

# IRSN

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

*Faire avancer la sûreté nucléaire*



## La gestion des déchets radioactifs

Collecter, trier, traiter,  
conditionner, entreposer  
et finalement stocker  
pour se protéger.

La production d'électricité, mais aussi les hôpitaux, les universités et certaines industries non nucléaires génèrent des déchets radioactifs. Toutes les réglementations propres aux déchets en général s'appliquent aux déchets radioactifs. Mais les déchets radioactifs émettent des rayonnements et présentent de ce fait un risque spécifique pour la santé de l'homme.

Il convient donc de les gérer avec des précautions particulières, depuis leur production jusqu'à leur destination définitive. La création de filières d'élimination adaptées constitue un enjeu majeur pour l'ensemble des acteurs en présence, les industriels, les autorités réglementaires, les pouvoirs publics, les communautés locales et la population.



Assemblage combustible.



## La gestion et le stockage des déchets radioactifs

- 1 ■ Que savoir sur les déchets radioactifs ? \_\_\_\_\_ p. 2**
  - Leur classement
  - À chaque catégorie de déchets son mode de gestion
  
- 2 ■ Quelle gestion pour les déchets à vie longue ? \_\_ p. 10**
  - La séparation et la transmutation
  - Le stockage réversible en couche géologique profonde
  - L'entreposage
  
- 3 ■ Le stockage en couche géologique profonde à l'international \_\_\_\_\_ p. 17**
  
- 4 ■ Le stockage en couche géologique profonde en France \_\_\_\_\_ p. 22**

# 1

## Que savoir sur les déchets radioactifs ?

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

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

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 (Code de l'environnement, article L 542.1-1).

Les radionucléides contenus dans les déchets radioactifs peuvent être d'origine artificielle, comme le césium 137, ou naturelle, comme le radium 226.

Les caractéristiques radioactives des déchets sont :

- le type de radionucléides contenus et les rayonnements émis (alpha, bêta, gamma), l'activité (nombre de noyaux d'atomes qui se désintègrent spontanément par unité de temps - s'exprime en Becquerel),
- la période radioactive (temps nécessaire pour que l'activité d'un radionucléide dans un échantillon diminue de moitié).



Conteneurs de déchets, vitrifiés à gauche, compactés à droite.

Les déchets radioactifs proviennent pour l'essentiel de l'industrie nucléaire. Pour le reste, ils sont issus de l'utilisation d'éléments radioactifs

dans les hôpitaux, les universités et certaines industries non nucléaires, ainsi que des activités liées à la défense.

### □ Leur classement

On classe les déchets radioactifs selon leur activité et la « période radioactive » des radionucléides qu'ils contiennent. Le niveau de radioactivité détermine l'importance des protections à mettre en place. On distingue ainsi des déchets de très faible, de faible, de moyenne ou de haute

activité. Un déchet radioactif est dit « à vie courte » s'il ne contient que des radionucléides de période inférieure à 31 ans.

Un déchet radioactif est dit « à vie longue » s'il contient en quantité significative des radionucléides dont la période radioactive est supérieure à 31 ans.

Radionucléide	Période
Cobalt 60	5,2 ans
Tritium	12,2 ans
Strontium 90	28,1 ans
Césium 137	30 ans
Américium 241	432 ans
Radium 226	1 600 ans
Carbone 14	5 730 ans
Plutonium 239	24 110 ans
Neptunium 237	2 140 000 ans
Iode 129	15 700 000 ans
Uranium 238	4 470 000 000 ans

On distingue ainsi plusieurs catégories de déchets :

- **les déchets à vie très courte (VTC)** dont une partie importante résulte des applications médicales de la radioactivité (diagnostics ou thérapie) et dont les éléments radioactifs ont une période inférieure à 100 jours ;
- **les déchets de très faible activité (TFA)** qui proviennent de l'industrie nucléaire, en particulier des opérations de démantèlement des installations. Les résidus de traitement de minerais d'uranium peuvent être rattachés à cette catégorie ; ils bénéficient d'une gestion spécifique ;
- **les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC)** qui proviennent principalement de l'industrie nucléaire, mais aussi de quelques laboratoires de recherche ;
- **les déchets de faible activité à vie longue (FA-VL)** qui sont, soit des déchets contaminés par du radium (appelés « radifères ») et qui ont principalement pour origine l'utilisation de matières premières naturellement radioactives dans des procédés industriels, la récupération d'objets contenant du radium, l'assainissement de sites pollués, soit les déchets « graphite » qui proviennent du démantèlement de l'ancienne filière française « uranium naturel graphite gaz » de réacteurs nucléaires ;
- **les déchets de moyenne activité et à vie longue (MA-VL)** qui résultent essentiellement du traitement des combustibles usés (gainés du combustible usé, boues issues du traitement...) et de la maintenance des installations nucléaires ;



Opérations de démantèlement (TFA).



