

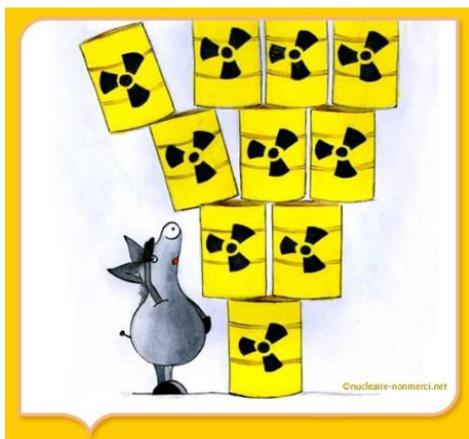


2012

Déchets nucléaires et autres matières radioactives



01/08/2012



Pour produire de l'énergie, l'industrie nucléaire produit des tonnes de matières radioactives qui resteront dangereuses pendant des milliers d'années. Par une sorte d'alchimie moderne, elle génère des risques à un niveau totalement inconnu jusque là tant par leur durée que par l'impact qu'ils peuvent avoir sur le vivant.

Force est de reconnaître que l'industrie nucléaire civile et militaire est aujourd'hui l'industrie la plus sale qui ait

*été inventée. Même si elle ne rejette pas de CO2 dans les mêmes proportions que les industries issues des Révolutions industrielles des XIX^e et XX^e siècle, elle impacte considérablement l'environnement par des **rejets** dont la nocivité est indéniable. Partout autour des installations nucléaires, on observe une proportion plus grande qu'ailleurs de maladies spécifiques et de mortalité par cancer.*

Mais cette mortalité ne se voit pas. L'industrie nucléaire, à l'exception des accidents planétaires de Maïak, Sellafield, Tchernobyl, Fukushima, n'a pas entraînée d'hécatombes. La principale catastrophe nucléaire n'est ni instantanée ni spectaculaire. Elle est imperceptible, quotidienne et cumulative. La concentration de radioéléments dans l'environnement modifie les conditions même de la reproduction de la vie et entraîne des mutations irréversibles.

*Si les rejets des activités nucléaires sont manifestes, cette industrie pose un autre problème. Des centaines de milliers de tonnes de matières radioactives qui ont été créés, transportés puis accumulés. A chaque étape de ce que l'on appelle le **cycle du combustible** des pollutions comme des risques sont apparus et produisent encore leurs effets (dissémination de radioéléments dans l'air, l'eau et les sols).*

*Aujourd'hui l'industrie nucléaire doit gérer une montagne de **déchets** dont elle ne sait que faire. Sous différentes formes des matières radioactives ont été accumulées sans qu'aucune solution pérenne de **traitement** n'ait été pensée. Aucune technologie humaine à ce jour n'est en mesure de réduire la nocivité comme la durée de vie de matières radioactives dont nul ne connaît l'usage¹.*

*Chaque année la quantité de **déchets** augmentent sans que rien ne semble pouvoir freiner cette fuite en avant. Et même si l'industrie nucléaire venait à être arrêtée, les quantités de matière à surveiller sont telles que l'on peut douter que l'on puisse « sortir du nucléaire ». Le mal a été fait et il nous revient aujourd'hui de protéger les hommes et l'environnement.*

¹ A l'exception des militaires qui ont toujours eu un talent fou pour récupérer les matières les plus dangereuses à des usages de mort dont l'utilité n'est pas démontrer...

Par convention les pays qui ont développé une industrie nucléaire ont défini des normes de gestion des déchets sensées rassurer les opinions publiques et les plus sceptiques. Les matières ont été classées en fonction de leur radioactivité et de leur composition en trois familles :

- **les déchets de faible activité** : ce sont les vêtements des personnels, les équipements peu contaminés et les filtres à air.
- **les déchets de niveaux intermédiaires** : ce sont les tubes combustibles irradiés, les produits chimiques provenant du traitement des déchets.
- **les déchets de haute activité** : Ils sont les plus dangereux. Il faut attendre très longtemps pour que ces déchets deviennent inoffensifs. Par exemple, il faut attendre **200 000 ans** pour que le plutonium soit sans danger !

A chaque famille correspond un mode de gestion spécifique sensé garantir le plus haut niveau de sûreté et une décroissance progressive de la toxicité :

L'entreposage : les éléments les moins nocifs peuvent être concentrés dans des installations de surface qui assurent un confinement des matières de façon à éviter toute dissémination massive de radiotoxicité.

Le stockage : les éléments plus nocifs, dits à **vie courte** (300 ans !), impliquent des installations plus élaborées qui garantissent un refroidissement des colis de matières et un confinement plus important.

Enfouissement : pour les éléments les plus radioactifs et à vie longue (plusieurs milliers, voire millions d'années), il n'existe à ce jour aucune solution pérenne dans le monde. La France depuis 1991 a fait le choix d'un stockage irréversible en grande profondeur pour protéger l'environnement du danger que représentent ces matières extrêmement nocives.

Or, rien ne peut garantir l'étanchéité des conteneurs et la stabilité des roches sur des durées aussi longues. La radioactivité remontera inévitablement à la surface en contaminant de façon incontrôlable les éléments vitaux (eau, sols, etc.) sur de très vastes territoires.

L'enfouissement revient en quelque sorte à esquiver un problème qui se pose aujourd'hui et dans reporter les conséquences les plus dramatiques aux générations futures. C'est bien pour cela que l'on peut dire que l'industrie nucléaire est non seulement irresponsable mais surtout amoral...

Elle ne fonctionne qu'en raison des privilèges immenses que lui ont concédés les pouvoirs publics qui ont d'abord eu besoin des produits de fission pour élaborer la **Bombe** puis de l'énergie des réacteurs pour alimenter une croissance économique conçue comme nécessaire... à la reproduction d'une certaine société !

Les déchets radioactifs ne sont pas recyclables.

Le retraitement, effectué à l'usine de La Hague, se contente de séparer l'uranium (95 %) et le plutonium (1 %) des combustibles usés issus de la réaction nucléaire. Les autres éléments (4 %) doivent être vitrifiés et stockés comme déchets indestructibles.

Le retraitement est inutile.

L'uranium issu du retraitement, censé être réutilisable, n'est en réalité recyclé dans aucun réacteur. Il faudra donc le stocker comme les autres déchets radioactifs.

Le retraitement augmente le volume des déchets nucléaires à gérer si l'on prend en compte les déchets technologiques des opérations.

Le plutonium issu du retraitement peut être mélangé avec de l'oxyde d'uranium pour former du Mox. Celui-ci peut être utilisé dans les réacteurs nucléaires, mais il est plus coûteux que le combustible classique et ne peut le remplacer que très partiellement (au maximum 30 %).

Le retraitement est dangereux.

Les rejets liquides et gazeux de l'usine de La Hague ont des risques environnementaux et sanitaires plus importants que ceux de l'ensemble des réacteurs nucléaires dans le monde.

Le transport des matières radioactives dans des trains ou bateaux constitue un facteur important de risques d'accidents ou une cible facile pour des attentats.



Le site de stockage des déchets à faible et moyenne activité, vie courte à La Hague. © Andra

Les déchets radioactifs en France

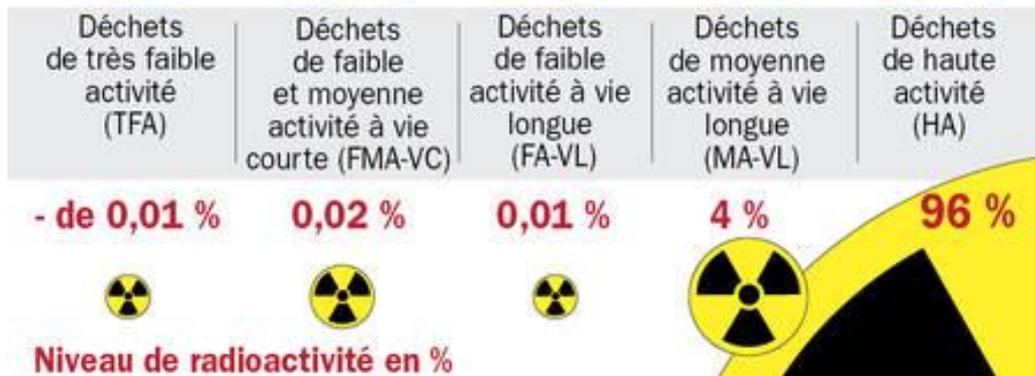
1,320 million de m³ de déchets radioactifs à fin 2010 :

Volume
de déchets
en %

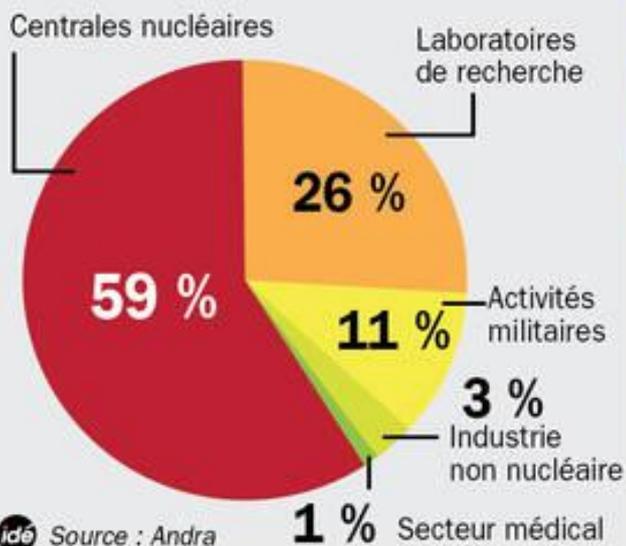


L'évolution prévue en volume (m³)

2010	1 320 000
2030	2 700 000



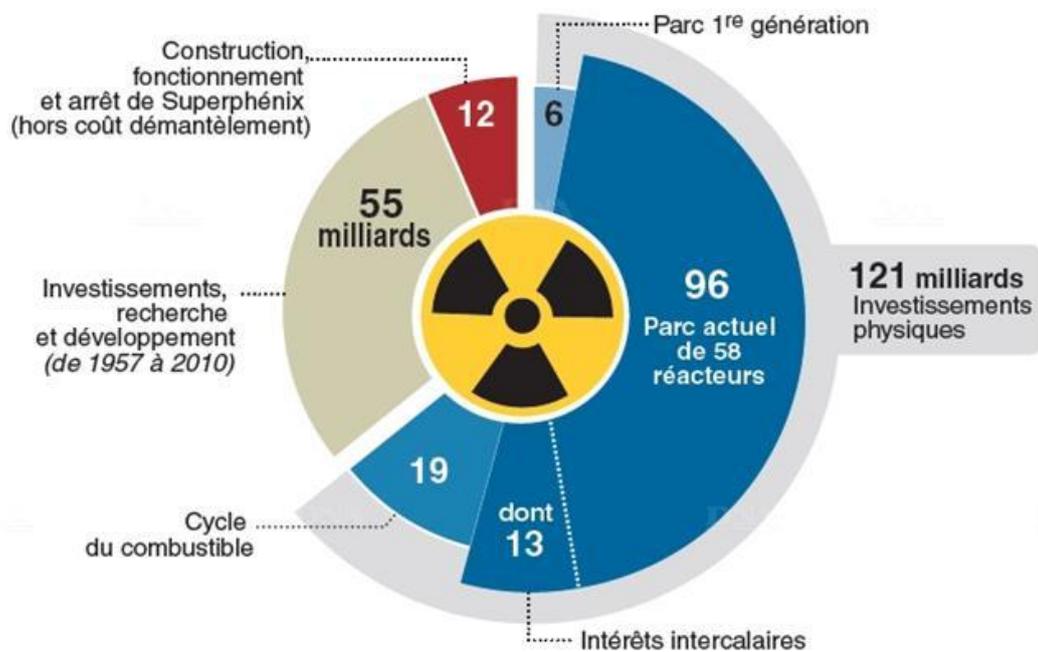
D'où viennent-ils ?



Le coût de l'électricité nucléaire

228 milliards d'investissements publics et privés depuis les années 50 selon une évaluation du rapport de la Cour des Comptes

Dépenses passées : 188 milliards d'euros



Dépenses de maintenance des installations nucléaires (estimation)

De 1,7 milliard en 2010 à 3,7 par an en moyenne pour la période 2011-2025

Charges de démantèlement

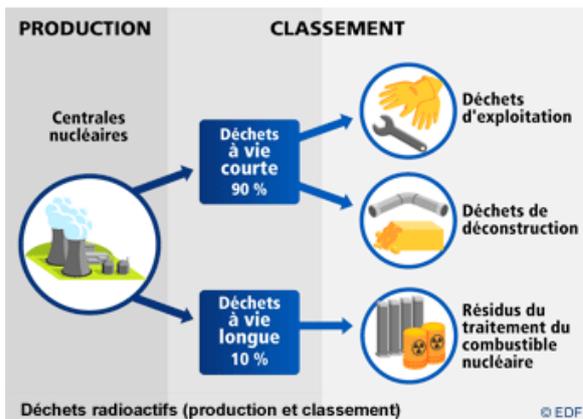
31,9 milliards (difficiles à estimer faute de précédents et d'expérience)

Source : Cour des comptes

AFP

DEFINITIONS ET DONNEES GENERALES





Un déchet radioactif est une matière radioactive pour laquelle aucun usage n'est prévu. La dispersion dans l'environnement n'en est autorisée que pour des rejets de faible activité, et pour des isotopes peu radiotoxiques et à vie courte (sous formes d'effluents liquides ou gazeux et dans des limites d'activité et de concentration d'activité strictement prescrites par la loi). Les

déchets radioactifs sont parfois appelés **déchets nucléaires** car la radioactivité provient d'un déséquilibre du noyau atomique.

La plus grande partie des déchets radioactifs provient de l'industrie électronucléaire qui utilise et génère des matières radioactives dans les différentes étapes du **cycle du combustible** nucléaire. Les déchets radioactifs proviennent également de la médecine nucléaire, d'industries non nucléaires (extraction des terres rares par exemple), de l'utilisation passée d'éléments radioactifs (paratonnerres à l'américium, etc.) ou encore des usages militaires de l'énergie nucléaire (fabrication d'armes atomiques en particulier).

Le terme générique de « déchets radioactifs » recouvre des substances de natures très variées. Ils se distinguent principalement par leur activité : les déchets de « haute activité », cendres du combustible nucléaire, sont plus d'un milliard de fois plus radioactifs que les déchets de « faible activité », dont la radioactivité est en dose moins importante et la période des éléments plus courte. Ils se distinguent également par leur période radioactive. Certains radionucléides dits « à vie courte » subissent une extinction naturelle de leur radioactivité à l'échelle de quelques années. D'autres dits « à vie longue » imposent une gestion à long terme, voire très long terme des déchets dont la durée de vie se compte en million d'années. Ils se distinguent enfin par leur état (solide, liquide, gazeux) et leur composition chimique.

Une réglementation internationale

Selon la définition de l'AIEA, est considéré comme déchet radioactif « toute matière pour laquelle aucune utilisation n'est prévue, et qui contient des radionucléides en concentrations supérieures aux valeurs que les autorités compétentes considèrent comme admissibles dans des matériaux propres à une utilisation sans contrôle ». En France, un déchet radioactif est une matière radioactive ne pouvant être réutilisée ou **retraitée** (dans les conditions techniques et économiques du moment).

Ne sont considérés, au sens juridique, comme « *déchets radioactifs* » que les seuls déchets ultimes². De ce fait, des substances radioactives déjà utilisées ne sont pas nécessairement considérées comme des déchets, mais peuvent être comptabilisées comme des matières valorisables, quand elles peuvent faire l'objet d'une utilisation industrielle future (par exemple, l'uranium de traitement, l'uranium appauvri ou le combustible usé).

D'autre part, un déchet n'a légalement le caractère « radioactif » que s'il nécessite **des dispositions de contrôle de radioprotection** : une substance dont la radioactivité est suffisamment faible peut ne pas entrer dans la catégorie de « *déchet radioactif* » si sa radioactivité est suffisamment faible, ou suffisamment diluée (par rapport aux critères de la CIPR).

Ainsi, d'une manière générale, les rejets d'effluents radioactifs liquides ou gazeux (tritium, carbone 14...) ne sont pas considérés comme des déchets radioactifs si leur activité ne dépasse pas les limites autorisées (variables selon les états et les époques), et est considérée comme suffisamment faible pour qu'aucune mesure de radioprotection ne soit nécessaire. De même, en France, un arrêté ministériel daté du 5 mai 2009 précise les conditions de dérogation pour l'utilisation de rebuts faiblement radioactifs dans la fabrication des produits de grande consommation³, les matériaux de construction inclus (en l'occurrence, contre l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire⁴).

Classification

Le système de classification des déchets radioactifs ne dépend pas directement de la façon dont sont générés les déchets. Ils sont classés notamment selon les deux critères suivants :

- la durée de leur activité radioactive, qui peut-être calculée à partir de leur période radioactive et qui définit la durée de nuisance ;
- le niveau de radioactivité, qui conditionne la dangerosité des produits.

² Les déchets ultimes sont ceux situés en bout de chaîne de traitement, c'est-à-dire que leurs caractères polluants ou dangereux ne sont plus à même d'être réduits davantage. De la même manière, leurs parts valorisables ne sont plus économiquement et/ou techniquement extractibles.

« *Déchet, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux.* » — Code de l'Environnement Titre IV 1-1, Art. L. 541-2-1 .-II (Issu de l'Ordonnance n°2010-1579 du 17 décembre 2010 - art. 2)

³ **Arrêté du 5 mai 2009 fixant la composition du dossier et les modalités d'information des consommateurs prévues à l'article R. 1333-5 du code de la santé publique :**

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000020609175&dateTexte=&categorieLien=i>
[d](#)

⁴ <http://www.asn.fr/index.php/Les-actions-de-l-ASN/La-reglementation/Bulletin-Officiel-de-l-ASN/Avis-de-l-ASN/Avis-n-2008-AV-0065-du-19-novembre-2008-de-l-ASN>

D'autres critères de classification font intervenir la dangerosité chimique et la nature physico-chimique des déchets.

En France, à partir des critères internationalement reconnus, différents types de déchets ont été définis par l'Autorité de sûreté nucléaire, chacun nécessitant une gestion différente :

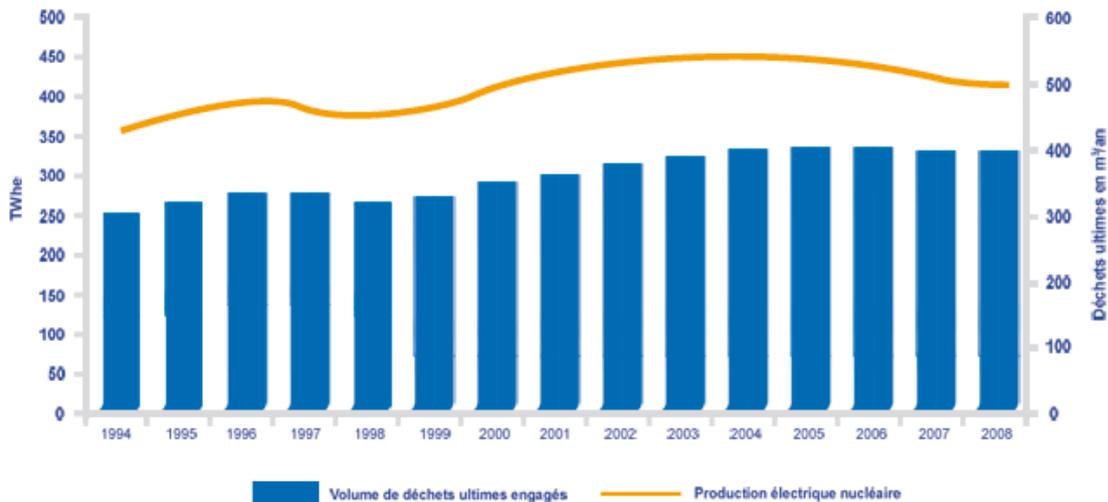
- les déchets de haute activité (**HAVL**) : principalement constitués des colis de déchets vitrifiés issus des combustibles usés après retraitement. Ces colis de déchets concentrent la grande majorité des radionucléides, qu'il s'agisse des produits de fission ou des actinides mineurs. Le niveau d'activité de ces déchets est de l'ordre de plusieurs milliards de Bq par gramme. Ce sont principalement les déchets issus du cœur du réacteur, hautement radioactifs, et dont la radioactivité reste notable pendant des centaines de milliers, voire millions d'années.
- les déchets de moyenne activité à vie longue (**MAVL**), également principalement issus des combustibles usés après retraitement et des activités de maintenance et d'exploitation des usines de traitement. Il s'agit des déchets de structure, les coques et embouts constituant la gaine du combustible nucléaire, conditionnés dans des colis de déchets cimentés ou compactés, ainsi que des déchets technologiques (outils usagés, équipements...), de déchets issus du traitement des effluents comme les boues bitumées. L'activité de ces déchets est de l'ordre d'un million à un milliard de Bq par gramme.
- les déchets de faible activité à vie longue (**FAVL**), essentiellement des déchets de graphite et des déchets radifères. Les colis de déchets de graphite, provenant principalement du démantèlement des réacteurs de la filière uranium naturel graphite gaz, ont en ordre de grandeur une activité se situant entre dix mille et cent mille Bq par gramme. L'activité à long terme est essentiellement due à des radionucléides émetteurs bêta à vie longue. Les déchets radifères, en majorité issus d'activités industrielles non-nucléaires (comme le traitement de minéraux contenant des terres rares), sont principalement constitués de radionucléides émetteurs alpha à vie longue et possèdent une activité comprise entre quelques dizaines de Bq par gramme et quelques milliers de Bq par gramme.
- les déchets de faible activité et moyenne activité à vie courte (**FMA-VC**), essentiellement issus de l'exploitation et du démantèlement des centrales nucléaires, des installations du cycle du combustible, des centres de recherche et pour une faible partie des activités de recherche biomédicale les déchets technologiques (gants, combinaisons, outils, etc.) qui ont été contaminés pendant leur utilisation en centrale ou dans une installation du cycle. L'activité de ces déchets se situe entre quelques centaines de Bq par gramme à un million de Bq par gramme. Leur nocivité ne dépasse pas 300 ans.

- les déchets de très faible activité (**TFA**), majoritairement issus de l'exploitation de maintenance et du démantèlement des centrales nucléaires, des installations du cycle du combustible et des centres de recherche. Le niveau d'activité de ces déchets est en général inférieur à 100 Bq/g. Ils sont peu radioactifs mais les volumes attendus sont plus importants que ceux des autres catégories.

Les déchets radioactifs qui nécessitent des mesures de protection élaborées et spécifiques sont les Déchets HAVL, à haute activité (HA) et à vie longue (VL). Ils sont principalement issus du combustible usé des centrales nucléaires. Rien que pour le combustible usé, le stock mondial serait d'environ 250 000 tonnes en 2008⁵.

En France, environ **1 200 tonnes de combustibles sont utilisés annuellement par les 58 réacteurs d'EDF** (à partir de 8 000 t d'uranium naturel⁶). La production d'1 TWh génère :

- 0,4 m³ de déchets de haute activité à vie longue (HAVL)
- 0,5 m³ de déchets de moyenne activité à vie longue (MAV)
- 16 m³ de déchets d'exploitation dont 10 m³ de faible et moyenne activité à vie courte (FMAVC)
- 6 m³ de très faible activité à vie courte (TFAVC).



Ce combustible doit ensuite être (re)traité (850 tonnes sont recyclées)⁷. 5 000 tonnes sont des déchets ultimes contenant 99 % de la radioactivité totale. Ils sont stockés sur les sites de La Hague et de Marcoule.

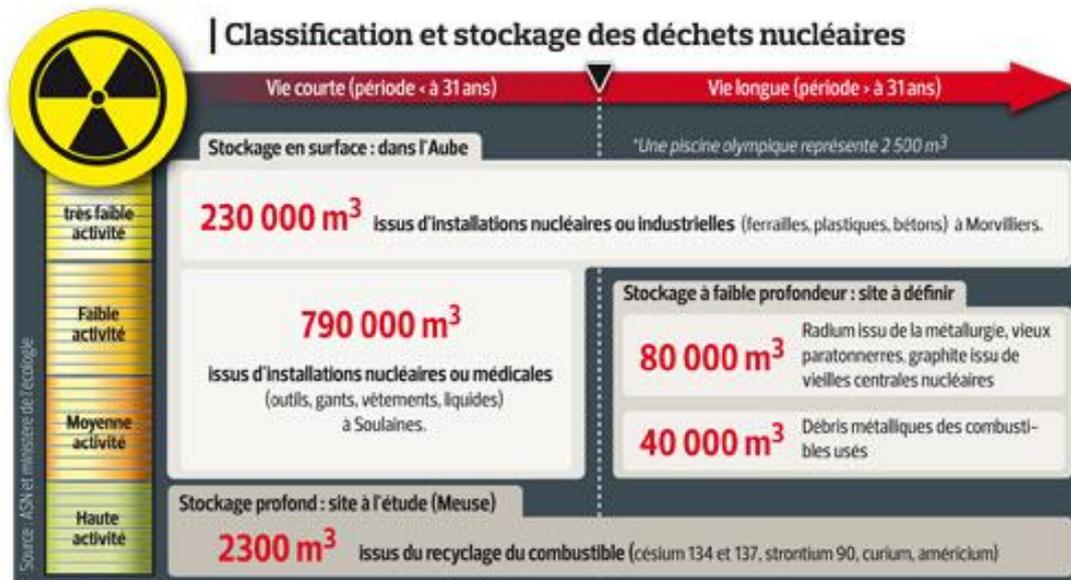
⁵ ANDRA, Inventaire national des matières et déchets radioactifs 2009, p. 8-9 :

<http://www.andra.fr/download/site-principal/document/editions/352.pdf>

⁶ le stock français d'uranium appauvri représentera selon le HCTISN 450 000 t en 2040....

⁷ http://rapport-dd.edf.com/fr/dechets_nucleaires_en_france

Les déchets à *faible et moyenne activité* représentent des volumes beaucoup plus importants que les précédents, mais les problèmes qu'ils posent sont beaucoup plus classiques. Ils doivent être gérés de manière à protéger les populations présentes et futures de la radiotoxicité des substances qu'ils contiennent ; mais cette gestion n'est pas fondamentalement différente de celle de déchets industriels contenant des produits chimiques toxiques, comme par exemple des déchets contaminés au mercure ou au plomb, dont la toxicité chimique est éternelle.



Enfin, les déchets dits à « *très faible activité* » (TFA) n'ont la plupart du temps pas de radioactivité significativement différente de la radioactivité ambiante : ce sont des déchets banaux, industriels ou ménagers (gravats, appareillages, consommables, tenues de protection,...) qui ont été produits dans des zones en contact avec des produits radioactifs, et sont de ce fait susceptibles d'être marqués par des traces de radioactivité. De nombreux pays acceptent des « seuils libératoires » sur la radioactivité effective, en dessous desquels les déchets peuvent être traités dans des filières classiques ; la France présente la singularité de ne pas avoir de seuil libératoire, et d'imposer une filière spécifique à ces déchets TFA.

Mais cette disposition réglementaire ne doit pas faire illusion. La France par le jeu de la classification des matières radioactives décline 95 % des combustibles usagers issus de la production d'électricité nucléaire. « *La majorité des combustibles usés constituent des matières valorisables.* » Pour ces combustibles usés électronucléaires, et à l'instar d'autres pays, la France a opté pour une stratégie de traitement-recyclage du combustible usé. Ce choix du traitement-recyclage a été confirmé par la loi du 28 juin 2006, puisqu'elle précise que le PNGMDR doit respecter l'orientation suivante : « *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* ».

Extrait de l'« Analyse détaillée du cycle du combustible » faite par le HCTISN

Le Haut comité à la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire a procédé en 2010 à une analyse détaillée des flux de matières et de déchets produits aux différents stades du cycle du combustible et des stocks de « matières » (valorisables) détenus par les acteurs de la filière nucléaire. La vision synthétique résultant de cette analyse permet de constater que :

- il faut, chaque année, de l'ordre de 8 000 tonnes d'uranium naturel pour fabriquer la quantité de combustible nécessaire au fonctionnement des centrales françaises qui consomment environ 1 200 tonnes de combustible nucléaire ;
- le combustible nucléaire est pour l'essentiel fabriqué à partir d'uranium naturel enrichi ; cependant, en France, le recyclage des matières issues du traitement des combustibles usés (uranium et surtout plutonium) permet une économie d'uranium naturel estimée à 12 % ;
- cette économie d'uranium naturel devrait croître à partir de 2010 (pour passer de 12 à 17 %) grâce à l'augmentation :
 - du nombre de réacteurs utilisant des combustibles fabriqués à partir d'uranium appauvri et de plutonium (en passant de 20 à 22 réacteurs),
 - du nombre de réacteurs utilisant des combustibles fabriqués à partir d'uranium de recyclage (en passant de 2 à 4 réacteurs) ;
- il est produit chaque année, pour les besoins des réacteurs français, de l'ordre de 7 300 tonnes d'uranium appauvri :
 - une faible partie (de l'ordre de 100 tonnes par an) est réutilisée pour produire du combustible à base de plutonium,
 - une autre partie peut être utilisée pour produire de l'uranium enrichi, par réenrichissement dans les usines actuelles ou à venir,
 - l'essentiel est actuellement entreposé en vue de sa réutilisation envisagée dans les réacteurs de quatrième génération ;
- le stock français d'uranium appauvri peut être évalué à 450 000 tonnes en 2040 ; si les réacteurs de 4ème génération étaient effectivement mis en service à cette date, ce stock représenterait alors, sur la base des estimations du CEA citées dans le PNGMDR, une ressource abondante pour l'avenir de la production d'énergie par le nucléaire ;
- une fois utilisés, les combustibles fabriqués à partir des matières recyclées (ce qui représente de l'ordre de 140 tonnes par an, et devrait passer à 200 tonnes par an à partir de 2010) sont actuellement entreposés, car il n'est procédé qu'à un seul recyclage de ces matières ; ils constituent un gisement de matières premières, et notamment de plutonium, destinées à être utilisées pour le démarrage des réacteurs de quatrième génération.

Cette analyse amène le Haut comité à constater qu'une partie des matières issues du cycle du combustible ne fait pas aujourd'hui effectivement l'objet d'une valorisation. Elles sont entreposées dans cette éventualité. Il s'agit cependant d'une perspective crédible grâce aux réacteurs de 4ème génération qui pourraient entrer en service à partir de 2040 (si les conditions techniques, économiques et politiques restent réunies).

Par ailleurs, compte tenu des perspectives de recyclage présentées ci-dessus, et aux termes de la loi du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs, l'uranium de recyclage et l'uranium appauvri sont aujourd'hui classés comme des matières radioactives valorisables. Il faut cependant rappeler que le classement en tant que matière ou déchet n'est pas définitif.

Cette évaluation est réalisée sur le fondement de l'évolution des technologies et des perspectives de valorisation : de nouvelles technologies peuvent ouvrir la voie à de nouvelles possibilités de valorisation, ou au contraire une évolution du contexte industriel, politique et/ou technico-économique peut remettre en cause une réutilisation jusqu'alors envisagée.

La singularité de la législation française

Au plan juridique, le **code de l'environnement** (art L.542-1-1⁸) précise qu' « *une substance radioactive est une substance qui contient des radionucléides, naturels ou artificiels, dont l'activité ou la concentration justifie un contrôle de radioprotection* ». En pratique, il n'existe pas de seuils d'activité ou de concentration uniques, valables pour tous les radionucléides, qui permettraient de déterminer si un contrôle de radioprotection est justifié.

Concernant les **matériaux naturels**, la plupart des recommandations internationales et des réglementations nationales retiennent une approche basée sur la concentration en activité massique, comparée à la moyenne constatée dans le monde.

Concernant les **radionucléides artificiels**, on considère que le contrôle de radioprotection n'est pas nécessaire pour les matériaux, utilisés en quantités limitées (inférieures à une tonne), dont l'activité massique (en Bq/g) et l'activité totale (en Bq) sont inférieures à des « *seuils d'exemption*⁹ ». Il existe en outre des règles de cumul et des limites en activité totale qui permettent de garantir qu'en cas d'accumulation significative de nombreuses sources toutes exemptées, l'activité relève d'une autorisation du point de vue de la radioprotection.

⁸ Créé par [Loi n°2006-739 du 28 juin 2006 - art. 5 JORF 29 juin 2006](#)

Le présent chapitre s'applique aux substances radioactives issues d'une activité nucléaire visée à l'article L. 1333-1 du code de la santé publique ou d'une activité comparable exercée à l'étranger ainsi que d'une entreprise mentionnée à l'article L. 1333-10 du même code ou d'une entreprise comparable située à l'étranger. Une substance radioactive est une substance qui contient des radionucléides, naturels ou artificiels, dont l'activité ou la concentration justifie un contrôle de radioprotection.

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

Un combustible nucléaire est regardé comme un combustible usé lorsque, après avoir été irradié dans le coeur d'un réacteur, il en est définitivement retiré.

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

Les déchets radioactifs ultimes sont des déchets radioactifs qui ne peuvent plus être traités dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de leur part valorisable ou par réduction de leur caractère polluant ou dangereux.

L'entreposage de matières ou de déchets radioactifs est l'opération consistant à placer ces substances à titre temporaire dans une installation spécialement aménagée en surface ou en faible profondeur à cet effet, dans l'attente de les récupérer.

Le stockage de déchets radioactifs est l'opération consistant à placer ces substances dans une installation spécialement aménagée pour les conserver de façon potentiellement définitive dans le respect des principes énoncés à l'article L. 542-1.

Le stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs est le stockage de ces substances dans une installation souterraine spécialement aménagée à cet effet, dans le respect du principe de réversibilité.

⁹ Les activités nucléaires prévues aux a) et b) du 1° de l'article R. 1333-27 peuvent être exemptées d'autorisation dès lors que la quantité ou la concentration d'activité des radionucléides concernés ne dépasse par les valeurs indiquées par l'ANNEXE DE LA PREMIERE PARTIE Seuils d'exemption pour l'application de l'article R. 1333-18 et niveaux d'activité définissant une source scellée de haute activité pour l'application de l'article R. 1333-33.

[\[http://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do;jsessionid=20AEA47C8A168CC698219AC5B92CE264.tpdjo12v_2?idSectionTA=LEGISCTA000006132377&cidTexte=LEGITEXT000006072665&dateTexte=20080201\]](http://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do;jsessionid=20AEA47C8A168CC698219AC5B92CE264.tpdjo12v_2?idSectionTA=LEGISCTA000006132377&cidTexte=LEGITEXT000006072665&dateTexte=20080201)

L'exemption correspond ainsi à la décision initiale de ne pas imposer de contrôle de radioprotection quand il n'est pas nécessaire.

Une autre notion importante est la **libération**, à savoir la sortie d'un matériau du domaine réglementé. Il existe différentes approches, selon les pays, de la libération du domaine réglementé des usages de la radioactivité. Certains pays mettent en œuvre des seuils de libération, exprimés en activité massique (Bq/g), soit universels (quel que soit le matériau, son origine et sa destination), soit dépendant du matériau, de son origine et de la destination. Ces seuils peuvent être plus bas que les seuils d'exemption ; ils ne peuvent être plus élevés pour une question de logique.

La France a développé une approche différente puisqu'on considère que tout matériau entrant dans le cadre de la réglementation des usages de la radioactivité (c'est-à-dire utilisé dans le cadre d'une activité nucléaire au sens de la réglementation) doit être considéré comme radioactif à partir du moment où il est susceptible d'avoir été mis en contact avec de la contamination radioactive ou d'avoir été activé par du rayonnement. La doctrine française ne prévoit pas une libération inconditionnelle des déchets de très faible activité sur la base de seuils universels. Ceci conduit à une gestion spécifique de ces déchets et à leur élimination dans un stockage dédié.

Parmi les substances radioactives, certaines sont considérées comme des matières valorisables, et d'autres comme des déchets, le cas échéant ultimes. Le cadre général de la notion de déchet, au sens large, est fixé par le code de l'environnement (art. L. 541-1¹⁰) : il s'agit de « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon ».

¹⁰ Article L541-1

Modifié par [Loi n°2003-591 du 2 juillet 2003 - art. 31 \(V\) JORF 3 juillet 2003](#)

I. - Les dispositions du présent chapitre et de l'article L. 125-1 ont pour objet :

1° De prévenir ou réduire la production et la nocivité des déchets, notamment en agissant sur la fabrication et sur la distribution des produits ;

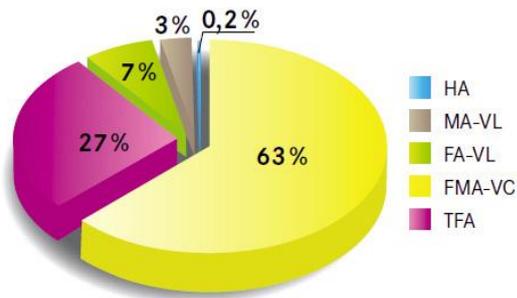
2° D'organiser le transport des déchets et de le limiter en distance et en volume ;

3° De valoriser les déchets par réemploi, recyclage ou toute autre action visant à obtenir à partir des déchets des matériaux réutilisables ou de l'énergie ;

4° D'assurer l'information du public sur les effets pour l'environnement et la santé publique des opérations de production et d'élimination des déchets, sous réserve des règles de confidentialité prévues par la loi, ainsi que sur les mesures destinées à en prévenir ou à en compenser les effets préjudiciables.

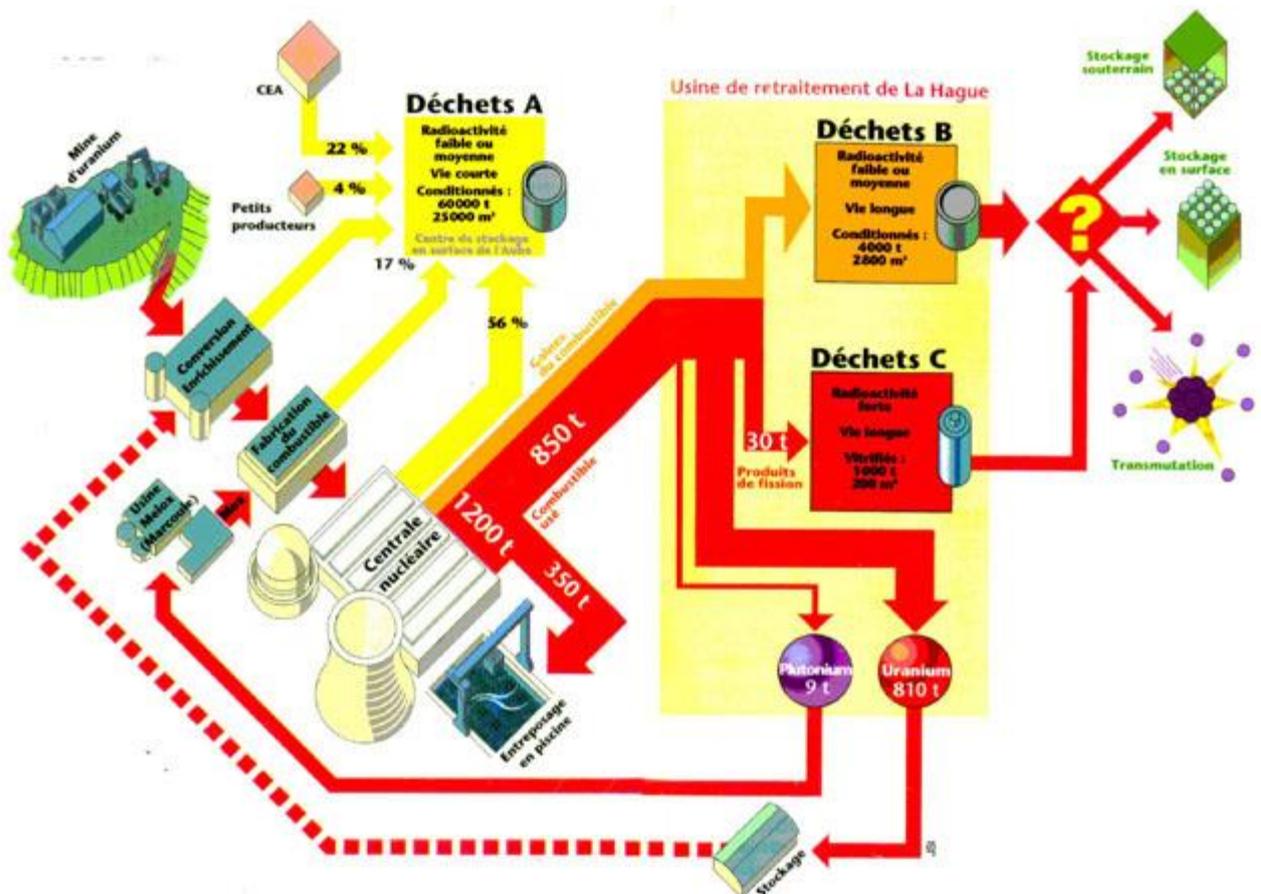
II. - Est un déchet au sens du présent chapitre tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon.

III. - Est ultime au sens du présent chapitre un déchet, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux.



Par ailleurs, « est ultime (...) un déchet, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux ».

Concernant les matières et déchets radioactifs, le code de l'environnement a été complété par les définitions figurant à l'article 5 de la loi de programme du 28 juin 2006 sur la gestion des matières et des déchets radioactifs¹¹ : « une matière radioactive est une substance radioactive pour laquelle une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement. Les déchets radioactifs sont des substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée. Les déchets radioactifs ultimes sont des déchets radioactifs qui ne peuvent plus être traités dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de leur part valorisable ou par réduction de leur caractère polluant ou dangereux. »



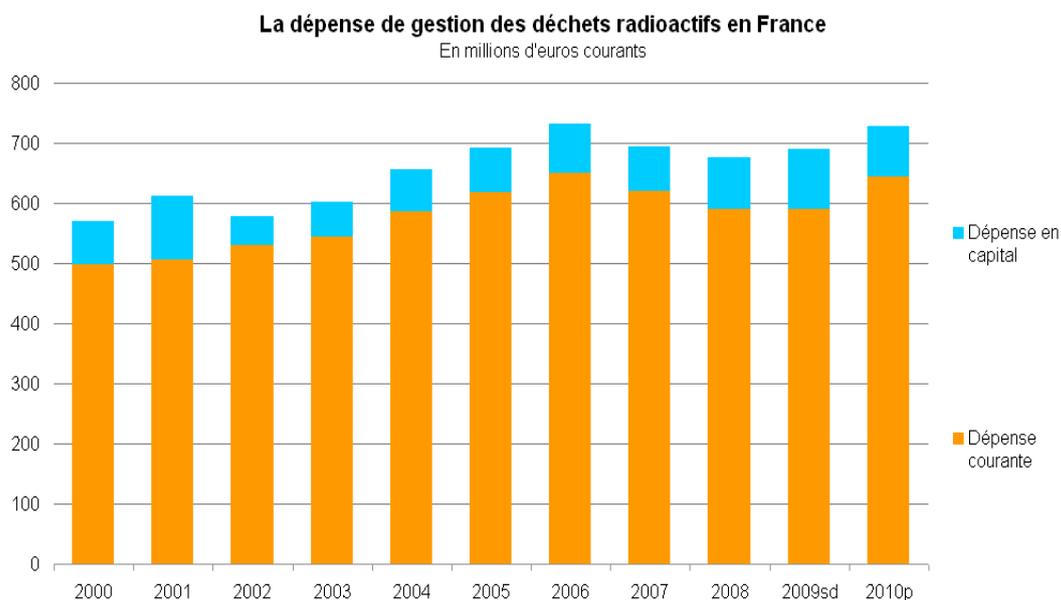
¹¹ Annexe 1

Le coût de la gestion des déchets radioactifs en France

La dépense relative à la **gestion des déchets radioactifs** augmente en 2010 (+ 5,7 %), pour atteindre 729 millions d'euros¹². Elle porte sur les activités de collecte, transport, traitement et conditionnement, stockage et entreposage ainsi que sur les mesures, contrôles et analyses correspondant à ces activités de gestion. Elle est évaluée pour les déchets radioactifs d'origine civile provenant principalement de la production électronucléaire et de la recherche.

La gestion des déchets radioactifs est en grande partie externalisée aux deux producteurs principaux de services correspondants : Areva et l'Andra. La dépense externe augmente de 6,7 % en 2010. EDF fait appel à Areva pour la gestion de ses déchets radioactifs pour un montant estimé à 341,1 millions d'euros en 2010 ce qui représente près de 70 % de la dépense externe. La part des activités d'EDF sous-traitée à l'Andra atteint 37 millions d'euros en 2010. Ce sont en grande partie des activités de stockage-entreposage. Enfin, la part de la dépense externe constituée des prestations pour EDF hors Andra et Areva s'élève à 116,2 millions d'euros. Ce sont des prestations de traitement-conditionnement.

Parallèlement à l'augmentation significative de l'externalisation, la dépense de gestion interne augmente sensiblement en 2010 et atteint 124,7 millions d'euros (+ 20,9 %). Cette dépense est en grande partie réalisée par le Commissariat à l'énergie atomique (CEA).



Note : sd : données semi-définitives, p : données provisoires.

Source : SOeS - Commission des comptes et de l'économie de l'environnement, juin 2012.

Champ : France entière.

¹² Source MEDDE : <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/375/1257/depense-gestion-dechets-radioactifs.html>

L'essentiel de la dépense courante correspond à des opérations de « *traitement et conditionnement* » des déchets. Ce mode de gestion est estimé à 556,9 millions d'euros en 2010 (en hausse de 9,8 % par rapport à 2009) ce qui représente 86,3 % de la dépense courante. Au-delà des fluctuations des niveaux de dépense, cette part « traitement et conditionnement » apparaît relativement stable d'une année sur l'autre. Le reste de la dépense relève principalement d'opérations de stockage-entreposage (79,7 millions d'euros). Une partie de l'augmentation de la dépense courante est imputable à des charges d'exploitation courantes d'EDF concernant l'installation de conditionnement et d'entreposage des déchets activés (Iceda) dont le chantier est en cours sur le site de la centrale nucléaire de Bugey dans l'Ain.

La dépense en capital est évaluée à 84 millions d'euros en 2010. Les investissements sont pour l'essentiel réalisés par le CEA et Areva, ils sont en repli de 15,1 % par rapport à 2009.

La filière de production et de gestion des déchets radioactifs compte principalement des entreprises. Par convention, seul le CEA appartient au secteur des administrations publiques. En effet, il produit principalement des services non marchands de gestion de ses déchets radioactifs (résultant des activités de R & D qu'il mène). Les entreprises (hors CEA donc) financent 542 millions d'euros, soit près de 75 % de la dépense de ce domaine, part relativement stable d'une année sur l'autre. L'administration publique intervient principalement dans la recherche sur les solutions de gestion de déchets. Excepté un repli en 2006, la dépense de l'administration publique augmente depuis 2006 et atteint 186 millions d'euros en 2010, soit une hausse de 9,6 %. Le CEA a repris le site de Marcoule en 2005, y compris la maîtrise d'ouvrage du démantèlement et la gestion des déchets anciens, ce qui explique le fort accroissement de la part de l'administration publique depuis cette date.

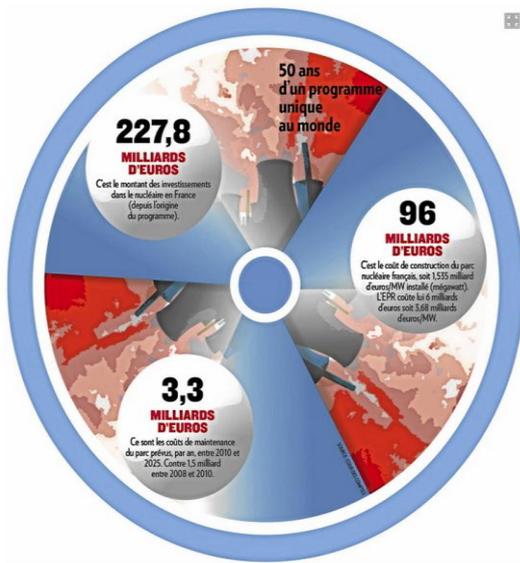
LES PLUS COUTEUX

7. La Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs



Enfin il conviendrait de ne pas oublié le train de vie de la **Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs** ou CNE2¹³. La Commission, est placée directement auprès du ministère de l'Ecologie, du développement durable, de l'énergie. En 2010, ce comité a déclaré 870 000 euros de coût de fonctionnement. Si ce chiffre est très proche de celui de 2008 (871 000 euros), il est en augmentation par rapport à 2009 (636 000 euros). La commission s'est réunie 14 fois durant l'année 2010...

¹³ <http://www.cne2.fr/>



La facture moyenne d'électricité d'un ménage français va s'alourdir de 50 % d'ici à 2020 à cause des investissements élevés du renouvelable et ceux croissants du nucléaire, selon un rapport de sénateurs présenté mercredi 18 juillet¹⁴. Sous réserve, souligne le texte, d'une législation et de comportements de consommation inchangés.

Citant des projections de la Commission de régulation de l'énergie (CRE), ce rapport estime que la facture annuelle d'un ménage type ayant souscrit l'option heures pleines-heures creuses - et a priori équipé d'un chauffage électrique -

atteindrait 1 307 euros en 2020 contre 874,5 euros en 2011.

"Se pose aujourd'hui la question d'énormes investissements, on peut parler de 400 milliards d'euros à horizon de vingt ans", a souligné le rapporteur écologiste de cette commission, Jean Dessessard. Sur l'augmentation de 433 euros attendue sur la facture (qui est hors TVA), 28 % viendront de la taxe dite CSPE (contribution au service public de l'électricité, qui inclut notamment les tarifs d'achats subventionnés des énergies renouvelables), 37 % des réseaux électriques et 35 % de la production d'électricité elle-même.

