

- 1 → L'atome
- 2 → La radioactivité
- 3 → L'homme et les rayonnements
- 4 → L'énergie
- 5 → L'énergie nucléaire : fusion et fission
- 6 → Le fonctionnement d'un réacteur nucléaire
- 7 → Le cycle du combustible nucléaire
- 8 → La microélectronique
- 9 → Le laser
- 10 → L'imagerie médicale
- 11 → L'astrophysique nucléaire
- 12 → L'hydrogène
- 13 → Le Soleil
- 14 → Les déchets radioactifs
- 15 → Le climat
- 16 → La simulation numérique
- 17 → Les séismes
- 18 → Le nanomonde
- 19 → Energies du XXI^e siècle

v

cea

énergie atomique • énergies alternatives

DE LA RECHERCHE
À L'INDUSTRIE

→ De leur origine à leur devenir

14 → Les déchets radioactifs



LES DÉCHETS RADIOACTIFS, QUI SONT-ILS ?
PROTÉGER L'HOMME ET L'ENVIRONNEMENT
QUI GÈRE LES DÉCHETS RADIOACTIFS ?
QUELLE GESTION POUR DEMAIN ?



© Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, 2010
Direction de la communication
Bâtiment Siège
91191 Gif-sur-Yvette cedex – www.cea.fr



Les déchets radioactifs

LES DÉCHETS RADIOACTIFS, QUI SONT-ILS ? 4

À l'origine des déchets radioactifs 5

Des caractéristiques communes mais des profils différents 6

PROTÉGER L'HOMME ET L'ENVIRONNEMENT 10

Confiner la radioactivité des déchets 11

Stocker les déchets 13

QUI GÈRE LES DÉCHETS RADIOACTIFS ? 15

Une agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs 16

Les organismes publics de recherche 16

Le contrôle de la gestion des déchets 17

QUELLE GESTION POUR DEMAIN ? 19

La séparation poussée et la transmutation des déchets 20

Le conditionnement et l'entreposage de longue durée des déchets 21

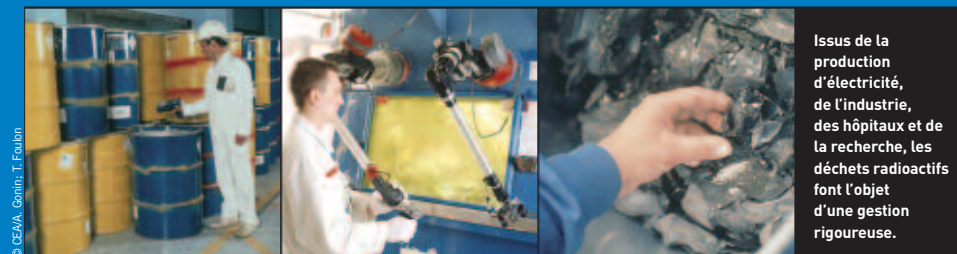
Le stockage en formation géologique profonde 22



© CEA

Coupe d'un colis de déchets.

Conception et réalisation: Spécifique - Photos de couverture: © Eurodoc Centrimage/Cogema - Lesage
Illustrations: YUVANOE - Impression: Imprimerie de Montligeon - Mise à jour 2010



© CEA/A. Gamin, T. Foulon

Issus de la production d'électricité, de l'industrie, des hôpitaux et de la recherche, les déchets radioactifs font l'objet d'une gestion rigoureuse.

introduction

Àu début du XX^e siècle, grâce aux travaux de plusieurs physiciens, les principales caractéristiques et propriétés de l'atome sont établies. Élément essentiel de la matière, l'atome est la "brique" de base de tout ce qui nous entoure. L'eau, la terre, les pierres, les êtres vivants... sont constitués à partir d'atomes ou d'assemblages d'atomes. Mais si les atomes sont partout, les scientifiques remarquent aussi que certains d'entre eux présentent la propriété particulière d'être radioactifs. Capables de se transformer spontanément en d'autres éléments, d'émettre de l'énergie et des rayonnements, ces

atomes radioactifs suscitent l'intérêt et, très vite, les scientifiques leur trouvent des applications. Aujourd'hui l'utilisation de la radioactivité et des techniques nucléaires est devenue quotidienne sans que l'homme ne s'en aperçoive vraiment. Elle est ainsi au cœur de nombreux secteurs clés, comme la production d'électricité (75 % de l'électricité française est produite à partir de l'énergie nucléaire), la médecine (radiothérapie, radiographie, imagerie médicale...), l'industrie (ionisation d'aliments) et la recherche (médicale et industrielle). Ce sont de ces utilisations que proviennent les déchets radioactifs, des déchets potentiellement dangereux pour l'homme et l'environnement et dont la gestion fait l'objet d'une attention toute particulière.

LES DÉCHETS RADIOACTIFS NE SONT PAS TOUS IDENTIQUES : LEUR RADIOACTIVITÉ, PLUS OU MOINS ÉLEVÉE, PEUT DURER DE QUELQUES JOURS À PLUSIEURS MILLIERS D'ANNÉES.

Les déchets radioactifs, qui sont-ils ?



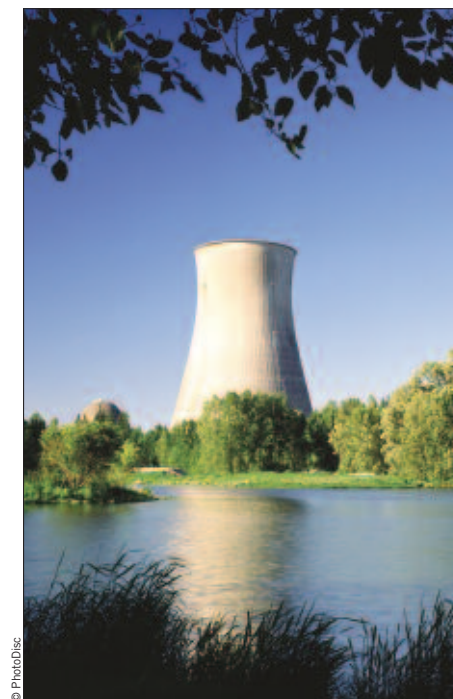
© CEA

À L'ORIGINE DES DÉCHETS RADIOACTIFS

L'activité humaine entraîne chaque jour la production de nombreux déchets. Il s'agit de "tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, de toute substance, matériau, produit, et plus généralement de tout bien meuble, abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon". Déchets ménagers, déchets industriels, déchets agricoles... la nature de ces déchets varie selon les secteurs d'activités et/ou le milieu d'où ils viennent. Parmi tous ces déchets, on compte les déchets radioactifs. La grande majorité d'entre eux ressemble aux déchets ménagers et industriels. Il s'agit, par exemple, d'outils, de tuyaux, de briques, de flacons... Leur particularité tient au fait qu'ils contiennent des éléments dont la radioactivité est trop impor-

tante pour autoriser leur rejet dans l'environnement. Le risque qu'ils peuvent présenter pour l'homme et l'environnement a conduit à la mise en place d'une gestion particulière et très contrôlée de leur devenir.

