

# Matières et déchets nucléaires : de quoi parle-t-on ?

Rédaction de Global Chance

Quand on parle de déchets nucléaires aujourd'hui pour aborder leur gestion à court et moyen terme, leur entreposage ou leur stockage éventuel, on est automatiquement confronté à un piège sémantique majeur. En effet, le discours et la stratégie des pouvoirs publics et de l'industrie nucléaire françaises se fondent sur une définition apparemment classique et sans ambiguïté de la notion de déchets, voire de déchets ultimes, mais qui, dans le cas très particulier du nucléaire, se révèle très insuffisante pour rendre compte des difficultés et des risques auxquels ces stratégies conduisent.

Le terme de « déchets radioactifs » est en effet réservé, par analogie avec les déchets les plus ordinaires, à des substances radioactives sans réutilisation prévue. Plus précisément, la loi de 2006, dans son article 5, définit les déchets radioactifs comme ceux pour lesquels aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou « envisagée ».

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

La catégorie « déchets nucléaires » se définit donc par opposition à celle des matières valorisables, qui désigne 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, le terme « matières valorisables » dans le domaine nucléaire concerne l'uranium et le plutonium sous toutes leurs formes dans la chaîne de production, d'utilisation et de retraitement du combustible.

La notion de déchet nucléaire ne fait par conséquent référence ni à la dangerosité pour l'homme des matières en question ni au temps de présence de ces matières sur le sol national, mais uniquement à leur caractère éventuellement recyclable ou non.

D'où une double ambiguïté :

- *Tout d'abord au niveau du langage.* Pour un américain ou un suédois, les combustibles irradiés ont le statut des déchets nucléaires dont il faut envisager la gestion, l'entreposage et éventuellement le stockage à long terme. Pour les autorités et l'industrie nucléaire française, défenseurs du retraitement des combustibles irradiés, seuls 4 à 5 % des matières contenues dans les combustibles usés ont le statut de déchets puisque les 95 autres peuvent se révéler recyclables, dans des délais et grâce à des technologies qui n'ont pas besoin d'être précisées.
- *Ensuite au niveau des risques.* Pour les citoyens en effet, la notion de risque engendré par les « déchets nucléaires » réside dans la *présence* sur le sol national de matières nucléaires dangereuses pour l'homme ou l'environnement et dans la *durée* de cette présence dans notre environnement. Et le terme « valorisable » associé aux matières nucléaires n'apporte aucune information sur ces deux aspects.

En dehors de la matière première de l'industrie nucléaire, l'uranium, les différentes matières qui sont fabriquées au cours des réactions nucléaires dans les réacteurs présentent des dangers de plusieurs nature :

- Les produits de fission qui se caractérisent par leur très forte activité en rayonnement  $\gamma$  à haute énergie et donc susceptibles d'être dangereux pour l'homme à grande distance, mais pour des temps relativement courts (quelques centaines d'années).
- Les actinides produits dans le réacteur au moment de la fission de l'uranium, au premier rang desquels on trouve le plutonium mais aussi toute une série d'autres produits dénommés actinides mineurs. Cet ensemble de produits est essentiellement émetteur de radiations  $\alpha$  et  $\beta$ , mais dont la portée est beaucoup plus faible.

Si l'on peut donc se protéger relativement facilement de ces radiations (par exemple avec des écrans de faible épaisseur), ils deviennent très dangereux pour l'homme par inhalation ou ingestion. Les durées de vie de ces actinides sont très diverses. Certains de ces actinides ont une « période radioactive » très élevée<sup>1</sup>.

Le plutonium par exemple est produit en quantités importantes dans le cœur des réacteurs nucléaires, à partir de l'uranium. Il est constitué d'un ensemble d'isotopes (<sup>236</sup>Pu, <sup>238</sup>Pu, <sup>239</sup>Pu, <sup>240</sup>Pu et <sup>241</sup>Pu). Tous les isotopes et composés du plutonium sont toxiques et radioactifs. La toxicité d'une quantité de plutonium dépend de sa composition en différents isotopes, chacun ayant une période radioactive spécifique et un type différent d'émission de particules<sup>2</sup>. Par décroissance radioactive, tous les isotopes du plutonium donnent naissance à un autre isotope émetteur alpha. Ainsi, le Pu<sup>239</sup> a une période radioactive de 24 110 ans, tandis que celle de Pu<sup>241</sup> est de 14,4 ans et celle de Pu<sup>238</sup> de 87,7 ans.

Dans le plutonium couramment produit dans les réacteurs des centrales nucléaires, la radioactivité<sup>3</sup> provient surtout de Pu<sup>241</sup> (émetteur « bêta », électrons) et de Pu<sup>238</sup> (émetteur « alpha », noyau d'hélium).

Si des particules de plutonium sont inhalées ou ingérées, elles irradient directement les organes où elles se sont déposées : le poumon dans le cas d'une inhalation. Une fraction du plutonium inhalé ou ingéré passe dans le sang et se dépose dans le foie et les surfaces osseuses notamment<sup>4</sup>. En termes de radioprotection, la limite de dose annuelle induite par une activité nucléaire pour le public (1 millisievert<sup>5</sup>/an) se traduit par une inhalation de Pu<sup>239</sup> d'environ 1/100<sup>e</sup> de microgramme<sup>6</sup>.

D'autre part, le plutonium constitue le matériau privilégié des armes atomiques. Il suffit en effet de quelques kg de plutonium issu du retraitement pour fabriquer une arme nucléaire, si l'isotope 239 est à forte teneur (seuls les isotopes 239 et 241 sont fissiles).

Les matières dites « valorisables » sont l'uranium issu du retraitement<sup>7</sup> et le plutonium pur ou dispersé dans des éléments combustibles (combustible uranium irradié, combustible MOX irradié) ou des déchets de fabrication de la chaîne du plutonium. Ils sont en effet susceptibles de produire de nouvelles fissions.

