

ASSOCIATION DES RETRAITÉS DU GROUPE CEA
GROUPE ARGUMENTAIRE SUR LE NUCLEAIRE

TECHNIQUES DU TRAITEMENT DES DECHETS RADIOACTIFS

Dès le début du développement de l'énergie nucléaire, on s'est préoccupé du traitement et du conditionnement des déchets radioactifs. Comme pour tous les déchets, une approche rationnelle est mise en oeuvre :

- réduction des quantités de déchets à la source
- tri des déchets en fonction de leur activité et de leur décroissance radioactive
- bonne traçabilité du fait que les stockages sont gérés par un organisme central, l'ANDRA, (**A**gence **N**ationale pour la gestion des **D**échets **R**adioactifs)
- traitement des déchets adapté à leur nature et à leur niveau de radioactivité.

Lorsqu'ils sont produits, les déchets sont solides ou liquides, ce sont les déchets bruts. Les effluents radioactifs liquides et gazeux sont traités sur le lieu d'émission, les produits issus de ce traitement constituent des déchets secondaires. Tous ces déchets sont mis sous forme de colis pour ne pas disperser les éléments radioactifs. Les colis de déchets constituent une première barrière entre les éléments radioactifs et l'environnement ; ils doivent satisfaire aux normes de transport, d'entreposage et de stockage, ils dépendent du contenu radioactif du déchet brut.

Trois méthodes sont utilisées :

- les déchets sont directement placés dans le conteneur et immobilisés par du ciment qui est coulé dans ce conteneur
- pour réduire le volume, certains déchets peuvent être compactés par une presse. Les blocs ainsi obtenus sont placés dans un conteneur.
- les déchets liquides doivent être mélangés à un matériau pour les solidifier avant d'être introduits dans un conteneur. Ce matériau est du ciment, du bitume ou du verre.



Différents types de colis de déchets

Ces différents colis de déchets sont entreposés ou stockés sur des sites aménagés en fonction de leurs caractéristiques :

- les déchets de très faible radioactivité (**TFA**) sont stockés par l'ANDRA depuis l'été 2004 à Morvilliers dans l'Aube. Ce CSTFA (**C**entre de **S**torage de déchets **T**rès **F**aiblement **A**ctifs) est destiné à accueillir, en particulier, les déchets de démantèlement des installations nucléaires françaises.
- les déchets de faible et moyenne radioactivités (**FA-MA**) à vie courte (inférieure à 30 ans) sont stockés depuis 1992 à Soulaines sur le site de stockage de l'Aube.
- Le tritium est un élément à vie courte caractérisé par une très grande mobilité. La solution de référence pour ces déchets contaminés par du tritium est un entreposage de décroissance avant prise en charge dans les centres de stockage de l'ANDRA. Une étude est en cours.

- Les déchets de faible radioactivité à vie longue (**FAVL**), constitués principalement de déchets radifères provenant de l'extraction de terres rares et de graphite provenant de neuf réacteurs de la filière UNGG sont entreposés sur les sites du CEA et les sites de production. L'ANDRA a lancé en 2008 un appel à candidature auprès des municipalités pour accueillir un centre de stockage de déchets radioactifs de faible activité à vie longue.
- L'ANDRA prépare un stockage géologique des déchets de haute activité (**HAVL**) à vie longue (au delà de 300 ans)

1. AMELIORATION DU TRAITEMENT ET CONDITIONNEMENT DE DECHETS

Des avancées ont été obtenues dans les traitements des déchets. La mise en œuvre de nouveaux conditionnements comme le compactage des déchets ou la modification des conditionnements utilisés précédemment ont permis de réduire le volume de déchets. Ainsi la radioactivité rejetée par les usines de La Hague a été divisée par environ soixante dix en 20 ans.

Les déchets produits par les opérations de décontamination ont été réduits grâce à la mise au point de procédés performants. Les conditionnements ont été améliorés ; pour la vitrification, par exemple, une nouvelle technique est en cours de développement : le creuset froid qui permet d'élaborer des verres à plus haute température et ainsi d'élargir le domaine d'application de la vitrification. En parallèle, des progrès significatifs ont été réalisés sur le plan de la caractérisation des colis de déchets. Ainsi, par des mesures non destructives associées à la tomographie, on peut localiser 1 g de plutonium dans un colis cimenté de 800 kg.