Les déchets radioactifs sont essentiellement produits dans le cadre d'activités nucléaires.



© Photodisc

En France, environ 85% du volume annuel des déchets radioactifs a pour origine la production d'électricité.

LA RADIOACTIVITÉ : UN PHÉNOMÈNE NATUREL

La radioactivité n'a pas été inventée par l'homme. Elle a été découverte, il y a plus d'un siècle, par le physicien français Henri Becquerel. C'est une propriété naturelle de certains atomes présents sur terre, notamment dans l'atmosphère (carbone 14, radon 222), dans la croûte terrestre (uranium 238 et uranium 235, radium 226...), dans notre alimentation (potassium 40) et dans notre propre corps (potassium 40 et carbone 14). Voilà pourquoi tout ce qui nous entoure est radioactif. Depuis l'aube des temps, la Terre et les êtres vivants sont donc plongés dans un bain de radioactivité.

L'utilisation de radioéléments pour la médecine, comme ici en imagerie médicale, génère des déchets radioactifs.



© CEVAL Médiant

En France, environ 85% du volume des déchets radioactifs produits annuellement a pour origine la production d'électricité : fonctionnement des centrales électronucléaires, fabrication des combustibles nucléaires et traitement des combustibles usés. Les 15% restants proviennent d'industries non nucléaires (par exemple, usines fabriquant des engrais phosphatés), des hôpitaux, des universités ou de la recherche, ainsi que de la production et de l'entretien de l'armement nucléaire.

Combustibles nucléaires extraits d'un réacteur après leur irradiation. Le combustible usé est composé de 96% d'éléments (uranium et plutonium) recyclables et de 4% de déchets non recyclables.

DES CARACTÉRISTIQUES COMMUNES MAIS DES PROFILS DIFFÉRENTS

Les déchets radioactifs ne sont pas tous identiques. Ils sont, d'une part, plus ou moins radioactifs en fonction de l'intensité des rayonnements ionisants qu'ils émettent et de la nature de ces rayonnements (alpha, bêta, gamma, X et neutrons). D'autre part, la durée pendant laquelle ils sont radioactifs peut varier en fonction de la période radioactive des radioéléments qu'ils contiennent, période qui définit leur durée de vie. On distingue ainsi les déchets radioactifs à vie courte, dont la durée de vie est inférieure à 300 ans, des déchets radioactifs à vie longue, dont la durée de vie dépasse 300 ans et peut aller jusqu'à des milliers, voire pour certains des millions d'années. C'est en fonction de ces deux caractéristiques, intensité des rayonnements et durée de vie, que sont gérés les déchets.

Processus de transmission d'énergie sous forme électromagnétique ou corpusculaire (particules alpha, bêta, X et neutrons) capable de produire directement ou indirectement des ions en traversant la matière.

1 KILOGRAMME PAR AN ET PAR HABITANT

C'est la quantité de déchets radioactifs générés par la production d'électricité nucléaire. En comparaison, l'industrie "classique" produit chaque année 2 500 kg de déchets industriels par habitant, dont 100 kg de déchets chimiques toxiques (arsenic, mercure, amiante, plomb...) pour lesquels il n'existe pas, à ce jour, d'installation pour leur élimination ou leur stockage. Il faut savoir que tous déchets confondus, chaque Français produit annuellement 3 tonnes de déchets.

POUVOIR DE PÉNÉTRATION DES RAYONNEMENTS IONISANTS

- **Particules alpha.** Pénétration très faible dans l'air. Une simple feuille de papier est suffisante pour arrêter les noyaux d'hélium qui constituent les particules alpha.
- **Particules bêta moins : électrons.** Pénétration faible. Parcourent quelques mètres dans l'air. Une feuille d'aluminium de quelques millimètres peut arrêter les électrons.
- **Rayonnements X et gamma.** Pénétration très grande, fonction de l'énergie du rayonnement : plusieurs centaines de mètres dans l'air. Une forte épaisseur de béton ou de plomb permet de s'en protéger.
- **Neutrons.** Pénétration dépendante de leur énergie. Une forte épaisseur de béton, d'eau ou de paraffine arrête les neutrons.

sites industriels qui utilisent, dans le cadre de leur production, des substances faiblement radioactives. Il s'agit, par exemple, de bétons, gravats, plastiques et ferrailles. La radioactivité de ces déchets est extrêmement faible, de courte durée de vie et voisine de la radioactivité naturelle.

- Les déchets faiblement ou moyennement radioactifs à durée de vie courte : ils représentent

près de 90% de l'ensemble des déchets radioactifs. Il s'agit pour l'essentiel de déchets provenant du fonctionnement courant des installations nucléaires (objets contaminés : gants, filtres, résines, etc.), des laboratoires de recherche et de divers utilisateurs de radioéléments (hôpitaux, laboratoires d'analyse, industries minière, agroalimentaire, métallurgique...).