Il ressort des évaluations des sénateurs que les coûts de l'électricité nucléaire française sont encore sous-évalués : en incluant les travaux de maintenance post-Fukushima, la commission les évalue à **54,2 euros par mégawatheure**. C'est plus que l'évaluation du rapport de référence publié par la Cour des comptes au début de l'année (49,5 euros) et plus que le prix de l'accès régulé à l'électricité nucléaire historique (Arenh), c'est-à-dire le prix officiel du courant nucléaire, qui est de 42 euros depuis le 1^{er} janvier.

Le rapport, comme celui de la Cour des comptes publié au printemps, relève aussi des « incertitudes » supplémentaires notamment sur le démantèlement, plus les coûts d'assurances pour un accident ou des frais de recherche. Des coûts qui porteraient le total à 75 euros le mégawatheure, même si la Commission s'est refusé à effectuer officiellement cette addition « parce qu'on n'a pas voulu rajouter des incertitudes aux incertitudes », selon Jean Dessessard.

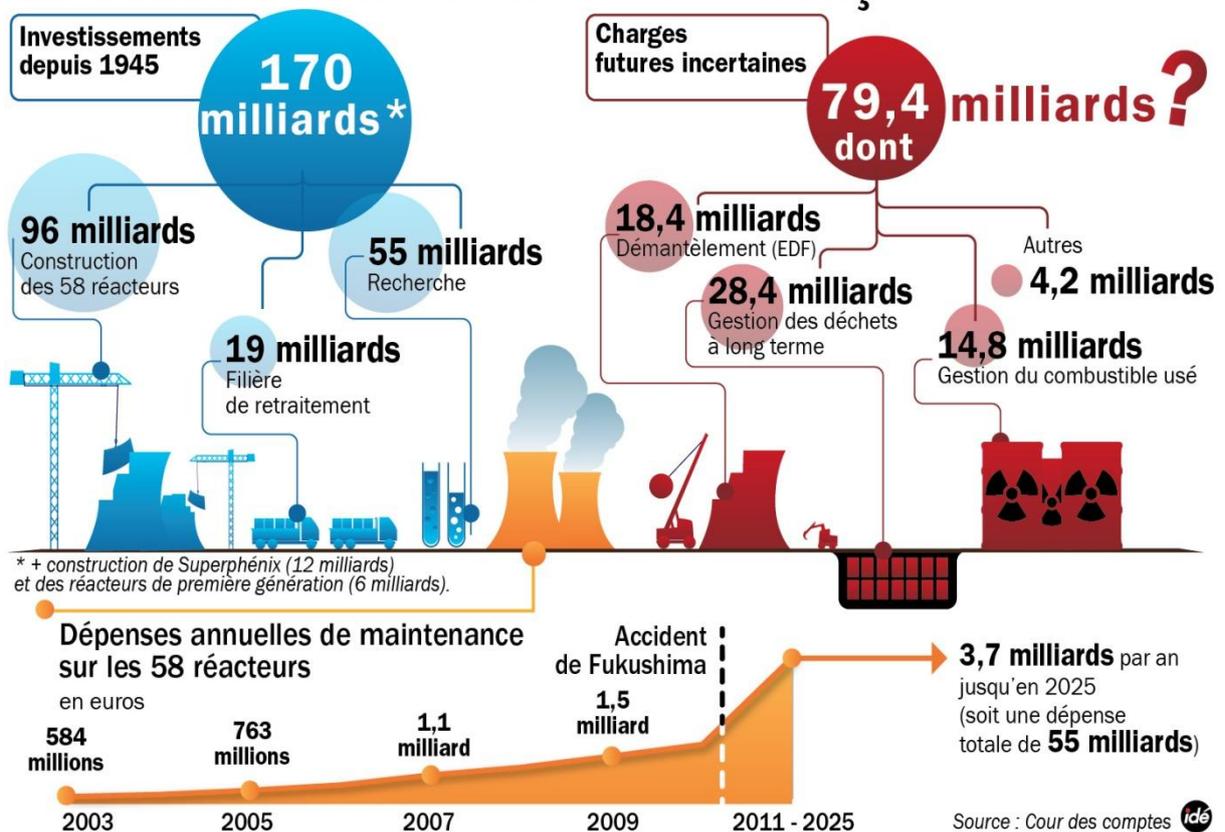
¹⁴ http://www.lemonde.fr/economie/article/2012/07/19/la-facture-d-electricite-des-francais-doublera-d-ici-a-2020_1735483_3234.html

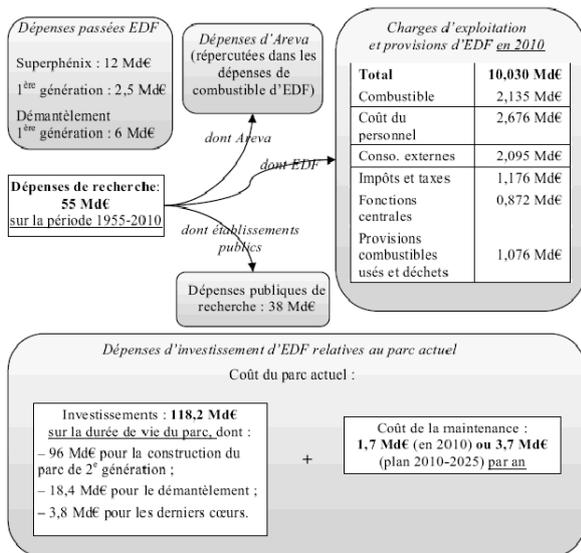
Aujourd'hui, le consommateur français bénéficie d'un tarif de l'électricité parmi les plus bas d'Europe. En raison des « *coûts immédiats modérés* » du bouquet électrique, dans lequel le nucléaire est prédominant. Avec un coût du MWh évalué à 49,5 € en 2010, le nucléaire se situe en deçà du prix des autres sources de production de l'électricité.

Cependant, ce coût ne prend pas en compte plusieurs paramètres qui font l'objet de débats et d'estimations variées mais pour lesquels la commission d'enquête a néanmoins tenté de donner une évaluation : l'élévation du niveau de sûreté exigée après Fukushima (qui portera le prix du MWh à 54,2 € selon la Cour des comptes), les taux d'utilisation des centrales, les coûts de démantèlement (estimés par la commission d'enquête à 2,46 €/MWh), la gestion des déchets (+0,19 €/MWh), la recherche publique (+7,11 €/MWh), les coûts publics pour la sécurité, la sûreté, la transparence (+0,56 €/MWh), l'assurance (+9,83 €/MWh), le taux d'actualisation qui passe de 5 % à 4 % (+0,40 €/MWh)...

Si l'on fait l'addition de tous ces coûts, exercice auquel la commission d'enquête ne s'est pas risquée au vu des divergences de ses membres, le coût du mégawatt heure nucléaire passe à... 75 € ! A cette somme, doivent être ajoutés le coût du stockage des matières radioactives et les externalités pour l'environnement, la santé humaine, qui ne sont pas chiffrables aujourd'hui.

Le coût de la filière nucléaire française





Ainsi, en prenant en compte l'ensemble de ces paramètres, l'écart entre le coût du nucléaire et celui des énergies renouvelables est bien moins important. Le MWh de l'éolien terrestre coûte 82 € les premières années (tarifs d'achat) puis entre 28 € et 82 € selon les sites, celui de l'éolien offshore sera à 200 € en 2020 ; pour le photovoltaïque, il se situe entre 229 € (moyennes installations) et 370,6 € (petites installations). Des chiffres qui pourraient encore baisser : de nombreux experts prédisent une baisse des coûts dans

les années à venir et la parité réseau pour les énergies renouvelables.

Des investissements considérables pour les 20 prochaines années

« Quel que soit le mix énergétique choisi, des investissements colossaux devront être réalisés dans les vingt prochaines années, autour de 400 milliards d'euros », estime Jean Desessard, rapporteur écologiste de la commission d'enquête.

Pour le nucléaire, l'allongement de la durée de vie des centrales générera des coûts élevés de maintenance et d'amélioration de la sûreté. L'EPR de Flamanville devrait quant à lui fournir un MWh plus élevé que les réacteurs actuels : entre 70 et 90 €.

Des investissements sur le réseau seront également nécessaires pour assurer la sécurité électrique, la performance mais aussi intégrer les énergies renouvelables. RTE devrait investir 1,38 milliards d'euros en 2012 (contre 500 Mds € au début des années 2000) et 1,5 à 1,6 Mds € d'ici 2015. ERDF, qui a doublé ses investissements entre 2005 et 2012 (de 1,5 à 3 Mds €) devrait déboursier plus de 3,5 Mds €, pour la période 2013-2016.

Du fait de la hausse à venir des coûts de production, de transport et de distribution, la Commission de régulation de l'énergie estime que la facture annuelle d'électricité d'un ménage français type va passer de 874,5 € en 2011 à 1.125 € en 2016 et 1.307 € en 2020.

Pourtant, la facture d'électricité des Français est déjà salée ! Malgré un prix au kilowatt heure se situant dans la fourchette basse européenne, la France était en 2005 le pays dont la facture moyenne des ménages était la plus élevée (852 € par an contre 438 € en moyenne dans l'UE). Cela est dû au chauffage (23 %), à l'eau chaude sanitaire (16 %) mais surtout aux consommations spécifiques (61 %). Un effort particulier doit donc être mené pour réduire ces consommations d'énergie, note le rapport.

"Le rapport de la Cour des comptes sous-évalue les coûts du nucléaire"

C'est l'éternel débat qui agite les anti et pro-nucléaire : combien coûte réellement la production d'électricité à partir de l'atome ? La Cour des comptes a tenté de répondre à cette question délicate, mardi 31 janvier 2011, dans un rapport très attendu, intitulé Les Coûts de la filière électronucléaire. Pour Sophia Majnoni, chargée de campagne nucléaire à Greenpeace, ce travail permet d'"entamer la discussion sur les coûts réels de l'énergie nucléaire" mais "s'avère incomplet" et devra être approfondi à partir "d'audits indépendants".

Que pensez-vous du rapport de la Cour des comptes ?

C'est un travail inédit dans la mesure où il s'agit de la première fois qu'on l'on met sur la table l'ensemble des coûts de la filière électronucléaire, depuis la construction et l'exploitation des centrales jusqu'au démantèlement et au traitement des déchets, en passant même par l'assurance en cas d'accident. Il n'y a donc plus de coût caché.

Malgré tout, le rapport ne va pas assez loin dans la mesure où les coûts sont fortement sous-évalués. La Cour des comptes n'a en effet eu accès qu'aux devis établis par EDF, qui a pour habitude de minimiser les coûts, et n'a pas fait ses propres calculs et mesures. Enfin, nous sommes inquiets sur la conclusion du rapport et l'absence d'orientation stratégique de la France en matière d'énergie.

Estimez-vous que le coût du démantèlement des centrales est correctement estimé ?

La Cour des comptes estime le coût du démantèlement des 58 réacteurs français à 18,4 milliards d'euros, soit une moyenne de 317 millions d'euros par réacteur, tout en précisant que les charges pourraient augmenter. Selon l'institution, un doublement du devis de démantèlement entraînerait "seulement" une hausse de 5 % des coûts de production de l'électricité.

Ces coûts sont clairement sous-estimés. En effet, le démantèlement de la centrale de Brennilis (Finistère), le seul en cours actuellement, est pour l'instant chiffré entre 450 et 500 millions d'euros et l'opération n'est pas encore achevée. On se situe donc déjà au-delà des chiffres fournis par EDF pour le démantèlement moyen d'un réacteur, alors que la puissance du site, de 70 MW, est largement inférieure à celle des autres centrales (entre 900 et 1 400 MW). Selon nos calculs, le démantèlement du parc français ne va au final pas doubler mais quadrupler. Ce qui équivaldrait en réalité à une augmentation de 20 % du prix du mégawatheure.

Au final, le rapport donne-t-il le vrai prix du nucléaire ?

Non, car il faudra attendre que l'Autorité de sûreté nucléaire achève, en juin, ses prescriptions en ce qui concerne les investissements nécessaires au sein du parc nucléaire. Ce n'est qu'à ce moment-là que l'on pourra connaître le vrai coût des installations nucléaires. Un audit indépendant et transparent sur les coûts qui présentent encore des incertitudes, notamment ceux liés au démantèlement, doit aussi être réalisé.

A défaut de donner le vrai prix du nucléaire, le rapport de la Cour des comptes met fin au mythe d'un nucléaire pas cher. Il reconnaît que le coût de cette énergie a toujours augmenté ces dernières années et qu'il va continuer à le faire. Que l'on choisisse de prolonger la durée de vie des centrales ou de les fermer, le coût du nucléaire va augmenter, et celui de l'électricité avec. Enfin, le rapport enterre l'EPR. En indiquant une fourchette de prix de 70 à 90 euros le MWh, soit aussi cher que l'éolien terrestre, il prouve que le réacteur nucléaire de troisième génération n'a plus aucun intérêt.

Propos recueillis par Audrey Garric

En guise de conclusion

Comme tout déchet, les déchets radioactifs sont des résidus d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation d'une substance, d'un produit pour lequel aucun usage n'est prévu.

La grande majorité d'entre eux ressemblent aux déchets « classiques », puisqu'il s'agit de tuyaux, de briques ou de flacons. Selon les classifications usuelles, les déchets radioactifs figurent d'ailleurs parmi les déchets industriels toxiques dont ils représentent en volume une petite partie.

Les déchets nucléaires se distinguent par leur nature, à savoir qu'ils contiennent des substances qui dépassent le niveau de radioactivité habituellement présent dans l'environnement.

Il s'agit en fait de substances dont les atomes présentent un excès de protons, de neutrons ou même des deux. Cet excès crée une instabilité du noyau qui tend à se désintégrer pour se transformer en une autre substance ayant une forme atomique. A titre d'exemple, l'uranium 238 tend à se transformer en une substance stable, le plomb 206.

Cette désintégration s'accompagne de l'émission de différents rayonnements dits ionisants. Ces derniers contribuent à une ionisation des molécules présentes dans les organismes vivants, pouvant de ce fait se révéler toxiques et donner lieu, à long terme, à des cancers ou à des leucémies.

C'est ce qui explique l'attention particulière accordée aux déchets radioactifs.

En second lieu, ces déchets peuvent être caractérisés par leur origine très largement commune. En effet, **85 % d'entre eux sont issus de l'industrie électronucléaire**, le restant provenant des hôpitaux, des universités et organismes de recherche, de la production et de l'entretien de l'armement nucléaire ou d'industries non nucléaires (par exemple, la fabrication des engrais phosphatés).

Fondée sur la fission de l'atome, la filière électronucléaire transforme l'uranium issu des mines pour en faire du combustible, le « brûle » dans des réacteurs et retraite le combustible usé pour le recycler.

Les déchets moyennement et hautement actifs et à vie longue concentrent l'essentiel de la radioactivité et des problèmes qui y sont liés

Ces déchets, dits de type C, proviennent des usines de fabrication des combustibles nucléaires, des centres de recherche et des usines de traitement, des combustibles usés issus des centrales nucléaires.

Au sein de ces déchets se distinguent les déchets à haute activité et à vie longue dits « HA-VL »- qui ne représentent que 0,2 % du volume des déchets nucléaires mais concentrent plus de 95 % de la radioactivité¹⁵.

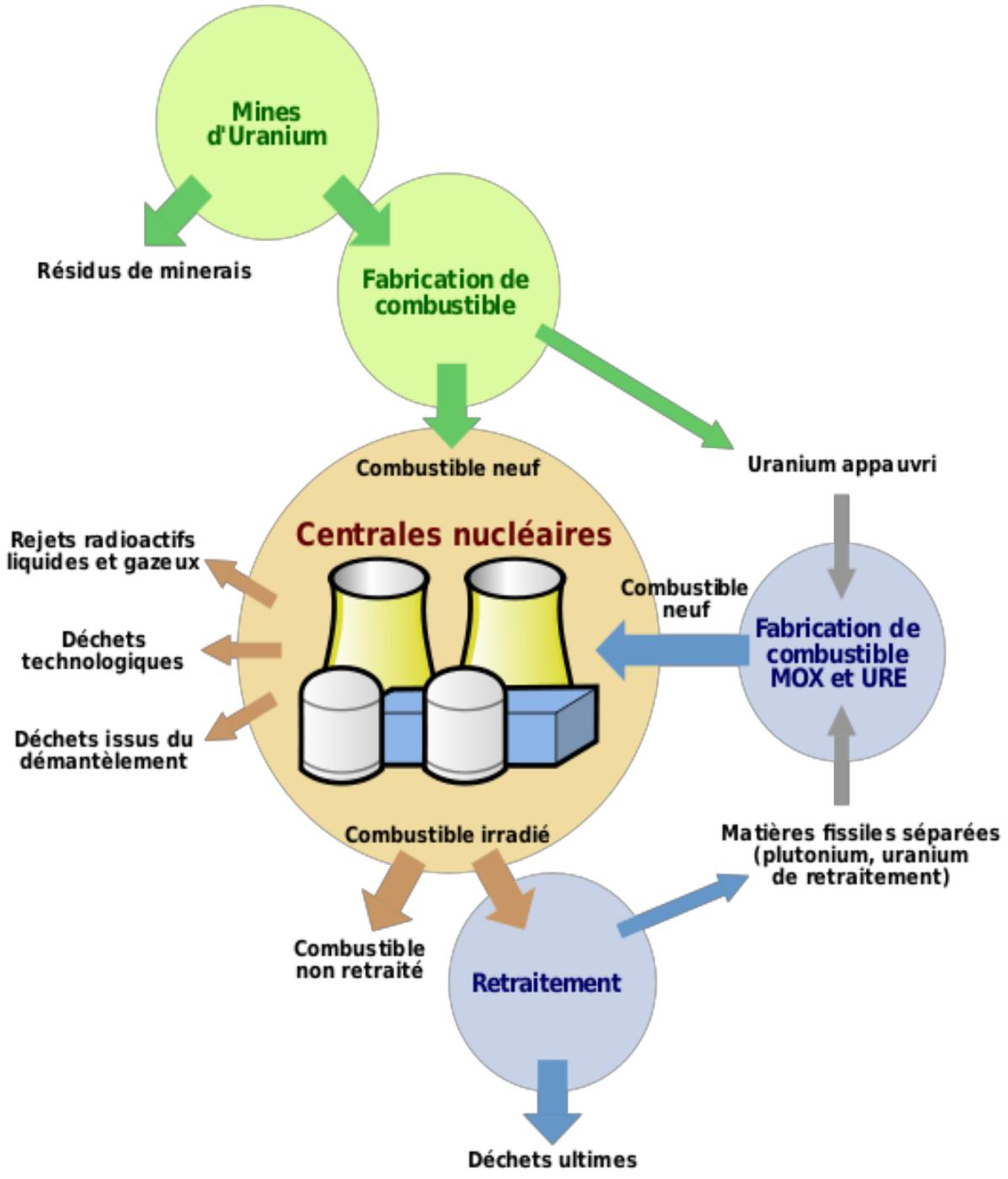
Ils concentrent aussi l'essentiel des débats sur la gestion des déchets nucléaires et sur les solutions à apporter¹⁶.

Type de déchets	Caractéristique	% de la radioactivité des déchets	Quantités de déchets radioactifs au 31/12/2004	Quantités prévues en 2020
C	Haute activité vie longue	91,6 %	1 851	3 611
	Moyenne activité vie longue	8,22 %	45 518	54 884
B	Faible activité vie longue	0,01 %	47 124	104 997

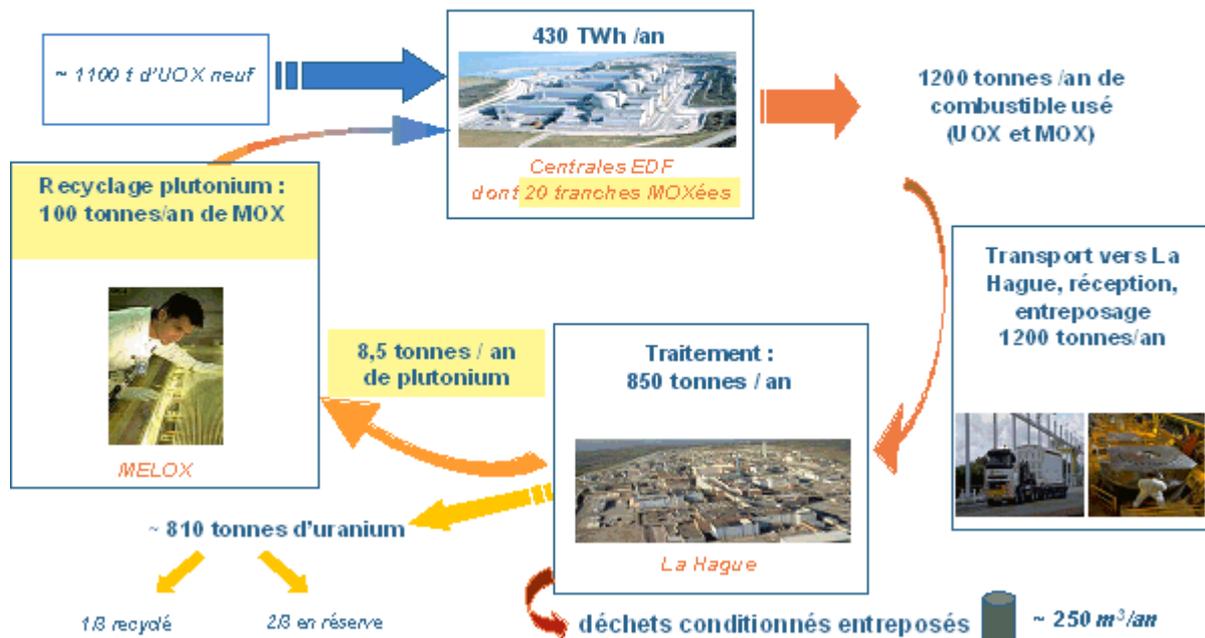
Activité	Période	Vie très courte (VTC)	Vie courte (VC)	Vie longue (VL)
Très faible activité (TFA)			2. Déchets TFA Essentiellement gravats, ferrailles, issus du démantèlement et déchets industriels spéciaux; résidus miniers du traitement de l'uranium. <i>Stockage dédié en surface (Morvilliers) et filières de recyclage à l'étude.</i>	
Faible activité (FA)		1. Déchets VTC Essentiellement issus des activités médicales ou industrielles. <i>Gérés par décroissance puis dans les filières de gestion de déchets conventionnels.</i>	3. Déchets FMA-VC Issus de l'exploitation, maintenance, démantèlement des installations industrielles et de recherche du nucléaire. <i>Stockage en surface (Centre de stockage de la Manche, puis Centre de stockage de l'Aube) sauf filières à l'étude pour déchets particuliers (déchets tritiés, sources scellées...).</i>	4. Déchets FA-VL Déchets de procédés ou d'assainissement, plus démantèlement, notamment déchets graphite et radifères. <i>Stockage dédié en subsurface à l'étude.</i>
Moyenne activité (MA)			5. Déchets MA-VL Déchets issus des structures de réacteurs et du retraitement (gainés, boues...). <i>Filières à l'étude.</i>	
Haute activité (HA)			6. Déchets HA Matières du combustible irradié, en l'état ou en déchets vitrifiés (en cas de retraitement). <i>Filières à l'étude.</i>	

¹⁵ <http://www.dechets-radioactifs.com/index.html>

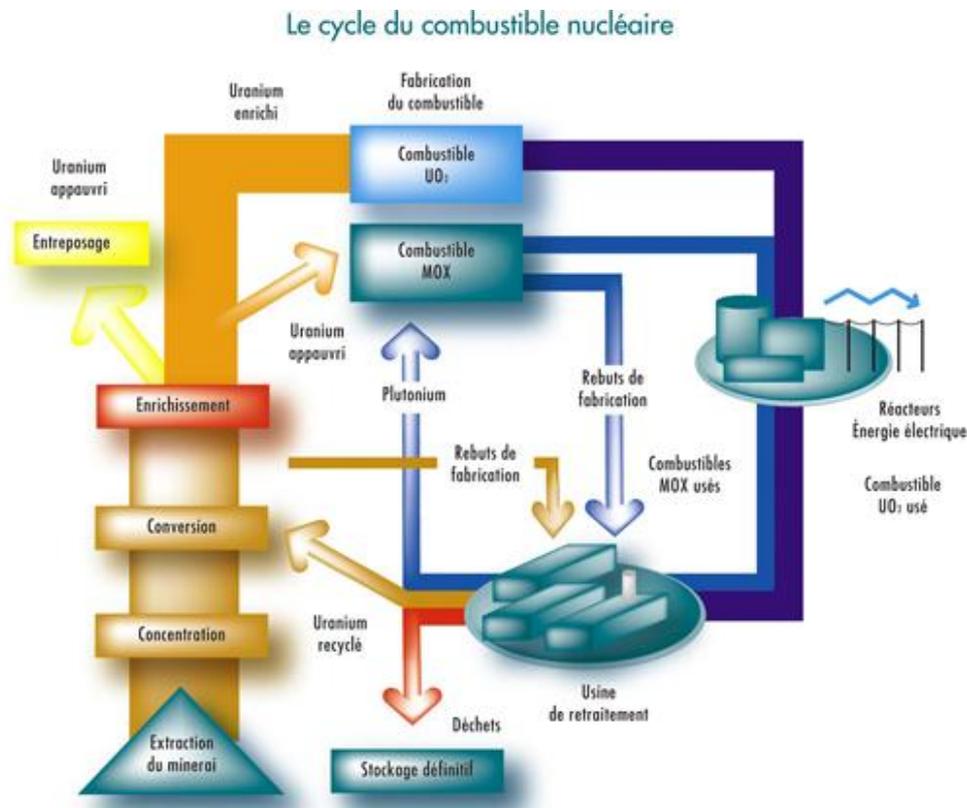
¹⁶ <http://www.senat.fr/rap/105-358/105-358.html>



LE CYCLE DU COMBUSTIBLE



La fabrication du combustible, son irradiation en réacteur, puis la gestion du combustible utilisé constituent le cycle du combustible. De manière conventionnelle, le cycle débute avec l'extraction du minerai d'uranium et s'achève avec le stockage des combustibles usés ou celui des divers déchets radioactifs provenant de leur traitement et le recyclage des matières valorisables issues de ce traitement).



Le minerai d'uranium est extrait, puis purifié et concentré sur les sites miniers. Le concentré solide est ensuite transformé en hexafluorure d'uranium (UF_6) gazeux au cours de l'opération dite de conversion réalisée en deux étapes. La première étape est réalisée par l'établissement COMURHEX de Malvési (Aude), la seconde par celui de Pierrelatte (Drôme). Ces installations mettent en œuvre de l'uranium naturel dont la teneur en isotope 235 est de l'ordre de 0,7 %.

La plupart des réacteurs dans le monde utilisent de l'uranium légèrement enrichi en isotope 235 de l'uranium. La filière des réacteurs à eau sous pression (REP) nécessite, par exemple, de l'uranium enrichi entre 3 % et 5 % en isotope 235. L'enrichissement en isotope 235 de l'uranium est actuellement assuré par l'usine Eurodif du Tricastin utilisant le procédé de diffusion gazeuse; l'usine Georges BESSE II réalise aujourd'hui cet enrichissement par le procédé de centrifugation. Dans ces deux procédés, l'uranium sous forme d'hexafluorure d'uranium est séparé en deux flux, l'un s'enrichissant, l'autre s'appauvrissant en isotope 235.

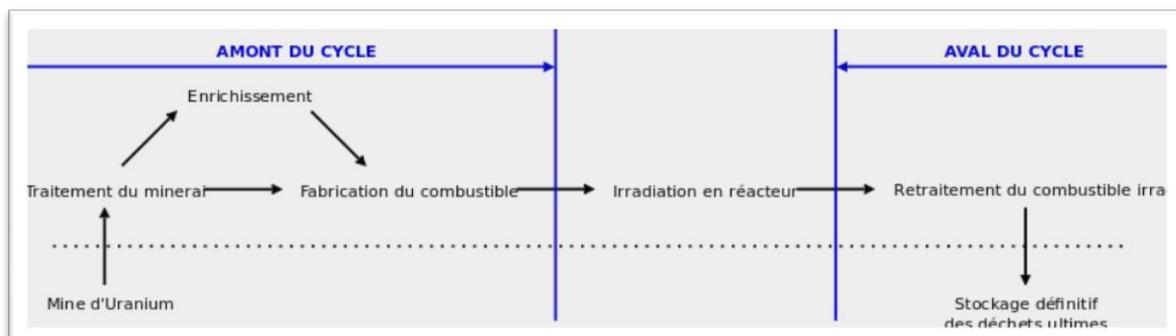
Le procédé mis en œuvre dans l'usine de fabrication de combustibles à base d'oxyde d'uranium (usine FBFC de Romans-sur-Isère) transforme l'hexafluorure d'uranium en poudre d'oxyde d'uranium. Les pastilles combustibles fabriquées avec cet oxyde sont gainées pour constituer les crayons, lesquels sont réunis pour former les assemblages de combustible.

Ces assemblages sont alors introduits dans le cœur du réacteur nucléaire où ils délivrent de l'énergie par fission des noyaux d'uranium 235. Les réactions de fission entraînent une consommation de l'uranium 235 et la génération de produits radioactifs dits produits de fission. Les captures neutroniques par les noyaux lourds conduisent également à la production de plutonium et autres actinides (neptunium, américium, curium...).

Après une période de l'ordre de trois à cinq ans, le combustible utilisé est extrait du réacteur pour refroidir en piscine, d'abord sur le site même du réacteur, puis dans l'usine de retraitement AREVA NC de La Hague. Dans cette usine, l'uranium et le plutonium des combustibles usés sont séparés des produits de fission et des autres actinides. L'uranium de retraitement (URT) qui contient encore de l'ordre de 0,9 % d'isotope 235 et le plutonium purifiés sont entreposés en vue d'une réutilisation future. Les produits de fissions et autres actinides sont conditionnés dans du verre coulé en conteneurs, en vue de leur stockage ultérieur en couche géologique profonde.

L'uranium de retraitement après enrichissement (URE) est utilisé pour la fabrication d'assemblages combustibles dans l'usine FBFC de Romans-sur-Isère. Ces assemblages sont utilisés dans des réacteurs à eau pressurisée (REP) français. Le plutonium issu du retraitement est utilisé pour fabriquer, dans l'usine MELOX de Marcoule et également auparavant dans l'atelier de technologie du plutonium (ATPu), du combustible MOX (mélange d'oxydes d'uranium et de plutonium), utilisé notamment dans des REP de 900 MWe du parc français.

L'uranium appauvri, considéré par les industriels français comme une matière potentiellement valorisable dans les réacteurs du futur, est entreposé sous forme d'oxyde. Certains combustibles irradiés peuvent également être considérés comme un déchet ultime destiné à être stocké en couche géologique profonde.



L'Uranium une ressource rare

L'uranium est un métal gris argenté environ deux fois et demi plus dense que le fer. Cet élément chimique porte le numéro atomique 92 et est le plus lourd présent naturellement sur Terre. Il existe de nombreux isotopes de l'uranium mais l'uranium naturel présent dans l'écorce terrestre n'est constitué que de trois isotopes : l'uranium 238, le plus lourd atome naturel et le plus abondant (99,28%), l'uranium 235 (0,71%) ainsi que des traces d'uranium 234 (0,006%).

L'uranium est un élément naturel assez commun : il est plus abondant que l'argent ou l'or et se trouve partout dans l'écorce terrestre surtout dans les terrains granitiques ou sédimentaires à des teneurs moyennes d'environ 3 g/tonne. On trouve l'uranium en quantité importante dans les profondeurs de la terre où il est, avec le thorium et le potassium, un élément déterminant de la géothermie de notre planète, donc de son volcanisme et de sa sismicité.

L'uranium est radioactif. Cela signifie que les noyaux de ses atomes sont trop lourds pour être stables dans le temps. Ils se transforment spontanément en d'autres éléments radioactifs plus légers (ex : Uranium 238 en Thorium 234) qui à leur tour disparaîtront par décroissance radioactive. Ce n'est qu'après une douzaine de désintégrations successives que la chaîne radioactive aboutit à un isotope stable du plomb (Plomb 206 dans le cas de la chaîne de décroissance de l'uranium 238).

Mais les isotopes de l'uranium naturel ont des périodes de désintégration très longue (4,5 milliards d'années pour l'uranium 238, 700 millions d'années pour l'uranium 235) ce qui explique qu'ils soient encore présents à l'état naturel sur terre et qui fait de l'uranium naturel un élément peu radioactif. A noter cependant qu'un des descendants de l'uranium dans les chaînes de décroissance radioactive est **le radon** dont la radioactivité n'est pas négligeable et qui étant gazeux passe dans l'air lorsque l'uranium est extrait.

L'uranium 235 est le seul isotope naturel **fissile**, c'est à dire susceptible de se fragmenter, spontanément ou par capture d'un neutron, en deux atomes de masses proches avec émission de plusieurs neutrons et de rayonnement gamma intense. L'uranium 238, bien que beaucoup plus stable et très peu fissile, est dit **fertile** car il peut être transformé, par absorption d'un neutron, en plutonium 239 encore plus fissile que U235.

C'est cette aptitude directe ou indirecte à la fission qui fait de l'uranium naturel la principale matière première utilisée aujourd'hui par l'industrie nucléaire pour produire de l'électricité, propulser des navires, fabriquer des armes de très grande puissance mais aussi synthétiser des radioisotopes pour l'imagerie médicale, la radiothérapie et l'industrie.

L'uranium naturel est un métal que l'on peut extraire par plusieurs techniques. En règle générale, le minerai existant est à faible teneur en uranium (quelques kg par tonne de minerai) mais peut exceptionnellement atteindre des teneurs beaucoup plus élevées (Canada, Niger....). Les coûts de transport favorisent une concentration du composé sur place. Par des méthodes chimiques, on transforme le minerai en *yellowcake* qui contient environ 750 kg d'uranium par tonne.



Le *yellowcake* est ensuite purifié puis oxydé en oxyde d'uranium (U_3O_8). On le transforme ensuite en hexafluorure d'uranium (UF_6) pour pouvoir l'enrichir en U^{235} (de 0,7% à 3-5%) par diffusion gazeuse ou centrifugation sélective.

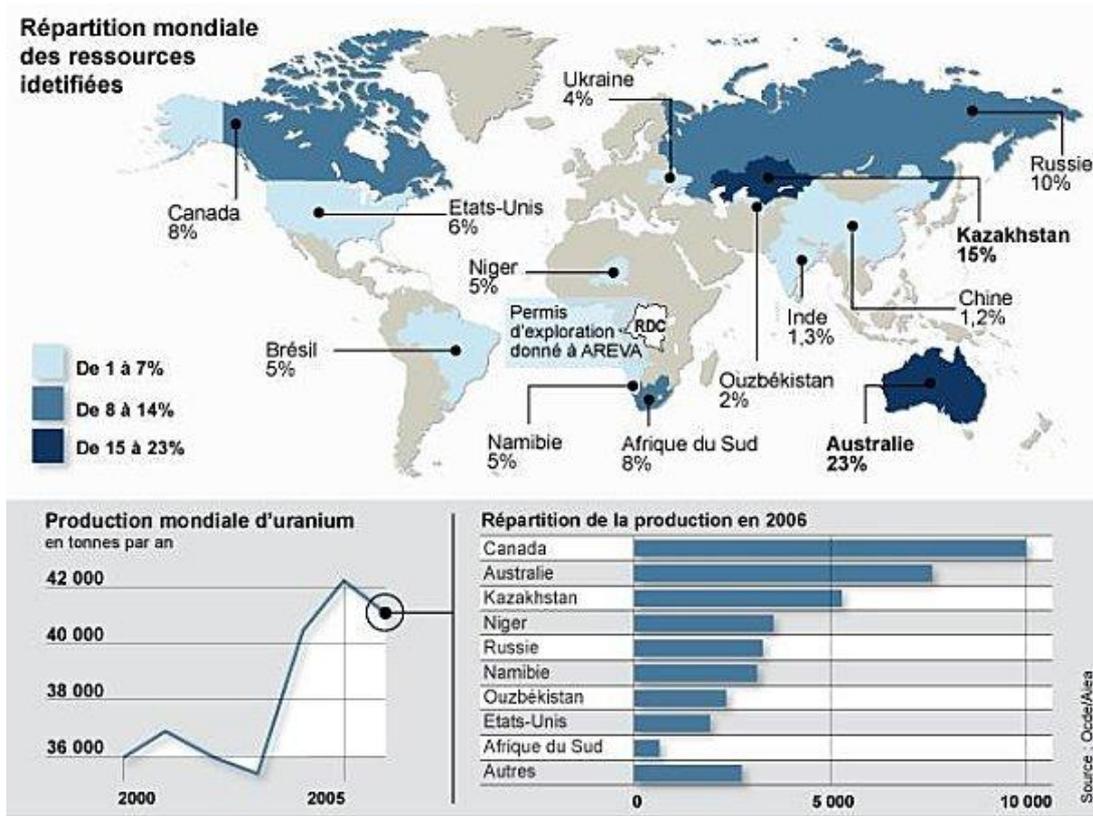
L'uranium enrichi est alors utilisable sous forme de barre de

combustible dans les centrales électronucléaires. Les applications militaires requièrent des enrichissements beaucoup plus élevés (>80%).

La production mondiale d'uranium a atteint environ 50 000 tonnes en 2009. Les principaux pays producteurs sont le Canada, l'Australie, le Kazakhstan, le Niger, la Russie et la Namibie.

Les réserves et ressources d'uranium sont estimées par l'Agence pour l'énergie nucléaire selon différents niveaux de coût et de certitude. La confusion est cependant fréquente entre réserves (des ressources certaines et mesurées) et ressources (qui sont supposées ou très éventuelles). Ces statistiques sont peu fiables¹⁷ puisque les réserves et les ressources peuvent varier de façon importante, en augmentation ou en diminution, selon les années et sans lien direct avec la production réalisée.

¹⁷ En **France** les réserves sont encore estimées à 11.740 tonnes d'uranium à ce jour et les ressources ont disparu. De façon curieuse, ces réserves avaient baissé de 67.000 à 28.000 tonnes d'uranium entre 1999 et 2001, malgré une production de 4.000 tonnes seulement. Plus de 30.000 tonnes de réserves d'uranium ont donc disparu des statistiques en deux ans, tandis que 37.000 tonnes de ressources disparaissaient elles aussi en quelques années.



Il y a eu en France plus d'une centaine de sites d'extraction et de traitement des minerais d'uranium qui ont été progressivement fermés. Aujourd'hui, l'essentiel de l'uranium français provient des mines d'Arlit au Niger.

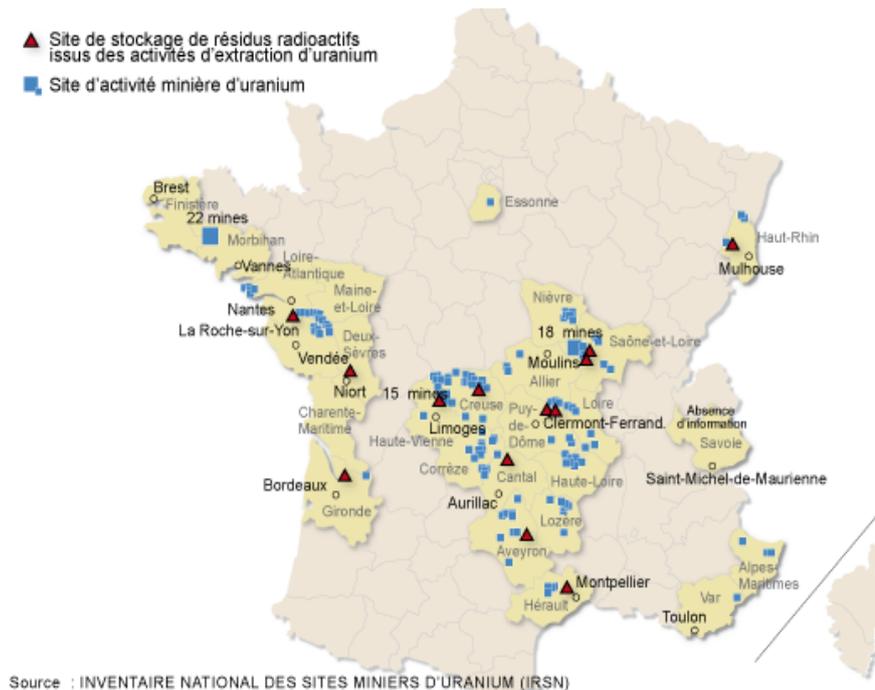
Les réserves mondiales d'uranium récupérables à moins de 40 \$/lb (seuil de rentabilité économique 2010) atteindraient 2500 milliers de tonnes si on excepte le potentiel du Chili et de la Chine. Selon l'AEN, cela permettrait de satisfaire la demande mondiale actuelle supposée stable pendant au moins un siècle.

La demande en uranium connaît un pic dans les années 1950 pendant la course aux armements entre les Etats Unis et l'URSS. Elle reprend dans les années 1970 avec le démarrage du nucléaire civil. Elle se stabilise au début des années 1980 lorsque la plupart des centrales sont construites. La pression des groupes d'opinion antinucléaires accentue cette tendance dès 1986 après la catastrophe de Tchernobyl. Le prix de la livre d'uranium, de 43\$ en 1978, tombe alors à 33\$ en 1981 et atteint son minimum historique à 7\$ en 2001.

L'augmentation du prix des énergies fossiles encourage les Etats à penser au nucléaire comme énergie de substitution, le prix du kWh nucléaire étant économiquement très attractif. Tous ces facteurs expliquent la remontée du cours aux alentours de 110\$/lb d'uranium en 2007. L'accident de Fukushima en mars 2011 ouvre une nouvelle période d'incertitudes avec toutefois une pression accrue de la demande énergétique des pays émergents.

Les mines françaises

A partir de 2003 un programme est mis en œuvre par l'IRSN en collaboration étroite avec AREVA NC. L'inventaire MIMAUSA consiste en un recensement le plus exhaustif possible des sites sur lesquels ont été pratiquées des activités en lien avec l'exploration, l'extraction ou le traitement du minerai d'uranium en France métropolitaine. Objectif confirmé par la loi .L'article 4 de la loi du 28 juin 2006 mentionne que les installations de stockage de résidus miniers issus des anciennes installations d'extraction et de traitement de minerais d'uranium, qui sont régies par le titre 1er du livre V du code de l'environnement, doivent faire l'objet d'un plan de surveillance renforcé.

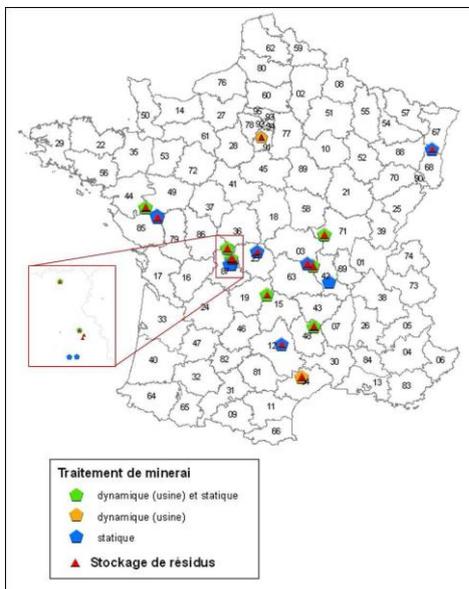


En France, 210 sites d'extraction d'uranium ont été exploités sur 25 départements. Plus de 70 000 tonnes d'uranium ont été extraites entre 1946 et 2001. Les principaux gisements se situaient dans le Limousin, le Forez, la Vendée, la Lozère et l'Hérault. En fonction de la profondeur du gisement, le minerai d'uranium était extrait par carrières à ciel ouvert ou par galeries souterraines. Dans tous les cas, l'accès au filon a nécessité l'extraction préalable de roches plus ou moins radioactives appelées stériles (typiquement 10 tonnes de stériles pour une tonne de minerai dans le cas des mines à ciel ouvert et une tonne pour une tonne dans le cas des travaux souterrains). Ces travaux ont favorisé les émanations de poussières radioactives, de radon (gaz radioactif) et la contamination des eaux circulant sur des roches fracturées, dans les galeries de mines, etc...

L'exploitation des mines d'uranium a conduit à la production sur le territoire français de plus de 160 millions de tonnes de déchets radioactifs appelés par convention des « stériles¹⁸ ».

¹⁸ Un terme trompeur puisque leur radioactivité est en général plusieurs dizaines de fois supérieure à la normale et le niveau de radiation au contact peut même être plus de 500 fois supérieur à la normale lorsque des blocs de minerai d'uranium sont mélangés aux stériles.

Au total, 210 sites répartis sur 25 départements ont été concernés par ces activités, avec des conséquences inégales selon l'étendue des activités : exploration minière, extraction de minerais, traitement de minerais (8 sites avec usines), stockage de résidus de traitement (15 sites). Les gisements exploités présentaient des teneurs en uranium relativement faibles (un peu plus de 1000 ppm, soit 1 kg d'uranium par tonne de minerai, c'est-à-dire environ 100 fois moins que les teneurs des gisements actuellement exploités au Canada). Au total, 52 millions de tonnes de minerais extraits des mines françaises ont été traités pour produire 76 000 tonnes d'uranium. Pour disposer de ces 52 millions de tonnes de minerai exploitable, il a fallu extraire du sol environ 200 millions de tonnes de roches dites « stériles », c'est-à-dire présentant des taux d'uranium nuls ou trop faibles pour l'exploitation industrielle. Les gisements se distribuent principalement sur le pourtour du Massif-Central ainsi qu'en Vendée, en Bretagne, en Alsace et, dans une moindre mesure, dans les Alpes et en Aquitaine.



Beaucoup de sites sont de petite taille et ont produit de faibles quantités d'uranium. Moins d'une vingtaine de sites ont produit plus de 1000 tonnes. Les plus importants se situaient en Limousin (Haute-Vienne), Languedoc-Roussillon (Hérault et Lozère), Auvergne (Loire, en limite de l'Allier, Cantal) et en Vendée (Deux-Sèvres, Loire-Atlantique, Maine-et-Loire).

8 sites ont accueilli des usines de traitement de minerais¹, dont le rôle était d'extraire et de concentrer l'uranium : Bessines et le Bernardan en Haute-Vienne, le Bosc dans l'Hérault, Gueugnon en Saône-et-Loire, les Bois-Noirs Limouzat dans la Loire, Le Cellier en Lozère, Saint-Pierre dans le Cantal et l'Ecarpière à la limite de la Loire-

Atlantique et du Maine-et-Loire. Des traitements de minerais plus sommaires, limités à une lixiviation des minerais placés en tas sur des aires aménagées, ont eu lieu sur 9 autres sites.

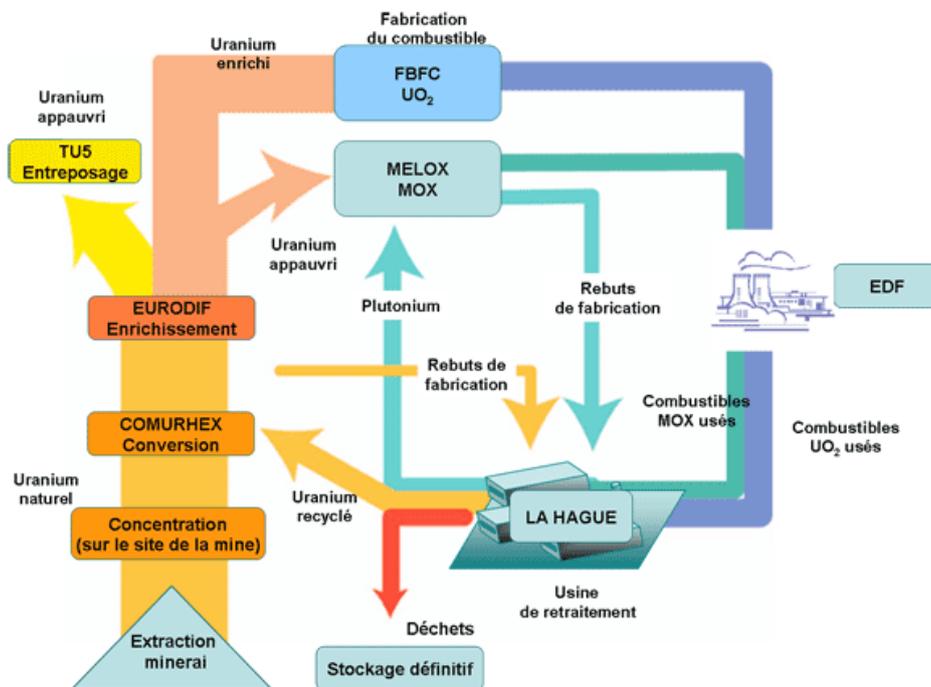
15 sites accueillent des stockages de résidus issus du traitement des minerais : les 8 sites mentionnés ci-avant sur lesquels ont été exploitées des usines ainsi que les sites de Bellezane et Montmassacrot en Haute-Vienne, Bertholène en Aveyron, Rophin dans le Puy-de-Dôme, la Ribière dans la Creuse, La Commanderie à la limite de la Vendée et des Deux-Sèvres et Teufelsloch dans le Haut-Rhin.

Sur les autres sites, l'activité minière s'est limitée à l'extraction du minerai. Selon les caractéristiques des gisements et l'avancée des techniques, l'exploitation s'est faite en mine à ciel ouvert ou en mine souterraine. Pour les plus petits sites, l'exploitation était réalisée en tranchées. Mais du fait du laxisme de la réglementation, ces matériaux ont été « recyclés » pendant des décennies et utilisés comme remblais, parfois même pour des écoles, habitations, locaux industriels. Dans certains cas, les doses subies par le public peuvent être largement supérieures aux limites sanitaires.