Traitement des effluents liquides

Depuis le démarrage des usines de La Hague, les effluents liquides étaient traités par co-précipitation chimique qui produit des boues contenant la radioactivité et laisse un liquide très peu radioactif qui est donc rejetable. Les boues étaient bitumées. Un traitement par évaporation a été mis au point pour remplacer la précipitation. Le résidu après évaporation est vitrifié, ce qui produit moins de colis finaux que le bitumage pour une même quantité d'effluents. Cette modification de procédé a permis de réduire la radioactivité des effluents rejetés

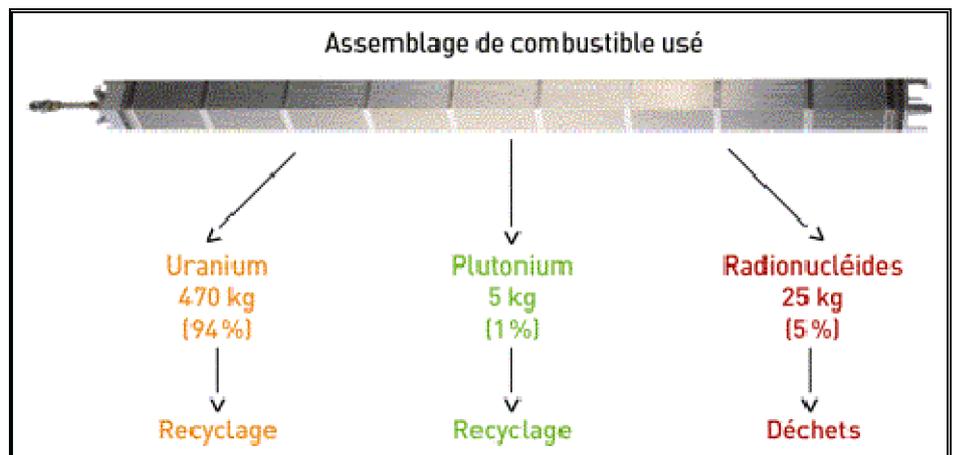
Ainsi la radioactivité rejetée en mer par les usines de La Hague a été divisée environ d'un facteur 70 en 20 ans passant de 1100 TBq en 1987 à 15 TBq en 2008 (1TBq = 10^{12} Bq) malgré une augmentation d'un facteur 3 du tonnage de combustible traité

2. TRAITEMENT DES DECHETS DE HAUTE ACTIVITE A VIE LONGUE

Chaque année 1150 tonnes de combustible usé sont retirées des réacteurs EDF.

En comparaison, pour produire la même quantité d'énergie que celle fournie par ces réacteurs, il aurait fallu environ 100 millions de tonnes de pétrole.

Ce combustible usé contient 95 % d'éléments à fort potentiel énergétique qui sont valorisables (94 % d'uranium, 1% de plutonium).



Restent donc 5 % d'éléments radioactifs qui constituent les déchets ultimes de la production d'énergie.

L'extraction de l'uranium et du plutonium est réalisée à l'aide d'un procédé nommé Purex qui est utilisé avec succès depuis plusieurs décennies, en particulier à La Hague. Depuis une vingtaine d'années, le plutonium extrait est recyclé sous forme de combustible MOX (mélange oxyde) dans vingt des cinquante-huit réacteurs EDF.

Une partie importante des déchets ultimes (4,6% sur 5%) a une période de décroissance inférieure à 30 ans. Le reste est constitué d'éléments à vie longue : 0,1 % d'actinides mineurs (ainsi qualifiés du fait de leur faible quantité) tels que neptunium, américium, curium et 0,3% de produits de fission.

Ces déchets de haute activité sont conditionnés dans du verre.

Les études de comportement permettent, aujourd'hui, d'estimer que les colis de déchets vitrifiés mettront, s'il y a contact avec de l'eau, plusieurs centaines de milliers d'années à se dissoudre dans des conditions proches de celles qu'on peut attendre en stockage géologique.

3. LES LOIS DE PROGRAMMATION RELATIVES A LA GESTION DES DECHETS RADIOACTIFS

Les recherches sur la gestion et le traitement des déchets ont été menées dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991, elles se poursuivent dans le cadre de la loi du 28 juin 2006. Elles sont organisées selon 3 axes généraux :

- la séparation et la transmutation des éléments radioactifs à vie longue avec pour objectif de disposer en 2012 d'une évaluation des perspectives industrielles et de démarrer un prototype d'installation avant le 31 décembre 2020
- le stockage réversible en couche géologique profonde, avec mise en service d'un centre de stockage en 2025
- l'entreposage, avec pour mission de créer de nouvelles installations d'entreposage ou de modifier des installations existantes au plus tard en 2015.