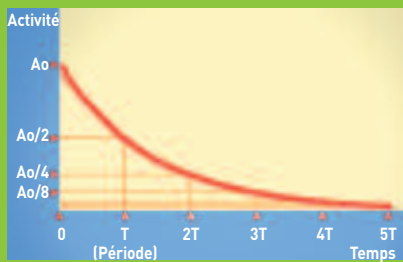
- Les déchets faiblement radioactifs à durée de vie longue: il s'agit essentiellement des déchets radifères et des déchets graphites. Les déchets radifères sont des déchets minéraux, issus principalement du traitement du minerai d'uranium, du démontage et de la récupération d'objets contenant du radium (notamment des

DÉCROISSANCE DE L'ACTIVITÉ D'UN ÉLÉMENT RADIOACTIF EN FONCTION DU TEMPS

L'unité de mesure de la radioactivité est le becquerel (Bq) 1 Bq = 1 désintégration par seconde.

Au fur et à mesure que les noyaux se transforment par désintégration, l'activité de l'élément diminue. La période radioactive (T) correspond au temps au bout duquel l'activité de l'élément a été divisée par deux. Au bout de deux périodes, l'activité a été divisée par quatre, au bout de 10 périodes par mille. C'est cette durée de 10 périodes qui est prise comme durée de vie des éléments radioactifs.

Loi de la radioactivité



© CEA/A. Gonin



Les tenues de protection, comme les gants, deviennent après usage des déchets très faiblement radioactifs.

“Activité et durée de vie : deux caractéristiques pour définir les déchets radioactifs.”

anciens paratonnerres). Les déchets graphites proviennent des premières centrales nucléaires électriques françaises, les réacteurs nucléaires dits “uranium naturel-graphite-gaz” ou “UNGG”, et sont constitués principalement des chemises de graphite qui entouraient les éléments combustibles des réacteurs. Le graphite est une variété naturelle très pure de carbone. Placé sous forme de blocs au cœur des réacteurs, il

Tubes métalliques de plusieurs mètres contenant les combustibles nucléaires, c'est-à-dire la matière fissile constituant la partie active du cœur d'un réacteur nucléaire.

NIVEAUX D'ACTIVITÉ EN FONCTION DU TYPE DE DÉCHETS

Becquerel par gramme		MODE DE GESTION
milliard	HA (haute activité) Produits de fission* vitrifiés	Entreposage provisoire chez le producteur**
100 000	MA (moyenne activité) Filtres en fûts béton	Entreposage provisoire chez le producteur**
1 000	FA (faible activité) Gants, blouses	Centre de stockage de l'Andra (Aube)**
10	TFA (très faible activité) Gravats, ferrailles	Centre de stockage de l'Andra (Morvilliers)**

*Les produits de fission sont les résidus de la réaction nucléaire d'un noyau lourd d'uranium ou de plutonium, qui a lieu dans les centrales nucléaires. **Pour plus d'information, voir p. 13 “Stocker des déchets”.

contribuait, en ralentissant les neutrons émis par les fissions nucléaires, au bon fonctionnement des réacteurs refroidis au gaz.

- Les déchets moyennement et hautement radioactifs à durée de vie longue: ils contiennent des éléments moyennement et hautement radioactifs, dont la décroissance radioactive peut s'étendre sur plusieurs centaines, voire milliers ou millions d'années. Ils proviennent des usines de fabrication des combustibles nucléaires, des centres de recherche et des usines de traitement des combustibles usés issus des centrales nucléaires. S'ils contiennent 99,96 % de la radioactivité totale, ils ne constituent que 3,8 % du volume des déchets radioactifs en France (soit 10 grammes par an et par habitant).



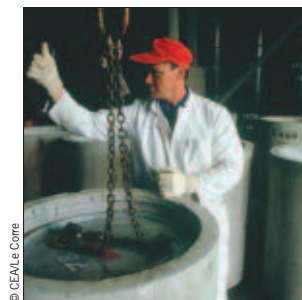
Le démantèlement d'installations nucléaires entraîne notamment la production de déchets faiblement radioactifs.

COMPACTÉS, CONFINÉS, CONDITIONNÉS,
LES DÉCHETS RADIOACTIFS SONT TRAITÉS
AVANT D'ÊTRE STOCKÉS OU ENTREPOSÉS.

Protéger l'homme et l'environnement



© CEA



© CEA/Le Corre

Le conteneur
en béton constitue
une des barrières
importantes de
protection d'un
colis de déchet.

Les déchets radioactifs ne sont pas sans danger pour l'homme et son environnement. Selon la nature et l'intensité du rayonnement qu'ils émettent et le temps d'exposition, des effets peuvent être provoqués sur les organismes vivants par exemple, des brûlures, voire à plus long terme des cancers. Pour se protéger de ces risques, les déchets doivent être isolés de l'homme et de l'environnement.

CONFINER LA RADIOACTIVITÉ DES DÉCHETS

Comme pour les autres déchets, on cherche pour les déchets radioactifs à d'abord réduire leur volume. Ainsi, ils sont compactés, inci-



© CEA/Fouillon

Le verre, du fait de sa très forte résistance à la radioactivité et à la dégradation au cours du temps, est utilisé comme matrice pour les déchets les plus radioactifs.

nérés ou découpés puis "conditionnés" pour constituer des "colis" transportables et prêts à être entreposés ou stockés.

Un "colis" de déchets se compose en général de trois éléments :

- les déchets eux-mêmes,
- le matériau (matrice) de confinement, ou enrobage, qui stabilise et rend les déchets inertes,
- le conteneur ou emballage (fût, caisson métallique ou béton).

En volume, un colis de déchets est composé en moyenne de 15 % de déchets et de 85 % d'enrobage et d'emballage. Le confinement des déchets est le résultat du mélange entre les déchets et un matériau (matrice) dont les propriétés présentent une forte résistance à la radioactivité et à la dégradation au cours du temps. Il peut s'agir de ciment, bitume, résine, verre... qu'on coule avec les déchets. Le choix du matériau dépend de la nature et de la radioactivité du déchet. La matrice constitue la première barrière de protection entre les déchets et l'homme et son environnement.

L'emballage, lui, constitue la "boîte" dans laquelle est placée la matrice. Tout comme elle, il est adapté au volume et à la radioactivité des déchets, à leur forme et à leur nature, pouvant aller du fût en plastique au



© CEA/A. Gomin

Les déchets très faiblement radioactifs sont compactés et conditionnés sous forme de "big bag".

conteneur en acier inoxydable, ou au conteneur en béton.

Les déchets TFA sont compactés et conditionnés sous forme de sacs, appelés "big bags", ou en caissons métalliques.