Terres rares (FA-VL).



*Déchets solides dans leur fût bétonné, avant l'enrobage de ciment.*



*Enrobage de ciment.*

■ **les déchets de haute activité et à vie longue (HA-VL)** qui sont des matières

non recyclables issues du traitement des combustibles usés des centrales nucléaires.

## □ À chaque catégorie de déchets son mode de gestion

Les déchets radioactifs présentent une diversité importante selon leur forme physique et chimique, leur radioactivité et la période des radionucléides en cause, mais aussi selon leur volume. En France, chaque catégorie de déchets est gérée dans une filière particulière qui comprend une série d'opérations comme le tri, le traitement, le conditionnement, l'entreposage et le stockage.

**Le tri :** permet de séparer les déchets selon leurs caractéristiques notamment la période

radioactive des radionucléides qu'ils contiennent. Il conduit également à séparer les déchets que l'on peut compacter, incinérer ou fondre.

**Le traitement et le conditionnement :** selon leur nature, les déchets subissent des traitements différents (incinération, calcination, fusion, compactage, cimentation, vitrification...). Puis ils sont enfermés dans un conteneur. On aboutit ainsi à un objet appelé « colis » de déchets radioactifs.



*Les déchets TFA sont des gravats, des ferrailles, des tuyauteries, issus principalement du démantèlement des installations nucléaires.*

### L'entreposage et le stockage :

les installations d'entreposage sont conçues pour accueillir les colis de déchets pendant une durée limitée. Le stockage est le stade ultime d'une filière et suppose le dépôt définitif des colis ou, du moins, l'absence d'intention de les reprendre. Cela signifie naturellement que les dispositions retenues garantissent la protection de l'homme et de l'environnement aussi bien à court qu'à très long terme.

**Les déchets à vie très courte (VTC)**, dont le niveau de radioactivité disparaît quasiment en quelques dizaines à centaines de jours, sont entreposés un temps suffisant pour décroissance avant élimination (circuit des déchets hospitaliers notamment).

**Les déchets de très faible activité (TFA)** sont stockés dans un centre de stockage situé à Morvilliers (Aube) et exploité

par l'Andra. Leur volume total, après démantèlement du parc électronucléaire, est estimé entre 1 et 2 millions de m<sup>3</sup>. Dans cette catégorie, mais gérés différemment, on trouve les résidus résultant du traitement des minerais d'uranium. Toutes les mines d'uranium sont aujourd'hui fermées en France. Les résidus sont stockés sur une vingtaine de sites miniers, sous la responsabilité d'Areva. Ils représentent un volume de l'ordre de 52 millions de tonnes de matériaux.

**Les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC, appelés aussi FA-MA ou déchets « A »)** sont incinérés, fondus, enrobés ou compactés. Ils sont la plupart du temps cimentés dans des conteneurs, métalliques ou en béton. Ils sont stockés dans deux centres de surface : celui de la Manche, fermé depuis 1994 car ayant atteint sa capacité nominale de 527 000 m<sup>3</sup>, et celui de l'Aube,



*Compactage de fûts.*

ouvert en 1992 et exploité depuis par l'Andra. On estime que le volume de ces déchets sera, au terme de l'exploitation des installations nucléaires actuellement en activité (en retenant l'hypothèse de 40 ans de fonctionnement des réacteurs puis leur démantèlement), de l'ordre de 1,3 million de m<sup>3</sup>.

**Les déchets de faible activité à vie longue (FA-VL)** sont entreposés par les producteurs en attendant d'une solution de stockage, pour laquelle la recherche d'un site d'implantation est engagée. Ils représentent environ 4,5 % du volume total des déchets (et 0,01 % de la radioactivité).

**Les déchets de moyenne activité et à vie longue (MA-VL, appelés aussi déchets « B »)** sont compactés ou cimentés, et forment ainsi des colis qui



*Fusion de déchets métalliques.*

sont entreposés sur leur lieu de production. Ils représentent environ 5 % du total du volume des déchets radioactifs et 4 % de la radioactivité.

**Les déchets de haute activité et à vie longue (HA-VL, appelés aussi déchets « C »)** sont vitrifiés ; il s'agit de l'incorporation d'effluents très radioactifs dans du verre en fusion.

Après refroidissement, la radioactivité est retenue prisonnière dans la matrice vitreuse. Ils sont coulés dans des conteneurs en acier inoxydable ensuite hermétiquement fermés par soudure d'un couvercle. Ces colis de déchets sont aujourd'hui entreposés par les producteurs (CEA, Areva) sur le lieu de leur production passée (Marcoule, Gard) ou présente (La Hague, Manche). Ils représentent 0,2 % du volume



*Entreposage de déchets dans un hall de la centrale de Brennilis (EDF).*

des déchets, mais 96 % de la radioactivité totale.