Enrichissement de l'uranium

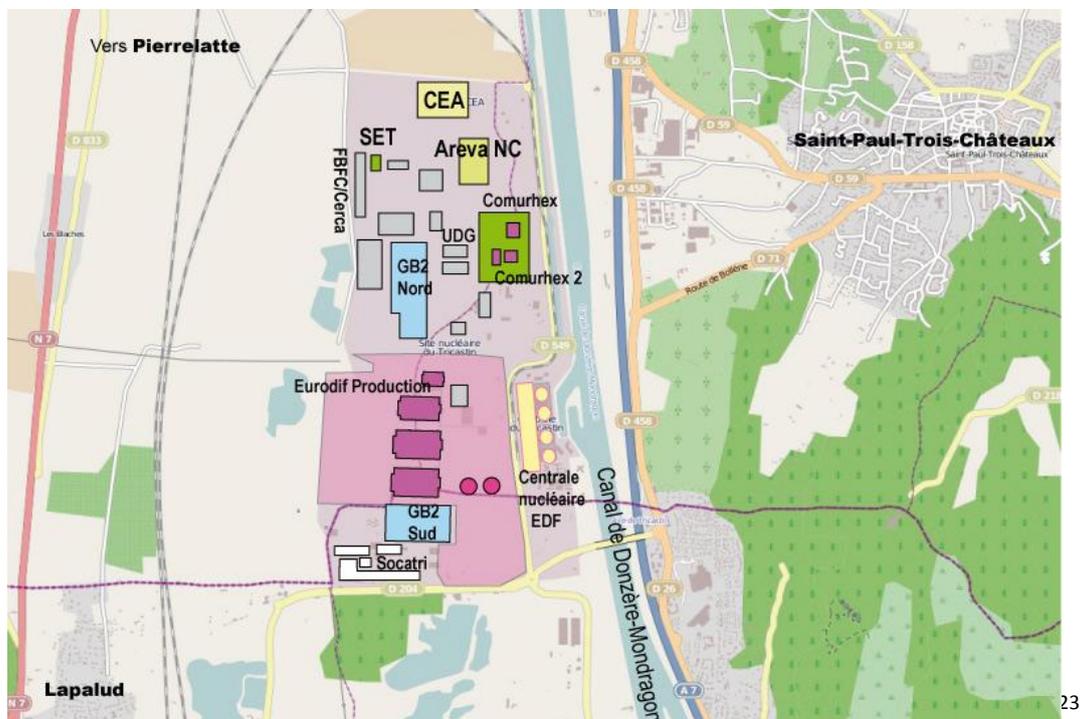
La teneur du minerai en uranium est en général assez faible, il ne peut pas être utilisé tel que dans les réacteurs nucléaires. L'oxyde d'uranium doit d'abord être débarrassé des impuretés par différentes étapes de purification (raffinage). Pour alimenter les réacteurs nucléaires, il faut disposer d'un combustible dont la proportion d'uranium 235 se situe entre 3 et 5%, car seul cet isotope de l'uranium peut subir la fission nucléaire libératrice d'énergie. Or, dans 100 kg d'uranium naturel, il y a 99,3 kg d'uranium 238 et 0,7 kg d'uranium 235, soit 0,7 % seulement d'uranium fissile. L'opération consistant à augmenter la proportion d'uranium 235 est appelé « *enrichissement* ». Deux technologies sont déployées industriellement, le procédé historique de diffusion gazeuse et le procédé d'ultracentrifugation.

L'enrichissement vient immédiatement après la transformation du minerai d'uranium sur le site minier sous une forme concentrée, le « *yellow cake* » (UO_3). En France, l'Uranium naturel est d'abord pris en charge par une filiale d'AREVA la COMURHEX¹⁹. Dans sa première usine de **Malvési** dans l'Aude, cette entreprise purifie l'uranium et le transforme en *tétrafluorure* d'uranium, UF_4 . Ce nouveau produit est ensuite acheminé dans l'usine de Pierrelatte sur le site du Tricastin où il est concentré sous forme d'*hexafluorure* d'uranium, UF_6 (raffinage).



¹⁹ **Comurhex** (pour Conversion Métal URanium HEXafluorure) est une filiale française d'Areva qui traite le quart de la production mondiale d'uranium et la quasi-totalité de l'uranium consommé en France. Elle exporte plus de la moitié de sa production en Asie, aux USA et en Europe et représente environ 600 emplois directs. Avec sa capacité annuelle de 14 000 tonnes d'uranium, COMURHEX est le premier convertisseur du monde occidental.

L'UF₆ part ensuite pour être enrichi par Eurodif, société implantée elle aussi sur le site du Tricastin²⁰. Une première usine inauguré en 1979, George Besse I²¹, a mis en œuvre la technologie de *diffusion gazeuse* pour enrichir l'hexafluorure d'uranium (UF₆) qui a la propriété d'être gazeux à partir de 56°C. Cette *diffusion gazeuse* consiste à faire passer l'UF₆ à l'état gazeux à travers une multitude de « barrières » qui sont des membranes percées de trous minuscules. Les molécules d'hexafluorure d'U₂₃₅, plus légères que celles d'hexafluorure 238, traversent un peu plus rapidement chaque barrière, ce qui permet d'enrichir peu à peu l'uranium. Mais étant donné la masse très voisine des deux isotopes, le ralentissement de l'uranium 238 est très faible par rapport à celui de l'U₂₃₅. C'est pourquoi, dans l'usine d'enrichissement d'uranium, l'opération doit être répétée 1 400 fois pour produire un uranium assez enrichi en U₂₃₅ utilisable dans des centrales nucléaires classiques²².



²⁰ Fort de l'expérience acquise avec l'usine militaire de Pierrelatte et devant la nécessité de disposer d'une telle installation d'enrichissement pour développer un programme nucléaire autonome, le Président Georges Pompidou propose fin 1969, à La Haye, aux pays européens intéressés de s'associer à des études de faisabilité d'une usine d'enrichissement de taille internationale. Un accord est signé avec les principaux pays européens à Paris, le 25 février 1972, pour former une association qui, sous le nom d'Eurodif, avait pour mission d'étudier « les perspectives économiques liées à la réalisation, en Europe, d'une usine d'enrichissement de l'uranium par le procédé de diffusion gazeuse, compétitive sur le plan mondial ». En 1979, l'usine passe sous le contrôle de la Cogema, devenu aujourd'hui AREVA NC.

²¹ <http://www.20minutes.fr/ledirect/945523/areva-tente-tourner-page-fukushima-nouvelle-usine-tricastin>
http://www.lesechos.fr/entreprises-secteurs/energie-environnement/diaporama/DIAP060612635_DA1FD0-tricastin-d-eurodif-a-georges-besse-ii-331375.php?id_rub=0&id_sous_rub=0&auto=0&id_photo=30515

²² Un réacteur de 900 MW consomme annuellement environ 100 000 UTS/an, à raison de 5 UTS/kg d'uranium enrichi à 3,7 % à partir de 8 kg d'uranium naturel.

²³ En 2001, l'usine a produit 2.165 tonnes d'UF₆ enrichi à partir de 18.194 t d'UF₆ « naturel » fourni par l'usine Comurhex (100 % COGEMA) de Pierrelatte.

A cette vieille technologie, AREVA substitue le 7 juin 2012 la technique d'ultracentrifugation²⁴ dans sa nouvelle usine, George Besse II²⁵. Ce principe de séparation utilise une centrifugeuse qui, telle une essoreuse à salade tournant à grande vitesse, projette plus vite à sa périphérie l'hexafluorure d' U_{238} que l'hexafluorure 235 qu'elle contient. La très légère différence de masse entre les deux molécules permet ainsi d'augmenter petit à petit la concentration en U_{235} . Le nouveau procédé nécessite nettement moins d'énergie puisqu'il n'est plus nécessaire de chauffer l' UF_6 à près de 130° comme auparavant. Les capacités de production de la nouvelle usine sont plus faibles que celles de George Besse I (7.5 MUTS contre 10.8) mais pourront à terme être portés à 11 si la demande le nécessite²⁶.

George Besse II représente d'un certain point de vue un procédé moins énergivore dont l'impact environnemental sera moins massif que George Besse I

Quelques comparaisons entre Georges Besse I (Eurodif) et le futur Georges Besse II		
	Eurodif-Georges Besse I Diffusion gazeuse	Georges Besse II Centrifugation
Puissance électrique utilisée	2600 mégawatts	50 mégawatts
Eau prélevée	70 000 m ³ /an (nappe) 26 000 m ³ /an (surface)	40 000 m ³ /an (nappe)
Energie fossile	88 t/an fuel léger, essence 21 000 MWh (gaz naturel)	88 t/an fuel léger, essence

27

Pour autant, les problèmes majeurs posés par la concentration de l' U_{235} restent identiques. Les mêmes problèmes se posent sans que des réponses satisfaisantes aient été apportées jusque là²⁸ :

- que deviennent les déchets de l'enrichissement, où sont-ils censés aller²⁹ ?
- Où entreposer l'uranium appauvri ?
- Où iront les tonneaux de fluorine provenant de la défluoration de l' U_{238} appauvri et qui contiennent de l'uranium ?

Force est de reconnaître que l'enrichissement pose plus de problèmes qu'il n'apporte de solutions pérennes...

²⁴ http://www.wise-paris.org/index_f.html?/francais/nosbreves/annee_2002/nosbreves021018c.html&/francais/frame/menu.html&/francais/frame/bandeau.html

²⁵ <http://www.enviro2b.com/2012/06/07/tricastin-eurodif-a-larret-georges-besse-ii-prend-le-relais/>

²⁶ L'unité de travail de séparation (UTS, en anglais Separative Work Unit SWU) correspond au travail nécessaire à la séparation d'un kilogramme d'uranium en deux lots de teneur isotopique différente (exemple : U_{238} à U_{235}). Une mesure d'UTS est proportionnelle à la quantité de matière traitée (uranium) et à la quantité d'énergie nécessaire pour obtenir la séparation (en kwh). Elle est fonction du taux d'enrichissement et de la qualité recherchés, déterminés par la teneur de résidus d'uranium appauvri issu de la séparation (variable entre 0,15 à 0,35 % environ).

²⁷ http://www.dissident-media.org/stop_nogent/107_george_besse.html

²⁸ http://cpdp.debatpublic.fr/cdpd-gbesse2/docs/pdf/dossier_mo/dossier.pdf

²⁹ s'il y a un enrichissement de l'uranium d'une part, il reste bien évidemment de l'uranium appauvri d'autre part : la conversion de 8 kg d'uranium naturel à 0,71% d' U_{235} , produit 1 kg d'uranium enrichi à 3,7% et 7 kg d'uranium appauvri (UA) à 0,25%.

Areva s'enrichit d'une usine dernier cri

Par GUILLAUME MAINCENT, AU TRICASTIN - Publié le 23 avril 2009 | [L'Usine Nouvelle n°3144](#)³⁰

Au Tricastin, l'usine Georges Besse II, qui enrichira l'uranium des centrales nucléaires avec une nouvelle technique, a reçu ses premières centrifugeuses. Reportage « secret défense ».

Areva est en train d'écrire une nouvelle page de son histoire au Tricastin pour les cinquante prochaines années. » Casque personnalisé sur le chef, Gérard Perrat n'est pas peu fier. Le directeur de la Société d'enrichissement du Tricastin (SET), filiale d'Areva NC, la branche « combustible » du groupe nucléaire français, s'apprête en effet à réceptionner sur ce site, à cheval sur les départements de la Drôme et du Vaucluse, une usine de 3 milliards d'euros inaugurant une nouvelle technologie d'enrichissement d'uranium, dite de centrifugation. Ce site accueille aussi une centrale nucléaire d'EdF et plusieurs activités du cycle du combustible.

Le procédé que développe Areva succède à la technique de la diffusion gazeuse appliquée depuis trente ans sur l'unité voisine d'Eurodif, appelée Georges Besse I, du nom de son premier patron. La nouvelle usine de la SET portera le nom de Georges Besse II, ou « GB II ». Un « GB III » est même déjà évoqué aux Etats-Unis, maintenant qu'Areva a toute latitude pour utiliser un procédé qui fut longtemps chasse gardée de son concurrent Urenco.

Au Tricastin, le passage de témoin s'étalera sur sept ans. L'unité dite « sud » de GB II doit démarrer dans six mois, en attendant l'unité nord, puis l'arrêt de GB I. Le tout à iso-production : de quoi alimenter une centaine de réacteurs.

Badge à la veste et masque à gaz en bandoulière, le visiteur commence par apprendre que les deux énormes tours aéroréfrigérantes qu'il contourne avant d'accéder au chantier desservent non pas la centrale nucléaire qu'exploite EdF, en face, mais bien Georges Besse I, juste à côté. Car, l'antique procédé de diffusion gazeuse d'Eurodif a ses caprices : il ne fonctionne qu'à 130 °C, tandis que GB II se contentera de la température ambiante.

Cette exigence fait de lui un procédé très énergivore, défaut qui est à l'origine de son abandon. « Pour séparer l'uranium 238 et son isotope U235, celui qu'on recherche pour produire du combustible et en faire passer la teneur de 0,7 à 5 %, Eurodif transforme le mélange en gaz et le pousse dans une succession de barrières en céramique d'où ne s'échappe que le 235. Cette opération mobilise beaucoup d'énergie : 3 000 MW à pleine capacité, cinquante fois plus que la centrifugation attendue sur GB II », explique François-Régis Lhomme, le responsable du site. Au point que trois des quatre réacteurs nucléaires voisins lui sont dédiés. Et de parvenir à cette situation ubuesque : la centrale nucléaire fournit de l'énergie à l'usine qui lui prépare son combustible !

Le visiteur désireux d'en savoir plus sur les coulisses de GB II se heurte vite à un obstacle : le secret. Pour se protéger de la concurrence et surtout de la malveillance, Areva est peu disert. Certes, le principe physique de la centrifugation est connu (en tournant dans un « bol » cylindrique mis en rotation, les atomes d'uranium se séparent entre lourds et légers), de même que l'agencement en cascade (l'opération est reproduite plusieurs fois pour progressivement affiner la séparation). Le tout en silence, et bien plus rapidement que les « plusieurs mois » que met le mélange à s'enrichir sur GB I au fil de ses 1 400 passages en barrière de diffusion. Mais impossible de connaître le nombre de centrifugations par cascade, et a fortiori d'admirer le premier hall tout juste équipé de ses grands bols en métal importés d'Allemagne et des Pays-Bas. « Le bâtiment sud comptera 64 cascades et le nord 48 », indique Gérard Perrat. On n'en saura pas plus.

Autre innovation sur GB II : l'automatisation des « accostages », ces opérations où les citernes d'uranium à enrichir libèrent leur mélange ou, à l'inverse, se chargent des fractions purifiées, uranium enrichi d'un côté (quais d'accostages rouges), appauvri de l'autre (quais jaunes). Gérard Perrat a fait ses calculs : GB II emploiera 450 personnes, trois fois moins que GB I, dont un tiers des effectifs ira sur GB II, un tiers démantèlera GB I et un tiers partira en retraite. Le Tricastin écrit bien une nouvelle page de son histoire, mais avec moins d'hommes. .

³⁰ <http://www.usinenouvelle.com/article/areva-s-enrichit-d-une-usine-dernier-cri.N66054>



Le fait est que ces installations nucléaires non seulement produisent le combustible nucléaires mais une quantité conséquente de déchets radioactifs qu'AREVA est bien en peine de tous qualifiés de matières valorisables... et même de maîtriser !

20/11/2009 : Midi Libre - Comurhex-Areva : cinquante bougies et des déchets encombrants

L'usine de traitement d'uranium de Malvési célèbre son anniversaire et se prépare à franchir une étape importante de son existence avec le lancement du plan Comurhex II visant à la modernisation et l'extension du site. Pourtant, à l'heure des réjouissances, des ombres demeurent au tableau.

Cinquante bougies sur le gâteau et plus de 300 000 m³ de boues contaminées bien embarrassantes.

La Comurhex - filiale d'Aréva, le géant français du nucléaire - célèbre ce vendredi, son demi-siècle de présence en terre narbonnaise. Mais ce soir, en l'abbaye de Fontfroide, la photo souvenir, les petits fours, le repas de gala et les amabilités de circonstance auront bien du mal à dissimuler... le "cadavre dans le placard". Et quel "cadavre" : les bassins B1, B2 et B3 - autrefois destinés au lagunage des effluents - qui renferment « des radioéléments artificiels issus de la période allant de 1963 à 1980 » Période durant laquelle Comurhex recevait de l'uranium issu du retraitement du combustible usé en provenance des centrales nucléaires.

Un constat rappelé par M. Kueny, membre de l'autorité de sûreté nucléaire (ASN), le 21 avril dernier, lors du comité local d'information et de concertation (Clic) de la Comurhex. Au cours de cette réunion, le représentant du "gendarme" du nucléaire pointait du doigt le fait que « ces bassins ne sont pas uniquement des installations connexes d'entreposage de l'usine actuelle, mais également des bassins d'entreposage de déchets plus anciens (...) Compte tenu des éléments dont dispose l'ASN, les bassins pourraient relever du régime des installations nucléaires de base (INB) ».

Depuis, la procédure de classement a été lancée et présentée aux autorités compétentes en la matière, à savoir les responsables du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) et le ministère de l'Environnement. N'en doutons pas, l'information sera largement relayée au cours de cette soirée anniversaire qui, nous l'avons appris hier, sera finalement "amputée" de la visite de l'usine de Malvési.

Inspection de l'établissement de COMURHEX Pierrelatte

Identifiant de l'inspection : INS-2010-ARECOM-0003

Thème : Déchets, gestion des aires d'entreposage

L'inspection du 24 août 2010 était consacrée à la gestion des déchets produits sur l'établissement de COMURHEX Pierrelatte. Compte tenu du caractère inopiné de l'inspection, la majeure partie de l'inspection s'est déroulée sur le terrain, dans le but de vérifier la conformité des aires d'entreposages de déchets aux études déchets des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et de l'installation nucléaire de base (INB), datant respectivement de mai 2010 et de septembre 2003.

Malgré une amélioration générale de l'état des aires d'entreposage, les inspecteurs ont relevé de nombreux écarts. Ainsi, certaines aires ne sont pas matérialisées ou décrites dans les études déchets, pour d'autres, la nature des déchets entreposés a été modifiée. Le site ne dispose pas non plus de procédures validées d'exploitation de ces aires, à jour. Le référentiel "déchets" (études déchets et procédures qualité) devra être mis à jour dans les meilleurs délais et les évolutions des aires d'entreposage, tracées. Quant à l'étude déchets de l'INB, elle devra être mise à jour et envoyée à l'ASN à l'occasion de l'envoi du dossier de demande de mise à l'arrêt et de démantèlement de l'INB (MAD-DEM). Enfin deux fûts de fluorines très fortement dégradés ont été découverts sur les aires d'entreposage. Cette inspection a donné lieu à deux constats d'écart notables, l'un pour l'obsolescence du référentiel de la gestion des déchets et l'autre pour la présence de deux fûts dégradés sur une aire d'entreposage extérieure. L'ensemble de ces conclusions devra faire l'objet d'un plan d'actions vigoureux de la part de COMURHEX, dont l'avancement régulier devra être présenté à l'ASN.

L'uranium appauvri une épine dans le pied de la filière nucléaire

L'uranium appauvri est produit au cours du processus d'enrichissement de l'uranium. Ce processus met en œuvre de l'uranium sous forme d'hexafluorure. Pour faciliter son entreposage, celui-ci fait donc l'objet d'une défluoration, où il est transformé en sesquioxyde stable dit « U₃O₈ appauvri ». Cette défluoration est effectuée à l'usine W d'AREVA sur le site du Tricastin.

L'UA se présente sous la forme d'une poudre gris-noir, peu radioactive, de densité 2 à 3,7 suivant son compactage. Cette poudre, stable jusqu'à 1 300°, incombustible, non corrosive et insoluble, est tout à fait comparable à l'oxyde d'uranium naturel présent dans les gisements exploités.



L'Uranium appauvri, en attendant sa valorisation, est conditionné dans des conteneurs métalliques scellés, de type **DV70**, dits « cubes verts », d'une contenance moyenne de l'ordre de 7 t.

En France, l'entreposage est optimisé en envoyant ces conteneurs sur deux destinations différentes :

- par voie ferrée sur le site d'AREVA à Bessines pour entreposage. Cet entreposage se fait dans des bâtiments dédiés, les conteneurs DV70 étant empilés sur trois niveaux.
- Sur le site du Tricastin, soit dans des bâtiments dédiés, soit dans des bâtiments d'entreposage de l'uranium de recyclage où ils contribuent à l'atténuation du débit de dose gamma issu de l'uranium de recyclage. Ces barrières sont constituées de trois rangs de DV70, sur trois niveaux, et sont disposées le long des parois des bâtiments d'entreposage de l'uranium de recyclage.

AREVA a transféré la technologie de défluoration de l'uranium appauvri à la Russie et a construit une installation industrielle pour le combinat de Zelenogorsk (Russie), d'une capacité de 10 000 t UF₆/an. Le début de la production est programmé dans les mois qui viennent.

Pour l'année 2008 :

- La production d'UF₆ appauvri par Eurodif Production a été d'environ 12500 t. 6000 t d'UF₆ appauvri ont été vendues et expédiées à AtomEnergProm (Russie).
- le groupe AREVA a reçu, en provenance de différents pays de la communauté européenne, 5 790 t d'UF₆ appauvri pour défluoration.
- 10 900 t ont été défluorées et transformées en U₃O₈ sur l'usine W du Tricastin.

- Après défluoration, 2 713 tU ont été retournées aux clients sous forme d'U₃O₈
- 5 312 t d'U₃O₈ ont été expédiées du site du Tricastin vers Bessines pour entreposage.

Par ailleurs 114 tU ont été envoyées à MELOX pour mise en œuvre dans le cadre de la fabrication de combustible MOX

Inventaire détenu par AREVA

Fin.2008 l'inventaire d'uranium appauvri détenu par AREVA était de l'ordre de 261 000 t U, réparti sur les sites suivants³¹ :

sites	U tML-2008
Bessines	100 400
Tricastin	158 400
Malvesi (COMURHEX)	1 800
La Hague	200
Marcoule (MELOX)	100
Romans (FBFC)	100
Total	261 000

A cet UA classique on doit cependant ajouter L'uranium de recyclage (URT) est produit au cours du processus de traitement des combustibles usés, à La Hague.



L'uranium de recyclage se trouve sous forme de nitrate d'uranyle à la sortie de l'usine de La Hague. Pour faciliter son entreposage, celui-ci fait donc l'objet d'une dénitration et d'une oxydation, où il est transformé en sesquioxyde stable «U₃O₈». Cette étape de conversion est aujourd'hui effectuée à l'usine TU5 d'AREVA située sur le site du Tricastin. Le sesquioxyde d'uranium se présente sous la forme d'une poudre gris-noir, de densité 1,75 environ. Cette poudre, stable jusqu'à 1 300°C, est incombustible, non corrosive et insoluble.

L'uranium de recyclage est conditionné sous forme d'oxyde d'uranium U₃O₈ dans des conteneurs métalliques de 220 L, d'une contenance moyenne de l'ordre de 250 kg d'Uranium. Ces conteneurs sont entreposés dans des bâtiments spécifiques sur le site du Tricastin et représentent 22 530 t ML auxquelles ont doit ajouter 480 tML conservées à La Hague. Selon les pratiques du marché international, l'uranium appauvri issu des opérations d'enrichissement reste propriété des enrichisseurs. En France, AREVA en est donc le propriétaire. Cette matière est dite appauvrie, mais contient encore de l'uranium 235 à une teneur de l'ordre de 0,3 %.

³¹ http://www.hctisn.fr/IMG/pdf/annexe6_3_areva_cor_arv_shs_dir_09-046_cle8A972F.pdf

Utilisations de l'Uranium appauvri

Plusieurs usages de cette matière sont possibles³² :

1. l'uranium appauvri est utilisé pour la fabrication de combustible MOX dans l'usine MELOX située à Marcoule dans le Gard. Ce flux représente environ une centaine de tonnes par an.
2. en fonction des conditions technico-économiques du moment, il peut être intéressant de ré-enrichir de l'uranium appauvri, en particulier lors de la hausse du cours de l'uranium naturel.



La MOX de Bessines en 1962

A titre d'exemple, en 2008, environ 7700 tU d' U_3O_8 appauvris ont ainsi été réexpédiées de Bessines sur Malvesi pour conversion avant ré-enrichissement. A la fin de l'année 2008, 6146 tU avaient été reconverties en UF_6 pour pouvoir être introduites dans l'usine d'Eurodif Production selon AREVA... ces chiffres restent à vérifier.

Selon le CEA l'évolution des techniques d'enrichissement, notamment avec la centrifugation, permettra, aux conditions économiques adéquates, de ré-enrichir des appauvris de teneurs plus basses. Ainsi, l'ANDRA prévoit que, au cours des prochaines décennies, l'ensemble des stocks actuels d'uranium appauvri sera mobilisé pour ré-enrichissement. Le rythme dépendra à la fois du prix de marché de l'uranium naturel et des capacités industrielles. Ces opérations pourront s'étager sur 30 à 50 ans, durée semblable à celle de la constitution des stocks actuels.

Mais la principale solution envisagée est l'emploi de cet uranium par les **surgénérateurs**. La prochaine génération de réacteurs nucléaires à neutrons rapides, attendue après 2050, permettra de valoriser pleinement l'uranium appauvri et donc de les « recycler ». Les stocks d'Uranium appauvri représentent donc une réserve stratégique considérable aux yeux de l'Etat.

³² Sans parler des usages à vocation militaire au sujet desquels nous avons peu d'information : « L'usine militaire de Pierrelatte, qui enrichissait à environ 93 % créait plus d'uranium appauvri par tonne d'uranium traitée - 211,671 kg par 212,672 kg traités, selon le CDRPC. En utilisant les chiffres de production déjà cités - entre 20 et 30 t UHE militaire - nous arrivons à une production de 4 233 à 6 350 t d'uranium appauvri. Le CEA et la Cogéma ont-ils utilisé tout cet uranium ? Les entreposages présentés ci-dessus sont seulement destinés à la production d'Eurodif. » Mary Bird Davis 29/08/01
[\[http://www.francenuc.org/fr_sources/sources_unat.htm#III\]](http://www.francenuc.org/fr_sources/sources_unat.htm#III)

La nocivité de l' U_{238}

Les différents isotopes de l'uranium présents dans ces résidus de l'industrie nucléaire sont tous des émetteurs alpha avec des périodes très longues, données dans le tableau ci-dessous ; ils donnent du thorium qui est lui même radioactif... La chaîne de désintégration de l'uranium 238, le plus abondant, est donnée ci-contre. Lors de l'extraction du minerai, l'uranium est séparé de ses descendants, tous présents dans la nature. C'est surtout en cas de contamination que l'uranium est dangereux. Le rayonnement alpha peut être arrêté par une feuille de papier, il est donc facile de s'en protéger. Par contre, lors d'une contamination (ingestion ou inhalation) les tissus humains sont très affectés par l'importante énergie rayonnée. C'est aussi, comme tous les métaux lourds, un toxique chimique.

U_{234} : 245.500 ans

U_{235} : 73.800.000 ans

U_{236} : 23.420.000 ans

U_{238} : 4.468.000.000 ans

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), " les effets de l'uranium appauvri sur la santé sont complexes car ils sont liés à la forme chimique du composé qui pénètre dans l'organisme. Les effets peuvent être chimiques et/ou radiologiques. On ne dispose que d'informations limitées sur les effets sanitaires et environnementaux de l'uranium sur la santé et l'environnement. [...] En ce qui concerne les effets radiologiques de l'uranium appauvri, le tableau se complique puisque la plupart des données connues concernent les effets sur la santé de l'uranium naturel ou enrichi. Les effets sur la santé dépendent des modalités (ingestion, inhalation, contact ou lésions) et du niveau d'exposition, ainsi que des caractéristiques de l'uranium appauvri (taille et solubilité des particules)."

" L'organisme humain contient en moyenne 90 mg d'uranium provenant de l'absorption naturelle d'aliments, d'air et d'eau. On en trouve environ 66 % dans le squelette, 16 % dans le foie, 8 % dans les reins et 10 % dans les autres tissus." Afin de rassurer la population, il est souvent affirmé que l'uranium appauvri est environ 40% moins radioactif que l'uranium naturel que l'on trouve partout dans l'environnement. En effet, la période de l'uranium 238 étant beaucoup plus longue que celle de l'uranium 235, il se désintègre moins vite et est donc moins radioactif, mais dans la nature, on ne trouve pas de l'uranium pur. Le minerai extrait des mines françaises ne contient que 0,5% d'uranium et celui des mines canadiennes, les plus riches, entre 4 et 8%. Quant à l'écorce terrestre, elle contient en moyenne 3g d'uranium par tonne. L'uranium appauvri est donc beaucoup plus radioactif que notre environnement. Et l'uranium de retraitement, du fait de la présence d'impuretés radioactives, est encore plus radiotoxique.

L'activité massique de l'uranium 238 pur peut être aisément calculée à partir de sa période : 12.400.000 Bq/kg. Mais le thorium 234 obtenu se désintègre rapidement (24 jours de période) en protactinium 234 puis en uranium 234 (1,2 minute de période) par émissions bêta successives. L'uranium 234 a ensuite une période radioactive très longue, on peut donc estimer dans un premier temps que la chaîne s'arrête là.

En fait, pour calculer l'activité de l'uranium appauvri, c'est à dire le nombre de désintégrations par seconde, il faut aussi tenir compte de ces deux descendants, ce qui donne une activité environ trois fois supérieure : 37.300.000 Bq/kg. En ajoutant la contribution des autres éléments présents, on arrive à 39.000.000 Bq/kg pour l'uranium appauvri. Pour calculer la radioactivité du site de Bessine, la Cogéma ne tient compte que de l'uranium et ignore ses descendants, évitant ainsi que le site soit classé en Installation Nucléaire de Base (INB) dont la législation est plus stricte. Ce mode de calcul a reçu la bénédiction du conseil d'Etat, malgré l'avis défavorable de la commission d'enquête publique...

L'ingestion d'un gramme d'uranium 238 conduit à une dose de 0,57 mSv et l'inhalation à 99 mSv. Pour le plutonium dont on trouve des traces dans l'uranium de retraitement, ces doses sont de un à trois million de fois plus élevées. L'ingestion de 1,8 g d'uranium 238 par an ou l'inhalation de 0,01 g/an conduit à la limite annuelle pour la population qui est de 1 mSv par an. Dans la pratique, il faut aussi tenir compte d'autres voies d'exposition à la radioactivité du fait qu'il peut y avoir à la fois ingestion et inhalation. Ces chiffres sont donc des limites supérieures à ne pas atteindre.

Pour ce qui est de la toxicité chimique, l'OMS explique que " l'uranium entraîne des lésions rénales chez l'animal de laboratoire et certaines études font apparaître qu'une exposition à long terme pourrait avoir des conséquences sur la fonction rénale chez l'être humain. Les lésions observées sont les suivantes : modifications nodulaires de la surface des reins, lésions de l'épithélium tubulaire et augmentation de la glycémie et de la protéinurie."

"Par ingestion orale : Le niveau de risque minimum est lié à cette ingestion par voie orale et pour une introduction de 1 µg d'uranium par kilo de poids et par jour. Autrement dit, pour un individu pesant 70 kg, le risque minimal chronique correspond à une dose de 26 mg par an (ATSDR 1977). Zamora 1998 a présenté une étude sur les effets chimiques induits par une ingestion chronique d'uranium appauvri dans l'eau de boisson. Ce groupe humain a bu de l'eau contenant de l'uranium appauvri à la dose de 2 à 781 µg/litre (ce qui correspond à une dose comprise entre 0.004 et 9 µg/kg de poids et par jour). Sa conclusion est: "ces investigations sont en faveur, à condition qu'il s'agisse d'une période chronique importante d'ingestion d'uranium, d'une interférence sur la jonction rénale".

Par inhalation : Stokinger et alii en 1953 ont étudié les inhalations chroniques d'uranium appauvri sur des chiens. Cela a montré qu'une concentration d'uranium de 0.15 mg/m³ dans l'air ne produit pas d'effet observable. C'est à partir de cette expérimentation que l'on a déduit ce que l'on appelle le risque minimal par inhalation chez les humains et qui a été estimé à 1 µg/m³ et à partir duquel on a fait dériver dans un premier temps toutes les valeurs minimales acceptables en ce qui concerne ce radiotoxique."

Fiche technique de l'ACRONIQUE du nucléaire n°52, mars 2001.

<http://www.acro.eu.org/fiche52.html>

L'assemblage des barres de combustible

Le **site nucléaire de Romans** est un site industriel situé dans la commune de Romans-sur-Isère dans le département de la Drôme, situé à 18 km au nord-est de Valence. Il occupe une superficie d'environ 30 hectares et regroupe les usines de production de deux sociétés, CERCA et FBFC, toutes deux filiales à 100% du groupe Areva³³ et spécialisées dans la fabrication d'assemblages de combustibles destinés respectivement aux réacteurs électronucléaires et aux réacteurs de recherche.

Après enrichissement, l'hexafluorure d'uranium est converti en oxyde d'uranium sous la forme d'une poudre noire. Celle-ci est comprimée puis frittée (cuite au four) pour donner des petits cylindres d'environ 1 cm de long et gros comme des petits morceaux de craie, appelés « pastilles ». Les pastilles (environ 300) sont enfilées dans de longs tubes métalliques de 4 m de long en alliage de zirconium, les « gaines », dont les extrémités sont bouchées de manière étanche pour constituer les « crayons » de combustible.

Les crayons sont maintenus dans une structure métallique (le squelette) réalisée le plus souvent en alliage de zirconium et liés en "faisceaux" de section carrée pour constituer un **assemblage de combustible**. Chaque assemblage comporte 264 crayons. Pour une centrale, plus de 40 000 crayons sont préparés pour être rassemblés en « faisceaux » de section carrée, appelés assemblage du combustible.

Selon les types de centrales, le cœur du réacteur comprend :

- entre 157 et 250 assemblages combustibles pour les réacteurs à eau pressurisée.
- Celui des réacteurs EPR™ en contient 265.
- entre 400 à 800 pour les réacteurs à eau bouillante (Fukushima).

³³ Depuis l'arrêt des opérations de fabrication de combustibles dans son usine à Pierrelatte, la FBFC exploite deux usines –Romans et Dessel (Belgique). L'usine de Romans réalise la totalité du processus de fabrication du combustible pour réacteurs à eau pressurisée. L'uranium mis en œuvre est limité à un enrichissement de 5 % en uranium 235.

Une chaîne de fabrication complète est destinée à l'uranium du retraitement. Elle a été mise en service en 1994 ou 1995 et présente une capacité supérieure à 150 t/an d'uranium. La DSIN autorise l'utilisation de l'uranium issu du retraitement (URT) au rythme d'une campagne à la fois Le 7 août 2000, FBFC a reçu une autorisation à caractère générique pour la fabrication du combustible à base d'URT.

L'usine est habituellement approvisionnée en uranium sous forme de cristaux d'hexafluorure d'uranium, qui sont transformés en poudre (pour la production de pastilles d'UO₂) par une étape gazeuse (voir Fabrication du Combustible à base d'uranium). En 1998, la DSIN a autorisé FBFC à entreprendre une campagne de fabrication de pastilles d'UO₂ à partir d'une poudre d'UO₃.

Le décret no. 2006-329 du 20 mars 2006 qui portait la capacité annuelle de production à 1800 t par an pour l'atelier de conversion et 1400 t par an pour les lignes de pastillage, de crayonnage, et d'assemblage, a autorisé, à titre exceptionnel, des opérations d'assemblage de crayons combustibles contenant de l'oxyde de plutonium. "Chacune de ces opérations est subordonnée à une autorisation particulière des ministres chargés de l'industrie et de l'environnement."

Un assemblage de combustible peut contenir de 200 à 500 kg de matière fissile, en fonction du type d'assemblage. Il est constitué de crayons contenant cette matière fissile et d'un cadre métallique, le "squelette", généralement fabriqué en alliage de zirconium, composé de tubes-guide, de grilles de maintien et d'embouts d'extrémité.



Pour une centrale, plus de 40000 crayons sont préparés pour être rassemblés en "fagots" de section carrée, appelés assemblages de combustible. Chaque assemblage contient 264 crayons. Le chargement d'un réacteur nucléaire de 900 mégawatts (millions de watts) nécessite 157 assemblages contenant en tout 11 millions de pastilles (670 kg dont 460 d'uranium). Les réacteurs de 1 300 MW quand à eux sont chargés avec 193 assemblages légèrement plus volumineux même s'ils comptent le même nombre de crayons (765 kg dont 538 d'uranium).

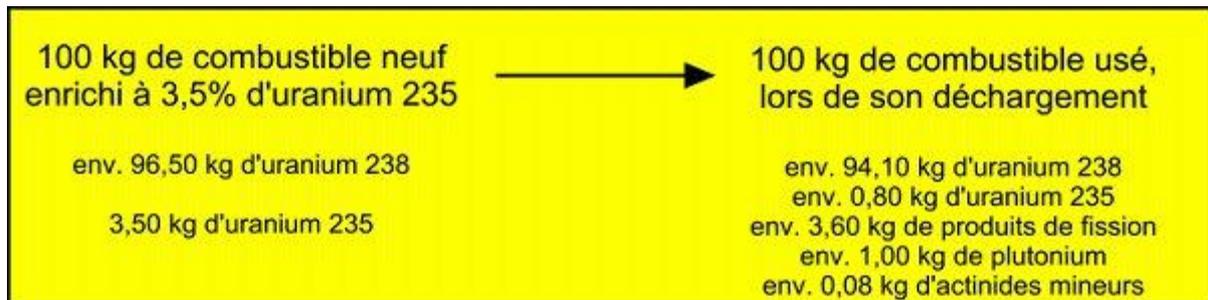
La transformation du combustible dans les réacteurs nucléaires

Généralités

Les assemblages de combustible, disposés selon une géométrie précise, forment le cœur du réacteur. Chacun va y séjourner pendant trois ou quatre ans. Durant cette période, la fission de l'uranium 235 va fournir la chaleur nécessaire à la production de vapeur puis d'électricité. En effet, l'uranium 235 est fissile. Cela signifie que, sous l'effet de la collision avec un neutron, son noyau se casse (fissionne) en produits de fission tout en libérant de l'énergie.

En revanche, l'uranium 238, qui représente pourtant 97% de la masse d'uranium enrichi, ne se casse pas lors de l'absorption d'un neutron. Cependant, certains noyaux d'uranium 238 capturent un neutron et se transforment en plutonium 239, lequel est fissile comme l'uranium 235: c'est pourquoi on dit que l'uranium 238 est fertile. Une partie du plutonium 239 peut fournir de l'énergie par fission des noyaux. Une petite partie se transforme aussi en d'autres isotopes du plutonium par capture de neutrons.

Au fil du temps, le combustible va subir certaines transformations qui le rendent moins performant:



Au bout d'un certain temps, le combustible doit donc être retiré du réacteur même s'il contient encore des quantités importantes de matières énergétiques récupérables, notamment l'uranium et le plutonium. Ce combustible utilisé est également très radioactif en raison de la présence des produits de fission. Les rayonnements émis par ces atomes radioactifs dégagent beaucoup de chaleur et, après son utilisation, le combustible utilisé est donc entreposé dans une piscine de refroidissement près du réacteur pendant trois ans pour laisser diminuer son activité.

Quelques précisions techniques

La fission de chaque noyau d' U_{235} ou de Pu_{239} donne naissance à deux nouveaux noyaux donne naissance à deux nouveaux noyaux de masse inégale qui possède une forte radioactivité β .

Chaque produit de fission devient le chef de fil d'une série de descendants possédant tous le même nombre de masse et qui se succèdent avec des périodes allant généralement en croissance jusqu'à ce que l'un d'eux soit stable. La concentration relative des différents produits de fission dans le combustible dépend du flux neutronique, de la durée d'irradiation et de la demi-vie de chacun d'eux. Après un certain temps d'irradiation on trouve dans le combustible à peu près tous les éléments du milieu de la classification périodique. Chacun représenté par plusieurs isotopes et presque toutes les familles chimiques : gaz, métaux, terres rares, etc.

La capture d'un neutron par un atome d' U_{238} produit de l' U_{239} . Cette capture engendre successivement par radioactivité β , deux éléments de numéro atomique supérieur à celui de l'uranium (92) : le neptunium (93) et le plutonium (94). Les processus qui provoquent l'apparition des transuraniens sont les mêmes : capture d'un neutron, qui augmente la masse atomique d'une unité, et radioactivité β , qui fait avancer l'isotope « d'une case » dans la classification périodique sans changer sa masse. Le bombardement neutronique est ainsi à l'origine d'une cascade de nouveaux éléments allant du neptunium au lawrencium (103) et au kourchatovium (104).

La plus grande partie de l'énergie libérée par la fission est emportée par les produits de fission sous forme d'énergie cinétique mais ces fragments de matière sont rapidement ralentis par les atomes d'uranium voisins. Ce freinage se traduit par un déplacement des atomes rencontrés, environ 1000 sur une trajectoire de plusieurs microns. De tels dérangements créent des défauts dans le réseau cristallin et, d'autre part, une fraction importante (environ 15%) des produits de fission qui se forment sont des gaz (xénon et krypton) qui s'accumulent dans les porosités du combustible ou finissent par en sortir par diffusion.

Toutes ces perturbations vont altérer les propriétés physiques du combustible et modifier sa nature : il va se déformer, s'allonger, se gonfler, et toutes ces modifications vont agir sur la gaine et mettre en péril l'élément combustible. Ainsi les phénomènes qui limitent le séjour du combustible dans le réacteur sont de deux ordres :

1. **neutronique** : il faut qu'il reste dans le combustible suffisamment de matière fissile pour que la réaction en chaîne soit entretenue ;
2. **technologique** : il ne faut pas atteindre des taux de combustions tels qu'il y ait une rupture des gaines et donc pollution du circuit par le plutonium et les produits de fissions...

Au moment où le combustible du réacteur, il possède une radioactivité maximum. Il présente alors de très gros risques et ne peut être manipulé qu'à distance.

Le séjour en piscine de désactivation pendant trois années permet de faire décroître cette radioactivité. Ce refroidissement permet de faire disparaître certains noyaux lourds, Np239 et U237, mais surtout des produits de fission à vie courte.



Somme toute la nocivité des combustibles stockés puis expédiés dépend de deux paramètres techniques qui sont au cœur de la gestion des réacteurs nucléaires : la composition du combustible (concentration plus ou moins grande de matière fissile³⁴) et le taux de combustion³⁵ choisi par l'exploitant. On considère généralement qu'un réacteur à eau pressurisée si tant est qu'un tiers du combustible soit renouvelé tous les ans peut garantir un taux de combustion de l'ordre de 30 000 MWj/t.

C'est pour faire face aux risques de l'activité et de la transformation du combustible que la doctrine de sûreté nucléaire a été élaborée. Elle prévoit trois barrières pour garantir l'environnement de toute contamination due à une perte de contrôle du réacteur : les gaines de combustible, le circuit primaire et les dispositifs qui y sont associés et enfin le bâtiment réacteur, ultime barrière de confinement de la radioactivité... le problème est que le combustible entrant en fusion au contact de l'eau peut créer de l'hydrogène et donc des explosions dont la puissance ne peut être contenue par aucune technologie humaine !

³⁴ U₂₃₅, Pu₂₃₉, mais aussi Th₂₃₂...

³⁵ L'unité choisie est le MWj/t considérant qu'un MWj correspond à l'énergie de $2.7 \cdot 10^{21}$ fissions (fission totale d'un gramme d'U₂₃₅). Ne pas confondre ce taux avec le taux de conversion de l'énergie primaire à l'énergie finale. Actuellement, en France, un facteur de 2,58 a été décrété. Cela signifie qu'un $1\text{kWh}_{\text{EP}} = 2,58\text{kWh}_{\text{EP}}$.

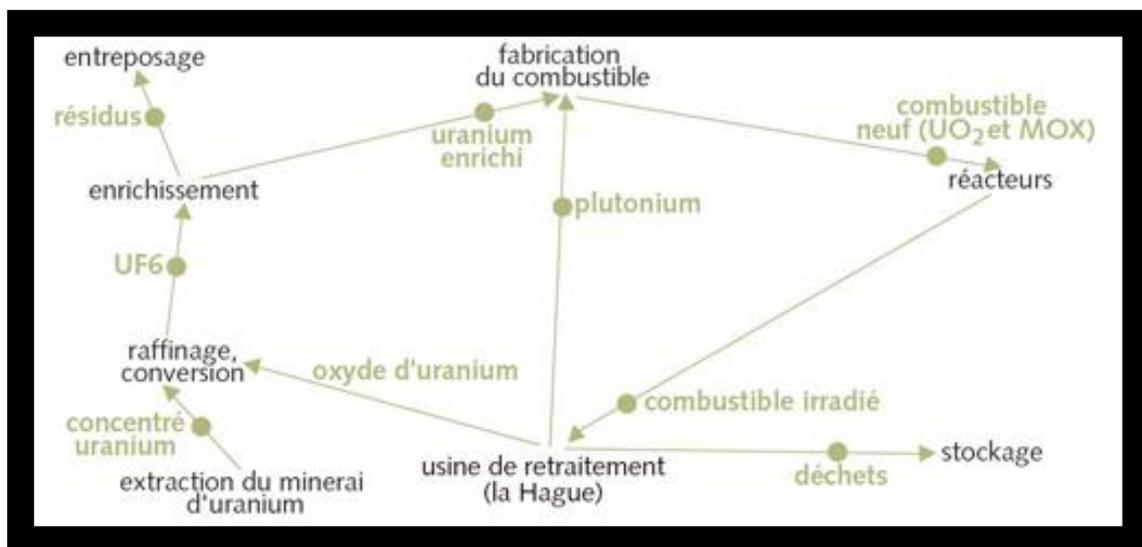
Le transport des matières nucléaires



« Depuis le début du XIX^e siècle, l'uranium est transporté pour participer à la fabrication d'émaux et de porcelaines. Avec la maîtrise des applications de la radioactivité artificielle et de l'énergie de fission, dans les années 1960, le volume de matières radioactives transportées s'est considérablement accru » déclare l'IRSN³⁶.

Le nombre de colis de matières radioactives transportés chaque année dans le monde, pour les besoins de l'industrie, nucléaire ou non, du secteur médical et de la recherche scientifique est estimé à environ 10 millions, ce qui représente moins de 3% de l'ensemble des colis de matières dangereuses transportés

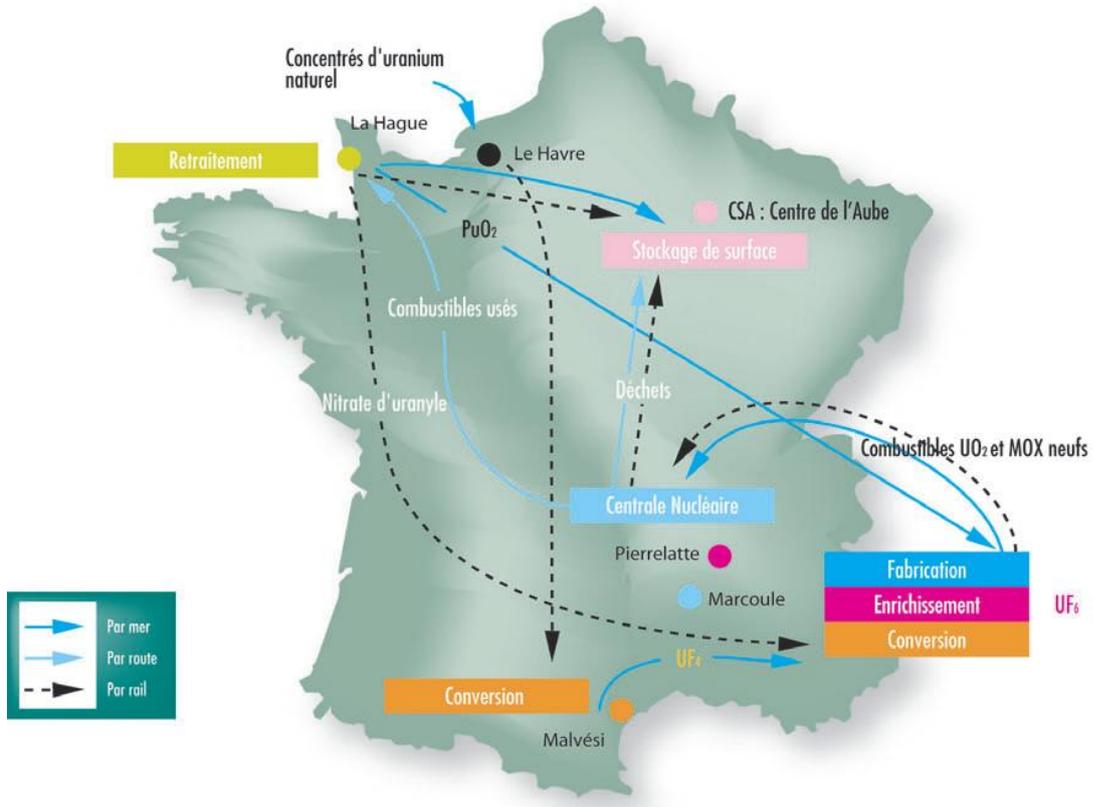
Chaque étape du cycle du combustible nucléaire nécessite le transport de matières radioactives, d'une installation à une autre :



15 millions de colis de marchandises dites "dangereuses" sont transportés chaque année en France. Ces colis sont répartis par la réglementation en différentes "classes" de risques : la classe 1 correspond aux matières et objets explosibles, la classe 3 aux liquides inflammables, la classe 6 aux matières toxiques ou infectieuses, la classe 7 aux "marchandises dangereuses radioactives".

