéo, un dossier d'options de sûreté et un dossier d'options techniques de récupérabilité. L'ASN a rendu son avis sur ces dossiers en janvier 2018<sup>1</sup>.

En juillet 2022, un décret du Gouvernement a reconnu l'utilité publique du projet Cigéo<sup>2</sup>. Puis, en janvier 2023, l'Andra a déposé la demande d'autorisation de création (DAC) du stockage auprès du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires qui a ensuite saisi l'ASN. Les travaux de construction initiale de Cigéo pourraient démarrer après l'instruction de cette demande par l'ASN, une enquête publique et sous réserve de l'obtention d'un décret d'autorisation de création.

Si Cigéo est autorisé, il démarrera par une phase industrielle pilote durant laquelle sera construite la première tranche du stockage et démarrera l'exploitation. Cigéo se déploiera ensuite progressivement durant plus d'un siècle.

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

## FOCUS

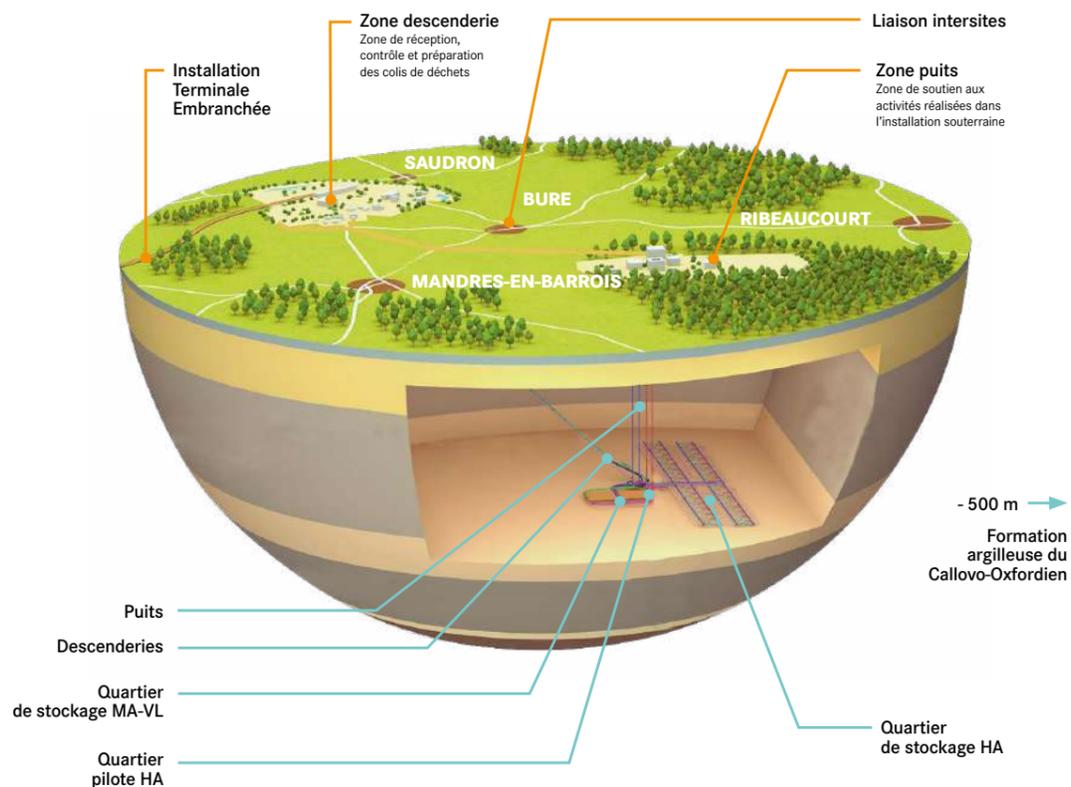
### AVANT LE STOCKAGE, L'ENTREPOSAGE

Contrairement au stockage, l'entreposage est par définition temporaire. Avant d'être stockés, les déchets sont entreposés sur les sites dans des installations dédiées à cet effet. Il s'agit :

- pour les déchets à destination des centres de stockage existants ;
- d'entreposages tampon de déchets conditionnés, à caractère logistique, permettant de gérer les flux vers les installations de l'Andra ;
- d'entreposages de déchets, notamment anciens, en attente de traitement, de conditionnement, avant évacuation ;

- pour les déchets à destination des centres de stockage en projet ;
- d'entreposages de déchets, notamment anciens, en attente de reprise, avant évacuation vers d'autres entreposages ou vers les centres de l'Andra en projet ;
- d'entreposages en attente de la disponibilité des filières de stockage ;
- d'entreposages de décroissance pour les déchets de haute activité (HA), ceux-ci devant être entreposés pendant plusieurs dizaines d'années en décroissance, avant de pouvoir être pris en charge en stockage profond.

### ► SCHÉMA DES INSTALLATIONS DE SURFACE ET SOUTERRAINES DE CIGÉO



<sup>1</sup> Avis n° 2018-AV-0300 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 janvier 2018 relatif au dossier d'options de sûreté présenté par l'Andra pour le projet Cigéo de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde.

<sup>2</sup> Décret n°2022-993 du 7 juillet 2022 déclarant d'utilité publique le centre de stockage en couche géologique profonde Cigéo disponible sur <https://www.legifrance.gouv.fr>

## ÉTUDE EN COURS POUR LA GESTION DES DÉCHETS FA-VL

La loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs, 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 (Uranium naturel graphite gaz) et pour les déchets radifères. L'État a également demandé à l'Andra d'examiner la possibilité de prendre en compte d'autres déchets de faible activité à vie longue (FA-VL) dans ces études.

La solution de stockage étudiée pour les déchets FA-VL est un stockage à faible profondeur dans une couche d'argile. La communauté de communes de Venduvre-Soulaines dans l'Aube, qui 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 et est pressentie pour accueillir un tel stockage. 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'acquies une meilleure connaissance de la géologie locale, afin de déterminer si la nature du sous-sol était adaptée à l'implantation éventuelle d'un centre de stockage pour des déchets de faible activité à vie longue.

Conformément à la demande du PNGMDR 2013-2015, l'Andra a remis un rapport d'étape sur la gestion des déchets FA-VL en 2015. Ce rapport a permis de tirer les enseignements des premières investigations géologiques réalisées ainsi que des avancées des études et des recherches menées sur les déchets par l'Andra et les producteurs (EDF, CEA, Orano, Solvay). Des études de conception préliminaires du stockage ont été menées et ont fait l'objet d'une première évaluation de sûreté. Le rapport d'étape 2015 identifie une zone géographique sur laquelle le projet sera poursuivi. Il identifie également les sujets à approfondir dans la suite du programme d'études. L'ASN, saisie sur ce rapport, a fait paraître ses recommandations dans l'avis n° 2016-AV-264<sup>3</sup>.

Les travaux se poursuivent dans le cadre du PNGMDR 2022-2026 où il est demandé à l'Andra de finaliser la caractérisation des enjeux de sûreté liés au site de la communauté de communes de Venduvre-Soulaines en mettant en exergue les choix éthiques associés. L'Andra devra notamment déposer un dossier présentant les options techniques et de sûreté retenues pour un stockage sur ce site.

Par ailleurs, du fait de l'hétérogénéité des déchets FA-VL, le PNGMDR 2022-2026 demande à l'Andra de proposer des scénarios de gestion, puis, en lien avec les producteurs, d'élaborer un schéma global de gestion des déchets FA-VL.

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 pour ce qui concerne les déchets de l'industrie non électronucléaire.



Campagne d'investigations géologiques FA-VL complémentaires en 2017



Campagne d'investigations géologiques FA-VL complémentaires en 2017

<sup>3</sup> Avis n° 2016-AV-264 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 29 mars 2016 sur les études relatives à la gestion des déchets de faible activité à vie longue (FA-VL) remis en application du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2013-2015, en vue de l'élaboration du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2016-2018.

## STOCKAGE EN SURFACE POUR LES DÉCHETS FMA-VC ET TFA

### 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<sup>3</sup> de déchets ont été stockés au Centre de stockage de la Manche, situé sur la commune de La Hague, entre 1969 et 1994. Ce centre est en phase de fermeture depuis 1994 et ne réceptionne donc plus de déchets.

Le Centre de stockage de l'Aube, en activité depuis 1992, est implanté sur les communes de Soullaines-Dhuys, Épothémont et La Ville-aux-Bois. 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 une barrière naturelle qui retient les 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 de colis de déchets FMA-VC au CSA

### 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 dit « seuil de libération », les déchets sont gérés comme des déchets conventionnels. En France, tous les déchets produits par des installations nucléaires de base, des ICPE ou des installations autorisées au titre du code de la santé publique, 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. Ce centre, qui est une Installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE), couvre une superficie de 46 ha dont 18 dédiés au stockage.

Aujourd'hui, il est destiné à accueillir 650 000 m<sup>3</sup> 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 creusées 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 protégées 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.



Stockage de colis de déchets TFA au Cires

### FOCUS

#### PROJET D'AUGMENTATION DE LA CAPACITÉ AUTORISÉE DU CIRES (ACACI)

À fin 2021, le Cires avait atteint environ 66 % de sa capacité de stockage autorisée de 650 000 m<sup>3</sup>. Dans sa configuration actuelle, il ne suffira pas pour stocker les volumes de déchets TFA à venir dans les prochaines années. Des solutions de gestion complémentaires sont donc actuellement à l'étude.

La solution à moyen terme consiste à augmenter la capacité de stockage autorisée du Cires à 950 000 m<sup>3</sup>, sans faire évoluer l'emprise actuelle de la zone de stockage et tout en conservant son niveau de sûreté (projet Acaci). Cette augmentation de capacité, si elle est autorisée, permettra de prolonger l'exploitation du Cires d'une dizaine d'années, soit à l'horizon 2040.

### FOCUS

#### UN TECHNOCENTRE POUR TRAITER PAR FUSION LES ACIERS TRÈS FAIBLEMENT RADIOACTIFS

Une importante partie des aciers présents dans les déchets TFA pourrait être valorisée dans le cadre du projet « Technocentre ». Porté par EDF et Orano, il vise à créer un centre de traitement par fusion des déchets TFA métalliques près de la centrale nucléaire en démantèlement de Fessenheim.

Les aciers y seront décontaminés par fusion et séparation du « laitier » qui se crée à la surface de l'acier en fusion et permet de concentrer les substances radioactives. Ce procédé permettrait de valoriser, sous réserve de respecter la réglementation (décret du 14 février 2022), la majeure partie du tonnage des déchets TFA métalliques, le reliquat étant conditionné et envoyé vers les centres industriels de l'Andra dans l'Aube.

### FOCUS

#### 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 m<sup>2</sup>.

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 au fur et à mesure pour être stockés lors de la mise en service des centres de stockage.

Les principaux déchets entreposés au Cires à fin 2021 sont :

- des paratonnerres radioactifs ;
- des objets radioactifs provenant de particuliers (fontaines au radium, objets radioluminescents, etc.) ;
- 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, etc.) résultant de l'assainissement de sites pollués par la radioactivité contenant des éléments radioactifs à vie longue (radium, thorium).

## LES CAS PARTICULIERS

Outre les déchets faisant l'objet de modes de gestion spécifiques (voir chapitre 5), certains cas font l'objet de modalités de gestion particulières du fait de leurs caractéristiques physico-chimiques.

### 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, de l'ordre d'une cinquantaine d'années, 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 l'un des centres de stockage de l'Andra. Les déchets tritiés dont l'activité ou le taux de dégazage en tritium est trop important peuvent faire l'objet d'un traitement thermique afin de réduire leur activité ou leur dégazage avant entreposage.

À fin 2021, le volume de déchets tritiés entreposés était d'environ 5 870 m<sup>3</sup>. Ces déchets sont la plupart du temps sous forme solide. Il existe toutefois de faibles quantités de déchets tritiés liquides et gazeux.

La grande majorité des déchets tritiés (de l'ordre de 99 %, soit environ 5 810 m<sup>3</sup> à fin 2021) provient du secteur de la Défense nationale, 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 2021, le volume correspondant était de 60 m<sup>3</sup>. Enfin, l'installation ITER générera également des déchets tritiés et deviendra le premier producteur de déchets tritiés, d'abord dans sa phase de fonctionnement puis dans sa phase de démantèlement. Actuellement, les déchets tritiés sont entreposés sur les sites de production. Le CEA a notamment mis en service en 2012 un centre d'entreposage à Valduc pour accueillir ses propres déchets tritiés de très faible activité.

Dans le cadre du PNGMDR 2022-2026, l'Andra en lien avec le CEA et ITER organisation est chargée de développer des scénarios de gestion pour l'ensemble des déchets tritiés présents sur le territoire national, sur la base d'un inventaire consolidé. Ces scénarios prévoient la mise en œuvre de capacités d'entreposage suffisantes, en particulier pour les déchets fortement tritiés et les sources contenant du tritium des petits producteurs.

Par la suite, un schéma de gestion de l'ensemble des déchets tritiés sera produit présentant les flux prévisibles de déchets à gérer et le calendrier de mise en œuvre associé, en détaillant les dates de dépôt des dossiers correspondant à la création de nouvelles installations ou à la modification d'installations existantes.



Réacteur thermonucléaire expérimental international (ITER)

### 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 diagnostiques ou thérapeutiques (voir chapitre 6 - dossier thématique 5).

Ces déchets sont gérés en décroissance sur leur site de production : ils sont entreposés pendant une durée supérieure à 10 fois la période la plus longue des radionucléides qu'ils contiennent.

Leur radioactivité a alors décliné d'un facteur 1 000 et ils peuvent être évacués après contrôle vers des filières conventionnelles.

### LES DÉCHETS DU SITE ORANO DE MALVÉSI

Le site industriel Orano de Malvési assure depuis 1960 la première étape de conversion de l'uranium nécessaire au cycle du combustible nucléaire. Le procédé mis en œuvre pour effectuer la conversion de l'uranium engendre des déchets solides entreposés dans des bassins de décantation sur le site de Malvési.

La spécificité et le volume de ces déchets, dits historiques, expliquent qu'ils ne s'intègrent pas dans les filières de stockage existantes ou en projet. Ces déchets correspondent à la famille résidus du traitement de conversion de l'uranium (RTCU) de l'*Inventaire national*. Des études de stockage sur site sont en cours afin de définir une solution de gestion définitive pour ces déchets.

Pour les déchets produits depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2019, Orano a travaillé sur deux projets destinés, d'une part à réduire le volume des déchets solides produits et à privilégier les filières de gestion existantes, et d'autre part à traiter (par un procédé thermique) les effluents liquides de procédé, conjointement à ceux déjà entreposés dans les bassins d'évaporation. Ces évolutions du procédé conduisent à différencier deux familles de déchets à produire :

- des déchets solides, composés de fluorures et gypses qui sont produits par l'usine sous forme de boues densifiées et entreposés en alvéoles sur le site ;
- des déchets solides issus du traitement thermique des effluents liquides nitrates qui sont produits par le fonctionnement des installations de conversion, mais aussi par la reprise du stock déjà entreposé dans les bassins d'évaporation.

Les déchets produits après le 1<sup>er</sup> janvier 2019 ne sont plus considérés comme assimilables aux RTCU historiques et sont intégrés, après traitement et conditionnement, aux filières de gestion TFA et FA-VL.

Dans le cadre du PNGMDR 2022-2026, Il est demandé à Orano un rapport définissant les options techniques et de sûreté pour le stockage des déchets entreposés sur l'installation nucléaire de base n° 175, dénommée ÉCRIN, à un niveau de maturité correspondant à une étude de pré-faisabilité.

### LES DÉCHETS SANS FILIÈRE

La majorité des déchets radioactifs possède une filière de gestion existante ou en projet. Toutefois, une faible quantité de déchets, estimée à 350 m<sup>3</sup> à fin 2021 contre 1 800 m<sup>3</sup> à fin 2016 et 3 800 m<sup>3</sup> à fin 2013, ne peut y être rattachée. Ces déchets sont dits « sans filière » de gestion (ou d'élimination). Ils sont définis comme étant des déchets qui n'entrent dans aucune des filières d'élimination existantes ou en projet, dans l'état des connaissances du moment, en raison notamment de leurs caractéristiques physiques ou chimiques particulières. Ils font l'objet d'études visant à définir des solutions de gestion adaptées à chacun d'entre eux.

Dans ce contexte, un groupe de travail a été mis en place dans le cadre du PNGMDR 2010-2012. Ce groupe de travail a permis, outre la consolidation de l'inventaire des déchets sans filière, d'identifier trois catégories de déchets qualifiés de « prioritaires » pour la recherche d'une solution mutualisée.

Il s'agit, entre autres, de déchets contenant de l'amiante libre, de déchets contenant du mercure, des huiles et liquides organiques.



Vue aérienne du site Orano de Malvési

Les études menées dans le cadre des PNGMDR 2013-2015 et 2016-2018 ont permis de trouver des solutions pour les déchets amiantés et pour les déchets contenant du mercure.

S'agissant des huiles et liquides organiques contaminés, des solutions de gestion sont à l'étude. Ainsi, un inventaire des volumes d'huiles et liquides organiques est demandé, dans le cadre du PNGMDR 2022-2026, en les distinguant selon leur compatibilité avec les procédés identifiés, ainsi qu'un plan d'action pour les traiter.

Les travaux se poursuivent dans le cadre du PNGMDR 2022-2026 et permettront de définir et de mettre en œuvre des solutions de gestion pour les déchets sans filière produits dans les installations nucléaires et n'entrant pas dans les catégories ci-avant. Les producteurs dresseront notamment un état des lieux des déchets faisant encore l'objet de difficultés de prise en charge et établiront avec l'Andra un programme de travail pour développer les solutions de gestion associées. Celles-ci seront établies en cohérence avec le code de l'environnement et les recommandations de l'ASN.



## Dossier 2

# Traitement et conditionnement des déchets radioactifs

**Généralités sur le traitement et le conditionnement des déchets radioactifs** 119

**Les principaux procédés industriels de traitement et de conditionnement** 120

Procédés de traitement 120  
 Compactage 120  
 Évaporation 120  
 Incinération 120  
 Fusion 122

Procédés de conditionnement 123  
 Cimentation 123  
 Bitumage 123  
 Vitrification 124  
 Enrobage par des résines polymères 124

**La recherche et développement sur le traitement et conditionnement** 125

Développement d'un liant hydraulique spécifique pour les déchets magnésiens 125

Dem&melt : un outil innovant pour immobiliser et confiner les déchets nucléaires issus des opérations d'assainissement et de démantèlement 125

Elipse : élimination des liquides organiques par plasma sous eau 126

## GÉNÉRALITÉS SUR LE TRAITEMENT ET LE CONDITIONNEMENT DES DÉCHETS RADIOACTIFS

Lorsqu'ils sont produits, les déchets radioactifs se trouvent sous une forme brute qui peut être gazeuse, liquide ou solide. Pour gérer ces déchets, il est le plus souvent nécessaire de les conditionner, c'est-à-dire de fabriquer des « colis de déchets » ayant pour objectif d'assurer le confinement des radionucléides et de permettre leur manutention. En fonction de la nature des déchets, l'opération de conditionnement peut être précédée d'un traitement qui permet de disposer d'un déchet présentant des caractéristiques adaptées à sa gestion à long terme.

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 ou de blocage, pour former un colis de déchets.

Le choix du traitement, d'une éventuelle matrice (d'enrobage ou de blocage) et du conteneur est principalement lié aux caractéristiques radiologiques et physico-chimiques des déchets bruts. Il vise aussi à optimiser le volume conditionné des déchets, notamment en augmentant leur taux d'incorporation dans la matrice dédiée et/ou en réduisant les dimensions des conteneurs.

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

- la matrice cimentaire pour les boues, concentrats d'évaporation, cendres d'incinération ;
- le bitume, notamment pour l'enrobage de boues et de concentrats d'évaporation résultant du traitement des effluents liquides ;
- la matrice vitreuse notamment pour les solutions de produits de fission ;
- la matrice polymère à base de résines époxy pour les résines échangeuses d'ions (REI).

Pour les déchets solides, deux procédés sont couramment utilisés :

- l'enrobage ou le blocage, notamment par un liant hydraulique, des déchets compactés ou non après leur mise en conteneur ;
- l'empilement direct de galettes compactées dans un conteneur, sans ajout de liant hydraulique.

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

Pour 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 des colis de déchets attendus et de celles 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.

*i* « Un déchet conditionné est un déchet qui soit accepté sans traitement complémentaire dans un centre de stockage en exploitation ; soit est conforme aux spécifications d'acceptations 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 ».

« Un déchet préconditionné est un déchet qui n'est pas en vrac et pour lequel un traitement complémentaire (décontamination, blocage, compactage, vitrification, fusion, injection, incinération, etc.) est envisagé par son producteur avant stockage ».

« Un déchet non conditionné est un déchet qui est en vrac, notamment s'il se trouve dans des cuves, des fosses ou des silos ».

Ces définitions sont issues de l'arrêté du 9 octobre 2008 modifié par les arrêtés du 4 avril 2014 et du 16 mars 2017.

## LES PRINCIPAUX PROCÉDÉS INDUSTRIELS DE TRAITEMENT ET DE CONDITIONNEMENT

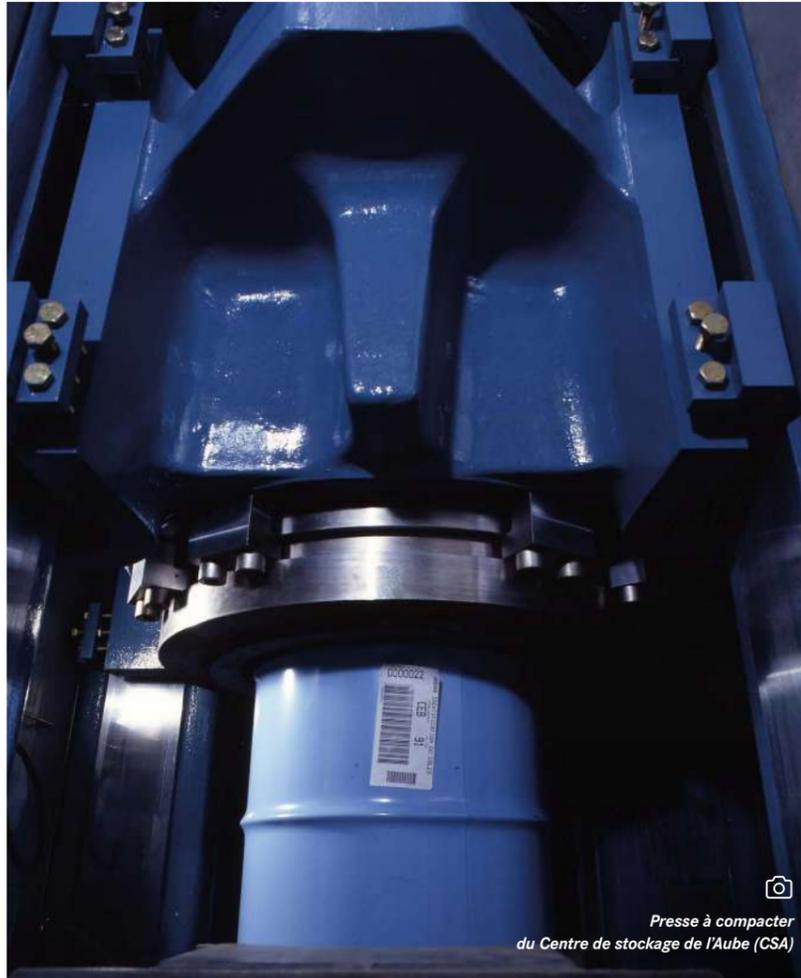
Depuis les années 1950 et la mise en service des premiers réacteurs nucléaires en France, de nombreux procédés de traitement et de conditionnement ont été étudiés et développés pour gérer les déchets produits par l'ensemble des installations nucléaires. Les principaux procédés de traitement et de conditionnement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

### PROCÉDÉS DE TRAITEMENT

#### 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 capacités 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 (sur les sites de La Hague, de Cadarache, etc.), mais également par l'Andra sur les centres de stockage en exploitation [Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) de déchets de très faible activité et Centre de stockage de l'Aube (CSA) dédié aux déchets de faible et moyenne activité, principalement à vie courte].



Presse à compacter du Centre de stockage de l'Aube (CSA)

### FOCUS

#### LES 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, etc., sont compactés et conditionnés dans l'Atelier de compactage des coques (ACC) de La Hague, mis en service en 2002. Les colis contiennent également des déchets solides métalliques d'exploitation compactés.

Ces colis de déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL), qui relèvent de la famille F2-3-02, se présentent sous la forme d'un conteneur en acier inoxydable d'environ 1,4 m de hauteur et 43 cm de diamètre contenant de l'ordre de 600 kg de déchets compactés.



Exemple de colis MA-VL

#### ÉVAPORATION

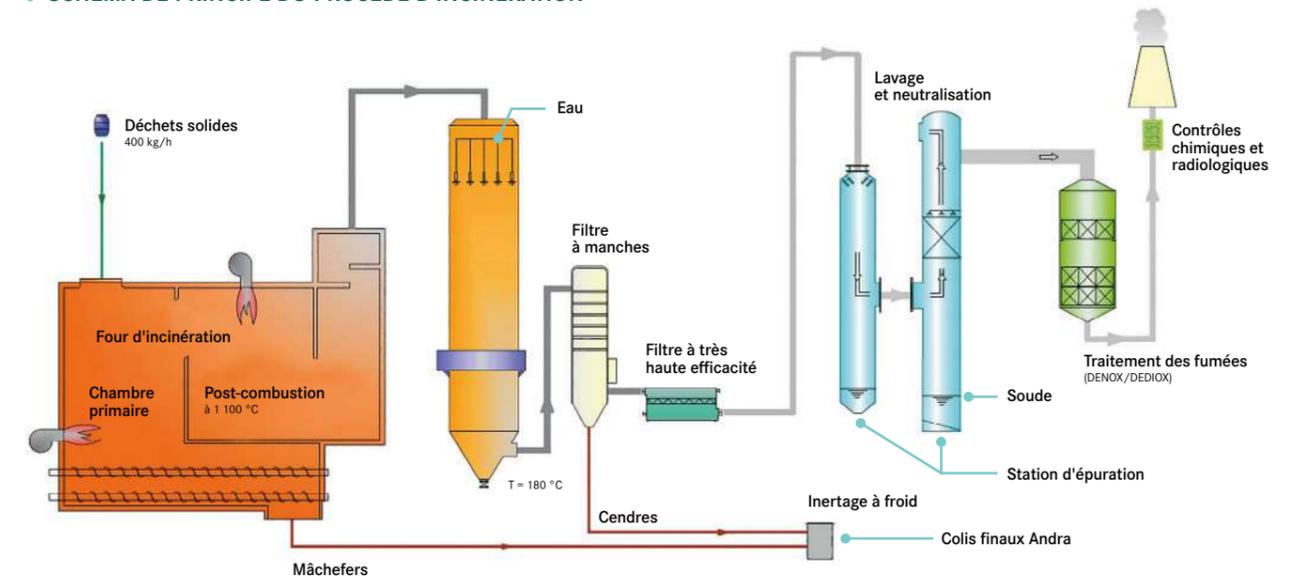
Avant conditionnement, les déchets liquides sont parfois, lorsque leurs caractéristiques chimiques le permettent, concentrés par chauffage et évaporation, ce qui permet d'en réduire le volume. Les concentrats ainsi obtenus sont ensuite conditionnés directement, par cimentation ou bitumage par exemple.

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

#### INCINÉRATION

L'incinération permet de réduire de façon significative la masse et le volume des déchets et de concentrer leur radioactivité dans les cendres. Elle est particulièrement adaptée aux déchets liquides aqueux et organiques, aux solvants ou aux liquides de scintillation ainsi qu'aux déchets solides organiques, de très faible activité (TFA) ou de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC). L'installation Centraco de Cyclife France à Codolet, en service depuis 1999, permet par exemple d'incinérer des déchets liquides et solides.

#### ➤ SCHÉMA DE PRINCIPE DU PROCÉDÉ D'INCINÉRATION



© Centraco de Cyclife France

### FOCUS

#### LES COLIS DE DÉCHETS DE RÉSIDUS D'INCINÉRATION CIMENTÉS

Les résidus d'incinération 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.

Ils constituent ainsi des colis de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC), rattachés à la famille F3-7-01. La masse du colis fini est d'environ 1,5 t pour un volume de 450 l. Un tel colis contient environ 370 kg de résidus bruts d'incinération.

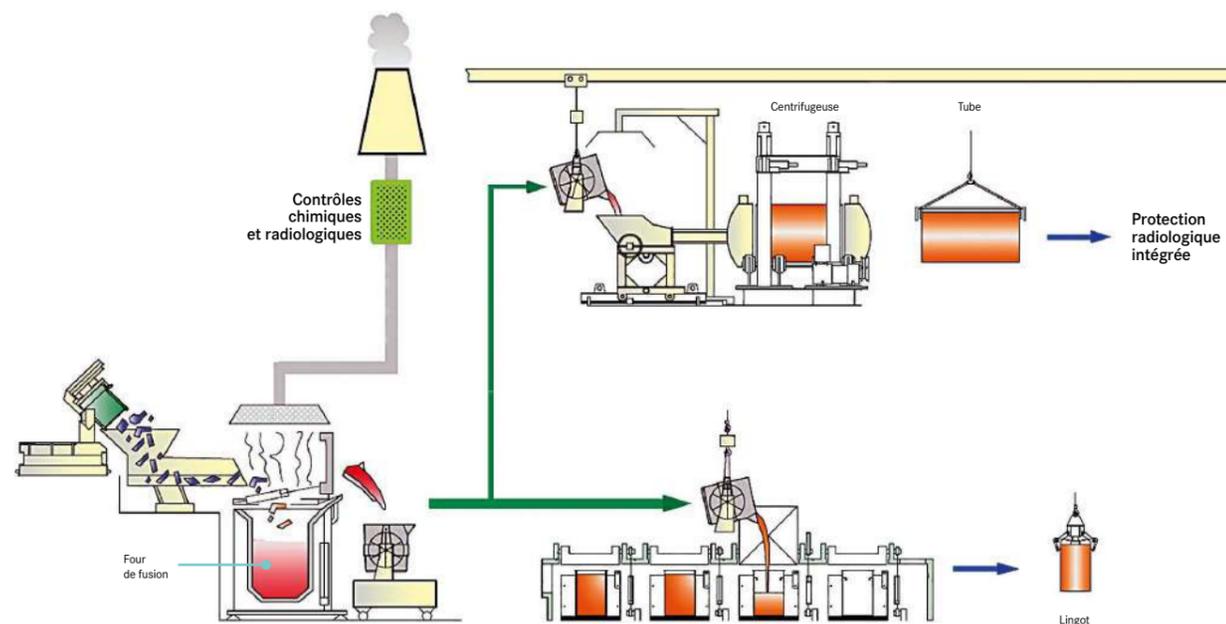


Coupe d'un fût de résidus d'incinération cimentés

**FUSION**

Comme l'incinération, la fusion permet de réduire le volume de déchets et de décontaminer partiellement ces déchets qui peuvent ensuite éventuellement être recyclés au sein de la filière électronucléaire. La fusion est utilisée pour le traitement de déchets métalliques.

La fusion est pratiquée, par exemple, sur l'installation Centraço de Cyclife France pour traiter des déchets en acier ou en métal non ferreux provenant des opérations de maintenance ou de démantèlement des installations nucléaires.

**➤ SCHÉMA DE PRINCIPE DU PROCÉDÉ DE FUSION**

© Centraço de Cyclife France

**PROCÉDÉS DE CONDITIONNEMENT****CIMENTATION**

Le procédé de cimentation est utilisé pour :

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

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

La cimentation est ainsi largement mise en œuvre sur les sites des producteurs de déchets (sur les sites de La Hague, de Cadarache, de Marcoule, etc.). Ce procédé est également pratiqué sur les sites de l'Andra au Cires et au CSA.

**BITUMAGE**

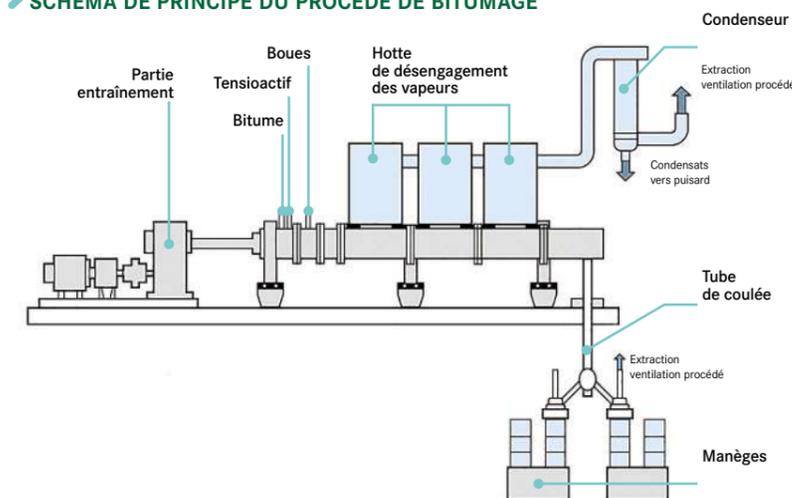
Le procédé d'enrobage par bitumage consiste à mélanger, à chaud, des déchets se présentant sous forme de boues à du bitume. Le mélange obtenu est déshydraté et coulé dans un conteneur où il est refroidi. Le bitume présente des propriétés intéressantes au regard de son pouvoir agglomérant élevé, son imperméabilité, sa faible solubilité dans l'eau, son pouvoir de confinement important, son coût modéré et, enfin, sa disponibilité. Le stockage des bitumes peut nécessiter des dispositions de conception renforcée vis-à-vis de la sûreté en exploitation.

Ce procédé est mis en œuvre sur les sites des producteurs de déchets essentiellement pour conditionner les boues de précipitation résultant du traitement des effluents liquides. Il est aujourd'hui remplacé en grande partie par la cimentation ou la vitrification en fonction de la nature des déchets à traiter.

**FOCUS****LES 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 (pour les déchets de faible et moyenne activité à vie courte, FMA-VC, qui relèvent de la famille F3-3-11) soit entreposés dans l'attente de la disponibilité d'un centre de stockage adapté (pour les déchets de moyenne activité à vie longue MA-VL, et de faible activité à vie longue FA-VL, qui relèvent respectivement des familles F2-3-08 et F9-3-03).

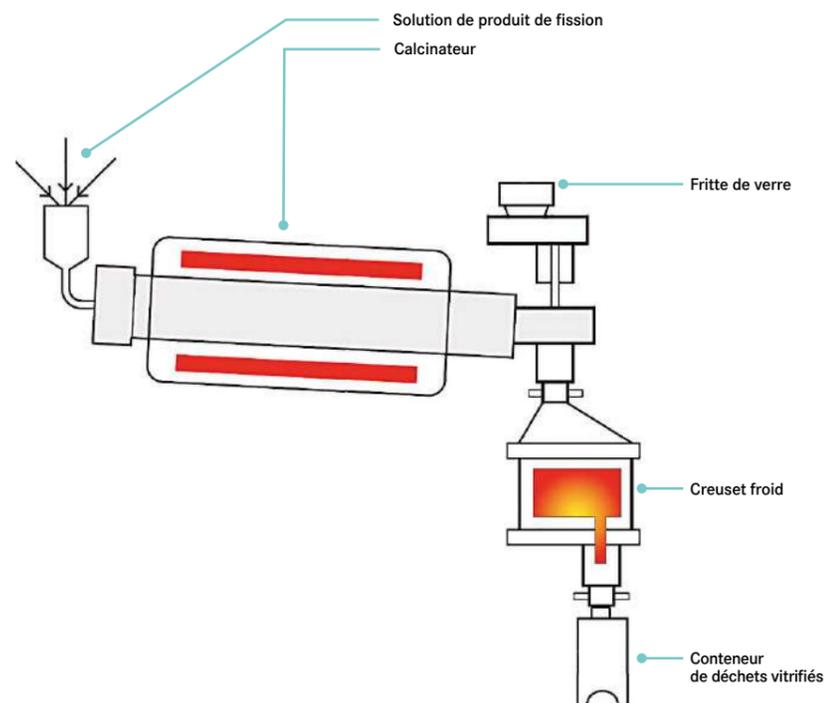
La masse du colis fini est d'environ 2,5 t pour un volume de 1,18 m<sup>3</sup>. Un tel colis contient environ 450 kg de déchets.

**➤ SCHÉMA DE PRINCIPE DU PROCÉDÉ DE BITUMAGE**

**VITRIFICATION**

La vitrification consiste à mélanger 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 acier inoxydable. 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 sur les sites 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 retraitement 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 potentiellement le champ d'application à d'autres types de déchets.

**➤ SCHÉMA DE PRINCIPE DU PROCÉDÉ DE VITRIFICATION**

## LA RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT SUR LE TRAITEMENT ET CONDITIONNEMENT

### DÉVELOPPEMENT D'UN LIANT HYDRAULIQUE SPÉCIFIQUE POUR LES DÉCHETS MAGNÉSIENS

Les déchets magnésiens entreposés sur le site de 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.

Le CEA étudie cette solution de conditionnement en lien avec l'Andra. Si la faisabilité est démontrée, et si l'acceptabilité de mise en stockage est délivrée, le CEA vise un déploiement de ce procédé à court terme sur les déchets magnésiens les plus anciens et les moins actifs (catégorie faible et moyenne activité à vie courte).

### DEM&MELT : UN OUTIL INNOVANT POUR IMMOBILISER ET CONFINER LES DÉCHETS NUCLÉAIRES ISSUS DES OPÉRATIONS D'ASSAINISSEMENT ET DE DÉMANTÈLEMENT

Orano, le CEA et ECM technologies, avec l'accompagnement de l'Andra, ont développé un procédé de vitrification, dénommé DEM&MELT, qui répond aux exigences d'un environnement de démantèlement : il doit être simple, robuste ainsi que rapidement et facilement déployable sur site tout en limitant les coûts d'investissement et d'exploitation. L'objectif est également de proposer un procédé suffisamment souple pour s'adapter à l'incertitude de la composition des déchets à traiter tout en produisant des colis de déchets dont la structure et les performances de confinement sont compatibles avec leur stockage.