**L'entreposage des déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL)** et de haute activité à vie longue (HA-VL). Compte tenu des activités nucléaires passées et des scénarios de traitement des combustibles usés, le volume des déchets de moyenne activité et à vie longue atteindrait environ 80 000 m<sup>3</sup> en 2020. Celui des déchets de

haute activité et à vie longue représenterait 8 000 m<sup>3</sup>.

**Les combustibles usés**, qui contiennent notamment de l'uranium et du plutonium qu'il est possible de récupérer et de valoriser, sont entreposés en piscines dans l'usine Areva de La Hague pour refroidissement avant retraitement « immédiat » (sous cinq à dix ans) ou différé (dans l'attente d'une utilisation du plutonium qu'ils contiennent).



*Différents types de colis de déchets.*

## Solutions de gestion développées dans le cadre du PNGMDR\* pour les différentes catégories de déchets

Période d'activité	Très courte durée de vie (inférieure à 100 jours)	Courte durée de vie (inférieure à 31 ans)	Longue durée de vie (supérieure à 31 ans)
Très faible activité	Gestion par décroissance radioactive	Stockage dédié en surface. Filières de recyclage (activité < 100Bq/g).	
Faible activité		Stockage de surface (centre de stockage de l'Aube)	Stockage dédié en subsurface (à l'étude)
Moyenne activité			
Haute activité		Filières à l'étude dans le cadre de l'article 3 de la loi de programme du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs	

\* Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs.



*Au Centre de l'Aube (Andra), les colis sont disposés dans des « ouvrages de stockage », qui sont des cases en béton. Une fois remplies, les cases sont recouvertes d'une dalle de béton et d'une membrane de polyuréthane.*



## Quelle gestion pour les déchets à vie longue ?

Trois voies de recherche (appelées aussi « axes ») avaient été retenues par la loi du 30 décembre 1991 concernant le devenir des déchets radioactifs de haute activité à vie longue : la séparation-transmutation (axe 1), le stockage en formation géologique profonde (axe 2), le conditionnement et l'entreposage de longue durée en surface (axe 3). Le pilote des recherches était le CEA pour les axes 1 et 3 et l'Andra pour l'axe 2. Sur la base des résultats de recherche acquis, une nouvelle loi, parue en 2006, a organisé la suite du processus pour la gestion de ces déchets.

La nouvelle loi de programme 2006-739 relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs a été adoptée le 28 juin 2006. Elle stipule notamment 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 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.

La loi institue un plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR) et fixe des échéances pour les principales étapes de leur gestion. Une commission nationale est chargée d'évaluer annuellement l'état d'avancement des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs compte tenu des orientations fixées par le plan précité. Le décret 2008-357 fixe les prescriptions relatives à ce plan (cf. notamment le tableau des solutions de gestion présenté p. 12).

### Ce plan doit ainsi respecter les orientations suivantes :

- la réduction de la quantité et de la nocivité des déchets radioactifs est recherchée notamment par le traitement des combustibles usés et le traitement et le conditionnement des déchets radioactifs ;

■ les matières radioactives en attente de traitement et les déchets radioactifs ultimes en attente d'un stockage sont entreposés dans des installations spécialement aménagées à cet usage ; après entreposage, les déchets radioactifs ultimes ne pouvant, pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection être stockés en sur-

face ou en faible profondeur, font l'objet d'un stockage en couche géologique profonde.

Dans le cas des déchets à vie longue de haute ou de moyenne activité, la loi de 2006 prévoit que les recherches et études relatives à ces déchets sont poursuivies selon les trois axes complémentaires suivants.

## □ La séparation et la transmutation

### Le principe

La séparation et la transmutation ont pour objectif de réduire les quantités d'éléments radioactifs à vie longue contenus dans les déchets ultimes en les séparant par des procédés chimiques puis en les transmutant sous flux neutronique, c'est-à-dire en les transformant en éléments à vie courte.

### L'état des recherches

Les recherches ont confirmé que l'objectif de la séparation-transmutation est très ambitieux.

La séparation constitue un prolongement complexe du retraitement. Elle pourrait être envisagée pour de futures usines, mais ne peut concerner que certains déchets à vie longue. La transmutation suppose le dévelop-

pement de nouvelles installations (réacteurs, accélérateurs de particules dédiés) et ne peut s'envisager qu'à travers des programmes pérennes qui s'étalent sur une centaine d'années.

Par ailleurs, si la transmutation est capable de détruire certains éléments à vie longue séparés (les actinides), elle est sans doute d'application très difficile, voire impossible, pour d'autres éléments comme les produits de fission à vie longue. Or certains de ces produits de fission sont plus mobiles en situation de stockage car solubles et susceptibles de se déplacer avec les eaux souterraines. La séparation-transmutation n'apparaît donc pas, à elle seule, comme une technique alternative au stockage géologique.

