

# Gestion des déchets radioactifs HA-VL en France

Atelier « Choix énergétiques: approches interdisciplinaires » (2011)

Marion PELATAN, Marie GRIMALDI, Solène BATUT, Jérémie SCELLE

## Définition et classification des déchets

Très faible activité TFA	Déchets TFA	
	Stockés en surface dans le centre de stockage TFA de l'Aube	
Faible activité FA	<b>Déchets FMA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>La plus grande partie des déchets radioactifs en France (environ 13000 m<sup>3</sup>)</li> <li>Conditionnés en <i>colis</i>: ils sont rendus solides, enrobés dans une matrice et enfermés dans un conteneur en béton ou acier</li> </ul>	<b>Déchets FA-VL</b> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Déchets raditères</i>: contaminés par le radium (période de radioactivité de 1600 ans)</li> <li><i>Déchets graphites</i>: contaminés par le carbone 14 (période de 5630 ans)</li> <li>Centre de stockage en faible profondeur (15-200m) à l'étude</li> </ul>
Moyenne activité MA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stockés en surface dans le centre de stockage FMA de l'Aube</li> </ul>	<b>Déchets Ma-VL</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Produits au cours du traitement des combustibles usés à la Hague</li> <li>Compactés et enfermés dans des conteneurs en acier inoxydable pour former des colis</li> <li>Centre de stockage profond (à 500m) à l'étude</li> </ul>
Haute activité HA	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Colis standard de déchets vitrifiés</i>: Combustibles irradiés traités et transformés en oxyde par calcination, mélangés à du verre en fusion, coulés dans un conteneur en acier inoxydable</li> <li>Centre de stockage en profondeur (à 500m) à l'étude</li> </ul>	
	<b>Vie courte</b> Période de réactivité < 30 ans	<b>Vie longue</b> Période de réactivité > 30 ans

**Déchet radioactif** : résidu du processus nucléaire qui contient un ou plusieurs radionucléides dont l'activité et la concentration ne peuvent pas être négligées du point de vue de la radioprotection.

**Déchet nucléaire** : résidus de la fission nucléaire entretenus dans les réacteurs producteurs d'électricité  
**Produit de fission** : résulte de la rupture du noyau de <sup>235</sup>U ou de <sup>239</sup>Pu, pour la plupart à vie courte à très haute radioactivité. (ex : <sup>137</sup>Cs et <sup>90</sup>Sr)  
**Transuranien** : radionucléide formé à partir de l'uranium dans le réacteur en capturant des neutrons (ex : neptunium, curium)  
 Le plutonium n'est pas considéré comme déchet car certains de ses isotopes (239, 241) sont fissiles.

**C'est l'Andra** (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs) qui est chargée de la gestion durable de l'ensemble des déchets et de surveiller leurs évolutions à long terme et leurs impacts sur l'homme et l'environnement. Elle est aussi responsable du stockage en formation géologique profonde.

Son activité est encadrée par deux lois fondamentales :

**-Loi Bataille de décembre 1991** : Elle permet à l'Andra de devenir indépendante du CEA. En 1991 une période de 15 ans de recherche sur la gestion des déchets nucléaires commence. Cette loi fixe trois orientations de recherches :

- Une recherche de solutions pour la séparation et la transmutation des éléments radioactifs à vie longue, le but étant de réduire la nocivité à long terme des déchets MA-VL et HA-VL en extrayant les éléments les plus dangereux et à vie longue afin de les transformer en éléments radioactifs à durée de vie plus courte
- L'étude des possibilités de stockage réversible ou irréversible dans des formations géologiques profondes. L'Andra doit évaluer la possibilité de confiner les déchets au sein d'un milieu géologique (qui peut servir de barrière naturelle pour isoler les déchets sur de longues périodes) afin de créer des laboratoires souterrains
- L'étude de procédés de conditionnement et d'entreposage de longue durée en surface de ces déchets. Les recherches pour le confinement des éléments radioactifs portent notamment sur l'étude de matériaux appartenant à la famille des céramiques qui résistent bien à la lixiviation.