DEM&MELT est un procédé thermique dit « In-Can » polyvalent et permettant de traiter une grande variété de déchets de moyenne à haute activité. Les déchets ciblés peuvent être solides – y compris des déchets pulvérulents – liquides, très visqueux et collants.

Ce procédé s'appuie sur un chauffage dans un four à résistances robuste, assurant un bon contrôle de la température et une bonne homogénéité du verre en fusion. La vitrification est réalisée « In-Can », c'est-à-dire que le conteneur est directement utilisé comme pot de fusion ; il ne dispose ni d'agitateur ni de dispositif de coulée.

## FOCUS LES COLIS DE DÉCHETS VITRIFIÉS

La première mise en œuvre industrielle de la vitrification s'est faite sur le site de Marcoule, en 1978. L'atelier dédié à la vitrification, qui est arrêté depuis 2012, a produit les colis de déchets vitrifiés de haute activité relevant de la famille F1-4-01.

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



Colis AVM de déchets vitrifiés

### ENROBAGE PAR DES RÉSINES POLYMÈRES

En fonction de leurs caractéristiques radiologiques et physico-chimiques, les déchets solides peuvent également être enrobés par une résine polymère. Ce procédé est notamment mis en œuvre pour conditionner les résines échangeuses d'ions (REI) 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.

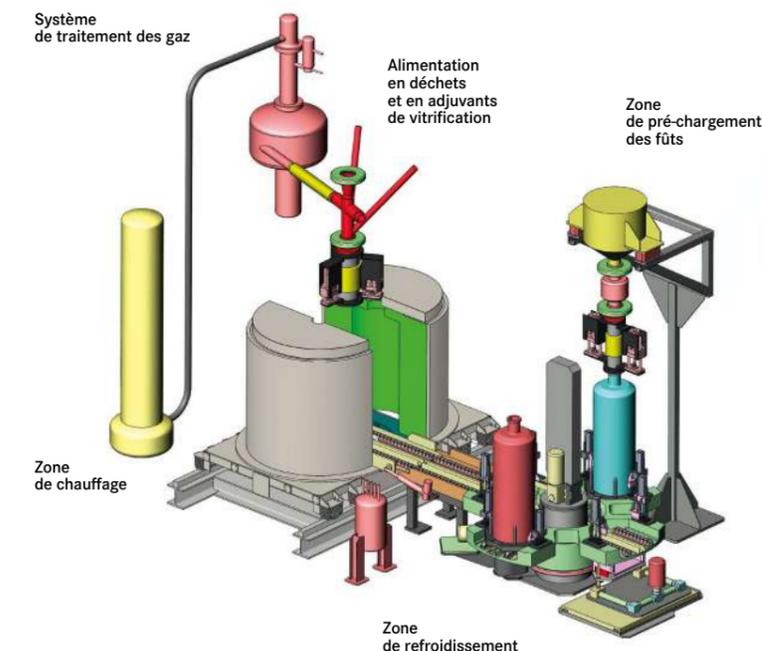
Ce procédé consiste à mélanger les résines échangeuses d'ions avec une matrice époxy puis à les conditionner dans des conteneurs cylindriques en béton.

Certaines REI sont peu transportables en raison de leurs caractéristiques radiologiques ou physico-chimiques. Le procédé de traitement est réalisé *in situ* grâce à des machines mobiles conçues par Centraco de Cyclife France qui permettent de les conditionner dans le respect des spécifications de l'Andra.

La recherche en matière de traitement et de conditionnement des déchets est notamment soutenue par plusieurs dispositifs, qui permettent d'accompagner de nombreux projets :

- le programme Investir l'avenir, dont la gestion a été confiée à l'Andra, et dont plusieurs projets portent sur ce volet ;
- le volet « solutions innovantes pour la gestion des matières et déchets radioactifs » de France 2030.

### ➤ VUE 3D DU PROCÉDÉ DEM&MELT

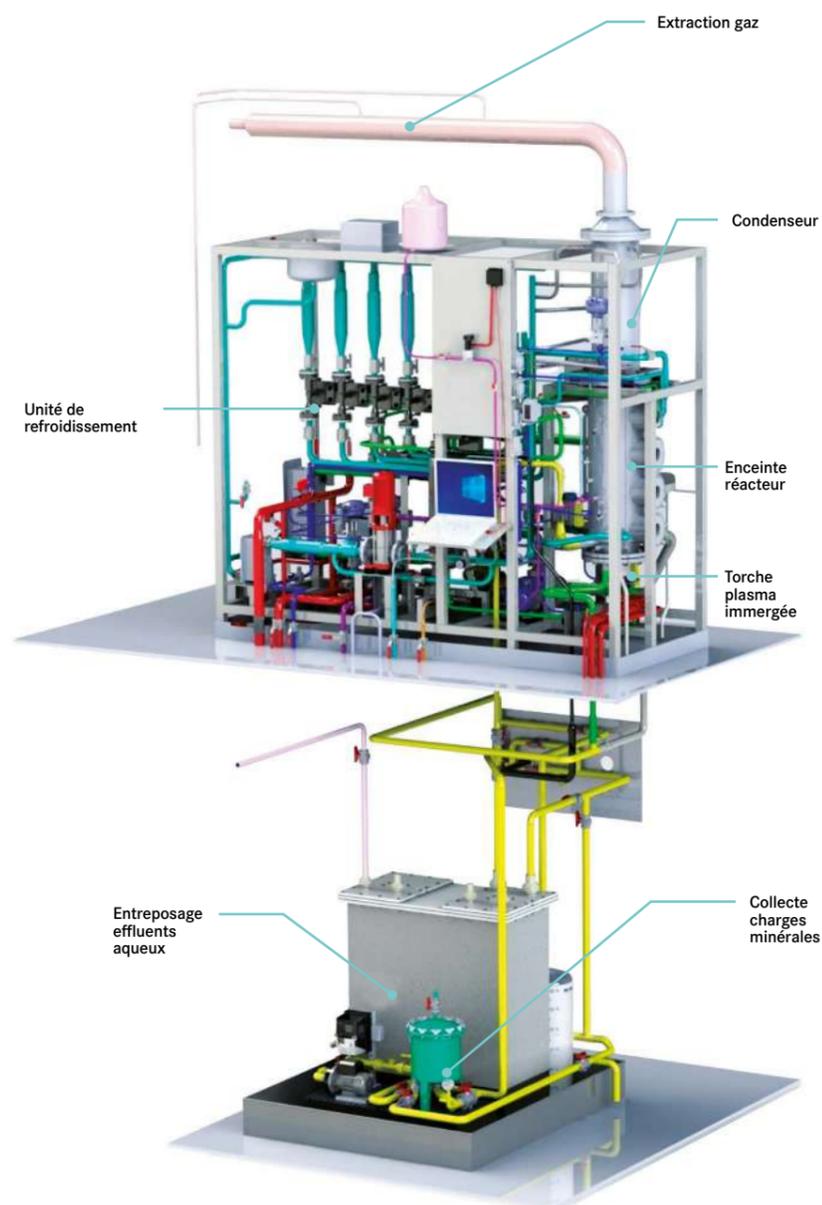


## ELIPSE : ÉLIMINATION DES LIQUIDES ORGANIQUES PAR PLASMA SOUS EAU

Les Déchets liquides organiques radioactifs, dits DLOR, doivent être préalablement solidifiés afin d'être pris en charge en stockage. Dans la majorité des cas, ces liquides sont incinérés dans l'installation Centraco de Cyclife France, et les cendres résultant de l'incinération peuvent ensuite être cimentées. Toutefois, la composition de certains DLOR ne permet pas une prise en charge dans cet incinérateur (en particulier les DLOR fortement chlorés, phosphorés et fluorés ainsi que ceux trop chargés en  $^{14}\text{C}$  et  $^3\text{H}$ ). Ces derniers se trouvent actuellement sans filière de traitement.

Le procédé ELIPSE, en cours de développement au CEA, met en œuvre un plasma d'oxygène de forte puissance, immergé dans une colonne d'eau afin de minéraliser les DLOR. Il s'agit d'une technologie innovante permettant le traitement d'une large variété de solvants organiques dans des gammes de débit autour de 3 l/h et pour des domaines de concentrations chimiques élevées en chlore, phosphore et fluor. Les déchets secondaires produits sont des effluents aqueux contenant des charges minérales et doivent pouvoir être filtrés et gérés selon des voies de traitement existantes. Les développements technologiques réalisés ont permis l'élaboration d'un prototype de taille réelle sur lequel sont réalisés des essais de traitement des DLOR sans filière de gestion. La poursuite du développement du procédé ELIPSE permettrait de proposer une voie de traitement alternative et complémentaire au circuit Cyclife France pour ces déchets.

### ► VUE 3D DU PROCÉDÉ ELIPSE





## Dossier 3

# Le démantèlement et l'assainissement des installations nucléaires de base

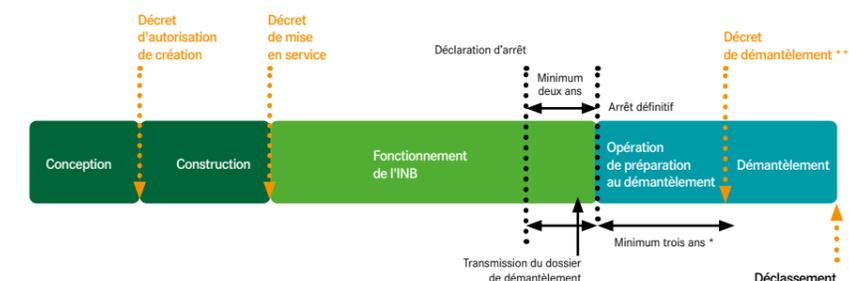
<b>Le processus réglementaire</b>	<b>129</b>
<b>La stratégie de démantèlement</b>	<b>130</b>
<b>Les travaux de démantèlement</b>	<b>131</b>
La préparation des travaux de démantèlement	131
La réalisation des travaux de démantèlement	131
La finalisation des travaux de démantèlement	132
<b>Les déchets issus du démantèlement</b>	<b>133</b>
Les principes de gestion des déchets issus du démantèlement	133
La nature des déchets issus du démantèlement	133
L'estimation des quantités de déchets issus du démantèlement	134
<b>Les opérations de démantèlement en France</b>	<b>135</b>
Illustration n° 1 : les sites de SICN	135
Illustration n° 2 : le site du CEA de Grenoble	135
Illustration n° 3 : la centrale nucléaire de Chooz A	136
<b>L'importance du retour d'expérience pour les futurs chantiers de démantèlement</b>	<b>137</b>

Comme toute activité industrielle, le fonctionnement d'une installation nucléaire s'inscrit sur une durée limitée. Lorsque l'exploitant nucléaire, titulaire de l'autorisation d'exploiter l'installation, décide d'arrêter définitivement son fonctionnement, il engage un processus d'opérations qui amèneront l'installation dans un état où l'impact et le risque résiduel sur le public, les travailleurs et l'environnement seront aussi faibles que raisonnablement possible (principe ALARA) de telle sorte qu'elle puisse être déclassée de la nomenclature des installations nucléaires.

Cette dernière phase de vie correspond au démantèlement de l'installation nucléaire.

La vie d'une installation nucléaire de base comprend quatre phases majeures : sa conception, sa construction, son fonctionnement et son démantèlement.

### PHASES DE VIE D'UNE INSTALLATION NUCLÉAIRE DE BASE



\* Délai prorogeable de deux ans dans certains cas.

\*\* Le décret de démantèlement prend effet à la date à laquelle l'ASN approuve la révision des règles générales d'exploitation et au plus tard un an après la publication du décret.

## LE PROCESSUS RÉGLEMENTAIRE

Le démantèlement des installations nucléaires en France est un processus initié en amont de la date d'arrêt définitif d'exploitation prévue par l'exploitant nucléaire, et se poursuit jusqu'à l'obtention du déclassement de l'installation délivrée par l'autorité de contrôle de l'installation nucléaire.

Ce processus encadré par le code de l'environnement prévoit que l'exploitant transmet :

- une déclaration d'arrêt définitif au ministre chargé de la sûreté nucléaire et à l'ASN, au moins deux ans avant la date d'arrêt prévue ;
- le dossier de démantèlement au plus tard deux ans après la déclaration d'arrêt définitif.

Le démantèlement de l'INB à l'arrêt définitif est prescrit par décret pris après avis de l'ASN et après l'accomplissement d'une enquête publique, dans les trois ans après le dépôt du dossier de démantèlement. Le décret fixe les caractéristiques du démantèlement et son délai de réalisation.

Pour l'application du décret, l'ASN définit les prescriptions relatives au démantèlement nécessaire à la protection des intérêts mentionnés dans le code de l'environnement.

Dans un délai de trois mois après publication du décret, l'exploitant transmet la révision du rapport de sûreté et des règles générales d'exploitation de l'installation à démanteler.

Le décret de démantèlement prend effet à la date à laquelle l'autorité approuve cette révision des règles générales d'exploitation et, au plus tard, un an après la publication du décret.

L'entrée en vigueur du décret autorise le démarrage des opérations de démantèlement de l'installation.

L'exploitant d'une INB démantelée dans son ensemble qui ne nécessite plus les mesures de contrôle prévues adresse ensuite à l'ASN une demande de déclassement.

## FOCUS

## DISTINCTION ENTRE « DÉMANTÈLEMENT » ET « DÉCLASSEMENT »

Le « démantèlement » est l'ensemble des opérations techniques qui visent, après l'arrêt définitif d'une installation nucléaire, à atteindre un état final visé permettant le déclasserment. L'assainissement correspond aux opérations de réduction ou d'élimination de la radioactivité restante ou de toute autre substance dangereuse restante aussi bien dans les structures que dans les sols. 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).

Le « déclasserment » est, quant à lui, une opération strictement administrative consistant à retirer l'installation de la liste des installations classées. L'installation n'est, dès lors, plus soumise au même régime juridique et administratif.

Le déclasserment entraîne la levée des contrôles réglementaires auxquels est soumise une installation classée. Le déclasserment peut être accompagné de restrictions d'usage portant sur les terrains situés autour ou au droit de l'installation déclassée.

La démarche de référence recommandée par l'ASN pour le démantèlement d'une installation en vue de son déclasserment est de mettre en œuvre un assainissement complet. Cette démarche prévoit, « lorsque cela est techniquement possible, d'assainir complètement les sites radiocontaminés, même si l'exposition des personnes induite par la pollution radioactive apparaît limitée », c'est-à-dire de revenir à l'état initial avant activation ou contamination des structures.

Dans les situations où la démarche de référence poserait des difficultés de mise en œuvre, le processus d'assainissement est mené aussi loin que raisonnablement possible, dans des conditions technico-économiques acceptables.

## LA STRATÉGIE DE DÉMANTÈLEMENT

Deux stratégies sont envisageables pour le démantèlement des installations nucléaires :

- un démantèlement dans la continuité de la mise à l'arrêt définitif de l'installation. Cette stratégie permet de ne pas faire porter le poids du démantèlement sur les générations futures, tant sur les plans techniques que financiers. Elle permet également de bénéficier des connaissances et des compétences des équipes présentes pendant le fonctionnement de l'installation, indispensables lors des premières opérations de démantèlement. Elle évite, par ailleurs, des dépenses importantes de surveillance, de maintien dans un état de sûreté satisfaisant et éventuellement de jouvence ;
- un démantèlement différé, plusieurs décennies après l'arrêt de l'installation, justifié principalement par la décroissance radioactive des éléments à démanteler permettant des opérations de démantèlement moins complexes et optimisant l'exposition aux rayonnements ionisants des personnes réalisant les opérations de démantèlement. Elle permet également d'étaler les dépenses dans la durée dans l'objectif d'une gestion financière raisonnée.

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

La stratégie retenue en France, codifiée dans l'article L. 593-25 du code de l'environnement, est celle du démantèlement dans un délai aussi court que possible, après l'arrêt définitif de l'installation, dans des conditions économiquement acceptables et dans le respect des principes de prévention des risques sanitaires liés à l'environnement et au travail.

## LES TRAVAUX DE DÉMANTÈLEMENT

### LA PRÉPARATION DES TRAVAUX DE DÉMANTÈLEMENT

Dès que la date d'arrêt définitif d'une installation nucléaire ou d'une partie de celle-ci est atteinte, une phase de préparation au démantèlement 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 réaliser les opérations préparatoires au démantèlement. Il s'agit ainsi de procéder au conditionnement et 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, recherche et investigations radiologiques et chimiques des différentes zones, travaux d'adaptation ou de rénovation si nécessaire de l'installation ou équipement, définition de modes opératoires, formation des équipes, etc.

Par exemple, dans le cas d'un réacteur nucléaire, le combustible est évacué de l'installation. Dans le cas d'une usine de traitement des déchets, les équipements de procédés sont vidangés et rincés.

Pendant cette étape, toutes les fonctions de sûreté et sécurité requises pendant la phase d'exploitation continuent d'être opérationnelles.

## FOCUS

## DÉCLARATION D'ARRÊT DÉFINITIF

Conformément à l'article L. 593-26 du code de l'environnement, l'exploitant d'une installation nucléaire de base qui prévoit d'arrêter définitivement le fonctionnement de son installation ou d'une partie de son installation, le déclare au ministre chargé de la sûreté nucléaire et à l'ASN. Il indique dans sa déclaration la date à laquelle cet arrêt doit intervenir et précise, en les justifiant, les opérations qu'il envisage de mener, compte tenu de cet arrêt et dans l'attente de l'engagement du démantèlement, pour réduire les risques ou les inconvénients pour les intérêts protégés mentionnés à l'article L. 593-1.

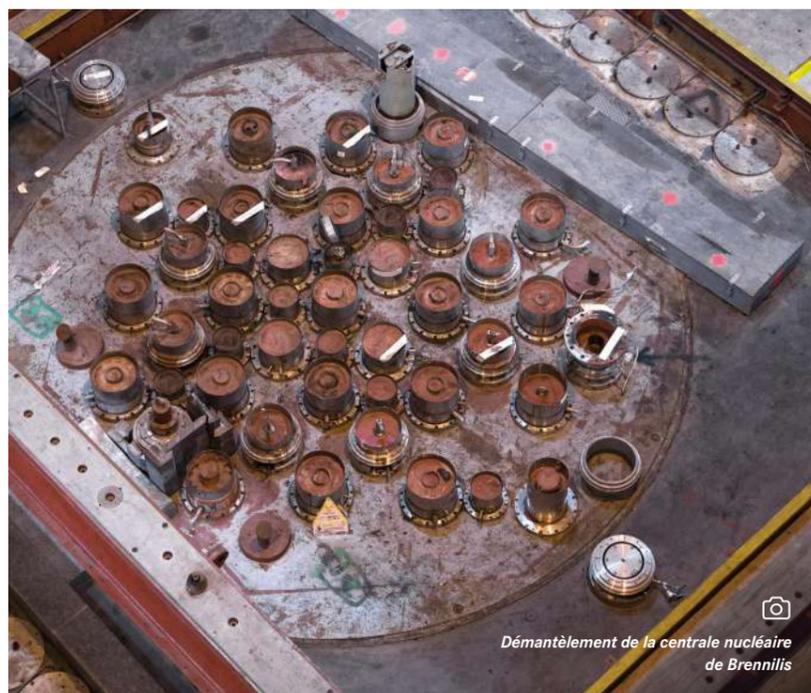
Cette déclaration est faite au moins deux ans avant la date d'arrêt prévue ou dans les meilleurs délais si cet arrêt est effectué avec un préavis plus court pour des raisons que l'exploitant justifie. Cette déclaration doit être accompagnée d'une mise à jour du plan de démantèlement qui présente et justifie la stratégie de démantèlement retenue, les principes et dispositions prises par l'exploitant nucléaire pour le démantèlement de son installation, le déroulement du démantèlement et l'état final envisagé.

### LA RÉALISATION DES TRAVAUX DE DÉMANTÈLEMENT

À l'issue de la phase de préparation à la mise à l'arrêt définitif, et après la prise d'effet du décret de démantèlement de l'installation nucléaire de base, l'exploitant engage la phase de démantèlement qui peut s'étaler sur plusieurs années.

Les travaux de démantèlement sont réalisés conformément au référentiel de l'installation et aux prescriptions réglementaires fixées dans le décret de démantèlement, éventuellement complétés par des prescriptions de l'autorité de contrôle.

Les procédures sont adaptées à chaque installation d'après leur historique, les caractérisations et les investigations disponibles, l'accessibilité des zones, etc. Les scénarios sont étudiés en fonction des spécificités des installations ou des équipements, notamment liées à la nature des matériaux et de leur type de contamination pour définir les moyens de confinement, les outillages, les protocoles, les filières de traitement, conditionnement et évacuation des déchets induits, etc.



Démantèlement de la centrale nucléaire de Brennilis



Démantèlement de la centrale EDF Chooz A

## LA FINALISATION DES TRAVAUX DE DÉMANTÈLEMENT

En France, l'état final à l'issue du démantèlement d'une installation nucléaire de base doit être tel qu'il permet de prévenir les risques ou les inconvénients que peut présenter le site pour la sécurité, la santé et la salubrité publique ou la protection de la nature et de l'environnement, compte tenu notamment des prévisions de réutilisation du site ou des bâtiments et des meilleures méthodes et techniques d'assainissement et de démantèlement disponibles dans des conditions économiques acceptables.

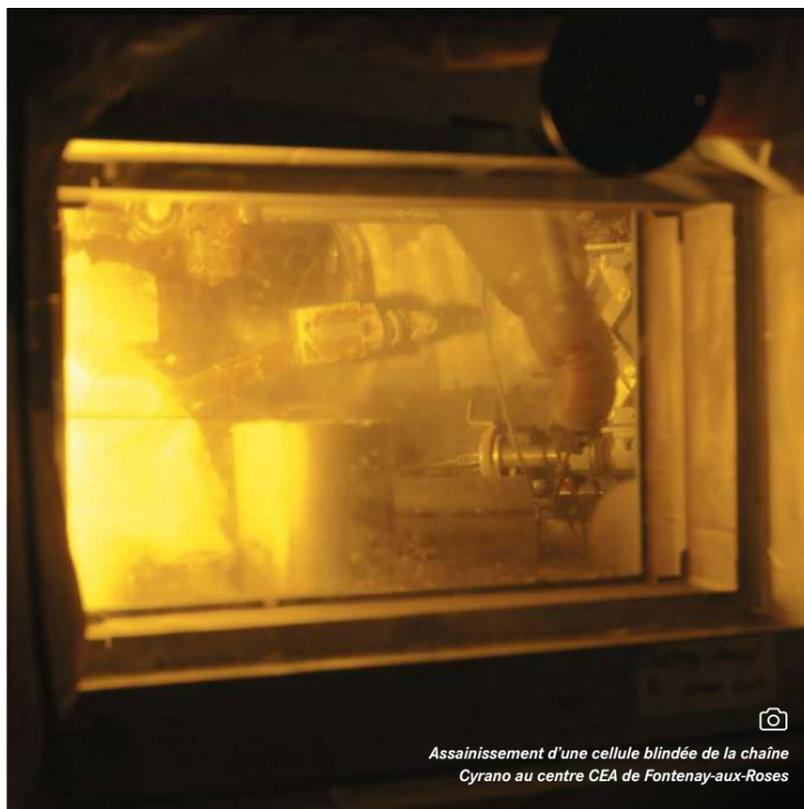
La démolition des bâtiments de l'installation nucléaire n'est pas toujours nécessaire pour atteindre cet état final. L'exploitant peut chercher à réutiliser les bâtiments ou les surfaces qui ont été assainis puis déclassés.

L'ASN recommande que les exploitants mettent en œuvre des pratiques d'assainissement et de démantèlement visant à atteindre un état final pour lequel la totalité des substances dangereuses et des substances radioactives a été évacuée de l'installation.

Dans l'hypothèse où, en fonction des caractéristiques de la pollution, cette démarche poserait des difficultés de mise en œuvre, l'exploitant doit toutefois aller aussi loin que raisonnablement possible dans le processus d'assainissement, en apportant les éléments, d'ordre technique ou économique, qui justifient que la démarche de référence ne peut être mise en œuvre et que les opérations d'assainissement ne peuvent être davantage poussées avec les meilleures méthodes et techniques d'assainissement et de démantèlement disponibles dans des conditions économiques acceptables. L'exploitant intègre, entre autres, dans sa justification, le volume des déchets générés par chacun de ces scénarios ainsi que leur coût respectif.

Lorsque l'absence totale de risque pour la santé, la salubrité publique et la protection de la nature et de l'environnement ne peut être démontrée, des servitudes d'utilité publique sont instituées. Dans ce cas, le dossier de demande de déclasser fait partie des pièces mises à l'enquête publique pour la mise en œuvre de ces servitudes. Les servitudes d'utilité publique peuvent être instituées à la demande de l'exploitant ou de l'administration (ASN, préfecture, mairie). Celles-ci peuvent contenir un certain nombre de restrictions d'usage (limitation à un usage industriel par exemple) ou de mesures de précaution (conservation de la mémoire, mesures radiologiques en cas d'affouillement, etc.). L'ASN peut subordonner le déclasser d'une installation nucléaire de base à l'institution de telles servitudes.

Par ailleurs, en cas de menace pour les intérêts mentionnés à l'article L. 593-1 du code de l'environnement, l'ASN peut, à tout moment, même après déclasser de l'installation, prescrire les évaluations et la mise en œuvre des dispositions rendues nécessaires.



Assainissement d'une cellule blindée de la chaîne Cyrano au centre CEA de Fontenay-aux-Roses



Démantèlement d'une installation prototype d'extraction par solvant en colonnes pulsées (INB57) au CEA de Fontenay-aux-Roses

## FOCUS

### R&D AU SERVICE DU DÉMANTÈLEMENT

Les opérations de 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, de procédés et d'outils spécifiques est nécessaire dans certains domaines.

La France a ainsi acquis une compétence reconnue et développe toujours de la R&D dans les domaines :

- de la mesure de la radioactivité en support à la caractérisation initiale et à celle des déchets ;
- de la décontamination des structures et des sols (lasers, mousses, gels, etc.) ;
- de la découpe (procédés laser notamment) ;
- de la robotique en support aux opérations en milieu hostile ;
- de la simulation et des outils de réalité virtuelle en support à la définition de scénarios de démantèlement ;
- du traitement et du conditionnement des déchets et des effluents spécifiques générés par ces opérations.



Entreposage de déchets de très faible activité (TFA) provenant du démantèlement du réacteur de recherche Triton

## LES DÉCHETS ISSUS DU DÉMANTÈLEMENT

Les déchets induits par les opérations de démantèlement et d'assainissement 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 délimitées 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 (ZDC) sont des déchets non radioactifs, qui sont donc éliminés après contrôle vers des filières agréées conventionnelles ;
- les déchets issus des Zones à production possible de déchets nucléaires (ZppDN) sont tous gérés comme s'ils étaient radioactifs, même lorsque les appareils de mesure ne détectent pas de radioactivité, et sont conditionnés et caractérisés pour une prise en charge par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs en vue de leur gestion à long terme.

Le zonage déchets peut être revu entre le fonctionnement et le démantèlement pour prendre en compte les spécificités des différentes phases du fonctionnement et permettre une gestion optimisée des déchets.

### LES PRINCIPES DE GESTION DES DÉCHETS ISSUS DU DÉMANTÈLEMENT

La politique de gestion des déchets radioactifs du démantèlement s'appuie, comme pour les autres déchets, sur :

- la garantie de la traçabilité des déchets issus des installations nucléaires (zonage déchets, caractérisation, contrôle) ;
- la minimisation du volume des déchets produits ;
- l'optimisation de leur catégorisation ;
- l'envoi en ligne des déchets vers les centres de stockage existants. Dans le cas où les déchets ne disposent pas d'exutoire, ceux-ci sont entreposés dans des installations dédiées.

Les déchets radioactifs sont triés, subissent éventuellement un traitement puis sont conditionnés et caractérisés (voir chapitre 6 - dossier thématique 2), avant d'être transportés vers les centres de stockage existants adaptés à leur niveau de radioactivité (respectivement Cires pour les déchets TFA et CSA pour les déchets FMA-VC) ou entreposés en attente de l'ouverture de la filière de stockage adéquate.



Conteneurs métalliques de déchets de très faible radioactivité (TFA)

## LA NATURE DES DÉCHETS ISSUS DU DÉMANTÈLEMENT

Les déchets de démantèlement sont en grande partie des déchets conventionnels, notamment des gravats et des métaux. Par exemple, dans le cas de la déconstruction de la centrale nucléaire de Chooz A, 60 % des 50 000 tonnes des déchets de démantèlement et d'assainissement sont conventionnels et 40 % radioactifs.

Les déchets radioactifs de démantèlement sont majoritairement (> 99 %) de très faible activité (TFA) et de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC). Il s'agit :

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

Il peut s'y ajouter des déchets de faible activité à vie longue (FA-VL), notamment les déchets de graphite provenant de la première filière française de réacteurs dite « Uranium naturel graphite gaz » (UNGG) et des déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL) en faible quantité (il s'agit principalement de déchets activés, dont des pièces métalliques situées au cœur des réacteurs).

## L'ESTIMATION DES QUANTITÉS DE DÉCHETS ISSUS DU DÉMANTÈLEMENT

Dès la mise en service d'une installation nucléaire de base, la quantité et la nature des déchets qui seront produits par les opérations de démantèlement sont évaluées et actualisées périodiquement jusqu'à la préparation des opérations de démantèlement, où les estimations sont affinées et les moyens de traitement et de conditionnement à mettre en œuvre, sont évalués. 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, un inventaire rigoureux des installations à assainir, des équipements qu'elles contiennent et de leur niveau de contamination est réalisé puis actualisé au cours du fonctionnement de l'installation.

Les quantités de déchets qui seront produites sont alors évaluées sur la base de cet historique de fonctionnement, du retour d'expérience acquis lors des opérations précédentes de démantèlement, et d'investigations réalisées pour consolider cet état initial préalable aux opérations de démantèlement.



Démantèlement de la centrale de Brennilis

# LES OPÉRATIONS DE DÉMANTÈLEMENT EN FRANCE

Depuis le début des années 1980, 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. Plus d'une trentaine d'installations nucléaires ont ainsi été démantelées et déclassées.

Au total sont recensées environ soixante-dix installations en cours de démantèlement ou déclassées. Parmi les opérations de démantèlement en cours figurent notamment :

- des réacteurs nucléaires, dont la majorité est de technologie et de conception différentes de ceux actuellement en fonctionnement en France ;
- d'installations du CEA (réacteurs de recherche ou prototypes, installations de recherche et laboratoires), d'EDF (atelier des matériaux irradiés) et d'Orano (cycle du combustible).

Les exemples ci-après illustrent la diversité des installations nucléaires à démanteler, des difficultés rencontrées, des délais entre la mise à l'arrêt de l'installation et la réindustrialisation du site, ainsi que la capacité de la filière nucléaire française à mener à bien l'ensemble du cycle de vie de ses installations nucléaires, dans le respect de la sécurité et de la sûreté.

## ILLUSTRATION N° 1 : LES SITES DE SICN

La Société industrielle de combustible nucléaire (SICN) est une entreprise française, appartenant au groupe Orano, spécialisée à l'origine dans la fabrication de combustibles nucléaires pour les réacteurs de recherche, les réacteurs UNGG et les réacteurs à neutrons rapides, puis reconvertie dans la fabrication de pièces en uranium métal.

La SICN a disposé d'installations (ateliers de fabrication, laboratoire, etc.) à Annecy dès 1954 et à Veurey-Voroize dès 1960.

### SITE D'ANNECY

En 2002, la décision a été prise d'arrêter les activités nucléaires relevant de la nomenclature des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement, puis de lancer le projet d'assainissement et de démantèlement en 2005.

À l'issue des travaux de remise en état du site réalisés jusqu'en 2013, celui-ci a été totalement réindustrialisé par la mise en place en 2015 d'une chaufferie biomasse exploitée par la société IDEX, la location de bâtiments à la société HTIM et de terrains à la société Pfeiffer.

### SITE DE VEUREY-VOROIZE

En 2006, les deux installations nucléaires de base (INB) localisées sur le site de Veurey-Voroize sont mises à l'arrêt définitif :

- usine de fabrication de combustibles nucléaires, INB n° 65 autorisée en 1967 ;
- atelier de pastillage, INB n° 90 autorisée en 1977.

Entre 2006 et 2012 les opérations de démantèlement nucléaire des équipements et d'assainissement des bâtiments ont été réalisées pour engager les démarches de déclasserment auprès des autorités.

Prononcé en 2019, le déclasserment des deux INB implantées sur le site a permis d'envisager la réindustrialisation des bâtiments et des terrains qui ont été vendus en 2022 à la société Lynred, co-entreprise entre les groupes Safran et Thalès spécialisée dans la fabrication de capteurs infrarouges, dans le cadre du projet d'expansion de ses activités sur ce site industriel.



Démantèlement du réacteur Siloé sur le centre CEA de Grenoble

## ILLUSTRATION N° 2 : LE SITE DU CEA DE GRENOBLE

Créé 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 1990. À partir de 2001, le CEA de Grenoble a entrepris l'assainissement et le démantèlement des six installations nucléaires de base implantées sur le site :

- l'INB 19 (Mélusine), réacteur nucléaire à l'arrêt depuis 1988 ;
- l'INB 20 (Siloé), réacteur nucléaire à l'arrêt depuis 1997 ;
- l'INB 21 (Siloëtte), réacteur nucléaire à l'arrêt depuis 2002 ;
- l'INB 61 Laboratoire d'analyses et de contrôle des matériaux radioactifs (Lama) ;
- l'INB 36 et 79 Station de traitement des effluents et des déchets (Sted), anciens entrepôts de décroissance.

Ces installations nucléaires ont fait d'importants travaux d'assainissement et de déconstruction, ayant permis le déclasserment de quatre d'entre elles (INB 19, INB 20, INB 21 et INB 61) et la réutilisation des surfaces pour des activités de R&D en micro-nanoélectronique, en technologies pour la santé et pour les énergies renouvelables.



Démantèlement du Lama sur le centre CEA de Grenoble

### ILLUSTRATION N° 3 : LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE CHOOZ A

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 démantèlement (Chooz A). Mis en service en 1967, ce dernier a fonctionné jusqu'en 1991. Il fait partie des onze réacteurs actuellement en déconstruction en France par EDF.

Chooz A est la première centrale construite en France de la filière Réacteur à eau pressurisée (REP). Il s'agit d'un projet franco-belge conduit par la Société d'énergie nucléaire des Ardennes (SENA), constituée par EDF et un groupement de producteurs d'électricité belges. Elle a pour particularité d'avoir le réacteur et ses auxiliaires nucléaires (pompes, échangeurs, circuits de refroidissement, etc.) installés dans deux cavernes rocheuses, creusées à flanc de colline dans une boucle de la vallée de la Meuse.

De 2001 à 2004, les principales opérations ont consisté à retirer le combustible, vidanger les circuits, démanteler, assainir et démolir la salle des machines, la station de pompage et les bâtiments nucléaires situés à l'extérieur de la colline. À la suite de ces opérations, 99,9 % de la radioactivité de la centrale étaient évacuées du site.

Après l'enquête publique organisée en août et en septembre 2006, le décret autorisant le démantèlement complet a été signé le 27 septembre 2007. À partir de ce jalon, les opérations ont eu lieu conformément au scénario de référence :

- de 2008 à 2010, préparation aux opérations de démantèlement (création de zones d'entreposage de déchets et de vestiaires, réfection des ventilations et des moyens de levage, etc.) ;
- de 2010 à 2014, assainissement et démantèlement des circuits auxiliaires et du circuit primaire (hors cuve) et évacuation vers les filières de stockage appropriées ;
- de 2015 à 2016, aménagement des ateliers nécessaires au démantèlement de la cuve, création d'un circuit permettant la mise en eau et la filtration de la piscine et démarrage du démantèlement des locaux résiduels de la caverne auxiliaires par des moyens télé-opérés ;
- en 2017, mise en eau de la piscine réacteur, dépose du couvercle de la cuve en vue de son évacuation en 2018.

Les dernières opérations du démantèlement, telles que la découpe, le conditionnement et l'évacuation de la cuve du réacteur, sont planifiées jusqu'en 2025.



Stockage d'un générateur de vapeur de la centrale de Chooz A au Cires

## L'IMPORTANCE DU RETOUR D'EXPÉRIENCE POUR LES FUTURS CHANTIERS DE DÉMANTÈLEMENT

Au fur et à mesure de la réalisation de chantiers de démantèlement, en France et à l'international, le retour d'expérience s'enrichit et alimente les futurs projets de démantèlement.

Les principaux enseignements tirés sont :

- l'importance de la prise en compte des difficultés intrinsèques aux opérations de démantèlement telles que le travail en milieux irradiants, la vétusté de certaines installations, les évolutions réglementaires, la disponibilité des exutoires pour les déchets produits ;
- une définition précise de l'état initial (nature et quantité des déchets à produire, caractérisation de l'état radiologique, etc.) et de l'état final permettant une meilleure évaluation des moyens nécessaires à l'atteinte des objectifs.

### FOCUS

#### DÉMANTÈLEMENT À L'INTERNATIONAL

À l'échelle mondiale, dans les 20 ans à venir, des dizaines de réacteurs électro-nucléaires, d'installations de recherche (réacteurs expérimentaux, laboratoires, etc.), d'usines de fabrication et de retraitement de combustible devront être démantelées.

Les plus grands chantiers internationaux sont en Amérique, et surtout aux États-Unis, mais aussi en Europe.

L'expertise acquise par les entreprises françaises dans l'ensemble des domaines concernés, de façon intégrée, au travers des opérations de démantèlement menées sur des installations de recherche ou de production depuis plus de 30 ans, les positionne clairement comme étant susceptibles de répondre efficacement aux défis que présentent ces grands chantiers internationaux.



Chantier de déconstruction de la centrale de Chooz A : déconstruction de la caverne



## Dossier 4

# Les sites pollués par la radioactivité

Origine de la pollution radioactive	139
Identification des sites pollués par la radioactivité	141
Gestion des sites pollués par la radioactivité	142
Gestion des déchets radioactifs	143
Exemples de chantiers d'assainissement réalisés par l'Andra	144
Les parcelles de l'ancienne Société nouvelle du radium à Gif-sur-Yvette	144
L'ancienne usine Orflam-Plast à Pargny-sur-Saulx	145

Les sites pollués par les substances radioactives ne représentent qu'une très faible part de l'ensemble des sites pollués en France.