## Ordres de grandeur des volumes de déchets radioactifs produits

tirés du rapport *Le bars de la mission sur la méthodologie*

TYPES DE DÉCHETS	QUANTITÉS
GRAVATS ET FERRAILLES ISSUS DU DÉMANTÈLEMENT DES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES (TRÈS FAIBLE ACTIVITÉ, TFA).	1 à 2 millions de m <sup>3</sup> ou plus
RÉSIDUS DE TRAITEMENT DE MINÉRAIS (DÉCHETS RADIFÈRES) ISSUS D'ACTIVITÉS CHIMIQUES ET DE SITES POLLUÉS ANCIENS.	100 000 m <sup>3</sup> ou plus
RÉSIDUS DE TRAITEMENT DE MINÉRAIS D'URANIUM ISSUS DE LA PRODUCTION D'URANIUM.	52 millions de tonnes
FILTRES, MATÉRIELS USAGÉS, BLOUSES, GANTS, ETC. ISSUS DES CENTRALES ET DES USINES DE RETRAITEMENT. (FAIBLE ET MOYENNE ACTIVITÉ À VIE COURTE) SOURCES USAGÉES ISSUES DES HÔPITAUX ET DE L'INDUSTRIE.	1,3 million de m <sup>3</sup>
DÉCHETS TRITIÉS ISSUS NOTAMMENT DE LA FABRICATION D'ARMES NUCLÉAIRES (DIRECTION DES APPLICATIONS MILITAIRES - CEA).	3 500 m <sup>3</sup>
DÉCHETS EN GRAPHITE ISSUS DE LA PREMIÈRE GÉNÉRATION DES CENTRALES NUCLÉAIRES « GRAPHITE-GAZ », AUJOURD'HUI ARRÊTÉES.	14 000 m <sup>3</sup>
BOUES DE TRAITEMENT DES EFFLUENTS LIQUIDES. COLIS DE DÉCHETS ISSUS DE L'EXPLOITATION DES CENTRES DE RECHERCHE ET DE LA REPRISE DES DÉCHETS ANCIENS. STRUCTURES MÉTALLIQUES DU COMBUSTIBLE, ISSUES DU RETRAITEMENT DES COMBUSTIBLES USÉS. SOURCES USAGÉES (MOYENNE ACTIVITÉ ET À VIE LONGUE).	60 000 m <sup>3</sup> (*)
PRODUITS DE FISSION VITRIFIÉS ISSUS DU RETRAITEMENT DES COMBUSTIBLES USÉS (HAUTE ACTIVITÉ ET À VIE LONGUE).	5 000 m <sup>3</sup> (*)
COMBUSTIBLES USÉS NON RETRAITÉS (HAUTE ACTIVITÉ ET À VIE LONGUE).	3 500 tonnes (*)

(\*) Dans l'hypothèse où tous les combustibles usés sont retraités, sauf les combustibles MOX et les combustibles à l'uranium de retraitement.

et à produire jusqu'à la fin de vie des installations existantes,  
de l'inventaire des déchets radioactifs (source ANDRA).

## QUELLES FILIÈRES ?

Tri, entreposage en vrac par les producteurs  
(EDF, AREVA, CEA).  
Stockage de surface de Morvilliers par l'ANDRA.

Décontamination des sites pollués, entreposage  
sur les lieux de production.  
Concept de stockage à l'étude par l'ANDRA.

Réaménagement des sites par AREVA (22 sites).  
Stockage sur place par AREVA.

Tri, traitement, conditionnement par les industriels  
(EDF, AREVA, CEA, SOCODEI)  
et par l'ANDRA pour les petits producteurs  
(hôpitaux, universités...).  
Stockage de surface par l'ANDRA.

Entreposage par le CEA sur les lieux de production.  
Filières de gestion à l'étude.

Traitement, conditionnement,  
entreposage par le CEA et AREVA.  
Mode de gestion à l'étude (loi du 28 juin 2006).

Traitement, conditionnement, entreposage  
(en puits ventilés) par AREVA.  
Mode de gestion à l'étude (loi du 28 juin 2006).

Traitement, conditionnement, entreposage  
(en puits ventilés) par AREVA.  
Mode de gestion à l'étude (loi du 28 juin 2006).

Entreposage (en piscine) par EDF et AREVA.  
Mode de gestion en attente.

La loi de 2006 prévoit la poursuite des recherches sur la séparation et la transmutation des éléments radioactifs à vie longue. Les études et recherches correspondantes seront conduites en relation avec celles menées sur les nouvelles générations de réacteurs nucléaires (cf. article 5 de la loi n° 2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les

orientations de la politique énergétique) ainsi que sur les réacteurs pilotés par accélérateur dédiés à la transmutation des déchets. L'objectif fixé par la loi est de disposer, en 2012, d'une évaluation des perspectives industrielles de ces filières et de mettre en exploitation un prototype d'installation avant fin 2020.