Les déchets de faible et moyenne activité à vie courte sont conditionnés, et parfois compactés, sous forme solide dans plusieurs types de colis :

- des fûts métalliques pour les déchets les moins radioactifs (gants, masques, chiffons...),
- des coques en béton pour les déchets moyennement radioactifs,
- des caissons en béton, contenant des fûts métalliques compacts ou des filtres utilisés

dans les centrales nucléaires, ou des caissons métalliques pour les déchets les plus volumineux (tubes, ferrailles...).

Les déchets de moyenne activité à vie longue sont enrobés dans du bitume ou du béton, et placés à l'intérieur d'un conteneur en acier inoxydable ou en béton.

Les déchets de haute activité à vie longue sont "vitrifiés" (à l'usine de traitement des combustibles usés d'AREVA-NC¹ à La Hague), c'est-à-dire conditionnés dans des verres spéciaux résistant bien à la chaleur et aux radiations. Ces verres sont ensuite coulés dans des conteneurs étanches en acier inoxydable (hauteur : 1,35 m ; diamètre : 0,43 m ; volume utile : 150 litres). Les conteneurs sont entreposés en puits ventilés, pour leur refroidissement, sur le site de production d'AREVA-NC.

Pour les déchets faiblement radioactifs à durée de vie longue, des études sont en cours concernant leur conditionnement et leur stockage. Ils sont actuellement entreposés en surface, en toute sûreté et pour plusieurs décennies, essentiellement sur les sites de AREVA-NC à La Hague et à Marcoule, mais aussi sur le centre CEA de Cadarache pour les déchets du CEA.

1. AREVA-NC était Cogema (Compagnie générale des matières). Ce groupe industriel spécialisé dans les activités liées au cycle du combustible a changé de nom en 2006. AREVA-NC assure notamment le traitement des combustibles usés issus des centrales nucléaires françaises dans son usine de La Hague (Manche).

“Le stockage consiste à mettre les colis de déchets radioactifs dans des installations appropriées sans intention de les retirer.”



La mise en place de systèmes de suivi des déchets pour assurer leur traçabilité est obligatoire.

© CEA/A. Gomin

STOCKER LES DÉCHETS

Le stockage consiste à mettre les colis de déchets radioactifs dans des installations appropriées sans intention de les retirer. En France, ce mode de gestion définitif a été adopté il y a déjà plusieurs dizaines d'années par la mise en place, à l'échelle industrielle, de centres de stockage en surface pour les déchets faiblement ou moyennement radioactifs à vie courte, soit près de 90 % des déchets radioactifs.



© Andra

Le centre de stockage de la Manche, exploité par l'Andra, fut le premier centre de stockage des déchets faiblement et moyennement radioactifs à vie courte en France. Ayant atteint la limite de ses capacités en 1994, c'est le centre de l'Aube qui a, depuis, pris le relais.

LE RECYCLAGE S'APPLIQUE AUSSI AU NUCLÉAIRE

Le traitement des combustibles usés est une pratique de l'industrie nucléaire française. Mis au point dès les années 60 par le CEA et industrialisé à partir de 1978, le traitement des combustibles usés présente un avantage économique mais aussi écologique. **Avantage économique, car ce processus permet de récupérer et de recycler, pour produire de l'électricité, les matières encore valorisables (le plutonium et l'uranium) contenues dans les combustibles nucléaires usés des centrales électronucléaires. Et avantage**

écologique, car le traitement des combustibles usés permet de trier les déchets, de réduire leur volume et de diminuer leur radiotoxicité, notamment en extrayant

Toxicité due aux rayonnements ionisants émis par un radioélément.

le plutonium, composant le plus radiotoxique du combustible usé.

Aujourd'hui, sans le traitement des combustibles usés, tel qu'il est réalisé en France, le volume total des déchets radioactifs serait multiplié par trois.

“Un colis de déchets est composé en moyenne de 15% de déchets et 85% d'enrobage et d'emballage.”

Il s'agit des centres de stockage de la Manche² et de l'Aube gérés par l'Andra, l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (voir “Qui gère les déchets radioactifs?”, p. 15). Depuis 2003, il faut y ajouter les déchets très faiblement radioactifs qui sont, eux aussi, stockés en surface dans un centre dédié à Morvilliers (Aube).

Pour les 10% restants, soit les déchets moyennement et hautement radioactifs à vie longue, leur gestion est désormais planifiée en France. Ils sont aujourd'hui gérés industriellement par entreposage en surface, en toute sûreté et pour plusieurs décennies, dans des bâtiments spécialement aménagés sur leurs sites de production. Leur gestion est désormais prévue dans le cadre de la loi de 2006 (cf page 17).

2. En 1994, le centre de la Manche a atteint le maximum de ses capacités, c'est le centre de l'Aube qui en a pris le relais.