Cette pollution peut résulter d'activités industrielles, médicales ou de recherche impliquant des substances radioactives. La pollution peut concerner les lieux d'exercice de ces activités ainsi que leur voisinage, immédiat ou plus éloigné. La plupart des sites pollués par des substances radioactives renvoient à des activités industrielles ou artisanales anciennes, à une époque où la perception des risques liés à la radioactivité et les mesures de radioprotection n'étaient pas du même ordre qu'aujourd'hui.

Les sites pollués par des substances radioactives appellent une action des pouvoirs publics à titre préventif ou curatif.

*i* « Site pollué par des substances radioactives : site qui, du fait d'anciens dépôts de substances ou déchets radioactifs, d'utilisation ou d'infiltration de substances radioactives ou d'activation radiologique de matériaux, présente une pollution radioactive susceptible de provoquer une nuisance ou un risque durable pour les personnes ou l'environnement<sup>1</sup> ».

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 ».

## ORIGINE DE LA POLLUTION RADIOACTIVE

Les sites pollués par la radioactivité sont pour la plupart des sites anciens ayant abrité des activités qui ne relevaient pas de l'industrie électronucléaire. Les substances qui ont pu contribuer à la pollution de sites sont :

- le radium : son extraction, son entreposage, sa manipulation et sa commercialisation pour des applications diverses, dont la médecine, la parapharmacie et la fabrication de peinture pour la vision nocturne, sont responsables d'une grande partie de la pollution radioactive en France ;
- le tritium : utilisé pour la vision nocturne dans la fabrication de peinture en remplacement du radium ;
- la monazite, minéral naturellement radioactif utilisé entre autres pour la fabrication de pierres à briquet (ancienne usine Orflam-Plast à Pargny-sur-Saulx) ;
- les sables naturels riches en zircons, minéraux naturellement et faiblement radioactifs utilisés dans la fabrication d'oxyde de zirconium ;
- la fabrication de molécules pour l'industrie chimique.

### ► PUBLICITÉ DES ANNÉES FOLLES POUR LE RADIUM

**Révolution**  
dans l'automobile  
Enfin une  
bougie au Radium.

Adoptée par l'Armée. Brevetée S. G. D. G. France et Étranger.

La bougie radio-active HELITA-RADIUM intensifie considérablement le phénomène de l'ionisation que tous les automobilistes ont observé au coucher du soleil ou en traversant les forêts.

**HELITA RADIUM ATOMISE LES GAZ**  
On sait que le Radium possède les propriétés suivantes :  
1° Il émet des « ions » qui rendent l'air conducteur, en conséquence l'étincelle d'une bougie au Radium est plus chaude et plus nourrie. On obtient donc un meilleur allumage.

**HELITA RADIUM IONISE LES GAZ**  
2° Il transforme l'oxygène de l'air en « Ozone » qui active la combustion du mélange gazeux.  
3° Il produit un « Bombardement atomique » qui désagrège les molécules des Carburés. Ces gaz sont ainsi plus aisément et complètement brûlés.

**AVANTAGES DE LA BOUGIE HELITA RADIUM :**  
Démarrage facilité : Le moteur part facilement même aux basses températures.  
Meilleur rendement : Conséquence d'un meilleur allumage et d'une combustion Nervosité et souplesse accrues. activité des gaz.  
Cliquetage nettement diminué : Ce qui permet de pousser l'avance.  
Augmentation de puissance — Meilleure montée des côtes.  
Plus d'auto-allumage : La combustion totale des gaz supprime l'encrassement et le calaminage.

**Où est le RADIUM ?**  
Il se trouve incorporé dans l'isolant au voisinage des pointes.

**L'INSTITUT DU RADIUM PARIS**  
(Laboratoire Curie)  
« constaté qu'une bougie HELITA était radio-active. Certificat n° 370, série 2 »

**...et surtout importante économie d'essence.**

Une voiture de 4 cylindres consommant 12 litres aux 100 kilomètres avec bougies ordinaires en consommera 10 lit 5 avec les bougies HELITA RADIUM FRANCE.

Un camion faisant 250 kilomètres par jour réalise une économie de 15 000 francs par an. En un seul voyage PARIS-NICE, un autocar paie ses bougies HELITA RADIUM FRANCE par l'économie d'essence réalisée et évite ainsi d'une heure sur la période (facti contra) !

<sup>1</sup> Annexe 13-7 du code de la santé publique.

## FOCUS LE RADIUM

Le radium est présent en très petite quantité sur terre, sous la forme de plusieurs isotopes dont le plus abondant est le radium 226, émetteur alpha et gamma, dont la période est de 1 600 ans. Le radium 226 est extrait des minerais d'uranium où il est présent à l'état de traces. Des usines d'extraction de radium ont ainsi vu le jour en France et ont pu être à l'origine de la pollution de ces sites industriels.

Au début du 20<sup>e</sup> siècle, l'intérêt thérapeutique du radium a été mis en avant pour détruire des tissus malades. Devant les résultats spectaculaires obtenus, une véritable ferveur populaire pour le radium a vu le jour dans les années 1920-1930.

À cette époque, une grande quantité de produits parapharmaceutiques, manufacturés et autres (poudres, cosmétiques, laines, aliments pour bétail, bougies de voitures, fontaines, peintures lumineuses pour l'horlogerie et l'aviation, etc.) 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.

Le radium également utilisé à l'époque pour ses propriétés radioluminescentes a été remplacé par des radionucléides artificiels, tel que le tritium.

Cet engouement prend fin lorsque les dangers de la radioactivité sont reconnus et l'utilisation du radium interdite. La mémoire d'une grande partie des sites industriels qui s'étaient développés pendant les « Années Folles » du radium a été perdue. Certains sites, généralement situés dans des zones urbaines, ont été réaménagés malgré leur pollution radioactive ou sont restés à l'état de friches industrielles.

Néanmoins, la pollution encore présente sur ces sites peut nécessiter un assainissement afin de réduire les risques pour la santé et l'environnement.



Usine d'horlogerie Bayard -  
ouvrière au travail



## IDENTIFICATION DES SITES POLLUÉS PAR LA RADIOACTIVITÉ

L'identification des sites pollués est un travail complexe car la mémoire de ces sites n'a pas toujours été conservée. Les sources d'information pour identifier ces sites sont variées. Le travail d'inventaire et de recensement est un travail permanent, mis à jour au fur et à mesure de l'identification de nouveaux sites.

L'étude historique conduite en 1996 par l'Observatoire de l'Andra en collaboration étroite avec l'Institut Curie a permis de retrouver ces sites, entraînant des opérations de contrôle de radioactivité sur plusieurs dizaines d'entre eux qui ont pu être suivies d'actions directes de mise en sécurité et/ou d'assainissement.

Elle a également permis de déclencher une opération de collecte nationale d'objets au radium d'utilisation médicale.

## FOCUS L'INFORMATION AU PUBLIC

La politique de gestion des sites et sols pollués ou susceptibles de l'être s'est d'abord fondée sur un important travail de recensement. Puis, suivant les avancées des autres pays dans ce domaine, la politique de réhabilitation et de traitement des sites s'est infléchie à la fin des années 1990 vers une politique de gestion des risques en fonction de l'usage. Fondée sur l'examen et la gestion du risque, plus que sur le niveau de pollution intrinsèque, cette politique nécessite de garder la mémoire des pollutions et des actions de réhabilitation mises en œuvre, mais aussi de fixer des usages des sols compatibles avec les pollutions résiduelles après traitement du site.

Afin d'améliorer l'information du public sur les sites pollués par la radioactivité et d'encadrer les constructions sur de tels sites pour garantir l'absence de risques sanitaires (voir article L. 556-1 du code de l'environnement), le législateur a créé les Secteurs d'information sur les sols (SIS).

Les SIS impliquent, pour les projets de construction ou de lotissement, la réalisation d'une étude de sol dont le contenu est détaillé à l'article R. 556-2 du code de l'environnement.

Deux bases de données accessibles depuis le portail Géorisques du gouvernement répertorient les sites pollués par la radioactivité, il s'agit de :

- la **Carte des anciens sites industriels et activités de services** (Casias) (<https://www.georisques.gouv.fr/donnees/bases-de-donnees/inventaire-historique-de-sites-industriels-et-activites-de-service>) qui recense tous les sites industriels abandonnés ou non, susceptibles d'engendrer une pollution de l'environnement, afin de conserver la mémoire de ces sites et de fournir des informations utiles aux acteurs de l'urbanisme, du foncier et de la protection de l'environnement ;
- un **espace qui recense les sites pollués ou potentiellement pollués** (<https://www.georisques.gouv.fr/donnees/bases-de-donnees/sites-et-sols-pollues-ou-potentiellement-pollues>) appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif.

Enfin, au titre de la surveillance des expositions de la population et de l'information du public, les doses individuelles moyennes reçues par la population du fait des activités nucléaires autorisées sont rendues publiques. Estimées au moins tous les cinq ans par l'Institut de radioprotection et de sûreté

nucléaire, ces informations font l'objet d'un rapport public publié sur le site Internet de l'Institut (article R. 1333-27 du code de la santé publique).

Bien qu'il n'y ait jamais eu d'obligation réglementaire, l'*Inventaire national* a permis de recenser et de garder la mémoire des sites pollués par la radioactivité sur le territoire français jusqu'en 2015. En effet, l'Andra recensait tous les ans l'ensemble des sites pollués par la radioactivité, en collaboration avec l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et la Direction générale de la prévention des risques (DGPR). Dorénavant, en accord avec le ministère en charge de l'environnement, les informations relatives aux sites pollués ne sont plus restituées dans l'*Inventaire national* mais sont regroupées sur le portail d'information Géorisques.

L'*Inventaire national* se focalise uniquement sur les matières et déchets radioactifs, les déchets issus de l'assainissement des sites pollués y sont donc toujours répertoriés.

## GESTION DES SITES POLLUÉS PAR LA RADIOACTIVITÉ

La gestion des sites pollués par des substances radioactives s'inscrit dans le cadre général de la politique nationale de gestion des sites et sols pollués (articles L. 556-1 à L. 556-3 et R. 556-1 à R. 556-5 du code de l'environnement), dont la mise en œuvre est détaillée au terme de la note du 19 avril 2017 relative aux sites et sols pollués.

Le principe pollueur-payeur fixé par le code de l'environnement définit le principe général pour la gestion des sites pollués. Lorsque le responsable d'un site pollué est identifié, il prend lui-même les mesures nécessaires pour en assurer l'assainissement. L'Andra peut également intervenir sur ces sites en assistance à maîtrise d'ouvrage. Le pollueur d'un site doit, dès lors qu'il est solvable, assurer le financement des opérations

d'assainissement et de réaménagement du site pollué jusqu'à élimination des déchets.

Lorsque le pollueur est défaillant (le site est alors dit « orphelin »), ce sont les pouvoirs publics qui prennent en charge l'assainissement et la réhabilitation de ces sites en faisant intervenir l'IRSN et l'Andra. La plupart des sites pollués historiques sont des sites à responsable défaillant.

### FOCUS

#### LA MISSION DE SERVICE PUBLIC DE L'ANDRA

La loi de programme du 28 juin 2006 définit les missions de l'Andra parmi lesquelles elle doit assurer « (...) la collecte, le transport et la prise en charge de déchets radioactifs, d'assurer la remise en état et, le cas échéant, la gestion, de sites pollués par des substances radioactives, sur demande et aux frais de leurs responsables » (article L. 542-12 du code de l'environnement).

La mission « sites pollués », créée au sein de l'Agence, a ainsi pour rôle d'animer et de coordonner la collecte et la prise en charge d'objets radioactifs à usage familial et l'assainissement de sites pollués par la radioactivité dont le responsable est défaillant. Agissant pour le compte du maître d'ouvrage, la mission sites pollués élabore

les scénarios de réhabilitation, obtient les financements et autorisations nécessaires, puis spécifie les travaux et les fait réaliser en s'appuyant sur un réseau d'entreprises spécialisées.

Plusieurs acteurs interviennent et collaborent pour gérer les sites pollués :

- l'IRSN réalise les diagnostics initiaux des sites pollués et évalue les risques pour le public et pour l'environnement ;
- l'ASN fixe les règles techniques auxquelles doit satisfaire l'élimination des déchets radioactifs et s'assure que les sites identifiés comme contaminés sont mis en sécurité pour le public et pour l'environnement. Elle contrôle également l'application des règles de radioprotection pour les travailleurs intervenants sur les chantiers d'assainissement ;
- la CNAR (Commission nationale des aides dans le domaine radioactif), créée en 2007 par le Conseil d'administration de l'Andra pour donner un avis sur l'utilisation de la subvention publique uniquement pour les sites orphelins, sur la nécessité ou non de dépolluer un site, sur les priorités d'attribution des fonds, les stratégies de traitement des sites pollués et sur les questions de prise en charge des déchets. La CNAR est présidée par un expert en assainissement de sites pollués et comprend entre autres :

- des représentants de l'Autorité de sûreté (ASN) et des ministères de tutelle de l'Andra ;
- des représentants des établissements publics techniques (Ademe, IRSN) ;

- des représentants du monde associatif (deux associations de défense de l'environnement : Robin des Bois et la Fédération France Nature Environnement) ;
- un représentant des élus ;
- et deux personnes qualifiées (un représentant d'un établissement public foncier et un spécialiste en assainissement).

L'Andra peut assurer la maîtrise d'ouvrage ou l'assistance à maîtrise d'ouvrage et complète la caractérisation fine du site si nécessaire, notamment quant aux pollutions plus profondes, puis établit le projet d'assainissement, le présente aux parties prenantes (validation par la CNAR selon les cas de figure) ; elle assure également la prise en charge des déchets radioactifs qui en résultent. La préfecture ordonne et encadre réglementairement les travaux d'assainissement par arrêté préfectoral et en assure le suivi en s'appuyant sur les DREAL.

Le diagnostic d'un site est mené dès lors qu'il existe une suspicion de contamination. C'est une phase de recueil des connaissances qui doit être menée de façon détaillée qui comprend entre autres une étude documentaire historique et de vulnérabilité.

La caractérisation de terrain vise en premier lieu à confirmer ou infirmer la présence des pollutions radioactives suspectées puis, le cas échéant, à en déterminer la localisation, la nature et le niveau afin de définir les objectifs d'assainissement.

Dès lors qu'une exposition est mise en évidence, il convient de déterminer si la pollution constatée est compatible ou non avec l'usage établi ou envisagé du site et 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.

Conformément aux principes de radioprotection précisés à l'article L. 1333-2 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.

Ainsi, en fonction des spécificités de chaque site pollué et de l'usage futur du site, il est possible, soit de dépolluer totalement le site pour le rendre apte à tous les usages et sans contrainte, soit de maintenir une pollution résiduelle et en maîtriser l'impact en limitant les usages possibles, en mettant en place des barrières. Ces précautions sont pérennisées par des servitudes d'usage intégrées dans des documents d'urbanisme. Par exemple, la construction ou les plantations peuvent être interdites.

Après réhabilitation d'un site, la mémoire des pollutions et des réhabilitations passées est conservée notamment grâce aux bases de données Basias et Basol et aux SIS (voir encadré page 141).

Dans la pratique, dès lors qu'une pollution est mise en évidence, le site est sécurisé par la mise en place de clôtures, de barrières et d'une signalisation adéquate. Lorsque l'Andra est en charge de l'assainissement d'un site, elle l'effectue en plusieurs étapes :

- 1. la préparation :** des protections sont mises en place (par exemple : nappes vinyles, sas, aspiration des poussières, etc.) pour prévenir toute dispersion de substances contaminées dans l'environnement ;
- 2. les travaux de réhabilitation :** les matériaux contaminés sont enlevés et conditionnés par du personnel qualifié et spécialisé ;
- 3. la prise en charge :** les déchets radioactifs engendrés par l'assainissement (terres, gravats, objets, etc.) sont orientés vers la filière de gestion adaptée à leur nature (centre de stockage ou entreposage) ;
- 4. la rénovation-réaménagement :** des travaux sont réalisés si besoin.



## GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

L'assainissement des sites pollués produit des déchets radioactifs.

Les volumes et les caractéristiques des déchets radioactifs susceptibles d'être produits lors de l'assainissement du site pollué sont évalués dès la définition des scénarios d'assainissement. Compte tenu de la typologie des sites pollués, les déchets produits sont principalement constitués de gravats, de terres, de bois ainsi que de déchets technologiques (tenues d'intervention, outillages, etc.).

Les opérations de tri des déchets sont pensées et effectuées dans l'objectif de réduire la quantité de déchets radioactifs produits et de respecter les critères d'acceptation et les modes de conditionnement des centres de stockage ou d'entreposage. Les déchets doivent donc être caractérisés avant leur expédition pour justifier leur prise en charge dans la filière adaptée.

Les déchets produits lors de l'assainissement d'un site pollué sont majoritairement des déchets TFA, qui en tant que tels sont expédiés au Cires (Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage de l'Andra) ou stockés *in situ* si les quantités de déchets sont trop importantes. Plus rarement, des déchets FA-VL peuvent également être produits. Dans ce cas, ils sont également expédiés au Cires, pour entreposage, dans l'attente de l'ouverture d'un centre de stockage adapté.

Les polluants chimiques présentant des conditions d'acceptation particulières dans les différentes installations d'élimination doivent faire l'objet d'une attention spécifique.

Les déchets 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 à Paris ou en Île-de-France), il est quelquefois nécessaire de constituer d'abord des fûts de 120 litres, faciles à manipuler. Transportés sur une installation industrielle tampon, ces fûts sont ensuite vidés, et les déchets sont reconditionnés dans leur emballage définitif.



## EXEMPLES DE CHANTIERS D'ASSAINISSEMENT RÉALISÉS PAR L'ANDRA

### LES PARCELLES DE L'ANCIENNE SOCIÉTÉ NOUVELLE DU RADIUM 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 dans le quartier des Coudraies ;
- une usine d'extraction du radium situé dans le quartier voisin du Clos-Rose.

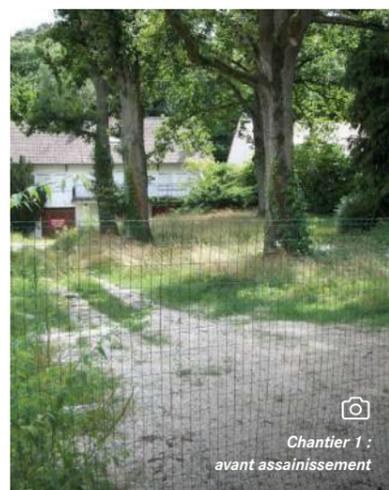
L'usine a fonctionné entre 1913 et 1935 et le laboratoire jusqu'à la fin des années 1950. À sa fermeture, les bâtiments ont été démolis pour faire place à un lotissement, dont le sol présentait, par endroits, quelques zones de pollution.

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 1960 sur un sol déjà pollué, avec 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 l'État a décidé de racheter les deux parcelles à leurs propriétaires 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 (documents d'urbanisme et cadastre).

Au total, ce sont 339 m<sup>3</sup> de déchets TFA et 0,2 m<sup>3</sup> de déchets FA-VL qui ont été produits et expédiés vers le Cires pour stockage pour les premiers et entreposage pour les seconds.



Chantier 1 :  
avant assainissement



Chantier 1 :  
après assainissement

### L'ANCIENNE USINE ORFLAM-PLAST À PARGNY-SUR-SAULX

La société Orflam-Plast a fabriqué des briquets jusqu'en février 1997, date à laquelle elle a cessé ses activités suite à une liquidation judiciaire.

Ces activités ont notamment concerné, entre 1932 et 1967, le traitement d'un minerai riche en thorium, la monazite, dont était extrait le cérium, nécessaire à la confection des pierres de briquet. L'extraction a conduit à la production de résidu de thorium 232, matériau faiblement radioactif à vie longue, concentrant la radioactivité initialement présente dans la monazite. Ces résidus ont contaminé le site de l'usine, mais aussi les berges de la Saulx, rivière qui borde le site. L'État est devenu propriétaire du site en 2009 pour pallier l'absence de propriétaire. Dès 1997, les travaux de mise en sécurité les plus urgents ont été menés. Ces travaux ont consisté à recouvrir les berges contaminées d'un écran imperméable, de manière à protéger le public susceptible de séjourner sur ces berges. En 2008 et 2009, deux zones polluées extérieures au site ont été mises en évidence à quelques centaines de mètres de l'usine : la Peupleraie.

D'après le témoignage d'un ancien employé, des rebuts de traitements riches en thorium 232 ont été enfouis sur cette zone et vers l'étang de la Gravière. Ces zones ont immédiatement fait l'objet d'une mise en sécurité : balisage et clôture. Pour compléter les recherches, une vaste opération de prospection radiologique a été menée en juin 2009. Cette prospection n'a mis en évidence aucune autre zone contaminée. En décembre 2009, la CNAR a donné son accord pour la réhabilitation de l'étang de la Gravière, la mise en sécurité du site de la Peupleraie, la démolition des bâtiments de l'usine et le confinement des gravats de démolition *in situ* avec un aménagement pérenne.

Les terres contaminées autour de l'étang ont été en partie extraites et évacuées. La zone ainsi traitée est maintenant ouverte au public et aux pêcheurs. Les arbres de la peupleraie ont été abattus, broyés sur place et recouverts d'une couche d'argile. Enfin, tous les bâtiments de l'ancienne usine ont été démolis. Les gravats très faiblement radioactifs issus de la démolition ont été rassemblés sur place, sous des milliers de tonnes d'argile et de terre assurant aujourd'hui un confinement durable et sûr pour les riverains. Les ouvrages hydrauliques ont été reconstruits et les berges de la Saulx consolidées localement.



Vue aérienne de l'ancien site contaminé Orflam-Plast à Pargny-sur-Saulx après réhabilitation



Usine Orflam-Plast

## Dossier 5

# Les déchets radioactifs du secteur médical

<b>Un peu d'histoire</b>	<b>147</b>
La radiothérapie	147
Le diagnostic en médecine nucléaire	147
<b>L'utilisation des rayonnements ionisants</b>	<b>148</b>
<b>Usages thérapeutiques (radiothérapie)</b>	<b>148</b>
La radiothérapie externe	148
La curiethérapie	149
La radiothérapie métabolique	149
La protonthérapie	150
<b>Usages diagnostics</b>	<b>150</b>
La scintigraphie (diagnostic <i>in vivo</i> )	150
La tomographie par émission de positons (diagnostic <i>in vivo</i> )	150
La radio-immunologie (diagnostic <i>in vitro</i> )	152
La production de radioisotope	152
Stérilisation du matériel par rayonnement	153
<b>Les déchets radioactifs du secteur médical</b>	<b>154</b>
Leur nature	154
<b>Leur gestion</b>	<b>155</b>
La gestion des déchets contaminés	155
La gestion des effluents liquides radioactifs	156
La gestion des effluents gazeux radioactifs	157
Le cas particulier des accélérateurs linéaires de particules	157

## UN PEU D'HISTOIRE

### LA RADIOTHÉRAPIE

La découverte en 1895 des rayons X par Röntgen marque le début de la radiothérapie, puisqu'un an plus tard, des médecins utilisent pour la première fois ces rayons pour soigner une tumeur. Suite à la découverte du phénomène de la radioactivité en 1896 et du radium en 1898, Pierre Curie et Henri Becquerel publient un écrit<sup>1</sup> en 1901 qui témoigne de l'effet énergétique des rayons du radium sur la peau, engendrant des lésions cutanées. Cette note est le point de départ de l'utilisation du radium en médecine pour guérir les infections dermatologiques et les cancers. Rapidement, les traitements aux rayons X et au radium connaissent leurs premiers développements.

Les médecins ont d'abord utilisé des dispositifs composés d'une cathode et d'une anode émettant des rayons X, pour soigner les tumeurs. Toutefois, les rayons X issus de ces tubes n'ont qu'une faible énergie et ne pénètrent pas profondément sous la peau. Ils étaient donc essentiellement utilisés pour traiter les cancers de la peau. C'est un peu plus tard, avec l'utilisation du radium (élément extrêmement rare) que des traitements pour soigner d'autres types de cancers commencent à se développer. En effet, le radium émet des rayonnements de plus haute énergie qui peuvent atteindre les tumeurs plus profondes.

De petits sachets en plastique contenant de la poudre de radium mis au contact de la peau sont d'abord utilisés par les médecins pour soigner les tumeurs et les lésions de la peau. Puis, en 1920, le radium est conditionné en petits tubes et en aiguilles.

C'est le début de la curiethérapie, technique consistant à traiter les cancers avec des sources radioactives placées au contact des tumeurs, ou implantées directement dans ces tumeurs.

Avec le développement de la radioactivité artificielle en 1934, l'utilisation du radium va progressivement décliner au profit des radioéléments artificiels plus adaptés aux traitements et moins onéreux. Ainsi, de nouvelles sources radioactives sont mises à disposition des radiothérapeutes qui remplacent le radium par du césium 137, de l'iridium 192 et de l'iode 125.

<sup>1</sup> Physiologie – Action physiologique des rayons du radium. Note de Henri Becquerel et Pierre Curie.



Cliché radiographique d'une main

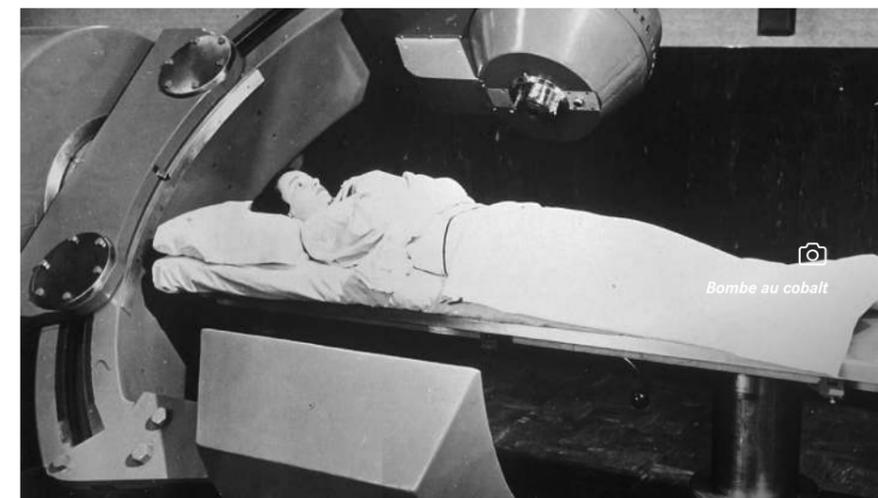


Aiguilles au radium

### LE DIAGNOSTIC EN MÉDECINE NUCLÉAIRE

En 1913, Georg von Hevesy emploie pour la première fois la méthode des traceurs radioactifs : il arrose des plantes avec de l'eau contenant un radioélément, le plomb 210, et suit son mouvement dans les plantes en mesurant la radioactivité dans les racines, les tiges puis les feuilles. Onze ans plus tard, en 1924, deux médecins injectent à des patients du bismuth 214 utilisé comme traceur pour déterminer la vitesse de circulation du sang en mesurant la radioactivité dans le corps du patient : c'est le début de la médecine nucléaire. Ensuite, le radiodiagnostic ne se développe réellement qu'avec la découverte des radioéléments artificiels en 1934 et la découverte du technétium 99m en 1937, radioélément le plus utilisé encore aujourd'hui en médecine nucléaire du fait de sa faible période (six heures), son coût, sa disponibilité et sa capacité à être associé à de nombreuses molécules.

À partir de 1955, des sources de cobalt produisant des rayonnements de haute énergie plus pénétrants sont utilisées dans des « bombes à cobalt » permettant une meilleure irradiation des tumeurs tout en limitant celle des tissus sains. À la fin des années 1960, les « bombes à cobalt » sont remplacées par les accélérateurs de particules, plus performants et toujours utilisés de nos jours.



Bombe au cobalt

# L'UTILISATION DES RAYONNEMENTS IONISANTS

## USAGES THÉRAPEUTIQUES (RADIOTHÉRAPIE)

La radiothérapie est une méthode de traitement des cancers utilisant des rayonnements ionisants issus de sources radioactives. Elle est, avec la chirurgie et la chimiothérapie, l'une des techniques majeures employées pour le traitement des cellules cancéreuses.

Il existe plusieurs techniques de radiothérapie selon les rayonnements utilisés et la localisation des sources radioactives. Elles reposent toutes sur un même principe : l'irradiation des cellules cancéreuses entraîne leur destruction et bloque leur capacité à se multiplier tout en préservant le mieux possible les tissus sains et les organes avoisinants. Les rayonnements orientés vers les cellules cancéreuses créent des lésions sur ces cellules et induisent des altérations de leur ADN. Ainsi, les cellules ne peuvent plus se multiplier, ce qui engendre la mort cellulaire.

Les différentes techniques de radiothérapie sont décrites ci-après.

### LA RADIOTHÉRAPIE EXTERNE

La radiothérapie externe consiste à irradier les cellules cancéreuses avec des rayonnements émis par une source située à distance du patient qui traversent la peau pour atteindre la tumeur. En radiothérapie externe, les rayonnements utilisés sont les photons de haute énergie (ou rayons X) et les électrons produits par des accélérateurs de particules. Les protons peuvent également être utilisés, il s'agit alors de protonthérapie.

La radiothérapie externe est utilisée pour traiter un grand nombre de cancers tels que les cancers du sein, du poumon, du sang, etc.

Il existe plusieurs techniques de radiothérapie externe, détaillées ci-après, qui se modernisent sans cesse pour améliorer les traitements et diminuer les effets secondaires dus essentiellement à l'irradiation des cellules saines à proximité des cellules cancéreuses :

- la plus utilisée de nos jours est la **radiothérapie conformationnelle 3D** qui fait correspondre le plus précisément possible le volume sur lequel sont dirigés les rayons au volume de la tumeur, en épargnant au maximum les tissus sains avoisinants ;
- la **radiothérapie conformationnelle par modulation d'intensité** repose sur le même principe que la radiothérapie conformationnelle 3D mais en modulant le débit de dose délivré ;
- la **radiothérapie asservie à respiration** prend en compte les mouvements du patient et donc de ses organes dus à la respiration. Cette technique de radiothérapie asservit les rayonnements aux mouvements des organes et améliore ainsi la précision des traitements ;
- la **radiothérapie stéréotaxique** est une technique de haute précision qui utilise des microfaisceaux de photons ou de protons ce qui permet d'irradier à hautes doses de petits volumes. Elle est notamment utilisée pour traiter les tumeurs cérébrales ;
- la **tomothérapie** réalise des irradiations adaptées à la tumeur en épargnant au mieux les organes avoisinants. L'accélérateur de particules tourne autour du patient pendant que le patient se déplace longitudinalement ;
- la **cyberknife** est une technique où de nombreux faisceaux convergent avec une grande précision vers la tumeur en minimisant ainsi l'impact sur les tissus sains.

Ces deux dernières techniques sont destinées à traiter des tumeurs dont la localisation ne permet pas la réalisation des autres techniques de radiothérapie.



Appareil de tomothérapie



Appareil cyberknife

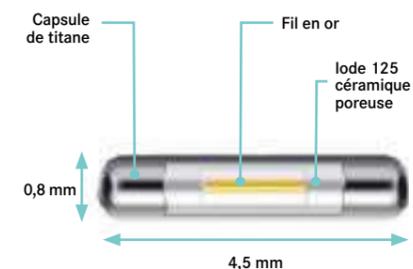
### LA CURIETHÉRAPIE

La curiethérapie est une technique d'irradiation consistant à introduire les sources radioactives directement au contact ou à l'intérieur de la tumeur.

Il existe trois types de curiethérapie :

- la **curiethérapie à bas débit** : elle nécessite l'hospitalisation du patient pendant plusieurs jours. Elle délivre des débits de dose allant de 0,4 à 2 Gy/h. Les sources d'iridium 192 se présentent sous forme de fils (de 0,3 à 0,5 mm de diamètre et 14 cm de longueur maximale). Elles sont mises en place sur le patient dans une chambre protégée et laissées pendant le temps de l'hospitalisation. La curiethérapie en bas débit peut être utilisée pour traiter les cancers de l'œil, ORL, du sein ou gynécologiques. Elle est également utilisée pour le traitement des cancers de la prostate : des sources scellées d'iode 125 de quelques millimètres de long sont implantées de façon permanente dans la prostate du patient en raison de la décroissance rapide de leur radioactivité. Les sources radioactives émettent des rayons qui détruisent les cellules cancéreuses ;

### GRAINS D'IODE 125 POUR LA CURIETHÉRAPIE DE LA PROSTATE



- la **curiethérapie pulsée à moyen débit** : elle délivre des doses identiques à la curiethérapie à bas débit mais sur des temps plus courts avec une source d'iridium de petite dimension. Contrairement à la curiethérapie à bas débit, le patient ne porte pas en permanence des sources. Cette technique est amenée à remplacer la radiothérapie à bas débit car elle renforce la radioprotection des personnels qui peuvent intervenir sans être exposés, mais également le confort du patient. Elle peut être utilisée pour traiter les cancers ORL, du sein ou gynécologiques ;
- la **curiethérapie à haut débit** : le débit de dose est élevé, de l'ordre de 12 Gy/h et le temps de traitement très court. La source utilisée est une source d'iridium de petite dimension. Elle est essentiellement utilisée pour traiter les cancers de l'œsophage, des bronches, du sein, etc.

Les radionucléides utilisés en curiethérapie sont différents de ceux utilisés en médecine nucléaire. Ils possèdent une énergie plus élevée et sont émetteurs de rayonnements bêta et gamma. Les doses administrées aux patients sont plus élevées et varient selon le type de cancer, le stade du cancer, l'organe à traiter, l'âge du patient, etc.



Radiographie de la prostate avec visualisation des grains d'iode 125

### LA RADIOTHÉRAPIE MÉTABOLIQUE

La radiothérapie métabolique est une technique de radiothérapie mise en œuvre en médecine nucléaire (utilisation de sources non scellées) lors de laquelle les radionucléides sont directement injectés aux patients. Elle consiste à irradier localement par un radio-pharmaceutique les tumeurs de petites tailles ou disséminées dans l'organisme.

Le radio-pharmaceutique, molécule porteuse d'un atome radioactif émetteur bêta moins se fixant sélectivement sur les cellules à traiter, est injecté au patient. C'est donc le même principe que pour la scintigraphie mais avec des quantités beaucoup plus élevées (la dose délivrée est supérieure à 50 Gy). Le radio-pharmaceutique est injecté par voie orale ou intraveineuse. Il se fixe sélectivement sur les cellules à traiter et l'électron bêta émis lors de sa désintégration dépose son énergie par ionisation à l'intérieur de la cellule, ce qui engendre sa destruction. Du fait du parcours limité des émetteurs bêta dans la matière, les rayonnements restent confinés dans les tissus à soigner.

L'iode 131 est utilisé pour le traitement des hyperthyroïdies et des cancers thyroïdiens. La dose administrée est très élevée et induit une hospitalisation dans une chambre dont les murs et les fenêtres sont plombés pour notamment protéger le personnel des rayonnements ionisants. L'iode 131 est capté préférentiellement par la thyroïde et détruit ainsi les cellules thyroïdiennes tout en limitant l'irradiation des cellules avoisinantes.

Aujourd'hui, l'utilisation de radio-pharmaceutiques émetteurs alpha est en plein essor. Ils ont l'avantage, par rapport aux émetteurs bêta, de délivrer une grande quantité d'énergie sur un faible parcours et ainsi d'irradier la tumeur tout en limitant l'exposition des cellules saines. À titre d'exemple, le dichlorure de radium 223 (aussi appelé Xofigo®), destiné au traitement des métastases osseuses du cancer de la prostate, se fixe dans l'os en formation (comme le calcium) et y détruit les cellules cancéreuses tout en limitant l'irradiation des tissus sains.

### LA PROTONTHÉRAPIE

Cette technique consiste à traiter les tumeurs avec des protons accélérés contrairement à la radiothérapie conventionnelle qui utilise exclusivement des faisceaux de photons ou d'électrons. C'est une technique précise qui épargne les tissus sains, c'est pourquoi elle est utilisée pour des tumeurs situées à proximité d'organes critiques et sensibles aux radiations tels que l'œil ou le cerveau, elle est également utilisée en pédiatrie.

Le principe de la protonthérapie consiste à diriger le faisceau de protons accélérés issu de l'accélérateur de particules vers la tumeur du patient. L'énergie des protons est réglée pour atteindre la tumeur et libérer le maximum de leur énergie sur la tumeur. Au-delà de celle-ci, les tissus ne sont pas atteints.

Cette technique est très coûteuse car elle nécessite des technologies lourdes et sophistiquées. En France, il existe aujourd'hui seulement deux installations de protonthérapie.



Protonthérapie

### USAGES DIAGNOSTICS

Les techniques de diagnostic en médecine nucléaire relèvent de l'imagerie fonctionnelle : elles montrent la biologie à l'œuvre dans les cellules, (et non l'anatomie comme une radio ou un scanner).

#### LA SCINTIGRAPHIE (DIAGNOSTIC *IN VIVO*)

La scintigraphie est une technique d'imagerie médicale dite fonctionnelle qui permet d'observer la structure et le fonctionnement d'un organe et ainsi de détecter de nombreuses affections des organes et des processus pathologiques telles qu'une inflammation, une tumeur ou une infection, etc. Elle est complémentaire de l'imagerie dite morphologique comme l'IRM ou le scanner, qui prennent une photo de l'organisme sans donner d'information sur son fonctionnement.