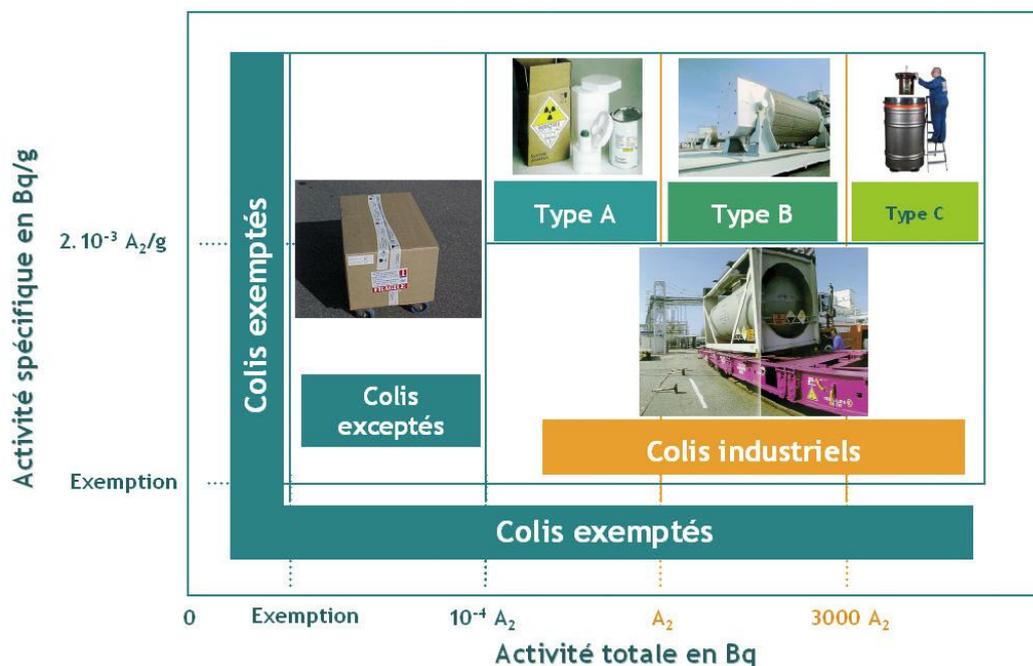
Environ 900 000 colis de substances radioactives sont transportés chaque année : ils représentent une très faible part du nombre total de colis de marchandises dangereuses transportés chaque année sur le territoire français.

³⁶ http://www.irsn.fr/FR/base_de_connaissances/Installations_nucleaires/transport/transport-matiere-radioactive/Pages/1-Pourquoi-le-transport.aspx?dId=cf0298bb-d410-4c85-a897-b562a3ac66b4&dwId=885b1a3b-1ebc-40c8-aa7e-ecc0163b7eda

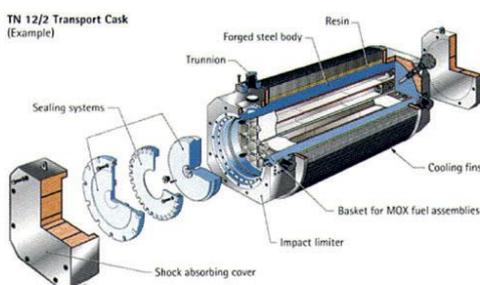


Parmi les colis contenant des substances radioactives, 15 % sont produits par l'industrie nucléaire. On estime à environ 11 000 par an le nombre total de transports nécessaires au pour l'activité des centrales nucléaires, qu'il s'agisse du combustible neuf à base d'uranium (environ 300 transports), du combustible type "Mox" (une cinquantaine de transports par an), du combustible usé provenant des centrales électronucléaires et destiné aux usines de retraitement de La Hague (environ 200 par an, dont une dizaine en provenance de l'étranger), ou encore des transports d'hexafluorure d' ou d'oxyde de plutonium. Un millier de transports (environ 50 000 colis) en provenance ou à destination de l'étranger ont lieu chaque année.

Les déchets nucléaires ne se présentent pas sous une forme simple et unique mais sous différentes formes élaborées : en effet avant transport les déchets sont conditionnés selon l'une ou l'autre des formes agréées par l'ANDRA, en vue de mise au stockage.



Chacun des colis agréés constitue un produit parfaitement spécifié par exemple fût métallique de type colis C0, ou coque béton-fibre CBFC1 ou CBFC2 ou encore caisson béton ou métallique-CBFC. En vue de transport par route ou par rail ces colis sont généralement disposés dans des conteneurs munis de dispositifs adaptés en vue d'un arrimage facile des différents colis et permettant une manutention aisée aux points de rupture de charge.



Les conteneurs de combustibles irradiés et de déchets vitrifiés, dits de type B, sont des matériels très sensibles compte-tenu de la chaleur et de la radioactivité des éléments transportés. Les risques provoqués par de tels transports nationaux et internationaux mobilisant les associations antinucléaires.

Tableau 1 : flux de l'industrie du cycle du combustible⁽¹⁾ en 2011

Installation	Origines	Produit traité	Tonnage (sauf mention contraire)	Produit élaboré	Tonnage (sauf mention contraire)	Destination	Tonnage (sauf mention contraire)
COMURHEX Pierrelatte ⁽²⁾	Installation en arrêt	UO ₂ (NO ₃) ₂ (à base d'uranium de retraitement)	0	UF ₄ UF ₆ U ₃ O ₈	0	Installation en arrêt	0
AREVA NC Pierrelatte Atelier TU5	AREVA NC La Hague	UO ₂ (NO ₃) ₂ (à base d'uranium de retraitement)	2801	U ₃ O ₈	837	Entreposage TU5	837
AREVA NC Pierrelatte Usine W	URENCO EURODIF	UF ₆ (à base d'uranium appauvri)	11181 8205	U ₃ O ₈	8917 6552	Entreposage Usine W	8917 6552
EURODIF Pierrelatte	Convertisseurs et EURODIF Production	UF ₆ (à base d'uranium naturel et appauvri)	6420	UF ₆ (uranium appauvri)	5636	Défluoration et ré-enrichissement de Talls	7281
	Réenrichissement de Talls	UF ₆ (à base d'uranium enrichi)	184	UF ₆ (uranium enrichi)	956	Fabricants de combustible	983
FBFC Romans	EURODIF TENEX URENCO	UF ₆ (à base d'uranium naturel enrichi)	632	UO ₂ (poudre)	194	FBFC, Dessel (Belgique) (Belgique)	194
				Éléments combustibles	387	EDF	387
					52	Tihange+Doel (Belgique)	52
	COMURHEX	UF ₆ (à base d'uranium naturel)	4,5		30	KOEBERG (Afrique de Sud)	30
	AREVA NC	UF ₆ (à base d'uranium naturel enrichi)	74	Éléments combustibles	72	EDF	72
	EURODIF	UF ₆ (à base d'uranium appauvri)	6	Maquettes	0,5	AREVA	0,5
MÉLOX Marcoule	AREVA NC Pierrelatte	UO ₂ (à base d'uranium appauvri)	134,4 ML ⁽³⁾	Éléments combustibles MOX	138,6 ML ⁽³⁾	CNPE EDF	118,1 ML ⁽³⁾
	AREVA NC La Hague	PuO ₂	12,6 ML ⁽³⁾			FBFC-Dessel	12,8 ML ⁽³⁾
AREVA NC La Hague	Réacteurs EDF BORSELLE	Éléments combustibles irradiés UOX + MOX (U+Pu) _{irrit} sur UP3	550,35	Déchets vitrifiés	339 colis CSD-V	Entreposage La Hague	38 colis CSD-V
	BR2 MOL	Éléments combustibles irradiés RTR (U+Pu) _{irrit} sur UP3	0,03	Déchets vitrifiés		Allemagne	301 colis CSD-V
	Réacteurs EDF (U+Pu) _{irrit} sur UP2 800	Éléments combustibles irradiés UOX + MOX	494,63	Déchets vitrifiés	272 colis CSD-V (dont 76 colis CSD-B)	Entreposage La Hague	272 CSD-V 76 colis CSD-B
	Toutes origines	Éléments combustibles irradiés sur UP3 et UP2 800		UO2 (NO3) 2	809,97	AREVA NC Pierrelatte	809,97
				PuO2	12,30	MELOX	150,08
				Déchets compactés	1342 colis CSDC	Entreposage La Hague	1038 colis CSDC
						Belgique, Pays-Bas, Suisse	304 colis CSDC
	Réacteurs EDF, TRINO, BORSELLE	Éléments combustibles irradiés UOX/MOX (U+Pu) _{irrit}				Éléments déchargés en piscine	1243,75
	CELESTINS, OSIRIS et ILL	Éléments combustibles irradiés RTR (U+Pu) _{irrit}					

(1) Le tableau ne traite que les flux dans les INB du cycle du combustible, y compris ceux de l'usine W de AREVA NC qui est une ICPE dans le périmètre d'une INB.

(2) Les installations sont mises à l'arrêt définitif. Elles n'ont reçu, expédié ou converti aucune matière en 2011.

(3) Métal lourd.

Transport de matières radioactives: les cheminots du nucléaire s'inquiètent

Par Nolwenn Weiler, Bastamag, 9 janvier 2012.³⁷

Deux à trois trains chargés de déchets radioactifs ou de combustibles nucléaires parcourent la France chaque jour. Ces transports sont considérés comme « sans danger » pour les cheminots qui les convoient, promettent la SNCF et Areva. Mais, en absence de mesures de prévention spécifiques, certains cheminots s'inquiètent. Et rien ne garantit qu'à l'avenir, sur fond de privatisation du rail, ces transports à hauts risques ne soient pas acheminés par des sociétés privées moins regardantes sur la sécurité.

138 000 kilomètres : c'est la distance parcourue chaque année, en France, par des convois nucléaires ferroviaires. « On parle beaucoup des trains chargés de déchets qui arrivent des pays étrangers, puis y retournent ensuite, une fois retraités à l'usine de La Hague, en Normandie. Mais ce ne sont pas les plus nombreux », détaille Michel, entré à la SNCF dans les années 1980. « La majorité des déchets qui voyagent sont français. »

2 à 3 trains nucléaires par jour

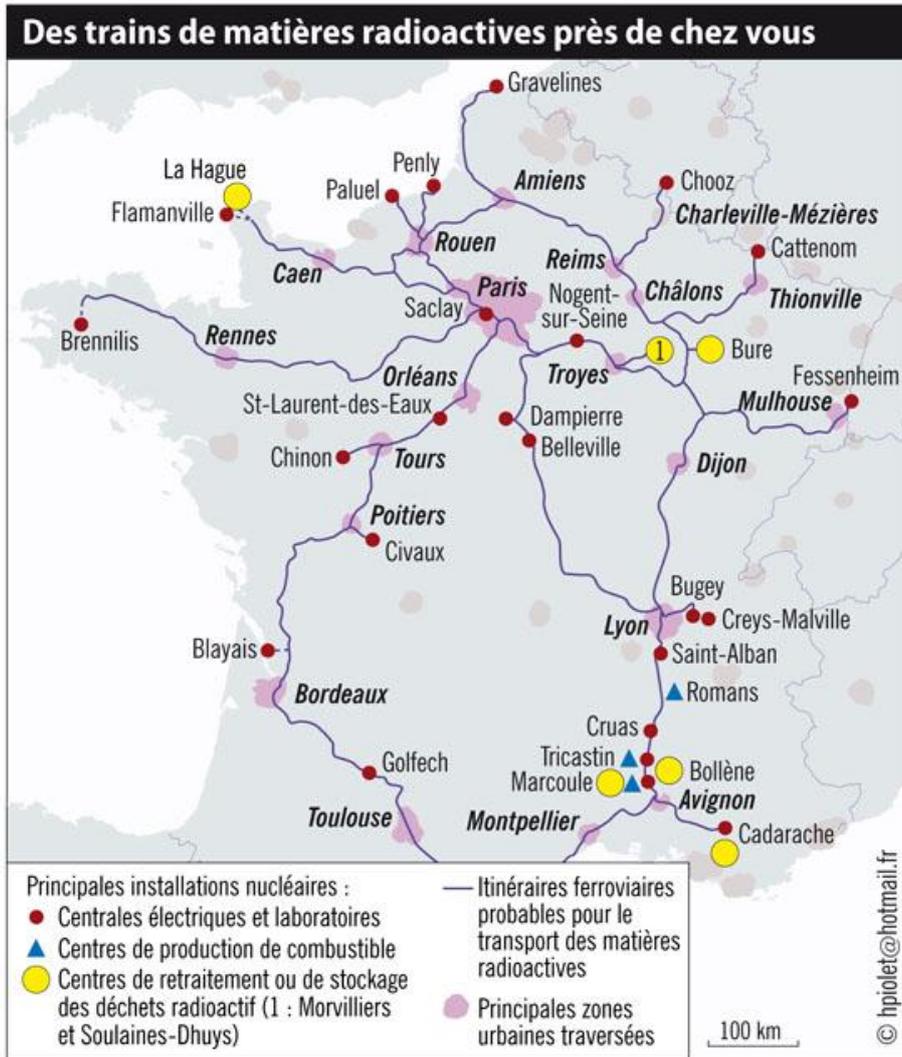
Ils partent des 18 centrales nucléaires vers l'usine de retraitement de La Hague, dans la presqu'île du Cotentin. Certains y restent, stockés en surface. D'autres repartent. L'uranium issu du retraitement s'en va vers Pierrelatte, où il sera à nouveau transformé pour être stockable. Et les déchets de faible et moyenne activités sont expédiés vers le site de stockage de Soulaire, dans l'Aube. « Au total, 500 trains nucléaires, dont seulement 1 sur 10 est étranger, circulent en France chaque année. Soit 2 ou 3 par jour ! »

Chargés par le personnel d'EDF ou d'Areva, les trains sont ensuite préparés par des agents SNCF. Les cheminots doivent accrocher les wagons entre eux, vérifier l'état des freins, s'assurer que tout (bâche, porte, trappe...) est bien en place et inspecter les attelages. « Pour un agent qui bosse vite et bien, cela prend trente minutes, dont la moitié tout près du train », résume un habitué. S'il y a un souci au niveau des freins, il peut y passer beaucoup plus de temps. « Parfois, il doit se mettre sous le wagon », raconte Philippe Guiter, agent de conduite et secrétaire fédéral du syndicat SUD-Rail. « S'il ne peut pas trouver la solution tout seul, il est secondé par un agent du matériel. » Et si le wagon n'est pas réparable rapidement, il faut le décrocher et l'isoler. Il part ensuite à la réparation, avec son stock de radioactivité.

Les wagons déclarés aptes à circuler sont tractés jusqu'à bon port, pendant plusieurs heures, par un agent de conduite. En cas d'incident, le cheminot doit descendre de sa cabine et longer le train, pour localiser le souci technique. « Il arrive alors qu'il soit au contact des wagons pendant un quart d'heure, une demi-heure, voire plus », dit Michel. Ces cheminots ne sont pas considérés comme travailleurs du nucléaire. La dose maximale de radiations qu'ils ne doivent pas dépasser est la même que pour le grand public : 1 millisievert (mSv) par an, hors rayonnements naturels et médicaux. Ils ne sont pas astreints à un suivi médical particulier.

Ils sont pourtant soumis, dans le cadre de leur travail, à des risques d'irradiation et de contamination. « En cas d'irradiation, décrit Bruno Chareyron, ingénieur en physique nucléaire et responsable du laboratoire de la Commission de recherche et d'information indépendante sur la radioactivité (Criirad), certaines radiations traversent la paroi de l'emballage à l'intérieur duquel se trouve la matière radioactive. » La contamination, c'est le dépôt de matières radioactives hors de l'emballage : « On amène des becquerels sur des terrains où il n'y en a normalement pas, sur les rails par lesquelles passent les convois les jours de pluie, par exemple. »

³⁷ <http://www.bastamag.net/article2012.html>



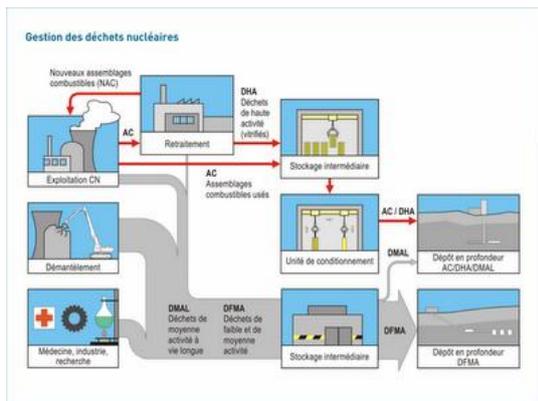
En novembre 2011 des mesures ont été effectuées conjointement par l'ACRO et l'IRSN :

« Les analyses et mesures d'exposition externe due au rayonnement gamma et rayonnement neutrons émis par les colis de déchets radioactifs ont souligné, de façon constante, un flux de neutrons environ deux fois plus intense que le flux de radiations gamma (exprimé en débit d'équivalent de dose). Le niveau de radiations était relativement similaire d'un wagon à un autre. Les débits de doses mesurés au contact et au centre des capots de protection des colis de déchets étaient de l'ordre au total de 130 $\mu\text{Sv/h}$. A deux mètres, on mesurait encore au total 37 $\mu\text{Sv/h}$ (dont 25 $\mu\text{Sv/h}$ pour les neutrons et 12 $\mu\text{Sv/h}$ pour les gamma).

Ces valeurs respectent la réglementation relative aux transports des matières radioactives - notamment la limite de 100 $\mu\text{Sv/h}$ à 2 mètres. Cependant, elles sont loin d'être anodines car ces trains circulent et stationnent dans des lieux où des personnes séjournent. Pour mémoire, les valeurs de rayonnement ambiant naturel au niveau du sol sont respectivement de l'ordre de 0,08 $\mu\text{Sv/h}$ (gamma) et de 0,01 $\mu\text{Sv/h}$ (neutrons). Ce qui signifie qu'à 2 mètres d'un wagon, les niveaux d'exposition sont respectivement de 150 fois le bruit de fond gamma ambiant et de 2500 fois le bruit de fond neutrons ambiant.³⁸ »

³⁸ <http://www.globalmagazine.info/05-transport-de-matieres-dangereuses>

Vous avez dit « recyclage... » ?



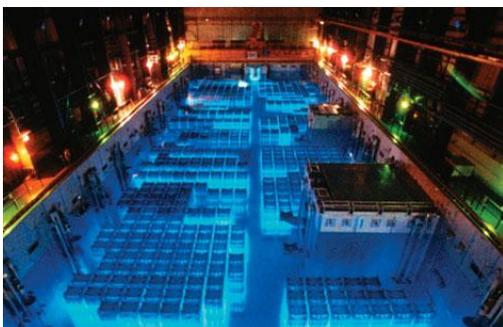
Le **(re)traitement** consiste selon le CEA à :

- récupérer la matière encore utilisable, le plutonium et l'uranium, pour produire à nouveau de l'électricité. C'est le recyclage des matières énergétiques contenues dans les combustibles usés;
- trier les déchets radioactifs non récupérables.

Certains pays n'ont pas opté pour le retraitement, par exemple, la Suède et les États-Unis. Dans ce cas, les combustibles usés sont considérés comme des déchets et sont directement stockés après leur retrait du réacteur. Les pays ayant choisi d'avoir une usine de retraitement sont la France, la Grande-Bretagne, la Russie et le Japon. D'autres pays comme l'Allemagne, la Suisse et la Belgique font **(re)traiter** dans d'autres pays (notamment en France).

Le combustible irradié est le mélange de cinq types de composants principaux :

1. L'uranium dit appauvri en raison de la disparition presque complète de l' U_{235} au cours de la présence dans le réacteur.
2. Le plutonium sous différents isotopes (239, 240, 241, 242 et 238)
3. Des transuraniens (Np_{237} , Cm_{242})
4. Des produits de fission
5. Des métaux étrangers (magnésium, zirconium, aluminium, molybdène, acier) alliés au combustible ou en constituant la gaine.



Le retraitement des combustibles irradiés a pour but la séparation de ces différents composants de façon à en réutiliser certains et à confiner les autres. Toutes les opérations intervenant au cours du retraitement sont complexes, périlleuses et chères.

Lors de leur arrivée dans l'usine de traitement, les assemblages de combustible usés sont de nouveau entreposés dans une piscine (où attendent aujourd'hui plus de 100 cœurs). Ils sont ensuite cisailés en petits tronçons, lesquels sont alors introduits dans une solution chimique qui dissout le combustible mais laisse intacts les morceaux métalliques (gaines...). Ceux-ci seront stockés comme déchets nucléaires.

Des traitements chimiques successifs sur le combustible en solution permettent de séparer le plutonium et l'uranium des produits de fission. Ces derniers seront intégrés dans des verres spéciaux (vitrification) et stockés comme déchets nucléaires³⁹.

« *L'uranium et le plutonium, qui représentent 96% de l'ensemble, sont séparés et conditionnés séparément...* »

En mai 2000, Wise-Paris à la demande de Greenpeace France a réalisé une étude détaillée de l'efficacité du traitement du combustible nucléaire par AREVA. En voici les principales conclusions :

1. Le taux de séparation du plutonium des combustibles irradiés a évolué au fil des années. De fait, un taux de séparation de 98% semble être la limite du procédé. Les contrats de retraitement conclu entre AREVA et ses clients admettent entre 2 et 3% de pertes.
2. En 1998, 13 526 t d'UOX ont été (re)traités à La Hague. En fonction des différents taux d'enrichissement des combustibles cela correspond à 129.5 t de plutonium. A cela doit s'ajouter les 9.6 t de MOX qui ont généré 0.5 t de plutonium.
3. Du Plutonium a été disséminé dans les stockages de déchets dits de faible et moyenne activité : environ 113 kg dans le Centre de Stockage de la Manche, 9.9 kg dans celui de l'Aube.
4. 1 t de plutonium aurait été perdu au fil des années par le procès de traitement des matières radioactives.
5. WISE établit une différence entre le *plutonium séparé* et le *plutonium recyclé* : en 1998 sur 84.4 t séparés à peine 41.9 t ont été recyclés soit à peine 50 %... d'où un stock de plutonium qui ne cesse de croître.
6. Si on ajoute à ce stock les combustibles usagers qui sont dans les piscines de désactivation des centrales nucléaires, le taux de recyclage tombe à moins de 20 %.
7. Enfin pour ce qui concerne l'uranium, seule une faible quantité est effectivement « retraitée » (5.5%) c'est-à-dire enrichi après séparation du combustible usager.

En Novembre 2011, l'InterCLI Manche publie une étude dans le cadre des évaluations complémentaires de sûreté mises en œuvre par l'ASN qui confirme les données avancées par WISE : à la mi-avril 2011, La Hague entreposait 9 721 t de combustible usager dont environ 1 380 t de MOX⁴⁰, soit 108 cœurs de réacteurs.

³⁹ Les produits de fission et les actinides mineurs sont vitrifiés dans des conteneurs de « déchets vitrifiés » de 150 l qui contiennent le produit de la fission de 1.4 t d'uranium.

⁴⁰ Le reliquat des produits de fission stockés depuis la mise en service de la vitrification en 1989 oscillait entre 700 et 1000 m3 et n'a jamais été résorbé.

L'inventaire de l'ANDRA publie les données suivantes en juin 2012 :

Matières radioactives à fin 2010, fin 2020 et fin 2030

MATIÈRE	2010	2020	2030
Combustibles mixtes uranium-plutonium (MOX) en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires (tML)	299	490	380
Combustibles mixtes uranium-plutonium (MOX) usés, en attente de traitement (tML)	1 287	2 400	3 800
Combustibles usés du réacteur à neutrons rapides SuperPhénix, en attente de traitement (tML)	104	104	104
Combustibles UOX en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires (tML)	4 477	4 340	3 650
Combustibles UOX usés, en attente de traitement (tML)	12 006	11 450	12 400
Combustibles URE en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires (tML)	156	290	290
Combustibles URE usés, en attente de traitement (tML)	318	1 050	1 750
Combustibles usés des réacteurs civils de recherche (dont Phénix), en attente de traitement (tML)	53	14	9
Combustibles métalliques usés, en attente de traitement (tML)	15	15	15
Matières en suspension (sous-produits du traitement des minerais de terres rares) (tonnes)	23 454	0	0
Combustibles de la Défense nationale (tonnes)	146	218	284
Plutonium issus des combustibles usés après traitement (tML)	80	55	53
Thorium (tonnes)	9 407	9 334	9 224
Uranium appauvri Uapp (tML)	271 481	345 275	454 275
Uranium enrichi (tML)	2 954	2 344	2 764
Uranium issu de combustibles usés après traitement URT (tML)	24 100	40 020	40 020
Uranium naturel extrait de la mine (tML)	15 913	25 013	28 013

2.3

Étaient entreposés en attente de traitement à fin 2010 :

- combustibles UOX usés : 3 626 tML sur les sites des 19 centrales électronucléaires REP françaises ; environ 8 380 tML sur le site de La Hague (50) ;
- combustibles URE usés : 68 tML sur le site de la centrale électronucléaire de Cruas (07) ; environ 250 tML sur le site de La Hague (50) ;
- combustibles MOX usés : 387 tML sur les sites des centrales électronucléaires du Blayais (33), de Chinon B (37), de Dampierre (45), de Gravelines (59), de Saint-Laurent-des-Eaux B (41) et du Tricastin (26) ; 900 tML sur le site de la Hague (50) ;
- 24 000 tonnes d'URT étaient entreposées sur les sites du Tricastin (26), de La Hague (50), de Romans (26) et de Cruas (07).
- environ 272 000 tonnes d'uranium appauvri (Uapp) étaient entreposées en France dont un peu plus de 165 000 tonnes sur le site AREVA du Tricastin (26), environ 100 000 tonnes sur le site AREVA de Bessines-sur-Gartempe (87) et 176 tonnes sur les sites CEA
- 60 tonnes de plutonium entreposées à l'usine AREVA NC de La Hague (50) ; 8 tonnes dans le processus de fabrication de combustibles MOX ; 10 tonnes de plutonium en assemblage MOX ou RNR non irradiés présents ailleurs que dans les usines de fabrication, c'est-à-dire principalement sur les sites des réacteurs EDF ;

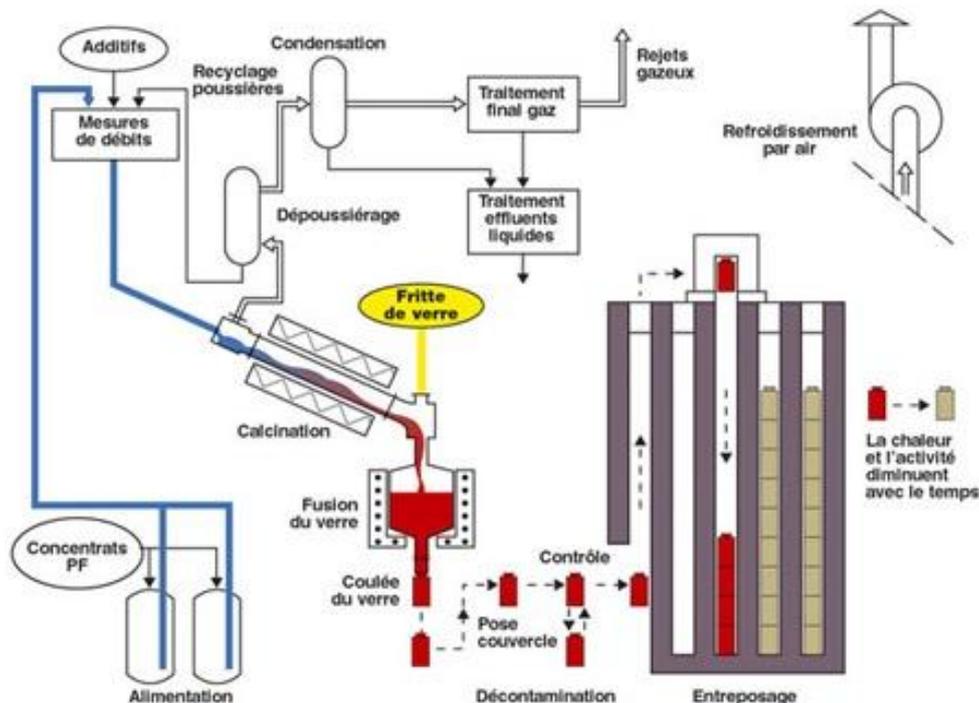
Construction d'une extension des entreposages de colis de déchets vitrifiés



Les programmes de production de conteneurs standards de déchets vitrifiés (CSD-V) ainsi que la fin des retours des conteneurs attribués aux clients étrangers d'AREVA NC (contrats signés avant 2001) conduiront à la saturation des capacités d'entreposage du site de La Hague (R7, T7 et EEVSE) au premier semestre 2012.

Dans ce contexte, AREVA NC a décidé la construction d'une extension de l'entreposage EEVSE, dénommée « extension d'entreposage des verres sur le site de La Hague » (EEVLH), afin d'augmenter la capacité d'entreposage de l'installation existante. L'extension reprend les principales options de conception de l'installation EEVSE.

À la suite de la décision de l'ASN du 15 juin 2010, AREVA NC a transmis à l'ASN le rapport de sûreté correspondant à la construction et à la mise en service de cet entreposage. Le dossier est en cours d'instruction et donnera lieu à des prescriptions de l'ASN. Dans ce contexte, l'ASN a imposé par décision en date du 16 juin 2011, la mise en place de thermocouples permettant une surveillance de la température de chacun des puits de l'extension d'entreposage envisagée.



Le MOX, la malédiction du plutonium

A croire les physiciens nucléaires : « *Un gramme de plutonium-239 peut générer autant d'électricité qu'une à deux tonnes de pétrole. Fissile, cet élément peut jouer le rôle que tient l'uranium-235 dans un combustible neuf. On peut ainsi économiser une fraction de cet isotope rare et précieux.* »

C'est la raison pour laquelle, depuis 1985, des réacteurs nucléaires français à eau pressurisée ont été adaptés pour brûler des assemblages d'un nouveau combustible contenant 5 à 7 % de plutonium mélangé à de l'uranium normal issu du retraitement. L'uranium et le plutonium se présentant sous forme d'oxydes, le nouveau combustible est appelé **MOX** : **Mixed oxydes**. Actuellement, 22 réacteurs d'EDF sont régulièrement chargés en MOX.

Pour ne pas affecter le fonctionnement des réacteurs à eau pressurisée qui n'ont pas été conçus pour le plutonium, on n'introduit dans la charge de combustible que 30% d'assemblages de MOX à côté de 70 % d'assemblages traditionnels d'uranium enrichi.

Un avantage du MOX est d'utiliser une bonne partie du plutonium issu du retraitement. Il faut extraire le plutonium d'environ sept assemblages de combustible irradié pour constituer un assemblage de MOX. Les stocks de plutonium sont tellement massifs qu'AREVA ne cesse de demander l'augmentation du nombre de réacteurs *moxés*, espérant à terme alimenter 28 réacteurs sans parler des EPR...

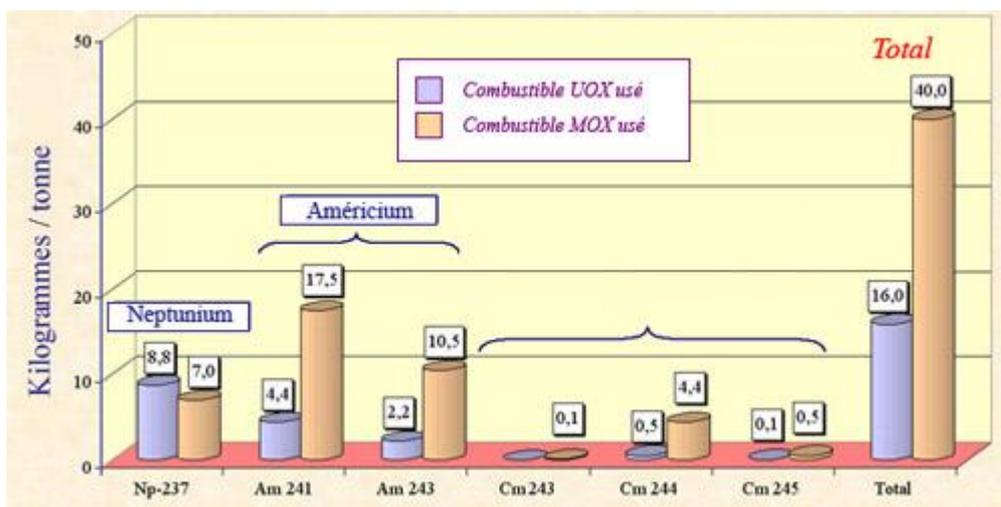


L'irradiation de l'uranium présent dans un assemblage MOX générant du plutonium en même temps qu'il est brûlé, le bilan de plutonium n'est au final réduit que de 30% par rapport à un combustible standard (UOX).

Les combustibles MOX usés sont plus radioactifs que les combustibles UOX usés. Ils requièrent un temps de refroidissement plus long de quelques années avant de pouvoir être retraités. Le recyclage multiple du plutonium a été prouvé techniquement, mais il est trop cher pour être envisagé.

Environ 30 % des isotopes du plutonium issus du retraitement ne sont pas fissiles par des neutrons lents et ne peuvent pas être brûlés dans les réacteurs conventionnels du type REP. Pour brûler le plutonium, le recours au MOX avec ces réacteurs s'avère peu efficace comparé aux performances des réacteurs à neutrons rapides.

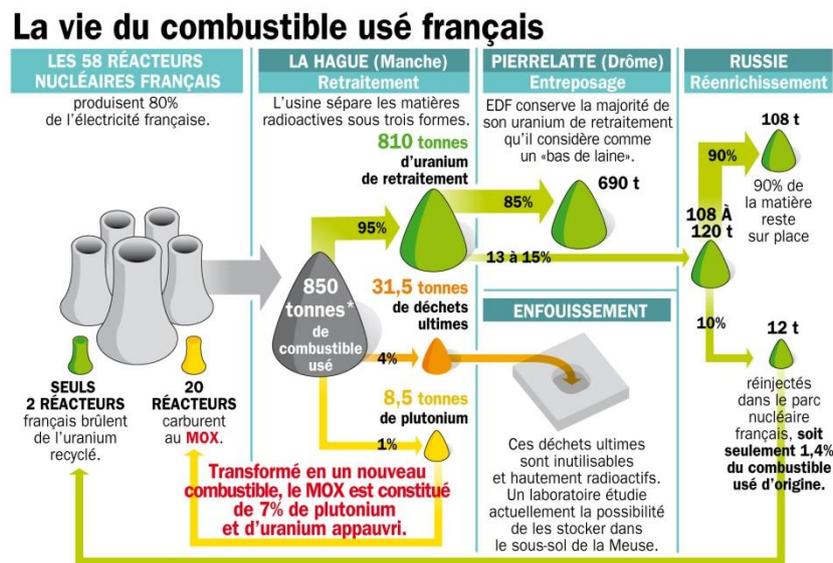
Tout pourrait sembler merveilleux, le *moxage* permettant de réaliser le rêve de transmutation des matières radioactives. A regarder de plus près, la situation est moins favorable qu'il n'y paraît. Le MOX est un combustible extrêmement dangereux qui expose le fonctionnement des réacteurs à des risques supplémentaires et vient compliquer très nettement l'aval du cycle du combustible :



Les combustibles MOX neufs et usés sont beaucoup plus chauds que les combustibles UO₂ classiques. L'entreposage en piscine des combustibles MOX usés nécessite une compensation pour l'évaporation plus importante que celle des piscines qui contiennent des combustibles UO₂. Enfin, le temps de séjour en piscine des combustibles MOX usés est beaucoup plus long que celui des combustibles UO₂ et ces combustibles ne sont pas retraités⁴¹ (il reste en fin de vie du combustible environ 4,5 % de plutonium).

⁴¹ Entre 1998 et 2009 les usines de La Hague ont retraité 68,5 tonnes de MOX alors que dans le même temps, les combustibles UO₂ concernaient 12 445 tonnes. Le retraitement des MOX ne concerne que 0,55 % de l'ensemble des combustibles retraités.

Se pose donc un grave problème d'entreposage aujourd'hui. On estime généralement qu'il faut entreposer 50 ans en piscine un combustible irradié à base d'uranium avant stockage définitif mais 150 ans un combustible MOX irradié⁴² (les piscines devant être en permanence refroidies par circulation d'eau). Dans le mesure où du combustible MOX est utilisé dans 22 réacteurs en France, le rechargement annuel des réacteurs avec du combustible MOX est d'environ 7,4 tonnes par réacteur et par an. Un calcul simple permet d'établir que de 2006 à 2010, 740 tonnes de MOX ont dès lors été déchargées. Fin 2010, l'entreposage dans les piscines de La Hague⁴³ de combustibles irradiés issus des réacteurs à eau était de 9 670 tonnes, dont 1 380 tonnes de MOX.



* Par ailleurs, EDF stocke tous les ans 300 tonnes de combustible utilisé supplémentaires dans des piscines pour les refroidir. Sources : ASN, EDF

Les autorités britanniques ont annoncé le 3 août 2011 la fermeture, "le plus rapidement possible", de l'usine de Sellafield (Angleterre) fabriquant du MOX. Cette décision est directement liée à l'impact de la catastrophe de Fukushima sur les ventes, a expliqué l'agence gouvernementale chargée du site, la NDA. L'essentiel des débouchés de l'usine employant 800 personnes provenait en effet du Japon. La centrale de Fukushima Daiichi fonctionnait d'ailleurs au MOX au moment de la catastrophe de mars dernier. « Après la fermeture de l'usine de MOX de Dessel en Belgique, cette décision signifie que dans le monde seule la France va continuer à produire du MOX de manière industrielle, analyse Yannick Rousselet, chargé de campagne nucléaire pour Greenpeace, chargé de campagne nucléaire pour Greenpeace. C'est le mythe du nucléaire recyclable qui s'effondre un peu plus. La décision des Britanniques va dans le sens de l'histoire : l'énergie nucléaire décline ».

⁴² L'activité de 1 kg de MOX (environ 30,7 TBq) est de l'ordre d'un million de fois plus importante que celle d'un kg d'uranium naturel (environ 2,5 10⁻⁵ TBq).

⁴³ La capacité de ces piscines a été portée de 12 000 à 18 000 tonnes, après renforcement de la protection neutronique des « paniers » contenant les combustibles

Des risques accrus du fait du MOX, en fonctionnement et en cas d'accident

- Du fait de sa plus grande radioactivité alpha, un élément neuf de combustible MOX a une température de surface (paroi de la gaine du combustible) de 80 degrés, alors qu'un combustible neuf à l'uranium est à la température ambiante. Le maniement des combustibles neufs MOX nécessite donc des équipements particuliers.

La présence de combustibles MOX dans un réacteur nucléaire (en général un tiers ou un quart du chargement total) rend donc la manipulation des combustibles (chargement et déchargement) plus difficile.

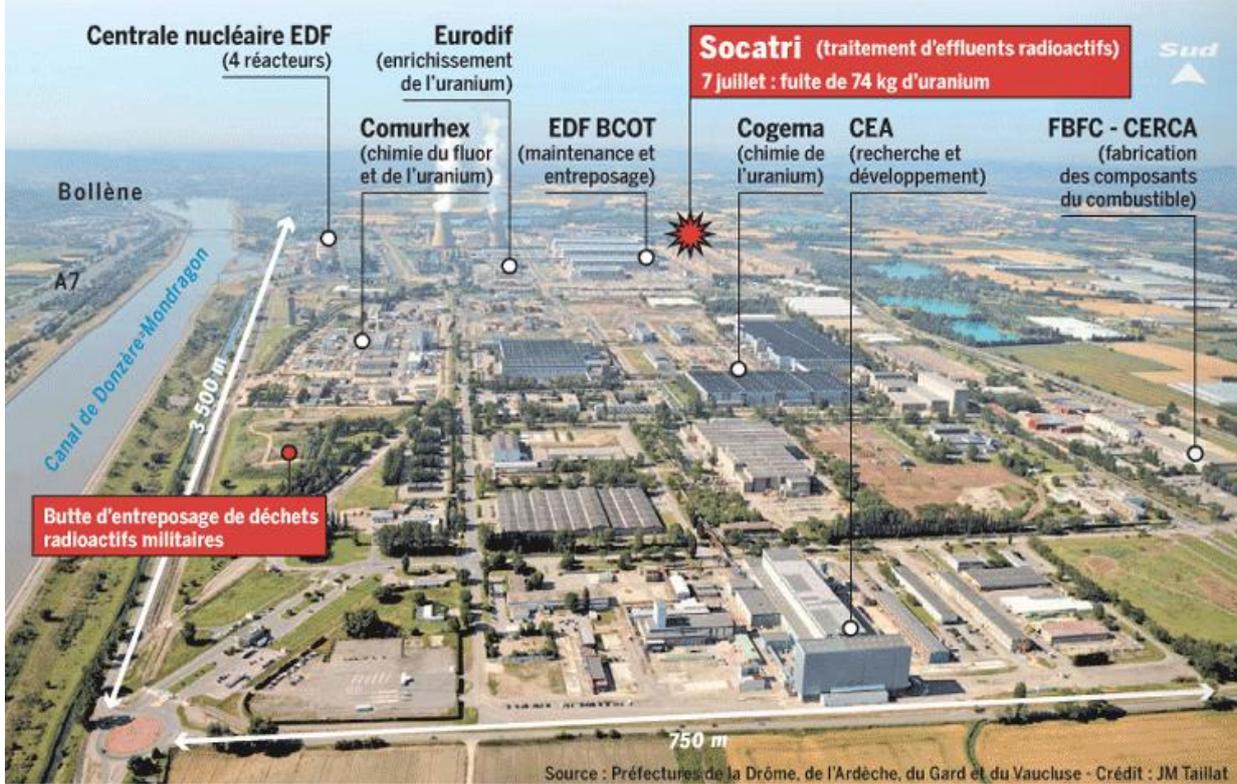
- La présence de combustibles MOX dans le réacteur rend le contrôle plus délicat (combustibles de natures différentes) et réduit l'efficacité des barres de contrôle.
- Les températures de fusion du plutonium (640 °C et 2 400 °C pour le PuO_2) sont plus basses que celles de l'uranium (1 135 °C et 2 865 °C pour l' UO_2).
- En cas de détérioration et de fusion des combustibles, le risque de « criticité » (emballement de la réaction en chaîne) est plus grand car la masse critique du plutonium est le tiers de celle de l'uranium 235 (celui-ci n'étant d'ailleurs pas séparé des autres isotopes en cas de fusion et ne représentant au maximum que 3,5 % de la masse totale de l'uranium du combustible UO_2).

Ce risque de criticité peut se présenter également dans les usines de fabrication du combustible MOX ou dans les usines de retraitement.

Ce risque est présent également dans les piscines de stockage des combustibles irradiés en cas de perte du refroidissement, détérioration et fusion de combustibles.

- La quantité de plutonium est beaucoup plus importante dans un combustible MOX (dans un réacteur ou dans une piscine de combustibles irradiés) que dans un combustible uranium. En cas de détérioration ou de fusion du cœur ou d'explosion ou d'incendie (dans le cœur ou dans les piscines de stockage), la quantité de plutonium pouvant être projetée dans l'environnement, qu'il s'agisse d'un combustible usé ou plus encore s'il est neuf, sera donc beaucoup plus importante.

Non seulement le MOX rend le réacteur plus difficile à piloter mais encore, en cas d'accident, sa présence facilite la mise à nu des combustibles (plus de chaleur donc plus d'évaporation de l'eau), la détérioration et la fusion des combustibles (dans le réacteur lui-même et dans les piscines des combustibles irradiés) et, en cas d'émissions radioactives, ce qui est le cas à Fukushima, des particules de plutonium peuvent être dispersées dans l'environnement (terre et eau principalement).



Le principe directeur de la gestion française des déchets radioactifs n'est pas en réalité la gestion la plus robuste et la plus sûre possible des déchets, mais la poursuite du « **retraitement** ». La justification de cette stratégie par le tri, la réutilisation des matières et la réduction du volume des déchets apparaît comme une construction a posteriori, séduisante sur le plan intellectuel mais peu résistante aux faits.

Le bilan ci-dessus, bien que problématique en soi, reste de ce point de vue très incomplet. Il ne porte en effet que sur les déchets radioactifs reconnus comme tels par l'industrie et les pouvoirs publics, c'est-à-dire ceux qui n'offrent techniquement, dans l'état actuel des connaissances et de l'évolution du parc nucléaire envisagée par ces acteurs, aucune possibilité de réutilisation. Cette catégorie s'oppose aux matières valorisables, qui désignent l'ensemble des matériaux, issus de la gestion passée ou actuelle, qui contiennent des quantités significatives de matières fissiles (susceptibles de donner une réaction de fission) ou fertiles (susceptibles d'être converties en matières fissiles). En pratique, ceci concerne l'uranium et le plutonium sous toutes leurs formes dans la chaîne de production, d'utilisation et de (re)traitement du combustible.

L'industrie nucléaire française a déployé depuis le milieu des années soixante-dix la stratégie de (re)traitement commercial la plus poussée au monde. Initialement destinée à nourrir le développement d'un parc de réacteurs de type « *surgénérateurs* », cette stratégie a été poursuivie malgré l'échec de cette filière, marqué par l'arrêt définitif du réacteur Superphénix en 1998. L'industrie a dès la fin des années quatre-vingt mis en œuvre, par défaut, une réutilisation des matières issues du retraitement dans le parc de réacteurs à eau pressurisée existant (combustible MOX pour le plutonium et combustible URE pour l'uranium de retraitement), tout en développant une justification liée à la gestion des déchets.

L'efficacité de cette stratégie est en général résumée par un chiffre, décliné dans toute communication officielle sur le sujet : grâce au retraitement, « *96 % des matières du combustible usé sont recyclées* » (soit 95 % d'uranium et 1 % de plutonium, ne laissant que 4 % de « **déchets ultimes** » vitrifiés et destinés au stockage géologique). La loi de 2006 préconise sur la base du même argument de rechercher « *la réduction de la quantité et de la nocivité des déchets radioactifs (...) notamment par le traitement des combustibles usés et le traitement et le conditionnement des déchets radioactifs* ».

⁴⁴ *Un bilan de la gestion des déchets toujours plus lourd, Nucléaire : le déclin de l'empire français, Global Chance*, n°29, avril 2011, p. 85-86 [<http://www.global-chance.org/IMG/pdf/GC29.pdf>]

Elle constitue dans la pratique un encouragement à l'entreposage en vue de leur recyclage, même si celui-ci n'est pas envisagé ou même possible à court ou moyen terme, de tout matériau contenant de l'uranium et du plutonium ; elle autorise pour cela à leur donner le statut de « matières valorisables », par opposition à celui de déchets.

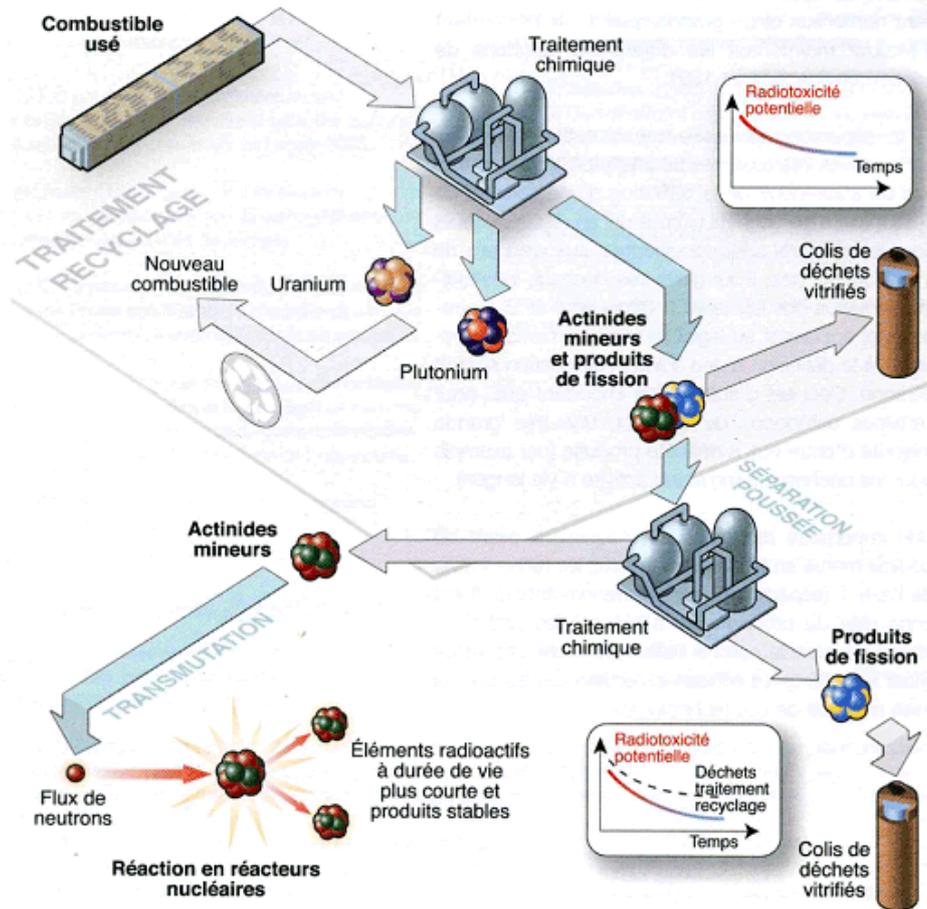
Un rapport du HCTISN consacré à la transparence de l'information sur la gestion du combustible usé et des matières nucléaires, publié en juillet 2010, a conclu qu'une telle présentation du bilan du « **traitement-recyclage** » ne devrait plus être employée car elle ne reflète pas la réalité. Le rapport, sur lequel des acteurs associatifs et non institutionnels membres du groupe de travail ont émis des réserves, ne va toutefois pas au bout du raisonnement, et se refuse à produire les chiffres pourtant aisément calculables sur la base des bilans fournis par l'industrie elle-même. Ces calculs montrent qu'aujourd'hui, environ 97 % des matières entrant à partir de l'uranium naturel dans la chaîne du combustible en ressortent avec le statut de matières valorisables sans être toutefois valorisées dans les conditions industrielles actuelles.