© Eurodoc, Centrimager/Cogema

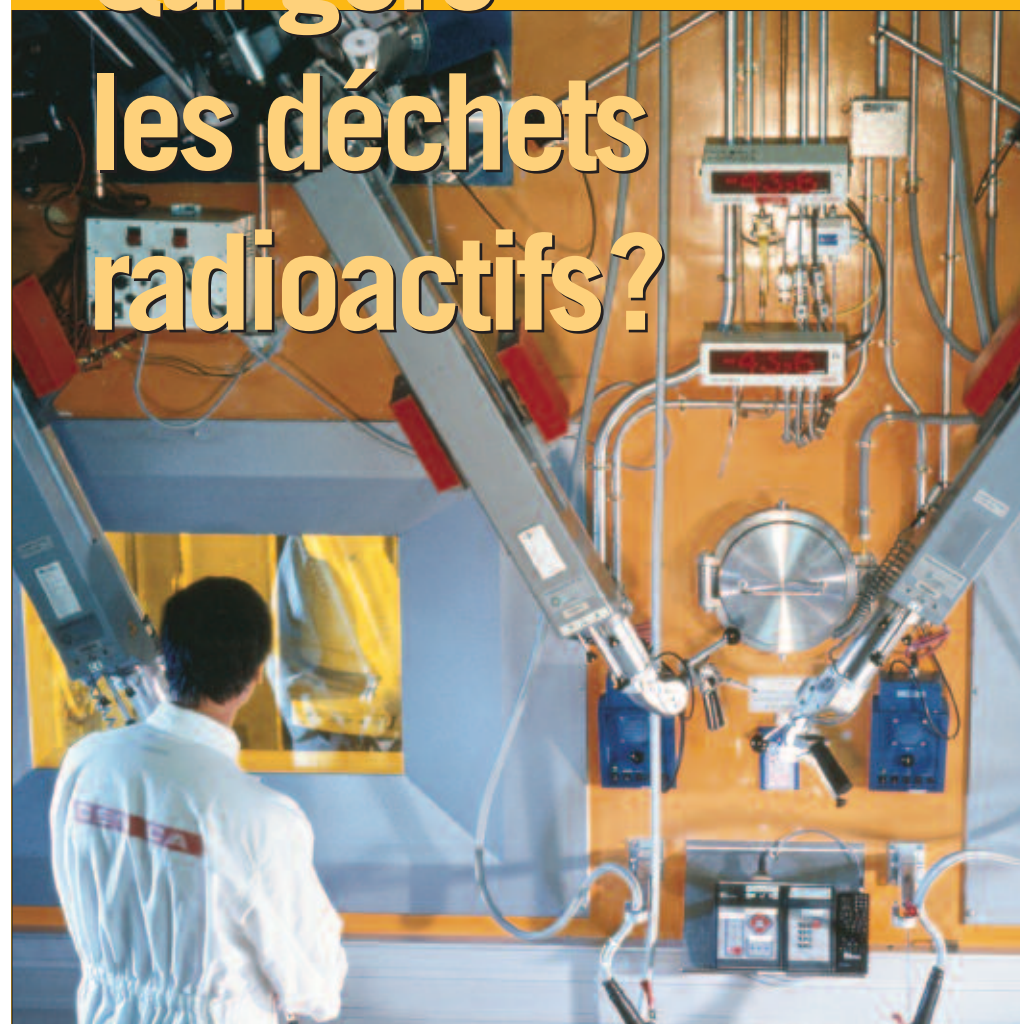
Les déchets à vie longue, conditionnés sous forme de verres et intégrés dans des conteneurs en acier inoxydable, sont entreposés dans des puits ventilés sur les sites d'AREVA-NC.

LE CAS DES DÉCHETS RADIOACTIFS “MILITAIRES”

La gestion des déchets radioactifs militaires suit les mêmes règles et les mêmes voies de traitement que les déchets issus du parc électronucléaire. Ces déchets, entreposés dans des établissements relevant de la Défense nationale, sont inscrits dans l'inventaire annuel de l'Andra. En fonction de leurs caractéristiques, ces déchets suivent les mêmes filières d'élimination que les déchets d'origine civile pour rejoindre les centres de l'Andra (centres de stockage des déchets très faiblement radioactifs et des déchets à faible et moyenne activité à vie courte). Comme pour les déchets issus du parc électronucléaire, les déchets de moyenne et haute activité à vie longue seront gérés selon les choix qui seront faits par le gouvernement et le Parlement français dans le cadre de la loi de 1991.

TRANSPORTER, STOCKER, CONTRÔLER, OU ENCORE ÉTUDIER DES SOLUTIONS POUR L'AVENIR, LA GESTION DES DÉCHETS IMPLIQUE DE NOMBREUX ACTEURS.

Qui gère les déchets radioactifs ?



© CEAN/ov

“Les organismes français travaillent avec leurs homologues étrangers sur la recherche liée à la gestion des déchets.”

Du point de vue légal, chaque producteur est responsable de ses déchets et doit en assurer la gestion et le financement, jusqu'à leur élimination dans des installations autorisées à cet effet. Le producteur a, par ailleurs, pour obligation de transmettre aux autorités de contrôle tous les éléments d'information sur l'origine de ses déchets, leur nature et leur destination, c'est le principe de traçabilité.

UNE AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

Une structure a été spécialement créée en France pour assurer la gestion des déchets



© CEA/Aventurier

Pendant un transport de déchets radioactifs c'est toujours l'expéditeur qui est responsable de la sûreté du transport, et non le transporteur.

radioactifs. L'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, l'Andra, a pour mission de répertorier et de localiser l'ensemble des déchets radioactifs présents sur le territoire national, de vérifier leur qualité et celle de leurs colis, ainsi que de concevoir, implanter, construire et gérer des centres de stockage où sont placés les déchets en fonction de leurs caractéristiques.

L'Andra a actuellement en charge les centres de stockage des déchets très faiblement radioactifs et des déchets faiblement et moyennement radioactifs à vie courte. Ces centres, conçus et surveillés de manière à protéger les populations et l'environnement sont implantés, dans la Manche et dans l'Aube. L'Agence est en outre chargée de réaliser un inventaire de référence des déchets radioactifs présents sur le territoire national.

LES ORGANISMES PUBLICS DE RECHERCHE

Si 90 % des déchets radioactifs sont gérés industriellement, les 10 % restant, à savoir les déchets moyennement et hautement radioactifs à vie longue, sont conditionnés et entreposés en attente de solutions définitives. Dans le cadre de la loi votée le 28 juin 2006 (voir encadré ci-contre), les pouvoirs publics avaient demandé aux chercheurs d'étudier trois voies de recherches pour la gestion de ces déchets. Deux organismes publics ont été mandatés pour cette mission : le CEA et l'Andra (voir “Quelle gestion pour demain?”, p. 19).

LA LOI DE 2006

La « loi de programme » n°2006-739 datée du 28 juin 2006 succède à la loi Bataille (datée du 30 décembre 1991).

Pour le CEA, elle concerne toutes les activités, de recherche, gestion, démantèlement, ingénierie, exploitation et information sur les déchets. Posant, dans son principe, que « la gestion durable des matières et des déchets radioactifs de toute nature (...) est assurée dans le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement » la nouvelle loi stipule, dans son article 3, que les recherches et études relatives aux déchets radioactifs à vie longue de haute ou de moyenne activité sont poursuivies selon trois axes complémentaires :

1. La séparation et la transmutation des éléments radioactifs à vie longue, conduites sur les nouvelles générations de réacteurs nucléaires ainsi que sur les réacteurs dédiés et pilotés par accélérateur.
2. Le stockage en couche géologique profonde, afin de concevoir et de conduire un centre de stockage réversible.
3. La création ou la modification d'installations d'entreposage, afin de répondre aux besoins (capacité et durée).