Le principe de la scintigraphie consiste à administrer au patient par voie intraveineuse, par inhalation ou par ingestion en petite quantité, une substance radioactive appelée radio-pharmaceutique qui se fixe sélectivement sur l'organe ou le tissu à explorer. Le radio-pharmaceutique injecté est un émetteur de rayonnements gamma choisi en fonction de l'organe ou de la pathologie à observer. Il peut s'agir d'un radionucléide seul ou fixé sur une molécule ou une cellule (hormone, anticorps). Les radioéléments utilisés ont, le plus souvent, une période très courte et sont évacués rapidement de l'organisme. À titre d'exemple, la période du technétium 99 m,

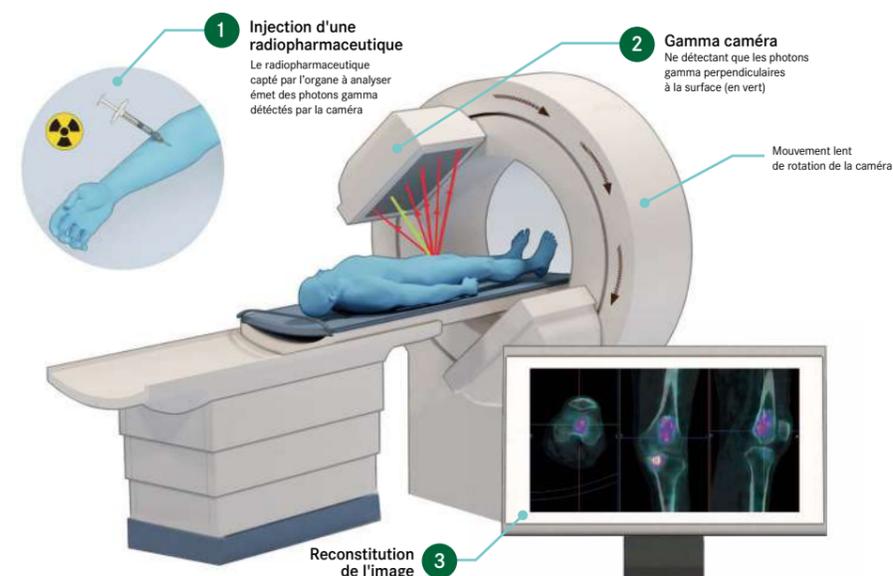
très utilisé en scintigraphie, est de six heures et son élimination urinaire est très rapide. L'activité injectée au patient varie en fonction de l'examen.

Les rayonnements gamma émis par le radio-pharmaceutique fixé sur l'organe ou le tissu à analyser sont détectés à l'aide d'une caméra spéciale dite gamma-caméra. L'enregistrement d'une succession d'images permet de visualiser le fonctionnement de l'organe ou du tissu analysé. La prise de clichés peut avoir lieu directement après l'injection, après quelques heures ou quelques jours et dure entre 5 et 30 minutes.

La gamma-caméra est constituée d'un collimateur, épaisse plaque de plomb ou de tungstène percée de canaux fins parallèles, d'un cristal et d'un photomultiplicateur, sous forme de tube électronique qui détecte les signaux lumineux. Le collimateur sélectionne les photons gamma émis par le radio-pharmaceutique dont la direction est perpendiculaire à la surface du cristal. Le cristal en iodure de sodium dopé au thallium arrête les photons gamma et convertit une partie de l'énergie déposée en scintillation lumineuse détectée par les photomultiplicateurs qui convertissent le signal lumineux en signal électrique. L'énergie et la position du rayon gamma ayant interagi dans le cristal sont alors déterminées.

L'injection d'un radio-pharmaceutique n'a aucun effet sur l'organisme du fait de la faible quantité administrée.

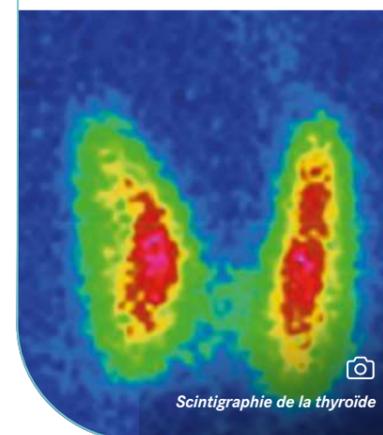
#### EXEMPLE DU FONCTIONNEMENT DE LA SCINTIGRAPHIE



### FOCUS

#### EXEMPLES D'EXAMENS SCINTIGRAPHIQUES

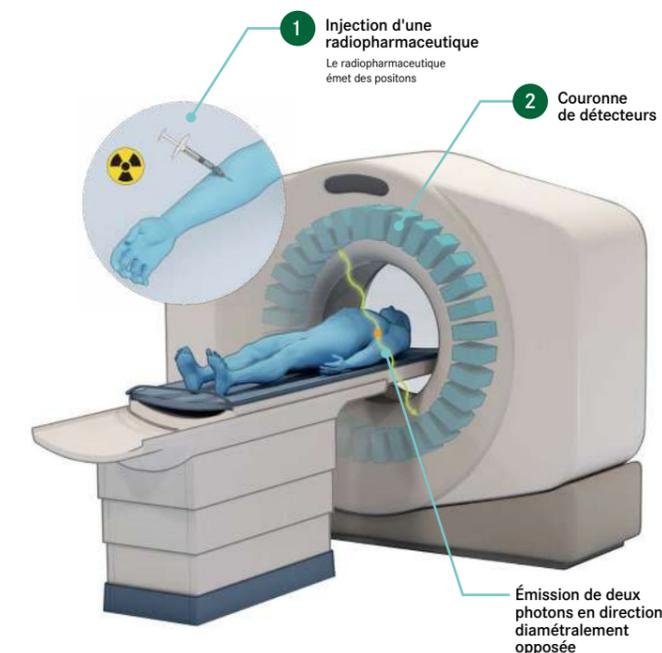
**La scintigraphie de la thyroïde** permet d'observer le métabolisme de l'iode dans la glande thyroïde. De l'iode 123 ou du technétium 99m sont injectés au patient et vont se fixer sélectivement sur la thyroïde. La scintigraphie permet ainsi de visualiser les régions de la thyroïde qui captent le moins de radio-pharmaceutiques (nodules froids) ou qui captent le plus de radio-pharmaceutiques.



Scintigraphie de la thyroïde

**La scintigraphie pulmonaire** permet d'étudier le fonctionnement des poumons : la ventilation des poumons (circulation de l'air) et la perfusion (circulation du sang). La scintigraphie de ventilation consiste à administrer par inhalation un aérosol contenant une quantité connue de produit radioactif (xénon 133, krypton 81 m, technétium 99m) au patient. Les images réalisées à l'aide de la gamma-caméra permettent de mettre en évidence un défaut de fixation du radio-pharmaceutique inhalé qui se traduit par une zone pulmonaire qui ne reçoit pas d'air. La scintigraphie de perfusion consiste à injecter par voie intraveineuse le radio-pharmaceutique qui se diffuse dans l'organisme. Lorsque le poumon est normalement perfusé, les radio-pharmaceutiques se répartissent de façon homogène dans les deux poumons. Lorsqu'une artère est obstruée par un caillot, les particules n'y pénètrent pas et ne sont pas détectées par la gamma-caméra : c'est le cas de l'embolie pulmonaire.

#### EXEMPLE DU FONCTIONNEMENT DE LA TOMOGRAPHIE PAR ÉMISSION DE POSITONS



### LA TOMOGRAPHIE PAR ÉMISSION DE POSITONS (TEP) (DIAGNOSTIC *IN VIVO*)

La tomographie par émission de positons (TEP) est une scintigraphie utilisant des radioéléments émetteurs de positons tels que le fluor 18, le brome 76 ou l'oxygène 15. Contrairement aux radioéléments émetteurs de photons utilisés en scintigraphie classique, les émetteurs de positons sont légers, abondants et plus faciles d'utilisation. Après un court parcours dans le corps, les positons disparaissent en émettant deux rayons gamma émis dos à dos. La détection simultanée des deux rayons gamma permet de localiser la zone d'émission et de dresser une carte de la fixation des atomes radioactifs dans les cellules. La TEP nécessite une caméra à scintillation adaptée. Cette technique d'imagerie permet le dépistage précoce des cancers, le suivi du traitement ou la surveillance des cancers. Elle est également utilisée pour diagnostiquer des maladies cérébrales dégénératives comme la maladie d'Alzheimer, des pathologies inflammatoires ou infectieuses.

Pour diagnostiquer les cancers, le radio-pharmaceutique majoritairement utilisé est le fluor 18 sous forme de sucre comparable au glucose, le 18F-FDG (Fluorodesoxyglucose au fluor 18). Il est injecté au patient par voie intraveineuse, et va se fixer sur les cellules cancéreuses. En effet, les cellules cancéreuses se multiplient sans cesse, elles ont besoin de beaucoup d'énergie et donc de beaucoup de glucose. Elles vont donc consommer une quantité anormalement élevée de glucose par rapport aux cellules saines. Le radio-pharmaceutique se fixe en grande quantité sur les cellules cancéreuses qui peuvent alors être détectées avec la caméra TEP.



TEP scan

### LA RADIO-IMMUNOLOGIE (DIAGNOSTIC *IN VITRO*)

La radio-immunologie est une technique d'analyse de biologie médicale. Contrairement au diagnostic *in vivo*, le radioélément n'est pas injecté au patient. Cette technique permet de mesurer la quantité de composés (hormones, médicaments, enzymes, etc.) dans les fluides biologiques préalablement prélevés sur le patient (le sang, l'urine, la salive, etc.). Toutefois, aujourd'hui, la radio-immunologie est fortement concurrencée par les techniques d'analyse ne faisant pas appel à des radionucléides, plus simples à mettre en œuvre. La radio-immunologie est une technique de dosage qui se base généralement sur les réactions immunologiques (réactions spécifiques anticorps-antigène). Pour déterminer la quantité d'antigènes dans l'échantillon prélevé sur le patient, une quantité connue d'antigènes marqués avec un radionucléide et une faible quantité d'anticorps spécifiques sont ajoutés au milieu. L'antigène marqué permet de déterminer la quantité d'antigène dans l'échantillon.

Les antigènes, qu'ils soient marqués ou non, se fixent sur les anticorps. Étant donné qu'ils se trouvent en excès dans l'échantillon par rapport aux anticorps, une partie des antigènes sera fixée sur les anticorps et l'autre restera libre. Les antigènes libres sont séparés des antigènes fixés et les quantités d'antigènes marqués libres et liés sont mesurées et permettent de déterminer la quantité d'antigènes non marqués présente dans l'échantillon prélevé au patient.

### LA PRODUCTION DE RADIOISOTOPES

Les radioisotopes sont des atomes dont le noyau est instable. Cette instabilité est due à un excès de protons et/ou de neutrons. Ils se stabilisent en libérant de l'énergie sous forme de rayonnements.

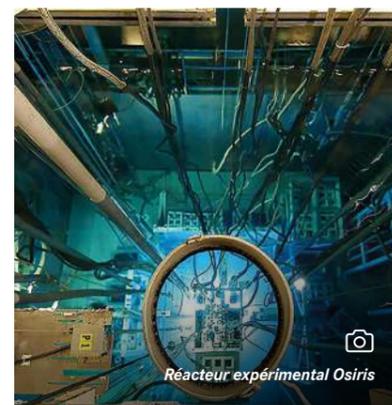
90 % des radioisotopes sont utilisés à des fins diagnostiques et 10 % pour des thérapies. Les radioéléments utilisés en médecine sont produits avec des accélérateurs de particules (cyclotron et accélérateur linéaire) ou par des réacteurs.

Le technétium 99m, utilisé dans 75 % des examens scintigraphiques, est obtenu par désintégration bêta du molybdène 99, lui-même produit par irradiation dans un réacteur nucléaire d'uranium enrichi à près de 20 %. Après irradiation, le molybdène est extrait du réacteur puis mis en générateur qui permet l'extraction du technétium 99m. Du fait de sa période radioactive plus élevée (66 heures pour molybdène 99, contre six heures pour technétium 99m), le molybdène peut être stocké plus longtemps que le technétium. Les générateurs sont distribués dans les hôpitaux une à deux fois par semaine. Le technétium peut alors être extrait de ce générateur et mélangé avec des molécules injectables. Le molybdène 99 de fission est produit essentiellement par six réacteurs de recherche dans le monde.

Certains radioisotopes sont produits dans des accélérateurs de particules appelés cyclotrons. Ils sont composés de deux demi-cylindres

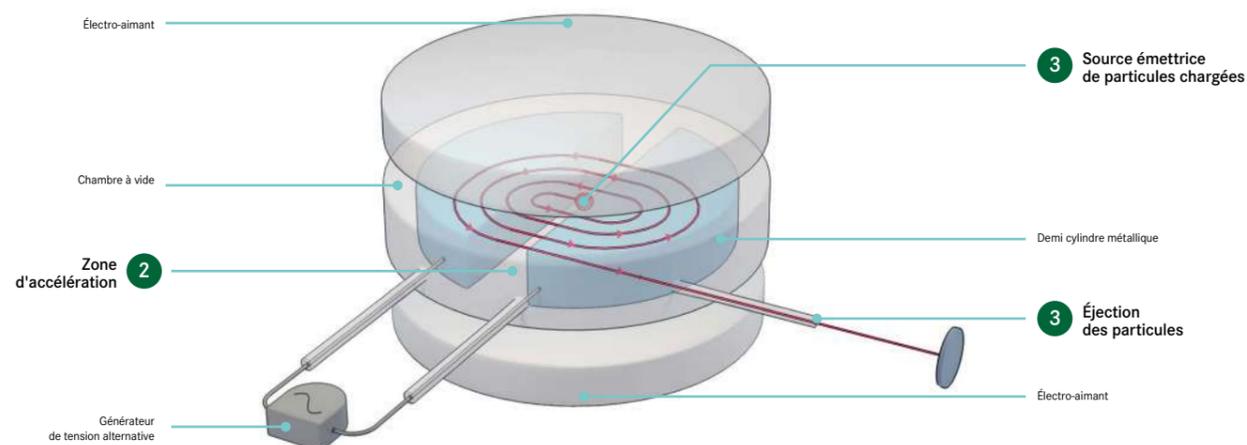
métalliques se faisant face, séparés par un espace, le tout dans un vide poussé. Un champ magnétique perpendiculaire au plan des demi-cylindres est appliqué ainsi qu'un champ électrique dans l'espace qui sépare les demi-cylindres. Une source, placée au voisinage du centre du cyclotron, émet des particules chargées. Ces particules sont soumises au champ magnétique qui courbe leur trajectoire et au champ électrique qui les accélère. Les particules ont ainsi une trajectoire accélérée en forme de spirale jusqu'à être expulsées du cyclotron pour être propulsées sur leur cible.

À titre d'exemple, la source utilisée en protonthérapie est un système qui ionise un gaz d'hydrogène en le chauffant. Le noyau d'hydrogène étant constitué d'un seul proton, celui-ci est séparé



Réacteur expérimental Osiris

### EXEMPLE DU FONCTIONNEMENT DU CYCLOTRON



### STÉRILISATION DU MATÉRIEL PAR RAYONNEMENTS

Les rayonnements sont également utilisés dans le secteur médical pour stériliser le matériel utilisé dans les blocs opératoires et pour les soins : seringues, aiguilles, gants chirurgicaux, compresses, implants, poches pour solution intraveineuse, etc. Les rayonnements provoquent des lésions dans les molécules d'ADN et entraînent ainsi la destruction de divers organismes (champignons, insectes, parasites, moisissures, microbes et bactéries). La stérilisation est effectuée dans une usine de stérilisation avec généralement des sources de cobalt 60 ou césium 137, émetteurs gamma de haute énergie et dure quelques secondes. Ce mode de stérilisation est idéal pour stériliser les matériaux sensibles à la chaleur. Ainsi, le matériel peut être directement stérilisé dans son emballage.

Avant une transfusion sanguine, les poches de sang sont irradiées dans les hôpitaux dans des irradiateurs afin d'éliminer les cellules susceptibles d'engendrer la mort du patient.

Que ce soit pour la stérilisation du matériel médical ou le traitement des poches de sang, les rayonnements n'ont aucun effet sur le produit en lui-même.



Irradiateur sanguin

### FOCUS

#### LES PACEMAKERS AU PLUTONIUM 238

Les premiers stimulateurs cardiaques fonctionnaient avec une pile dont la durée de vie était limitée, et qui nécessitait un changement régulier (tous les 10 ans environ). Pour pallier ce défaut, des stimulateurs cardiaques au plutonium 238 ont été mis au point dans les années 1970. Leur durée de vie étant beaucoup plus élevée que les pacemakers de l'époque (environ 40 ans), ils peuvent donc fonctionner jusqu'au décès du patient. Ces stimulateurs utilisent l'énergie thermique de la désintégration alpha du plutonium, transformée en électricité qui alimente le stimulateur. Le plutonium 238 est enfermé dans un boîtier à plusieurs couches métalliques afin de protéger le patient des rayonnements. Les pacemakers au plutonium 238 ont été abandonnés au profit des pacemakers à pile iode/

lithium du fait du risque d'irradiation en cas de défaillance du boîtier hermétique. Aujourd'hui, ces pacemakers fonctionnent encore chez certains patients. Au décès du patient, il est retiré et renvoyé au fournisseur, car considéré comme une source scellée.



Pacemaker au plutonium

### Le contrôle de l'ASN dans le secteur médical

Les activités nucléaires relatives à la fabrication, la détention et l'utilisation de radionucléides et produits ou dispositifs en contenant et à la détention et l'utilisation d'un accélérateur de particules sont soumises à autorisation. Les demandes d'autorisation sont effectuées auprès de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). L'ASN est en charge du contrôle de la radioprotection dans le domaine du médical. Ainsi, elle mène tous les deux ans des inspections dans les centres de radiothérapie (respect des règles relatives à la radioprotection des travailleurs et des patients, l'aménagement

des locaux, les équipements et la gestion des sources, assurance de la qualité). L'ASN réalise également des inspections dans les services de médecine nucléaire. Les synthèses des inspections sont consultables sur le site Internet de l'ASN ([asn.fr](http://asn.fr)).

Une personne compétente en radioprotection est désignée dans chaque établissement pour assurer la radioprotection des travailleurs qui consiste à : évaluer les risques, diffuser les bonnes pratiques, mettre en place un zonage, former les travailleurs et suivre la dosimétrie. La radioprotection des patients est également assurée.

# LES DÉCHETS RADIOACTIFS DU SECTEUR MÉDICAL

## LEUR NATURE

Les déchets radioactifs du secteur médical produits suite aux analyses *in vitro*, *in vivo* ou aux radiothérapies peuvent être des effluents liquides ou gazeux ou des déchets solides ou liquides contaminés.

Les effluents liquides radioactifs proviennent essentiellement :

- du rinçage dans des éviers réservés aux effluents radioactifs, dits « éviers chauds », des instruments non jetables utilisés par exemple pour les préparations et les injections (protège-seringue, plateaux, etc.) ;
- des sanitaires des patients ayant reçu des injections de radionucléides (scintigraphie, TEP) ou des sanitaires des chambres protégées dans le cas des traitements à l'iode 131.

Les effluents gazeux radioactifs proviennent des radio-éléments potentiellement volatilisés lors des phases de préparation et de manipulation des sources non scellées ou des examens de ventilation pulmonaire.

Les déchets contaminés sont de deux types : les déchets piquants ou coupants (lames, aiguilles, etc.) et les autres (gants, compresses, cotons, tubulures, tubes réactifs, embouts de pipette, etc.). La particularité de ces déchets est, qu'outre le risque radioactif, ils peuvent présenter d'autres risques : le risque infectieux, le risque chimique ou toxique.

Les autres déchets : certains déchets peuvent être induits. Il s'agit par exemple des pots en plomb transportant les radio-pharmaceutiques qui, après contrôle de non-contamination, sont évacués vers une filière spécifique.

## Les déchets du médical dans l'Inventaire national

Les établissements qui utilisent des radionucléides à des fins de diagnostic ou de thérapie dans le domaine de la médecine sont tenus de transmettre chaque année à l'Andra un inventaire des déchets radioactifs qu'ils détiennent au 31 décembre de l'année écoulée, en indiquant la filière de gestion utilisée.

À fin 2021, le volume de déchets produits par les activités médicales est de l'ordre de 10 800 m<sup>3</sup> parmi lesquels 2 170 m<sup>3</sup> sont gérés en décroissance sur leur site de production et 8 400 m<sup>3</sup> sont stockés sur les centres de stockage de l'Andra.



Protège-seringue



Utilisation de produits radioactifs dans le secteur médical

## LEUR GESTION

La gestion des déchets issus du secteur médical est encadrée par la loi. L'arrêté du 23 juillet 2008 a homologué la décision n° 2008-DC-0095 de l'ASN, prise en application des dispositions de l'article R.1333-12 du code de la santé publique, qui « fixe les règles techniques auxquelles doit satisfaire l'élimination des effluents et des déchets contaminés par des radionucléides, ou susceptibles de l'être du fait d'une activité nucléaire ».

Dans les établissements de soins, un « zonage déchets » est mis en place afin de distinguer les zones où les déchets et effluents produits sont contaminés ou susceptibles de l'être, des zones où les déchets ou effluents produits sont conventionnels. Il peut s'agir d'une simple pailasse (évier chaud par exemple), d'une partie d'un local ou de sa totalité.

Les modalités de gestion des déchets et des effluents contaminés sont décrites pour chaque établissement dans un document, le plan de gestion des déchets et des effluents contaminés.

Ce plan comprend :

- les modes de production et de gestion des effluents et déchets radioactifs (modalités de tri, de conditionnement, de stockage) ;
- les dispositions assurant l'élimination des déchets et des effluents et les modalités de contrôles associés ;
- l'identification des zones où sont produits et entreposés les effluents et les déchets ;
- l'identification et la localisation des points de rejets des effluents ;
- la surveillance du réseau récupérant les effluents et de l'environnement.

Les déchets contaminés et les effluents radioactifs sont gérés indépendamment.

## FOCUS

### ARTICLE R.1333-16 DU CODE DE LA SANTÉ PUBLIQUE

« Les effluents et déchets contaminés par des radionucléides ou susceptibles de l'être ou activés du fait d'une activité nucléaire sont collectés et gérés en tenant compte des caractéristiques et des quantités de ces radionucléides, du risque d'exposition encouru ainsi que

des exutoires retenus. Les modalités de collecte, de gestion et d'élimination des effluents et déchets sont consignées par le responsable d'une activité nucléaire dans un plan de gestion des effluents et des déchets tenus à la disposition de l'autorité compétente ».

## LA GESTION DES DÉCHETS CONTAMINÉS

Les déchets contaminés par des radionucléides présentent un risque d'exposition et de contamination pour le personnel, les patients et l'environnement. Il convient donc de les éliminer dans des filières dédiées en assurant la maîtrise des risques d'exposition et de contamination.

Les établissements de soins qui possèdent ou produisent des déchets contaminés en sont responsables jusqu'à leur élimination définitive. L'élimination des déchets comporte des opérations de tri, de conditionnement, de caractérisation, d'entreposage, de collecte, de transport et de traitement éventuel.

Les déchets contaminés sont séparés des déchets non contaminés puis triés en fonction de leur nature, des radionucléides qu'ils contiennent, et des risques spécifiques (infectieux, cancérigène, reprotoxique, etc.). Ils sont conditionnés dans des emballages adaptés qui protègent du

risque radiologique (poubelle en plomb) et également des autres risques (infectieux, chimique ou toxique). Ainsi, les poubelles en plomb peuvent contenir un emballage DASRI (déchets d'activités de soins à risques infectieux et assimilés)<sup>1</sup>. Les déchets contaminés sont gérés selon la période radioactive des radionucléides qu'ils contiennent.

Les déchets contaminés peuvent être gérés en décroissance :

- s'ils contiennent ou sont contaminés par des radionucléides de période radioactive inférieure à 100 jours ;
- si les produits de filiation de ces radionucléides, issus des désintégrations successives des radionucléides, ne sont pas eux-mêmes des radionucléides de période supérieure à 100 jours. Dans le cas où les produits de filiation seraient des radionucléides de période supérieure à 100 jours, les déchets peuvent être gérés par décroissance radioactive si le rapport de la période du radionucléide père sur celle du radionucléide descendant est inférieur au coefficient 10-7.



Poubelles de tri utilisées dans les hôpitaux



Emballages DASRI

<sup>1</sup> Les DASRI contiennent des microorganismes viables ou leurs toxines, dont on sait ou dont on a de bonnes raisons de croire qu'en raison de leur nature, de leur quantité ou de leur métabolisme, ils causent une maladie chez l'homme ou chez d'autres organismes vivants. Même en l'absence de risque infectieux, sont également considérés comme DASRI : les matériels et matériaux piquants ou coupants et les produits sanguins.

La plupart des radionucléides utilisés pour des applications *in vivo* ont une période inférieure à 100 jours : technétium 99m, Iode 123, Iode 131, Fluor 18. Les déchets sont entreposés dans un lieu fermé et réservé à ce type de déchets. Après une durée d'entreposage au moins 10 fois supérieure à la période du radionucléide ayant la période la plus élevée, les déchets peuvent être éliminés comme des déchets non radioactifs après contrôle d'absence de contamination. Ainsi, après décroissance, les déchets sont dirigés :

- en l'absence de risques infectieux et chimiques, vers les filières des déchets non dangereux ;
- en présence d'un risque infectieux, vers la filière des déchets d'activités de soins à risques infectieux (DASRI) ;
- en présence de risques chimiques ou toxiques, vers la filière adaptée des déchets à risques chimiques ou toxiques.

Afin de s'assurer de l'absence de contamination des déchets destinés à des filières de gestion de déchets non radioactifs, des systèmes de détection (balises, portiques) sont mis en place dans les établissements disposant d'une installation de médecine nucléaire.

Les générateurs produisant le technétium utilisé en médecine nucléaire et livrés régulièrement dans les établissements de soins peuvent être utilisés pendant une durée limitée. Du fait de la décroissance radioactive, au bout d'environ une semaine, le générateur ne produit plus assez de technétium. Il est alors mis en décroissance pendant trois semaines. Puis lorsque le niveau de radioactivité est assez faible, il est retourné au fournisseur.

Les déchets ne pouvant être gérés par décroissance, dont la période radioactive est supérieure à 100 jours, sont gérés dans les filières autorisées pour la gestion des déchets radioactifs. Ils sont dirigés vers les centres de stockage de l'Andra.



Conteneur de transport de générateur de technétium



Local d'entreposage des déchets radioactifs



Générateur de technétium

### LA GESTION DES EFFLUENTS LIQUIDES RADIOACTIFS

Les effluents liquides peuvent être gérés par décroissance radioactive s'ils répondent aux mêmes critères que ceux énoncés pour les déchets contaminés.

Les effluents liquides sont dirigés et entreposés dans des cuves avant leur rejet pour éviter un rejet direct dans le réseau d'assainissement. Au moins deux cuves récoltent les effluents : lorsqu'une est en phase de remplissage, l'autre est en phase d'entreposage de décroissance. Les effluents liquides contenus dans les cuves d'entreposage sont rejetés dans le réseau d'assainissement si l'activité est inférieure à 10 Bq/l, excepté pour les chambres de patients traités à l'iode 131 où la limite est de 100 Bq/l. À noter que la dilution volontaire des effluents liquides radioactifs avant rejet est strictement interdite.

Après décroissance d'une durée équivalente à au moins 10 fois la période du radionucléide ayant la période la plus élevée, et après contrôle, les effluents peuvent être rejetés dans l'environnement. Toutefois, il convient de noter que « tout déversement d'eaux usées autres que domestiques dans le réseau public doit être préalablement autorisé par le gestionnaire de réseau ».

Le rejet d'effluents liquides contenant des radionucléides de période supérieure à 100 jours est soumis à l'approbation de l'ASN. L'établissement doit réaliser une étude technico-économique, une étude d'incidence présentant les effets des rejets sur la population, l'environnement et les travailleurs et doit définir les modalités mises en place pour contrôler les rejets et les suspendre si besoin. Sur la base de ces éléments, l'ASN peut, soit autoriser le rejet des effluents en fixant des conditions de rejet dans l'environnement, soit imposer leur évacuation vers les centres de stockage de l'Andra si l'impact sur l'environnement, la population ou les travailleurs est trop important.



Cuves de décroissance

### LA GESTION DES EFFLUENTS GAZEUX RADIOACTIFS

Le rejet des effluents gazeux doit être aussi faible que raisonnablement possible. Des filtres, tels que des filtres à charbon actifs sont mis en place. Ces filtres sont éliminés avec les déchets contaminés. Lorsque les effluents gazeux contiennent un radionucléide de période supérieure à 100 jours, l'ASN fixe les conditions de rejets dans l'environnement (suivi de l'activité rejetée, plan de surveillance, etc.), comme pour les effluents liquides radioactifs.

### LE CAS PARTICULIER DES ACCÉLÉRATEURS LINÉAIRES DE PARTICULES

Le démantèlement des accélérateurs linéaires de particules induit également des déchets. En effet, certaines pièces de l'accélérateur peuvent être activées sous le flux de particules. Ces pièces doivent être identifiées, caractérisées et leur activité évaluée en vue de définir leur filière de gestion et leur prise en charge éventuelle par l'Andra. Toutefois, la caractérisation des émetteurs bêta purs à vie longue étant difficile et coûteuse, les déchets sont généralement entreposés *in situ* en attente de caractérisation. Des études sont en cours pour aider à la caractérisation de ces pièces métalliques.



## Dossier 6

# Les sources scellées

<b>Présentation des sources scellées</b>	<b>159</b>
Définition	159
Gestion des sources scellées par l'IRSN	159
Place des sources scellées dans l' <i>Inventaire national des matières et déchets radioactifs</i>	159
<b>Domaines d'utilisation des sources scellées</b>	<b>159</b>
Usage industriel	161
Usage médical	160
<b>Gestion des sources scellées usagées</b>	<b>163</b>
Obligation de reprise	164
Recyclage des sources scellées	164
Prise en charge par l'Andra	164

## PRÉSENTATION DES SOURCES SCELLÉES

### DÉFINITION

Une source radioactive scellée est une source radioactive dont les substances radioactives sont soit enfermées d'une manière permanente dans une enveloppe inactive, soit incorporées sous forme solide dans le but d'empêcher, dans des conditions d'utilisation normales, toute dispersion de substances radioactives.

### GESTION DES SOURCES SCELLÉES PAR L'IRSN

Les sources scellées concentrent de la radioactivité et peuvent représenter un danger en cas de contact prolongé ou d'ingestion.

Afin d'assurer la sécurité des utilisateurs, du public et de l'environnement, la réglementation impose le contrôle des conditions de détention, d'utilisation et de cession des sources de leur fabrication à leur mise en déchet ou recyclage.

En France, la surveillance du respect de cette réglementation est assurée par l'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire - [irsn.fr](http://irsn.fr)).

Les demandes relatives à la détention et l'utilisation de rayonnements ionisants sont instruites et délivrées par les différentes autorités compétentes en matière de sources radioactives (ASN, préfectures, DSND, etc.). L'instruction des demandes d'autorisation concernant la fabrication et la distribution de sources est centralisée au niveau national. L'IRSN centralise ces autorisations ainsi que les mouvements de sources sur le territoire français (acquisition, cession, exportation, importation, reprise, remplacement, etc.). À partir de ces données informatisées, l'IRSN constitue l'*Inventaire national* des sources de rayonnements ionisants.

L'IRSN est donc le correspondant pour ce qui concerne les modalités pratiques pour tout mouvement de sources : obtention de formulaires pour l'achat de sources, reprise de sources, inventaire annuel, etc.

### PLACE DES SOURCES SCELLÉES DANS L'INVENTAIRE NATIONAL DES MATIÈRES ET DÉCHETS RADIOACTIFS

Toutes les sources scellées présentes sur le territoire français ne sont pas recensées dans l'*Inventaire national des matières et déchets radioactifs* élaboré par l'Andra. Seules les sources périmées (voir page 163) ou dont le détenteur n'a plus l'usage sont considérées comme des déchets et peuvent, à ce titre, être inventoriées par l'Andra.

Pour des raisons historiques, les sources ayant bénéficié, par le passé, d'un régime de dispense particulier ne sont pas inventoriées par l'IRSN mais par l'Andra car elles sont hors d'usage et considérées comme des déchets.

Il s'agit :

- des paratonnerres radioactifs ;
- des détecteurs ioniques d'incendie (les détecteurs actuels ne contiennent pas de source radioactive) ;
- des sources radioluminescentes ;
- des parasurtenseurs (anciens composants électroniques notamment utilisés pour la protection électrique du réseau téléphonique).

Tous ces objets ont pu être fabriqués avec du radium, radionucléide dont l'usage n'a pas été réglementé pendant longtemps ; par la suite, d'autres radionucléides ont pu être utilisés.

### FOCUS

#### LES SOURCES SCELLÉES USAGÉES DANS L'INVENTAIRE NATIONAL

Les sources scellées usagées font l'objet de plusieurs familles dans l'*Inventaire national* :

- les colis « blocs sources » du CEA (famille MA-VL F2-9-01), qui regroupent des colis constitués à partir de sources scellées usagées (solides, liquides ou gazeuses), collectées auprès des petits producteurs de déchets (hôpitaux, industries agroalimentaires, papeteries, industries pétrochimiques, etc.) ;
- les colis de sources radioactives scellées, de période inférieure ou égale au cobalt 60 du CEA (famille FMA-VC F3-9-02). Ces sources ont été utilisées dans le passé à des fins médicales, de recherche ou industrielles ;

- les sources scellées usagées (famille S01). La majorité de ces sources correspond à des sources de détecteurs ioniques de fumée. Parmi ces sources, on trouve aussi des crayons sources primaires et secondaires des réacteurs à eau pressurisée d'EDF. Le reste correspond aux sources scellées sans emploi récupérées et entreposées par les principaux fournisseurs ou fabricants de sources ;
- les objets radioluminescents (famille S02). Cette famille concerne essentiellement le matériel réformé des armées regroupant des objets radioluminescents au radium et au tritium (boussoles, cadrans, dispositifs de visée, etc.) ;
- les sources scellées usagées contaminées (famille S03) et les parasurtenseurs radioactifs (famille S04).

## FOCUS

## DES ANCIENS OBJETS RADIOLUMINESCENTS

Lorsque les vieux modèles de montres, réveils, boussoles, cadrans d'avion, systèmes de visée nocturne ont des aiguilles et des cadrans qui restent lumineux après un séjour de deux jours dans l'obscurité complète, ils sont radioactifs et considérés comme étant des sources scellées. Cet effet lumineux était obtenu en ajoutant du radium, puis du tritium, à la peinture. Les quantités de substances radioactives en jeu sont

extrêmement faibles et sont confinées dans le boîtier par le verre. Un problème existe si le verre ou le boîtier ne sont plus étanches. Ces vieux modèles sont souvent détenus par des collectionneurs, en particulier des collectionneurs d'objets militaires, par des horlogers ou des héritiers d'horlogers. Ils ne peuvent pas être vendus ou donnés, ils doivent être pris en charge en tant que déchets radioactifs par l'Andra.



Réveils radioluminescents



## DOMAINES D'UTILISATION DES SOURCES SCÉLÉES

Le principe de justification (voir encadré ci-dessous) ne permet d'utiliser des radionucléides que s'il n'existe pas de solution alternative. Les sources scellées utilisées actuellement, que ce soit dans le domaine industriel ou médical, respectent ce principe.

### Principe de justification (article L. 1333-2 du code de la santé publique)

Toute activité susceptible de soumettre des personnes à une exposition aux rayonnements ionisants ne peut être entreprise ou exercée que si elle est justifiée par ses avantages, notamment en matière sanitaire, sociale, économique ou scientifique, rapportés aux risques inhérents à cette exposition. Toute activité non justifiée est interdite. Lorsque plusieurs techniques permettent d'obtenir le même résultat, le choix se portera sur celle qui est la moins « dosante » en rayonnements ionisants et dont le bilan, en termes de risques, est le plus favorable.



Désinfection d'une momie par irradiation (cobalt 60). On aperçoit en arrière-plan les barreaux sources

## USAGE INDUSTRIEL

Les propriétés radioactives des sources scellées sont utilisées dans différents procédés industriels détaillés ci-après.

## LA STÉRILISATION PAR IRRADIATION

Elle consiste à exposer les éléments à des rayonnements ionisants, ce qui engendre la destruction de tous les organismes sans altérer la composition des matières organiques. Ce procédé est utilisé pour plusieurs applications :

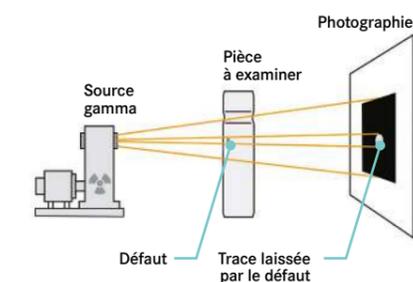
- **le traitement des aliments** : l'irradiation peut prévenir la germination, exterminer les insectes, retarder la maturation (fruits et légumes), prévenir les maladies (volaille) ou réduire la quantité de micro-organismes (herbes aromatiques). À l'issue de leur traitement, ces produits ne présentent aucune radioactivité résiduelle. Pour ces opérations, plusieurs centrales d'irradiation des aliments existent en France. Elles peuvent utiliser soit une source radioactive scellée (cobalt 60), soit un accélérateur d'électrons ;
- **l'éradication d'insectes nuisibles** : par exemple les mouches tsé-tsé mâles sont élevées en laboratoire et stérilisées en étant brièvement exposées à des rayons gamma provenant d'une source radioactive scellée au cobalt 60. Ces mouches stériles sont ensuite mises en liberté dans la zone ciblée afin de se substituer aux mâles locaux auprès des femelles ;
- **la protection de certains éléments du patrimoine** contre les champignons ou pour éliminer tout risque de contamination auprès du public et des chercheurs. La momie de Ramsès II a ainsi été exposée aux rayonnements ionisants ;
- **la stérilisation des matériels médicaux**, des produits pharmaceutiques et cosmétiques. Le traitement par rayonnement gamma permet des délais d'exécution rapides des produits déjà sous emballage scellé.