La gestion actuelle conduit donc à l'accumulation de stocks massifs de matières sous diverses formes : uranium appauvri, uranium de retraitement, plutonium séparé, combustibles UOX, URE et MOX irradiés, rebuts de fabrication de MOX... La réutilisation effective de ces stocks pose question. Elle ne pourra certainement pas être assurée, pour la très grande majorité d'entre eux, dans le parc nucléaire existant. Elle dépend donc d'un hypothétique parc futur, c'est-à-dire en premier lieu de sa réalisation, qui n'est pas acquise, et en second lieu de ses éventuelles caractéristiques techniques. Toutefois, même dans l'hypothèse la plus favorable d'un parc de réacteurs de quatrième génération, à neutrons rapides, dimensionné et fonctionnant comme sur le papier, tous les stocks ne seraient pas réutilisés. La Commission nationale d'évaluation, chargée de suivre l'évolution des recherches pour la gestion à vie longue des déchets, met ainsi en garde dans son rapport annuel de 2010 contre l'incertitude portant sur les scénarios de déploiement de tels réacteurs, et le surdimensionnement dans toutes les hypothèses du stock d'uranium appauvri par rapport aux besoins de ce parc.

Le Plan national de gestion 2009 lui-même, alors qu'il qualifie la mise en œuvre de ce parc de quatrième génération de « *solution industrielle de référence* », reconnaît que les conditions de réutilisation des stocks de matières valorisables ne peuvent être garanties à long terme et appelle les exploitants à développer des études pour envisager le cas où ces matières devraient finalement être considérées comme déchets. Cette situation, présentée comme hypothétique, apparaît au contraire comme inéluctable pour une partie de l'inventaire de ces « *matières valorisables* ».

La séparation poussée-transmutation

Dans un premier temps, la séparation poussée consiste à séparer les éléments radioactifs présentant les plus longues durées de vie (en particulier, les actinides mineurs) grâce à un traitement chimique approprié.



Dans un deuxième temps, la transmutation permet de transformer ces éléments radioactifs en éléments stables ou à durée de vie plus courte.

Après la gestion des stockages anciens non conformes aux doctrines actuelles, la reprise d'entrepôts posant des problèmes de sûreté, et la recherche des solutions de stockage pour les déchets ultimes, cette nécessaire intégration de l'entrepôt puis du stockage de matières nucléaires vient encore compliquer un dossier qui n'en finit plus de glisser. Qu'elle poursuive son programme nucléaire ou non, la France n'est pas prête de mettre en place des solutions définitives pour la gestion des stocks massifs de déchets à vie longue et de matières qu'elle continue d'accumuler.

Le trouble causé par la diffusion du reportage de Laure Noualhat en octobre 2009 a conduit l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques et le Ministre d'État chargé de l'écologie à saisir le HCTISN sur la question des exportations et importations d'uranium de la France avec la Russie, en élargissant le champ à la transparence de l'ensemble de la gestion des matières et des déchets nucléaires produits aux différents stades du cycle du combustible.

L'enquête menée au sein d'un groupe de travail du HCTISN a rapidement permis d'établir un tableau assez complet des envois d'uranium de retraitement, mais aussi d'uranium appauvri vers la Russie, dont Areva a finalement annoncé la fin en juillet 2010. Mais le groupe a cherché, au-delà, à analyser les flux associés à la gestion actuelle et passée des matières et des déchets nucléaires en France, pour en tirer des enseignements sur la transparence de l'information en la matière.

		Flux annuel moyen 2007-2008-2009	Flux annuel projeté à partir de 2010	
(1)	Utilisation d'uranium naturel	8 100	7 600	
(2) / (4)	Production d'uranium enrichi / chargement d'UOX (dont uranium ré-enrichi de (10))	1 070 (dont 37)	1 050 (dont 75)	
(3)	Utilisation d'uranium appauvri (dans le MOX)	91,5	109,5	
(5=9+3)	Fabrication et chargement de combustible MOX	100	120	
(6)	Électricité produite	420 TWh	420 TWh	
(7)	Combustible utilisé déchargé	1 170	1 170	
(8)	Retraitement de combustible utilisé	850	1 050	
(9)	Plutonium séparé par retraitement	8,5	10,5	
(10)	Utilisation d'uranium de retraitement (URT)	300	600	
(11)	Déchets produits par le retraitement	7 100 m ³	7 100 m ³	
(12) / (13)	Quantités ajoutées (+) et prélevées (-) en entreposage	Uranium appauvri	+6 938,5	+6 440,5
		Plutonium séparé	+8,5 / -8,5	+10,5 / -10,5
		Combustible utilisé (dont URE et MOX)	+1 170 / -850 (dont +137)	+1 170 / -1 050 (dont 195)
		Uranium de retraitement	+800 / -300	+990 / -600

Avis sur la transparence de la gestion des matières et des déchets nucléaires produits aux différents stades du cycle du combustible : HCTISN, Juillet 2010.

Les calculs proposés au groupe de travail par ces acteurs sont résumés dans la figure suivante. Il s'agit dans un premier temps de considérer les flux moyens de matières déchargées des réacteurs effectivement réutilisées dans les réacteurs, soit 8,5 t de plutonium dans le MOX et 37 t d'URT ré-enrichi dans l'URE sur 1 170 t déchargées. Le taux effectif de réutilisation est donc de 3,9 % au lieu des 96 % annoncé ; il devrait être porté selon les flux nominaux visés à partir de 2010 à 7,3 %. Dans un deuxième temps, le calcul prend en compte la réutilisation d'uranium appauvri dans le MOX, soit 91,5 t.

En avant toute vers la IV^e génération de réacteur...

Le rapport de la Cour des comptes sur les coûts de la filière électronucléaire rendu en janvier 2012 intègre la question du combustible pour établir le « *coût de production du parc actuel* ». Et cela à deux niveaux : d'abord au titre des dépenses d'exploitation ; ensuite en évaluant la charge de stockage de ces matières radioactives.

On trouve les dépenses liées à la production dans les comptes de l'exploitant EDF. Elles s'élèvent à **8 954 M€ en 2010** pour une production de 407,9 TWh. Entre 2008 et 2010, elles ont augmenté de 11 %. Ramenées à la production, elles représentent **22 €/ MWh** à cette date (+ 14 % entre 2008 et 2010). Le poste le plus important est celui des dépenses de personnel (30 %), **suivi par les combustibles** (23,8 %) et les consommations externes (comprenant les charges de maintenance) avec 23,3 % des charges d'exploitation.

Selon la Cour ces dépenses se ventilent ainsi :

Postes de dépenses courantes	Coût total M€2010	Coût/MWh €2010
Combustible	2135	5,23
Personnel	2676	6,56
Consommations externes	2095	5,14
Impôts et taxes	1176	2,88
Fonctions centrales et supports	872	2,14
TOTAL	8954	22

Le rapport Charpin-Dessus-Pellat indiquait en 2000 des frais d'exploitation en 1999 de 6700 M€ 2010 pour une production de 400 TWh, dont 2 100 environ de combustible, en excluant les opérations aval sur ce combustible (la gestion des combustibles usés pour 25 % environ du total) non retenues dans les calculs de la Cour. Les impôts et les taxes n'y étaient pas inclus Par contre, sur la foi des indications d'EDF et de la DGEMP, les frais d'exploitation devaient diminuer de 30 % d'ici 2010 pour tomber autour de 3700 M€, principalement par amélioration du coefficient d'utilisation du parc nucléaire (qu'il ne faut pas confondre avec sa disponibilité) tombé à 70 % autour des années 2000. Le coefficient de production s'est effectivement redressé à 75 % en 2010, mais les frais d'exploitation, loin de diminuer de 30 % comme prévu, ont augmenté à 5640 M€ (en en excluant les taxes et impôts) une valeur supérieure de 1240 M€ à la valeur de 2000 du rapport CDP (+ 23 %). Cette divergence importante par rapport aux prévisions faites en 2000 par EDF et la DGEMP (près de 60 %) mérite d'être méditée.

La DGEMP proposait en 1997 la formule de calcul des coûts d'exploitation suivante pour le palier 1300 MW : **F = 190 f/kW/an + 0,5ct/kWh, soit F = 36€/kW + 0,1ct€/kWh en euros 2010.**

Appliquée à l'année 2010, elle conduirait à une dépense de 2290 M€, dont l'essentiel de part fixe (2 250).

Pour reconstituer les frais actuels d'exploitation par une formule de ce type il faut prendre un coût fixe supérieur à **100 euros par kW**, trois fois plus que la valeur proposée par la DGEMP en 1997 (par ex $F = 108 \text{ €/kW} + 0,15 \text{ ct€/ kWh}$).

Les frais d'exploitation ont donc connu un dérapage considérable par rapport aux prévisions d'EDF et de la DGEMP.

Et encore, la situation pourrait être plus difficile encore si le coût des opérations aval sur le combustible était pleinement pris en compte et surtout apprécié à sa valeur effective. Mais pour ne pas obérer un peu plus le passif d'une filière déjà précaire en raison des provisions dues au démantèlement des choix comptables ont été privilégiés. Si la Cour des Comptes analyse en détail l'ensemble des déchets, leur gestion et leur stockage, y compris la reprise de déchets anciens⁴⁵. Elle ne remet pas en cause le classement comme « *matières valorisables* » de combustibles usés... qui se trouvent dès lors comptabilisés comme actifs !

La Cour rappelle en effet à propos de l'uranium appauvri et de l'uranium de retraitement « *qu'ils sont en effet valorisables et en partie dès aujourd'hui réutilisés* :

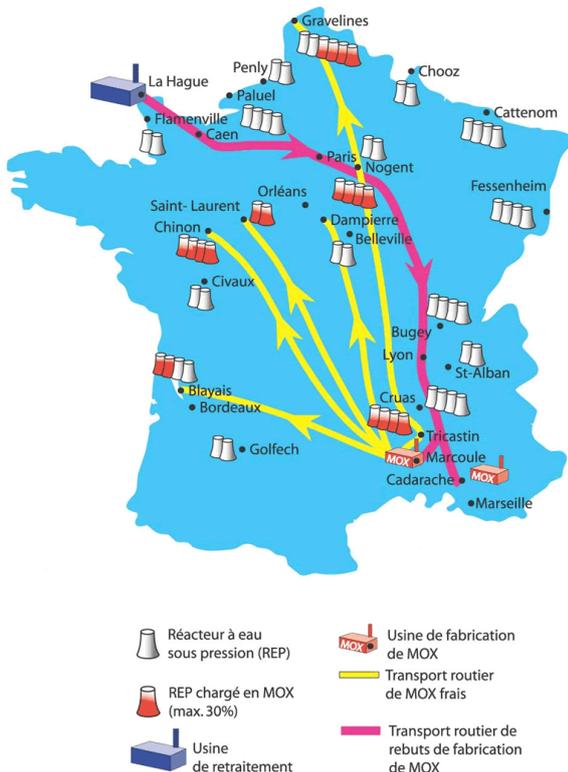
- *l'uranium de retraitement (URT) peut être à nouveau enrichi (transformation en URE) et est actuellement utilisé comme combustible dans les 4 tranches de la centrale nucléaire de Cruas ;*
- *l'uranium appauvri est utilisé pour fabriquer du combustible MOX en association avec du plutonium et peut également être ré-enrichi (ce qui créerait des stocks d'uranium appauvri « secondaire » pour fabriquer du combustible UNE) ; l'intérêt économique de cette solution dépend du cours de l'uranium naturel et de la disponibilité des unités d'enrichissement. A long terme, il est prévu d'utiliser l'uranium appauvri pour faire fonctionner les réacteurs à neutrons rapides de 4. génération, si cette filière voit le jour. »*

Mais la Cour souligne « *qu'en attendant, le parc actuel produit annuellement plus d'uranium appauvri et d'URT (environ 7 100 tonnes et 1 000 tonnes) qu'il n'en consomme (environ 600 tonnes d'URT pour produire de l'URE et 100 tonnes d'uranium appauvri pour fabriquer du MOX). Le stock de ces matières augmente donc d'environ 7 000 tonnes par an pour l'uranium appauvri et de 400 tonnes par an pour l'uranium de retraitement. En l'absence de réacteurs de génération 4, des quantités importantes de substances radioactives seraient sans utilisation alors que leur niveau de radioactivité et leur durée de vie les empêchent d'être accueillies dans les centres de stockage existants de l'ANDRA.*

⁴⁵ Mais aussi les déchets sans filière (dont le volume est de l'ordre de 1 000 m³), les résidus miniers des mines d'uranium françaises aujourd'hui abandonnées, qui représentent 50 millions de tonnes

Même avec ces réacteurs, il n'est pas exclu qu'une partie de l'uranium appauvri ne soit jamais utilisée et soit un jour considérée comme un déchet, le stock actuel pouvant, en principe alimenter un parc nucléaire de 4. génération pendant plusieurs générations »... « les ordres de grandeur des volumes considérés, s'il fallait considérer ces matières comme des déchets sont de nature à modifier considérablement l'ampleur des projets de stockage ».

La Cour soulève aussi l'épineuse question du plutonium, que des associations tentent depuis plus de 10 ans de faire émerger sans succès dans le débat public.

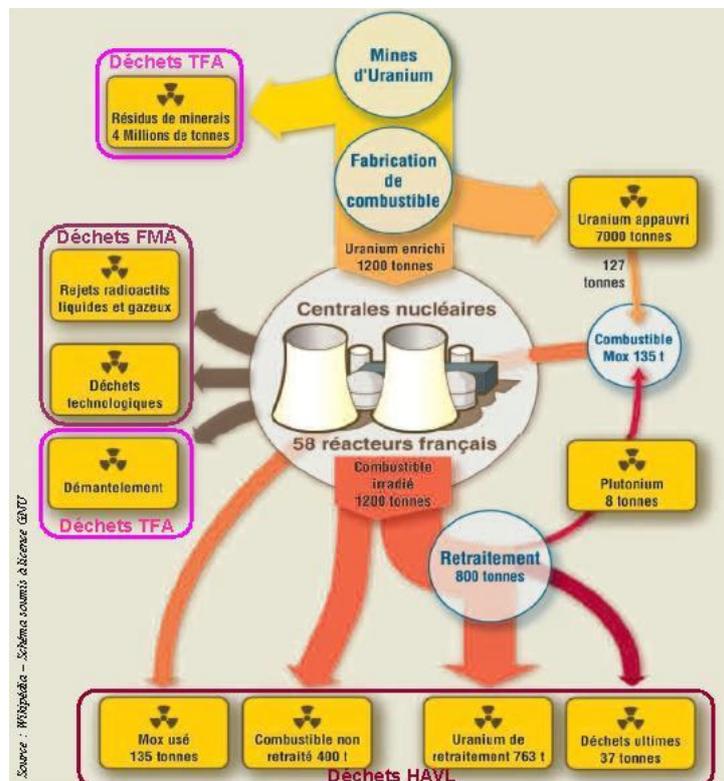


En soulignant que « Le stock de plutonium, issu du retraitement et en attente de transformation en MOX, s'élève à 82 tonnes dont 60 tonnes de propriété française. Dans ce total, le plutonium entreposé sous forme séparée à La Hague représente 29 tonnes, ce qui permet de produire du MOX pendant 3 ans au rythme de consommation actuel des centrales. On peut s'interroger sur son devenir au cas où les pouvoirs publics viendraient à arrêter la filière MOX. La stratégie de gestion à long terme des combustibles usés, fondée sur le retraitement, pourrait en effet être remise en cause si on ne trouvait pas d'exutoire satisfaisant pour le plutonium. Un arrêt sur 10 ans des centrales consommant du MOX laisserait en théorie le choix entre le stockage

direct de 26 000 tonnes de combustible usé (arrêt immédiat du retraitement et consommation du plutonium existant sous forme de MOX) et la poursuite du retraitement, qui générerait environ 2 500 m³ de déchets HA et 260 tonnes de plutonium. Le PNGMDR n'évoque pas la question des exutoires possibles pour le plutonium. Il en souligne le statut actuel de matière valorisable, mais ne prévoit pas de faire réaliser des études sur un mode de gestion alternatif au cas où il serait considéré comme un déchet, à la différence des études préconisées pour l'uranium de retraitement (URT) et l'uranium appauvri », **la Cour montre à l'évidence que les pouvoirs publics et les industries du nucléaire n'envisagent pas d'autre alternative que le pari d'une implantation massive de réacteurs de génération 4, éventuellement capable à très long terme (de l'ordre d'une centaine d'années), et à condition d'effectuer de nombreux recyclages du combustible des réacteurs de génération 4, de résorber le stock de plutonium existant.**

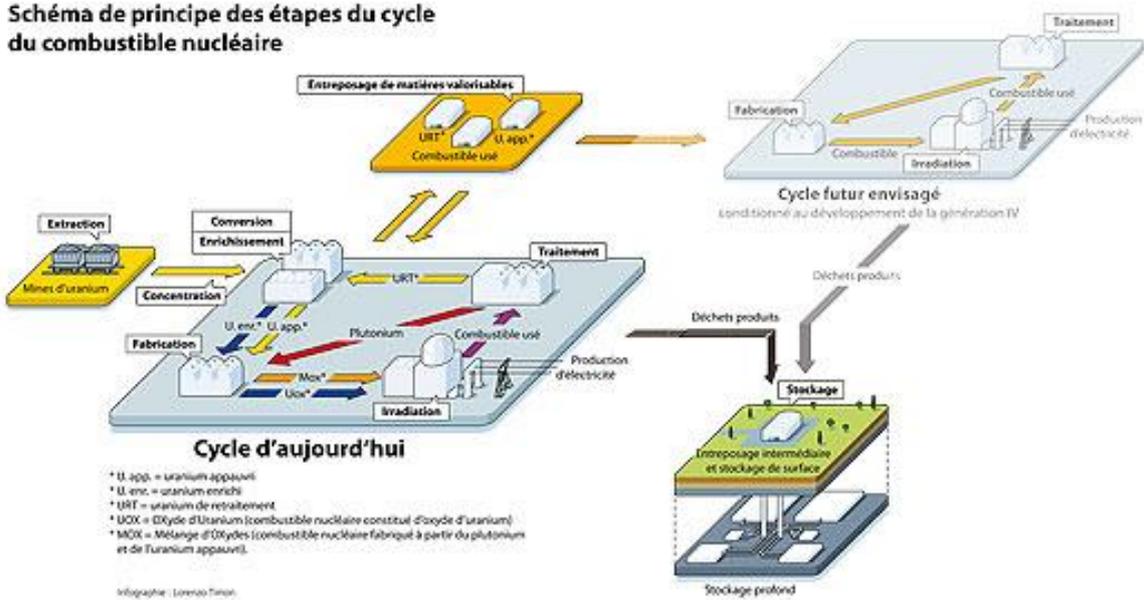
Conclusion

Chaque année, il faut environ "8.000 tonnes d'uranium naturel pour fabriquer la quantité de combustible nécessaire au fonctionnement des centrales françaises qui consomment environ 1.200 tonnes de combustible nucléaire". En termes de recyclage des matières issues du traitement des combustibles usés (uranium et, surtout, plutonium), il est précisé que cela "permet une économie d'uranium naturel estimée à 12%", laquelle "devrait croître à partir de 2010 (pour passer de 12 à 17%)" grâce à l'augmentation conjointe du nombre de "réacteurs utilisant des combustibles fabriqués à partir d'uranium appauvri et de plutonium" et de ceux "utilisant des combustibles fabriqués à partir d'uranium de recyclage".



S'agissant de l'uranium appauvri, la France en produit chaque année, pour les besoins de ses réacteurs "de l'ordre de 7.00 tonnes" dont "une faible partie (de l'ordre de 100 tonnes par an) est réutilisée pour produire du combustible à base de plutonium. Une autre partie peut être utilisée pour produire de l'uranium enrichi, par réenrichissement dans les usines actuelles ou à venir". Le Haut comité observe cependant que "l'essentiel est actuellement entreposé en vue de sa réutilisation envisagée dans les réacteurs de quatrième génération", avec un stock qu'il évalue à "450.000 tonnes en 2040". L'avènement des réacteurs de 4ème génération pourrait alors conduire à la valorisation de ce stock. Pareillement, les combustibles fabriqués à partir des matières recyclées qui sont "actuellement entreposés, car il n'est procédé qu'à un seul recyclage de ces matières" devraient être valorisés avec le "démarrage des réacteurs de quatrième génération".

Schéma de principe des étapes du cycle du combustible nucléaire



OU METTRE LES DECHETS ?



Certains déchets radioactifs ont fait l'objet de modes de gestion pratiqués à l'époque où ils ont été produits et ne seront pas pris en charge dans les centres de stockage de l'ANDRA. À ce titre, ils ne sont pas pris en compte dans les bilans présentant les volumes de déchets, mais sont cependant identifiés dans l'Inventaire national.

Les immersions

L'immersion de déchets radioactifs a été pratiquée par de nombreux pays durant une trentaine d'années à partir de la fin des années 1940. Ces immersions ont d'abord été réalisées à faible profondeur, la plupart du temps dans les eaux territoriales des pays qui les pratiquaient. Elles ont ensuite été réalisées sous la coordination d'instances internationales, à grande profondeur dans les eaux internationales.

En 1967 et 1969, la France a participé à deux campagnes dans l'Atlantique, en immergeant 14 200 tonnes de déchets radioactifs. Dans le cadre des essais nucléaires réalisés par la France dans le Pacifique, 3 200 tonnes de déchets ont également été immergées entre 1967 et 1982.

Les déchets radioactifs immergés se présentaient sous plusieurs formes :

- des déchets liquides, directement évacués en mer ou mis en conteneurs ;
- des déchets solides, non conditionnés, ou pour la plupart, emballés dans des fûts métalliques après incorporation dans du béton ou du bitume.

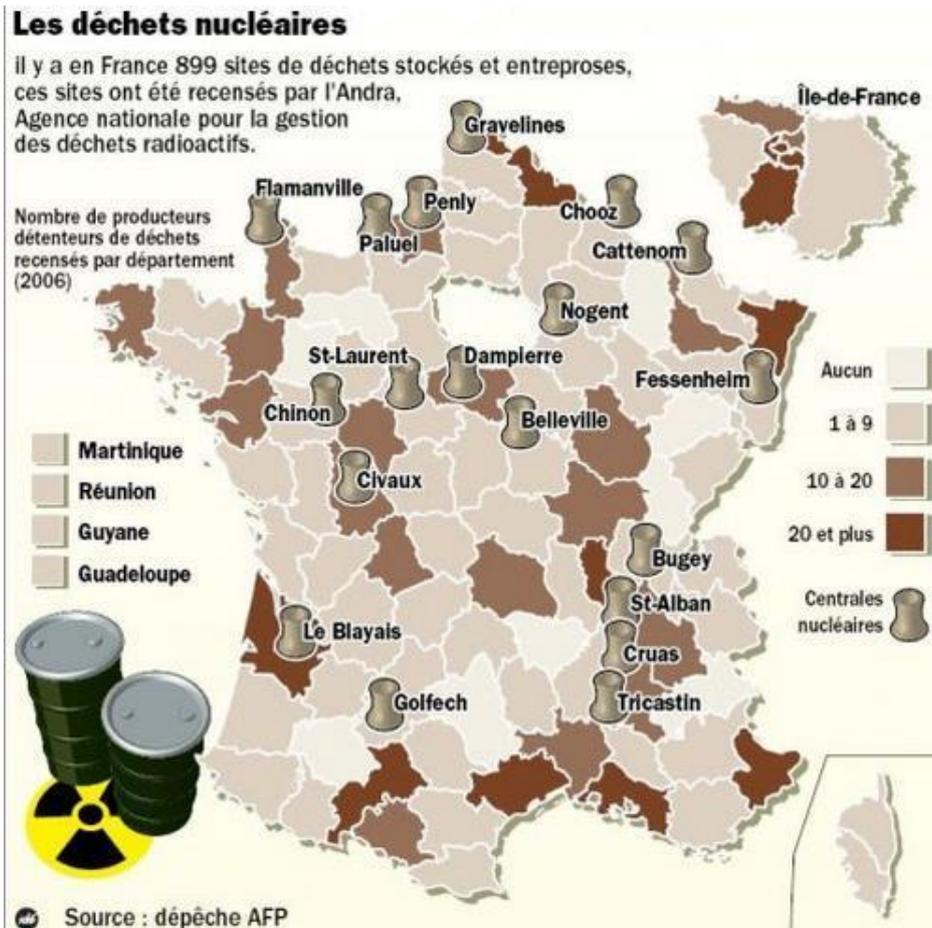
Les anciens sites miniers

Entre 1948 et 2001, 210 sites en France ont fait l'objet d'une activité minière pour l'uranium (exploration, extraction et traitement de l'uranium).

Les activités de traitement du minerai pour récupérer l'uranium ont généré des résidus radioactifs. Ces résidus se présentent sous la forme de blocs, de sables ou de boues et correspondent à des déchets radioactifs à vie longue dont le niveau de radioactivité est comparable à celui des déchets TFA.

À la fin de l'exploitation minière de l'uranium en France, ces résidus, estimés à 50 millions de tonnes, ont été stockés sur vingt de ces sites. *Leur surveillance est assurée par AREVA, sous contrôle des autorités compétentes.*

Les usines dans lesquelles étaient effectuées ces opérations de traitement ont toutes cessé leurs activités et ont été démantelées.



Les autres sites anciens

Cinquante millions de tonnes d'autres déchets ont été stockés dans des stockages ne relevant pas de la responsabilité de l'ANDRA.

80 % d'entre eux sont des déchets dits « à radioactivité naturelle renforcée », c'est-à-dire des déchets générés par la transformation de matières premières contenant naturellement des radionucléides mais qui ne sont pas utilisées pour leurs propriétés radioactives. Ces déchets sont de très faible activité mais contiennent des substances à vie longue.

On recense en France une cinquantaine de stockages historiques :

- stockages *in situ* (stockages à proximité d'installations nucléaires ou d'usines : il s'agit le plus souvent de buttes, de remblais ou de lagunes) ;
- centres de stockage de déchets conventionnels.

Ces stockages contiennent différents types de déchets :

1. **Les déchets de graphite** proviennent du démantèlement des premières centrales nucléaires et de certains réacteurs expérimentaux aujourd'hui arrêtés. Ils sont pour le moment entreposés dans ces installations en attente de démantèlement.

2. **Les déchets radifères** contiennent des radionucléides naturels dont une quantité notable de radium et/ou de thorium. Ils proviennent d'opérations de recherche (ces déchets sont actuellement entreposés sur le site du CEA d'Itteville dans le 91) et de traitement chimique de minerais (actuellement entreposés sur les sites de Cezus et Rhodia). D'autres déchets radifères peuvent également provenir de l'assainissement de sites historiquement pollués au radium dont l'ANDRA assure la mise en sécurité au titre de sa mission d'intérêt général. Ces déchets radifères peuvent restés sur les sites d'origines jusqu'à leur stockage définitif dans le cas où l'entreposage se fait dans des conditions de sûreté satisfaisantes.

3. Autres type de déchets de faible activité à vie longue

Les objets au radium à usage médical (ORUM) collectés par l'ANDRA sont entreposés à l'INB 72 de Saclay. Les paratonnerres au radium et des objets au radium compactables sont entreposés sur l'INB 56 du centre CEA de Cadarache. Les fûts contenant de l'Uranium appauvri sont également entreposés au CEA de Cadarache dans l'ICPE 411 (installation classée pour la protection de l'environnement) ou à l'usine de la Socatri. L'usine Socatri accueille aussi en entreposage des déchets comme des paratonnerres à l'américium ou au radium et les fûts contenant des objets au radium non compactables du thorium ou de l'uranium naturel.



Les déchets HA-MAVL proviennent pour l'essentiel de l'industrie électronucléaire. Ils sont actuellement entreposés à l'usine de retraitement de l'Hague et sur le site de Marcoule. Ils seront entreposés puis stockés dans le futur centre de stockage en profondeur de déchets (HA-MAVL). L'entreposage de ces déchets répond à plusieurs fonctions :

1. Une **mise en attente**, en toute sécurité, des colis de déchets, avant la mise en service du centre de stockage en profondeur.
2. Une **étape tampon** entre deux phases de conditionnement, de contrôle ou de transport des colis, entre les lieux de production des déchets et le centre de stockage.
3. Une **optimisation des transports et du stockage** de colis de déchets. Par exemple, en regroupant l'acheminement en sous-sol de colis de déchets HA ou MA-VL, par familles de colis, par « campagnes » successives portant sur des colis de déchets de même type stockés dans une zone du stockage dédiée.
4. Une **décroissance thermique des colis** de déchets HA ou MA-VL. Ces colis émettent une chaleur trop importante pour être stockés en profondeur dès qu'ils sont produits. Un délai d'attente de 60 ans minimum, pouvant aller jusqu'à une centaine d'années est requis avant leur stockage. A leur arrivée sur le futur site de stockage, certains colis de déchets pourront être mis en attente de décroissance thermique.
5. L'accueil, **au cours de la phase de réversibilité** des colis de déchets stockés en profondeur, qui pourraient être remontés à la surface temporairement ou définitivement. L'entreposage permettrait d'y placer ces déchets.

		PÉRIODE		
		Vie très courte (Période < 100 jours)	Vie courte (Période ≤ 31 ans)	Vie longue (Période > 31 ans)
ACTIVITÉ	Très faible activité (TFA)	Gestion par décroissance radioactive sur le site de production puis évacuation dans les filières conventionnelles	Stockage de surface (Centre de stockage des déchets de très faible activité de l'Aube)	
	Faible activité (FA)		Stockage de surface (Centre de stockage des déchets de faible et moyenne activité de l'Aube)	Stockage à faible profondeur (à l'étude dans le cadre de la loi du 28 juin 2006)
	Moyenne activité (MA)			
	Haute activité (HA)		Stockage réversible profond (à l'étude dans le cadre de la loi du 28 juin 2006)	

46

⁴⁶ <http://www.andra.fr/pages/fr/menu1/les-dechets-radioactifs/comment-sont-classes-les-dechets-radioactifs-r-9.html>

La mer, une poubelle radioactive



Au cours des années 1950, une partie des déchets provenant des centrales nucléaires européennes et américaines ont été jetés à partir de navires dans l'Atlantique et entre les îles anglo-normandes et le cap de la Hague⁴⁷.

En effet, durant une première phase du développement de l'usage de l'énergie nucléaire a prévalu l'idée que la dispersion large dans l'environnement d'une partie des déchets radioactifs de faible activité pouvait être une solution pour le long terme.

Bien que cette option ait été fortement controversée au sein même de la communauté des ingénieurs du nucléaire et même durant sa mise en œuvre ; jusqu'en 1982, plus de 100 000 tonnes de déchets radioactifs ont été déversés dans des conteneurs en béton, au fond des océans – en atlantique principalement - par une douzaine de pays dont principalement :

- le Royaume-Uni (76,55 %);
- la Suisse (9,64 %);
- les États-Unis (7,67 %);
- la Belgique (4,63 %);
- l'URSS (proportion non connue);
- la France (0,77 %) a cessé ses dépôts sous-marins en 1973.

Certains conteneurs devaient rester étanches environ 500 ans, délai nécessaire pour ramener leur activité à une valeur telle que leur dispersion dans la mer ne pose pas de problème. Cela étant dit une partie d'entre eux sont fissurés ou ouverts 30 ans après leur immersion.

À noter que ces déchets immergés ne représentaient nullement la totalité des déchets et qu'il n'a jamais été question que cette pratique soit la pratique nominale pour l'ensemble des déchets radioactifs.

Le 12 mai 1993, les parties contractantes de la Convention internationale de Londres⁴⁸ ont voté l'interdiction définitive du déversement en mer de déchets radioactifs. Depuis, les déchets sont gérés dans la majorité des cas en centres de stockage.

⁴⁷ <http://www.greenpeace.org/belgium/fr/multimedia/photos/f-ts-de-dechets-radioactifs-im/>

⁴⁸ La **Convention sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets**, communément appelée *Convention de Londres* ou LC72 est un traité international sur le contrôle de la pollution des mers par immersion de déchets, encourageant les accords régionaux en complément du texte de base. Elle porte sur l'élimination des déchets et autres matériaux en mer, depuis les navires, aéronefs et plates-formes. Elle ne couvre ni les émissions à partir de sources côtières, comme les égouts, ni les déchets provenant de l'exploration et de l'exploitation des ressources minérales maritimes, et ne s'applique pas en cas de force majeure lorsqu'il s'agit de sauvegarder des vies humaines ou de sécurité des navires. Elle ne couvre pas non



Par ailleurs et de manière illégale, 32 cargos de déchets radioactifs provenant notamment de l'agence italienne pour la recherche énergétique auraient été coulés au large de l'Italie et au large de la Somalie par la N'drangheta, mafia calabraise, dans les années 1980 et 1990⁴⁹. Un de ces cargos, le Cunsky, a été retrouvé le 12 septembre 2009 à 20 milles nautiques des côtes italiennes sur les indications d'un repenti; il contenait 120 bidons de déchets radioactifs.

plus le stockage de matière dans un but autre que l'élimination. La Convention de Londres est entrée en vigueur le 30 août 1975.

Le 17 novembre 1996, une Réunion spéciale des Parties contractantes a adopté le *Protocole de 1996 à la Convention de 1972 sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets* (dit *Protocole de 1996*). Le Protocole de 1996 a déplacé le périmètre de la Convention de 1972 vers le milieu terrestre, créant un lien entre la gestion des déchets terrestres et maritimes. Preuves en sont la codification du principe de précaution et l'institution d'exigence telles que l'audit de prévention des déchets, l'identification et la maîtrise des sources de contamination, et la collaboration avec les agences locales et nationales agissant pour le contrôle des sources de contamination.

Ratifié par 30 pays en mars 2006, il est entré en vigueur et remplace maintenant la Convention de Londres.

En harmonie avec l'Agenda 21 de 1992 (Rio), le Protocole de 1996 fait évoluer la convention vers une prise en compte plus forte de la prévention ; en particulier pour passer d'une évacuation contrôlée en mer d'une variété de déchets terrestres à des solutions terrestres intégrées pour la plupart des déchets, et à une élimination maritime contrôlée pour une catégorie restreinte de déchets.

Parmi les principales innovations du Protocole de 1996 on distingue

- une codification du principe de précaution et du principe pollueur-payeur.
- l'approche dite de la « liste inverse » qui est une révision structurelle majeure de la Convention, visant à concrétiser le principe de précaution. Désormais, au lieu d'interdire l'immersion des déchets dangereux listés, les Parties contractantes doivent interdire l'immersion de tout déchet non listé dans l'annexe I (la liste inverse) du Protocole de 1996. L'immersion de déchets mentionnés dans cette annexe nécessite en outre un permis.
- Les Parties devront maintenant adopter des mesures assurant que l'émission de permis et les conditions des immersions ainsi autorisées soient conformes à l'annexe II (évaluation des déchets) du Protocole.
- Les substances de la liste inverse comprennent les déblais de dragage ; les boues d'épuration ; les déchets issus du traitement industriel du poisson ; les navires et plates-formes ou autres ouvrages artificiels en mer ; les matières géologiques inertes, inorganiques ; les matières organiques d'origine naturelle ; et les objets volumineux constitués de fer, d'acier, de béton et de matériaux également non nuisibles, dont l'impact physique suscite des préoccupations, à condition qu'ils viennent de lieux sans autres alternatives tels que des petites îles isolées.
- Le Protocole de 1996 interdit aussi l'incinération en mer (sauf en cas d'urgence) et l'exportation de déchets vers des états non-adhérents à fin d'immersion ou d'incinération en mer.
- Il possède une clause spéciale sur l'enfouissement sous-marin du CO₂ dans un but de lutte contre le réchauffement climatique. (En 2007, le Japon avait déjà modifié¹ sa loi sur la prévention des pollutions marines et celle sur la prévention des catastrophes naturelles pour adopter le protocole, après d'autres pays, mais avec l'intention de rapidement enfouir sous la mer 100.000 tonnes en 2008 de CO₂ contre 10.000 en 2007, avec un projet de croissance de cet enfouissement jusqu'en 2015. L'impact écologique de ce type de solution est mal évolué, notamment concernant le risque de relargage en cas de tremblement de terre ou Tsunami).

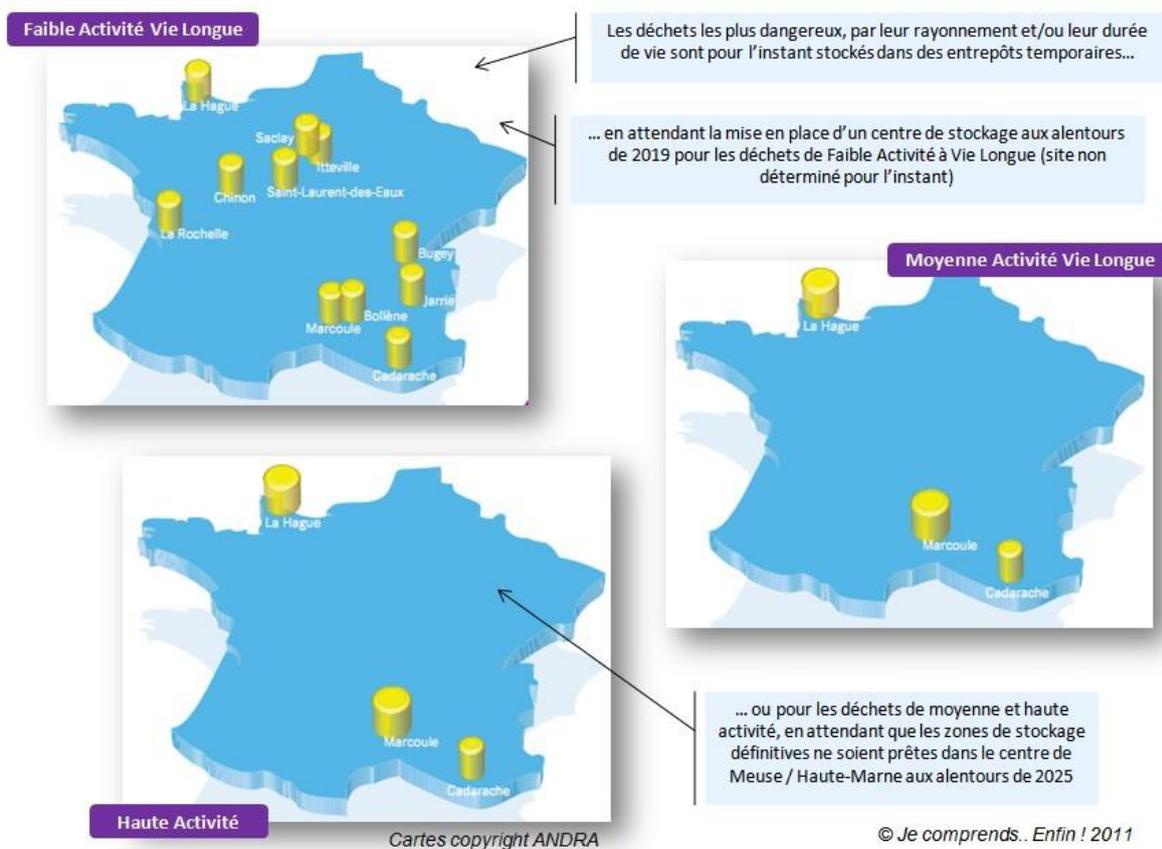
⁴⁹ http://www.iaea.org/Publications/Magazines/Bulletin/Bull314/French/31404684750_fr.pdf

Les sites de l'ANDRA en France

La dangerosité des déchets radioactifs diminue au fil du temps du fait de la décroissance naturelle de la radioactivité qu'ils contiennent.

En fonction des déchets, cette décroissance peut prendre de quelques jours jusqu'à plusieurs centaines de milliers d'années. Le principe du stockage consiste à isoler suffisamment longtemps ces déchets afin que la radioactivité qui se retrouve au contact de l'homme ne présente pas de risque pour la santé.

Cette solution a été choisie afin de ne pas reporter la charge de la gestion des déchets produits aujourd'hui sur les générations futures.



Aujourd'hui, il existe déjà en France des centres de stockage de surface, exploités et surveillés par l'ANDRA dans la Manche et dans l'Aube.

Ils permettent de stocker 90 % des déchets radioactifs produits chaque année : ceux ayant une très faible activité ou une durée de vie courte (TFA et FMA-VC).

En complément, l'ANDRA étudie des centres de stockage souterrains pour les déchets ayant une forte radioactivité ou une durée de vie longue. En attendant, les déchets concernés sont entreposés provisoirement dans des installations spécifiques.

Le centre stockage de la Manche



Premier centre français de stockage de déchets radioactifs, le Centre de stockage de la Manche (CSM) a été ouvert en 1969.

À l'issue de 25 ans d'exploitation, le centre a été fermé et recouvert de plusieurs couches de matériaux destinés à protéger les ouvrages, notamment contre les eaux de pluie.

Depuis sa fermeture en 2003, le centre fait l'objet d'une surveillance régulière, de la part de l'ANDRA, pour suivre son évolution et contrôler son impact sur l'environnement. L'ANDRA mène également les travaux nécessaires pour assurer la pérennité de la couverture du centre.

Cette surveillance s'effectuera pendant au moins 300 ans.

527 225 m³ de déchets ont été stockés au Centre de stockage de la Manche.

Le Centre de stockage pour les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (Soulaines-Dhuys)



Bénéficiant de toute l'expertise acquise en un quart de siècle au Centre de stockage de la Manche, le Centre de stockage de l'ANDRA dans l'Aube accueille, depuis 1992, les déchets FMA-VC.

Il s'étend sur 95 hectares dont 30 sont réservés au stockage. Les déchets sont stockés en surface dans des ouvrages en béton armé de 25 m de côté et de 8 mètres de hauteur.

Une fois remplis, les ouvrages sont fermés par une dalle de béton dont l'étanchéité est assurée par un revêtement imperméable.

À la fin de l'exploitation, une couverture, composée notamment d'argile, sera placée sur les ouvrages pour assurer le confinement des déchets à long terme.

Le Centre de stockage de déchets FMA-VC est conçu pour accueillir 1 million de m³ de déchets. Fin 2011, 255 140 m³ de déchets y étaient déjà stockés.

Le Centre de stockage pour les déchets de très faible activité (Morvilliers)



Du fait du très faible niveau de radioactivité des déchets TFA, la plupart des pays étrangers ont décidé de les gérer comme des déchets « conventionnels ».

La France a décidé de les considérer comme des déchets radioactifs et a conçu un centre de stockage dédié en 2003.

Implanté dans le département de l'Aube, le centre de l'ANDRA s'étend sur 45 hectares dont 28,5 hectares réservés au stockage. Une fois conditionnés, les lots de déchets sont identifiés et stockés en surface dans des alvéoles de 176 mètres de long et 25 mètres de large, creusées à quelques mètres de profondeur dans une couche argileuse. Une fois remplies, ces alvéoles sont fermées puis recouvertes d'une couverture composée notamment de sable, d'une membrane imperméable et d'argile.

Le Centre de stockage de déchets TFA est conçu pour accueillir 650 000 m³ de déchets. Fin 2011, 203 435 m³ de déchets y étaient déjà stockés.

Des déchets en attente de stockage toujours plus volumineux

Une part non négligeable des déchets relevant de ces catégories reste, malgré l'existence de ces centres de stockage, entreposée sur différents sites de l'industrie nucléaire en attente d'une solution : il s'agit de déchets, en général anciens, qui ne présentent pas un conditionnement adapté aux exigences techniques d'acceptation dans ces centres.

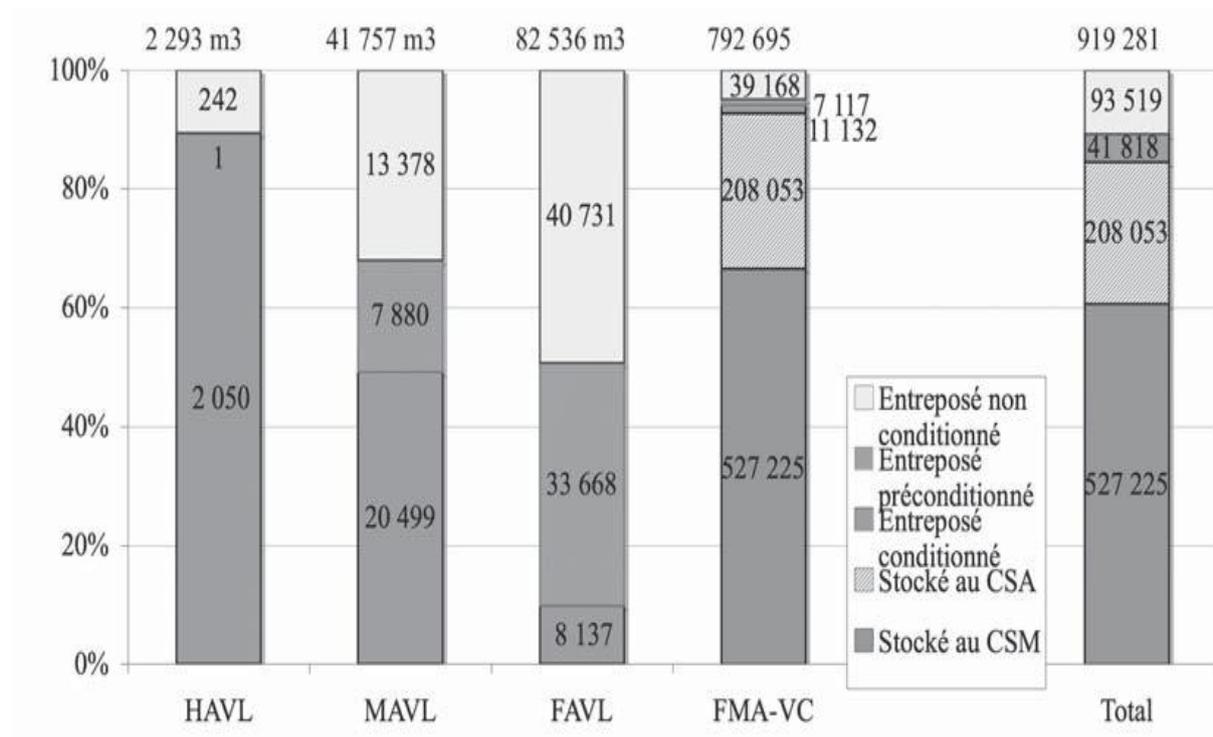
Un problème plus fondamental encore est posé par les déchets présentant d'autres caractéristiques, en particulier une radioactivité plus élevée ou une durée de vie beaucoup plus longue. Ces déchets ne disposent aujourd'hui d'aucune solution d'élimination et de stockage, et sont entreposés, auprès des réacteurs et des usines ou dans des sites dédiés, sous une forme plus ou moins correctement conditionnée. On distingue en particulier :

- les déchets FMA-VC tritiés, principalement issus du programme nucléaire militaire, dont l'entreposage pour décroissance est à l'étude dans le cadre de la loi de 2006. L'ANDRA estime à 2 905 m³ le volume dans leur conditionnement définitif de ces déchets existants au 31 décembre 2007 ;
- les déchets faiblement radioactifs à vie longue (FA-VL), notamment les déchets radifères, principalement issus de l'industrie du radium, et les déchets de graphite qui correspondent aux chemises et empilements des assemblages combustibles des réacteurs de première génération, dits uranium naturel-graphite-gaz (UNGG).

L'ANDRA estime leur volume existant fin 2007, en équivalent conditionné, à 82 536 m³ ; toutefois 8 137 m³ seulement font l'objet d'un conditionnement final. Le stockage de ces déchets est à l'étude et un site est recherché pour son implantation. Le délai fixé par la loi de 2006 pour la mise en service de ce site (2013), est déjà reconnu comme intenable, et la procédure de recherche de site est dans une impasse après le désengagement des deux municipalités s'étant dans un premier temps portées candidates ;

- les déchets moyennement actifs à vie longue (MA-VL), qui comprennent notamment les gaines de combustible usé et les boues de traitement d'effluents issues du retraitement. Ces déchets, dont plus de la moitié sont non ou mal conditionnés, représenteraient en 2007 un stock de 41 757 m³ en équivalent conditionné. La loi de 2006 prévoit l'élimination de ces déchets dans un stockage géologique profond, dont elle fixe l'objectif de mise en service industrielle à 2025 ;
- les déchets hautement actifs à vie longue (HA), qui contiennent, sous forme de colis vitrifiés, les produits de fission et actinides mineurs séparés des matières fissiles (uranium et plutonium) après retraitement du combustible usé. L'ANDRA estime à 2 293 m³ en équivalent conditionné leur volume fin 2007. Ces déchets vitrifiés doivent, selon la loi de 2006, rejoindre les déchets MA VL dans un site de stockage profond.

La gestion des déchets existants reste donc, plus de cinquante ans après le début de leur production à l'échelle industrielle, loin d'être aboutie. Le graphique ci-dessous résume la situation pour l'ensemble des déchets radioactifs existants fin 2007.



Bien que sans solution en l'état pour une partie d'entre eux, les déchets continuent d'être produits, notamment au travers de la poursuite de l'exploitation des installations nucléaires existantes et, à terme, de leur démantèlement. L'ANDRA estime que le volume total de déchets, estimé à 1 152 533 m³ en équivalent conditionné fin 2007, aura doublé en 2030, et presque triplé à l'issue du démantèlement des installations existantes.

Si l'absence de solution à long terme pour la fraction la plus dangereuse des déchets reste la préoccupation majeure, la robustesse dans le temps des solutions de stockage mises en œuvre dans le passé est un autre problème important qui émerge. Là où des solutions de gestion réputées définitives ont été mises en place, l'évolution des connaissances et des exigences conduit à s'interroger sur les problèmes posés et sur la nécessité d'une surveillance accrue, voire d'actions ponctuelles de renforcement ou de reprise des stockages existants.