Les pouvoirs ont confié au CEA le pilotage des recherches sur les axes 1 et 3. Les recherches sur l'axe 2 sont coordonnées par l'Andra.

Pour mener ces recherches, outre leurs propres ressources, le CEA et l'Andra font appel à des collaborations extérieures, que ce soit du côté de la recherche française (par exemple le

CNRS,

les universités) ou étrangère (de

nombreuses collaborations ont été établies avec des organismes de recherche européens et internationaux comme, par exemple, le

DOE aux États-Unis ou le

Jaeri, au Japon).

Les rapports

remis au Gouvernement en

juin 2005 proposaient un ensemble de solutions scientifiques et techniques en matière de gestion des déchets nucléaires. Ils ont donné lieu au vote d'une loi en juin 2006.

LE CONTRÔLE DE LA GESTION DES DÉCHETS

En France, le contrôle et la surveillance des activités nucléaires, ainsi que la protection du grand public et des travailleurs exposés à la radioactivité, sont assurés par une structure publique. L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) placée sous l'autorité conjointe des ministres de l'Écologie, de l'Industrie et de la Santé, est ainsi chargée du contrôle technique et réglementaire de la sûreté nucléaire et de la radioprotection. L'ASN élabore la réglementation relative à la gestion des déchets radioactifs, assure le contrôle de la sûreté des installations nucléaires de base à l'origine des déchets ou intervenant dans leur gestion, et réalise des inspections chez les différents



© CEA/E. JURY

Au CEA, des installations de pointe permettent aux chercheurs d'étudier des solutions pour la gestion à très long terme des déchets les plus radioactifs.

producteurs de déchets (EDF, AREVA, CEA, hôpitaux...) et auprès de l'Andra. Elle contrôle directement l'organisation générale mise en place par l'Andra pour l'acceptation des déchets des producteurs.

Par ailleurs, l'ASN évalue, directement, la politique et les pratiques de gestion des déchets des producteurs.

Enfin, concernant plus spécifiquement la protection des travailleurs et du public face aux risques présentés par les déchets nucléaires, l'ASN s'assure du respect de la réglementation en vigueur par les producteurs de déchets, ainsi que par l'Andra.



Les fûts de déchets sont régulièrement contrôlés.

© CEA

“L’Autorité de sûreté nucléaire assure le contrôle des activités et de tous les acteurs du nucléaire, ainsi que la protection du grand public.”

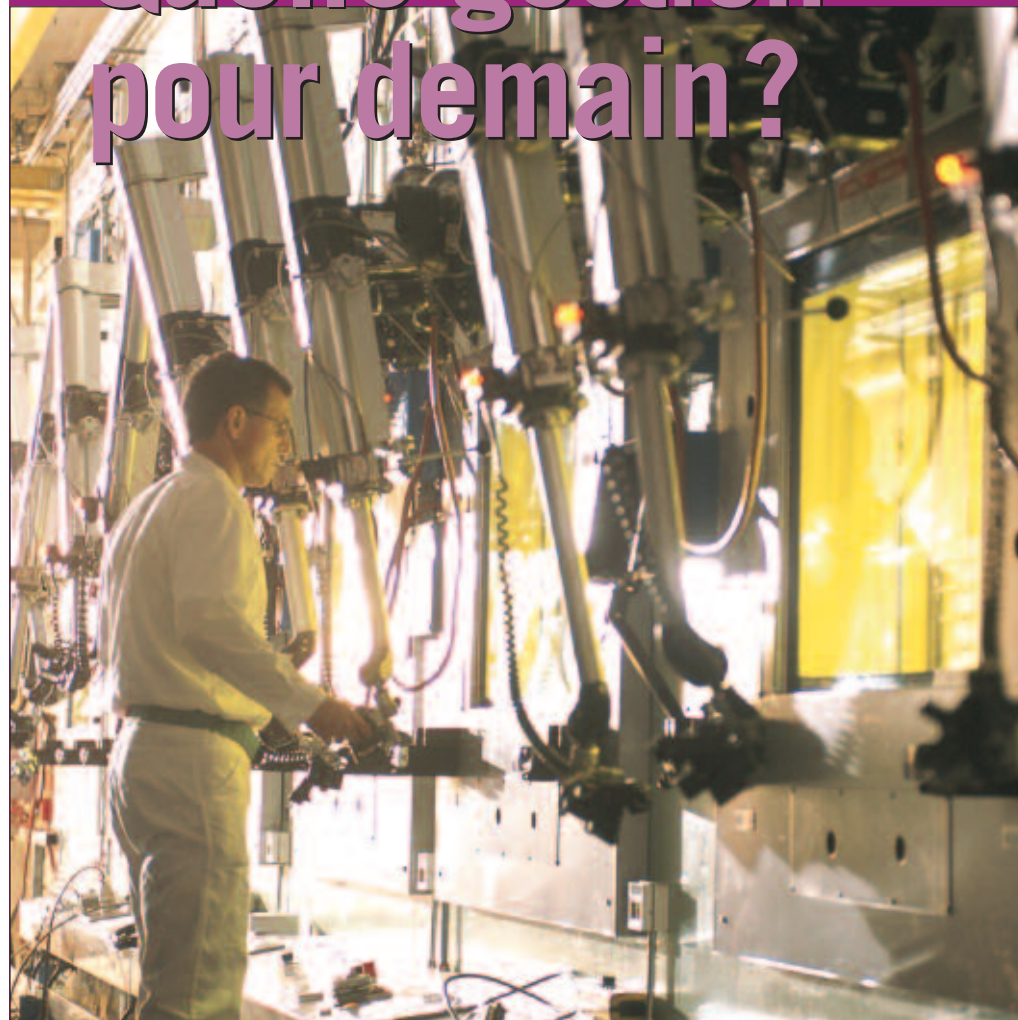


© L'ÉVA - Gratin

Les travailleurs du nucléaire font l'objet d'une surveillance obligatoire. Sur les sites nucléaires, les portiques de détection de la contamination, entre autres, participent au contrôle des personnes.