**-Loi du 28 juin 2006** : La loi de juin 2006 succède à la loi Bataille. Elle complète les missions de l'Andra et stipule que les recherches pour les déchets à vie longue doivent être poursuivies selon les 3 axes de recherches précédents. C'est la première fois qu'en France une loi portant sur un sujet de politique générale est votée après un débat public.

**L'entreposage** n'est pas une solution définitive. Il s'applique déjà aux combustibles irradiés à la sortie du réacteur qui sont entreposés sous l'eau. Cela impose de connaître les propriétés mécaniques et physiques de l'assemblage combustible, l'impact de l'évolution isotopique d'un combustible dans la durée.

**Le stockage** géologique est conçu pour être définitif et assurer un confinement sur des échelles de temps compatibles avec la durée de vie des radionucléides à vie longue. Le colis de combustible doit maintenir un relâchement en radionucléides qui doit être contrôlé et prévisible (nul pendant les premières centaines ou les premiers milliers d'années du stockage puis limité ensuite). Il faut connaître l'évolution du système fermé, du système en présence d'une phase gazeuse d'eau.

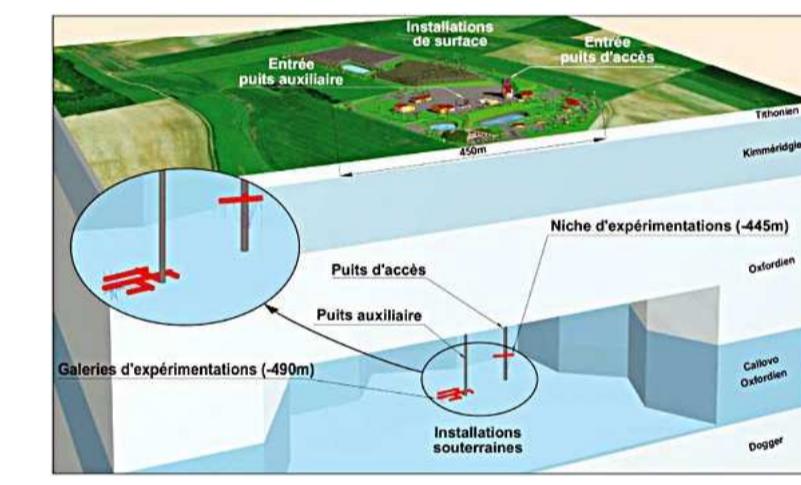
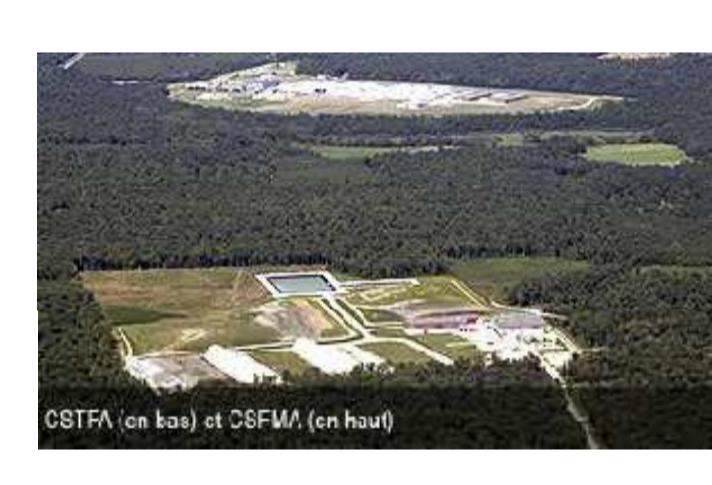
## Historique