## LES CONTRÔLES ET LES ANALYSES DES MATÉRIAUX

Les sources scellées sont utilisées dans plusieurs types de dispositifs permettant l'analyse physique ou chimique de matériaux :

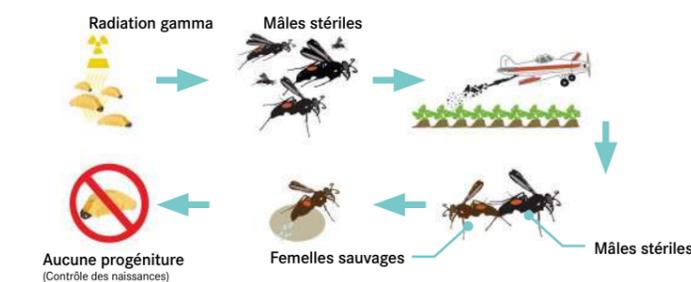
- **les contrôles non destructifs par gammagraphie** : ces contrôles sont réalisés sans endommager les objets contrôlés. Il s'agit d'une « radiographie » permettant d'identifier les défauts internes. L'ensemble des techniques et procédés fournissent des informations sur la santé d'une pièce ou d'une structure, sans qu'il en résulte des altérations préjudiciables à leur utilisation ultérieure ;
- **les contrôles de présence de plomb** : des appareils portatifs contenant une source scellée sont utilisés pour détecter le plomb présent dans des peintures. Ils sont très employés pour les diagnostics immobiliers. Ces détecteurs utilisent la fluorescence X : lorsque l'on bombarde de la matière avec des rayonnements (émis par une source de cadmium 109 ou cobalt 57), la matière réémet de l'énergie selon la composition de l'échantillon.

## SCHÉMA DE PRINCIPE DE CONTRÔLE NON DESTRUCTIF PAR GAMMAGRAPHIE



© Andra

## LUTTE CONTRE LES INSECTES NUISIBLES PAR LA TECHNIQUE DE L'INSECTE STÉRILE (TIS)



Aucune progéniture (Contrôle des naissances)

Femelles sauvages

Mâles stériles

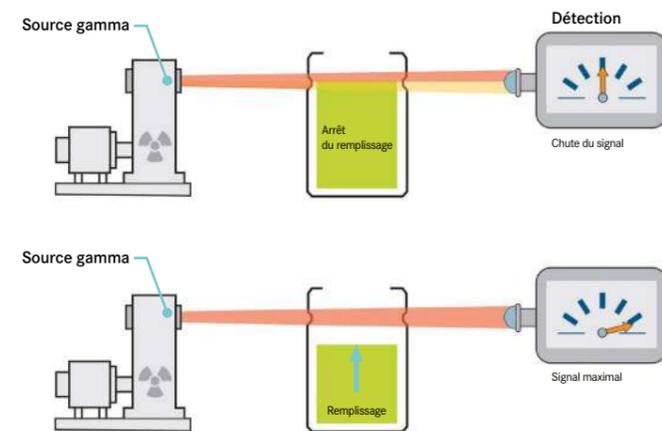
© Andra

### CONTRÔLES DE PARAMÈTRES

Les sources scellées sont utilisées dans différents capteurs industriels :

- pour contrôler le grammage ou l'épaisseur du papier, du tissu, du plastique et du métal. L'atténuation des rayonnements produits par la source radioactive dépend de l'épaisseur des matériaux qu'ils traversent ;
- pour réaliser des contrôles de niveaux des cuves : un faisceau de rayonnement gamma traverse le conteneur en passe de remplissage avant d'être reçu sur un détecteur situé en vis-à-vis. Quand le liquide intercepte en montant le faisceau de rayons gamma, le signal vu par le détecteur chute brusquement. Cette chute permet de déclencher automatiquement l'arrêt du remplissage. Les radionucléides utilisés dépendent des caractéristiques du contenant et du contenu.

### ➤ SCHÉMA DE PRINCIPE D'UN CONTRÔLE DE REMPLISSAGE D'UNE CUVE

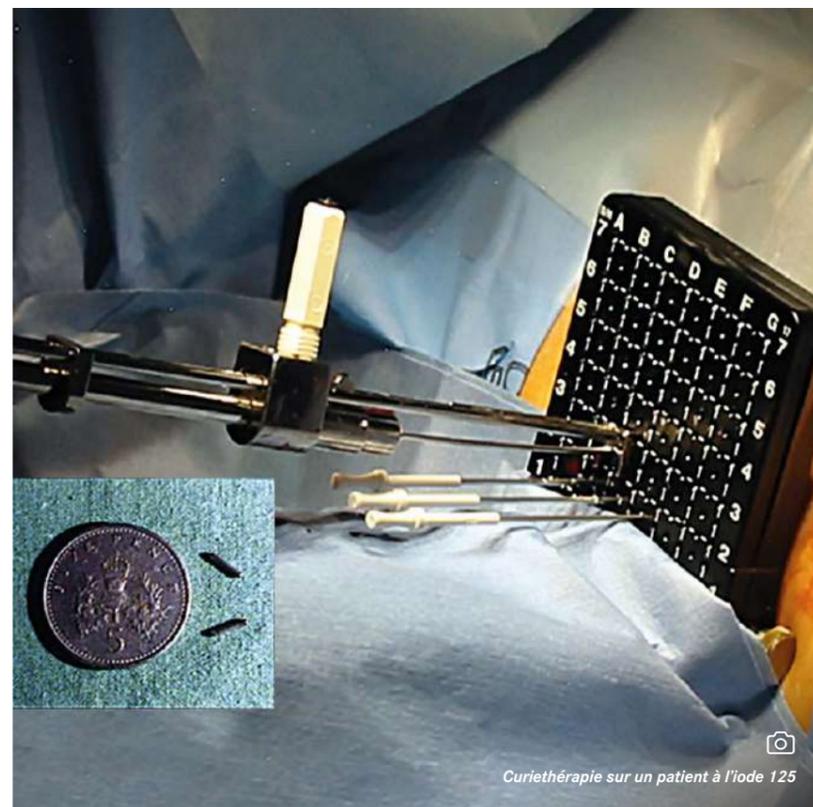


© Andra

### USAGE MÉDICAL

Les sources scellées sont utilisées en médecine pour :

- **la curiethérapie** qui consiste à implanter des sources radioactives à l'intérieur du corps, directement sur la lésion à traiter. Cela permet de concentrer les doses sur un petit volume sans aggraver les tissus environnants. Les rayons gamma sont délivrés par une source scellée, implantée dans l'organisme, souvent dans une cavité naturelle. Le radium utilisé autrefois a été abandonné au profit de radioéléments artificiels (césium 137 et iridium 192 par exemple) ;
- **le contrôle et l'étalonnage des appareils** utilisés en médecine nucléaire : des sources étalons permettent de vérifier le bon fonctionnement des appareils de mesure utilisés dans le procédé de diagnostic ou de thérapie ;
- **la stérilisation** : outre les exemples déjà cités précédemment, cette méthode est couramment employée pour stériliser le sang humain avant une transfusion. Les irradiateurs sont constitués d'une cuve blindée qui renferme une source de haute activité du cobalt 60 ou au césium 137.



Curiothérapie sur un patient à l'iode 125

## GESTION DES SOURCES SCÉLÉES USAGÉES

### FOCUS

#### LA LÉGISLATION AFFÉRENTE AUX SOURCES

**La législation afférente aux sources est regroupée dans le code de la santé publique, d'une part dans les articles L. 1333-1, et suivants et d'autre part dans les articles R. 1333-152 et suivants.**

L'article R. 1333-161 du code de la santé publique rappelle notamment que :

**I.** Une source radioactive scellée est considérée comme périmée 10 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.

**II.** 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. 1333-8. Les sources radioactives scellées 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 radioactives scellées 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 reprenneur, copie de cette attestation au fournisseur d'origine et à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire.

**III.** Les dispositions des I et II ne sont pas applicables aux sources radioactives scellées dont l'activité, au moment de leur fabrication ou, si ce moment n'est pas connu, au moment de leur première mise sur le marché, ne dépasse pas les valeurs limites d'exemption fixées au tableau 1 et aux deuxième et troisième colonnes du tableau 2 de l'annexe 13-8.

**IV.** Le fournisseur de sources radioactives scellées, de produits ou dispositifs en contenant est dans l'obligation de récupérer toute source radioactive scellée qu'il a distribuée, lorsque cette source est périmée ou que son détenteur n'en a plus l'usage ou est défaillant. Les conditions de cette reprise, incluant les frais afférents, sont définies entre le fournisseur et l'acquéreur au moment de la cession de la source et sont conservées par le détenteur et le fournisseur de la source tant que celle-ci n'a pas été reprise. Ces modalités peuvent faire l'objet d'actualisation en fonction des évolutions techniques ou économiques et sont prises en compte lors de la mise en œuvre de la garantie financière mentionnée à l'article R. 1333-162. Lorsque la source a été fournie dans un dispositif ou un produit, le fournisseur est également tenu de le reprendre en totalité si le détenteur en fait la demande. En cas de défaillance du détenteur et si celui-ci n'est pas lui-même le bénéficiaire d'une garantie couvrant les coûts de reprise mentionnés à l'article R. 1333-163, la reprise des sources sans condition est prescrite au fournisseur par l'Autorité de sûreté nucléaire.

Cette obligation de reprise cesse lorsque le fournisseur arrête toute activité de distribution de sources radioactives scellées. Elle est toutefois maintenue pendant une période de trois ans suivant la date de péremption des sources distribuées dont l'activité, au moment de leur fabrication ou, si ce moment n'est pas connu, au moment de leur première mise sur le marché, dépasse les valeurs limites d'exemption fixées au tableau 1 et aux deuxième et troisième colonnes du tableau 2 de l'annexe 13-8. La date de péremption susmentionnée tient compte des prolongations accordées en application du I pour lesquelles le fournisseur a confirmé le maintien de la garantie financière.

**V.** Tout fournisseur procède ou fait procéder à l'élimination des sources radioactives scellées reprises dans une installation autorisée à cet effet ou les retourne à son fournisseur ou au fabricant. Il justifie de capacités d'entreposage suffisantes pour recevoir les sources reprises pendant la période précédant leur élimination ou leur recyclage.

## OBLIGATION DE REPRISE

La loi française impose aux fournisseurs de reprendre, sur demande du détenteur, toutes les sources scellées qu'il a fournies sur le territoire français (obligation de reprise qui cesse lorsque le fournisseur arrête toute activité de distribution de ces sources).

Afin de permettre la reprise effective des sources, même en cas de défaillance financière de son fabricant, les fournisseurs se sont regroupés au sein de l'association Ressources pour mutualiser les garanties financières et permettre le remboursement à l'Andra ou à tout autre organisme habilité, des frais de reprise des sources.

Cette association avec une soixantaine d'adhérents représente près de 95 % du marché de cette activité.



La gestion des sources

## RECYCLAGE DES SOURCES SCÉLÉES

Les radioéléments présents dans certaines sources ont une période radioactive très élevée (par exemple, l'américium 241 a une période de 432 ans), l'activité à la fin de sa vie a très peu décliné et est alors très proche de son activité initiale. Après la reprise, certaines sources pourraient être recyclées : selon le type de source (géométrie, matrice, etc.), il serait possible de récupérer les isotopes radioactifs pour les inclure dans un emballage neuf et produire ainsi une nouvelle source. L'emballage usagé serait, pour sa part, traité comme un déchet. Toutefois, aujourd'hui, les sources ne sont quasiment pas recyclées, en raison notamment de contraintes techniques importantes (radionucléides emprisonnés dans des matrices difficilement recyclables, etc.) et du coût non négligeable du recyclage.

## PRISE EN CHARGE PAR L'ANDRA

Les centres de stockage de l'Andra en exploitation ou en projet peuvent ou pourront accueillir des sources scellées usagées sous réserve qu'elles respectent les critères d'acceptabilité.

La plupart des sources scellées usagées sont actuellement entreposées dans l'attente d'une solution définitive de stockage.

## CIRES

Le Cires a pour vocation de recevoir en stockage définitif des déchets de très faible activité.

Depuis 2015, les spécifications d'acceptation de cette installation permettent le stockage des sources scellées usagées dans le respect de la démonstration de la sûreté du centre.

L'activité de chaque source mise en colis au moment de sa déclaration pour une prise en charge au Cires doit être telle que l'activité résultante suite à une décroissance de 30 ans soit inférieure ou égale à 1 Bq.

Ces sources contiennent des radionucléides de courte période, tels que le cobalt 57 (période de 272 jours), le fer 55 (2,7 ans) ou le zinc 65 (244 jours), elles ne sont donc pas recyclables.

## CSA

Depuis 2006, une spécification d'acceptation précise les modalités de prise en charge de colis de sources scellées usagées. Avant 2006, les sources pouvaient être acceptées au CSA, mais uniquement sur dérogation de l'ASN.

Entre autres, les sources contenues dans un même colis ne doivent posséder qu'un seul et même radionucléide d'une période inférieure à 30 ans. Des sources contenant du cobalt 60 (période de 5,3 ans) et de radioéléments de période plus courte sont actuellement stockées au CSA.

La limitation de l'acceptabilité des sources scellées dans les centres de stockage radioactifs en surface est due à leur activité concentrée et leur caractère potentiellement attractif (les sources sont des objets manufacturés, de petite taille, qui peuvent être mis dans une poche ou conservés comme bibelots, détruits ou ingérés). Il est donc important que l'activité résiduelle n'induisse pas d'effet inacceptable à une date où la mémoire du site est supposée perdue (300 ans) et où l'intrusion humaine (chantiers routiers, constructions, etc.) est possible.

## FA-VL

À ce jour, la conception d'un stockage pour les déchets de type FA-VL (faible activité à vie longue) n'est pas figée. Les caractéristiques des sources acceptables dans ce type de stockage dépendront de la conception. Les sources qui seront destinées à ce stockage seront celles qui ne seront pas acceptables au Cires ou au CSA, et pour lesquelles un stockage au Cigéo n'est pas justifié du point de vue de la sûreté.

Ces sources seront conditionnées en colis de sorte à respecter les spécifications d'acceptation qui seront fixées par l'Andra.

## CIGÉO

Le centre de stockage en projet Cigéo est conçu pour stocker en couche géologique profonde les déchets hautement radioactifs ainsi que des déchets moyennement radioactifs à durée de vie longue (déchets HA et MA-VL).

Conformément aux dispositions de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement, les sources scellées qui ne peuvent être stockées en surface ou à faible profondeur feront l'objet d'un stockage en couche géologique profonde à Cigéo.

Ces sources seront conditionnées en colis de sorte à respecter les spécifications d'acceptation qui seront fixées par l'Andra.

## FOCUS

### ÉVOLUTIONS DE L'USAGE DES SOURCES SCÉLÉES POUR CERTAINES ACTIVITÉS

Afin de respecter le principe de justification et l'utilisation des sources scellées imposant de nombreuses contraintes, des solutions alternatives sans radioactivité sont à privilégier.

Pour exemple :

- les sources scellées utilisées pour la radiothérapie externe ont été remplacées par des accélérateurs de particules qui n'émettent des rayonnements que s'ils sont alimentés électriquement ;
- les parasurtenseurs qui contenaient de la radioactivité ont été remplacés par des parasurtenseurs contenant divers composants électroniques sans radioactivité ;
- le radium présent dans les objets radio-luminescents a été progressivement remplacé par du tritium (dont la toxicité

est moindre), lui-même remplacé par de la peinture photoluminescente quand cela a été possible ;

- les pacemakers alimentés par un générateur électrique au plutonium 238 ont été remplacés par des stimulateurs cardiaques alimentés par une pile « iode/lithium » ;
- les détecteurs de fumée ioniques (source américium) ont été remplacés par des détecteurs optiques contenant une LED et une cellule photo-électrique.

Selon le type de sources, la réglementation peut imposer la mise au rebut de ces dispositifs radioactifs même s'ils sont encore fonctionnels ou, au contraire, permettre leur utilisation jusqu'à leur fin de vie.



Détecteur de fumée ionique

## FOCUS

### LES PARATONNERRES

Au début du 20<sup>e</sup> siècle, des sources radioactives ont été ajoutées sur têtes de paratonnerres afin de renforcer l'ionisation naturelle de l'air et ainsi l'efficacité du paratonnerre. Ils ont été fabriqués en France de 1932 à 1986 par les sociétés Helita puis Duval Messien, Franklin France et Indelec. Leur supplément d'efficacité n'ayant pas été démontré, leur fabrication a été interdite par l'arrêté du 11 octobre 1983 applicable au 1<sup>er</sup> janvier 1987.

Aucun texte n'impose leur retrait, mais, chaque fois que l'un d'entre eux est démonté, il doit être évacué en tant que déchet radioactif auprès de l'Andra.

Le nombre total de paratonnerres installés en France est estimé à environ 50 000, dont 30 000 équipés de sources au radium 226 (ou à la fois de sources de radium 226 et d'américium 241-paratonnerre mixtes) et 20 000 équipés de sources à l'américium 241.

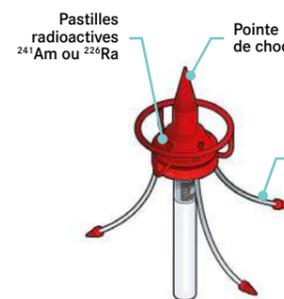
L'activité moyenne d'une tête de paratonnerre au radium 226 est d'environ 50 mégabecquerels, celle d'une tête de paratonnerre à l'américium 241 d'environ 20 mégabecquerels.

Les substances radioactives se présentent sous la forme de pastilles frittées, de plaquettes, de feuilles ou de billes de porcelaine peintes, généralement de petites dimensions.

Initialement, la tête radioactive d'un paratonnerre était traitée globalement. Cette tête retirée était considérée comme un déchet FA-VL (voir schéma 1).

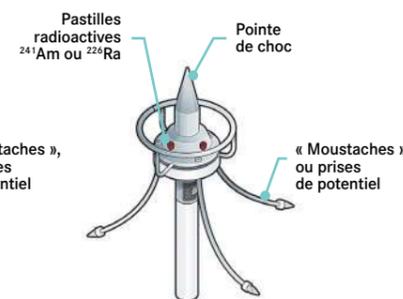
Afin d'optimiser l'espace de stockage, l'Andra a le projet de retirer simplement les pastilles qui concentrent toute la radioactivité (voir schéma 2). Les pastilles seraient regroupées dans des fûts de 870 litres puis entreposés en attente de stockage à Cigéo. Par précaution, le reste de la tête du paratonnerre serait considéré comme déchet TFA. Dans l'attente de la réalisation de ce projet, ces paratonnerres sont orientés vers la plateforme d'entreposage de l'Andra au Cires.

#### SCHEMA 1 : TRAITEMENT GLOBAL D'UNE TÊTE DE PARATONNERRE



© Andra

#### SCHEMA 2 : TRAITEMENT LOCALISÉ D'UNE TÊTE DE PARATONNERRE



© Andra

## Dossier 7

# Les inventaires des déchets radioactifs à l'étranger

**Classification des déchets radioactifs à l'international** 168

**Directive européenne relative à la gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs (2011/70/Euratom)** 169

Rappel du contexte 169

Mise en œuvre de la directive 170

Le suivi réalisé par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) 170

**Focus sur quelques pays** 171

Allemagne 171

Belgique 172

Espagne 173

Finlande 174

Suisse 175

Royaume-Uni 176

États-Unis 177

La constitution pour un pays d'un inventaire de déchets radioactifs couvre plusieurs finalités, parmi lesquelles :

- apporter un support à la définition du programme de gestion des déchets radioactifs en établissant un état des lieux des stocks de déchets radioactifs présent sur le territoire, et ainsi prévoir les installations nécessaires et les programmes de R&D destinés à apporter des réponses aux déchets sans solution disponible ;
- 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 ;
- 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 ;
- présenter les impacts sur les quantités de déchets radioactifs de différentes stratégies ou évolutions possibles de politique énergétique nationale sur le long terme, sans présager des choix industriels et stratégiques qui pourraient être faits. Cet exercice prospectif est basé sur la définition de scénarios contrastés.

Au travers de leurs inventaires, les pays rendent compte des volumes de déchets radioactifs produits et de leurs situations (par exemple l'existence de filières de stockage). Ils transmettent également des informations sur leurs localisations, radioactivités, conditionnements, origines, destinations, etc.

### FOCUS

#### LES INSTANCES INTERNATIONALES

Les agences internationales jouent un rôle important pour le partage d'expérience entre pays, la mise en place de standards de sûreté et la diffusion de bonnes pratiques en matière de gestion des déchets radioactifs. Plusieurs instances, européennes ou mondiales, sont actives et s'intéressent aux inventaires des matières et déchets radioactifs.

#### AIEA<sup>1</sup>

Créée en 1957 par les Nations Unies en tant qu'organisme indépendant, l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) a pour mission de promouvoir l'utilisation sûre des technologies nucléaires à des fins pacifiques. Elle compte 175 États membres. L'une des principales missions de l'AIEA consiste à prévenir la prolifération des armes nucléaires et à promouvoir une utilisation sûre, sécurisée et pacifique de la science et de la technologie nucléaires.

#### UNION EUROPÉENNE – EURATOM<sup>2</sup>

Signé en 1957, le traité Euratom a pour but de permettre le développement de l'énergie nucléaire des pays de l'Union européenne tout en assurant la protection de la population et des travailleurs contre les effets nocifs des rayonnements ionisants. C'est à ce titre que la Commission européenne élabore des directives que les États membres ont l'obligation de traduire dans leur droit national.

Ainsi, la directive 2011/70/Euratom du Conseil du 19 juillet 2011 établit un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs<sup>3</sup>.

#### AEN<sup>4</sup>

L'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN), créée en 1958, est une agence spécialisée de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). Elle a pour mission « d'aider ses pays membres à maintenir et à approfondir, par l'intermédiaire de la coopération internationale, les bases scientifiques, technologiques et juridiques indispensables à une utilisation sûre, respectueuse de l'environnement et économique de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques. Elle s'emploie à fournir des évaluations faisant autorité et à dégager des convergences de vues sur des questions importantes, qui serviront aux gouvernements à définir leur politique nucléaire, et contribueront aux analyses plus générales de l'OCDE concernant des aspects tels que l'énergie et le développement durable des économies bas carbone ». À ce jour, 34 pays sont membres de l'AEN.

<sup>1</sup> <https://www.iaea.org/>

<sup>2</sup> <https://www.europarl.europa.eu/about-parliament/fr/in-the-past/the-parliament-and-the-treaties/euratom-treaty>

<sup>3</sup> <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000024479846>

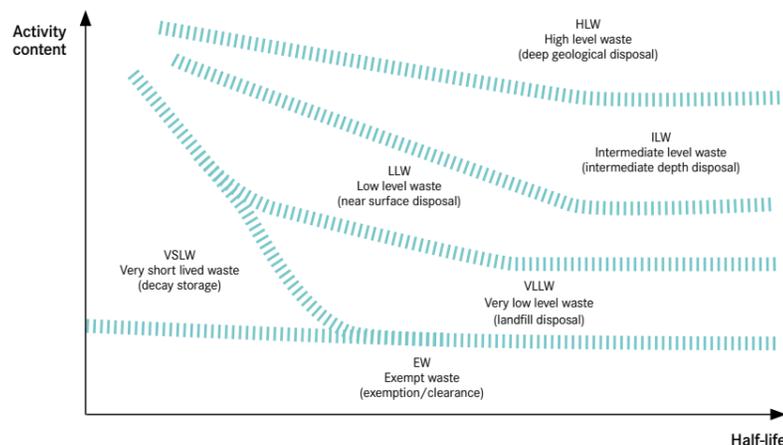
<sup>4</sup> [https://www.oecd-nea.org/jcms/i\\_6/home](https://www.oecd-nea.org/jcms/i_6/home)

## CLASSIFICATION DES DÉCHETS RADIOACTIFS À L'INTERNATIONAL

La première étape pour établir un inventaire des déchets radioactifs est de définir une classification des déchets radioactifs. Cependant, celle-ci diffère généralement d'un pays à un autre. Sous l'impulsion d'organismes internationaux comme l'AIEA, l'OCDE/AEN, et pour ce qui concerne l'Europe, la directive 2011/70/Euratom, une convergence vers une classification commune au niveau international progresse.

Par exemple, l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) propose la classification des déchets radioactifs dans un guide de sûreté No GSG-1 publié en 2009<sup>1</sup>. Elle se base sur deux paramètres, l'activité et la demi-vie (période).

### CLASSIFICATION DES DÉCHETS RADIOACTIFS DE L'AIEA



### FOCUS

#### ÉQUIVALENCE ENTRE LES CLASSIFICATIONS FRANÇAISE ET INTERNATIONALE

Le tableau suivant présente l'équivalence telle que globalement admise entre la classification française et la classification internationale.

Dans les rapports en anglais, il est également mentionné la catégorie « Exempted Waste » (EW) – déchets exemptés – qui n'existe pas en France.

En effet, aucun seuil de libération, c'est-à-dire de niveau de radioactivité au-dessous duquel un déchet nucléaire peut être considéré comme non radioactif et recyclé dans l'industrie conventionnelle, n'est inscrit dans le cadre réglementaire français. Des travaux sont néanmoins en cours, notamment dans le cadre du PNGMDR 2022-2026, afin d'étudier l'ensemble des modes de gestion pouvant être envisagés pour différentes natures de déchets TFA.

En France, il existe une classe supplémentaire, Faible Activité – Vie Longue FA-VL qui est comprise dans la classe « Intermediate Level Waste » (ILW) de l'AIEA.

#### Classification française des déchets radioactifs

Déchets de très faible activité (TFA)

Very Low Level Waste (VLLW)

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

Low and Intermediate Level Waste Short Lived (LILW-SL)

Déchets de faible activité à vie longue (FA-VL)

Low Level Waste Long Lived (LLW-LL)

Déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL)

Intermediate Level Waste Long Lived (ILW-LL)

Déchets de haute activité (HA)

High Level Waste (HLW)

#### Équivalence avec classification AIEA (GSG)

Very Low Level Waste (VLLW)

Low Level Waste (LLW)

Intermediate Level Waste (ILW)

Intermediate Level Waste (ILW)

High Level Waste (HLW)

## DIRECTIVE EUROPÉENNE RELATIVE À LA GESTION DES COMBUSTIBLES USÉS ET DES DÉCHETS RADIOACTIFS (2011/70/EURATOM)

### RAPPEL DU CONTEXTE

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 de l'Union européenne et les producteurs sur une gestion responsable et sûre des combustibles usés 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 membres 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 des combustibles usés et des déchets radioactifs, sur toute leur durée de vie.

Elle impose aussi aux États membres d'établir un programme national pour élaborer et mettre en œuvre la politique de gestion des combustibles usés et de déchets radioactifs doté :

- d'objectifs généraux que les politiques nationales des États membres de l'Union européenne auront à atteindre en matière de gestion des combustibles usés 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 de l'Union européenne doivent :

- assurer les ressources filières 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 ;
- stocker les déchets radioactifs produits dans l'État membre où ils ont été produits. Toutefois, la directive ouvre la possibilité aux États membres de l'Union européenne de 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 de l'Union européenne disposaient d'un délai de deux ans pour la transposer en droit national.

Dans ses attendus, la directive mentionne que le stockage géologique constitue la solution la plus sûre et la plus durable en tant qu'étape finale de la gestion des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue. En effet, dans la plupart des pays, le stockage géologique s'est imposé comme une solution à long terme après de nombreuses recherches portant sur différentes options.

Les États membres de l'Union européenne ont remis 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.

Enfin, la Commission européenne doit remettre au Parlement européen et au Conseil tous les trois ans :

- 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.

## MISE EN ŒUVRE DE LA DIRECTIVE

Tous les États membres de l'Union européenne ont, à présent, achevé la transposition de la directive et ont rempli leurs obligations : rapports, programmes nationaux ou projets de programmes. C'est sur la base des informations disponibles dans ces documents, qu'en 2019 le rapport de la Commission européenne sur l'application de la directive, a été remis au Parlement européen et au Conseil.

Ce rapport, comme indiqué au paragraphe précédent, présente un inventaire des déchets radioactifs et des combustibles usés dans l'Union européenne, les politiques et programmes nationaux en matière de gestion des déchets radioactifs et combustibles usés. Les cadres nationaux et le contexte réglementaire dans l'ensemble des pays y sont aussi mentionnés. La figure suivante présente la consolidation, au niveau européen, des volumes de déchets radioactifs.

Le rapport conclut sur le soutien que la Commission apportera aux États membres de l'Union européenne concernant les différents aspects contenus dans la directive, et notamment sur les travaux que la Commission compte effectuer pour avoir une vision d'ensemble des coûts et des financements de la gestion des déchets radioactifs. La Commission s'engage aussi à analyser de façon approfondie les inventaires dans chaque pays.

## LE SUIVI RÉALISÉ PAR L'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE (AIEA)

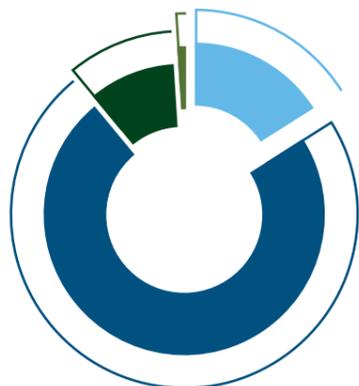
L'AIEA, agence de l'Organisation internationale des Nations unies (ONU), met à la disposition du public une base de données, appelée SRIS (*Spent Fuel and Radioactive Waste Information System*) qui est une base d'inventaire des déchets radioactifs des différents pays membres. Les données sont mises à 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-11. Dans SRIS, les quantités de déchets sont renseignées selon

### ÉVOLUTION DES QUANTITÉS TOTALES DE DÉCHETS RADIOACTIFS AU COURS DE LA PÉRIODE 2004-2016 POUR L'EUROPE

Catégorie de déchets	Volume total (m <sup>3</sup> )				
	2004	2007	2010	2013	2016
VLLW	210 000	280 000	414 000	516 000	603 000
LLW	2 228 000	2 435 000	2 356 000	2 453 000	2 519 000
ILW	206 000	280 000	321 000	338 000	338 000
HLW	5 000	4 000	5 000	6 000	6 000

### RÉPARTITION ENTRE LES CATÉGORIES DE DÉCHETS RADIOACTIFS (À FIN 2016)<sup>1</sup>



VLLW : 17 %  
LLW : 73 %  
ILW : 10 %  
HLW : 0,2 %

la classification nationale et la classification internationale dans le but de pouvoir sommer et comparer ces quantités.

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. Cependant, la tendance s'oriente vers une harmonisation des volumes reportés qui sont de plus en plus des volumes de déchets stockables (volume équivalent conditionné).

La Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté des déchets radioactifs est organisée par l'AIEA tous les 3 ans. Chaque pays signataire de la convention s'engage à produire un rapport sur la

situation nationale et de le présenter lors d'une réunion d'examen au siège de l'AIEA à Vienne en Autriche. À ce jour, 88 parties contractantes ont ratifié la Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs. Cette convention a été approuvée par la France le 22 février 2000 et est entrée en vigueur le 18 juin 2001. Une part des rapports est consacrée aux inventaires des déchets radioactifs et des combustibles usés existants mis à jour à l'occasion de leurs publications.

La 7<sup>e</sup> réunion d'examen s'est tenue en juin 2022 au siège de l'AIEA à Vienne (Autriche). Une soixantaine de rapports nationaux ont été publiés sur le site de l'AIEA<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Extrait de l'inventaire européen de déchets radioactifs et combustibles usés. Source : COM(2019) 632 final.

<sup>2</sup> <https://www.iaea.org/topics/nuclear-safety-conventions/joint-convention-safety-spent-fuel-management-and-safety-radioactive-waste>

## FOCUS SUR QUELQUES PAYS

Dans les paragraphes ci-après, vous trouverez des informations (non exhaustives) concernant quelques pays : Allemagne, Belgique, Espagne, Finlande, Suisse, Royaume-Uni et États-Unis d'Amérique.

Ces informations sont issues des rapports nationaux présentés par chaque pays lors du 7<sup>e</sup> rapport pour la Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté des déchets radioactifs de l'AIEA ou des rapports d'inventaires nationaux publiés ou des publications de chaque pays sur la base de données SRIS.

### ALLEMAGNE<sup>3</sup>

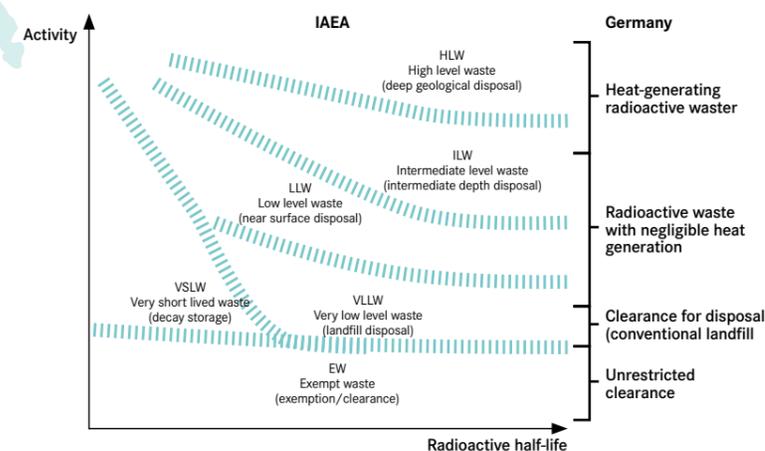
La *Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH* (BGE) a été créée en juillet 2016 en tant qu'entreprise publique sous l'égide du ministère de l'Environnement allemand pour gérer les déchets radioactifs.

Ces déchets proviennent de l'exploitation des centrales nucléaires et des réacteurs de recherche, ainsi que de leur démantèlement, du secteur médical, de l'industrie ainsi que du secteur militaire.

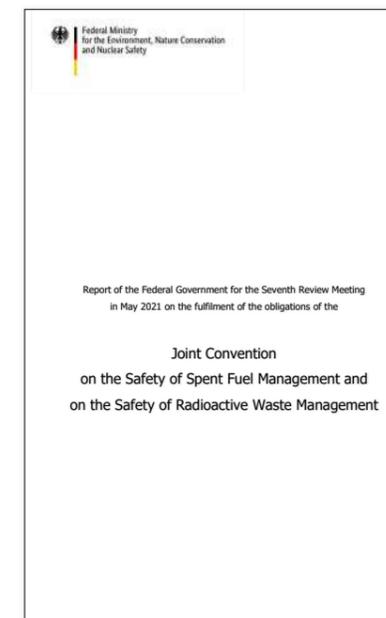
En Allemagne, les matières radioactives se distinguent en matériaux réutilisables ou recyclables et en déchets radioactifs. Un seuil de libération existe et permet à certaines matières faiblement et très faiblement radioactives d'être recyclées (métaux, gravats) ou traitées en tant que déchets dans un circuit conventionnel de gestion de déchets.

La classification des déchets radioactifs est basée sur les caractéristiques exothermiques et présente deux groupes selon ce paramètre. La figure ci-dessous présente une comparaison entre la classification des déchets de l'AIEA et la classification allemande. L'inventaire des déchets radioactifs est réalisé avec la classification allemande. D'après le rapport national allemand pour la Convention Commune de 2021, au 31 décembre 2019, environ 125 000 m<sup>3</sup> de déchets radioactifs à production de chaleur négligeable sont identifiés, et 575 m<sup>3</sup> de déchets radioactifs générant de la chaleur en plus du combustible usé.

### COMPARAISON DES CLASSIFICATIONS DES DÉCHETS RADIOACTIFS DE L'AIEA ET GERMANIQUE



<sup>3</sup> <https://www.iaea.org/sites/default/files/germany-7rm.pdf>  
<https://sr.is.iaea.org/country-overview/introduction/DE/Germany>



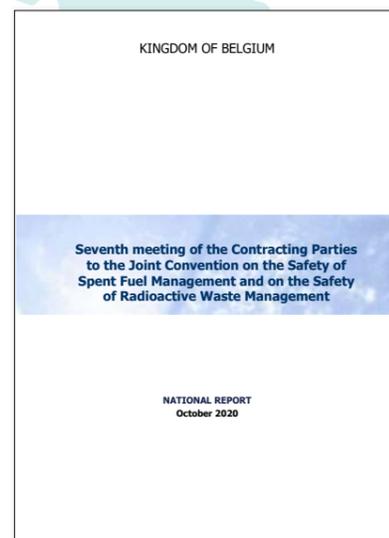
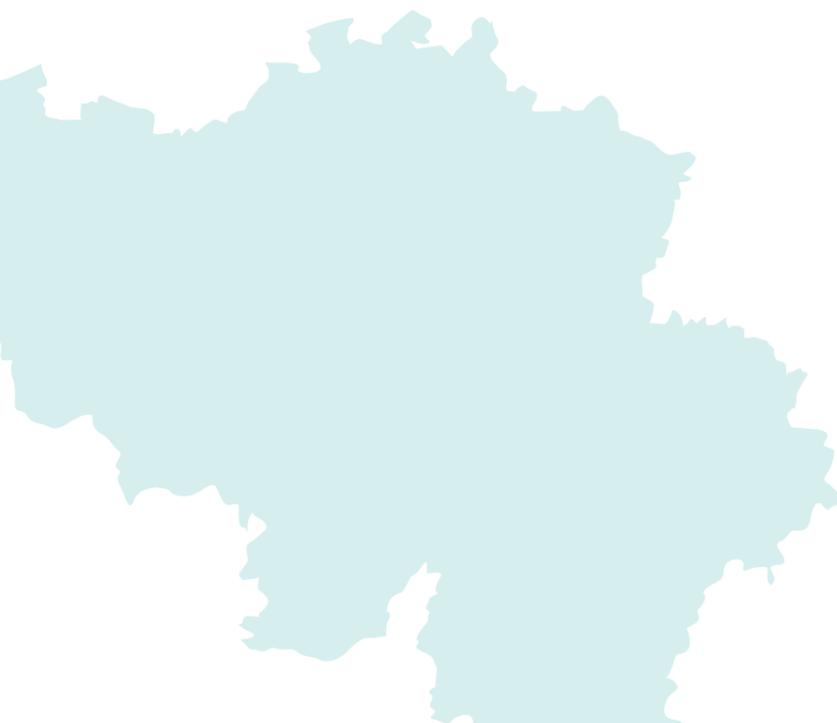
## BELGIQUE<sup>4</sup>

L'Ondraf, Organisme national des déchets radioactifs en Belgique, a la charge de réaliser l'inventaire tous les cinq ans depuis 1997. Cet inventaire comporte deux volets : les substances radioactives présentes sur le territoire belge et les « passifs nucléaires » qui inventorient les différents sites et producteurs de déchets radioactifs. De plus, un des objectifs de cet exercice est l'estimation des coûts et provisions associés à la gestion des déchets radioactifs.