De plus, dans l'article 4, la loi institue des échéanciers d'étude pour des déchets particuliers, devant aboutir à :

- la mise en service en 2013 d'un centre de stockage de déchets graphites et radifères
- la mise au point pour 2008 de solutions d'entreposage des déchets contenant du tritium
- la finalisation pour 2008 de procédés permettant le stockage de sources scellées usagées
- un bilan en 2009 des solutions de gestion des déchets du niveau de la radioactivité naturelle
- un bilan en 2008 de l'impact à long terme des sites de stockage de résidus miniers d'uranium

L'article 6 de cette loi prévoit la réalisation d'un **Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs** (PNGMDR) dont l'objet est de :

- recenser les besoins en installations de stockage et entreposage
- dresser le bilan des modes de gestion existants des matières et des déchets et radioactifs.
- organiser la mise en œuvre des études sur les matières et déchets qui ne font pas encore l'objet d'un mode de gestion définitif.

Le PNGMDR a fait l'objet d'un décret sorti en 2008 qui en établit les principales prescriptions. Ainsi le PNGMDR organise les études à mener sur le devenir :

- des déchets de haute activité à vie longue (HAVL)
- des déchets radifères et graphites (FAVL)
- de certaines sources scellées usagées
- de certains déchets tritiés.

La solution préconisée par le PNGMDR pour les déchets tritiés sans filière, dont les futurs déchets d'ITER est un entreposage de décroissance. Le CEA est chargé des études en vue de la mise en place d'une filière de gestion.

Les sources scellées usagées présentent une grande diversité qui conduit à élaborer un inventaire. Cinq groupes de sources sont ainsi identifiés. L'ANDRA a été chargé de proposer la gestion des sources dans les filières de stockage les plus appropriées.

4. SEPARATION PUSSEE

Pour réduire la quantité des éléments à vie longue dans les déchets radioactifs de haute et moyenne activité, il faut les extraire de façon spécifique, c'est la séparation, et les éliminer en les transformant en des éléments non radioactifs ou à vie plus courte, c'est la transmutation.

La séparation poussée consiste à compléter le procédé Purex en extrayant par étapes successives les actinides mineurs : neptunium, américium et curium. La séparation poussée a été aussi étudiée pour extraire les produits de fission à vie longue : iode 129, technétium 99, et césium 135.

Les équipes du CEA, en collaboration avec d'autres laboratoires, ont montré que le procédé actuel de retraitement avec quelques adaptations permet de récupérer 99 % du neptunium et de l'iode et plus de 95% du technétium. Il a fallu développer d'autres procédés pour capturer séparément 99,9 % de l'américium et 99,9 % du curium. Un dernier procédé, basé sur une autre molécule permet de piéger 99 % du césium. En 2006, la faisabilité de cette séparation poussée a été confirmée en laboratoire sur une solution contenant 15 kg de combustible usé.

5. TRANSMUTATION

Pour transformer les éléments radioactifs à vie longue en éléments stables ou à durée de vie plus courte, le moyen le plus efficace est de bombarder ces éléments par des neutrons produits dans des réacteurs nucléaires.

Trois générateurs de neutrons sont disponibles : les réacteurs à neutrons thermiques (les réacteurs à eau sous pression de EDF), les réacteurs à neutrons rapides et les ADS.

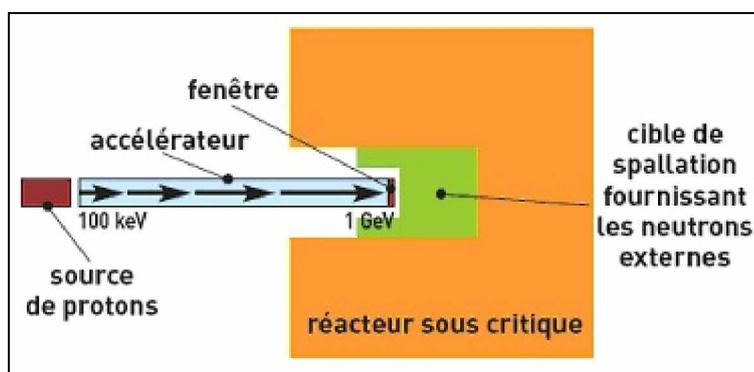


Schéma d'un ADS

Un ADS (de l'anglais **A**ccelerator **D**riven **S**ystem) est constitué d'un réacteur nucléaire fonctionnant en mode sous-critique, c'est-à-dire incapable à lui seul d'entretenir une réaction en chaîne de fission, "piloté" par une source externe capable de fournir le complément de neutrons nécessaire. La plupart de ces projets hybrides ont pour cœur des milieux à neutrons rapides qui sont favorables à la transmutation. De tels systèmes peuvent être aussi utilisés pour la production d'énergie

Les caractéristiques des réacteurs à neutrons rapides du type Phénix permettent d'envisager la transmutation des actinides mineurs en utilisant des combustibles contenant des teneurs significatives de ces produits (2,5 % à 5 %). Ce qui fait regretter l'arrêt prochain du réacteur Phénix.