*Têtes de puits du laboratoire de recherche souterrain de Bure (Meuse/Haute-Marne). Les galeries seront situées à 500 m sous terre, dans une couche argileuse.*

## □ Le stockage réversible en couche géologique profonde

### Le principe

Il consiste à déposer les colis de déchets dans des ouvrages souterrains creusés dans un milieu géologique imperméable présentant des caractéristiques favorables en termes de stabilité géologique, d'hydrogéologie, de géochimie et de comportement aux contraintes mécaniques et thermiques.

Le milieu doit être choisi de façon à éviter des zones présentant un intérêt exceptionnel en termes de ressources souterraines extractibles et les ouvrages doivent être implantés à une profondeur minimale d'au moins 200 m pour s'affranchir des effets liés à l'érosion et aux intrusions humaines.

La loi de 2006 définit le stockage en couche géologique profonde comme une solution de gestion pérenne tout en posant le principe de sa réversibilité. Une loi fixera notamment la durée minimale pendant laquelle, à titre de précaution, la réversibilité d'un tel stockage doit être assurée. Cette durée ne peut être inférieure à cent ans.

Le concept de stockage géologique étudié repose sur le principe de barrières multiples qui s'opposent à l'arrivée de l'eau sur les déchets puis limitent (permettent de maîtriser) la dispersion des substances radioactives. Ces barrières comprennent le colis de déchets, la « barrière ouvragée », qui est le matériau manufacturé qui peut être interposé entre le colis de déchets et la roche, et la barrière géologique qui est la roche elle-même. Le rôle du milieu géologique hôte consiste tout particulièrement à confiner les substances radioactives relâchées au cours du temps en assurant une migration très lente et en favorisant les phénomènes de rétention dans les terrains traversés, de manière à bénéficier de la décroissance radioactive.

La loi de 2006 prévoit pour 2015 l'instruction de la demande d'autorisation de construction d'un tel centre de stockage. Sous réserve de cette autorisation, la mise en exploitation interviendra en 2025.

## □ L'entreposage

### Le principe

L'entreposage est l'opération consistant à placer des déchets radioactifs, à titre temporaire, dans une installation spécialement aménagée à cet effet, en surface ou en faible profondeur, dans l'attente de les récupérer, en vue de leur traitement ou de leur évacuation vers les filières de gestion dédiées. Il se justifie notamment pour les déchets dont les filières associées sont en cours d'étude. Des entreposages industriels existent d'ores et déjà sur les sites nucléaires.

### La sûreté des entreposages

La conception des installations d'entreposage doit allier robus-

tesse et simplicité et respecter les principes de sûreté et de radioprotection habituellement mis en œuvre pour les installations nucléaires. L'entreposage étant par définition provisoire, il faut prévoir la surveillance de l'intégrité des colis afin qu'ils puissent être repris dans des conditions simples et sûres.

La loi de 2006 demande que les études et recherches correspondantes soient conduites en vue, au plus tard en 2015, de créer de nouvelles installations d'entreposage ou de modifier des installations existantes pour répondre aux besoins (capacité, durée...) recensés par le PNGMDR.



*Entreposage de déchets vitrifiés. Vue de dessus des puits (Marcoule).*

# 3

## Le stockage en couche géologique profonde à l'international

Le stockage en couche géologique profonde est aujourd'hui considéré par la plupart des pays concernés comme la solution de référence pour la gestion définitive des déchets de moyenne ou haute activité et à vie longue. Le sujet fait l'objet d'échanges réguliers et relativement intenses au niveau international.

Ces échanges visent notamment à faire émerger des principes techniques communs, à organiser un partage d'expérience, mais également à mettre en commun l'effort de recherche. Ils s'inscrivent notamment dans le cadre des travaux initiés par l'AEN/OCDE\*, l'AIEA\*\* et la Commission européenne\*\*\*.

Les pays disposant d'un parc électronucléaire important comptent parmi les plus actifs au niveau international. C'est le cas en particulier des États-Unis, du Canada, du Japon, de la Chine, de la Corée et, en Europe, de l'Allemagne, de la Suède, de la Finlande, de la Grande-Bretagne, de la Belgique et de la Suisse.

**Les stratégies adoptées ainsi que le degré d'avancement des programmes en vue de l'ouverture d'un stockage en couche géologique profonde varient d'un pays à l'autre.**

### NOTES

\* En particulier au sein du Radioactive Waste Management Committee (RWMC), ou de l'Integration Group for the Safety Case of Radioactive Waste Repositories (IGSC).

\*\* En particulier au travers des publications du Waste Safety Standards Committee (WASSC).

\*\*\* En particulier au travers des Programmes cadres de recherche et de développement dans le domaine nucléaire (PCRD EURATOM).