Le dernier inventaire publié en 2018 portait sur la période 2013-2017. La prochaine publication est prévue en 2023. Les déchets radioactifs belges sont issus des réacteurs nucléaires ainsi que des secteurs industriel, médical, militaires.

Pour la gestion à long terme des déchets radioactifs, la Belgique a adopté une classification composée de trois catégories (A-B-C) selon les caractéristiques des déchets, définies conformément à la classification proposée par l'AIEA et à celle recommandée par la Commission européenne : en fonction de leur activité et de leur demi-vie :

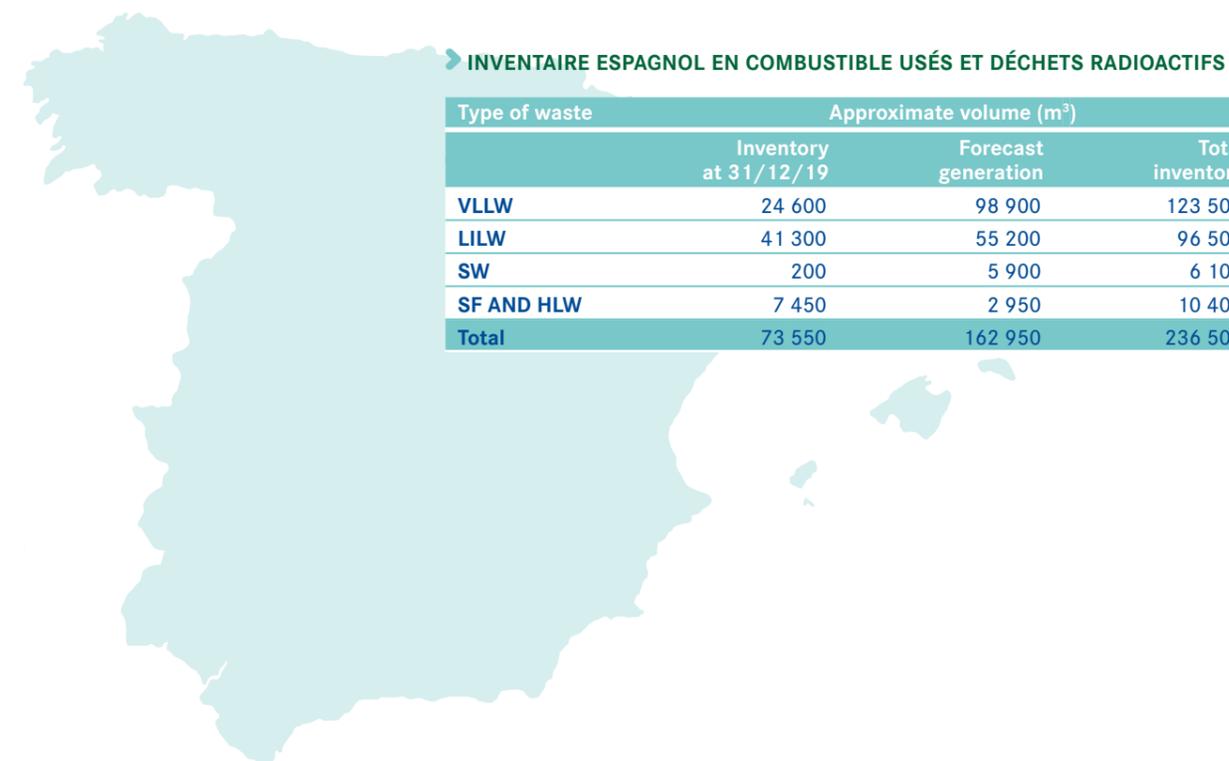
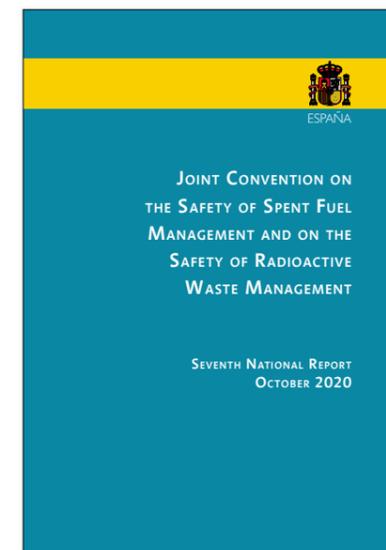
- les déchets de catégorie A sont des déchets conditionnés de courte durée de vie, de faible et moyenne activité. Leur volume est de 54 900 m<sup>3</sup> ;
- les déchets de catégorie B sont des déchets conditionnés de faible et moyenne activité contaminés par des quantités de radionucléides à vie longue. Leur volume est de 11 000 m<sup>3</sup> ;
- les déchets de catégorie C sont des déchets conditionnés de haute activité contenant de grandes quantités de radionucléides à vie longue. Leur volume est de 2 600 m<sup>3</sup>.



## ESPAGNE<sup>5</sup>

En Espagne, ENRESA (*Empresa Nacional de Residuos Radiactivos SA*) a été créée en 1984 en tant qu'entreprise publique chargée de la gestion des déchets radioactifs et du déclassement des centrales nucléaires. Les déchets sont issus de l'exploitation de centrales nucléaires, des opérations des installations nucléaires pour les activités industrielles, médicales, agricoles et de recherche. Les catégories de déchets correspondent aux critères de classification adoptés par l'AIEA et la Commission européenne : activité et demi-vie des radionucléides.

Au 31 décembre 2019, le volume total de déchets radioactifs présents en Espagne est de 73 550 m<sup>3</sup> dont 24 600 m<sup>3</sup> de très faible activité (VLLW), 41 300 m<sup>3</sup> de faible et moyenne activité (LILW) et 7 450 m<sup>3</sup> de combustible usé et de haute activité (HLW).



<sup>4</sup> <https://www.ondraf.be/search?keys=inventaire>  
<https://www.iaea.org/sites/default/files/belgium-jc-rapport-be-2020-public.pdf>

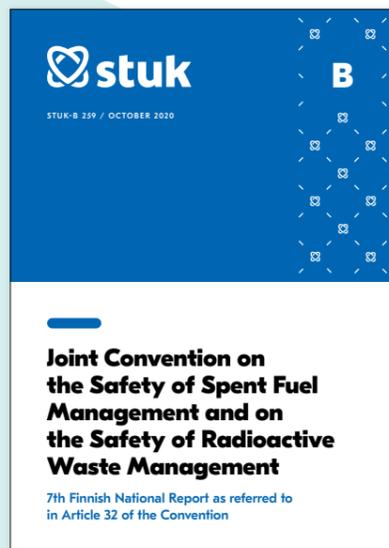
<sup>5</sup> [https://www.iaea.org/sites/default/files/spain-7rm\\_english.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/spain-7rm_english.pdf)  
<https://sr.is.iaea.org/country-overview/introduction/ES/Spain>

## FINLANDE<sup>6</sup>

Les activités de 5 réacteurs nucléaires sont la source des volumes que TVO et Fortum, les opérateurs, ont la charge de gérer. En 1995, Posiva Oy a été créé (joint-venture TVO-Fortum) afin de gérer le combustible usé. Les autres déchets radioactifs proviennent d'activités industrielles, de recherche, ou médicales.

La Finlande base son inventaire sur la classification AIEA et suit la directive Euratom 2011/70, aussi, la classification est basée sur l'activité et la demi-vie. Les déchets radioactifs sont classés comme déchets de très faible, faible ou moyenne activité. Le combustible usé est classé comme déchet de haute activité.

Au 31 décembre 2019, le volume total de déchets radioactifs présents en Finlande est de 12 500 m<sup>3</sup>. Par ailleurs, la Finlande alimente la base de données SRIS de l'AIEA. À date sont disponibles les inventaires à fin 2020 et fin 2021.



### INVENTAIRE FINLANDAIS EN DÉCHETS RADIOACTIFS À FIN 2019

Waste Class	Total Stored Amount m <sup>3</sup>	Total Disposed Amount m <sup>3</sup>
VLLW	204	- <sup>a</sup>
LLW	1 691	6 541
ILW	1 970	2 117
HLW	0	0

<sup>a</sup> Currently VLLW is disposed to LILW repository and is included in the total inventory of disposed LLW.

Spent fuel	Total Stored Amount	Total Disposed Amount
Spent fuel from NPP's	2261 tHM	0
Spent fuel from research reactor	21,3 kgHM	1 <sup>b</sup>

<sup>b</sup> The first option is to send the fuel back to USA according existing returning agreement.

<sup>6</sup> <https://www.iaea.org/sites/default/files/finland-7rm.pdf>  
<https://sr.is.iaea.org/country-overview/introduction/FI/Finland>

## SUISSE<sup>7</sup>

Créée en 1972, La Nagra (société coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs) tient un inventaire centralisé : l'ISRAM (*Inventaire des matières radioactives*), où elle répertorie les quantités de déchets existants ainsi que leurs propriétés chimiques et physiques. Les déchets radioactifs proviennent des centrales nucléaires ainsi que d'activités de recherche, médicales et industrielles.

La classification suisse des déchets radioactifs est la suivante :

- déchets de haute activité (HA) : déchets de produits de fission vitrifiés provenant du retraitement du combustible usé, ou du combustible usé s'il est déclaré comme déchet ;
- déchets alpha-toxiques (ATA) : déchets dont la concentration en émetteurs alpha est supérieure à 20 000 Bq/g de déchets conditionnés ;
- déchets de faible et moyenne activité (LILW) : tous les autres déchets radioactifs.

À fin 2019, les volumes de déchets radioactifs selon ces catégories et leur localisation (site) sont indiqués dans le tableau ci-contre.



### INVENTAIRE SUISSE EN DÉCHETS RADIOACTIFS PAR SITES D'ENTREPOSAGE À FIN 2019

Site name	Waste class	Waste volume (m <sup>3</sup> )
Beznau NPP (incl. ZWIBEZ)	L / ILW, cond. <sup>a</sup>	1 199
	/ ILW, uncond. <sup>b</sup>	28
Mühleberg NPP	L / ILW, cond.	797
	L / ILW, uncond.	62
Gösgen NPP	L / ILW, cond.	109
	L / ILW, uncond.	18
Leibstadt NPP	L / ILW, cond.	1 401
	L / ILW, uncond.	5
ZZL	HLW, cond.	115
	ATA <sup>c</sup> , cond.	99
	L / ILW, cond.	2 253
PSI	L / ILW, uncond.	391
	ATA, cond.	68
	ATA, uncond.	15
	L / ILW, cond.	1 555
	L / ILW, uncond.	549

<sup>a</sup> conditioned waste (cond.)

<sup>b</sup> unconditioned and partly conditioned waste (uncond.)

<sup>c</sup> Alpha-toxic waste (ATA)

<sup>7</sup> <https://www.iaea.org/sites/default/files/switzerland-7rm.pdf>  
<https://sr.is.iaea.org/country-overview/introduction/CH/Switzerland>

## ROYAUME-UNI<sup>8</sup>

En 2022, Nuclear Waste Services NWS réunit les principales entités de gestion des déchets nucléaires du Royaume-Uni en intégrant l'expertise du dépôt de déchets de faible activité (LLWR), de la gestion des déchets radioactifs (RWM). NWS est une division du groupe Nuclear Decommissioning Authority (NDA).

La NDA établit un inventaire des déchets et matières radioactifs au Royaume-Uni tous les trois ans avec le Department for Business, Energy & Industrial Strategy (BEIS). Le secteur de l'énergie nucléaire civile est la source de la plupart des déchets radioactifs. Ils proviennent de la préparation du combustible nucléaire, des opérations et du déclassé des centrales nucléaires, du retraitement du combustible nucléaire usé ainsi que des programmes de recherche, du médical ainsi que des activités de défense.

La classification des déchets radioactifs est basée sur l'activité et de la chaleur que cette activité produit. Les catégories sont les suivantes : déchets de haute activité (HLW), déchets de moyenne activité (ILW), déchets de faible activité (LLW) et déchets de très faible activité (VLLW). Le Royaume-Uni alimente la base SRIS de l'AIEA.



### INVENTAIRE ANGLAIS EN DÉCHETS RADIOACTIFS AU 1<sup>ER</sup> AVRIL 2022

Waste category	Reported volume (m <sup>3</sup> )	Reported mass (tonnes)	Packaged volume (m <sup>3</sup> )	Number of packages
HLW <sup>a</sup>	1 670	3 500	1 470	7 520
ILW	249 000	310 000	496 000	282 000
LLW	1 580 000 <sup>b</sup>	2 000 000	1 340 000	19 900 <sup>c</sup>
VLLW	2 750 000 <sup>d</sup>	2 800 000	2 610 000	See Note <sup>e</sup>
<b>Total</b>	<b>4 580 000</b>	<b>5 100 000</b>	<b>4 450 000</b>	<b>310 000</b>

<sup>a</sup> The volume and mass do not include waste from reprocessing overseas spent fuel that will be exported to the country of origin. It assumes substitution arrangements are implemented (see section 14 for further information).

<sup>b</sup> LLW includes 323,000 m<sup>3</sup> reported volume of mixed LLW/VLLW at Springfields.

<sup>c</sup> Includes only those wastes packaged for disposal at the LLWR, on-site and Donreay LLW vaults (packaged volume 390,000 m<sup>3</sup>). Excludes LLW streams and component parts of LLW streams whose characteristics make them suitable for recycling, incineration or appropriately permitted landfill disposal.

<sup>d</sup> Includes 2,650,000 m<sup>3</sup> reported volume from facility decommissioning at Sellafield. However the current best estimate, albeit based on limited decommissioning experience, is that 70 % of this material may be 'out of scope' of regulatory control.

<sup>e</sup> As VLLW can be disposed to appropriately permitted landfill sites no package numbers are collated for this waste category in the Inventory.

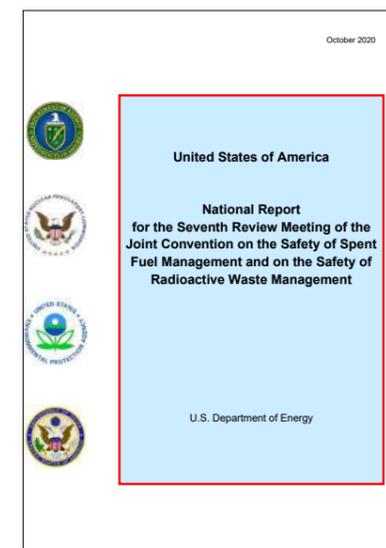
<sup>8</sup> <https://www.iaea.org/sites/default/files/uk-7rm.pdf>  
<https://ukinventory.nda.gov.uk/wp-content/uploads/2020/01/2019-Waste-Report-Final.pdf>  
<https://www.gov.uk/government/organisations/nuclear-waste-services/about>  
<https://sr.is.iaea.org/country-overview/introduction/GB/United%20Kingdom>

## ÉTATS-UNIS<sup>9</sup>

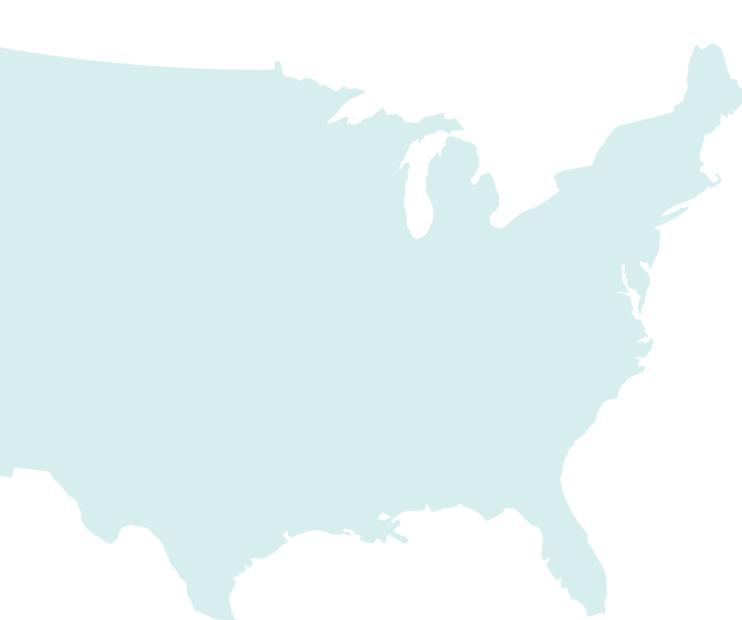
La NRC (Nuclear Regulatory Commission), l'EPA (Environmental Protection Agency) et le DOE (Department of Energy) participent à la réglementation et/ou l'organisation de la gestion des déchets radioactifs.

Les déchets sont issus des activités de production d'énergie nucléaire ainsi que des secteurs militaire, médical, et industriel.

La classification des déchets radioactifs issus des activités commerciales aux USA comprend les déchets de haute activité (HLW), issu du retraitement du combustible notamment, 4 classes de déchets de faible activité (LLW) : A, B, C et GTCC. Les déchets de classe B doivent répondre à des exigences plus rigoureuses que les déchets de classe A en ce qui concerne la forme des déchets, afin d'en assurer la stabilité pour un stockage long-terme. Idem pour la classe C vis-à-vis de la classe B et GTCC par rapport à la classe C. Les déchets TRU sont des « matières contaminées par des éléments dont le numéro atomique est supérieur à 92 (notamment le neptunium, le plutonium, l'américium et le curium) ». La correspondance entre ces catégories et celles de l'AIEA est présentée dans la table ci-contre.

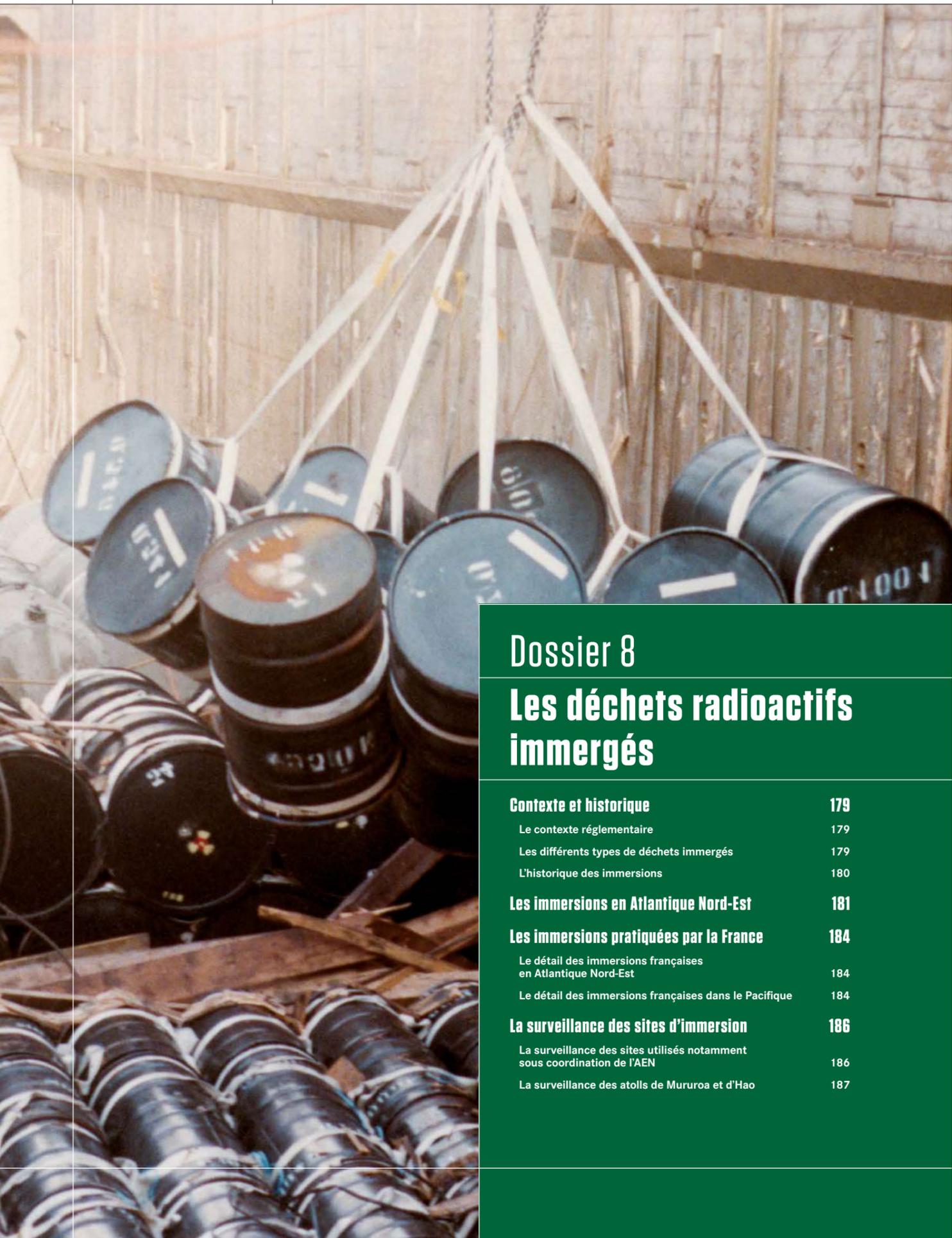


<sup>9</sup> <https://www.iaea.org/sites/default/files/usa-7rm.pdf>  
<https://sr.is.iaea.org/country-overview/introduction/US/United%20States%20of%20America>



### COMPARAISON DES CLASSIFICATIONS DES DÉCHETS RADIOACTIFS DE L'AIEA ET AMÉRICAINE

Waste Class	Description
HLW	The highly radioactive material resulting from the reprocessing of spent fuel, including liquid waste produced directly in reprocessing and any solid material derived from such liquid waste that contains fission products in sufficient concentrations, and other highly radioactive material that NRC determines by rule requires permanent isolation.
Class A LLW	Class A waste is determined by characteristics listed in 10 CFR 61.55 and physical form requirements in 10 CFR 61.56. (U.S. does not have a minimum threshold for Class A waste.)
Class B LLW	In accordance with 10 CFR 61.55, Class B waste must meet more rigorous requirements on waste form than Class A waste to ensure stability after disposal. The physical form and characteristics of Class B waste must meet both the minimum and stability requirements set forth in 10 CFR 61.56.
Class C LLW	In accordance with 10 CFR 61.55, Class C waste not only must meet more rigorous requirements on waste form than Class B waste to ensure stability but also requires additional measures at the disposal facility to protect against inadvertent intrusion, such as engineered barriers or greater depth of burial. The physical form and characteristics of Class C waste must meet both the minimum and stability requirements set forth in 10 CFR 61.56.
GTCC LLW	LLW that exceeds Class C concentrations.
AEA Section 11e.(2) Byproduct Material	Tailings or wastes produced by the extraction or concentration of uranium or thorium from any ore processed primarily for its source material content, including discrete surface wastes resulting from uranium solution extraction processes. Underground ore bodies depleted by such solution extraction operations do not constitute "byproduct material" within this definition.



## Dossier 8

# Les déchets radioactifs immergés

<b>Contexte et historique</b>	<b>179</b>
Le contexte réglementaire	179
Les différents types de déchets immergés	179
L'historique des immersions	180
<b>Les immersions en Atlantique Nord-Est</b>	<b>181</b>
<b>Les immersions pratiquées par la France</b>	<b>184</b>
Le détail des immersions françaises en Atlantique Nord-Est	184
Le détail des immersions françaises dans le Pacifique	184
<b>La surveillance des sites d'immersion</b>	<b>186</b>
La surveillance des sites utilisés notamment sous coordination de l'AEN	186
La surveillance des atolls de Mururoa et d'Hao	187

L'utilisation de la radioactivité dans de nombreux secteurs est à l'origine de la production de déchets radioactifs qui ont la particularité d'émettre des rayonnements pouvant présenter un risque pour l'homme et l'environnement. Ils ne peuvent donc pas être gérés comme des déchets classiques et doivent être pris en charge de manière spécifique. Un des premiers moyens utilisés pour gérer ces déchets et les isoler de l'être humain a été l'immersion dans les océans.

Suite aux travaux du Grenelle de la Mer qui s'est tenu en 2009, l'engagement a été pris de mettre en place une meilleure surveillance et un contrôle plus efficace du milieu marin. En ce qui concerne les déchets radioactifs immergés, cet engagement se traduit par « *consolider l'inventaire des décharges sous-marines de déchets nucléaires, en apprécier la dangerosité et établir des priorités pour réaliser des analyses sur la faune et la flore sédimentaire et les sédiments* » (Livre bleu des engagements du Grenelle de la Mer - 10 et 15 juillet 2009).

Ce dossier thématique synthétise notamment les données présentées dans deux rapports de référence : un rapport de l'AIEA datant de 1999 : « *Inventory of radioactive waste disposals at sea* » (TECDOC 1105), et un rapport du DSND suite à la visite du site de Mururoa le 24 juin 2010.

Ce dossier présente ainsi des informations relatives à l'immersion des déchets radioactifs au niveau international, incluant les données propres aux déchets radioactifs français.

## CONTEXTE INTERNATIONAL ET HISTORIQUE

L'évacuation en mer a été un moyen de gestion de tout type de déchets. Les déchets radioactifs n'ont pas fait exception à cette règle.

La solution de l'immersion de ces déchets, c'est-à-dire le dépôt sur les fonds marins, sans enfouissement, après conditionnement pour les plus actifs d'entre eux, était considérée à l'époque 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.

### LE CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

Les premiers textes réglementant l'immersion de déchets radioactifs ont été formulés par la conférence des Nations unies sur le droit de la mer de 1958.

Ces textes demandaient, d'une part, à tous les États de prendre des mesures visant à éviter la pollution des mers par déversement de déchets radioactifs et recommandaient, d'autre part, que l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) établisse des critères de sûreté et des recommandations sur ce sujet. Les États restaient toutefois libres d'organiser leurs opérations d'immersion.

En 1961, l'AIEA a recommandé que ces immersions aient lieu dans des sites spécialement désignés par une autorité compétente qui assurerait également le contrôle des opérations.

C'est dans cet esprit que, à partir de 1967, l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) de l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE), qui ne comptait alors comme membres que des pays européens, a commencé à coordonner les collectes de déchets au niveau des États européens candidats, en vue d'optimiser les opérations d'immersion.

Puis la convention de Londres de 1972, reconnue comme le principal dispositif international de contrôle de l'immersion de déchets dans la mer, a interdit, dès son entrée en vigueur en 1975, l'immersion de déchets fortement radioactifs et a exigé une autorisation spéciale pour immerger les déchets faiblement radioactifs.

La convention de Londres a, en outre, confirmé le rôle de l'AIEA en matière de définition de règles spécifiques pour l'immersion de déchets radioactifs en mer.

Malgré la mise en place de ces dispositions réglementaires, un certain nombre de parties à la convention s'est montré préoccupé par les risques éventuels pour la santé humaine et l'environnement qu'implique l'évacuation en mer des déchets radioactifs. Un moratoire volontaire sur l'immersion de ces déchets a été adopté en 1983 dans l'attente d'un examen global de la question.

À l'issue de cet examen, auquel a largement contribué l'AIEA, les parties signataires de la convention ont décidé en 1993 d'interdire l'immersion de tout type de déchets radioactifs dans la mer, en précisant toutefois que cette décision ne se fondait pas sur des considérations scientifiques et techniques, mais plutôt sur des critères moraux, sociaux et politiques.

### LES DIFFÉRENTS TYPES DE DÉCHETS IMMERGÉS

Les déchets radioactifs qui ont fait l'objet d'immersions se présentent sous plusieurs formes :

- **des déchets liquides**, directement évacués en mer sur des sites dédiés ou mis en conteneurs, mais non solidifiés ;
- **des déchets solides** non conditionnés ou, pour la plupart, emballés, généralement dans des fûts métalliques, après incorporation dans une matrice de béton ou de bitume, conformément aux recommandations de l'AIEA.

Il s'y ajoute des cuves de réacteurs nucléaires, contenant éventuellement du combustible, provenant des États-Unis ou de l'ex-URSS.

## L'HISTORIQUE DES IMMERSIONS

La première opération d'immersion a été réalisée par les États-Unis en 1946 dans le Pacifique Nord-Est, à quelque 80 kilomètres au large de la côte de Californie ; la dernière, hors ex-URSS, a eu lieu sous l'égide de l'AEN en 1982 dans l'Atlantique, à environ 550 kilomètres au large du plateau continental européen.

Entre ces deux dates, 14 pays ont procédé à des immersions dans plus de 80 sites du Pacifique et de l'Atlantique (et de ses mers adjacentes). L'activité totale des déchets immergés était d'environ 85 000 téra- becquerels à la date de leur immersion.

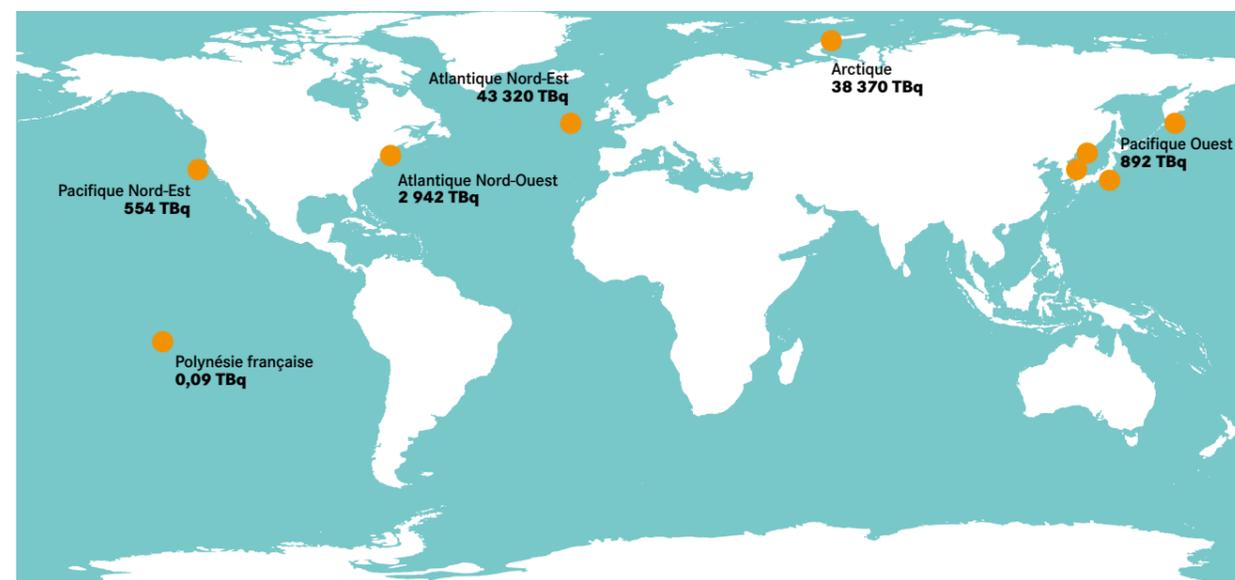
La carte ci-dessous recense les différents sites utilisés et le tableau ci-dessous indique les bilans d'activité immergée pour chaque zone concernée.

99 % de la radioactivité totale proviennent des déchets contenant des émetteurs bêta/gamma, notamment des produits de fission et d'activation tels que le strontium 90, le césium 137, le fer 55, le cobalt 58, le cobalt 60, l'iode 125, le carbone 14 et le tritium.

### ➤ RÉPARTITION DE L'ACTIVITÉ DES DÉCHETS IMMÉRÉS

Zone	Activité $\alpha$ (TBq)	Activité $\beta/\gamma$ (TBq)	Activité totale (TBq)	Pourcentage de l'activité totale (TBq)
Atlantique Nord-Est	675	41 645	42 320	49,7 %
Atlantique Nord-Ouest	-	2 942	2 942	3,5 %
Arctique	-	38 370	38 370	45,1 %
Pacifique Nord-Est	0,04	554	554	0,7 %
Pacifique Ouest	-	892	892	1 %
Pacifique (Polynésie française)	0,07	0,02	0,09	-
<b>Total</b>	<b>~ 675</b>	<b>~ 84 400</b>	<b>~ 85 100</b>	<b>100 %</b>

### ➤ SITES D'IMMERSION DE DÉCHETS RADIOACTIFS DANS LE MONDE



## LES IMMERSIONS EN ATLANTIQUE NORD-EST ET EN MER BALTIQUE

La première immersion dans l'Atlantique Nord-Est, en 1949, a été réalisée par le Royaume-Uni (qui avait déjà immergé en 1948 des déchets liquides dans ses eaux territoriales à l'est de Norwich) au travers d'une opération expérimentale menée dans un site situé à environ 600 km à l'ouest de la Bretagne.

Cette opération portait sur 9 tonnes de déchets conditionnés qui représentaient une activité de l'ordre de 0,04 téra- becquerel.

À partir de cette date et jusqu'en 1966, le Royaume-Uni, mais aussi la Belgique dans une moindre mesure, ont procédé régulièrement à des immersions dans différents sites de l'Atlantique et de la Manche. Ces deux pays ont notamment immergé des déchets dans la fosse des Casquets, située à 15 km au nord-ouest du Cap de La Hague (site 2 du tableau ci-dessous).

La Suède a, de son côté, immergé 230 conteneurs (environ 44 m<sup>3</sup>) en mer Baltique, à environ 30 km au sud-est de l'île d'Öja, au cours de deux opérations en 1959 et 1961 pour une activité totale d'environ 15 gigabecquerels (0,015 TBq)



Immersion de déchets radioactifs en mer dans les années 1960

### ➤ LES IMMERSIONS EN ATLANTIQUE NORD-EST DE 1949 À 1966

Site	Latitude	Longitude	Profondeur (m)	Date	Pays	Tonnage (t)	Activité (TBq)
1	48°30' N	13°00' W	3 600-4 000	1949	Royaume-Uni	9	0,04
2	49°50' N	2°18' W	65-160	Tous les ans de 1950 à 1963	Belgique, Royaume-Uni	17 274	60
3	55°20' N	11°20' W	2 700	1951	Royaume-Uni	33	0,2
4	55°80' N	12°10' W	2 800	1953	Royaume-Uni	57	0,15
5	32°37' N	14°50' W	4 000-4 200	1955	Royaume-Uni	1 453	1,7
6	32°42' N	19°30' W	3 600-4 100	1957, 1958	Royaume-Uni	7 098	131
7	32°38' N	20°50' W	2 100-4 800	1961	Royaume-Uni	4 360	81
8	46°27' N	6°10' W	4 200-4 600	1962	Royaume-Uni	253	6,7
9	45°27' N	6°16' W	4 100-4 800	1963, 1964	Belgique, Royaume-Uni	10 201	850
10	48°20' N	13°16' W	1 900-4 500	1965, 1966	Royaume-Uni	2 803	617
<b>Total</b>						<b>~ 43 500</b>	<b>~ 1 800</b>

Le tableau ci-dessus synthétise les données recueillies par l'AIEA sur ces différentes opérations et repérées en orange sur la carte page 183.



## LES IMMERSIONS PRATIQUÉES PAR LA FRANCE

Comme indiqué précédemment, la France a pris part aux deux opérations coordonnées par l'AEN en 1967 et 1969 dans l'Atlantique Nord-Est.

Elle n'a pas participé aux campagnes suivantes coordonnées par l'AEN, l'ouverture du Centre de stockage de la Manche ayant été autorisée en 1969.

Par ailleurs, la France a procédé à des immersions dans le Pacifique afin d'évacuer certains déchets induits par les activités liées aux essais nucléaires réalisés en Polynésie.

Trois sites ont été utilisés, tous situés dans les eaux territoriales françaises : deux au large de l'atoll de Mururoa, un au large de l'atoll d'Hao.

Aucune immersion française n'a été pratiquée en Manche : seuls le Royaume-Uni et la Belgique ont utilisé la fosse des Casquets au nord-ouest du Cap de La Hague.

En ce qui concerne la Méditerranée, le CEA a annoncé en 1962 son intention d'immerger 6 500 fûts de déchets radioactifs, à une profondeur de 2 500 m à 80 km au large des côtes entre Toulon et la Corse, mais ce projet a été abandonné à la suite de différentes protestations.

Toutefois, afin de vérifier la faisabilité de telles opérations, des fûts inactifs ont été immergés dans cette zone.

### LE DÉTAIL DES IMMERSIONS FRANÇAISES EN ATLANTIQUE NORD-EST

Lors de la campagne d'immersion coordonnée par l'AEN en 1967, la France a immergé 896 conteneurs métalliques (347 tonnes) contenant des déchets enrobés dans du béton, correspondant à une activité d'environ 0,4 térabecquerel et 30 700 fûts en acier galvanisé (8 837 tonnes) contenant des boues de traitement d'effluents liquides épaissies pour une activité de 220 térabecquerels.

Lors de la campagne d'immersion coordonnée par l'AEN en 1969, 14 800 conteneurs de fûts métalliques contenant soit des boues de traitement d'effluents liquides enrobées ou non dans du bitume (2 201 tonnes), soit des déchets bétonnés (2 814 tonnes), ont été immergés entre 4 000 et 4 600 m de profondeur sur le site dit « Porcupine ». L'activité totale de ces déchets était de 134 térabecquerels.

### LE DÉTAIL DES IMMERSIONS FRANÇAISES DANS LE PACIFIQUE

Deux sites ont été utilisés à proximité de Mururoa :

- le site **Novembre**, situé entre 4 et 8 km de l'atoll ;
- le site **Oscar** à une distance de 5 à 10 km de l'atoll (voir carte ci-contre).

Ces deux sites permettaient des immersions à partir d'hélicoptères pour **Novembre** et de bateaux pour **Oscar** à une profondeur supérieure à 2 000 m.

Un seul site, **Hôtel**, a été utilisé à Hao, à environ 8 km de l'atoll, pour réaliser des immersions par bateau à une profondeur de 2 500 m.