LA SÉPARATION POUSSÉE ET LA TRANSMUTATION, LE CONDITIONNEMENT ET L'ENTREPOSAGE DE LONGUE DURÉE ET, ENFIN, LE STOCKAGE EN FORMATION GÉOLOGIQUE PROFONDE SONT ÉTUDIÉS.

Quelle gestion pour demain ?



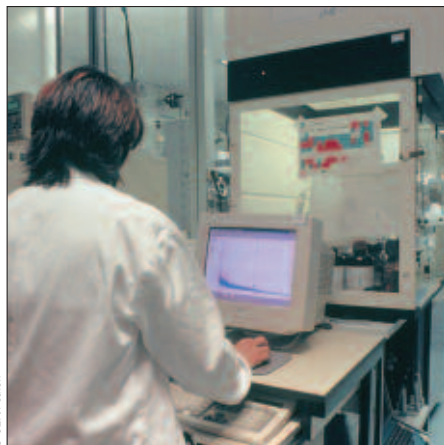
© CEAP - Stoppa

Aujourd'hui en France, 90 % des déchets radioactifs disposent d'une solution définitive de gestion (voir "Protéger l'homme et l'environnement", p. 10). Pour les 10% restants, à savoir les déchets moyennement et hautement radioactifs à vie longue, un programme de recherche a été mis en place dans le cadre de la loi du 28 juin 2006 (voir encadré p. 17 "La loi de 2006"). Ce programme étudie trois voies : "la séparation poussée et la transmutation des déchets", "le conditionnement et l'entreposage de longue durée", et "le stockage en formation géologique profonde". Le pilote des recherches sur les deux premières voies est le CEA, la troisième voie étant pilotée par l'Andra.

LA SÉPARATION POUSSÉE ET LA TRANSMUTATION DES DÉCHETS

Premier axe de recherche de la loi de 2006, "la séparation poussée et la transmutation" a pour objectif de trier et de transformer certains déchets à vie longue en d'autres déchets, moins radiotoxiques et à durée de vie courte. Cette voie permettrait de diminuer, de façon significative, la quantité et la nocivité à long terme des déchets. À noter que des déchets ultimes, certes moins nocifs mais relevant d'un stockage, subsisteront.

Concernant plus précisément la séparation poussée, ce procédé a pour objectif d'extraire des combustibles usés (voir "À l'origine des déchets radioactifs", p. 5), en plus de l'uranium et du plutonium déjà extraits actuelle-



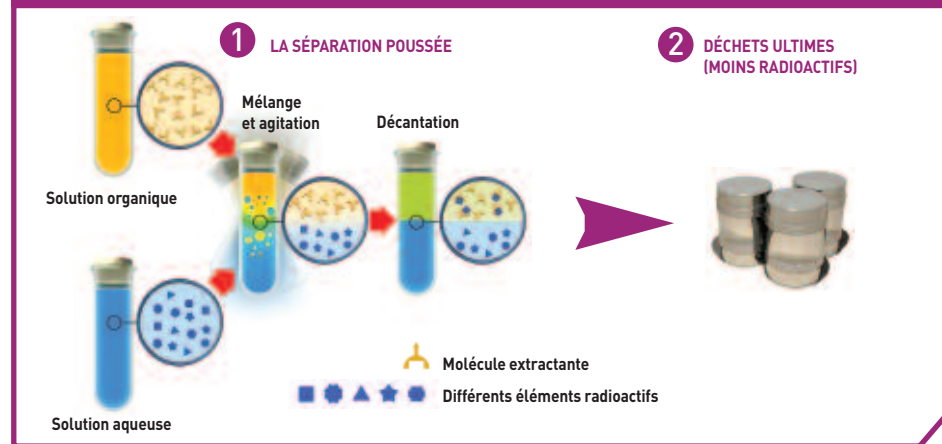
© CEA/Faoulen

Les chercheurs du CEA ont mis au point des molécules extractantes capables d'extraire les éléments les plus radioactifs des combustibles nucléaires usés issus de la production d'électricité. Cette découverte pourrait permettre de réaliser, dans l'avenir, un tri encore plus sélectif des déchets.

ment, d'autres éléments radioactifs et à vie longue contenus dans les déchets. Les déchets, actuellement vitrifiés, ne contiendraient alors que de très petites quantités d'éléments les plus radiotoxiques à long terme. Les colis de déchets vitrifiés obtenus après séparation poussée verraient alors leur gestion à long terme facilitée. Les éléments radioactifs à vie longue séparés devraient, quant à eux, alors faire l'objet d'une gestion spécifique, comme la transmutation. Une technique, étudiée dans ce premier axe de recherche, qui consiste à transformer ("transmuter") par des réactions nucléaires des éléments radioactifs à vie longue, préalablement

LE PRINCIPE DE LA SÉPARATION POUSSÉE

La séparation poussée vise à mettre au point des molécules extractantes capables de capturer sélectivement des éléments radioactifs, de les retenir et de les isoler. Cette voie de recherche permettrait donc de diminuer la quantité et la nocivité à long terme des déchets.



séparés, en éléments à durée de vie plus courte³. Concrètement, dans le cadre des recherches sur "la séparation poussée et la transmutation", les chercheurs travaillent donc à la mise au point de techniques de séparation poussée (notamment en développant des molécules extractantes capables d'extraire spécifiquement les éléments les plus radiotoxiques à long terme), ainsi qu'à la définition de concepts de réacteurs et systèmes nucléaires capables de "transmuter" ces éléments. Ces recherches sont pilotées par le CEA qui dispose de plusieurs laboratoires de recherche dans le domaine dont, sur son site de Marcoule, l'installation Atalante, dédiée à la séparation poussée et le réacteur Phénix⁴ pour les études sur la transmutation.

3. Pour les éléments qui ne seraient pas transmutables, des matrices de conditionnement spécifiques sont étudiées afin de confiner ces éléments sur des périodes voisines de leur durée de vie.
4. Le réacteur Phénix a été découplé du réseau électrique le 6 mars 2009.