*Entreposage de déchets vitrifiés.  
Vue en partie basse de puits (La Hague).*

Les études et recherches en cours sont principalement centrées sur 3 types de formation géologiques :

- **le granite,**
- **les formations sédimentaires** et plus particulièrement les couches d'argile,
- **le sel.**

Les programmes développés en Suède, en Finlande ont clairement fait le choix des roches granitiques. Le granite est également étudié au Canada, en Corée, au Japon, en Suisse, ou encore en Chine.

Les formations argileuses font également depuis de nombreuses années l'objet d'études et recherches importantes en Belgique (argile de Boom) et en Suisse (argiles à Opaline). Il en est de même en Allemagne pour les formations de sel.

**Certains pays disposent aujourd'hui d'installations souterraines accueillant des déchets radioactifs, notamment les États-Unis, l'Allemagne et la Finlande.**

**Aux États-Unis :** le WIPP (Waste Isolation Pilot Plant) accueille depuis 1999 des déchets militai-

res contenant des transuraniens dans des installations creusées dans une couche de sel.

**En Allemagne :** des déchets radioactifs de faible et moyenne activité ont été stockés jusqu'en 1978 dans le centre expérimental aménagé dans une ancienne mine exploitée dans un dôme de sel à Asse en Basse-Saxe. À Morsleben, sur le territoire de l'ex-Allemagne de l'Est, une autre ancienne mine de sel a servi d'installation de stockage de déchets radioactifs jusqu'en 1998. Toujours en Allemagne, un autre site vient d'être autorisé pour accueillir un stockage en couche géologique : le site de Konrad dans lequel l'ensemble des déchets radioactifs allemands ne dégageant pas de chaleur devraient être stockés. Il s'agit d'une ancienne mine de fer exploitée dans une formation sédimentaire.

**En Finlande :** deux installations de stockage ont été creusées dans des formations granitiques, à des profondeurs de 70 à 100 m pour accueillir les déchets d'exploitation des centrales d'Olkiluoto et de Loviisa. Ces installations implantées à proximité de ces deux centrales sont en service depuis 1992 et 1997.

D'autres pays comme la Corée, le Canada ou la Hongrie envisagent d'avoir recours à des installations souterraines pour stocker leurs déchets de faible et moyenne activité, à vie longue mais aussi à vie courte (FMA-VC). Il existe des stratégies de stockage diverses pour cette dernière catégorie de déchets (stockage en couche géologique pour certains et en surface pour d'autres) mais celles-ci sont motivées par des considérations autres que de sûreté (choix politique dépendant généralement du contexte économique et social). Concernant la sûreté des installations de stockage, il est à noter que l'ensemble des pays concernés sont parvenus à partager leurs vues en approuvant en particulier les normes internationales publiées par l'AIEA sur le sujet.

S'agissant des déchets de haute activité et à vie longue, aucune installation de stockage en formation géologique profonde destinée à les accueillir n'a encore été mise en service. Toutefois, en plus de la France, trois autres sites font l'objet de projets aujourd'hui relativement bien avancés.



*Chaque colis possède son code-barres précisant l'origine, le niveau et la nature de la radioactivité qu'il contient.*

**Aux États-Unis :** une procédure de demande d'autorisation de création d'un stockage a été déposée en 2008 sur le site de Yucca Mountain. La formation concernée est un tuff volcanique formé il y a 11 à 14 millions d'années. Des études exploratoires sont menées sur le site depuis une installation souterraine creusée en 1993 pour démontrer la faisabilité d'un stockage. À ce jour, le projet a été suspendu.

**En Finlande :** le processus engagé sur le site d'Olkiluoto prévoit le dépôt d'une demande d'autorisation de construction d'un stockage de combustibles usés dans le granite en 2012, la mise

en service étant elle envisagée en 2018. La construction d'un laboratoire souterrain destiné à approfondir la caractérisation du site est en cours.

**En Suède :** des investigations ont été engagées en 2008 sur 2 sites granitiques, Östhammar près de Forsmark, et Oskarshamn. Le site d'Östhammar près de Forsmark a été retenu en 2009, la suite de la procédure prévoit l'autorisation de construction d'un stockage en 2011 et sa mise en service en 2020.

Hormis la France, dans la plupart des autres pays, les programmes de recherche de site et de conception d'un stockage sont

à des stades moins avancés.

Pour avancer dans leur projet de stockage en couche géologique, plusieurs pays ont décidé de la création de laboratoires de recherche souterrains. Ceux-ci répondent en général à deux types de finalité :

- soit développer des connaissances et valider des méthodes et des technologies à portée relativement générale sur un type de roche donné,
- soit caractériser un site spécifique dans le but d'évaluer la faisabilité d'une installation de stockage.