Le Centre de stockage de la Manche (CSM) est l'illustration de ce problème. Sa conception a été établie sur la base de critères en vigueur dans les années soixante qui ont depuis, avec le retour d'expérience et la montée des préoccupations liées à la protection de la santé et de l'environnement, considérablement évolué. Sa gestion a été guidée par des pratiques peu rigoureuses qui ont conduit par exemple à l'accumulation dans le site de déchets contenant des radionucléides à vie longue, plutonium notamment. L'ANDRA reconnaît d'ailleurs gérer aujourd'hui ce stockage comme un héritage historique, et non selon le mode de gestion en vigueur sur les centres de stockage encore en activité⁵⁰. Dans une étude consacrée à l'état du CSM et son évolution, l'Association pour le contrôle de la radioactivité dans l'Ouest (ACRO) a dressé en 2009 le bilan des problèmes posés par l'inventaire ou les relâchements de radioactivité du site, soulignant que « l'empirisme qui a guidé l'édification de ce centre suscite déjà de nombreuses inquiétudes qui devraient s'aggraver dans l'avenir ».

⁵⁰ Outre l'absence de solution à long terme et les stockages historiques, l'entreposage des déchets pose d'ores et déjà de véritables problèmes de sûreté. Ces problèmes sont surtout aigus pour une partie des déchets produits par le retraitement de combustible usé, dans l'usine aujourd'hui fermée UP1 de Marcoule et dans l'usine UP2 de La Hague, avant la mise en place des techniques de conditionnement actuelles. Illustration parmi d'autres, une décision de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) est venue rappeler en juin 2010 que certains déchets anciens entreposés dans des silos sur le site de La Hague doivent être repris. Il s'agit cette fois de 750 tonnes de déchets de structure des combustibles UNGG et de gravats contaminés dans une fosse et de 1 400 m³ d'effluents et de boues dans une autre.

L'ASN se dit particulièrement préoccupée par la reprise de déchets magnésiens stockés en silo (bâtiment 130), « cette installation ne présentant pas un niveau de sûreté suffisant en regard des normes actuelles ». En 2008, une autre décision du même type portait sur la reprise de boues bitumées issues des effluents du retraitement, également entreposées en silo. Dans les deux cas, les prescriptions successives de l'autorité de sûreté pour définir une solution technique de reprise ont été régulièrement outrepassées par l'exploitant. Avec ces deux décisions, l'ASN fixe un calendrier contraignant pour la démonstration, l'approbation et la mise en œuvre des solutions de reprise et de reconditionnement. Il n'est toutefois pas question d'un règlement rapide : les échéances fixées pour une reprise totale s'étalent entre 2020 et 2030...

Un autre problème posé est celui des stockages « in situ » qui ont pu être effectués sur les sites nucléaires, dans les années soixante et soixante-dix notamment. Les incidents survenus à l'été 2008 au Tricastin avaient par exemple fait apparaître l'existence d'un stockage, dans une simple butte de terre d'un volume d'environ 15 000 m³, de déchets issus des installations de production d'uranium enrichi à usage militaire de Pierrelatte, qui ont été enfouis là entre 1969 et 1976. La Commission de recherche et d'information indépendantes sur la radioactivité (CRIIRAD) a dénoncé une « *violation caractérisée des règles de stockage* » et pointé les risques liés par exemple à l'érosion et au contenu radiologique et chimique de ces déchets. La butte de Pierrelatte est l'un des huit stockages de déchets radioactifs constitués en butte, remblais ou lagune sur ou à proximité de sites industriels (nucléaires ou non) recensés par l'ANDRA, qui reconnaît par ailleurs que la connaissance de ces situations n'est pas nécessairement exhaustive.

La Russie ultime lieu de stockage des « matières valorisables »...

Depuis longtemps, une partie des déchets qu'Areva prétend recycler à La Hague pour qu'ils soient réutilisés dans des réacteurs finit en réalité stockée dans les plaines de Sibérie. Dès 1984, le cargo *Mont-Louis* coulait au large de Zeebrugge (Belgique), avec à son bord une cargaison d'uranium français issu du retraitement à destination de Riga (Russie).

Plus récemment, le 7 décembre 2005, des activistes de Greenpeace ont bloqué le chargement d'une cargaison d'uranium sur le Kapitan Kuroptev, un navire à destination de Saint-Petersbourg. Par cette action, Greenpeace dénonçait alors l'exportation illégale de déchets nucléaires français à l'étranger

« Il est curieux d'avoir entendu, depuis des années, l'industrie nucléaire française dénigrer le niveau de sécurité et souligner le manque de sérieux de l'industrie russe suite à la catastrophe de Tchernobyl, et de lui avoir confié en même temps la gestion de centaines de tonnes de nos propres déchets nucléaires », note Yannick Rousselet.

Ce scandale révèle la vraie nature du retraitement

Sorties des 58 réacteurs de production d'électricité d'EDF, 1 450 tonnes de combustibles usés sont envoyées chaque année. 850 à 1 000 tonnes sont retraitées, le reste venant grossir la masse de déchets stockés dans les piscines de l'usine de La Hague (actuellement 8 000 à 9 000 tonnes)

Le retraitement consiste à séparer 3 grandes matières :

- le plutonium (1 %) : une petite partie est réellement recyclée et est utilisée pour fabriquer du combustible MOX. Le reste est stocké à La Hague.

- les produits de fission (3 %) : ils sont vitrifiés et actuellement stockés dans des puits ventilés dans l'usine de La Hague.
- l'uranium de retraitement (96 %) : c'est cet uranium qui fait aujourd'hui polémique. Il est envoyé dans l'usine de conversion de Pierrelatte (Drôme), afin d'y être transformé. Une grande part du produit issu de cette transformation est stocké sur place (18 000 tonnes), une autre est envoyée dans la mine de Bessines (Limousin) et le reste, dont les chiffres sont tenus secrets par EDF, est exporté vers l'usine russe de Tomsk via Le Havre et Saint-Petersbourg.

La version officielle serait que cette matière y est ré-enrichie afin de pouvoir être réutilisée comme combustible. En réalité, seuls moins de 10 % de la matière reviennent en France. Actuellement, au maximum deux réacteurs nucléaires français (Cruas 3 et 4) sont susceptibles de réutiliser ce combustible.

« Greenpeace met au défi Areva et EDF de publier avec précision les données sur l'ensemble des flux de matières entre la sortie des réacteurs, lors des opérations de retraitement, conversion et ré-enrichissement puis à la fin de retour en réacteur » exhorte Yannick Rousselet.

En octobre 2010, Laure Noualhat, journaliste à *Libération*⁵¹, à l'issue d'une longue enquête affirme que 13% des matières radioactives actuellement produites en France sont « abandonnées » dans le complexe atomique de Tomsk-7, en Sibérie.



Depuis le milieu des années 1990, ce sont 120 tonnes d'uranium appauvri qui arrivent chaque année en Russie où des industriels seraient en capacité de « ré-enrichir » ces matières afin qu'elles puissent être utilisées dans des réacteurs nucléaires français. Au final ce ne serait que 10% de cet uranium qui serait réinjecté dans le parc français après enrichissement, le reste -108 tonnes- reste en Russie pour un stockage dans des conditions qui interrogent les écologistes russes. En l'état, cet uranium n'est guère dangereux... sauf si un avion venait à se crasher dessus", car cela "dispenserait les matières radioactives dans l'environnement. Il conviendrait par ailleurs de ne pas occulter les risques inhérents au transport de ces matières sur près de 8 000 km ni les menaces de prolifération qu'ils représentent compte tenu des conditions de stockage...

⁵¹ Auteur du documentaire réalisé par Eric Gueret, *Déchets, le cauchemar du nucléaire*.
<http://www.arte.tv/fr/2766888.html>

Nos déchets nucléaires sont cachés en Sibérie⁵²

Depuis des années, l'industrie nucléaire se présente comme une industrie recyclable où, nous affirme-t-on, 96% des matières radioactives sont réutilisables. Un chiffre à faire pâlir d'envie les industries les plus polluantes. La filière nucléaire fait ainsi figure d'industrie propre, recyclable, fonctionnant en circuit quasi fermé et qui, de surcroît, assure l'indépendance énergétique de la France. La réalité est un poil différente. Et le beau circuit du nucléaire connaît en fait de grosses fuites. Aujourd'hui, c'est près de 13 % des matières radioactives produites par notre parc nucléaire qui dorment quelque part au fin fond de la Sibérie. Précisément dans le complexe atomique de Tomsk-7, une ville secrète de 30 000 habitants, interdite aux journalistes. Là-bas, chaque année, depuis le milieu des années 1990, 108 tonnes d'uranium appauvri issues des centrales françaises viennent, dans des containers, se ranger sur un grand parking à ciel ouvert.

Comment et pourquoi en est-on arrivé là ? Pour le comprendre, il faut remonter la filière du retraitement nucléaire français. Au cours de la réaction en chaîne, le combustible, constitué principalement de barres d'uranium, produit un peu de plutonium, mais aussi des «déchets ultimes». L'exploitant EDF paie donc l'industriel Areva pour retraiter le combustible usé de ses centrales à l'usine de La Hague, dans la Manche (lire page 4). Là-bas, on isole les déchets ultimes dont on ne peut rien faire (4 % des volumes), puis le plutonium (1%) et l'uranium de retraitement (les 95% restants). L'industriel Areva assure que le plutonium et l'uranium de retraitement sont réutilisables, ce qui représente le fameux taux de recyclage à 96%. Dans les faits, c'est plus compliqué.

En bateau, en train. *Le plutonium est effectivement réinjecté dans le cycle du combustible, mais à des taux très faibles. En l'associant à de l'uranium appauvri, on obtient un nouveau combustible, le MOX (abréviation de «mélange d'oxydes»), qui alimente, en partie, 22 des 58 réacteurs français. Quant à l'uranium de retraitement, on ne peut le réutiliser qu'à hauteur de 10 %. Pour le réintroduire dans un cœur de réacteur, il faut l'enrichir plus que d'ordinaire. C'est un processus qui s'opère aujourd'hui en Russie, car la France ne dispose pas de la technologie. «Le site Eurodif, dans la Drôme, qui est l'usine d'enrichissement d'Areva, ne dispose pas d'une ligne de production spécifique pour permettre ce travail» explique Mycle Schneider, consultant international en matière d'énergie. Ainsi, Areva expédie une partie de l'uranium de retraitement à 8 000 kilomètres de la France, en Sibérie.*

Les containers embarquent sur un bateau au Havre, jusqu'à Saint-Pétersbourg, puis sont chargés à bord d'un train pour être traités dans le complexe atomique de Tomsk-7. Une fois là-bas, l'uranium de retraitement est réenrichi, ce qui produit 10 % de matières réutilisables par EDF, et 90 % d'uranium très appauvri - que l'on appelle les queues d'uranium - qui deviennent la propriété de l'entreprise russe Tenex. C'est cet uranium qui est stocké sur de grands parkings à ciel ouvert. En l'état, il n'est guère dangereux... sauf si un avion venait à se crasher dessus. Cela disperserait les matières radioactives dans l'environnement.

Les industriels français du secteur, Areva et EDF, se défendent de laisser des déchets radioactifs aux Russes. Pour eux, cette matière appauvrie peut se réutiliser, elle est «valorisable». Et chez Borloo, à la direction de l'énergie et du climat, on décline les multiples usages qu'on pourrait en faire. «On peut l'associer à du plutonium et faire du MOX. Et quand les réacteurs de quatrième génération seront au point, en 2040 si tout se passe bien, on pourra la réutiliser», affirme-t-on. EDF considère en effet que cette dernière option «représente le potentiel de réutilisation le plus important, dans la mesure où les queues d'uranium constituent le combustible naturel de cette technologie». Rendez-vous donc en 2040.

⁵² <http://www.liberation.fr/economie/0101596550-nos-dechets-nucleaires-sont-caches-en-siberie>

Protocole franco-russe sur le stockage de déchets nucléaires en Russie

MOSCOU - L'Agence de l'énergie atomique russe, Rosatom, a annoncé jeudi avoir signé un protocole d'accord de coopération avec l'Agence nationale française pour la gestion des déchets radioactifs (Andra), notamment pour créer des centres de stockage des déchets radioactifs en Russie.

Le protocole a mis sur le papier la volonté de deux parties de développer la coopération dans le domaine du traitement des déchets radioactifs, indique Rosatom dans un communiqué.

Il prévoit en particulier le perfectionnement de la technologie de traitement, la création de sites de stockage, l'information de la population et la formation de l'opinion publique, selon la même source.

L'accord a été signé en marge du Forum de Saint-Pétersbourg (nord-ouest de la Russie).

En 2009, une enquête du journal français Libération et de la chaîne franco-allemande Arte avait révélé que la France envoyait chaque année des tonnes de déchets nucléaires en Russie, indiquant que près de 13% des matières radioactives produites en France étaient stockés dans le complexe de Tomsk-7, en Sibérie.

(©AFP / 21 juin 2012 13h02) ⁵³



Stockage sécurisé des déchets radioactifs

Technologies de conditionnement des déchets radioactifs

Un des procédés les plus modernes de conditionnement des déchets radioactifs liquides, c'est la vitrification

! Les déchets radioactifs vitrifiés sont confinés



Le type de stockage de déchets radioactifs dépend de leur niveau d'activité et de leur durée de vie



Les autres technologies de conditionnement :

- Conditionnement dans des matrices en bitume
- Combustion
- Recyclage par plasma en bitume
- Conditionnement dans des matrices en béton

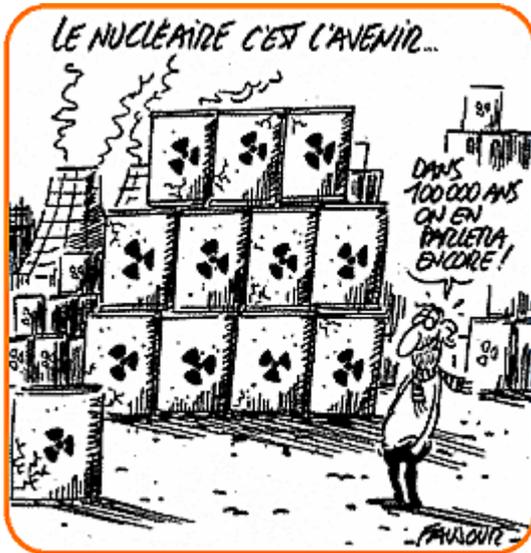
Près de la moitié des déchets radioactifs du monde sont stockés dans les 1.170 dépôts situés dans 33 régions de la Russie



RIANOVOSTI © 2010

www.rian.ru

En tout cas la facture sera salée...



Dans ses conclusions la Cour écrit à propos des déchets de haute activité ou de moyenne activité à vie longue : « La révision du devis 2005 (16,5 Md€2010) du centre de stockage profond divise l'ANDRA (chiffrage SI 2009 à 36 Md€2010) et les producteurs (projet STI à 14,4 Md€2010). Le projet STI présenté par les producteurs aboutit ainsi à un coût inférieur au devis de 2005 à partir duquel ils calculent leurs provisions actuellement. L'estimation officielle des coûts sera déterminée par arrêté ministériel

avant 2015. Si cette estimation était supérieure à celle de 2005 et proche du montant révisé du devis de l'ANDRA, les producteurs devraient ajuster le montant de leurs provisions, de manière potentiellement significative. Dans tous les cas, l'architecture et le coût final du centre de stockage profond sont appelés à évoluer du fait des évolutions techniques et réglementaires au cours de son exploitation qui durera au moins 100 ans à partir de 2025. » « Par ailleurs, les concepts actuellement étudiés et chiffrés par l'ANDRA ne prévoient pas le stockage direct des assemblages combustibles usés. Cependant, les comptes d'EDF retiennent, pour certains combustibles usés, l'hypothèse d'un stockage direct dont les charges sont calculées à partir de chiffrages et de concepts anciens (2002) de l'ANDRA. Dans le cas où ce type de stockage devait être finalement retenu, il n'est pas certain que le centre de stockage tel qu'il est conçu actuellement pourrait accueillir ces combustibles ni que la provision constituée par EDF serait suffisante pour couvrir les aménagements nécessaires. Il serait donc souhaitable que le coût d'un éventuel stockage direct du MOX et de l'URE produits chaque année compte dans les études futures de dimensionnement du centre de stockage géologique profond ».

Globalement pour l'aval du cycle, l'estimation minimale du coût effectuée par la Cour est de l'ordre de 50 Md € alors qu'elle était de l'ordre de 35 Md € dans le rapport CDP, soit une augmentation de 40 %, avec des incertitudes encore importantes. L'analyse des projets étrangers qu'elle cite montre que le devis actuel a toutes chances d'être sous-estimé. Ce devis suppose d'autre part que les réacteurs de génération 4 soient déployés en masse vers 2040 et donnent toute satisfaction pour une période de l'ordre de 100 ans.



BBC News rapporte que selon un informateur, qui a collaboré avec le juge en charge de l'enquête, le navire faisait partie d'un groupe de bateaux détournés pour le transport illégal de déchets nucléaires. Le navire coulé a été retrouvé à 30 km au large des côtes de la région de Calabre, dans le sud de l'Italie. Des photos prises par une caméra robotisée sur les lieux, montrent le navire intact et sur un côté, des étiquettes jaunes avec des barres, symboles des matériaux toxiques.

Depuis quelques temps, la mafia aurait renforcé son action dans le business très rentable de la gestion de déchets nucléaires. Mais au lieu de les gérer légalement, les mafieux les auraient tout simplement enfouis en mer. Le même informateur a avoué avoir été responsable de l'écoulement de deux autres bateaux de ce genre. Les experts sont en train d'examiner des pièces de l'épave pour déterminer si elles sont radioactives.

Si c'était le cas, une large opération devrait alors être mise en place pour récupérer au moins 30 autres navires supposés avoir été coulés par la mafia, et contenant, potentiellement, des déchets radioactifs. Greenpeace et d'autres groupes écologistes ont dressé une liste de tous les bateaux disparus dans les dernières années des côtes italienne et grecques. Le processus de traitement des déchets toxiques, explique BBC News, est supposé être soumis à des règles de sécurité extrêmement strictes.⁵⁴

⁵⁴ <http://www.slate.fr/story/10427/la-mafia-aurait-enfoui-des-dechets-nucleaires-en-mer>

LES DOCTRINES DE GESTION DES DECHETS RADIOACTIFS





L'industrie nucléaire expose les populations et l'environnement à des risques considérables en raison des matières qu'elle utilise. Si la radioactivité est un phénomène naturel, les combustibles produits et utilisés par la filière

nucléaire ne le sont pas. Ils concentrent la radioactivité et des éléments artificiels dans des proportions qui n'existent pas sur Terre. La première difficulté pour cette industrie est dès lors de confiner ces matières tout au long du « cycle » pour éviter toute contamination du milieu de façon à garantir son acceptabilité sociale. La seconde difficulté est de stocker les tonnes de matières qui restent en fin de « cycle ». En effet la grande différence entre le nucléaire et les autres technologies est qu'il ne « brûle » pas son combustible. La matière radioactive change seulement de composition sous l'effet du bombardement neutronique et devient plus nocive encore. Somme toute le cycle nucléaire ne fait qu'accroître les risques à mesure qu'il utilise les matières radioactives sans jamais apporter de solutions de sûreté pleinement satisfaisantes.

Les matières qui se sont accumulées en fin de cycle et qui s'accumulent encore chaque jour constituent le problème le plus préoccupant. Faute de solutions techniques qui permettent de réduire la nocivité de ces matières, il a été convenu au niveau international la nécessité de les stocker en limitant les risques tant que faire ce peut à un coût supportable pour l'industrie nucléaire.

En France, Le 30 décembre 1991, une loi connue sous le nom de *loi Bataille*, proposa un cadre législatif sur la gestion des déchets radioactifs encore en vigueur et organisait la recherche sur les déchets autour de 3 axes :

- recherche de solutions concernant la séparation et la transmutation des déchets à vie longue ;
- étude des possibilités de stockage réversible ou irréversible en formations géologiques profondes avec réalisation de deux laboratoires souterrains ;
- étude des procédés de conditionnement et d'entreposage de longue durée en surface (ou subsurface) des déchets.

Compte-tenu de l'impossibilité technique de mettre en œuvre la transmutation à grande échelle et du refus de disséminer les déchets en surface à l'échelle du territoire, seule le stockage a été retenu. Il s'agit en fait de regrouper en quelques lieux dûment identifiés et aménagés les déchets les plus toxiques c'est-à-dire l'activité est la plus longue.

A cette fin, l'industrie nucléaire a pris soin d'élaborer des méthodes de **tri des déchets** isolant les plus nocifs, les concentrant puis les enfermant dans des conteneurs sensés les rendre inertes.

C'est ce que l'on appelle en France le retraitement qui ne sert en fait qu'à séparer le plutonium, les actinides mineurs, l'*uranium fissile* d'immenses quantités d'uranium dit *appauvri*. Si cet uranium est stocké dans de simples futs, les produits hautement radioactifs isolés par le procédé de traitement imposent des solutions de conservation nettement plus exigeantes.

Si par définition un **entreposage** est temporaire, la loi de 1991, a autorisé des études génériques pour entreposage longue durée (100 à 300 ans) en surface ou en subsurface. Or, un **entreposage** demande une maintenance et suppose donc que la société en assure le contrôle pendant des siècles. Comme la stabilité de la société ne peut être supposée sur de telles périodes, il faut prendre en compte le cas où cette maintenance serait interrompue pendant des périodes assez longues (10 ans) sans diminuer la sûreté de l'entreposage. Ceci implique que les déchets entreposés soient conditionnés et que les composants soient aussi simples et passifs que possible.

Comme rien ne peut garantir à l'échelle de vie des radioéléments générés par l'industrie nucléaire que les conditions d'entreposage soient garanties, la loi de 2006 préfère à cette solution celle du stockage sensée garantir un niveau de sûreté beaucoup plus intéressants sur la très longue durée.

Par opposition à l'**entreposage**, le **stockage en couche géologique profonde** a vocation à être définitif⁵⁵. Le site de stockage sera fermé par étapes successives, chaque étape rendant plus difficile la **réversibilité** ; il s'agit donc d'un passage graduel du réversible à l'irréversible⁵⁶. C'est la seule condition pour que le confinement soit effectivement opérant. Un stockage géologique doit limiter le relâchement des radionucléides, retarder et atténuer le temps de migration pour les éléments qui pourraient en sortir, et empêcher la circulation d'eau, principal vecteur de la radioactivité, qui dégrade les colis.

De nombreuses études basées sur la modélisation des processus gouvernant l'évolution à long terme du stockage (comportement des barrières ouvragées, comportement des radionucléides...) ont été effectuées depuis plus de dix ans. Aucune aujourd'hui n'apportent de résultats convaincants. L'incertitude reste le maître mot des investigations de l'ANDRA en France ou de l'OFEN en Suisse. Nul n'est en mesure d'assurer que le stockage ne pourra se faire sans impact sur le milieu. Sans vouloir trop caricaturer les positions des partisans du stockage, tout l'enjeu pour eux aujourd'hui est de garantir que les pollutions ne remontrons pas à la surface directement...

⁵⁵ Quelque soit la casuistique développée par les acteurs du stockage géologique qui revendique une réversibilité qui ne convainc personne

⁵⁶ Si les Européens développent aujourd'hui des projets de stockage géologique profonds, les EU y ont aujourd'hui renoncé. En 2009 le président Obama tire un trait sur le projet de Yucca Mountain.

Le cadre réglementaire international

Consciente de l'importance d'une gestion sûre du combustible nucléaire usé et des déchets radioactifs, la communauté internationale est convenue de la nécessité d'adopter une convention ayant pour objectif d'atteindre et de maintenir un haut niveau de sûreté dans le monde entier en matière de gestion du combustible usé et des déchets radioactifs : voilà l'origine de la Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs (la « Convention commune »), qui a été adoptée le 5 septembre 1997 et est entrée en vigueur le 18 juin 2001.

2. Les objectifs de la Convention commune sont les suivants :

1. **Atteindre et maintenir un haut niveau de sûreté dans le monde entier en matière de gestion du combustible usé et des déchets radioactifs, grâce au renforcement des mesures nationales et de la coopération internationale, y compris, s'il y a lieu, de la coopération en matière de sûreté ;**
2. *Faire en sorte qu'à tous les stades de la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs, il existe des défenses efficaces contre les risques potentiels afin que les individus, la société et l'environnement soient protégés, aujourd'hui et à l'avenir, contre les effets nocifs des rayonnements ionisants, de sorte qu'il soit satisfait aux besoins et aux aspirations de la génération actuelle sans compromettre la capacité des générations futures de satisfaire les leurs ; et*
3. *Prévenir les accidents ayant des conséquences radiologiques et atténuer ces dernières au cas où de tels accidents se produiraient à un stade quelconque de la gestion du combustible usé ou des déchets radioactifs.*
3. *Pour atteindre ces objectifs, la Convention commune a adopté un processus d'examen. La Convention commune requiert de chaque partie contractante qu'elle :*
 1. *Soumette à l'avance à toutes les autres parties contractantes un rapport national décrivant comment elle remplit les obligations énoncées dans la Convention commune ;*
 2. *Demande des précisions sur les rapports nationaux des autres parties contractantes par un mécanisme de questions et réponses écrites ;*
 3. *Présente et discute son rapport national lors d'une réunion d'examen comprenant des séances de groupes de pays et des séances plénières ; et*
 4. *Soit prête à émettre des critiques et à faire des observations sur les exposés présentés dans le cadre d'un solide processus d'examen par des pairs.*

La Convention commune précise que l'intervalle entre les réunions d'examen ne devrait pas dépasser trois ans. Les documents joints à la Convention commune contiennent des principes directeurs sur la forme et la structure des rapports nationaux et sur la conduite des réunions d'examen⁵⁷.

⁵⁷ <http://www-ns.iaea.org/downloads/rw/conventions/fourth-review-meeting/summary-report-french.pdf>

Allemagne

En 2008, le ministère fédéral de l'environnement a institué l'ESK, organe de conseil indépendant constitué de 11 experts internationaux indépendants sur la gestion (Traitement et entreposage) des déchets radioactifs des déchets radioactifs, mais aussi sur la fermeture des installations nucléaires⁵⁸.

L'Allemagne prend très tôt la décision de réutiliser d'anciennes mines comme lieu privilégié d'entreposage ou de stockage de ses déchets nucléaires. Ce choix sera maintenu après la réunification, en intégrant des solutions similaires développées en Allemagne de l'Est.

1. La classification des déchets en Allemagne

En Allemagne, les déchets radioactifs sont classés selon leur production de chaleur.

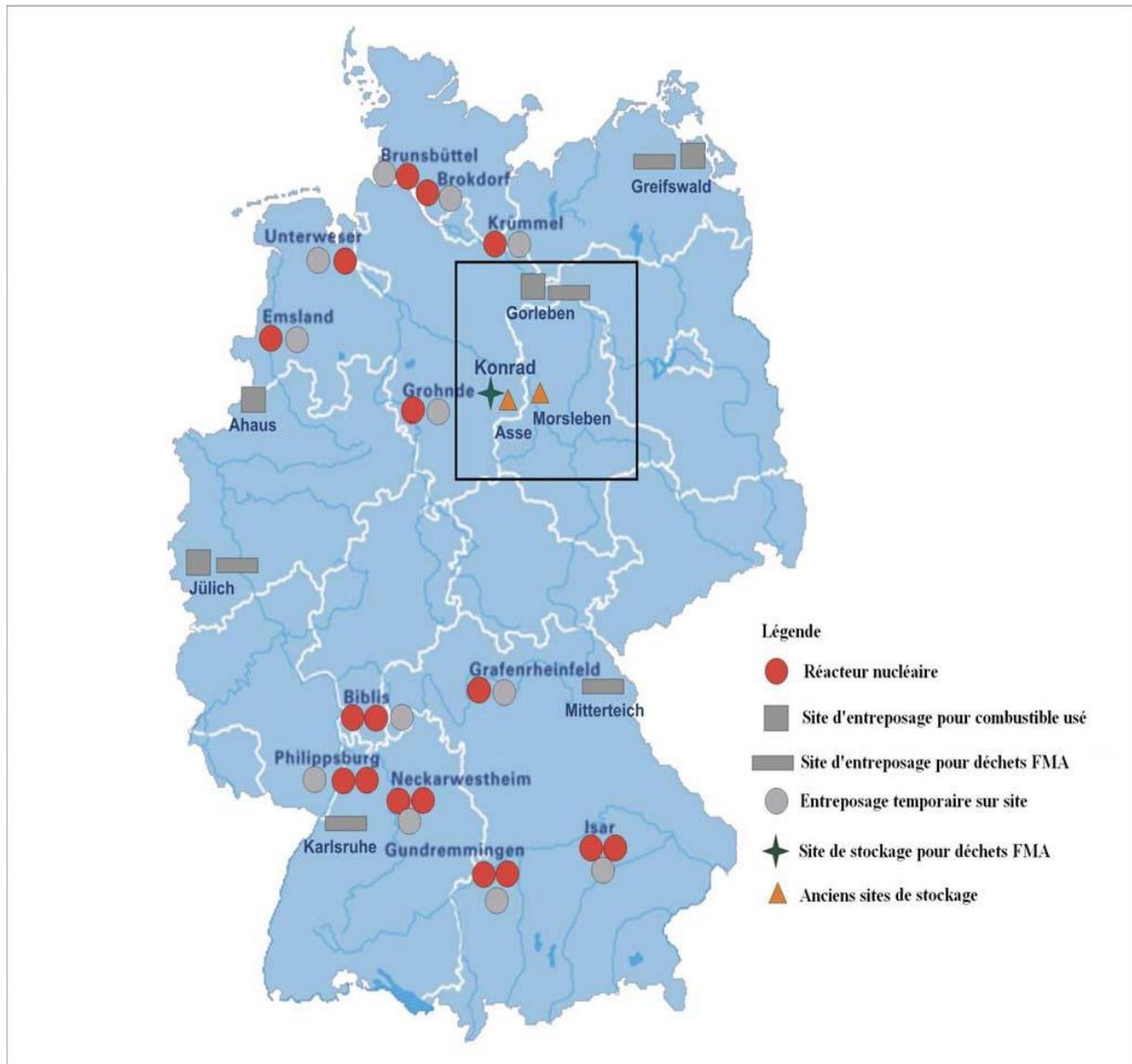
*Pour les **déchets dont la production de chaleur est négligeable** (puissance rayonnée de l'ordre du milliwatt), l'augmentation de température de la roche environnante est faible. Ces déchets sont composés notamment de filtres, d'outils, d'eaux chimiques usées, de boues, de matériaux de nettoyage... Les matériaux radioactifs liquides sont concentrés, par exemple par vaporisation de l'élément non-radioactif. Les matériaux radioactifs solides sont broyés et comprimés, ou, si possible, réduits en cendres. Ces déchets sont ensuite placés dans des fûts ou des conteneurs en acier ou en béton.*

*Dans le cas des **déchets à forte production de chaleur** (puissance rayonnée de l'ordre du kilowatt), l'augmentation de la température de la roche hôte adjacente peut atteindre plus de cent degrés. Pour refroidir ces déchets, et optimiser au mieux l'utilisation des zones de stockage, les déchets à forte production de chaleur sont entreposés, pour plusieurs décennies, dans des installations temporaires de surface avant leur stockage définitif en sous-sol. Ils sont composés des déchets radioactifs vitrifiés issus du retraitement en France et au Royaume-Uni des éléments combustibles usés allemands, ainsi que des autres combustibles usés acheminés directement vers un entrepôt. Les combustibles, tout comme les conteneurs en acier inoxydable contenant les déchets vitrifiés issus du retraitement, sont placés dans des fûts Castor pour leur entreposage. Pour leur élimination définitive, ils seront probablement transférés dans des récipients conçus pour une durée de vie plus longue, par exemple dans des fûts Pollux, similaires aux fûts Castor, mais à usage unique.*

Le volume de déchets à production négligeable de chaleur est estimé à un total cumulé d'environ 290 000 m³ jusqu'en 2080. Les déchets à forte production de chaleur devraient représenter, à terme, environ 24 000 m³.⁵⁹

⁵⁸ Rapport Bataille Biriaux, 2011 [8], p. 110

⁵⁹ Ibidem, p. 105-106



La recherche d'un site de stockage géologique entamée dans les années 1960 avec le laboratoire de la mine d'Asse II⁶⁰ se poursuit alors que diverses expérimentations ont eu lieu :

⁶⁰ En 1965, l'attention des autorités se porte donc sur la mine de sel d'Asse, comme prototype de lieu de stockage avant le stockage définitif dans le dôme de sel de Gorleben ou de Konrad. Il s'agit d'y poursuivre des recherches pour y mettre au point les technologies appropriées, bien qu'un problème d'infiltration d'eau y soit déjà connu.

Des déchets à production de chaleur négligeable y sont acheminés jusqu'en 1978, date où l'entreposage de déchets nucléaires est interdit par un amendement de la loi allemande sur l'énergie nucléaire. Les nouvelles autorisations de stockage ne peuvent plus être délivrées que par un processus strict de planification soumis à enquête publique. Or la mine est à l'époque toujours soumise au code minier et non au code de fonctionnement nucléaire.

Au cours des années 1990 et 2000, la mine passe finalement sous contrôle de l'Office fédéral pour la radioprotection et la sûreté nucléaire. Des contaminations radioactives de la saumure environnante (mélange d'eau et de sel) sont détectées, ainsi qu'une déformation importante de la mine qui se révèle instable, à relativement courte échéance. La décision est alors prise de sa fermeture, voire du déplacement des déchets vers les autres sites d'entreposage.

- dans la Mine d'Asse, site expérimental finalement transformé en décharge, mais où suite à des infiltrations de saumures, et une trop grande vulnérabilité du site, les déchets pourraient devoir être évacués. Les Allemands doivent ainsi gérer 43 000 m³ de déchets empilés « sans précaution » dans une mine de sel qui prend l'eau.
- à Athaus : Le site d'Ahaus est utilisé pour l'entreposage des éléments combustibles irradiés en provenance des réacteurs de puissance, mais également pour l'entreposage des déchets nucléaires en provenance des 7 réacteurs d'essai et des 22 réacteurs de recherche qui produisent près de 43,4% des déchets nucléaires allemands. Le site d'Ahaus doit également recevoir, à partir de 2011, 152 conteneurs *Castor* actuellement entreposés dans le centre de recherche de Jülich, ce dernier devant être décontaminé suite à un accident survenu en 1978.
- à Gorleben (dans des couches de sel)⁶¹,
- à Konrad dans une mine de fer utilisée comme mine, de 1961 à 1976. Ce site présente l'intérêt d'être sec. Après 20 ans d'étude et de planification, le site a été autorisé pour entreposage et stockage de 300 000 m³ de déchets à faible et moyenne intensité (peu de dégagement de chaleur) sur neuf niveaux (dont à 800, 850, 1000, 1100, 1200 et 1300 mètres de profondeur), avec stockage initial de 88 000 m³ de déchets provenant d'autres sites, à partir de 2013 au mieux ;
- à Morsleben : En 1965, l'autorité en charge de l'énergie atomique en Allemagne de l'Est décide d'utiliser cette ancienne mine de sel comme site d'entreposage de 500 m³ de déchets nucléaires, notamment pour désengorger le site central de Lohmen. Au cours des années 80 et jusqu'en 1991, c'est jusqu'à 14 432 m³ de déchets de faible et moyenne activité, à production de chaleur négligeable, qui y sont entreposés. Après la réunification allemande, de 1994 à 1998, 22 320 m³ y sont entreposés, soit un total de 36 752 m³, pour une activité totale de 0.38 PBq14. Depuis 1998, l'entreposage de déchets à Morsleben est interrompu, suite à la découverte de zones d'instabilité dans la mine qui a nécessité l'injection d'un mélange de 480.000 m³ de sel et de béton pour stabiliser les zones supérieures du site, et 4.000.000 m³ pour stabiliser les zones inférieures.

http://www.wdr.de/tv/quarks/sendungsbeitraege/2010/1109/004_asse.jsp

⁶¹ Le site de Gorleben regroupe deux centres d'entreposage et un centre de stockage, le dôme de sel de Gorleben. Il est destiné aux déchets radioactifs à forte production de chaleur. Le choix du dôme de sel de Gorleben comme zone de stockage est étudié depuis la fin des années 1970.

L'entreposage s'effectue dans des conteneurs secs, maintenus au dessus du sol et refroidis par circulation d'air, du combustible usé. Il concerne des produits de retraitement vitrifiés en provenance de France ou du Royaume-Uni. Jusqu'à 420 conteneurs peuvent y être entreposés.

Le choix d'une mine de sel est très critiqué, car il tranche avec le choix des formations argileuses ou des formations de granite généralement fait dans les autres pays. De plus, au cours des années 1979 à 1999, huit sondages montrent que la mine est probablement instable, notamment en raison de la disposition des roches environnantes ; ils ont, de surcroît, mis en évidence une circulation d'eau juste au dessus du dôme.

La circulation d'eau est susceptible de causer une remontée de la radioactivité, mais également un effondrement du sol au dessus du dôme, et de former une doline, formation courante près des mines de sel allemandes (« Rambower See », par exemple). Suite à ces découvertes, le développement du site comme zone de stockage définitif fait l'objet, depuis 2000, d'un moratoire.

Belgique

Selon les estimations fondées sur les données disponibles au 11 mars 2008⁶², la quantité de déchets conditionnés que l'ONDRAF⁶³ aura à gérer d'ici 2070 est estimée scrupuleusement.

L'inventaire de fin 2008 est basé sur le programme nucléaire actuel qui tient compte d'une durée d'exploitation de 40 ans des sept réacteurs nucléaires commerciaux et du déclassement de l'ensemble des installations nucléaires existantes. Selon cet inventaire, les volumes des trois catégories de déchets radioactifs conditionnés sont estimés d'ici 2070 à :

Catégorie A :

69.900m³.

Ces déchets représentent moins de 0.5 % de l'activité totale de tous les déchets

Catégorie B :

11.100m³, dans le cas du retraitement des déchets,

10.430m³, sans retraitement.

Ces déchets représentent environ 2 % de l'activité totale de tous les déchets.

Catégorie C :

600 m³, dans le cas du retraitement de l'ensemble des combustibles irradiés,

4.500m³, sans retraitement (les combustibles sont considérés comme déchets).

Ces déchets représentent environ 97,5% de l'activité totale de tous les déchets.

La prolongation de la durée de vie de trois centrales nucléaires les plus anciennes (Doel 1-2 et Tihange 1) de dix ans, aurait l'impact suivant sur les volumes de déchets :

Catégorie A :

70.900m³.

Catégorie B :

11.220m³, dans le cas du retraitement des déchets,

10.490m³, sans retraitement.

Catégorie C :

650 m³, dans le cas du retraitement de l'ensemble des combustibles irradiés,

4.900m³, sans retraitement (les combustibles sont considérés comme déchets).

Les déchets de catégorie A représentent plus de 80 % du volume total des déchets conditionnés, tandis que les déchets des catégories B et C représentent plus de 99 % de l'activité totale.

⁶² http://www.nirond.be/francais/PDF/Communique_de_presse_2008-02-20-def.pdf

⁶³ http://www.nirond.be/francais/5_niras_fr.html

Pour les déchets de faible activité, l'ONDRAF a étudié, avec des partenariats locaux, des projets de stockage en surface ou en couche géologique (Mol, Dessel, Fleurus). Après un vote du conseil communal de Fleurus qui a mis fin au processus de consultation engagé dans cette commune, le gouvernement a décidé le 23 juin 2006 de retenir la candidature de la commune de Dessel (Partenariat Stora).

Pour les déchets incompatibles avec un stockage en surface (haute activité et émetteurs alpha à longue durée de vie), le stockage géologique dans l'argile de Boom est à l'étude depuis 1975. Un laboratoire souterrain dénommé *HADES* (High Activity Disposal Experimental Site)⁶⁴ existe à Mol depuis 1980 sous le domaine technique du Centre d'étude de l'Energie Nucléaire (SCK•CEN) qui en a initié la réalisation. Le financement du stockage profond repose sur la distinction d'un coût fixe et d'un coût variable. Le coût variable est dû au moment de la production du déchet. En revanche, le coût fixe est financé, quelle que soit la quantité de déchets produite *in fine*, par un mécanisme de garantie contractuelle avec les producteurs de déchets. Cette approche est destinée à assurer, d'une part la capacité de financement de l'ensemble des déchets produits à ce jour, et d'autre part un impact financier des déchets à produire aussi prévisible que possible.

L'agence Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire⁶⁵ (AFCN), a validé le 02 février 2011 le Projet de Plan déchet (PPD) et Evaluation des incidences sur l'environnement de l'ONDRAF⁶⁶. La gestion des déchets issus des démantèlements, appelés déclassements en Belgique, est aujourd'hui étudié par l'ONDRAF⁶⁷

En mai 2012, le gouvernement Belge remettait à l'AIEA au titre de sa participation à la nouvelle Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs, un rapport complet sur l'inventaire et la gestion des déchets nucléaires dont il est responsable⁶⁸ :

4.1.1 Reprocessed fuel

In total, Belgium has reprocessed 672 tHM of spent fuel. The reprocessing contracts stipulate that conditioned waste is repatriated to Belgium.

⁶⁴ EURIDICE (European Underground Research Infrastructure for Disposal of nuclear waste In Clay Environment) est un groupement d'intérêt économique (GIE) auquel participent le Centre d'étude de l'Energie Nucléaire (SCK•CEN) et l'Organisme national des déchets radioactifs et des matières fissiles enrichies (ONDRAF). Le GIE EURIDICE effectue des études de faisabilité concernant le dépôt géologique de déchets de haute activité et/ou de longue durée de vie dans des couches argileuses. Ainsi, EURIDICE contribue au programme national de dépôt géologique géré par l'ONDRAF. [<http://www.euridice.be/fr/01euridice.shtm>]

⁶⁵ <http://www.fanc.fgov.be/fr/page/homepage-federaal-agentschap-voor-nucleaire-controle-fanc/1.aspx>

⁶⁶ <http://www.fanc.fgov.be/GED/00000000/2600/2694.pdf>

⁶⁷ http://www.nirond.be/francais/7.7_Ontmanteling_fr.html

⁶⁸ <http://www.fanc.fgov.be/GED/00000000/2900/2922.pdf>

By mid 2011,, 387 “CSD-V” canisters containing about 150 litre of glass – amounting to an average mass of 493 kg per canister and a total volume of 59 m³ of vitrified high-level waste (fission products are immobilised in a borosilicate glass matrix) - had been returned to Belgium (12 shipments of 28 canisters each were organised, one shipment of 27 canisters and one shipment of 24 canisters). 144 “CSD-C” canisters of compacted waste (technological and structural waste) had been returned.

These canisters are temporarily stored in different zones, specially designed to that purpose, inside building 136 (see also section H) on the Belgoprocess site in Dessel until a solution for the final disposal is operational.

The number of CSD-C that must still be repatriated is estimated at 288 units. To conclude the actual contract, an estimated number of 62 containers with intermediate-level vitrified waste (CSD-B) will be returned to Belgium.

4.1.2 Non-reprocessed spent fuel

The spent fuel which is not reprocessed is currently stored on the sites of the two nuclear power plants in Belgium operated by ELECTRABEL SA, namely the Tihange nuclear power plant (pool storage) and the Doel nuclear power plant (dry storage).

As far as spent fuel storage is concerned, the dry storage building at Doel contained (on 30 April 2011) 74 containers, in which 2194 fuel assemblies are stored, i.e. about 45% of the current storage building capacity.

The wet storage building at Tihange contained (on 30 April 2011) 1979 fuel assemblies, i.e. about 55% of the total storage capacity.

Selon le rapport 2003 de l’ONDRAF, 2.400 tonnes d’uranium et de plutonium sont actuellement stockées en Belgique. Depuis des années, les déchets hautement radioactifs sont “provisoirement” stockés à Doel, Tihange et Dessel. Certains sont également acheminés vers La Hague afin d’être retraités, et reviennent sous la forme de plutonium ou de déchets vitrifiés.

En ce qui concerne les déchets de faible radioactivité, des pourparlers à propos de l’installation d’un site d’entreposage en sont à un stade très avancé avec les communes de Fleurus/Farciennes et Mol/Dessel. Le financement du stockage des déchets faiblement radioactifs est quasiment réglé, mais il n’y a pas de budget prévu en cas de problème.

L’ONDRAF évalue les coûts de traitement des déchets nucléaires à 5,6 milliards d’euros pour notre pays, tout en précisant qu’il ne s’agit là que d’une estimation. C’est surtout le démantèlement des centrales qui coûtera très cher. Ici, seule la moitié de la somme nécessaire est provisionnée, le solde devant encore être financé.

Dans le rapport de l’ONDRAF concernant le passif nucléaire en Belgique, on peut lire en toutes lettres: “Une fois ces réserves épuisées, l’Etat est la seule garantie du financement à long terme de la sécurité relative aux déchets nucléaires.” (sic!)



Si la majeure partie des déchets radioactifs en Suisse résulte de l'exploitation des cinq centrales nucléaires⁶⁹, une certaine quantité provient des activités de la médecine, de l'industrie et de la recherche. Au terme d'une durée d'exploitation des centrales nucléaires estimée de 50 ans, quelque 100 000 m³ de matériaux radioactifs devront être gérés de manière sûre. D'ici là, les déchets sont stockés dans des entrepôts en surface bien sécurisés aux abords des centrales nucléaires et dans deux dépôts intermédiaires centraux situés dans le canton d'Argovie.

Selon l'Office fédéral de l'énergie (OFEN)⁷⁰, les déchets radioactifs sont une réalité et seront encore produits par les centrales nucléaires existantes, même si la Suisse renonce à l'avenir à produire de l'électricité par le biais de l'énergie nucléaire.

En Suisse, la gestion des déchets radioactifs incombe à ceux qui les produisent. Il s'agit concrètement des exploitants des centrales nucléaires, et, dans le cas des déchets provenant de la médecine, de l'industrie et de la recherche, de la Confédération. En 1972, exploitants et Confédération ont fondé la *Société coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs* (Nagra⁷¹), qui a pour mandat de planifier la gestion des déchets et de procéder aux investigations nécessaires.

Le modèle suisse prévoit l'entreposage des déchets dans deux dépôts distincts selon qu'il s'agit de déchets hautement radioactifs/déchets alpha-toxiques/éléments de combustible irradiés ou de déchets faiblement et moyennement radioactifs. Ils pourraient néanmoins être stockés à un seul endroit si un site s'avère adéquat du point de vue géologique.

Au terme de plus de trente ans de travaux de recherche fouillés sur le terrain et en laboratoire, la Nagra est arrivée à prouver qu'avec les moyens techniques actuellement disponibles, l'aménagement de dépôts de stockage final sûrs est possible pour tous les types de déchets radioactifs : en effet la Suisse dispose de diverses roches d'accueil potentielles, dont les Argiles à Opalines au Mont-Terri dans le Jura

⁶⁹ Les cinq centrales nucléaires suisses produisent annuellement 700 kg de plutonium. En tout 87 000 m³ de déchets radioactifs devront être stockés une fois que les centrales existantes auront été démantelées. La Suisse a envoyé son combustible irradié dans les usines de retraitement de la Hague en France et de Sellafield en Angleterre jusqu'en 2006. Un moratoire de 10 ans a été voté depuis lors au Parlement suspendant l'exportation de déchets radioactifs pour le retraitement

⁷⁰ <http://www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle/index.html?lang=fr>

⁷¹ <http://www.kernenergie.ch/fr/societe-cooperative-nationale-pour-le-stockage-des-dechets-radioactifs-content---1--1185--104.html>

La Nagra a proposé des domaines d'implantation géologiques en novembre 2008. Ceux-ci font l'objet d'analyses de sécurité au cours des trois étapes prévues dans le plan sectoriel. Au terme de ce processus de sélection, deux sites par catégorie de déchet seront comparés. Une procédure participative est prévue pour les régions concernées par l'accueil d'un dépôt. Un laboratoire de recherche est en service depuis 1995 dans l'argile à Opalines et un autre dans le granite au site du Grimsel⁷².

Les producteurs de déchets radioactifs exploitent depuis 2001 une installation d'entreposage à Würenlingen (ZWILAG) et envisagent un stockage géologique dans la marne ou dans l'argile. Des études de faisabilité du stockage en profondeur ont été approuvées par le Conseil fédéral (gouvernement suisse) en 1988 pour les déchets faiblement radioactifs et en 2006 pour les déchets hautement radioactifs.

La suisse évalue aujourd'hui le coût de gestion des déchets des centrales nucléaires, supposant qu'il faudra construire deux dépôts :

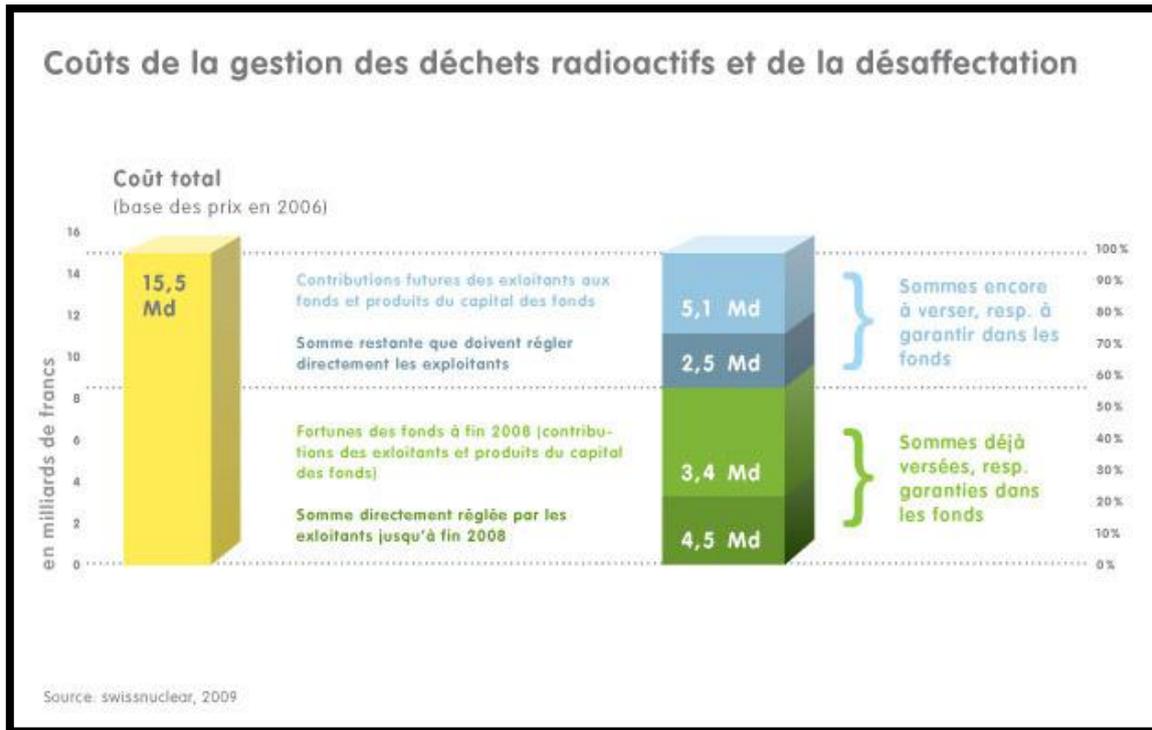
1. dépôt en couches géologiques profondes des DFMA: 2,3 milliards de francs,
2. dépôt en couches géologiques profondes des DHA: 4,2 milliards de francs.