De nouveaux combustibles ont été conçus pour optimiser les performances de transmutation. D'ores et déjà des résultats remarquables ont été obtenus. Par exemple, dans le réacteur Phénix du CEA à Marcoule, environ 70 % des noyaux d'américium du combustible sélectionné ont été cassés en fragments à vie courte en une seule campagne d'irradiation.

Les essais de transmutation des produits de fission n'ont pas été couronnés de succès. Ainsi pour le césium, la présence de différents isotopes a conduit à générer plus d'éléments à vie longue que l'on en détruit. Pour l'iode, aucun matériau ne s'est avéré satisfaisant pour réaliser un combustible d'irradiation. Cette option est donc considérée comme non réaliste.

Concernant les ADS qui ont des potentialités pour la transmutation, les études se poursuivent en collaboration avec le CNRS.

6. ENTREPOSAGE ET STOCKAGE DES DECHETS

Des avancées très importantes ont été obtenues sur les concepts d'entreposage de longue durée des déchets radioactifs à vie longue. Deux options sont confrontées : des entrepôts en surface et en sub-surface, ces derniers plus résistants à des agressions externes comme la chute d'avions. Des entreposages industriels existent d'ores et déjà sur les sites nucléaires.

L'ANDRA est en charge des recherches sur le stockage réversible en couche géologique profonde, dont le principe consiste à déposer les colis de déchets dans des ouvrages souterrains creusés dans un milieu géologique imperméable présentant des caractéristiques favorables en terme de stabilité géologique, d'hydrogéologie, de géochimie et de comportement aux contraintes mécaniques et thermiques. Les concepts étudiés reposent sur le principe de barrières multiples qui comprennent le colis de déchets, la « barrière ouvragée » qui est un matériau manufacturé, et la barrière géologique.

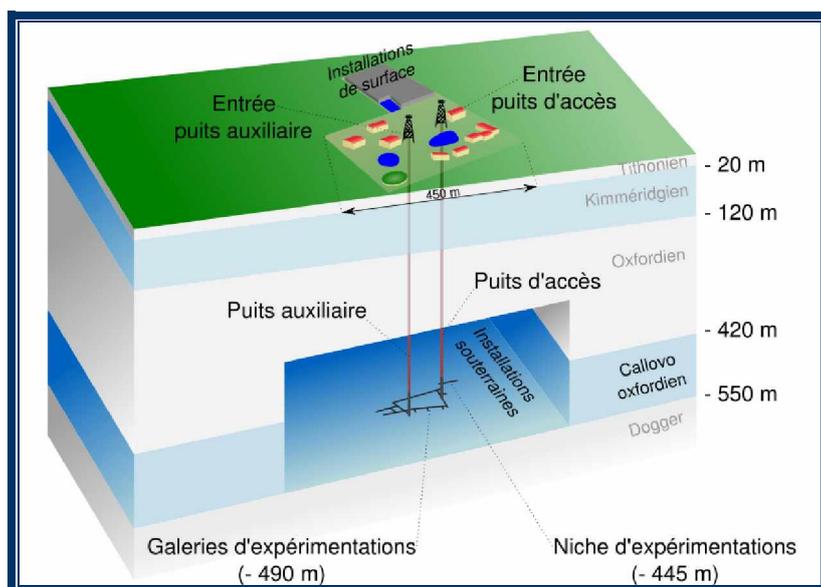


Schéma du laboratoire souterrain de Bure

7. CONCLUSION

Les procédés actuels de traitement et de conditionnement des déchets radioactifs mis en œuvre industriellement ont montré leur fiabilité. Des améliorations notables ont, d'ores et déjà, été acquises. Des progrès continueront d'accompagner le développement de l'énergie nucléaire.

Ainsi les études conduites dans le cadre de l'axe 1 de la loi visent, dans une démarche de progrès continu, à diminuer la radiotoxicité et la quantité des déchets ultimes. Les résultats déjà obtenus constituent des avancées considérables. Les performances de séparation sont très satisfaisantes (99,9 % pour les actinides mineurs américium et curium). Elles vont permettre de diminuer par 100 la radiotoxicité après 500 ans des verres allégés de ces éléments.

Les premiers résultats de transmutation permettent d'envisager plusieurs solutions pour réduire la radiotoxicité et l'émission de chaleur des déchets ultimes grâce à de futurs réacteurs à neutrons rapides qui devraient remplacer les actuels réacteurs à eau sous pression.

Un laboratoire souterrain a été construit sur le site de Bure sur les départements de la Meuse et de la Marne pour étudier le comportement des déchets en couche géologique profonde.

Par ailleurs la faisabilité de l'entreposage de déchets radioactifs durant 300 ans a été démontrée.