LE CONDITIONNEMENT ET L'ENTREPOSAGE DE LONGUE DURÉE DES DÉCHETS

Les recherches sur "le conditionnement et l'entreposage de longue durée" ont pour objectif de mettre au point des conditionnements pour tous les types de déchets et d'étudier la faisabilité d'installations d'entreposage conçues dès l'origine pour fonctionner pendant une durée de 100 à 300 ans tout en garantissant la protection de l'homme et de l'environnement. Les concepts d'installation ont été examinés pour deux implantations différentes, l'une en surface, l'autre en subsurface :

- l'installation en surface serait analogue aux installations actuelles, mais en leur conférant une robustesse supplémentaire ;
- l'installation en subsurface serait construite au sein d'une formation rocheuse à faible profondeur avec un accès à flanc de colline. Prévu pour fonctionner 300 ans, l'entreposage de longue durée est une solution provisoire,

Dans l'hypothèse d'entreposage de longue durée, les matrices de conditionnement des déchets devront être garanties pour durer plusieurs centaines d'années. Les chercheurs testent notamment leur capacité de résistance à l'usure provoquée par l'eau.



© CEA/Fouillon

LA GESTION DES DÉCHETS À VIE LONGUE DANS LE MONDE

À ce jour, seulement trois pays ont statué sur un mode de gestion finale des déchets à vie longue en décidant de la construction d'un stockage :

- Les États-Unis qui, depuis mars 1999, disposent d'un centre de stockage pour les déchets à vie longue issus des programmes nucléaires militaires,
- La Finlande qui, en mai 2001, a autorisé la construction d'un centre de stockage en formation géologique profonde pour les combustibles usés issus des centrales nucléaires finlandaises. Ce site devrait être opérationnel en 2020.
- La Suède qui prévoit la construction d'un site de stockage en profondeur pour ses combustibles usés avec une mise en exploitation programmée en 2015. Deux sites sont sélectionnés et font l'objet d'une évaluation scientifique et technique avant le choix final. Des recherches sont par ailleurs en cours dans un laboratoire expérimental pour l'étude des concepts de stockage et de conditionnement.

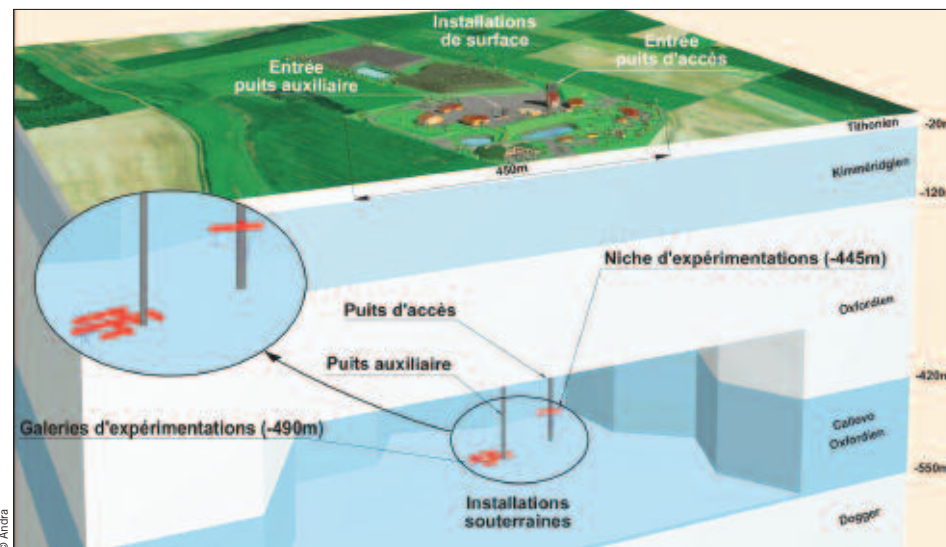
La plupart des pays ayant à gérer des déchets à vie longue sont à la recherche d'un mode de gestion approprié. La solution la plus souvent envisagée est le stockage en formation géologique profonde.

L'ensemble de ces recherches est piloté par le CEA.

LE STOCKAGE EN FORMATION GÉOLOGIQUE PROFONDE

Les recherches sur "le stockage en formation géologique profonde" ont pour objectif de mettre au point des dispositions et des technologies de stockage en sous-sol, à plusieurs centaines de mètres de profondeur. Différent de l'entreposage, au caractère provisoire, le stockage en formation géologique profonde permet de placer définitivement les déchets radioactifs à vie longue dans un site

Action de dissolution par l'eau qui entraîne des éléments constitutifs d'un déchet radioactif.



© Andra

Architecture générale du laboratoire de recherche souterrain de l'Andra sur le stockage en formation géologique profonde (Laboratoire de la Meuse).

garantissant leur confinement, tout en réservant une possibilité de les récupérer si cela s'avérait nécessaire ou opportun (notion de réversibilité). Trois sortes de déchets font l'objet de recherches pour le stockage géologique profond étudié : les déchets moyennement radioactifs à vie longue, les déchets hautement radioactifs à vie longue et les combustibles usés qui seraient conditionnés sans traitement.

Ces recherches sont pilotées par l'Andra, elles passent notamment par la réalisation d'un laboratoire de recherche souterrain, outil essentiel de cet axe de recherche. Ce laboratoire, en cours de réalisation à Bure (Meuse), permet d'étudier les potentialités de la roche argileuse, pour l'implantation d'un éventuel stockage de déchets à vie longue.

UNE RECHERCHE ENCADRÉE

En France, les recherches sur les déchets moyennement et hautement radioactifs à vie longue sont suivies par la CNE, la Commission nationale d'évaluation. Instituée par la loi, cette commission élabore chaque année un rapport, qu'elle remet au gouvernement, sur l'état d'avancement des recherches en France, et aussi à l'étranger. Ainsi, elle auditionne régulièrement tous les acteurs de la recherche qui lui présentent les avancées scientifiques obtenues sur l'ensemble des voies de recherches. Cette commission, au regard des avancées scientifiques, peut demander que certaines recherches soient réorientées. Par ailleurs, le gouvernement peut à tout moment saisir la CNE afin de lui demander d'étudier de façon plus approfondie certains sujets.