Les frais de construction d'un dépôt en couches géologiques profondes sont supportés par les producteurs de déchets, c'est-à-dire en grande partie les centrales nucléaires. C'est pourquoi les coûts d'électricité comprennent environ 1 centime/KWh pour la gestion des déchets.

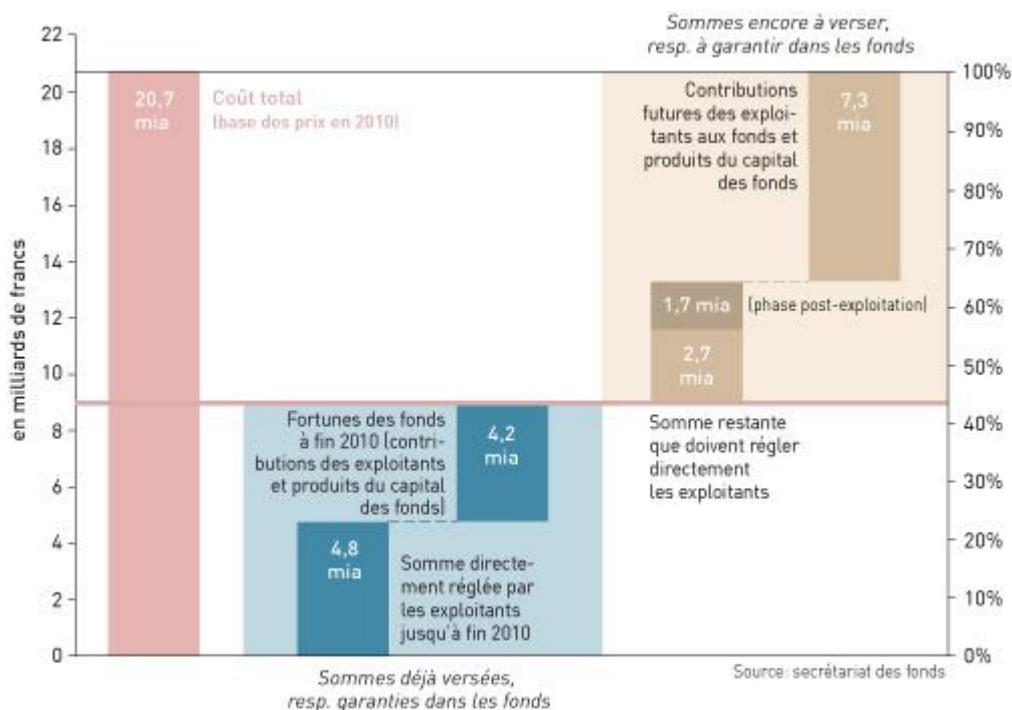
Un fonds de « *désaffectation* » doit couvrir les coûts pour l'arrêt et le démantèlement des installations nucléaires et pour l'élimination des déchets qui en découlent. Chaque année, les exploitants de centrales nucléaires versent des montants dans ce fonds. Fin 2007, la fortune totale du fonds de désaffectation s'élevait à 1,322 milliards de francs suisses. Selon les études de coûts les plus récentes, les coûts de désaffectation des cinq centrales nucléaires suisses et du Centre de stockage intermédiaire se montent à près de 2,2 milliards de francs suisses.

Le fonds de gestion des déchets radioactifs doit couvrir les coûts pour l'élimination des déchets d'exploitation et des éléments combustibles irradiés résultant de la mise hors service des centrales nucléaires. Chaque année, les exploitants de centrales nucléaires versent des montants dans ce fonds. Fin 2007, le capital du fonds s'élevait à 3'013 millions de francs suisses. Selon les derniers calculs, les coûts de gestion sont estimés à 13,4 milliards de francs (base de prix 2006).

⁷² Un dépôt pour les déchets faiblement et moyennement radioactifs verra au plus tôt le jour en 2030 alors qu'un dépôt pour les déchets hautement radioactifs sera construit au plus tôt en 2040.



Les évaluations ne cessent d'augmenter à mesure que le parc nucléaire vieillit et que les projets d'enfouissements rencontrent des difficultés techniques...



Ce qui évidemment renforce l'influence des associations écologistes qui s'opposent à l'enfouissement des déchets nucléaires⁷³.

⁷³ http://assets.wwf.ch/downloads/wwf_akw_positionspapier_f.pdf

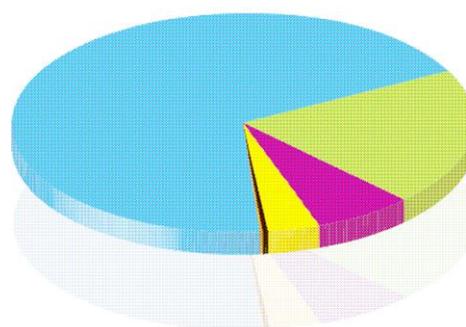
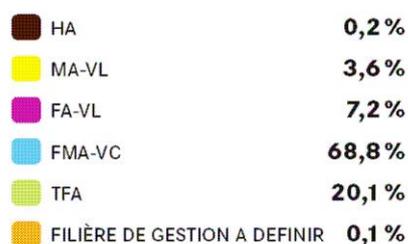
France

Conformément aux dispositions législatives et réglementaires détaillées dans la première partie, un Inventaire national des matières et déchets radioactifs est élaboré, mis à jour et publié tous les trois ans par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra).

Publié en juin 2009⁷⁴, l'inventaire national 2009₁ présente les stocks de déchets et de matières à fin 2007 ainsi que des prévisions à fin 2020, à fin 2030, et à l'issue de la durée de vie des installations existantes ou autorisées². Cet inventaire présente également les capacités d'entreposage pour les déchets HA, MAVL, FAVL radifères et tritiés, ainsi que les besoins d'entreposages pour les déchets HA et MAVL relevant du stockage profond. Enfin, l'inventaire présente les stocks de matières radioactives, les sites pollués par la radioactivité et des éléments d'information sur les sites de stockage de résidus miniers⁷⁵.

Concernant les déchets radioactifs, les bilans à fin 2007, fin 2020 et fin 2030 ainsi que le bilan des déchets « engagés » sont présentés ci-dessous pour chaque filière de gestion. Les quantités de déchets radioactifs sont indiquées en m³ équivalent conditionné (volume du déchet une fois celui-ci conditionné).

<i>en m³ équivalent conditionné</i>	2007	2020	2030	« déchets engagés ⁷⁶ »
HA	2 293	3 679	5 060	7 910
MA-VL	41 757	46 979	51 009	65 300
FA-VL	82 536	114 592	151 876	164 700
FMA-VC	762 695	1 009 675	1 174 193	1 530 200
TFA	231 688	629 217	869 311	1 560 200
Total	1 150 969	1 804 142	2 251 449	3 328 310



⁷⁴ Dernier inventaire publié en juin 2012 : voir revue de presse en annexe

⁷⁵ Les sites miniers et résidus associés sont présentés dans l'inventaire MIMAUSA tenu à jour par l'IRSN.

⁷⁶ Scénario de poursuite de la production électronucléaire

Les déchets HA, s'ils ne représentent que 0,2% du volume total concentrent toutefois 95% de la radioactivité :



Répartition de l'activité radiologique à fin 2007 en TBq (soit 1012 Bq)

Les déchets radioactifs doivent être gérés selon les principes suivants, inspirés de la législation générale sur la gestion des déchets (chapitre Ier du titre IV du livre V du code de l'environnement, issu de la loi n° 75-633 du 15 juillet 1975⁷⁷ modifiée relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux) :

- il convient de prévenir et réduire à la source, autant que raisonnablement possible, la production et la nocivité des déchets, notamment par un tri et une ségrégation appropriés ;
- la stratégie de confinement/concentration doit être privilégiée, même si dans certains cas, il peut être admis exceptionnellement de ne pas l'appliquer, sur la base d'une justification appropriée ;
- les transports de déchets sont organisés de manière à limiter les volumes de déchets transportés et les distances parcourues dans le cadre d'une stratégie de gestion donnée ;
- la valorisation des déchets par réemploi ou recyclage doit être favorisée, à condition que cette valorisation ne porte pas préjudice à l'environnement ou à la santé publique ;
- le public doit être informé des effets pour l'environnement et la santé publique des opérations de production et de gestion à long terme des déchets.

⁷⁷

http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do;jsessionid=03727FA00839C13068F10736CFABFC75.tpdjo12v_2?cidTexte=LEGITEXT000006068529&dateTexte=20120728

Afin de définir des solutions de gestion à long terme pour les déchets radioactifs, il est important de prendre en compte un principe de proportionnalité vis-à-vis du risque et de l'impact, et d'optimisation entre les coûts (financiers, humains, etc.) et les bénéfices attendus de la mise en place d'une solution de gestion précise. Ce principe est difficile à appliquer simplement, notamment parce qu'il exige de considérer des coûts et des bénéfices sur différentes périodes temporelles parfois très éloignées dans le futur.

Une classification des déchets radioactifs a été retenue dans le décret du 16 avril 2008⁷⁸ fixant les prescriptions relatives au PNGMDR. Cette classification identifie en fonction de la nature du déchet (activité et durée de vie) la solution de gestion finale retenue ou envisagée.

Cette classification conduit dans la pratique à distinguer les déchets très faiblement actifs (TFA), d'une part, et les déchets faiblement, moyennement, et hautement actifs d'autre part. Les déchets TFA présentent une radiotoxicité très faible ; ils présentent rarement un risque sanitaire immédiat à leur contact. Les déchets de plus forte activité, peuvent induire à leur contact la dose annuelle maximale admissible pour le public en peu de temps, ou par ingestion de faibles quantités, ce qui nécessite de prendre des mesures au moins en termes d'isolement et d'éloignement des déchets, et des précautions de manipulation. Ainsi, pour les déchets ultimes de haute et moyenne activité à vie longue issus du parc actuel (produits de fission et actinides mineurs vitrifiés notamment), il s'est établi un accord quasi-unanime des experts au niveau international, après quinze années de recherche, pour noter que le stockage géologique constitue une solution de gestion sûre et pérenne.

La classification ne rend pas compte de certains degrés de complexité. Par exemple, les déchets d'exploitation de l'industrie nucléaire, même s'ils contiennent généralement en très grande majorité des radionucléides à vie courte, contiennent aussi souvent des traces de radionucléides à vie longue qui doivent être pris en compte dans l'analyse de sûreté d'un stockage. De même, la différenciation entre déchets TFA et de plus haute activité, basée sur l'impact radiologique immédiat en cas d'utilisation banalisée, est simplificatrice du point de vue des filières de gestion à long terme pour lesquelles bien d'autres paramètres doivent être pris en compte, comme la toxicité et la réactivité chimique. Par ailleurs, un déchet peut relever d'une catégorie définie mais peut ne pas être accepté dans la filière de gestion correspondante du fait d'autres caractéristiques (stabilité, présence de certains éléments chimiques comme le niobium utilisé en alliage avec le zirconium pour les enveloppes de barre de combustible). En conséquence, la catégorie de déchet n'est pas obligatoirement assimilée à sa filière de gestion.

⁷⁸ <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000018660272>



En outre, l'identification des filières de gestion pertinentes suppose de prendre en compte d'autres critères : éventuelle nécessité d'un entreposage (solution de gestion retenue pour les déchets les plus radiotoxiques en attente de traitement et les déchets radioactifs ultimes en attente de stockage) ; existence d'un producteur

de déchet identifié et solvable ; filières de gestion retenues par le passé pour certaines catégories de déchets pas toujours conformes aux exigences réglementaires actuelles mais sur lesquelles il n'est pas toujours pertinent d'intervenir. Par ailleurs, certaines catégories de déchets nécessitent la prise en compte de paramètres qui leur sont particuliers. C'est le cas des sources scellées usagées, qui, compte tenu de leur spécificité (attractivité, taille, ...) nécessitent pour leur gestion d'intégrer d'autres paramètres que les seuls critères d'activité et de durée de vie (le détail des modalités proposées pour leur gestion est présenté dans les paragraphes suivants).

Une gestion spécifique doit également être définie pour le cas où le propriétaire d'un objet n'a pas conscience qu'il s'agit d'un déchet radioactif. C'est le cas, en particulier, d'objets radioactifs historiques détenus par des particuliers ou de petites collectivités (kits éducatifs, objets au radium, paratonnerres...), et parfois à leur insu. Dans ce cas, une première étape est une prise de conscience par le propriétaire. Une subvention publique permet la prise en charge gratuite ou significativement aidée des objets radioactifs. Les services de l'Andra gèrent les demandes suivant deux critères : la qualité du détenteur et la nature des objets. La gratuité est réservée par ordre de priorité aux particuliers et aux services de sécurité publique (pompiers, gendarmerie...), aux communes rurales et aux établissements scolaires. Au-dessus d'un certain montant, qui correspond à un stock de plusieurs objets, l'aide est décidée au cas par cas par la Commission nationale des aides dans le domaine radioactif, la CNAR⁷⁹.

L'objectif du PNGMDR étant essentiellement de travailler à l'identification et la mise en œuvre de filières de gestion pour l'ensemble des déchets produits, la classification actuelle offre ainsi, pour la grande majorité des déchets radioactifs produits, une lecture simple pour l'orientation des différents déchets et l'identification des filières disponibles même si elle ne permet pas de disposer d'une vision exhaustive sur l'ensemble des filières de gestion.

⁷⁹ La CNAR est présidée par la directrice générale de l'Andra et comprend des représentants des ministères de tutelle (DGEC, DGPR, DGS), de l'ASN, de l'IRSN, de l'Association des maires de France, d'associations de défense de l'environnement, des personnalités qualifiées. Le secrétariat de la CNAR est assuré par l'Andra.

ANDRA 2012... « *ON CHANGE RIEN !* »



A la lecture du dossier de presse diffusé par l'ANDRA à l'occasion de la publication de l'inventaire 2012 des matières radioactives, et au regard de l'interprétation qu'en ont fait certains médias (article du Figaro : [La sortie du nucléaire coûtera très cher en déchets](#)⁸⁰) il paraît absolument essentiel de faire une rapide mise au point, ou en tout cas, d'aider l'ANDRA dans sa volonté "d'être une source d'informations précises pour le citoyen"⁸¹.

Vous avez dit déchets ?

Dans son dossier de presse, l'ANDRA propose une série de questions / réponses, qui aborde notamment cette question : "Quel impact l'arrêt du traitement des combustibles usés aurait-il sur les volumes de déchets et sur leur stockage ?".

L'ANDRA répond à la question : "En cas d'arrêt du traitement, les combustibles usés seraient eux-mêmes considérés comme des déchets. Cela concerne tous les types de combustibles usés (dont le MOX par exemple) aujourd'hui entreposés dans l'attente d'une valorisation future. Les quantités de combustibles usés qui seraient à prendre en compte représenteraient un volume de colis de stockage de l'ordre de 90 000 m³."

Oui mais ...

Aujourd'hui seuls 4% des combustibles usés sont considérés comme des déchets et sont pris en compte dans l'inventaire de l'ANDRA. Ainsi, 96% des combustibles usés échappent à la définition de déchet et sont considérés comme des "matières valorisables". La loi française prévoit en matière nucléaire qu'"un résidu issu d'un procès de production pour lequel une utilisation future est envisagée n'est pas un déchet".

La recherche sur une filière de 4^{ème} génération (Astrid) supposée fonctionner avec du plutonium et de l'uranium appauvri (les 96% restants) dans un futur plus ou moins lointain (à noter que superphénix était déjà supposé fonctionner avec de tels matériaux) fait sortir ces 96% de la qualification de déchets nucléaires et donc de l'inventaire officiel de l'ANDRA. Oui, vous aurez noté la somme de conditionnel dans cette phrase....

⁸⁰ « Dans le scénario d'une poursuite de l'exploitation et du renouvellement du parc nucléaire d'EDF, l'ANDRA table sur un volume de 10.000 m³ de déchets hautement radioactifs à vie longue, à stocker après 2030. Dans le scénario alternatif d'une sortie progressive de l'atome, le volume estimé serait neuf fois plus élevé: 90.000 m³. Ce chiffre est complexe à établir et selon d'autres évaluations de l'ANDRA, on parvient à un volume non pas neuf fois mais trois fois plus important. Quoiqu'il en soit, ces combustibles usés, classés parmi les déchets les plus dangereux, sont voués à être enterrés dans le futur centre de stockage profond, désormais baptisé Cigéo, prévu dans la Meuse. Le futur site sera-t-il assez grand pour accueillir, le cas échéant, 90.000m³? Quel impact sur son coût, déjà estimé en milliards d'euros? »

<http://www.lefigaro.fr/environnement/2012/07/11/01029-20120711ARTFIG00468-la-sortie-du-nucleaire-couter-tres-cher-en-dechets.php>

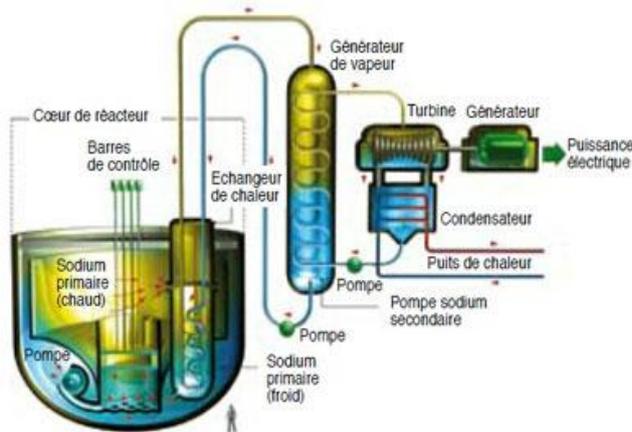
⁸¹ <http://www.andra.fr/pages/fr/menu1/les-dechets-radioactifs/ou-sont-les-dechets-radioactifs-r-10.html>

Les 10 000 m³ annoncés par l'Andral sont donc en réalité les déchets vitrifiés (4% des combustibles usagés). Et si on compare ce chiffre au chiffre de déchets vitrifiés dans un scénario de sortie du nucléaire il est de 3500 m³ ... oui, c'est donc beaucoup moins.

Comment on arrive à 90 000m³ de déchets avec une sortie du nucléaire dans ces conditions, comme le suggère l'ANDRA dans ses "questions / réponses" ?

Tout simplement parce que l'ANDRA considère que la sortie du nucléaire serait couplée avec l'arrêt du retraitement qui ferait comme par magie augmenter le volume de déchets.

Remettons les choses dans leur contexte : aujourd'hui, seule une partie du plutonium (qui ne représente qu'1% du volume total des combustibles usagés) est utilisée pour fabriquer du MOX, qui lui, n'est pas recyclable. Le HCTISN a publié un rapport en 2010 qui affirmait que le retraitement ne permettait pas d'économiser de ce fait plus de 12% d'uranium frais. De leur côté les ONG annonce moins de 2,5%...



C'est en réalité l'abandon de la 4^e génération (Astrid, petite fille de Superphénix⁸²), ou la démonstration de l'incapacité technique à faire fonctionner un réacteur en surgénération qui amènerait à une nécessaire requalification juridique du déchet nucléaire et donc à une hausse du volume de ces déchets.

Donc ces déchets existent bel et bien aujourd'hui, ils ne sont pas recyclés puisque moins de 1% est utilisé pour faire du MOX et une seule centrale utilise de l'URE (uranium de retraitement appauvri réenrichit en Russie), celle de Cruas-Meysse ...

La différence de chiffres de 90 000 m³ à 10 000 m³ réside donc dans le fait que ces déchets qui sont aujourd'hui appelés "matières valorisables" et sont entreposés sur les sites d'Areva (principalement La Hague) en attendant qu'un jour, peut être, ils soient potentiellement utilisés, rentreraient alors dans l'inventaire officiel de l'Andra.

Le risque principal ne réside donc pas dans la sortie du nucléaire !

Mais dans les défaillances techniques de la 4^{ème} génération, qui aboutiront à une requalification de la notion de déchets et qui posera surtout la question des coûts financiers de leur gestion.

⁸² <http://www.enerzine.com/2/14156+un-prototype-de-reacteur-nucleaire-de-4eme-generation-dici-2020+.html>

Les déchets nucléaires français auront doublé de volume en 2030

Le Monde - édition du 13 Juillet 2012 –

L'aménagement de sites d'entreposage des combustibles usés pourrait devenir nécessaire

Le stock de déchets radioactifs que devra gérer la France à l'horizon 2030 avoisinera 2,7 millions de m³. Deux fois plus qu'à la fin de l'année 2010. C'est ce que fait apparaître le dernier inventaire de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra), publié mercredi 11 juillet.

Fin 2010, l'ensemble des résidus radioactifs présents sur le territoire représentait un volume de 1,3 million de m³. Ils sont issus pour l'essentiel (59 %) des réacteurs électronucléaires d'EDF, mais aussi des laboratoires de recherche (26 %), des activités de défense (11 %) et, pour le reste, de divers secteurs industriels et des applications médicales.

A 97 %, ce stock est constitué de déchets encombrants mais de faible ou moyenne activité, voire de très faible activité. Ceux à haute activité n'en représentent que 0,2 %. Mais ces produits-là, provenant du retraitement des combustibles " brûlés " dans les réacteurs, concentrent 96 % de la radioactivité totale. C'est pour ces matières extrêmement dangereuses, ainsi que pour les déchets de moyenne activité mais à vie longue (des centaines de milliers, voire des millions d'années) que doit entrer en service, en 2025, un centre industriel de stockage géologique (Cigéo), creusé à 500 mètres de profondeur dans une couche d'argile, entre la Meuse et la Haute-Marne.

Le fait le plus notable, pour les deux décennies à venir, est la forte hausse de la quantité de déchets de très faible activité qui vont être produits : elle devrait presque quadrupler entre 2010 et 2030, pour atteindre 1,3 million de m³. Cette croissance résulte, notamment, des chantiers de démantèlement déjà en cours : neuf réacteurs d'EDF et plusieurs réacteurs de recherche sont dans ce cas.

Mais l'Andra s'est projetée au-delà de 2030, afin, explique son président, François-Michel Gonnot, d' « éclairer le débat sur la transition énergétique ». L'Agence a comparé deux scénarios prévoyant, pour le premier un fonctionnement des réacteurs actuels pendant cinquante ans (c'est l'hypothèse aujourd'hui retenue par EDF), pour le second un fonctionnement pendant quarante ans.

Les volumes de déchets finaux sont sensiblement les mêmes dans les deux cas, excepté pour ceux à haute activité, les plus pénalisants : 10 000 m³ dans le scénario à cinquante ans, contre environ 93 000 m³ dans le scénario à quarante ans.

En effet, en cas d'arrêt plus rapide des centrales, la possibilité de réutiliser, pour de nouveaux cycles de combustion, des matières extraites par retraitement des combustibles usés (notamment du plutonium recyclé en MOX), sera réduite. Dans ce scénario, " il va falloir arrêter de retraiter tous les combustibles usés en 2019 ", précise Michèle Tallec, chef du service inventaire de l'Andra.

Il faudrait alors procéder, sans les retraiter, à un " stockage direct " de quelque 57 000 assemblages de combustibles usés, dont 6 000 assemblages contenant du MOX, donc du plutonium. Un ou plusieurs sites devraient être rapidement aménagés pour entreposer provisoirement - près d'un siècle tout de même - les assemblages de combustibles usés, en attendant qu'ils aient suffisamment refroidi pour pouvoir rejoindre le centre de stockage géologique.

L'Andra n'a pas étudié l'hypothèse d'un arrêt anticipé de réacteurs. Celui-ci ne modifierait pas le volume global de déchets, puisque les opérations futures de démantèlement sont intégrées à l'inventaire. Mais il précipiterait le calendrier. " Il faudrait travailler plus vite. C'est une question de gestion de flux ", commente Marie-Claude Dupuis, directrice générale de l'Andra.

La résolution du casse-tête des résidus nucléaires en serait rendue, sinon plus complexe, du moins plus urgente. D'autant que le centre de stockage de déchets de très faible activité de Morvilliers (Aube), ouvert en 2003 et d'une capacité de 650 000 m³, sera saturé vers 2025. Il faudra l'agrandir ou en construire un autre. En outre, l'Andra n'a toujours pas de site de stockage pour les déchets de faible activité mais à vie longue (plus de trois cents ans), issus notamment des anciens réacteurs à graphite-gaz. Autant d'éléments qui devront être pris en compte dans le débat sur la place de l'atome dans la feuille de route énergétique de la France.

Pierre Le Hir

Les volumes de déchets radioactifs présentés dans l'édition 2012 ont évolué par rapport à ceux présentés dans l'édition 2009. Cette évolution est due à la production courante de déchets au cours des trois années séparant les deux éditions de l'*Inventaire national* et également à :

- une optimisation du conditionnement de certains déchets MA-VL conduisant à une réduction de leur volume ;
- des compléments de caractérisation de certains déchets MA-VL ce qui a permis de les réorienter dans la catégorie FA-VL induisant une diminution de la quantité de déchets MA-VL et une augmentation des déchets FA-VL ;
- un renforcement des exigences sur les objectifs d'assainissement du génie civil des installations à démanteler qui a conduit à une augmentation du volume de déchets TFA.

Les déchets de Haute activité

Fin 2010, les déchets HA représentent **2 700 m³** soit :

- 0,2 % du volume total des déchets radioactifs français déjà produits* ;
- 96 % de la radioactivité totale des déchets radioactifs français.

Ils proviennent pour l'essentiel du **traitement des combustibles utilisés** dans les centrales nucléaires. Lors de ce traitement, les combustibles nucléaires usés sont dissous dans une solution chimique afin de séparer l'uranium et le plutonium des résidus non réutilisables.

Ces résidus, hautement radioactifs, constituent les déchets de haute activité. Ils représentent environ 4 % du combustible usé. Ils sont composés de produits de fission (exemple : césium 134 et 137, strontium 90), de produits d'activation (comme le cobalt 60) et d'actinides mineurs (exemple : curium 244 et américium 241).

Ces déchets rassemblent la plus grande partie de la radioactivité des déchets radioactifs produits en France.

Leur niveau de radioactivité est de plusieurs milliards à plusieurs dizaines de milliards de becquerels par gramme. Ils contiennent différents radionucléides, à vie courte ou à vie longue, dont certains ont des durées de vie très longues comme le neptunium 237 (environ 2 millions d'années).

En raison de leur radioactivité élevée, ces déchets dégagent de la chaleur.

Volumes et prévisions des déchets HA
(m3 équivalent conditionné)

2010	2020	2030
2 700	4 000	5 300

Étant donné leur niveau de radioactivité et leur durée de vie, **les déchets HA sont destinés à être stockés dans le Centre industriel de stockage géologique (Cigéo) aujourd'hui à l'étude par l'Andra (voir page 31).**

Les déchets sont intégrés dans une pâte de verre insoluble dont la capacité de confinement est particulièrement élevée et durable.

Ils sont ensuite coulés dans un colis en inox. Un colis de déchets HA contient environ 400 kg de verre pour environ 70 kg de déchets. En attendant la création du stockage profond, ils sont entreposés

Les déchets de moyenne activité à vie longue

Fin 2010, les déchets MA-VL représentent **40 000 m³** soit :

- 3 % du volume total des déchets radioactifs français déjà produits* ;
- 4 % de la radioactivité totale des déchets radioactifs français.

Les centrales nucléaires fonctionnent grâce à des combustibles composés, pour la plupart, d'uranium.

Après quelques années au cœur des réacteurs, ces combustibles deviennent moins performants. Ils sont alors traités à l'usine AREVA NC de La Hague. Les structures métalliques entourant ces combustibles sont cisailées en petits tronçons afin de les séparer des matières et des résidus qu'elles contiennent. Ces débris métalliques (gainés, coques et embouts) constituent une part importante des déchets MA-VL.

Les déchets MA-VL peuvent également provenir des procédés de traitement des combustibles usés.

Il peut aussi s'agir de composants (hors combustible) ayant séjourné dans les réacteurs nucléaires ou de déchets issus d'opérations de maintenance et de démantèlement d'installations nucléaires, d'ateliers, de laboratoires...

Les déchets MA-VL contiennent des quantités importantes de radionucléides à vie longue.

Le niveau de radioactivité de ces déchets se situe en général entre un million et un milliard de becquerels par gramme.

Volumes et prévisions des déchets MA-VL
(m³ équivalent conditionné)

2010	2020	2030
40 000	45 000	49 000

Étant donné leur niveau de radioactivité et leur durée de vie, les déchets MA-VL sont destinés à être stockés dans le Centre industriel de stockage géologique (Cigéo) aujourd'hui à l'étude par l'Andra

Afin de réduire leur volume, une part importante des déchets MA-VL est compactée sous forme de galettes qui sont ensuite introduites dans des colis en béton ou en métal. D'autres modes de conditionnement peuvent être réalisés en fonction de la nature de ces déchets : cimentation, bitumage, vitrification...

En attendant la création du stockage profond, ils sont entreposés, le plus souvent sur les sites où les colis sont produits.

Les déchets de faible activité à vie Longue

Fin 2010, les déchets FA-VL représentent **87 000 m³** soit :

- 7 % du volume total des déchets radioactifs français déjà produits* ;
- 0,01 % de la radioactivité totale des déchets radioactifs français.

Les déchets FA-VL regroupent principalement trois grands types de déchets :

Les déchets dits de « graphite » qui proviennent des premières centrales nucléaires françaises de la filière UNGG (Uranium naturel graphite gaz). Ils doivent leur nom au graphite, matériau correspondant à une variété très pure de carbone, qui était utilisé en grande quantité dans ces réacteurs de première génération.

Ces déchets sont issus de l'exploitation de ces centrales (chemises qui entouraient le combustible) et de leur démantèlement (empilements qui constituaient le cœur des réacteurs, protections biologiques...).

Ils proviennent également de l'exploitation et du démantèlement de réacteurs expérimentaux aujourd'hui arrêtés.

Ces déchets contiennent des radionucléides à vie longue comme le carbone 14 (5 700 ans). Leur niveau de radioactivité se situe entre 10 000 et 100 000 becquerels par gramme ;

Les déchets dits « radifères » qui contiennent des radionucléides naturels à vie longue, notamment du radium et/ou du thorium. Ils proviennent essentiellement de l'ancienne industrie du radium et de ses dérivés ainsi que du traitement chimique de minerais par l'industrie nucléaire ou l'industrie chimique.

Ils proviennent également, en faible quantité, de l'assainissement d'anciens sites pollués par la radioactivité. Leur niveau de radioactivité est en général compris entre quelques dizaines et quelques centaines de becquerels par gramme ;

D'autres types de déchets FA-VL comme certaines sources scellées usagées (paratonnerres, détecteurs d'incendie...) et certains objets radioactifs anciens que l'on retrouve chez les particuliers (montres au radium, aiguilles au radium...).

Volumes et prévisions des déchets FA-VL
(m³ équivalent conditionné)

2010	2020	2030
87 000	89 000	133 000

Les solutions de gestion des déchets FA-VL sont actuellement à l'étude. Les déchets FA-VL sont, pour la plupart, des déchets anciens, dont la production est arrêtée. En attendant la création, par l'ANDRA, d'un centre de stockage adapté, ils sont entreposés, le plus souvent sur les sites où ils sont produits.

Dans l'attente de disposer d'une solution de stockage de ces déchets FA-VL, les colis sont entreposés dans diverses installations. Les principaux producteurs disposent de leurs propres installations d'entreposage. Pour les déchets non-électronucléaires provenant de petits producteurs, dont l'Andra assure la prise en charge, ceux-ci ont été entreposés dans diverses installations des principaux exploitants nucléaires. Certaines de ces installations ne peuvent plus les accueillir et doivent les évacuer.

Le volume total de déchets radioactifs de très faible activité (TFA), de faible (FA) ou moyenne activité (MA) à vie courte, stockés définitivement à la fin de 2010 s'élève à environ 954 000 m³.

L'Andra a donc proposé la construction, sur le site du centre de stockage de déchets TFA qu'elle exploite dans l'Aube, d'un nouvel entreposage. La mise en service est prévue courant 2012.

Démantèlement et gestion des déchets nucléaires : les provisions des exploitants en question

Energies | 25 juillet 2012 | Actu-Environnement.com

Dans son premier rapport, la Commission nationale d'évaluation du financement des charges de démantèlement et de gestion des déchets nucléaires fait part de ses doutes quant aux provisions des exploitants et appelle à la prudence.

La loi de 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs a posé le principe d'une évaluation prudente des coûts de démantèlement des installations nucléaires et de la gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs. La même loi a créé à cet effet une Commission nationale d'évaluation du financement de ces coûts (Cnef), chargée d'évaluer le contrôle, par l'autorité administrative (la DGECC), de l'adéquation des provisions actualisées aux charges brutes, telles qu'évaluées par les exploitants, ainsi que de la gestion des actifs dédiés. La Cnef devait rendre un premier rapport en 2008, puis une fois tous les trois ans. Elle a présenté sa première évaluation le 24 juillet devant l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (Opecst), avec quatre ans de retard. Outre la mise en œuvre tardive de ses travaux, la Commission a peiné à répondre à la question qui lui était posée. La raison : les nombreuses incertitudes liées aux charges de démantèlement et de gestion des déchets.

Se munir de marges de précaution suffisantes

En s'appuyant sur le rapport de la Cour des comptes de janvier 2012 sur le coût de la filière électronucléaire et sur des avis de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), la Cnef estime que, "par définition, le véritable coût des charges de démantèlement ne sera connu que lorsque seront terminées des opérations qui vont s'étaler sur plusieurs dizaines d'années jusque vers la fin des années 2100".

Les entreprises évaluent de leur côté, dans leurs bilans, ce coût à 34,776 milliards d'euros, dont 97 % pour trois d'entre elles : EDF (18,5 Md€), Areva (4,7 Md€) et le CEA (10,5 Md€). S'interrogeant sur le "degré de plausibilité" de cette évaluation par les exploitants, la Cnef estime qu' "il y aurait lieu de préparer un processus tendant à demander aux exploitants d'introduire un degré de prudence supplémentaire dans leurs évaluations".

"Je ne dis pas que les coûts ont été sous-évalués, précise le président de la commission, Jean-Luc Lépine, je dis qu'on ne dispose pas aujourd'hui des marges de précaution suffisantes. L'ASN elle-même a indiqué qu'il n'y avait pas de marge de sécurité suffisante pour couvrir les risques et les incertitudes".

Quant au taux d'actualisation retenu par les exploitants (5 %), la Cnef préconise une baisse de 0,5 %, compte tenu des taux de rendements des actifs actuels, situés entre 3,5 et 4 %, ce qui équivaldrait à 4 à 5 Md€ de provisions supplémentaires. La Cour des comptes estime qu'un passage à un taux d'actualisation de 4 % induirait des provisions supplémentaires de 7,5 Md€, un taux de 3 % porterait ce chiffre à 18,5 Md€.

Concernant le coût du projet de stockage géologique profond, la Cnef rappelle qu'entre l'évaluation de l'Andra et celle des producteurs, les chiffres passent du simple au double. En 2009, l'Andra a avancé un coût de 35,9 Md€. Les producteurs ont contesté cette estimation et ont chiffré le projet à 14,4 Md€. Soit un écart de 21 Md€ ! Le montant de la provision correspondante à constituer dans le bilan des exploitants est estimé par la Cour des comptes à... 5,2 Md€. L'ASN de son côté a demandé une réévaluation des coûts d'ici 2015. "On peut se demander si, en attendant cette nouvelle étude destinée à clarifier la question des coûts, la prudence ne devrait pas conduire les producteurs à réviser en hausse leurs évaluations des provisions pour évoluer vers une moyenne entre les évaluations basses et hautes", note la Cnef.

La gestion des actifs dédiés fait débat

Les actifs dédiés à la couverture de ces charges ne sont pas externalisés et restent donc au sein des bilans des entreprises. A ce jour, il manque 327 M€ d'actifs dédiés, dont 202 M€ pour Eurodif. La Cnef s'interroge sur la disponibilité de ces fonds et préconise d'établir des limites aux placements non liquides.

Elle revient en particulier sur l'autorisation, qui a été délivrée par décret en 2010, de considérer comme couverture, pour EDF, des actions de la société RTE, non liquides. Ainsi, 50 % des actions de RTE sont affectées à la couverture des provisions, faisant passer les dotations en trésorerie au portefeuille de placements de 2,4 Md€ en 2007 à 315 M€ en 2011. Le président de l'ASN, André-Claude Lacoste, interrogé en avril par la Commission sénatoriale d'enquête sur le coût réel de l'électricité, avait dénoncé ce "contournement de l'esprit de la loi".

"L'option qui a été prise par la France de conserver les actifs dédiés au sein des bilans des entreprises entraîne la nécessité de ne créer aucun doute sur le fait que la valorisation de ces actifs est indiscutable et qu'ils sont gérés dans l'objectif unique de garantir la couverture de ces charges futures et en dehors de toute situation de conflits d'intérêt avec l'entreprise elle-même", observe la Cnef.

Christian Bataille, vice-président de l'OPECST, a pour sa part dénoncé cette gestion des actifs dédiés : "Il ne faut pas que ces fonds soient contrôlés tous les trois ans mais très régulièrement par le Parlement. Il n'est pas tolérable qu'aujourd'hui, ce contrôle soit sous la seule responsabilité des exploitants. Je m'interroge sur l'opportunité de créer un fonds qui gèrerait ces actifs, sous l'autorité de la Caisse des dépôts et sous contrôle des pouvoirs publics". Le député socialiste rappelle qu'il avait cosigné, en 2006, avec le député UMP Claude Birraux, une proposition de loi visant à créer un tel fonds externalisé, comme le pratiquent de nombreux pays utilisant l'atome (Etats-Unis, Russie, Japon...). Et il s'insurge : "Depuis six ans, il y a une véritable occultation de ce dossier".

Article publié le 25 juillet 2012

Sophie Fabrégat

Les principales matières radioactifs présentes en France

L'Inventaire de l'ANDRA détaille les quantités de matières radioactives présentes fin 2010 ainsi que les sites où elles sont entreposées. Suit une présentation simplifiée de l'inventaire 2012 des matières nucléaires françaises.

L'uranium naturel extrait de mines d'uranium

L'uranium naturel extrait des mines est traité et mis sous la forme d'un concentré solide d'uranium puis conditionné. En fonction du procédé de traitement utilisé, les concentrés peuvent être sous forme d'uranates, appelés *yellow cake* ou d'oxydes d'uranium (U_3O_8). Au 31 décembre 2010, environ 16 000 tonnes d'uranium naturel étaient entreposées sur les sites AREVA de Malvési (11) et de Pierrelatte (26) et, pour une faible part, au CEA. L'uranium naturel est ensuite transformé en uranium enrichi en vue de fabriquer le combustible.

L'uranium enrichi

L'enrichissement consiste à augmenter la concentration en uranium 235 (isotope énergétique trop faiblement présent – teneur de 0,8 % - dans l'uranium naturel) de façon à obtenir une matière utilisable comme combustible dans les centrales nucléaires à eau légère.

Le procédé d'enrichissement mis en oeuvre par l'usine Georges Besse I d'EURODIF (26) est celui de la diffusion gazeuse. L'uranium, sous forme de gaz d'hexafluorure d'uranium (UF_6), circule dans des diffuseurs qui vont effectuer un tri entre uranium 235 et uranium 238 en tirant parti de leur différence de masse. Deux flux sont ainsi créés : l'un enrichi et l'autre appauvri en isotope 235.

L'uranium enrichi utilisé pour la production d'électricité comprend de l'uranium 235 à une teneur d'environ 4 %.

Au 31 décembre 2010, un peu moins de 3 000 tonnes d'uranium enrichi étaient entreposées sur les sites AREVA de Pierrelatte (26), de Romans (26), de Marcoule (30), et de La Hague (50), et, sur les sites du CEA, ainsi que sur les sites EDF sous forme d'assemblages UOX neufs.

L'uranium appauvri (Uapp)

L'enrichissement permet d'obtenir de l'uranium enrichi en uranium 235 d'une part et de l'uranium appauvri d'autre part. L'uranium appauvri en uranium 235 (isotope présent avec une teneur de l'ordre de 0,3 %) est transformé en une matière solide, stable, incombustible, insoluble et non corrosive : l'oxyde d'uranium (U_3O_8), qui se présente sous la forme d'une poudre noire.

Au 31 décembre 2010, environ 272 000 tonnes d'uranium appauvri (Uapp) étaient entreposées en France dont un peu plus de 165 000 tonnes sur le site AREVA du Tricastin (26), environ 100 000 tonnes sur le site AREVA de Bessines-sur-Gartempe (87) et 176 tonnes sur les sites CEA ; le reste correspondant principalement à des en-cours liés à la fabrication du combustible MOX (combustible composé d'un mélange d'uranium et de plutonium) ainsi qu'aux stocks entreposés sur les sites EDF, sous forme d'assemblages MOX et d'assemblages de combustibles neufs pour réacteur à neutrons rapides.

L'uranium appauvri est utilisé régulièrement depuis plusieurs années comme matrice support du combustible MOX, élaboré en France dans l'usine Melox située à Marcoule (30). Ce flux représente environ une centaine de tonnes par an.

Par ailleurs, le stock d'uranium appauvri peut être évalué à 450 000 tonnes à fin 2040. Ce stock représente une ressource abondante pour l'avenir de la production d'énergie électronucléaire. D'ici quelques années, l'évolution des techniques d'enrichissement, avec la centrifugation, devrait permettre, aux conditions économiques adéquates, de réenrichir l'uranium appauvri.

Ces stocks d'uranium appauvri pourront être valorisés dans les réacteurs à neutrons rapides de 4^{ème} génération dont le déploiement est attendu après 2040. Il est aujourd'hui estimé qu'un parc de réacteurs de 4^{ème} génération d'une puissance équivalente au parc actuel (c'est-à-dire 60 GWe) consommerait de l'ordre de 100 tonnes d'uranium appauvri par an, une fois les réacteurs mis en service. Ainsi, le stock d'uranium appauvri disponible au moment du lancement de cette filière constituerait une ressource permettant le fonctionnement de ces réacteurs pendant plusieurs centaines d'années.

L'uranium issu de combustibles usés après traitement (URT)

L'uranium extrait des combustibles usés (URT) dans les usines de traitement constitue environ 95 % de la masse du combustible usé et contient toujours une part significative d'isotope 235. L'enrichissement résiduel en uranium 235 est de l'ordre de 0,7 % à 0,8 % pour des combustibles REP avec des taux de combustion de 45 à 55 GWj/t. Pour être réutilisé dans des réacteurs à eau légère,

tels que ceux exploités actuellement par EDF, un réenrichissement est nécessaire.

L'URT est entreposé soit sous forme d'UF₆ soit sous forme d'U₃O₈ en fonction du mode de gestion choisi (réenrichissement pour fabrication de combustible ou entreposage).

L'URT français appartient principalement à l'électricien EDF, et pour partie à AREVA et au CEA.

Au 31 décembre 2010, 24 000 tonnes d'URT étaient entreposées sur les sites du Tricastin (26), de La Hague (50), de Romans (26) et de Cruas (07).

L'URT est recyclé en partie par EDF (dans les quatre réacteurs de la centrale de Cruas - 07) après réenrichissement en uranium 235.

La quantité d'URT recyclée dépend fortement de l'état du marché de l'uranium naturel, avec lequel l'URT est en compétition.

Par ailleurs, au 31 décembre 2010, 2 670 tonnes d'URT étranger sont entreposées en France. Cet URT est la propriété des clients étrangers d'AREVA, la stratégie de ceux-ci étant le recyclage sous forme de combustible.

Les combustibles en cours d'utilisation dans les réacteurs électronucléaires et dans les réacteurs de recherche

Étaient en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires françaises au 31 décembre 2010 :

- environ 4 500 tML de combustibles UOX dans les 19 centrales électronucléaires REP françaises ;
- 156 tML de combustibles URE dans les quatre réacteurs de la centrale électronucléaire de Cruas (07) ;
- environ 300 tML de combustibles MOX dans les centrales électronucléaires du Blayais (33), de Chinon B (37), de Dampierre (45), de Gravelines (59), de Saint-Laurent-des-Eaux B (41) et du Tricastin (26).

Les combustibles usés en attente de traitement

Étaient entreposés en attente de traitement à fin 2010 :

- combustibles UOX usés : 3 626 tML sur les sites des 19 centrales électronucléaires REP françaises ; environ 8 380 tML sur le site de La Hague (50) ;
- combustibles URE usés : 68 tML sur le site de la centrale électronucléaire de Cruas (07) ; environ 250 tML sur le site de La Hague (50) ;
- combustibles MOX usés : 387 tML sur les sites des centrales électronucléaires du Blayais (33), de Chinon B (37), de Dampierre (45), de Gravelines (59), de Saint-Laurent-des-Eaux B (41) et du Tricastin (26) ; 900 tML sur le site de la Hague (50) ;
- combustibles RNR usés : 104 tML sur le site de Creys-Malville (38) ; • combustibles usés des réacteurs civils de recherche (autres que combustibles métalliques) : 53 tML de combustibles dont 43 tML de combustibles RNR usés du réacteur Phénix sur les sites du CEA ; 2 tML de combustibles sur le site de La Hague (50) ;

- combustibles usés métalliques issus des réacteurs expérimentaux du CEA et de réacteurs UNGG : 15 tML sur les sites du CEA ;
- combustibles usés de la propulsion navale : environ 146 tonnes.

Le plutonium issu des combustibles usés après traitement

Le plutonium contenu dans les assemblages combustibles usés est extrait de ceux-ci lors de leur traitement. Un combustible usé à l'uranium de type eau légère contient aujourd'hui environ 1 % de plutonium (en masse). Ce plutonium présente un potentiel énergétique.

Une fois mis en solution, extrait et séparé des autres matières contenues dans le combustible usé, le plutonium est purifié et conditionné sous forme stable de poudre d'oxyde de plutonium (PuO_2) dans les ateliers R4 et T4 de l'usine de La Hague (50).

Le plutonium est aujourd'hui utilisé pour fabriquer le combustible MOX, qui comporte de l'uranium appauvri et du plutonium sous la forme de pastilles de poudre d'oxydes $(\text{U,Pu})\text{O}_2$. En France, 22 réacteurs sont aujourd'hui autorisés à utiliser du combustible MOX. La contribution de ce type de combustible à la production électronucléaire représente un peu moins de 10 %.

Le plutonium extrait des combustibles usés appartient aux clients d'AREVA, électriciens français ou étrangers. En général, le plutonium est expédié aux clients étrangers sous forme de combustible

MOX, pour être utilisé dans des réacteurs étrangers.

Au 31 décembre 2010, environ 80 tonnes de plutonium étaient entreposées en France, dont :

- 60 tonnes de plutonium entreposées à l'usine AREVA NC de La Hague (50) ;
- 8 tonnes de plutonium en cours d'utilisation dans le processus de fabrication de combustibles MOX (sous forme de PuO_2 , d'oxyde mixte $(\text{U,Pu})\text{O}_2$ ou encore en assemblages MOX finis) ;
- 10 tonnes de plutonium en assemblage MOX ou RNR non irradiés présents ailleurs que dans les usines de fabrication, c'est-à-dire principalement sur les sites des réacteurs EDF ;
- environ 2 tonnes de plutonium entreposées dans diverses installations du CEA.

Sur ces 80 tonnes de plutonium, 56 tonnes sont de propriété française. Parmi ces 56 tonnes, le stock de plutonium séparé d'EDF à La Hague (50) s'élève à environ 27 tonnes, soit près de trois années de fabrication de combustibles MOX.