Années 30	1945	1950-60	1967-69	1969	1979	1987	1992	1994-1996	1998	2003	2004	2005	Loi du 28 juin 2006	2008
Premiers déchets radioactifs produits par les hôpitaux pour soigner les cancers	Le Général de Gaulle crée le CEA (Commissariat à l'Energie Atomique) pour développer un programme militaire et mener des recherches sur l'utilisation de la radioactivité dans le domaine civil. Règles instaurées : conditionner les déchets de manière sûre et les entreposer sur le site du CEA	Premières centrales électronucléaires, fabrication des armes atomiques... → Accumulation des déchets radioactifs	Immersion des déchets à faible activité dans les océans	Premier centre de stockage en surface des déchets FA-VC et MA-VC : centre de stockage de la Manche	Création de l'Andra au sein du CEA. Sa première tâche est l'élaboration de procédures strictes destinées aux producteurs de déchets radioactifs. Elle reprend la gestion et l'exploitation du centre de stockage de la Manche	L'Andra veut installer des laboratoires souterrains sur 4 sites en France mais le projet est suspendu à cause de protestations	Le CSFMA (Centre de Stockage pour les déchets FA et MA) reçoit ses 1ers colis	Le centre de stockage de La Manche atteint sa capacité maximale de stockage. L'Andra fait des études géologiques dans 4 départements (Meuse, la Haute Marne...) pour l'installation de laboratoires souterrains et cette fois-ci une loi légitime l'action de l'Andra. Quelques manifestations persistent. Mais en avril 1997, le nouveau gouvernement de Jospin ralentit le projet.	Un grand rassemblement européen anti-nucléaire a lieu à Bure en août. En décembre un compromis politique est trouvé et l'Andra a le feu vert pour créer un laboratoire à Bure	Le CSTFA pour les déchets de très faible activité s'ouvre dans l'Aube.	Au Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne, l'Andra atteint la couche d'argile à étudier (à 445 mètres de profondeur).	ILAndra publie le Dossier 2005 où il conclut que la couche d'argile du site de Bure est apte à recevoir un stockage de déchets HA-VL et MA-VL	Plusieurs communes se proposent pour l'implantation de stockage pour les déchets FA-VL mais sous la pression des opposants les deux communes choisies par l'Andra se retirent du projet.	

En aout 2010, 100 millions d'euros sont attribués à l'Andra pour financer le développement de solutions innovantes dans le cadre du programme d'investissements d'avenir



Création de l'Andra en 1979



Laboratoire souterrain à Bure

## Sites de stockage profond : migration ou rétention à long terme ?

### Législation :

En France, la conception d'un stockage de déchets nucléaires HA-VL est encadrée par une règle fondamentale de sûreté qui prévoit que le confinement des colis de déchets soit efficace pendant au minimum 10 000 ans. Durée à partir de laquelle on considère que les barrières naturelles suffisent au confinement, l'essentiel des radioéléments s'étant transformés en leurs « descendants » stables.

### Sites de stockage profond :

- présentant de grandes quantités de matériaux à fortes propriétés absorbantes (argiles) => favorise le confinement des déchets après les 10 000 ans.

- milieux où règnent de faibles conductivités hydrauliques => inhibe la migration des éléments radioactifs solubilisés.

### Altération des matériaux de confinement :

La cause principale de dégradation des matériaux de confinement vient de l'action de l'eau, qui entraîne des échanges chimiques et les modifie en déplaçant l'équilibre thermodynamique d'un matériau élaboré à haute température et à sec vers un équilibre thermodynamique à basse température et en solution. Une fois que le confinement est rompu, la question est de savoir sous quelle forme se trouvent les radioéléments. Suivant la forme chimique qu'ils possèdent, ils seront plus ou moins sujet à la complexation, entraînant, soit la précipitation et donc la rétention de l'élément, soit la solubilisation et donc leur migration.

### Rétention ou migration ?

Le ligand le plus apte à chélater dans ces milieux étant l'eau, en fonction de la capacité de l'élément à attirer l'eau, à la polariser, à la décomposer, il réagira de façon plus ou moins importante avec elle. Les éléments les plus gros, les moins chargés et les moins électro-négatifs seront stabilisés sous forme aqua, c'est-à-dire entourés par une couche de molécules d'eau (couche de solvatation). Ce qui les rend très solubles et favorise leur migration. Plus les cations sont chargés, plus les rayons ioniques sont petits et plus les ions vont être capables de polariser les molécules d'eau et de les décomposer en se liant avec les ions hydroxydes pour former des complexes hydroxo (avec des ligands OH) en libérant des protons. Si les réactions d'hydrolyse se répètent, on observe la formation de complexes de charge nulle. Cette neutralisation des charges va s'accompagner d'une forte tendance à la précipitation.