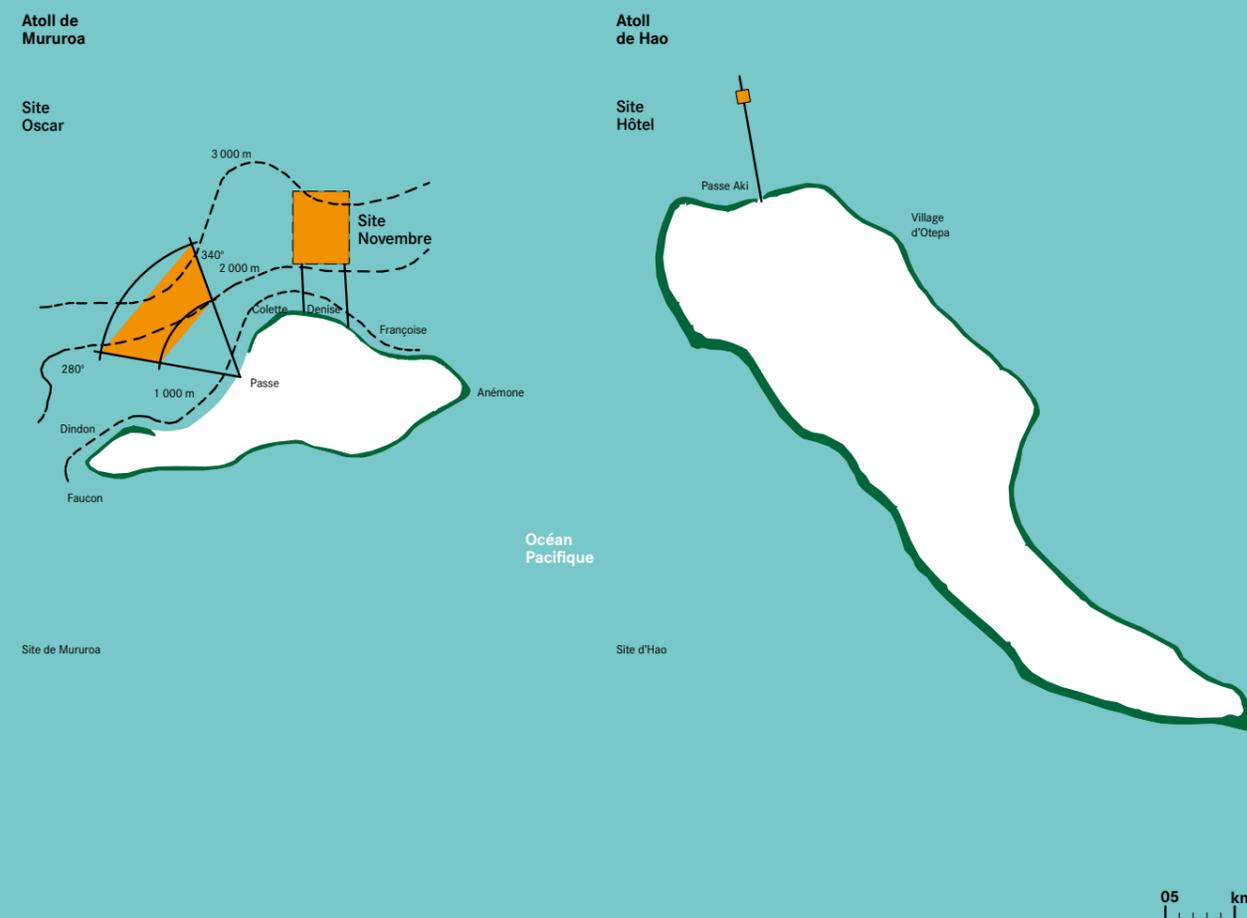
76 tonnes de déchets radioactifs non conditionnés ont été immergées entre 1972 et 1975 sur le site Novembre, pour une radioactivité totale de huit gigabecquerels (0,008 TBq).

Sur **Oscar**, ce sont 2 580 tonnes de déchets conditionnés en conteneurs béton ou en vrac qui ont été immergées entre 1974 et 1982, pour une radioactivité totale d'environ 60 gigabecquerels (0,06 TBq).

L'activité de ces déchets provient essentiellement des émetteurs alpha, notamment du plutonium.

Enfin, 310 tonnes de déchets radioactifs conditionnés en fûts de béton et 222 tonnes de déchets radioactifs en vrac ont été immergées sur le site **Hôtel** entre 1967 et 1975 : l'activité de ces déchets est due aux émetteurs bêta-gamma et est d'environ 15 gigabecquerels (0,015 TBq).

#### ► SITES UTILISÉS EN POLYNÉSIE FRANÇAISE



## LA SURVEILLANCE DES SITES D'IMMERSION

Jusqu'en 1977, conformément aux dispositions prises par la conférence des Nations unies sur le droit de la mer de 1958, les États étaient libres d'organiser et de superviser eux-mêmes des opérations d'immersion de déchets radioactifs sous réserve de respecter les recommandations émises par l'AIEA notamment en matière de choix de site d'immersion, de contrôle des opérations et d'évaluation de l'impact radiologique et de tenir informée l'AIEA des détails des opérations pratiquées.

La surveillance des sites se faisait donc sous le seul contrôle de l'État concerné, tel que défini par la convention de Londres.

En 1977, la plupart des pays membres de l'AEN, notamment ceux qui avaient participé aux opérations coordonnées d'immersion mais aussi ceux qui s'opposaient à ces pratiques, ont souhaité accroître leur coopération en vue d'ajouter une surveillance internationale efficace au contrôle national.

Ce souhait a été à l'origine de la décision du Conseil de l'OCDE de mettre en place un « mécanisme multilatéral de consultation et de surveillance pour l'immersion des déchets radioactifs en mer » qui a remplacé les arrangements *ad hoc* et volontaires en vigueur jusqu'alors. Cette décision obligeait les pays membres à se soumettre aux directives et à la surveillance exercée par l'AEN.

### LA SURVEILLANCE DES SITES UTILISÉS NOTAMMENT SOUS COORDINATION DE L'AEN

En 1977, un seul site était encore utilisé par les pays de l'AEN pour faire des immersions (sites repérés en vert sur la carte page 183).

La décision du Conseil de l'OCDE obligeait aussi l'AEN à évaluer, au moins tous les cinq ans, si ce site était toujours approprié.

Un programme de recherche baptisé CRESP (acronyme anglais signifiant « programme coordonné de recherches et de surveillance du milieu lié à l'immersion des déchets radioactifs »)<sup>1</sup> a alors été mis en place en 1980 afin d'apporter des bases scientifiques fiables et complètes pour les évaluations du site.

Essentiellement préoccupé par les conséquences radiologiques des immersions et basé sur l'étude des processus qui contrôlent le transfert des radionucléides dans le milieu marin pour établir des évaluations de sûreté, ce programme international intégrait de très nombreuses données sur l'océanographie, la géochimie des eaux, la biologie..., récoltées par tous les navires de recherche ayant opéré sur ou dans les parages de la dernière zone d'immersion utilisée de 1971 à 1982, mais également sur les deux sites utilisés par la France en 1967 et 1969 (sites repérés en jaune et violet sur la carte page 183).

Les résultats des analyses d'échantillons collectés n'ont montré aucune augmentation importante des concentrations des radionucléides représentatifs des déchets immergés.

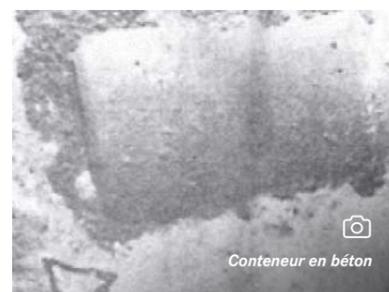
La radioactivité observée dans la zone des déchets immergés se confond aux fluctuations de la radioactivité naturelle de ces fonds marins.

Compte tenu des faibles niveaux d'exposition et d'irradiation qui ont pu être mis en évidence, la nécessité d'une surveillance continue du site de l'AEN après l'interdiction totale en 1993 d'immersion de déchets radioactifs n'a pas été retenue et le programme CRESP s'est donc terminé en 1995.

En parallèle à ces programmes de surveillance basés sur l'interprétation de différentes mesures, une campagne de reconnaissance photographique directe du site de l'AEN a été organisée par l'Ifremer, en collaboration avec le CEA, en juin 1984<sup>2</sup>.



Conteneur métallique



Conteneur en béton

Photographies prises en 1984 de conteneurs immergés en 1979.

Un sous-marin inhabité a parcouru 61 km linéaires à une altitude moyenne d'environ 3,6 m au-dessus du fond, permettant de prendre 15 890 photographies à raison d'une photographie toutes les 5 secondes. Six conteneurs ont ainsi pu être photographiés (à comparer aux 123 000 conteneurs immergés dans cette zone). Cinq ont des enveloppes métalliques (comme la plupart des colis immergés sur ce site), le sixième est en béton. En 1984, ces six conteneurs semblaient intacts malgré quelques déformations. L'impact des conteneurs lors de leur arrivée sur le fond est différent suivant ces deux types et semble être fonction de la densité des conteneurs. Les cinq conteneurs métalliques sont très légèrement enfoncés dans le sédiment ; celui en béton est plus profondément enfoui au centre d'un large cratère.

L'enveloppe de certains conteneurs métalliques semblait corrodée. Deux des conteneurs ont pu être identifiés comme faisant partie de ceux immergés en 1979. Enfin, l'association Greenpeace a procédé, au début des années 2000, à une exploration des fonds marins de la fosse des Casquets, utilisés par le Royaume-Uni et la Belgique, à une profondeur atteignant une centaine de mètres. Après la localisation de fûts de déchets radioactifs, un véhicule commandé à distance, équipé de caméras, a été descendu vers le fond pour permettre une inspection plus précise qui a permis de constater la dégradation de nombreux fûts.

Les pays qui ont effectué par le passé des opérations d'immersion, y compris dans le cadre des opérations coordonnées par l'AEN, restent responsables de ces opérations. Toute éventuelle nouvelle campagne de mesure ou de reconnaissance photographique reste donc à l'initiative de chaque pays concerné qui le déciderait.

### LA SURVEILLANCE DES ATOLLS DE MURUROA ET D'HAO

Lors de l'arrêt définitif des essais nucléaires français dans le Pacifique en 1996, la France a demandé à l'AIEA de réaliser une expertise radiologique des sites d'expérimentation de Mururoa et des zones proches de ces sites.

C'est cette expertise qui constitue la situation de référence des niveaux d'activité dans l'environnement des deux atolls d'expérimentation. Bien que les experts de l'AIEA aient conclu qu'il n'était pas nécessaire de continuer la surveillance radiologique des atolls, il a été décidé de maintenir un programme de surveillance afin de détecter, en particulier, d'éventuels relargages des radionucléides à partir des cavités et des sédiments des lagons.

Cette surveillance concerne l'environnement des deux atolls et se compose de deux volets :

- un suivi en continu des aérosols atmosphériques et de la dose intégrée ;
- une campagne annuelle de prélèvement d'échantillons, la mission Turbo, menée chaque année de mars à juin.

Les échantillons des différentes espèces de la flore et de la faune, tant terrestre que marine, ainsi que des eaux souterraines circulant dans le massif, sont prélevés pour en mesurer la radioactivité. L'ensemble des échantillons fait l'objet d'une recherche des radionucléides émetteurs gamma et une sélection d'entre eux d'une mesure du tritium, du strontium 90 et des isotopes du plutonium.

Les radionucléides mesurés à Mururoa et aux alentours sont présents à des niveaux très bas et le plus souvent proches de la limite de détection des appareils de mesure de la radioactivité.

Pour ce qui concerne plus particulièrement la zone d'immersion d'Hao, des mesures radiologiques par prélèvements étagés d'eau en profondeur au droit du site d'immersion ont été effectuées en 2007. Il n'a pas été constaté d'élévation de radioactivité par rapport à la radioactivité océanique de référence.

#### FOCUS

#### LE CAS SPÉCIFIQUE DE L'ATOLL DE FANGATAUFA

Au sud de l'atoll de Mururoa se situe l'atoll de Fangataufa où la France a procédé entre 1966 et 1970 à 4 expérimentations nucléaires dans l'atmosphère puis, de 1975 à janvier 1996, à 10 essais nucléaires souterrains.

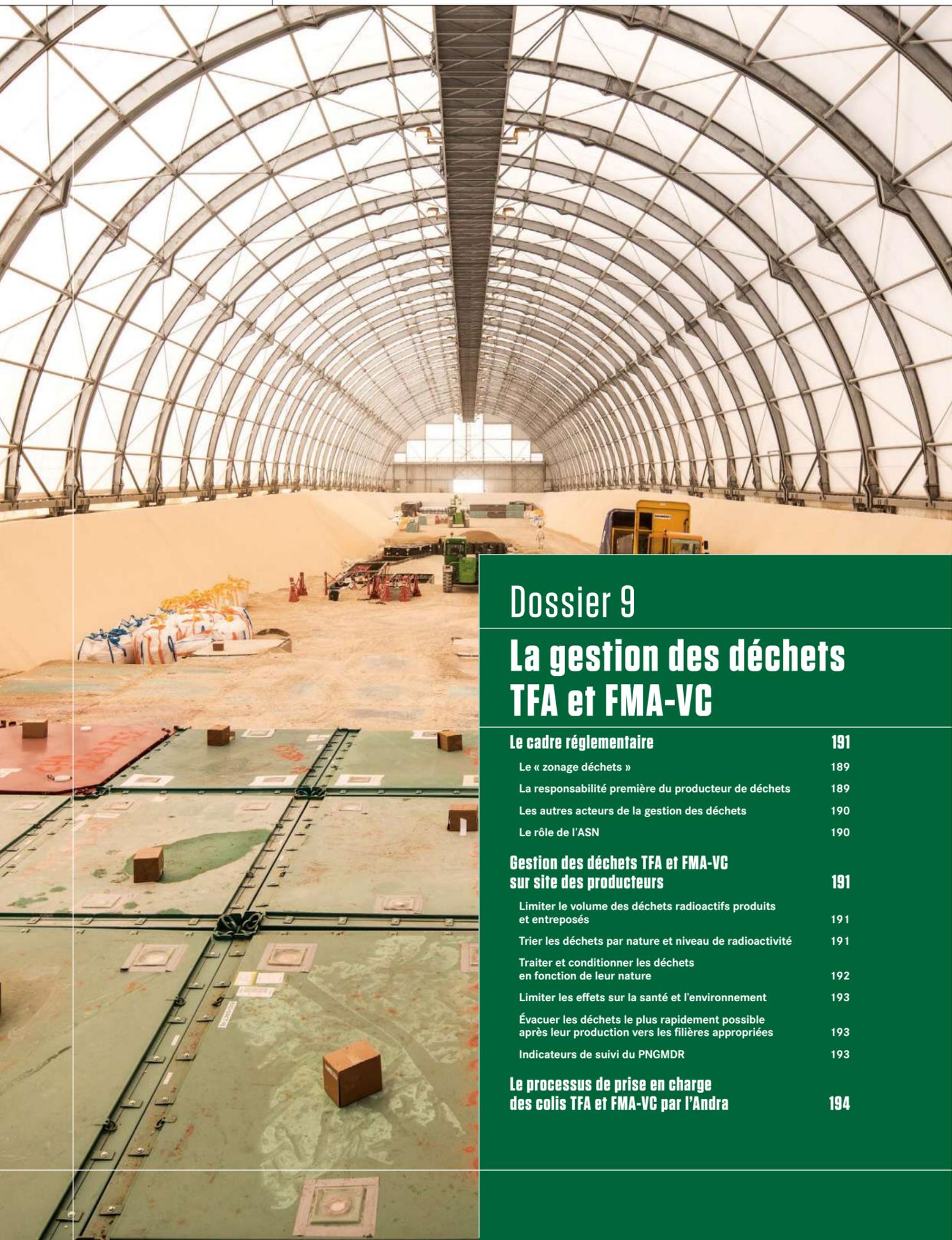
Les installations du Centre d'expérimentation du Pacifique (CEP) ont été démantelées entre février 1996 et juillet 1998.

Bien qu'aucun déchet radioactif n'ait été immergé dans l'atoll de Fangataufa, les sédiments du fond du lagon et le sous-sol de l'atoll sont marqués par des dépôts résultant des essais nucléaires atmosphériques et souterrains.

De même que pour l'atoll de Mururoa, une étude sur la situation radiologique de l'atoll de Fangataufa a été réalisée en 1996, concluant à des niveaux de radioactivité dans l'environnement similaire.

<sup>1</sup> AEN 1996 : Co-ordinated Research and Environmental Surveillance Programme Related to Sea Disposal of Radioactive Waste.

<sup>2</sup> CR de l'Académie des Sciences t. 301, série III, N° 10, année 1985 : « Reconnaissance photographique de conteneurs en place dans la zone d'immersion des déchets faiblement radioactifs de l'Atlantique Nord-Est » par Myriam Sibuet, Dominique Calmet et Gérard Auffret.



## Dossier 9

# La gestion des déchets TFA et FMA-VC

<b>Le cadre réglementaire</b>	<b>191</b>
Le « zonage déchets »	189
La responsabilité première du producteur de déchets	189
Les autres acteurs de la gestion des déchets	190
Le rôle de l'ASN	190
<b>Gestion des déchets TFA et FMA-VC sur site des producteurs</b>	<b>191</b>
Limiter le volume des déchets radioactifs produits et entreposés	191
Trier les déchets par nature et niveau de radioactivité	191
Traiter et conditionner les déchets en fonction de leur nature	192
Limiter les effets sur la santé et l'environnement	193
Évacuer les déchets le plus rapidement possible après leur production vers les filières appropriées	193
Indicateurs de suivi du PNGMDR	193
<b>Le processus de prise en charge des colis TFA et FMA-VC par l'Andra</b>	<b>194</b>

Les catégories de déchets de très faible activité (TFA) et de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC) sont les catégories qui représentent le volume de déchets le plus important. Ces catégories de déchets sont produites par des installations électronucléaires et non électronucléaires, qu'elles soient en phase d'exploitation ou de démantèlement. En fonction des installations, de la phase à laquelle elles se situent et du volume de déchets produits, ceux-ci peuvent être des déchets « courants », pour lesquels une gestion industrielle et standardisée est mise en œuvre par leur producteur, ou des déchets « hors normes » de par leur taille ou nature, et pour lesquels leur prise en charge nécessite un dispositif adapté.

Le présent dossier propose de faire état des différentes étapes relatives à la prise en charge des déchets TFA et FMA-VC produits par les principaux exploitants de la filière électronucléaire (EDF, Orano et CEA), depuis leur site de production jusqu'à leur stockage dans les installations de l'Andra.

## LE CADRE RÉGLEMENTAIRE

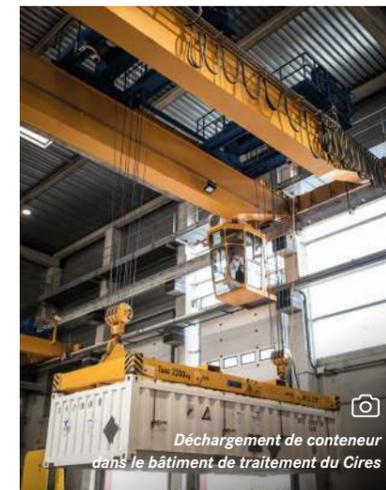
La gestion des déchets, qu'ils soient radioactifs ou non, est encadrée par les articles L. 541-1 et suivants du code de l'environnement, qui intègre notamment des transpositions de la directive 2011/70/Euratom adoptée en 2011. Le code de la santé publique prévoit également des dispositions en matière de déchets produits dans le cadre des activités nucléaires. Le code de la santé publique prévoit également des dispositions en matière de déchets produits dans le cadre des activités nucléaires, qu'il convient de rappeler pour éclairer les modalités de gestion pour les déchets TFA et FMA-VC.

### LE « ZONAGE DÉCHETS »

La gestion des déchets dans les installations nucléaires est réglementée. Les industriels doivent établir un « zonage déchet » de leur installation, permettant ainsi de distinguer deux types de zones :

- les « zones à production possible de déchets nucléaires », où sont produits des déchets contaminés, activés ou susceptibles de l'être. Les déchets produits dans ces zones doivent faire l'objet d'une gestion spécifique et renforcée, dans des filières dédiées, autorisées à cet effet ;
- les « zones à déchets conventionnels ». Les déchets issus de ces zones sont, après contrôle de l'absence de radioactivité, dirigés vers des filières de déchets conventionnels (déchets dangereux, non dangereux ou inertes).

Ces éléments sont précisés dans la décision 2022-DC-0749 du 29/11/2022 modifiant la décision 2015-DC-0508 du 21 avril 2015.



### LA RESPONSABILITÉ PREMIÈRE DU PRODUCTEUR DE DÉCHETS

L'exploitant producteur de déchets radioactifs est responsable de leur élimination dans une installation autorisée à cet effet. En tant que producteurs des déchets, les exploitants d'activités nucléaires doivent poursuivre un objectif de minimisation du volume et de l'activité de leurs déchets sur toute la durée de leurs installations : en amont lors de la phase de conception, puis de fonctionnement ainsi qu'en aval lors des phases d'assainissement-démantèlement. La qualité du conditionnement doit également être assurée.

La responsabilité du producteur comprend également la surveillance de la manière dont les déchets sont produits et entreposés dans ses installations, mais aussi la vérification que le déchet est géré dans des filières autorisées (filières de traitement, d'entreposage et de stockage).

La décision n° 2017-DC-0587 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 23 mars 2017 précise les exigences générales concernant les colis de déchets radioactifs, leurs conditions de fabrication, de contrôle, afin qu'ils puissent être acceptés dans les installations nucléaires de base de stockages, qu'elles soient existantes ou à l'étude.

L'exploitant est donc responsable du tri, du conditionnement, du transport jusqu'au centre de traitement ou de stockage des déchets produits et surtout de leur caractérisation (perméabilité, inventaire radiologique, etc.) avant leur prise en charge dans la filière d'élimination retenue.



Visite par l'ASN du Centre de stockage de l'Aube

D'autres acteurs que les producteurs de déchets interviennent dans la gestion des déchets. Il s'agit :

- des entreprises chargées du transport (Orano Packages and Services, BNFL SA, etc.) ;
- des entreprises chargées du traitement qui peuvent assurer des opérations de compactage, d'incinération, de fusion (Cyclelife, Orano, CEA, etc.) ;
- des responsables des centres d'entreposage (CEA, Orano, EDF) ;
- des responsables des centres de stockage (Andra) ;
- des industriels et des organismes en charge de la recherche et du développement pour optimiser la gestion des déchets radioactifs (CEA, Andra, CNRS, Orano, Framatome et EDF).

Chacun est responsable de la sûreté de ses activités. Les prestataires de traitement de déchets ou les responsables des centres d'entreposage ou de stockage agissent pour le compte des producteurs, qui restent propriétaires de leurs déchets.

## LE RÔLE DE L'ASN

L'ASN participe à l'élaboration de la réglementation relative à la gestion des déchets radioactifs, assure le contrôle de la conformité réglementaire et des dispositions relatives à la sûreté, de la conception au démantèlement, des installations nucléaires de base à l'origine des déchets ou intervenant dans leur élimination et réalise des inspections chez les différents producteurs de déchets, prestataires de traitement et auprès de l'Andra. Elle contrôle l'organisation générale mise en place par l'Andra pour l'acceptation des déchets des producteurs. Elle apprécie la politique et les pratiques de gestion des déchets des producteurs de déchets radioactifs.

## GESTION DES DÉCHETS TFA ET FMA-VC SUR LEUR SITE DE PRODUCTION

Chaque producteur est responsable de sa propre stratégie relative à la fabrication des colis de déchets radioactifs, du mode de traitement amont si nécessaire, et de leur entreposage sur site avant leur expédition vers les centres de stockage de l'Andra.

Ces stratégies poursuivent des enjeux communs :

- limiter le volume des déchets radioactifs produits et entreposés ;
- trier les déchets par nature et niveau de radioactivité ;
- traiter et conditionner les déchets en fonction de leur nature ;
- limiter les effets sur la santé et l'environnement ;
- évacuer les déchets le plus rapidement possible après leur production vers les filières appropriées.

### LIMITER LE VOLUME DES DÉCHETS RADIOACTIFS PRODUITS ET ENTREPOSÉS

Cet enjeu passe notamment par des actions pour limiter les déchets à la source, en réduisant par exemple l'entrée de matériels dans les zones nucléaires, par des actions de formation et de préparation des chantiers ou des interventions de maintenance. Des actions sont également menées pour optimiser les démantèlements dès les projets de construction de nouvelles installations.

D'une manière générale, la sectorisation de l'ensemble des zones de production, appelée « zonage déchets » a été réalisée afin d'identifier et de limiter au maximum les secteurs où des déchets radioactifs peuvent être produits, et de permettre une gestion fiable et opérationnelle des déchets.

### TRIER LES DÉCHETS PAR NATURE ET NIVEAU DE RADIOACTIVITÉ

Les déchets TFA et FMA-VC issus de l'exploitation et du démantèlement, sont collectés et triés dès l'amont, c'est-à-dire dès leur production. La gestion des déchets radioactifs produits sur les sites est réalisée de manière à assurer leur traçabilité depuis leur production jusqu'à leur destination finale.

Le tri à la source et l'inventaire précis des déchets radioactifs permettent ensuite de les orienter dès leur production vers la filière d'élimination adaptée, mais aussi de pouvoir envisager le développement de filières optimisées comme le recyclage de déchets métalliques ou encore le développement de solutions pour la gestion des déchets d'équipements électriques et électroniques.

### Retour d'expérience sur le zonage déchets

Dans le cadre de la précédente édition du PNGMDR 2016-2018, les principaux producteurs de déchets ont réalisé un rapport pour partager leur retour d'expérience du zonage déchets. Ce rapport a permis de mettre en œuvre pour réduire le volume des déchets à la source et les pistes à suivre pour poursuivre dans cette voie.

<https://www.asn.fr/Media/Files/00-PNGMDR/PNGMDR-2016-2018/Retour-d-experience-de-la-mise-en-oeuvre-du-zonage-dechets-dans-les-installations>



Contrôle radiologique d'un camion à l'arrivée sur le CSA

## TRAITER ET CONDITIONNER LES DÉCHETS EN FONCTION DE LEUR NATURE

Des étapes de traitement peuvent être mises en place, notamment pour réduire les volumes ou la toxicité de certains déchets, ou pour rendre le déchet adapté à une gestion à long terme en stockage.

Les déchets FMA-VC sont conditionnés dans des conteneurs adaptés, entreposés dans le périmètre des INB ou des ICPE, puis expédiés au Centre de stockage de l'Aube (CSA).

Les déchets TFA sont conditionnés dans de grands récipients vrac souples *big-bags*, des caisses ou des conteneurs de grand volume et entreposés, pendant de courtes périodes, en attente d'évacuation vers le Centre de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires), sur des aires externes ou à l'intérieur de bâtiments. Les sols des installations destinées à entreposer temporairement les colis de déchets avant départ vers l'Andra sont étanches et munis de systèmes de rétention destinés à recueillir d'éventuels effluents liquides.



Vue aérienne du Cires



Vue aérienne du CSA



Les différents procédés utilisés pour le traitement et le conditionnement des déchets radioactifs sont détaillés dans le dossier thématique dédié disponible sur le site de l'*Inventaire national* :

[https://inventaire.andra.fr/sites/default/files/documents/pdf/fr/dossier02\\_in2018.pdf](https://inventaire.andra.fr/sites/default/files/documents/pdf/fr/dossier02_in2018.pdf)

## FOCUS

### DES DÉCHETS STOCKÉS EN SURFACE

Les déchets de très faible activité (TFA) et les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC) disposent de centres de stockage opérationnels gérés par l'Andra :

- depuis 2003, le Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) pour le stockage des déchets TFA ;
- entre 1969 et 1994, le Centre de stockage de la Manche pour les déchets FMA-VC. Ce centre est aujourd'hui en phase de fermeture et ne réceptionne plus de nouveaux déchets ;
- depuis 1992, le centre de stockage de l'Aube (CSA) pour les déchets FMA-VC.

Ces centres de stockage permettent de disposer d'un mode de gestion sûr à long terme de ces déchets, en assurant une prise en charge continue afin de limiter les délais d'entreposage et les besoins en capacités en amont chez les producteurs. Le processus de référence de l'ensemble des producteurs électronucléaires est d'envoyer en ligne (flux tendu) au fur et à mesure de leur production, après approbation de l'Andra, les colis constitués de déchets sur ces centres de stockage. Ce processus de référence s'applique de la même manière pour les déchets issus du fonctionnement des sites, que pour les déchets issus du démantèlement des installations nucléaires.

## LIMITER LES EFFETS SUR LA SANTÉ ET L'ENVIRONNEMENT

Ces mesures ont pour objectif de protéger les travailleurs, la population et l'environnement en limitant en toutes circonstances la dispersion des substances radioactives contenues dans les colis de déchets radioactifs.

Pour atteindre cet objectif, les installations d'entreposage de déchets radioactifs sont conçues et exploitées conformément au concept de défense en profondeur qui conduit à assurer le fonctionnement normal en prévenant et en envisageant les défaillances possibles, en les détectant au plus tôt et à supposer des scénarios accidentels afin de pouvoir en limiter les effets. Ce concept de défense en profondeur est mis en œuvre sur l'ensemble des installations nucléaires.

La détection des situations anormales est assurée en permanence : surveillance des rejets d'effluents gazeux dans l'émissaire de l'installation au moyen de capteurs et de prélèvements atmosphériques, surveillance des transferts d'effluents liquides par des prélèvements en aval des points de rejets de l'installation.

## ÉVACUER LES DÉCHETS LE PLUS RAPIDEMENT POSSIBLE APRÈS LEUR PRODUCTION VERS LEURS FILIÈRES APPROPRIÉES

Les capacités d'entreposage des déchets TFA et FMA-VC chez les producteurs de déchets sont dimensionnées pour assurer une fonction tampon, et ainsi absorber la production de déchets sur une durée relativement courte avant expédition vers les centres de stockage. Ces capacités d'entreposage se gèrent en fonction des flux d'expédition prévisionnels planifiés annuellement, affinés chaque trimestre et confirmés mensuellement.

La flexibilité de ces entreposages permet également de pallier certaines contraintes ou certains aléas qui peuvent freiner les flux prévisionnels d'expédition :

- un problème qualité peut survenir ponctuellement lors du processus de constitution du colis de déchets, pouvant alors engendrer la mise en place d'un plan d'actions correctives et préventives avant reprise des expéditions vers les centres de stockage ;
- certains déchets non standard nécessitent une phase d'études spécifiques pour définir un conditionnement adapté aux exigences d'acceptation des centres de stockage, et engendrent donc un délai d'acceptation plus important ;
- des opérations de caractérisation et de préparation de déchets dits « historiques », opérations nécessaires avant leur acceptation en centre de stockage.

## Indicateurs de suivi du PNGMDR

Pour les déchets de catégorie TFA ne pouvant être expédiés en ligne, le PNGMDR 2022-2026 définit les indicateurs suivants afin de disposer d'un suivi dans le temps de la gestion des déchets possédant une filière de gestion existante :

- i1, suivi par exploitant du volume annuel de déchets TFA produits par site et conditionnés sous forme de colis définitifs qui ne seraient pas évacués en moins de 24 mois vers le Cires ;
- i2, suivi par exploitant des volumes de déchets TFA produits par site (hors déchets TFA historiques et en attente de filière) en attente ou en cours de conditionnement depuis plus de 24 mois ;
- i3, ratio volume de déchets TFA historiques produits/volume de déchets TFA historiques évacués.



Creusement d'une alvéole de stockage au Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage

## LE PROCESSUS DE PRISE EN CHARGE DES COLIS TFA ET FMA-VC PAR L'ANDRA

Avant que les colis soient acceptés sur les centres de stockage, les producteurs doivent au préalable démontrer et apporter les preuves du respect des spécifications et des exigences de l'Andra (connaissances et mesures des éléments radiologiques et toxiques-chimiques, attendus et performances des colis contenant les déchets).

Dès lors, chaque site producteur obtient :

- une « **autorisation** » globale pour ses installations à pouvoir demander la prise en charge des déchets radioactifs par l'Andra ;
- une « **approbation** » (FMA-VC) ou « **dossier d'acceptation** » (TFA) pour chaque famille de colis qui sera produite ;
- et enfin, une « **acceptation** » pour chaque colis qui fera l'objet d'une demande de prise en charge.

Pour le conditionnement de leurs déchets, les producteurs doivent respecter des spécifications précises définies par l'Andra. Les exigences formulées dans les spécifications proviennent de règles éditées par l'ASN (prescriptions techniques, règles fondamentales de sûreté, etc.) ou encore de dossiers réglementaires qui sont régulièrement mis à jour (rapport de sûreté, règles générales d'exploitation, etc.).

Une fois qu'ils y sont autorisés, avant toute expédition et pour chaque colis, les producteurs déclarent informatiquement la nature des déchets, les éléments radiologiques et les toxiques chimiques présents.

Une fois la déclaration et la prise en charge validées par l'Andra, s'organisent alors la planification et le transport. Les colis sont acheminés jusqu'au CSA ou Cires directement par camions depuis les sites producteurs qui sont responsables du transport. Cela représente plus de 2 500 transports par an.

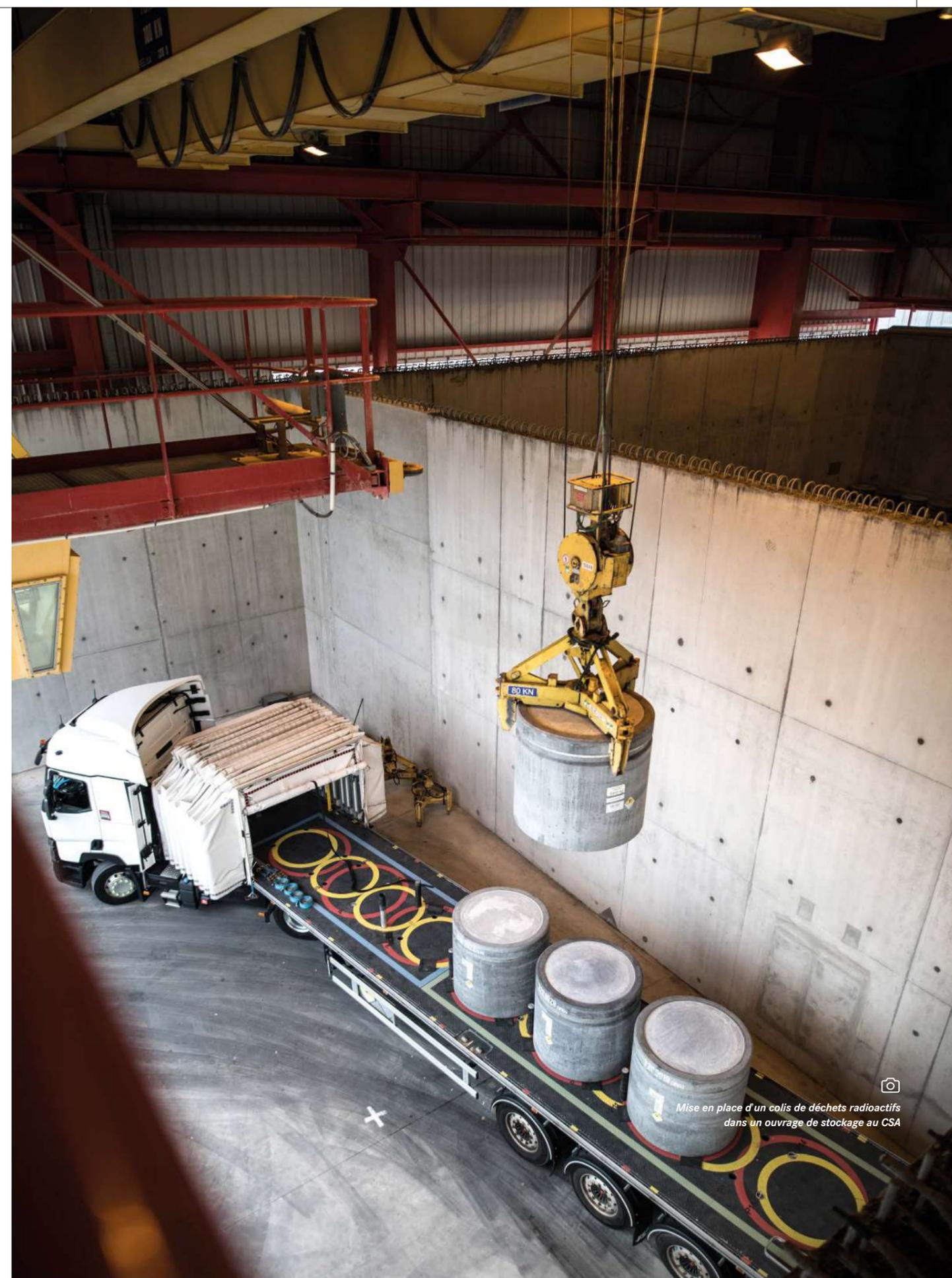
Les contrôles s'effectuent à plusieurs niveaux :

- en amont chez les producteurs, via des audits et des inspections de l'Andra (vérification des exigences, conseils, mesures correctives si nécessaires) ;
- à l'arrivée sur le centre de stockage : 100 % des colis font l'objet d'une vérification d'information et d'un contrôle radiologique (contrôle de débit et frottis pour s'assurer qu'il n'y a pas de traces de contamination en surface) ;
- puis, des colis sont prélevés, la plupart du temps de façon aléatoire, pour effectuer des contrôles plus poussés : des contrôles non destructifs (spectrométrie gamma, radiographie, mesure de dégazage tritium) et/ou des contrôles destructifs (carottage, ouverture de colis).

Si un écart entre la déclaration du producteur et le résultat de l'un de ces contrôles est constaté, des mesures sont prises selon le degré de gravité :

- signalement et sensibilisation ;
- retour du colis sur le site producteur ;
- interruption des réceptions des colis provenant du site producteur ;
- suspension de l'autorisation du site producteur.

À noter que la gestion des déchets sur les sites producteurs (méthodologie, conditionnement, entreposage, etc.) fait également l'objet de contrôles par l'ASN.