Des laboratoires méthodologiques répondant au premier objectif ont été créés dans le granite au Canada (URL de Whiteshell aujourd'hui en cours de démantèlement), en Suède (laboratoire d'Äspö), en Suisse (laboratoire de Grimsel) et plus récemment en Corée (Kaeri Underground Research Tunnel - KURT) et au Japon (Tono Mizunami URL). Il en existe du même type dans des formations argileuses en Belgique (Mol), Suisse (Mont-Terri), au Japon (Horonobe URL). La station expérimentale de Tournemire exploitée par l'IRSN entre dans cette catégorie. Il est à noter

que le laboratoire de recherche souterrain d'Äspö, exploité depuis 1990 à proximité d'Oskarshamn en Suède, accueille depuis près de 10 ans des essais technologiques afin de valider le concept suédois et finlandais KBS3.

Un laboratoire de caractérisation et de qualification de site existe aux États-Unis (Yucca Mountain dans le tuff). Un autre est en construction en Finlande (ONKALO sur le site d'Olkiluoto). Le laboratoire de recherche souterrain de l'Andra à Bure relève de cette catégorie d'installation de recherche.

# 4

## Le stockage en couche géologique profonde en France

La loi de 2006 sur la gestion des déchets nucléaires a confirmé l'option d'un stockage réversible dans une couche géologique profonde d'argile pour les déchets à haute activité et à vie longue. La construction de cet ouvrage, destiné à protéger l'homme et l'environnement des risques radiologiques liés à ces déchets sur des centaines de milliers d'années, a été confiée à l'Andra. Le projet

actuellement à l'étude est un site de la Meuse/Haute-Marne, il s'agirait d'une installation située à 500 m de profondeur dans une couche d'argile dont les propriétés sont proches de celles actuellement étudiées dans le laboratoire de Bure. Cette installation de 15 km<sup>2</sup> sera constituée d'environ 500 alvéoles destinées à accueillir différents types de déchets HA et VL.



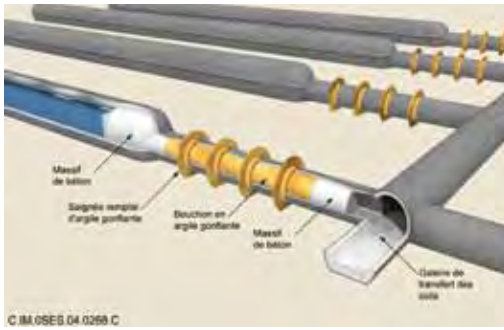
*Coupe du projet d'installation de stockage profond.*

### □ Enjeux scientifiques et techniques pour l'IRSN

Il s'agit pour l'IRSN de porter, dans les délais exigeants fixés par la loi pour le phasage de ce projet, un avis éclairé sur la capacité d'un tel ouvrage à remplir sa mission dans les meilleures conditions. En 2005, l'étude du rapport préliminaire de l'Andra a conduit l'IRSN à émettre un premier avis positif sur la faisabilité d'un stockage dans la couche d'argile située à une profondeur de 500 mètres

étudiée au moyen du laboratoire de Bure.

D'ici 2015, l'IRSN devra se prononcer sur les différents éléments de la sûreté, tels qu'ils résulteront de la définition détaillée du projet. La sûreté d'une grande installation nucléaire souterraine qui sera en exploitation pendant près d'un siècle tout d'abord. Mais surtout, la capacité de cet ouvrage, et de la couche d'argile



*Alvéoles de stockage.*

qui l'entourera, à contenir suffisamment longtemps les radionucléides au travers des différentes barrières avant d'atteindre les écosystèmes de surface pour les plus mobiles d'entre eux. L'IRSN ne peut à l'évidence pas s'appuyer sur les propres résultats des investigations de l'Andra et de ses appuis scientifiques, dans un tel domaine où aucune certitude scientifique n'existe. En particulier, les évolutions très complexes à long terme du système sont étudiées et leurs incertitudes discutées : radiolyse,

réactions chimiques, interactions entre les matières radioactives stockées, les constituants des colis et l'ouvrage (métaux, bétons, etc.), endommagement de la zone d'argilite par le creusement, hétérogénéité de la roche saine par endroits, pour ce qui a trait au comportement à long terme de l'ouvrage et de son contenu.

La prédiction de l'impact radiologique à long terme sur l'homme et les écosystèmes comporte également des incertitudes.

### □ Une approche scientifique spécifique

L'IRSN doit donc avoir recours à une approche scientifique spécifique pour ancrer sa démarche d'analyse critique sur des données et conjectures indépendantes de celle du concepteur de l'ouvrage,

même s'il dispose bien sûr d'un accès aux données brutes issues du laboratoire de Bure. Compte tenu de la limitation de ses ressources, l'Institut a choisi de focaliser son effort de recherche autour de

deux orientations en privilégiant des partenariats nationaux (GNR TRASSE et MOMAS du CNRS) ou internationaux :

- acquisition de données scientifiques (au sein du tunnel de Tournemire creusé dans une roche ayant des caractéristiques proches de celle de Meuse/ Haute-Marne, présence au sein du projet international Mont Terri) ;
- modélisation et développement du logiciel MELODIE (simulation du transport de radionucléides dans les sous-sols).