La complexation entraîne donc soit :

- la solvatation des cations, donc leur solubilisation, et donc les rend sujet à des phénomènes de migration
- la formation d'un complexe de charge nulle, entraînant sa précipitation (insoluble dans l'eau), donc une rétention du cation près du colis de stockage

## Conclusion

La mise en place du stockage en profondeur est une solution toujours à l'étude pour les déchets HA-VL et MA-VL. Les avancées dans le domaine de la chimie du solide permettent de mieux comprendre les différents phénomènes mis en jeu au sein des colis de déchets dans les conditions de stockage en profondeur. En parallèle, d'autres voies de gestion des déchets sont envisagées telles que la transmutation et la séparation poussée.

Cependant le problème de la gestion des déchets radioactifs ne peut pas être résolu sans aborder l'aspect sociopolitique. En effet la maîtrise des risques n'est pas que technique et scientifique. Les décideurs politiques doivent faire la part des choses entre l'avis (mécontentement) des citoyens et la « réalité » des connaissances scientifiques dans ce domaine.

La science est capable d'expliquer une quantité importante de phénomènes se déroulant à l'échelle humaine, néanmoins, des incertitudes et de nombreux phénomènes totalement imprévisibles liés à des échelles de temps de plusieurs milliers d'années (érosion, changement climatique...) peuvent avoir de lourdes conséquences sur l'évolution du stockage. On comprend bien le caractère limité d'une résolution du problème de stockage des déchets purement scientifique.

De plus, que peut-on dire de la passation de la connaissance des emplacements de stockage profond sur ces échelles de temps ? Les gouvernements en place dans 5 000 ans auront-ils connaissance de l'emplacement de chacun d'entre eux ?

On constate également une grande inertie de la recherche dans la gestion des déchets. En effet en 1991, lorsque la loi Bataille est votée on pensait qu'au bout de 15 ans, les recherches seraient finies. Or il y a de grands retards par rapport à ce que l'on pouvait espérer. A titre d'exemple, la transmutation est déjà démontrée mais n'est toujours pas utilisée car en attente des réacteurs de 4ème génération (les réacteurs à neutrons rapides).

Enfin, il ne faut pas oublier que le nucléaire est un phénomène cumulatif. Même si on pense avoir une solution de traitement pour l'ensemble des déchets nucléaires en France aujourd'hui, le besoin énergétique ne faisant que croître, on tend à augmenter le volume de déchets annuel produit. Ces solutions seront-elles toujours adaptées dans 50 ans ?

## La transmutation

La transmutation consiste en la transformation des atomes les plus radioactifs en atomes non radioactifs ou à durée de vie plus courte. Cette transformation, qui se ferait au sein de réacteurs nucléaires, n'est pas réalisable dans les réacteurs existants, ni sur les déchets déjà produits. Cette technique de transmutation ne pourra en effet être mise en œuvre que dans les réacteurs de génération IV actuellement à l'étude. Ces derniers verront le jour au plus tôt vers 2050.

Même si ce procédé se révèle concluant, l'industrie électronucléaire et de nombreux autres secteurs d'activité, continueront de générer des déchets radioactifs. Ceux-ci seront moins dangereux mais devront malgré tout être pris en charge par les générations futures et stockés de manière définitive.

## Ressources bibliographiques

- L'actualité chimique – avril-mai 2005 – n° 285-286 Sciences chimiques et déchets radioactifs
- <http://www.andra.fr/dechets-radioactifs/traitemet-des-dechets-nucleaires.htm>
- <http://www.dechets-radioactifs.com/index.html>
- [http://www.cea.fr/jeunes/themes/les\\_dechets\\_radioactifs/les\\_dechets\\_radioactifs/quelle\\_gestion\\_pour\\_demain](http://www.cea.fr/jeunes/themes/les_dechets_radioactifs/les_dechets_radioactifs/quelle_gestion_pour_demain)

Remerciements à Gilles Wallez et Corinne Chanéac pour leurs contributions dans la compréhension des notions fondamentales.