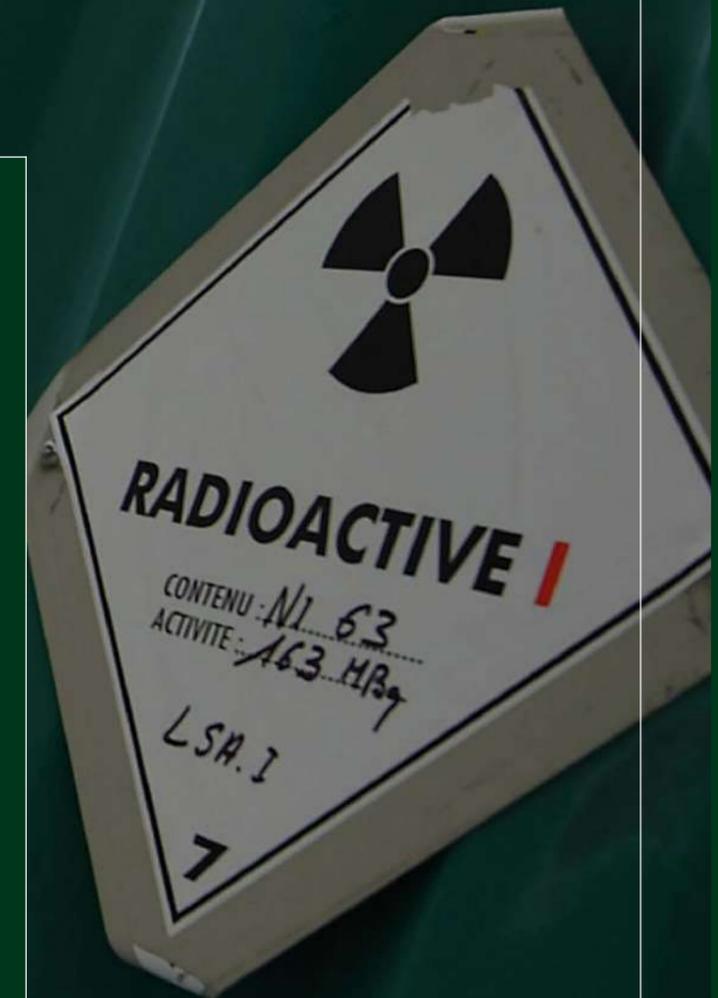


Mise en place d'un colis de déchets radioactifs dans un ouvrage de stockage au CSA

# 07

## Les annexes et glossaire

<b>Annexe 1 :</b> Méthodologie d'élaboration de l' <i>Inventaire national</i>	<b>198</b>
<b>Annexe 2 :</b> L'activité des déchets radioactifs	<b>204</b>
<b>Glossaire et abréviations</b>	<b>208</b>



## LES MODALITÉS DE RÉALISATION DE L'INVENTAIRE NATIONAL

### LA RÉGLEMENTATION

L'article L. 542-12 du code de l'environnement modifié par la loi du 9 décembre 2020<sup>1</sup> charge l'Andra « d'établir, de mettre à jour tous les cinq ans et de publier l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs présents en France ou destinés à y être stockés ainsi que leur localisation sur le territoire national ».

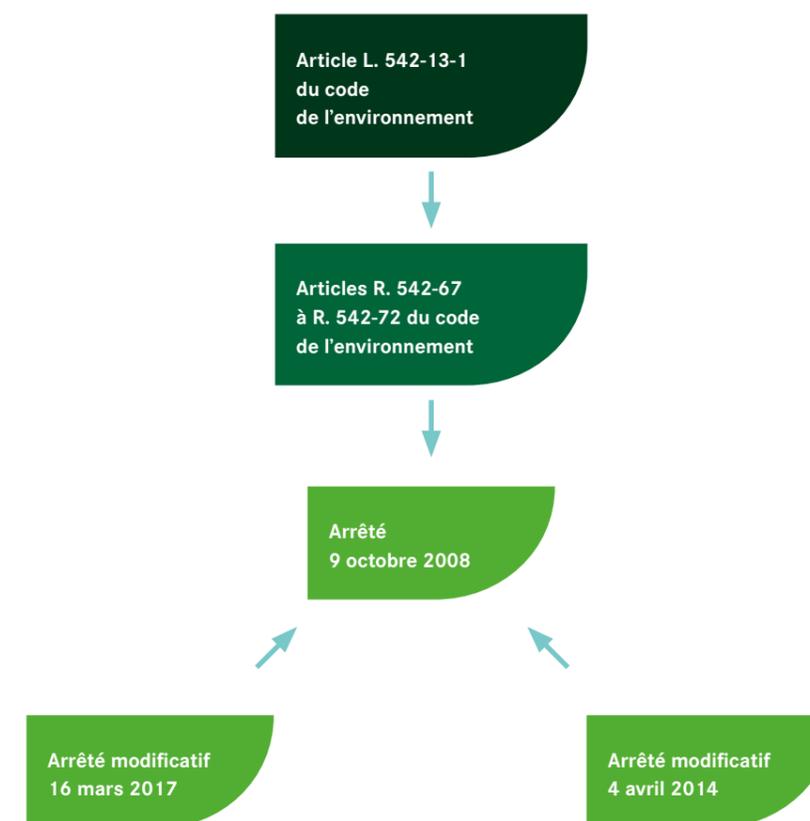
Les articles R. 542-67 à R. 542-72 du code de l'environnement et l'arrêté ministériel du 9 octobre 2008<sup>2</sup>, modifié par les arrêtés ministériels du 4 avril 2014 et du 16 mars 2017<sup>3</sup>, définissent les obligations déclaratives des producteurs et des détenteurs de matières et de déchets radioactifs.

Pour l'Édition 2023 de l'Inventaire national, les stocks de déchets existants sont établis à fin 2021, les prévisions sont établies aux horizons 2030 et 2040 et à terminaison, c'est-à-dire à l'issue du démantèlement des installations nucléaires autorisées à fin 2021.

*i* Seuls les déchets issus du fonctionnement et du démantèlement des installations existantes ou autorisées à fin 2021 sont recensés dans l'Inventaire national.

L'exploitation d'une installation nucléaire comprend sa phase de fonctionnement et sa phase de démantèlement.

### LA RÉGLEMENTATION APPLICABLE À L'INVENTAIRE NATIONAL



## Annexe 1 Méthodologie d'élaboration de l'Inventaire national

<b>Les modalités de réalisation de l'Inventaire national</b>	<b>199</b>
La réglementation	199
Les principes	200
Les acteurs	200
<b>La restitution des informations</b>	<b>202</b>
Le rapport de synthèse	202
L'Inventaire géographique	202
Le Catalogue descriptif des familles	203
Le Catalogue descriptif des matières	203

<sup>1</sup> L'article 1 de la loi du 9 décembre 2020 stipule notamment pour l'Andra d'établir, de mettre à jour tous les cinq ans et de publier l'Inventaire des matières et déchets radioactifs présents en France ou destinés à y être stockés ainsi que leur localisation sur le territoire national.

<sup>2</sup> 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.

<sup>3</sup> Arrêtés du 4 avril 2014 et du 16 mars 2017 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.

## 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*.

Plusieurs objectifs sont poursuivis :

- recenser les matières et déchets radioactifs sur le territoire français auprès de chaque producteur ou détenteur. Ce recensement inclut les déchets étrangers destinés à retourner dans leur pays d'origine. L'Andra accomplit ce travail de recensement depuis 1992. Initialement effectué sur la base de la libre déclaration des producteurs et des détenteurs, ce travail est réalisé depuis 2008 dans le cadre réglementaire décrit à la page 199 ;
- établir une vue synthétique des matières et des déchets radioactifs existants et à venir selon divers scénarios contrastés avec, pour certains d'entre eux, des photographies des stocks aux dates clés définies par arrêté ministériel ainsi qu'à terminaison, c'est-à-dire à l'issue du démantèlement des installations nucléaires.

### FOCUS

#### LES MATIÈRES ET LES DÉCHETS RADIOACTIFS SUR LE TERRITOIRE FRANÇAIS

L'*Inventaire national* recense l'ensemble des matières et des déchets radioactifs présents sur le territoire français. Il prend donc en compte les matières et les déchets radioactifs provenant du retraitement 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 retraitement pour le compte de clients étrangers rendent public chaque année un rapport qui recense l'ensemble des matières et des 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 :

- la disponibilité de l'information** : une mise en forme des données rendues compréhensibles pour un large public permet de répondre à l'exigence d'information des citoyens. Parallèlement, l'objectif est de mettre à disposition des pouvoirs publics, pour l'élaboration du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR), un inventaire réaliste, correspondant à la meilleure vision des producteurs de déchets au moment de leur déclaration ;
- l'exhaustivité** : l'*Inventaire national* recense les déchets existants liés aux productions récentes et en cours, mais aussi aux productions du passé depuis le début des utilisations des propriétés de la radioactivité qu'elles soient industrielles, de la défense, médicales ou de la recherche. L'objectif est de présenter une « photographie » de tous les déchets présents sur le territoire français à un instant donné, quel que soit leur état physique ou chimique, conditionnés ou non, liquides ou solides, de radioactivité forte ou faible. Le champ d'investigation du recensement ne se limite pas aux seuls stockages ou aux entreposages des déchets. Il concerne également toutes les installations accueillant, même à titre provisoire, des déchets radioactifs destinés à être pris en charge par l'Andra, par exemple dans les laboratoires de recherche médicale ou universitaire. Il s'étend également aux matières radioactives ;
- 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 des modes de gestion décrits ;
- la transparence** : l'*Inventaire national* présente 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<sup>1</sup>. Pour respecter ce principe, un comité de pilotage (voir ci-après « Les acteurs »), présidé par le directeur général de l'Andra et composé de membres extérieurs à l'Agence, pilote l'élaboration de l'*Inventaire national* ;

- la responsabilité du déclarant et la vérification par l'Andra de la filière de gestion** : l'*Inventaire national* présente les données déclarées par les producteurs de déchets. Chaque producteur est donc responsable de sa déclaration. Si nécessaire, l'article R. 542-71 du code de l'environnement permet à l'Andra de faire appel à l'administration en cas de manquement d'un producteur ou détenteur de déchets à ses obligations déclaratives. Par ailleurs, l'Andra vérifie la pertinence de la filière de gestion du déchet proposée par le producteur. Les obligations déclaratives des producteurs ou des détenteurs de déchets ne dispensent toutefois pas l'Agence de veiller à l'exhaustivité de son recensement en recoupant diverses sources d'information. Lorsque la présence de déchets radioactifs est avérée sur des sites non encore répertoriés, ils intègrent l'*Inventaire national* lors de la mise à jour suivante.

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. Elles correspondent à la meilleure appréciation que les producteurs possèdent au moment de la déclaration, mais ne préjugent pas toujours du conditionnement qui sera effectivement mis en œuvre.

## LES ACTEURS

Les déclarations des producteurs et des détenteurs de déchets sont pour la grande majorité effectuées numériquement. Les procédures de vérification des données déclarées dépendent du type de producteur :

- les grands industriels du nucléaire** (Andra, Orano, 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 un responsable au niveau de chaque organisme (le superviseur déclarant). Les prévisions sont directement déclarées par les superviseurs ;
- les producteurs dits « producteurs non électronucléaires »** produisent de plus faibles volumes de déchets radioactifs. Chaque responsable d'activité nucléaire effectue directement sa déclaration sans validation par un supérieur. Chaque donnée déclarée est vérifiée par l'Andra : comparaison avec la déclaration précédente, contrôle de cohérence, recoupements avec d'éventuelles autres sources d'information, analyse de la filière de gestion des déchets retenue par le producteur, etc. Une fois analysées, les déclarations sont ensuite validées par l'Andra, le cas échéant après échanges avec le producteur et reprise des déclarations.

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 sont transmises au public dans la plus grande transparence possible.

Par ailleurs, l'Andra présente chaque année, lors d'une réunion du groupe de travail PNGMDR, une actualisation des quantités de matières et de déchets stockés ou entreposés sur la base des déclarations annuelles des producteurs.

Par producteurs non-électronucléaires, on entend les producteurs ou détenteurs de déchets radioactifs issus du secteur médical, de la recherche (hors CEA), de la défense et de l'industrie non électronucléaire.

Il s'agit principalement de producteurs relevant de l'article R. 542-68 du code de l'environnement.

### FOCUS

#### COMPOSITION DU COMITÉ DE PILOTAGE DE L'INVENTAIRE NATIONAL

Ce comité est constitué :

- de représentants de la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) au sein du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires ;
- de représentants des Autorités de sûreté nucléaire (ASN, ASND) ;
- de représentants des principaux producteurs de déchets (électronucléaire et non électronucléaire) ;
- d'un représentant de la Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs (CNE2), à titre d'observateur ;
- de représentants des associations de la société civile, de défense de l'environnement et des CLI.

<sup>1</sup> Loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire.

## LA RESTITUTION DES INFORMATIONS

L'Andra occupe une position privilégiée pour remplir 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.

Ces informations sont restituées :

- en version papier et Web pour :
  - le présent *Rapport de synthèse* ;
  - le *Catalogue descriptif des catégories de matières radioactives* ;
  - les *Essentiels*.
- en version Web uniquement pour :
  - l'*Inventaire géographique* ;
  - le *Catalogue descriptif des familles de déchets radioactifs* ;
  - les fichiers en open data.

Le site Internet de l'*Inventaire national* permet la mise en place de filtres pour générer et imprimer des documents personnalisés ou l'intégralité des documents proposés.

### LE RAPPORT DE SYNTHÈSE

Ce document présente de manière détaillée l'ensemble des matières et des 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 certains sujets tels que le traitement et le conditionnement des déchets ou le démantèlement et l'assainissement des installations nucléaires.

### LES ESSENTIELS

Le document Les Essentiels présente chaque année une mise à jour des stocks de matières et déchets radioactifs produits en France.

### L'INVENTAIRE GÉOGRAPHIQUE

L'*Inventaire géographique* est la stricte restitution des déclarations des producteurs. Il présente chaque site par région administrative, département et commune. Il répertorie aussi les centres de stockage de l'Andra, les établissements de la Défense nationale, les sites des producteurs non électronucléaires et les sites historiques. Ces sites historiques recouvrent les sites miniers et les sites historiques de stockage.

L'information est reportée de façon factuelle, sous forme de fiches géographiques. Dans ces fiches figurent les informations sur les radionucléides présents, le volume des déchets (lorsque ces informations sont disponibles), ainsi que les filières de gestion.

La catégorie du déchet, comme 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, une fois conditionné.

### LE CATALOGUE DESCRIPTIF DES FAMILLES DE DÉCHETS RADIOACTIFS

Le recensement effectué selon les principes précédents conduit à un nombre élevé de déchets déclarés. Les déchets ont été regroupés par famille (une famille se définit comme un ensemble de déchets radioactifs ayant des caractéristiques analogues), 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*.

Le *Catalogue descriptif des familles* présente pour chaque fiche famille les stocks de déchets à fin 2021, en précisant la part sur site producteur ou détenteur et la part stockée dans les centres de l'Andra, l'activité totale des déchets déclarée par les producteurs et détenteurs à la date de l'inventaire (31 décembre 2021), ainsi que les prévisions de production à fin 2030 et à fin 2040.

Ces prévisions se fondent sur le scénario S1 de renouvellement du parc électronucléaire par des EPR2 puis RNR avec une durée de fonctionnement des réacteurs du parc électronucléaire actuel égale à 60 ans.

### LE CATALOGUE DESCRIPTIF DES CATÉGORIES DE MATIÈRES RADIOACTIVES

Le *Catalogue descriptif des catégories de matières radioactives* présente une description de l'ensemble des catégories de matières nucléaires, tel que défini dans l'arrêté du 16 mars 2017.

Les catégories de matières sont regroupées en chapitre selon leur positionnement dans le cycle du combustible, tel qu'actuellement mis en œuvre en France.

Pour chacune d'elles sont présentés leur stock, leur prévision, leur(s) détenteur(s) et leur(s) localisation(s) à fin 2021.

#### FOCUS

#### 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 pour chaque site répertorié.

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'Orano, 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 réglementaire des déclarations, à partir de 2008, a contribué à accroître l'exhaustivité des données déclarées pour la présente édition de l'*Inventaire national*. Par ailleurs, les incidents sur le site du Tricastin de l'été 2008 ont conduit le ministre de la Transition écologique et solidaire (anciennement ministre de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire) à saisir le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN). À la suite de cette saisine, les informations concernant certains sites historiques présentés dans l'*Inventaire national* ont été précisées. Toutefois, il peut exister des détenteurs potentiels de déchets radioactifs qui ne se sont jamais adressés à l'Andra.

Enfin, comme développée au chapitre 1, la notion même de « déchet radioactif » est sujette à interprétation pour certains déchets présentant des niveaux de radioactivité très bas.





## Annexe 2 L'activité des déchets radioactifs

La radioactivité	205
Les rayonnements	205
Le niveau d'activité et la durée de vie	205
La mesure de la radioactivité	206
La mesure de l'activité des colis de déchets	207

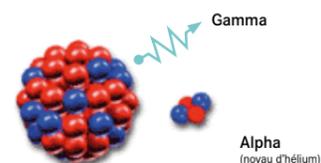
## LA RADIOACTIVITÉ

Dans la nature, la plupart des atomes (constituant la matière) ont des noyaux 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.

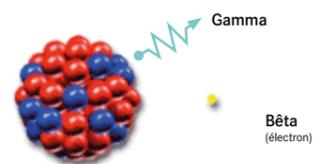
## LES RAYONNEMENTS

On distingue trois types de rayonnement, correspondant à trois formes de radioactivité :

- **le rayonnement  $\alpha$**  : émission d'un noyau d'hélium (constitué de deux protons et de deux neutrons) appelé aussi « particule  $\alpha$  ». La portée dans l'air de ces particules est de quelques centimètres, elles sont arrêtées par une simple feuille de papier ;



- **le rayonnement  $\beta$**  : 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  $\gamma$**  : émission d'un rayonnement électro-magnétique, 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.

## LE NIVEAU D'ACTIVITÉ ET LA DURÉE DE VIE

Les radionucléides sont des atomes radioactifs qui, en se désintégrant, émettent des rayonnements à l'origine du phénomène de la radioactivité. Certains radionucléides sont très radioactifs (plusieurs milliards de milliards de becquerels), d'autres ont une faible activité (qui se mesure en millibecquerels).

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 la moitié de la quantité d'un même radionucléide aura naturellement disparu par désintégration. Le niveau de radioactivité d'un échantillon contenant des

atomes de ce seul radionucléide est donc divisé par deux au bout d'une période. Au bout de 10 périodes, le niveau de radioactivité est divisé par 1 000.

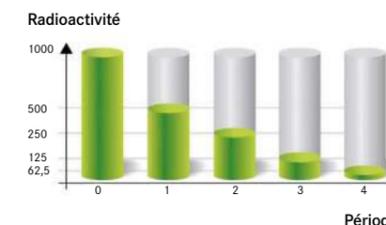
Cette période peut aller par exemple d'une fraction de seconde pour le polonium 214 à 4,5 milliards d'années pour l'uranium 238.

La période radioactive d'un radionucléide est systématiquement reliée par une fonction inverse de l'activité : plus la période est longue, plus l'activité est faible. Le tableau suivant donne des exemples d'activités pour 1 gramme d'échantillon (iode 131, césium 137, plutonium 239 et uranium 238).

### EXEMPLES DE RELATION ENTRE PÉRIODE ET ACTIVITÉ

Radioélément	Période	Activité massique
Iode 131	8 jours	$4,6 \cdot 10^{15}$ Bq/g
Césium 137	30 ans	$3,2 \cdot 10^9$ Bq/g
Plutonium 239	24 113 ans	$2,3 \cdot 10^6$ Bq/g
Uranium 238	4,5 milliards d'années	12 400 Bq/g

*i* En physique nucléaire, l'activité est souvent rapportée à un volume (activité volumique en Bq/l ou Bq/m<sup>3</sup>), une masse (activité massique en Bq/g) ou une surface (activité surfacique en Bq/m<sup>2</sup>). L'activité massique d'une substance radioactive est le nombre de désintégrations par unité de temps et par unité de masse. Dans le *Catalogue descriptif des familles de déchets radioactifs*, elle s'exprime en becquerels par gramme de colis fini.



## LA MESURE DE LA RADIOACTIVITÉ

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.

### Les unités de mesure 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) :  $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$ , 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. Un gray correspond à une énergie absorbée de 1 joule par kilogramme de matière. L'ancienne unité était le rad :  $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$ .
- **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 :  $1 \text{ Sv} = 100 \text{ Rem}$ .



Contrôle radiologique : mesure des rayonnements d'un colis de déchets

### ► PRINCIPALES GRANDEURS MESURÉES

Grandeur mesurée	Définition	Unités
<b>Activité</b>	Nombre de désintégrations par seconde	becquerel (Bq)
<b>Dose absorbée</b>	Quantité d'énergie transférée à la matière	gray (Gy)
<b>Dose efficace</b>	Effets des rayonnements sur l'organisme	sievert (Sv)

Bien que le becquerel soit une unité infiniment 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.

## LA MESURE DE 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 et/ou de leur rayonnement peu énergétique. Des facteurs de corrélation sont alors établis entre l'activité de ces radionucléides et celle d'un radionucléide plus facilement mesurable utilisé comme traceur.

La répartition des activités des différents radionucléides dans le déchet (spectre radiologique) est ainsi évaluée.

Le producteur évalue, le plus souvent, l'activité du déchet lors de sa production ou de son conditionnement.



Contrôle d'un colis dans le bâtiment de traitement du Cires

## Glossaire et abréviations

Termes	Définitions
<b>Actinide</b>	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).
<b>Actinide mineur</b>	Terme d'usage désignant le neptunium, l'américium ou le curium formé dans les combustibles nucléaires.
<b>Activité</b>	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.
<b>AIEA (IAEA en anglais)</b>	Agence internationale pour l'énergie nucléaire (iaea.org).
<b>Amont du cycle du combustible</b>	Ensemble des opérations du cycle du combustible depuis l'exploitation minière jusqu'à la fabrication du combustible.
<b>Assainissement radioactif</b>	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.
<b>Assemblage combustible</b>	Groupement d'éléments combustibles qui restent solidaires, notamment au cours du chargement ou du déchargement du cœur d'un réacteur nucléaire.
<b>Aval du cycle du combustible</b>	Ensemble des opérations du cycle du combustible postérieures au séjour de ce dernier en réacteur, depuis le retraitement éventuel des combustibles usés jusqu'au stockage des déchets radioactifs.
<b>Baddeleyite</b>	La baddeleyite est un minéral naturel rare d'oxyde de zirconium (ZrO <sub>2</sub> ).
<b>Becquerel (Bq)</b>	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 <sup>-1</sup> ). Cette unité remplace le curie (1 Ci = 3,7.10 <sup>10</sup> Bq). On emploie plus couramment ses multiples : le mégabecquerel (MBq, million de becquerels, 10 <sup>6</sup> Bq), le gigabecquerel (GBq, milliard, 10 <sup>9</sup> Bq), le térabecquerel (TBq, mille milliards, 10 <sup>12</sup> Bq), le pétabecquerel (PBq, million de milliards, 10 <sup>15</sup> Bq) ou l'exabecquerel (EBq, milliard de milliards, 10 <sup>18</sup> Bq).
<b>Boues bitumées</b>	Boues issues d'une opération de coprécipitation dans les stations de traitement des effluents radioactifs liquides et conditionnées dans du bitume.
<b>Boîte à gants</b>	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.
<b>Centre de stockage de déchets radioactifs</b>	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.
<b>Cigéo</b>	Centre industriel de stockage géologique.
<b>Cires</b>	Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage.
<b>CNE</b>	Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs.

Termes	Définitions
<b>Colis de blocs sources</b>	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 en 1994.
<b>Colis de déchets radioactifs</b>	Déchets radioactifs conditionnés et emballés.
<b>Colis de stockage</b>	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 récupérabilité.
<b>Combustible (nucléaire)</b>	Matière contenant des nucléides dont la consommation par fission dans un réacteur nucléaire permet d'y entretenir une réaction nucléaire en chaîne.
<b>Combustible MOX</b>	Combustible à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium. Le MOX utilisé dans les centrales REP est constitué d'uranium appauvri et de plutonium dont la teneur moyenne en est de 8,65 % et pourrait atteindre 9,5 %.
<b>Combustible RNR</b>	Combustible à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium des réacteurs à neutrons rapides Phénix et Superphénix. Les combustibles du réacteur Superphénix sont constitués d'environ 80 % d'uranium (naturel ou appauvri) et de 20 % de plutonium.
<b>Combustible UNE</b>	Combustible à l'uranium naturel enrichi à base d'oxyde d'uranium. La teneur en uranium naturel enrichi peut varier de 3,25 % à 4,5 % et le taux de combustion moyen peut varier de 33 GWj/t à 55 GWj/t.
<b>Combustible URE</b>	Combustibles composés d'uranium de retraitement.
<b>Combustible usé</b>	Combustible nucléaire, déchargé d'un réacteur après irradiation, appelé également « combustible irradié ».
<b>Conditionnement des déchets radioactifs</b>	Ensemble des opérations consistant à mettre les déchets radioactifs sous une forme convenant à leur transport, leur entreposage ou leur stockage. <i>Note : ces opérations peuvent comprendre notamment l'enrobage, la vitrification, la cimentation, le bitumage et la mise en conteneur.</i>
<b>Confinement (de matières radioactives)</b>	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.
<b>Contamination (radioactive)</b>	Présence indésirable de substances radioactives à la surface ou à l'intérieur d'un milieu quelconque.
<b>Conteneur</b>	Dans l'industrie nucléaire, récipient fermé manutentionnable utilisé pour des opérations de transport, d'entreposage ou de stockage.
<b>Coques et embouts</b>	Déchets radioactifs comprenant les coques et les embouts des assemblages après découpe des crayons et dissolution du combustible.
<b>Crayon de combustible</b>	Tube de faible diamètre, fermé à ses deux extrémités, contenant les pastilles de combustible.
<b>CSA</b>	Centre de stockage de l'Aube.
<b>CSD-C</b>	Conteneur standard de déchets compactés.
<b>CSD-V</b>	Conteneur standard de déchets vitrifiés.
<b>CSM</b>	Centre de stockage de la Manche.

Termes	Définitions
<b>Déchets à vie courte</b>	Déchets radioactifs dont les composants radioactifs principaux sont des radionucléides dont la période radioactive est inférieure ou égale à 31 ans.
<b>Déchets à vie longue</b>	Déchets radioactifs contenant en quantité importante des radionucléides dont la période radioactive est supérieure à 31 ans.
<b>Déchets à radioactivité naturelle élevée</b>	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 peuvent nécessiter une gestion particulière.
<b>Déchets d'exploitation</b>	Les déchets d'exploitation sont les déchets produits lors du fonctionnement ou du démantèlement d'une installation.
<b>Déchets de structure</b>	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.
<b>Déchets de graphite</b>	En France, catégorie de déchets radioactifs comprenant les éléments en graphite (chemises et briques d'empilement) issus de l'exploitation et du démantèlement des anciens réacteurs UNGG (soit environ 20 000 tonnes). Ce graphite contient du tritium et des éléments à vie longue (carbone 14, chlore 36).
<b>Déchets radioactifs</b>	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.
<b>Déchets tritiés</b>	Déchets radioactifs, contenant du tritium, pouvant nécessiter une gestion spécifique compte tenu de la grande mobilité de cet élément.
<b>Déchets vitrifiés</b>	Déchets radioactifs conditionnés en utilisant du verre comme matrice de conditionnement.
<b>Démantèlement</b>	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.
<b>Détenteur de déchets radioactifs</b>	Producteur de déchets ou toute autre personne qui se trouve en possession de déchets (article L. 541-1-1 du code de l'environnement).
<b>Entreposage (de matières ou de déchets radioactifs)</b>	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.
<b>Enrichissement de l'uranium</b>	Procédé par lequel la teneur en uranium 235 est augmentée.
<b>FA-VL</b>	Les déchets de faible activité à vie longue sont essentiellement des déchets de graphite provenant des réacteurs UNGG et des déchets radifères. Les déchets de graphite ont, en ordre de grandeur, une activité se situant entre 10 000 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.
<b>Fissile</b>	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 ( <sup>233</sup> U, <sup>235</sup> U, <sup>239</sup> Pu, <sup>241</sup> Pu, etc.) soit émetteurs à vie courte ( <sup>237</sup> U, <sup>243</sup> Pu, <sup>244</sup> 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.

Termes	Définitions
<b>F</b>	
<b>Fission nucléaire</b>	Désintégration d'un noyau lourd par division généralement en deux noyaux de masse atomique comprise entre 70 et 170.
<b>FMA-VC</b>	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.
<b>H</b>	
<b>HA</b>	Les déchets de haute activité sont principalement issus des combustibles usés après retraitement. Le niveau d'activité de ces déchets est de l'ordre de plusieurs milliards de becquerels par gramme.
<b>HCTISN</b>	Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire.
<b>ICPE</b>	Installation classée pour la protection de l'environnement.
<b>Installation nucléaire de base (INB)</b>	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.
<b>Installation nucléaire de base secrète (INBS)</b>	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 des 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 (ASND), placée sous l'autorité du Délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection pour les activités et les installations intéressant la défense (DSND). L'Autorité de sûreté nucléaire défense 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.
<b>ISD</b>	Installation de stockage de déchets conventionnels.
<b>Isotope</b>	Tout nucléide d'un élément donné. Qualifie des nucléides d'un même élément.
<b>M</b>	
<b>MA-VL</b>	Les déchets de moyenne activité à vie longue sont en majorité issus du retraitement des combustibles usés. L'activité de ces déchets est de l'ordre d'un million à un milliard de becquerels par gramme.
<b>Marqué (site)</b>	Site présentant des traces de radionucléides naturels ou artificiels, détectables sans qu'il y ait nécessairement d'action particulière envisagée.
<b>Matière radioactive</b>	Une matière radioactive est une substance radioactive pour laquelle une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement.
<b>Matrice (de conditionnement)</b>	Matériau solide utilisé pour immobiliser ou pour confiner les déchets radioactifs ou simplement pour améliorer la résistance à l'écrasement du colis de déchets.
<b>MES</b>	Matières en suspension, résidus issus du traitement des terres rares contenant du thorium.
<b>Métal lourd</b>	Dans le domaine du combustible nucléaire, ensemble des actinides.  En pratique, cette expression concerne essentiellement l'uranium, le plutonium et le thorium.

Termes	Définitions
<b>M</b>	
<b>Modérateur</b>	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.
<b>Métastable</b>	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.
<b>N</b>	
<b>Nucléide</b>	Espèce nucléaire caractérisée par son numéro atomique Z et par son nombre de masse A, égal au nombre de nucléons de son noyau.  Chaque élément chimique possède en général plusieurs nucléides isotopes. On désigne un nucléide par son symbole chimique précédé de son nombre de masse A en exposant et de son numéro atomique Z en indice, par exemple $^{238}_{92}\text{U}$ .
<b>O</b>	
<b>OPECST</b>	Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques.
<b>P</b>	
<b>Parc actuel</b>	Les 56 réacteurs en fonctionnement au 31/12/2021 et l'EPR de Flamanville (FLA3).
<b>Période radioactive (ou demi-vie)</b>	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.
<b>Phosphogypse</b>	Le phosphogypse est le précipité solide de sulfate de calcium hydraté, produit pour la fabrication de l'acide phosphorique et des engrais phosphatés lors du traitement des minerais de fluorophosphates de calcium.
<b>Plutonium</b>	Élément de numéro atomique Z = 94. Il a été produit initialement pour les applications militaires. Généré dans les réacteurs nucléaires par irradiation à partir de l'uranium 238, il est utilisé aujourd'hui comme constituant des combustibles MOX dans certains réacteurs à eau légère. C'est aussi le combustible retenu dans la plupart des études de réacteurs à neutrons rapides.
<b>PNGMDR</b>	Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs.
<b>Pollué (site)</b>	Dans le contexte de la contamination radioactive, qualifie une zone ou un site contaminé de manière importante par des substances radioactives, naturelles ou artificielles.
<b>Pollution radioactive</b>	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.
<b>Producteur (de déchets)</b>	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) ( <i>article L. 541-1-1 du code de l'environnement</i> ).
<b>Produit d'activation</b>	Les produits d'activation sont des nucléides formés par irradiation neutronique d'un matériau.

Termes	Définitions
P	<b>Produit de fission</b> 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 <sup>99</sup> Tc, <sup>129</sup> I sont à vie longue.
	<b>PUREX</b> Plutonium Uranium Réduction Extraction, procédé d'extraction du plutonium et de l'uranium contenu dans les combustibles irradiés.
R	<b>Radioactivité</b> 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 ( $\beta^+$ , $\beta^-$ , conversion interne), la radioactivité gamma et celle provenant d'une capture électronique. La radioactivité gamma accompagne souvent l'une des autres.
	<b>Radioélément</b> Élément chimique dont tous les isotopes sont radioactifs. Terme d'emploi déconseillé parfois utilisé pour radioisotope ou radionucléide.
	<b>Radionucléide/Radioisotope</b> Atomes radioactifs qui, en se désintégrant, émettent des rayonnements à l'origine du phénomène de la radioactivité.
	<b>Radioprotection</b> 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.
	<b>RCD</b> 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.
	<b>Réacteurs à eau pressurisée (REP)</b> Synonyme de réacteur à eau sous pression. Réacteur à neutrons thermiques utilisant l'eau légère comme modérateur et caloporteur. Cette eau est maintenue liquide dans le cœur grâce à une pression suffisamment élevée pour que à la température de fonctionnement, l'ébullition en masse ne puisse pas se produire.
	<b>Réacteurs à neutrons rapides</b> 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.
	<b>Réacteur uranium naturel graphite gaz (UNGG)</b> Réacteur nucléaire à fission de première génération utilisant l'uranium naturel comme combustible, le graphite comme modérateur et le dioxyde de carbone gazeux comme fluide caloporteur.
	<b>Réhabilitation</b> Ensemble des opérations de dépollution et de réaménagement effectuées en vue de rendre un site apte à un usage donné.
	<b>Retraitement des combustibles usés</b> 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 retraitement peut aussi être envisagé pour séparer d'autres éléments.
S	<b>Scénario</b> Ensemble d'hypothèses relatives à des événements ou des comportements permettant de décrire les évolutions possibles d'un système dans le temps et dans l'espace.

Termes	Définitions	
S	<b>SIENID</b> Sites et installations d'expérimentations nucléaires intéressant la défense.	
	<b>Source radioactive</b> Appareil, substance radioactive ou installation pouvant émettre des rayonnements ionisants ou des substances radioactives.	
	<b>Stockage de déchets radioactifs</b> 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.	
	<b>Substance radioactive</b> Une substance radioactive est une substance qui contient des radionucléides, naturels ou artificiels, dont l'activité ou la concentration justifie un contrôle de radioprotection.	
T	<b>Surgénération</b> Phénomène par lequel, dans un RNR, la production de matière fissile par capture neutronique dans l'enveloppe excède la consommation de matière fissile dans le cœur.	
	<b>Taux de combustion</b> 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).	
	<b>Terre rare</b> Élément d'un groupe contenant les lanthanides et deux éléments chimiquement voisins, l'yttrium et le scandium.	
	<b>TFA</b> 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 100 becquerels par gramme.	
	<b>tML</b> Tonnes de métal lourd.	
	<b>Toxique chimique</b> 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.	
	<b>Traitement d'un déchet</b> Ensemble d'opérations mécaniques, physiques ou chimiques ayant pour but de modifier les caractéristiques des déchets.	
	<b>Tritium</b> 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	<b>Uranium de retraitement (URT)</b> Uranium issu du retraitement des combustibles usés.
		<b>Uranium de retraitement enrichi (URE)</b> Uranium enrichi provenant de l'enrichissement d'uranium issu du retraitement des combustibles usés.

	Termes	Définitions
V	<b>Volume équivalent conditionné</b>	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 récupérabilité. Seul le volume primaire est indiqué dans le présent document.
	<b>Volume industriel</b>	Volume d'eau déplacé par immersion du colis.
Z	<b>Zircon</b>	Minéral naturel du groupe des silicates (ZrSiO <sub>4</sub> ).

**Photo de couverture** Mise en place d'un colis de déchets FMA-VC en béton dans un ouvrage de stockage au Centre de stockage de l'Aube (gauche) / Hall d'entreposage des colis de déchets HA sur le site Orano de La Hague (droite).

**Crédits photos** A. Daste, A. Da Silva, P. Demail, V. Duterme, N. Guillaumey, C. Helsly, D. Junker, E. Larrayadieu, S. Lavoué, W. Maria Weber, P. Masson, P. Maurein, Moulins, S. Muzerelle, D. Queyrel, F. Vigouroux, M. Saint-Louis, Wlad 074, D.R.

**Photothèques** Andra, ARC-Nucléart, Bipan, CEA, EDF, Fotolia, Graphix images, Institut Curie, Medisystem, Musée Curie (Coll. ACJC), National Institutes of Health-United States Department of Health and Human Services-U.S. federal government, Okénite animation, Orano, Polka.

©Andra – Décembre 2023 – 622 – DDP/DICOM/23-0088 – ISSN n° 1285-0306 - Imprimé sur du papier certifié PEFC (PEFC/10-31-1588) avec des encres végétales, imprimeur labellisé Imprim'Vert.

# Toutes les données sur les matières et déchets radioactifs sont sur **inventaire.andra.fr**



Les Essentiels



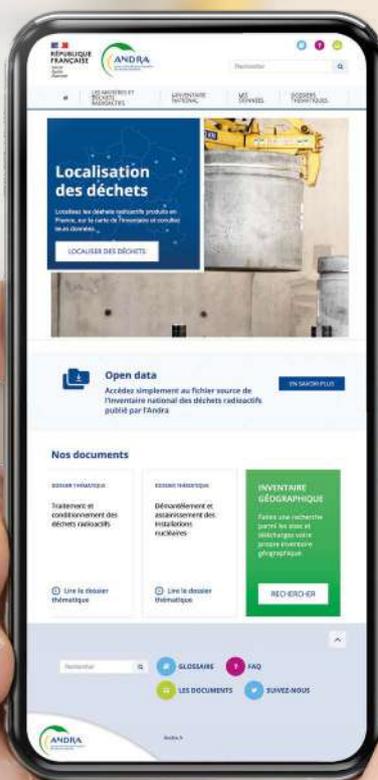
Catalogue  
des familles



Qu'est-ce que  
l'Inventaire national ?



Localisation  
des déchets



Catalogue  
des matières