L'IRSN participe à plusieurs

projets de recherches organisés par l'Union européenne dans le domaine du Programme cadre de recherches et de développement technologique (PCRD).

L'Europe dispose ainsi de quatre plate-formes de recherche en couche d'argile : Bure, Mol en Belgique, Mont-Terri en Suisse, et Tournemire. L'IRSN (comme par ailleurs l'Andra) est partie prenante de plusieurs programmes européens faisant appel à ces sites expérimentaux, et à des expérimentations analytiques visant à modéliser le comportement des composants du stockage, et son impact environnemental ultime.

## □ Des résultats importants

Des résultats très importants ont déjà été obtenus à Tournemire et de nouveaux programmes sont en cours pour accompagner la démarche d'expertise de l'Institut sur plusieurs points clés pour la sûreté du futur stockage. Il s'agit notamment des effets de l'excavation sur l'endommagement de la roche, des impacts des produits de dégradation des matériaux introduits dans le stockage (béton et composés métalliques) sur les propriétés de confinement de l'argile, ou encore de l'évaluation de l'efficacité des scellements des ouvrages souterrains.

Les études de l'IRSN ont confirmé que les temps de transfert de l'eau dans la roche argileuse saine sont extrêmement lents (quelques centimètres par million d'année). Elles ont également montré la complexité de la prédiction du comportement de la roche autour des galeries (endommagement, désaturation, etc). Pour les failles à faible décalage vertical, les recherches conduites ont testé les limites de la méthode géophysique de la sismique réflexion pour leur identification.

## □ Un choix éclairé

Ainsi, grâce aux programmes de recherche menés par l'IRSN, la France disposera d'une capacité importante d'expertise en matière de sûreté d'un site de stockage géologique de déchets radioactifs de haute activité et à vie longue.

À l'heure de la décision de construire un tel ouvrage,

au-delà du savoir-faire de l'Andra en tant que concepteur, et de la garantie de rigueur scientifique des recherches préparatoires qu'apporte la Commission nationale d'évaluation, cette capacité ne sera pas de trop pour fonder un consensus national suffisant.



*Forage à sec dans une galerie du tunnel expérimental de Tournemire (Aveyron).*

**Crédits photos :** Andra (p.6, p.22, p.23/Films Roger Leenhardt p.16/Philippe Demeil p.7 gauche, p.20/Anne de Henning p.14) ■ CEA (P. Dumas couverture) ■ Cogema (Philippe Lesage 2<sup>e</sup> de couverture/Eurodoc La Hague p.2/Jean-Claude Grelier p.9 droite/Eurodoc Centrimage p.18) ■ EDF Médiathèque (Henri Cazin p.5 gauche/Jean-Claude Raoul p.5 droite) ■ IRSN (p.24/C. Cieutat p.4 gauche, p.8 haut, p.9 gauche, p.17/Olivier Seignette, Mikael Lafontan p. 25) ■ SOCODEI (Patrick Lefèvre p.7 droite) ■ RHODIA (p.4 droite)

# L'IRSN

L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire est en charge de l'évaluation scientifique du risque nucléaire et radiologique. Établissement public de l'état à caractère industriel et commercial (EPIC), l'IRSN exerce des missions de recherche et d'expertise au service des autorités et de la société. Organisme de référence en France et à l'international, il rassemble plus de 1 700 personnes qui couvrent des disciplines diverses depuis les sciences de la vie jusqu'à la physique nucléaire. Il conduit des recherches et des expertises dans ces domaines d'application :

- la protection de l'homme et de l'environnement contre les risques liés aux rayonnements ionisants ;
- la sûreté des installations et le transport de matières radioactives ainsi que leur protection contre les actes de malveillance ;
- le contrôle des matières nucléaires et des produits pouvant concourir à la fabrication d'armes ;
- la gestion de crise.

Il contribue également à l'information du public.

## Les déchets radioactifs

La production d'électricité, mais aussi les hôpitaux, les universités et certaines industries non nucléaires génèrent des déchets radioactifs. Toutes les réglementations propres aux déchets en général s'appliquent aux déchets radioactifs. Mais les déchets radioactifs émettent des rayonnements et présentent de ce fait un risque spécifique pour la santé de l'homme. Il convient donc de les gérer avec des précautions particulières, depuis leur production jusqu'à leur destination définitive. La création de filières d'élimination adaptées constitue un enjeu majeur pour l'ensemble des acteurs en présence, les industriels, les autorités réglementaires, les pouvoirs publics, les communautés locales et la population.



Système de management  
de la qualité IRSN certifié

# IRSN

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

### Siège social

31, avenue de la Division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses  
RCS Nanterre B 440 546 018

### Téléphone

+33 (0)1 58 35 88 88

### Courrier

B.P. 17  
92262 Fontenay-aux-Roses Cedex

### Site Internet

[www.irsn.fr](http://www.irsn.fr)