Les projets de stockage de l'ANDRA

Les études en cours concernent 3 catégories de déchets :

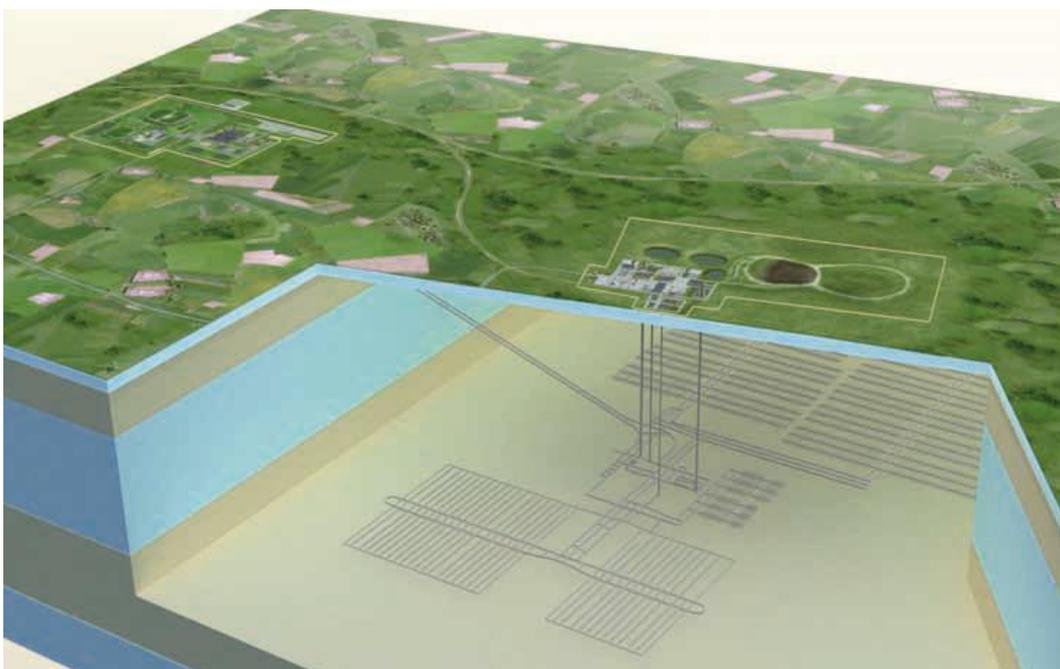
- les déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL) pour lesquels un stockage profond, à 500 m de profondeur, appelé Cigéo (Centre industriel de stockage géologique), est actuellement à l'étude ;
- les déchets de faible activité à vie longue (FA-VL) pour lesquels plusieurs solutions sont à l'étude aujourd'hui.

En attendant la création des centres de stockage dédiés, ces déchets sont entreposés dans des bâtiments spécifiques, le plus souvent sur leur site de production.

En 2008, l'Andra a lancé la recherche d'un site susceptible d'accueillir un centre de stockage pour les déchets FA-VL. Quarante communes s'étaient portées candidates. En juin 2009, sur la base d'une analyse menée par l'Andra, le Gouvernement a retenu deux d'entre elles pour y réaliser des investigations approfondies aux plans géologique et environnemental.

Sous la pression des opposants, ces deux communes se sont retirées du projet en juillet et en août 2009. En juin 2010, l'État a fixé de nouvelles orientations pour le projet. Il a demandé à l'Andra de poursuivre les études concernant la connaissance et les modes de gestion envisageables des déchets FA-VL et de remettre au Gouvernement au plus tard fin 2012 un rapport présentant différents scénarios de gestion possibles pour ces déchets.

Parallèlement, le Haut comité pour la transparence et l'information sur la sûreté nucléaire (HCTISN) a émis des recommandations pour reprendre la démarche de recherche de site (rapport publié en juillet 2011).



Depuis le début des années 1990, un centre de stockage réversible profond est à l'étude pour les déchets HA et MA-VL produits par l'ensemble des installations nucléaires actuelles et le traitement des combustibles usés utilisés dans les centrales françaises.

Dès 1991, plusieurs voies ont été étudiées pour la gestion des déchets HA et MA-VL. En 2006, après 15 années de recherches, la loi française a retenu le stockage profond, étudié par l'Andra, comme seule solution sûre à long terme qui permet de ne pas reporter la charge de la gestion de ces déchets sur les générations futures. La directive européenne de 2011 sur les déchets radioactifs considère le stockage profond comme la meilleure option pour ce type de déchets.

S'il est autorisé, ce centre, appelé Cigéo (Centre industriel de stockage géologique), sera implanté à la limite de la Meuse et de la Haute-Marne pour une mise en service à partir de 2025, comme le demande la loi.

L'inventaire des déchets destinés à Cigéo est fondé sur les choix politiques actuels. Cependant, Cigéo est conçu pour tenir compte de possibles demandes de stockage d'autres déchets en cas de changements concernant l'industrie électronucléaire (durée d'exploitation des centrales, nouvelles installations, arrêt du traitement des combustibles...) ou pour prendre en compte les avancées des recherches sur le traitement des déchets.

Cigéo est conçu pour être réversible, pendant toute sa durée d'exploitation, c'est-à-dire au moins 100 ans. Cette réversibilité permettra aux générations futures de participer aux décisions sur le devenir du stockage et par exemple de retirer les colis de déchets stockés si un autre mode de gestion était envisagé.



BURE,

*OU COMMENT METTRE LES DECHETS
SOUS LE TAPIS...*





Les premières recherches sur le stockage des déchets radioactifs en couche géologique profonde sont menées par le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) dans les années 1960. La notion de laboratoire souterrain est introduite au début des années 1980 par un groupe de travail sur le devenir des combustibles nucléaires usés et la gestion des déchets radioactifs. L'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA), agence rendue indépendante du Commissariat à l'énergie atomique, est chargée de mener des travaux de reconnaissance géologique pour trouver un site susceptible d'accueillir un tel laboratoire.

La loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991, dite *Loi Bataille*, organise les recherches sur la gestion des déchets radioactifs en trois axes : la séparation / transmutation, le stockage géologique et l'entreposage de longue durée. Les recherches sur le stockage géologique sont confiées à ANDRA qui est notamment chargée :

« de concevoir, d'implanter et de réaliser les nouveaux centres de stockage compte tenu des perspectives à long terme de production et de gestion des déchets et d'effectuer toutes études nécessaires à cette fin, notamment la réalisation et l'exploitation de laboratoires souterrains destinés à l'étude des formations géologiques profondes.⁸³»

Après cinq années d'investigation sur plusieurs sites (Haute-Marne, Meuse, Vienne et Gard), l'ANDRA dépose une demande d'autorisation d'implantation et d'exploitation pour le site de Bure. Le 3 août 1999 paraît le décret autorisant l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs à installer et exploiter sur le territoire de la commune de Bure (Meuse) un laboratoire souterrain destiné à étudier les formations géologiques profondes où pourraient être stockés des déchets radioactifs. Le Comité local d'information et de suivi (CLIS) du laboratoire de Meuse-Haute-Marne est installé le 15 novembre 1999.

Suite à la décision prise par le Gouvernement pour accueillir un Laboratoire souterrain de recherche, les premiers travaux d'aménagement ont été entrepris en 2000 et le fonçage des puits d'accès au Laboratoire débuté en 2001. Le projet de stockage en formation géologique profonde pour les déchets de moyenne activité à vie longue et pour les déchets de haute activité (au voisinage du Laboratoire souterrain de Bure dans l'est de la France) est mené conformément au planning défini par la loi du 28 juin 2006 et par le décret du 16 avril 2008⁸⁴.

⁸³ Article 13 de la loi n°91-1381 du 30 décembre 1991 sur la gestion des déchets radioactifs, <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000356548&dateTexte=&categorieLien=id>

⁸⁴ La loi n° 2006-739 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs du 28 juin 2006, dite *Loi Birraux*, conclut ces quinze années de recherche. Elle fixe un calendrier pour la mise en exploitation en 2025, sous réserve d'autorisation, d'un centre de stockage réversible en couche géologique profonde (article 3, alinéa 2°). Elle conditionne la demande d'autorisation de création d'un tel centre de

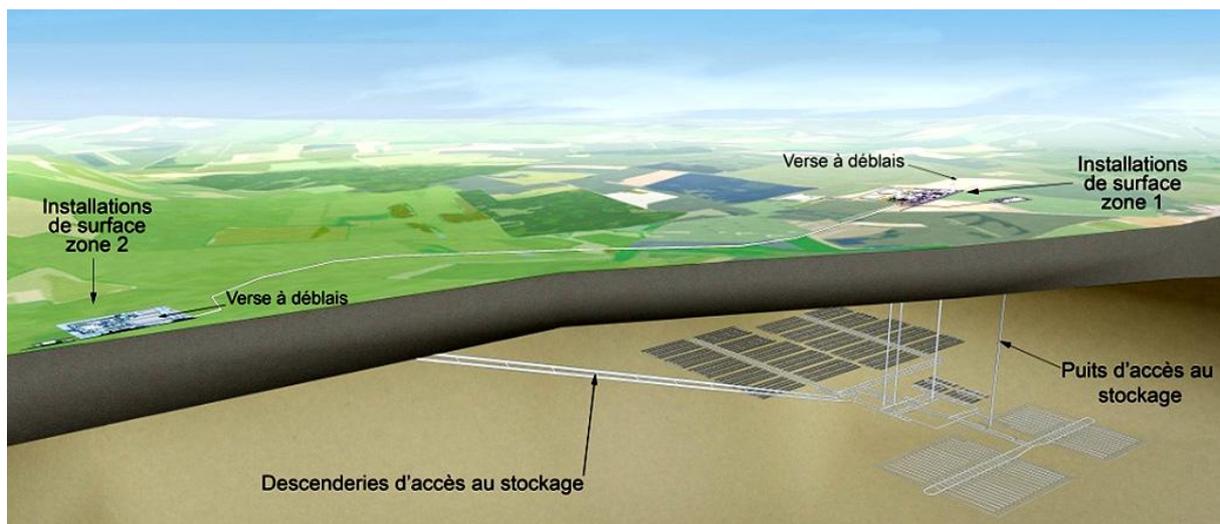
Après approbation par le Gouvernement de la zone d'intérêt de 30 km² pour la reconnaissance approfondie (ZIRA) en vue de l'implantation du stockage, l'ANDRA a engagé une reconnaissance approfondie (sismique 3D notamment) dans la ZIRA.



Depuis 2005, l'Andra conduit dans le laboratoire souterrain de Meuse / Haute-Marne, à 500m de profondeur, un ensemble d'expérimentations destinées à évaluer *in situ* les propriétés thermiques, hydrauliques, mécaniques et chimiques de la roche argileuse, à comprendre sa réactivité face à diverses sollicitations (mécaniques, thermiques, chimiques)

et à reproduire les interactions attendues entre les matériaux susceptibles d'être utilisés dans le stockage et le milieu géologique.

Parallèlement, l'Andra teste *in situ* et au travers de démonstrateurs technologiques différents composants des architectures de stockage (galeries, alvéoles, scellements) ainsi que les techniques de réalisation associées (creusement, revêtement et soutènement). Plus de 1000 m de galeries sont actuellement réalisés et mis à disposition pour réaliser le programme expérimental et de démonstration. Près de 4000 capteurs sont installés dans le laboratoire souterrain et transmettent des informations sur le comportement de la roche et des ouvrages réalisés.



stockage à ce que la couche géologique doit avoir fait l'objet d'études au moyen d'un laboratoire souterrain (article 12). Un débat public doit avoir lieu avant la remise du dossier de demande d'autorisation de construction.



L'ANDRA a transmis fin 2009 un dossier présentant une mise à jour des options de sûreté et de réversibilité pour le stockage, l'ASN a pris position et émis un certain nombre de recommandations début 2011. L'ANDRA a en outre rédigé un plan de développement (PDD) du projet qui présente la stratégie des

recherches et études sur la période 2007-2014, pour répondre aux objectifs de la loi du 28 juin 2006. En juin 2010, l'ANDRA a transmis la mise à jour du programme scientifique 2008-2014 dont les résultats servent de support à la démonstration de sûreté.

L'enjeu de la réversibilité

En France, la Loi Bataille de 1991 ouvrait deux options « l'étude du stockage réversible ou irréversible en couche géologique profonde », dans plusieurs laboratoires souterrains. La Loi de 2006 n'a retenu que le « choix du stockage réversible en couche géologique profonde. » Les pouvoirs publics ont fait un choix clair conformément aux préconisations de l'OCDE⁸⁵.

Mais ce principe concerne seulement les étapes de la construction du site d'enfouissement et de son exploitation. Elle ne signifie en aucun cas la récupération des colis dans le temps, quand ceux-ci relâcheront leur radioactivité. La fermeture du centre est inéluctable, au bout de 100, voire 120 ans. On parle bien de **stockage définitif**. C'est pourtant la capacité, primordiale, de récupération en cas de danger et de risque de contamination qui intéresse les riverains. Et cela au-delà des trois générations actuelles et à venir...

De nombreuses associations demandaient la poursuite de l'étude du maintien en surface de ces déchets, voie abandonnée en 2006. Au rang des arguments invoqués : les garder en surface, "sous les yeux", pour ne pas les oublier, pour pouvoir intervenir en cas de problème...

Mais l'industrie nucléaire ne l'a jamais entendu de cette manière :

*“Nul ne doit oublier que l'objectif ultime d'un dépôt est de garantir un confinement sûr et passif des déchets à long terme et que la **récupérabilité** n'est qu'un objectif secondaire “(...) Depuis le début, la réversibilité est inscrite dans nos concepts. »*

Cela d'autant plus qu'un stockage profond de déchets radioactifs ne sera vraiment sûr à long terme que dans s'il est fermé définitivement.

⁸⁵ « la réversibilité entraîne la connotation positive d'une marge de manœuvre et d'une liberté de choix pour les générations futures » (OCDE 2010 NEA n°6870)

La loi prévoit une réversibilité « pendant au moins 120 ans⁸⁶ ».

« Toutes les études de conception sont menées de façon à ce que le stockage profond puisse être réversible pendant au minimum toute la durée nécessaire pour le remplir...c'est à dire au moins 100 ans!⁸⁷ »

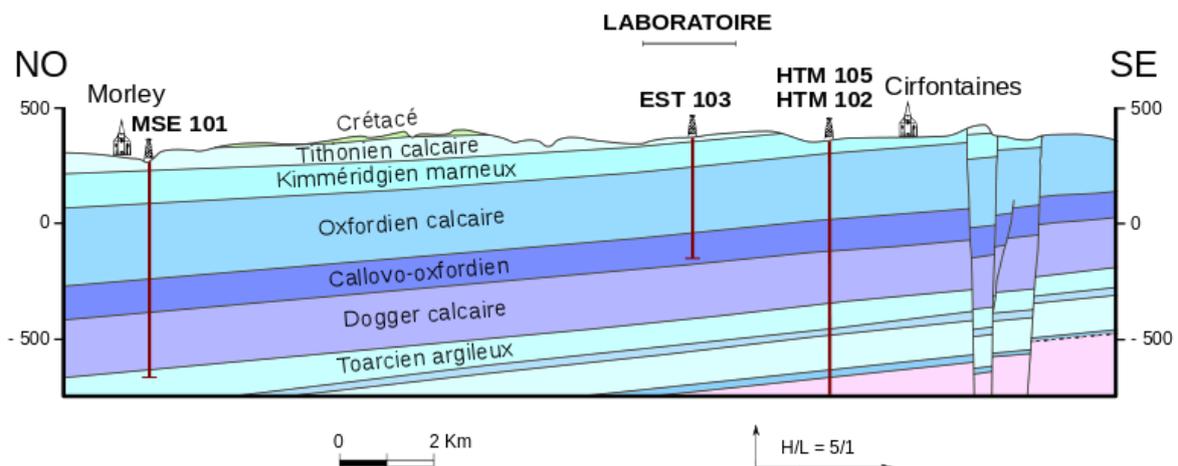
"Même si la mise en stockage des colis de déchets s'effectue sans intention de les retirer, c'est une bonne idée : a) de ne pas exclure sans raison des niveaux de récupérabilité et b) de prévoir la réversibilité. »

Techniquement, les galeries contenant les colis vont s'écraser au fil du temps, la roche se refermant autour d'eux. La récupérabilité (ou possibilité technique de les retirer) des colis qui fuiront un jour n'est pas compatible avec l'option de stockage définitif recherché⁸⁸. Elle nuirait à la sûreté prétendue, exige un haut niveau de technologie peut-être improbable dans l'avenir, aurait un coût financier énorme.

La « réversibilité » masque le vrai problème, occulte la question essentielle du pourquoi de ces déchets. Les pays nucléarisés ont un impératif majeur : enfouir au plus vite ces déchets qui font tache et les mènent à l'impasse.

De réelles Incertitudes géologiques

Depuis que la concertation a débuté autour du projet Cigéo, le débat fait rage sur les caractéristiques géologiques et hydrauliques du site. En 2002, les opposants au projet citant un vieux rapport du Bureau de Recherche Géologique et Minière (BRGM) de la fin des années 1970, mettent en évidence que Bure est sur une zone de « bonne productivité » prévisionnelle pour la géothermie.



⁸⁶ Marie Claire DUPUIS, directrice générale de l'Andra - Est républicain, 17/02/2010

⁸⁷ ANDRA : site internet dechets-radioactifs.com

⁸⁸ <http://www.andra.fr/download/site-principal/document/editions/266.pdf> , p. 16.

L'épaisse couche de grès et d'argiles du Trias inférieur, qui se situe sous le Dogger, exposerait dès lors les installations de l'ANDRA à des risques de percolation de nappes et d'infiltration d'eau qui pourraient avoir des conséquences fatales sur le confinement.

Un rapport de l'IRSN de 2002 faisant état de microfailles confirme les craintes des opposants. Le site n'est aucunement à l'abri de mouvements tectoniques qui peuvent non seulement briser l'intégrité des galeries mais entraîner des convections des nappes :

« De nombreuses fractures et petites failles sont observables dans l'environnement du site. Ce type de fractures peut typiquement être rencontré dans l'emprise du laboratoire ou d'un futur stockage.

« De nombreuses failles témoignent de mouvements tectoniques décrochant pendant l'histoire géologique. L'ANDRA proposait dans la première version du référentiel géologique que les failles avaient en grande majorité des jeux à composante verticale, ce qui est totalement rejeté par cette étude. Cette conclusion est importante car elle montre qu'il peut exister, dans l'emprise d'un éventuel stockage, des fractures essentiellement décrochantes [..]. Ceci peut avoir une influence sur les circulations hydrauliques, dans la mesure où la compression peut contribuer à la (ré)ouverture de ces fractures⁸⁹ [..]. »

Le rapport établi par l'IEER à la demande du CLIS de Bure confirme ce constat et fait état de fortes incertitudes en particuliers sur les hypothèses de l'ANDRA. *« Le modèle conceptuel adopté par l'ANDRA dans le Dossier 2001-Argile fait apparaître un problème potentiel dans la mesure où le modèle adopté pourrait bien empêcher la prise en compte d'autres alternatives. Par exemple, l'hypothèse d'un régime dominé par la diffusion pourrait empêcher toute analyse de l'importance éventuelle d'un flux convectif dans une représentation d'un réseau de fracture de la roche hôte.⁹⁰ »* L'étude complémentaire aboutit à des préconisations précises :

3. Le programme de recherche de l'ANDRA n'est pas suffisamment transparent pour permettre d'émettre des avis indépendants sur de nombreux aspects de ce programme dans les délais impartis.

4. Bien que les évaluations préliminaires de l'ANDRA figurant dans le Dossier 2001 Argile faites avec un faible coefficient de diffusion fassent apparaître un respect de la recommandation de limite de dose, ce n'est pas le cas pour le scénario « altéré ». Plus précisément, le scénario faisant intervenir une défaillance des scellements indique une dépendance excessive par rapport à un seul élément du système de confinement. Ceci montre que l'ANDRA doit accorder plus d'attention à l'aspect terme source de son programme en tant qu'élément de son modèle conceptuel.

⁸⁹ « *Fracturation et paléocontraintes autour du site de Bure* », par Rocher M. Baize S. Cushing E.M. Lemeille F. Lozac'h Y., IRSN - Département de Protection de l'environnement : Rapport DPRE/SERGD/02/12, mars 2002.

⁹⁰ http://cpdp.debatpublic.fr/cdpd-dechets-radioactifs/docs/pdf/docs-complementaires/IEER_rapport_092005.pdf, p. 12.

Dans l'ensemble, l'évaluation de la performance, dès les premières étapes de l'estimation méthodologique, doit être suffisamment solide parce qu'elle dépend, certes de multiples barrières mais aussi de multiples raisonnements.

5. L'ANDRA doit encore effectuer une quantité considérable de travaux de recherche essentiels sur la roche hôte du site dans un certain nombre de secteurs. Dans certains secteurs, l'ANDRA n'a pas même formulé de programme détaillé, par exemple en ce qui concerne certains aspects de la recherche in situ dans le laboratoire souterrain. 6. Une évaluation de performance scientifiquement valide visant à déterminer la faisabilité de la construction d'un site de stockage avec confinement géologique sur le site de Bure n'est pas possible en l'état actuel des recherches. De nombreux éléments déterminants du programme de recherche sont incomplets sur des aspects essentiels, ou n'ont pas même été entrepris. Par exemple, avant qu'un tel avis puisse être considéré comme scientifiquement valide, l'ANDRA aura à traiter des aspects comme :

- Recherche sur les scellements à l'intérieur de la roche hôte après une caractérisation in situ de cette roche ;*
- Caractérisation des petits réseaux fracturés et des plans de stratification qui pourraient être importants pour la création d'une évaluation réaliste de l'EDZ ;*
- Production de gaz en relation avec les fractures.*

Comme à l'accoutumée dans le domaine nucléaire, la réponse de l'ANDRA se fonde sur des études probabilistes de sûreté. S'il existe des incertitudes sur le milieu géologique, les recherches doivent permettre, selon l'exploitant, de trouver des solutions techniques adaptées afin de garantir le meilleur niveau de confinement pérenne⁹¹. Le principal problème identifié est évidemment la circulation d'eau dans les galeries de stockage. Les réponses de l'ANDRA se résument à des déclarations de bonnes intentions. L'objectif est de « limiter le renouvellement d'eau autour des colis », de « s'opposer à un entrainement convectif des radionucléides pour restreindre leur possibilité de migration à la seule diffusion. » Il ne s'agit aucunement d'assurer une étanchéité complète du site _ d'ailleurs illusoire _ mais d'éviter que l'eau arrivée au contact des matières radioactives ne sorte du site de façon massive. Le problème de l'ANDRA n'est donc pas d'éviter toute contamination mais de « limiter » dans ce que faire se peut sa diffusion...

L'ANDRA convient que de l'eau arrivera dans le site par un phénomène de désaturation du milieu. La seule réponse qu'elle apporte est de réaliser des « formations encaissantes » qui auraient un rôle de tampon entre le site et le milieu. En somme des galeries pour protéger d'autres galeries. Mais tout cela est-il bien compatible avec les contraintes inhérentes à la nature des déchets stockés ? Les contraintes thermiques et mécaniques obligeant à nettement espacer les galeries de stockage, n'y a-t-il pas une contradiction majeure entre la protection du milieu et les conditions de stockage choisies ?

⁹¹ <http://www.andra.fr/download/site-principal/document/editions/266.pdf>, p. 20.

Somme toute l'ANDRA n'a pas fait une analyse probabiliste de sûreté tenant compte de la variabilité des propriétés de l'argilite. L'hétérogénéité du milieu géologique est verticale tout autant qu'horizontale, dans la composition minéralogique et dans la composition de l'eau interstitielle, entraînant des variations dans les propriétés de transport, dans la porosité totale, dans la porosité cinématique, dans la porosité accessible aux anions et les coefficients de diffusion effective des ions et dans la perméabilité des argilites. La ZIRA présente elle-même une hétérogénéité : on distingue le NE du SO et la ZIRA est située entre ces deux zones. Les variabilités des paramètres ne sont pas totalement prises en compte dans les analyses, et l'impact potentiel de la variabilité n'a pas été étudié. Les paramètres de transport moyen dans la zone de transposition pourraient être différents sur la ZIRA seule (plus élevés ?). Le transport convectif pourrait être sous-estimé. L'incertitude sur la dose maximale totale pourrait varier de cinq ordres de grandeur (soit d'un facteur 100 000).



L'interprétation des résultats pour la performance du stockage est optimiste et insuffisamment prudente. L'IEER estime que la réversibilité devrait être limitée dans le temps pour minimiser les risques de détérioration. L'IEER a observé une nette

déformation sur certains creusements, tendant vers une forme de carré. La durée de vie estimée du béton par l'ANDRA est très optimiste. Les analyses de performances de l'ANDRA sont basées sur l'hypothèse que la roche est un continuum, en omettant la présence de fracture ou discontinuité pour simplifier la modélisation.

Des étapes clés du développement du projet seront abordées dans les toutes prochaines années, en particulier avec le débat public prévu en 2013 et le dépôt de la demande d'autorisation de création en 2015. Par son avis qu'elle a récemment rendu sur le dossier transmis par l'ANDRA en 2009 à propos des options de sûreté et la réversibilité, l'ASN a fixé les principaux axes de travail que l'ANDRA devra approfondir en vue du dépôt de la demande d'autorisation de création. Un point important du développement de ce projet est la remise, dans les délais et en qualité, du dossier de demande d'autorisation de création. Ce dossier devra prévoir les conditions de la réversibilité dont il importe de garantir la compatibilité avec la sûreté à long terme du stockage.

Des doutes évidents sur la pérennité du confinement

Le plus intéressant est que le mouvement antinucléaire n'est pas le seul à douter des solutions définies par la loi et étudiées par l'ANDRA. L'Office parlementaire d'évaluations des choix scientifiques et technologiques en 2001 exprime clairement des réserves sur le choix du stockage géologique, dans un rapport signé par Christian bataille en personne⁹² :

« Jusqu'à maintenant, les combustibles irradiés sortant des centrales d'EDF ont été entreposés dans des piscines situées soit à proximité des centrales, soit dans l'enceinte de l'usine de retraitement de La Hague.

Ce mode d'entreposage ne pose pas, pour le moment, de problèmes particuliers aux autorités de sûreté mais il ne s'agit que de solutions tout à fait provisoires qui ne devraient en principe durer que le temps nécessaire à la préparation de leur retraitement. Toutefois, la France dispose aussi d'une expérience d'entreposage à sec avec l'installation CASCADE du CEA à Cadarache où sont temporairement regroupés certains combustibles hors normes dits « exotiques » qui ne correspondent pas aux exigences des usines de retraitement.

Avec l'arrêt du retraitement immédiat de l'intégralité du combustible irradié, on entre dans une autre logique car il va falloir, cette fois, concevoir un entreposage de longue durée qui devrait permettre : « la mise en attente puis la reprise des colis pendant une période séculaire dans des conditions de sûreté et d'économie viable », si on s'en tient à la définition proposée par le CEA.

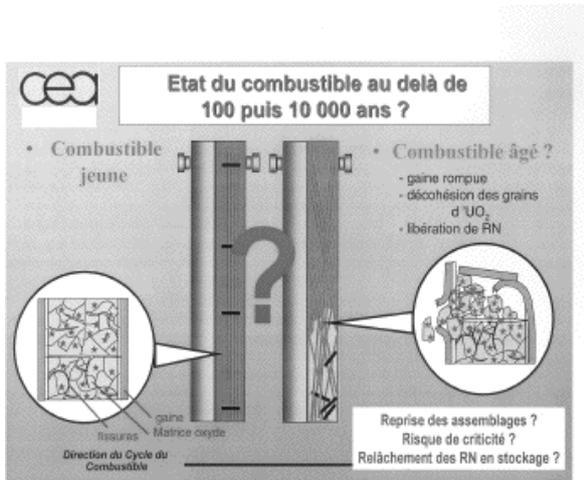
A partir du moment où on doit raisonner en terme de siècles et non plus en dizaine d'années, les critères qui devront être exigés des installations d'entreposage à long terme vont, bien évidemment, très largement différer de ceux qui étaient requis pour assurer la sûreté des piscines actuelles.

Quelle que soit la solution qui sera retenue pour la construction des installations d'entreposage à long terme, celles-ci devront pouvoir répondre aux mêmes impératifs de sûreté de manière à être en mesure :

- ✓ *d'empêcher tout relâchement de radioactivité dans la biosphère,*
- ✓ *de garantir à tout moment la possibilité d'une reprise des assemblages pour les envoyer soit au retraitement, soit en stockage définitif,*
- ✓ *de permettre en permanence la surveillance et le suivi des colis entreposés.*

Même s'il est souvent question de réversibilité des stockages souterrains, ceux-ci seront avant tout conçus comme une solution définitive où le problème principal sera de contrôler le relâchement des radionucléides sur des périodes qui dépasseront le millénaire. L'entreposage, au contraire, devra constituer un outil flexible permettant d'attendre, pendant une durée limitée, que soient prises les décisions sur le sort qui sera réservé, in fine, aux combustibles irradiés.

⁹² Rapport sur les possibilités d'entreposage à long terme de combustibles nucléaires irradiés, par Christian Bataille, déposé les 30 et 31 mai 2001 auprès de l'Assemblée nationale et du Sénat
http://home.nordnet.fr/~christianbataille/html/rapports/rapport_5.01/rapport_5.01_1.html
 suivent des extraits de la 3^e partie intitulée, Les critères auxquels devraient répondre les installations...



A partir du moment où les colis devront en permanence rester disponibles, des contraintes de gestion particulièrement fortes devront être respectées pendant toute la durée de fonctionnement de l'installation.

L'entreposage, en l'état, de combustibles irradiés va donc devoir prendre en compte deux dangers potentiels : dispersion de la radioactivité et le dégagement de chaleur.

Les éléments radioactifs présents dans le combustible irradié présentent des

caractéristiques très différentes. En effet, certains radionucléides ont une très forte radioactivité mais avec une vie assez courte alors que d'autres éléments moins radioactifs ont, en revanche, une durée de vie qui se compte en millions d'années. Le césium, par exemple, qui a une très forte activité, de l'ordre de 3 200 milliards de Becquerels par gramme, a une période relativement courte de 30 ans. A l'opposé, l'uranium qui a une période très longue de 4,5 milliards d'années, en revanche, une activité beaucoup plus faible qui n'est que de 1 200 Becquerels par gramme.

On ne peut donc pas, dans le cas d'un entreposage temporaire, compter sur la décroissance naturelle pour réduire le danger puisque même les éléments aux périodes relativement courtes tels que le césium (30 ans) ou curium (18 ans) seront encore très actifs au bout d'un siècle.

Le deuxième problème à gérer sera celui de la puissance thermique à évacuer. Dans une installation où seraient entreposés des combustibles irradiés, cette puissance thermique serait de plusieurs mégawatts, leur refroidissement devra donc être assuré pendant toute la période d'entreposage soit à l'aide d'une ventilation artificielle, soit par convection naturelle. Ce dégagement de chaleur, qui sera particulièrement important dans le cas du combustible MOX, pose la question du risque lié à l'échauffement des combustibles en cas d'arrêt volontaire ou accidentel des mécanismes de ventilation.

Etant donné la durée possible de l'entreposage et les aléas qui pourraient survenir, la présence d'une technique passive d'évacuation de la chaleur s'imposera obligatoirement même dans les installations dotées d'une ventilation mécanique forcée. En cas de perte totale ou partielle du réseau de ventilation, le CEA, dans un récent rapport au Gouvernement a estimé : « qu'un colis type de combustibles irradiés ayant dix ans de refroidissement en piscine peut voir sa température atteindre 500° C en quelques jours ».

Si la lixiviation des combustibles usés en présence d'eau, ce qui pourrait être le cas dans les stockages souterrains, a été assez largement étudiée, il conviendrait aussi d'accélérer les recherches sur le comportement à long terme de ces combustibles sans circulation importante d'eau ce qui devrait être, cette fois, la situation normale dans les installations d'entreposage. D'autres phénomènes que le fluage des alliages de zirconium pourraient, en effet, affecter l'évolution chimique et physique de l'UO₂ : l'accumulation d'hélium, la migration des radionucléides, la formation de microbulles de gaz, le gonflement du combustible.

L'existence de futurs combustibles MOX irradiés viendra encore compliquer cette réflexion sur le comportement à long terme des assemblages du fait de leur très importante puissance thermique résiduelle (300 à 400°C au départ).

3.2.2. Le conteneur : élément essentiel du dispositif d'entreposage à long terme

Lors d'un colloque qui s'est tenu en janvier 1999 sous l'égide de l'ANDRA, tous les participants, venus de sept pays différents, ont été unanimes pour considérer : « qu'il convient de ne pas faire jouer un rôle de barrière de confinement à la gaine qui entoure la matrice ». Si la gaine qui entoure le combustible pendant la durée du fonctionnement en centrale ne peut assurer un confinement suffisant des radionucléides pendant l'entreposage, l'utilisation de conteneurs devient alors un des points essentiels du dispositif d'entreposage.

Le conteneur va donc véritablement être l'élément constitutif des colis et avoir plusieurs fonctions différentes :

- ✓ il va tout d'abord constituer une barrière de confinement pour limiter la dissémination des radionucléides,*
- ✓ il va également protéger les assemblages contre les agressions extérieures, en particulier pendant le transport et les manipulations,*
- ✓ il va faciliter l'évacuation de la chaleur,*
- ✓ et surtout il va enfin permettre la préhension et la manipulation des combustibles.*

Dès que l'on envisage un entreposage à sec, hors des piscines de refroidissement, le problème de la résistance à long terme des matériaux des conteneurs devient primordial. Pour le moment, le concept des conteneurs pour l'entreposage des combustibles irradiés n'a pas été arrêté. Le CEA étudie le comportement de différents alliages d'acier, comportant plus ou moins de nickel, et celui de l'acier inoxydable. Le concept suédois, de conteneurs de cuivre, que nous avons vu au CLAB, semble ne pas être retenu par les autres pays en raison de son coût trop élevé.

Contrairement à ce qu'on pourrait penser, a priori, les conteneurs en acier faiblement allié semblent mieux adaptés à l'entreposage à long terme que ceux en acier inoxydable, beaucoup plus coûteux, et où la propagation de la corrosion se fait par des crevasses. De toute manière, quelle que soit la composition du conteneur, les phénomènes de corrosion ne se produiront que s'il y a interaction entre le métal et le milieu où il est entreposé. Le problème sera donc de contrôler activement l'atmosphère des installations d'entreposage ce qui n'empêchera pas, parallèlement, de tenter d'obtenir les conteneurs les plus résistants à la corrosion dans toutes les situations possibles.

Pour renforcer la résistance des colis à la corrosion interne, il est également prévu de placer les assemblages dans des étuis qui assureraient un premier niveau de protection, chaque conteneur recevant plusieurs étuis. Bien étudiés, ces étuis devraient permettre de limiter les conséquences de l'évolution à long terme des gaines et des matières.

Voilà un bien bel exemple d'embarras... Aucune solution technique n'est aujourd'hui en mesure de garantir la sûreté de la solution préconisée. Bure n'est qu'un pari hasardeux qui pose plus de problèmes qu'il n'apporte de solutions !

CIGéo : un projet aussi FLOU...

Lors de la présentation du rapport n°5, Pierre BEREST et Jean-Claude DUPLESSY de la CNE (Commission nationale d'évaluation des travaux de l'ANDRA) ont avoué que le projet CIGéo était FLOU. Pas besoin de sortir de l'Ecole des Mines, pour le voir. CIGéo est :

- FLOU dans le **dimensionnement de l'entreposage**. S'agit-il d'un entreposage tampon ou d'un entreposage relais des actuels entreposages sur site ? – Fabrice BOISSIER de l'ANDRA a déclaré le 4 juillet que nous aurons la réponse dans le dossier de 2013 ! Mensonge potentiel : l'ANDRA affirme pouvoir descendre 6 colis par jour, et recevoir 2 trains de 10 wagons par semaine. Par soustraction, ça fait 3 000 colis qui vont rester en surface...
- FLOU dans la **qualité des colis** : contamination surfacique hors norme, colis abimé...
- FLOU dans le **contenu des colis** : le dernier inventaire a montré qu'on ne connaît pas le contenu de 40 000 d'entre eux. De plus, Jean-Louis CANOVA, président du CLIS de BURE, s'inquiète de la possibilité de voir arriver à BURE le MOX et les combustibles usés...
- FLOU dans la **technique de creusement** des galeries et alvéoles : problèmes de tunneliers...
- FLOU dans la **technique des machines de transferts** automatiques de la double descendrière...
- FLOU dans la **technique de scellement** des alvéoles. Aujourd'hui l'ANDRA ne sait pas réaliser les scellements, ni les provisoires, ni les définitifs... pour la CNE, le scellement serait le problème le moins bien traité. Certes l'ANDRA a un siècle pour apprendre...
- FLOU dans la signification de la **réversibilité**, qui évolue au fil du temps, et que l'ASN pourrait même interdire, si cette **réversibilité** nuisait trop à la sûreté...
- FLOU dans la **conception** globale de l'entreposage... Une usine à gaz...radioactifs !
- FLOU dans le **calendrier** : pourquoi cette précipitation ? Alors que les colis, eux, ne demandent qu'à refroidir en surface...

... que FOU !

- FOU d'enfouir dans des alvéoles fermées des colis qui crachent de l'hydrogène, qui peut **exploser** à la moindre étincelle. D'où **incendie**. Et la majorité des colis contiennent du bitume pur, qui, lui, est auto-inflammable.
- FOU d'imaginer qu'une **double ventilation** supprimera le risque. Et tous ces gaz radioactifs qui vont aller directement dans les poumons des riverains. « Pas plus de rejets que le centième de La Hague, soit pas plus qu'une centrale à charbon », dit la CNE. « Pas plus que la centrale nucléaire de Nogent-sur-Seine », dit l'ANDRA !
- FOU d'imaginer **remonter** les colis, en cas de problème (incendie, accident de criticité, inondation), à la même vitesse que celle de la descente. Au pire : un siècle pour les enfouir, et un siècle pour les remonter. Dans quel état seront-ils ? Où les stocker en surface ? Et qui paiera ?
- FOU d'**attendre les réponses** à toutes les questions qu'on se pose sur tout ce qui pourrait arriver durant le siècle d'exploitation.
- FOU de savoir que l'ANDRA **parie** ensuite sur la Nature pour confiner cette incroyable concentration de radioactivité. Sûr : il n'y aura aucun séisme, aucun mouvement de terrain, aucune faille, aucune infiltration d'eau. Rien ne remontera à la surface durant l'éternité !
- FOU d'arriver à un **coût** total toujours aussi FLOU de CIGéo, de 15 à 30 milliards d'euros selon la CNE. Voire 45 milliards. Et cette estimation ne prend pas en compte une éventuelle récupération des colis. C'est une **dépense d'un million d'euros par jour pendant un siècle !**

Vous, élus, si vous cautionnez ce projet CIGéo, l'Histoire se souviendra de vous !

CONCLUSION GENERALE



La loi concernant les recherches sur la gestion des déchets radioactifs de 1991 avait confié à l'ANDRA une mission d'inventaire des déchets radioactifs français, renouvelée et même élargie aux entreposages de matières radioactives valorisables dans la loi de 2006. L'édition 2009 de l'Inventaire national est la troisième, après 2004 et 2006. Elle présente des données arrêtées à la fin de l'année 2007.

L'inventaire national établi par l'ANDRA présente à la fois un recensement des sites abritant des déchets radioactifs, quelque soit leur quantité et leur nature, et une classification technique des catégories de déchets, en fonction de leur radioactivité et de leur durée de vie, de leur origine et de leurs caractéristiques. Il fournit des évaluations des quantités existantes et des projections sur les quantités à venir. L'inventaire inclut, outre l'ensemble des déchets reconnus comme tels, une évaluation plus grossière des quantités de matières dites valorisables, c'est-à-dire contenant sous différentes formes de l'uranium ou du plutonium jugé réutilisable en réacteur.

L'inventaire national de l'ANDRA 2009 recense **1 121 sites** où sont entreposés ou stockés des déchets radioactifs à la fin 2007, dont 30 seulement sont des sites dédiés d'entreposage de déchets radioactifs, et 3 des centres de stockage (auxquels s'ajoutent 23 « sites de stockage historiques » correspondant aux stockages réalisés avant la mise en place d'une réglementation dédiée, dans le périmètre de certaines installations). Ces sites contiennent des déchets très variés, qui constituent selon l'inventaire plus de 100 familles de déchets différentes.

Bien que l'inventaire regroupe l'ensemble des déchets, toutes origines confondues, ceux-ci proviennent essentiellement du secteur nucléaire, et en premier lieu de la production électronucléaire. Elle représente dans le stock existant 44,8 % des déchets très faible activité (TFA), 69,4 % des déchets faible et moyenne activité - vie courte (FMA-VC), 42,6 % des déchets faible activité - vie longue (FA-VL), 59,9 % des déchets moyenne activité – vie longue (MA-VL) et 80,1 % des déchets haute activité (HA). Les autres activités nucléaires, la recherche et la défense, constituent la plus grande part restante, l'industrie hors nucléaire et le médical représentant moins de 3 % du total.

L'inventaire fournit une évaluation détaillée, famille par famille, des quantités de déchets existants, en distinguant les productions historiques et les productions en cours, avec des hypothèses sur leur poursuite. Il décrit pour chaque famille ainsi prise en compte son conditionnement actuel et, s'il doit être différent, son conditionnement futur.

Les volumes attendus en conditionnement final servent ensuite de base à une estimation plus globale des stocks existants, et des projections associées à la poursuite de l'exploitation des installations existantes. Ces estimations sont rassemblées dans le tableau suivant :

	<i>Stock existant au 31 déc. 2007</i>	<i>Stock total (existant + projeté) fin 2020</i>	<i>Stock total (existant + projeté) fin 2030</i>	<i>Déchets issus du démantèlement au-delà de 2030</i>
HA	2 293 ^a	3 679 ^a	5 060 ^a	—
MA-VL	41 757	46 979	51 009	+ 9 750
FA-VL	82 536	114 592	151 876	+ 11 700
FMA-VC	792 695	1 009 675	1 174 193	+ 315 200
TFA	231 688	629 217	869 311	+ 637 500
À définir	1 564	—	—	—
Total	1 152 533	1 804 142	2 251 449	+ 974 150

Les déchets pris en compte dans le tableau précédent sont ceux que l'industrie nucléaire considère effectivement comme tels. Il n'inclut donc pas, à l'exception du combustible de Brennilis (EL4) de l'ordre de 74 m³, l'ensemble des matériaux recensés dans l'inventaire qui contiennent des matières fissiles ou fertiles et sont à ce titre théoriquement réutilisables dans différents types de réacteurs. Pour ces matières dites valorisables (uranium, plutonium et dans une moindre mesure thorium), l'ANDRA établit dans l'inventaire une estimation des stocks et une projection séparées. Ces estimations sont rappelées dans le tableau ci-dessous. Bien que les projections reposent sur une hypothèse de poursuite de la stratégie de retraitement et de réutilisation des matières, l'inventaire prévoit une accumulation de ces matières qui suppose, si la même voie devait être poursuivie, la construction hypothétique d'un nouveau parc de réacteurs adapté à l'emploi de ces stocks.

	Fin 2007	Fin 2020¹	Fin 2030¹	
Uranium naturel extrait des mines (tML)	27 613	32 013	32 013	
Uranium enrichi ² (tML)	3 306	1 764	2 714	
Uranium séparé issu du retraitement (tML)	23 950 ³	36 000	49 000	
Uranium appauvri (tML)	254 820	332 324	452 324	
Thorium ⁴ (t)	9 399	9 399	9 290	
Matières en suspension ⁵ (t)	21 672	0	0	
Combustible contenu dans les réacteurs	UOX (tML)	4 500	3 860	1 100
	URE (tML)	80	290	0
	MOX (tML)	290	440	0
	Recherche (tML)	5 ⁶		
Combustible utilisé entreposé, en attente de retraitement	UOX (tML)	11 504 ⁷	13 450	11 000
	REU (tML)	251 ⁸	1 020	1 320
	MOX (tML)	1 028 ⁹	2 320	2 550
	RNR (tML)	104 ¹⁰	104	104
	Recherche (t)	42 ¹¹	0	0
Défense (t)	141 ¹²	230	298	
Plutonium séparé issu du retraitement ¹³ (tML)	82 ¹⁴	55	53	

Risque de prolifération toujours présent⁹³

Alors que la presse britannique vient de révéler qu'un attentat à la bombe sale avait été déjoué en 2004 ; voilà que Wikileaks et le Laboratoire de recherche Sandia, dépendant du Département de l'Énergie des États-Unis, nous apportent de nouveaux éléments sur le danger des déchets et matières nucléaires laissés de part et d'autre des plaines du Kazakhstan...

Une bombe radiologique ou bombe sale, selon la dénomination que l'on lui donne, est une bombe constituée d'explosif militaire conventionnel (RDX, C4) et de matières radioactives (par exemple cobalt, césium137, strontium, uranium et plutonium, ...). L'explosion ne générera pas une réaction nucléaire, mais une dispersion des matières, contaminant durablement la zone visée selon la force et la composition de cette bombe. L'objectif de cette arme, parfois appelée non pas arme de destruction massive, mais arme de déstabilisation massive, est de provoquer une panique nucléaire et un choc psychologique important auprès de la population.

Le risque est bien réel comme le montrent les multiples tentatives réalisées à Moscou en 1996, à Argun en Tchétchénie en 1998, à Chicago en 2002, à Herat en Afghanistan en 2003 et donc à Londres en 2004. Comme l'affirme le Député Voisin, auteur d'un rapport (2010) relatif à la lutte contre la prolifération des armes de destruction massive et de leurs vecteurs : « autant l'explosion d'une bombe nucléaire par des terroristes relève de la propagande, autant le recours à des bombes au cobalt [sale] est une hypothèse réaliste » !

Pour combattre ce risque, de multiples initiatives ont été mises en œuvre (comme le Global Initiative to Combat Nuclear Terrorism, le Megaports Program, etc.) et le Global Threat Reduction Initiative. Dans ce cadre, le Sandia National Laboratories (un des trois grands centres de recherche nucléaire américain, avec Los Alamos et Lawrence Livermore), vient de révéler avoir transféré en un lieu sûr du Kazakhstan assez de matières nucléaires pour fabriquer près de 775 bombes atomiques !

Avec l'aide d'experts américains, ce pays d'Asie centrale vient de sécuriser 11 tonnes d'uranium hautement enrichi et 3,3 tonnes de plutonium de qualité militaire. Ces quantités astronomiques de matières radioactives étaient stockées au départ près de la petite ville d'Aktau (connue à l'époque soviétique sous le nom de Shevchenko). Elles ont été progressivement transférées (de février au 18 novembre 2010, date du dernier voyage) via des containers sécurisés sur des trains spéciaux à travers le pays pour être entreposés au nord du Kazakhstan, dans un lieu tenu secret.

Il faut dire que ce pays, théâtre des essais soviétiques (338 essais nucléaires souterrains, 83 atmosphériques et 35 au sol) était la plus grande zone d'essai nucléaire au monde (Semipalatinsk, 18 500 Km²) où se trouve, aujourd'hui à l'abandon, sans réelle sécurité des matières radioactives. Dans la suite de ces opérations de sécurisation Wikileaks dans un câble publié par le quotidien allemand Der Spiegel révèle que 181 tunnels ayant servi à des explosions nucléaires souterraines ne poseront plus de danger en terme de prolifération nucléaire. En effet, les populations Kazakh à la recherche de métaux avaient pris l'habitude de s'introduire dans ces tunnels (en faisant exploser les entrées pourtant scellées) pour voler des métaux (souvent radioactifs) dans le but de les revendre aux chinois. Mais la crainte principale émise par les autorités américaines était que ces métaux puissent servir de matières premières pour une bombe radiologique...

Du côté des anciennes républiques Soviétiques : L'Ukraine a en 2010, transféré 50 Kg (sur 90) de son stock d'uranium enrichi, en Russie, suite à un accord réalisé lors du Sommet sur la sécurité nucléaire (12-13 avril 2010, Washington) entre les présidents américain et ukrainien, Barack Obama et Viktor Ianoukovitch. La Biélorussie a également annoncé en décembre 2010 (lors du sommet de l'OSCE à Astana) sa volonté d'éliminer ses derniers stock d'uranium enrichi (174 Kg, dont au moins 40 Kg ont un enrichissement de qualité militaire) d'ici le Sommet sur la sécurité nucléaire de 2012 (Séoul).

⁹³ <http://alternatives-economiques.fr/blogs/collin/2011/02/15/prolifération-et-risque-nucleaires/>

Table des Matières

Définitions et données générales.....	7
Une réglementation internationale.....	8
Classification.....	9
La singularité de la législation française.....	14
Le coût de la gestion des déchets radioactifs en France.....	17
Un Rapport de la cour des comptes qui amène à s'interroger sur ces coûts.....	19
En guise de conclusion.....	23
Le cycle du combustible.....	26
L'Uranium une ressource rare.....	29
Enrichissement de l'uranium.....	34
L'uranium appauvri une épine dans le pied de la filière nucléaire.....	39
L'assemblage des barres de combustible.....	44
La transformation du combustible dans les réacteurs nucléaires.....	46
Généralités.....	46
Quelques précisions techniques.....	46
Le transport des matières nucléaires.....	49
Vous avez dit « recyclage... » ?.....	55
Le MOX, la malédiction du plutonium.....	59
Le tour de passe-passe des matières valorisables.....	64
En avant toute vers la IV ^e génération de réacteur... ..	69
Conclusion.....	72
Où mettre les déchets ?.....	74
La mer, une poubelle radioactive.....	79
Les sites de l'ANDRA en France.....	81
Le centre stockage de la Manche.....	82
Le Centre de stockage pour les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (Soulaines-Dhuys).....	82
Le Centre de stockage pour les déchets de très faible activité (Morvilliers).....	83
Des déchets en attente de stockage toujours plus volumineux.....	83

La Russie ultime lieu de stockage des « matières valorisables »	86
En tout cas la facture sera salée	90
Les doctrines de gestion des déchets radioactifs.....	92
Le cadre réglementaire international	95
Allemagne	96
Belgique	99
Suisse.....	102
France	105
ANDRA 2012... « on change rien ! »	109
Les déchets de Haute activité	113
Les déchets de moyenne activité à vie longue	114
Les déchets de faible activité à vie Longue	115
Les principales matières radioactives présentes en France.....	119
L'uranium naturel extrait de mines d'uranium	119
L'uranium enrichi	119
L'uranium appauvri (Uapp).....	119
L'uranium issu de combustibles usés après traitement (URT)	120
Les combustibles en cours d'utilisation dans les réacteurs électronucléaires et dans les réacteurs de recherche.....	121
Les combustibles usés en attente de traitement	121
Le plutonium issu des combustibles usés après traitement	122
Les projets de stockage de l'ANDRA	123
Bure,	125
<i>ou comment mettre les déchets sous le tapis</i>	125
L'enjeu de la réversibilité	128
De réelles Incertitudes géologiques	129
Des doutes évidents sur la pérennité du confinement.....	133
Conclusion Générale.....	137
Table des Matières	141