L'évolution du bilan de l'ensemble des matières nucléaires dangereuses, pour plusieurs dizaines ou centaines d'années, ne doit donc pas être confondu avec celui des déchets dont l'acceptation dépend à la fois de l'état des technologies et des stratégies développées par les acteurs du nucléaire.

Mais, quelle que soit la définition de la notion de déchets, une première remarque s'impose : la nature et la quantité de matières nucléaires dangereuses pour l'homme reste constante (sauf en cas de transmutation) dans tous les cas. C'est dire que, quelles que soient les méthodes employées pour les gérer, on retrouve les mêmes quantités des différentes matières nucléaires.

*Le retraitement n'a donc ni pour but ni pour résultat de **réduire** la dangerosité des matières nucléaires, mais d'en **séparer** partiellement les éléments pour tenter d'en valoriser certains et d'en gérer d'autres dans des conditions considérées comme plus sûres et/ou moins onéreuses.*

1 - Période au bout de laquelle l'activité radioactive du matériau est divisée par deux.

2 - Les isotopes du plutonium sont des émetteurs alpha à 100 % à l'exception du plutonium 241 qui est un émetteur bêta pratiquement « pur » (émission additionnelle alpha de 2,3 millièmes de %).

3 - Le becquerel (Bq) est l'unité de mesure de l'activité d'une source de rayonnements. 1 Bq correspond à une désintégration de noyau par seconde. Cette unité est très petite et on utilise couramment ses multiples, dont le térabecquerel (TBq : 10<sup>12</sup> Bq ou mille milliards de becquerels).

4 - La fraction du plutonium qui passe dans le sang d'un adulte se fixera à raison de 50 % dans le squelette et 30 % dans le foie. La fraction fixée sur le squelette est plus importante chez le bébé ou le jeune enfant.

5 - En cédant de l'énergie à une quantité de matière, on délivre une dose de rayonnement physiquement mesurable. Si cette dose est délivrée à une personne, il est possible d'évaluer l'effet biologique néfaste de cette dose au moyen d'un calcul, faisant intervenir des coefficients de pondérations liés à la nature du rayonnement incident et aux types de tissus et organes atteints. Le sievert (Sv) est l'unité de dose biologique utilisée pour mesurer les effets sur le corps humain de cette absorption de rayonnement (alpha, bêta, gamma, X, neutron). La valeur en sievert d'une dose de rayonnement est calculée à partir de l'intensité de la source de rayonnement externe à l'organisme ou de l'activité incorporée dans l'organisme (exprimée en becquerels) par voie respiratoire ou digestive.

6 - La quantité de plutonium qui passe dans le sang dépend de sa forme chimique. Trois formes sont considérées pour les calculs de dose. La masse qui délivre 1 mSv/an varie de 0,35/100<sup>e</sup> à 2,7/100<sup>e</sup> de microgramme.

7 - Comme la France ne dispose pas d'installation nucléaire permettant d'enrichir l'uranium du retraitement (plus irradiant que l'uranium naturel) qui présente des pollutions en produits de fission et en actinides, l'enrichissement de cet uranium est réalisé en Russie. Cet uranium de retraitement enrichi (URE) n'est utilisé par EDF que dans les réacteurs de la centrale nucléaire de Cruas. Ce recyclage ne concerne en pratique qu'une fraction de l'uranium produit par le retraitement qui constitue un déchet encombrant.

D'où la nécessité de dresser des bilans complets de matières nucléaires dangereuses présentes à un instant donné sur le sol national et non pas seulement de celles qu'on appelle des « déchets » pour rendre compte de la potentialité des risques présentée par l'activité nucléaire.

Pour rendre plus concrète cette remarque il est intéressant de comparer la situation créée par la stratégie de retraitement adoptée par la France à une situation sans retraitement des mêmes quantités de matières nucléaires irradiées.

Pour ce faire on propose d'analyser de façon distincte les questions de toxicité radioactive et les questions d'atteintes par radiations à distance.

## La radiotoxicité

Elle est essentiellement le fait des actinides (plutonium et actinides mineurs contenus dans les combustibles usés). Les deux tableaux suivants montrent pour l'UOX et le MOX la répartition des toxicités dues au plutonium et dues à l'ensemble des actinides mineurs de combustibles usés refroidis pendant une période de 3 ans. La toxicité potentielle est analysée ici dans l'hypothèse d'une contamination interne par voie digestive (consommation d'eau contaminée).

**Tableau n° 1 : Toxicités comparées en plutonium et actinides d'une tonne de combustible UO<sub>2</sub> usé, après 3 ans de vieillissement**

	<b>masse (g/t)</b>	<b>activité (TBq/t)</b>	<b>Dose potentielle (Sv/t)</b>
<b>Pu total</b>	11 214	4 842	<b>7,742.10<sup>7</sup></b>
<b>Actinides mineurs</b>	1238	328	<b>3,900.10<sup>7</sup></b>

**Tableau n° 2 : Toxicités comparées en plutonium et actinides d'une tonne combustibles MOX usé, après 3 ans de vieillissement**

	<b>masse (g/t)</b>	<b>activité (TBq/t)</b>	<b>Dose potentielle (Sv/t)</b>
<b>Pu total</b>	<b>66607</b>	<b>38433</b>	<b>5,836.10<sup>8</sup></b>
<b>Actinides mineurs</b>	<b>6040</b>	<b>3549</b>	<b>4,255.10<sup>8</sup></b>

Dans le cas de l'UOX, les actinides mineurs représentent de l'ordre de 34 % de la radiotoxicité totale des actinides (plutonium et actinides mineurs) du combustible usé et le plutonium les deux tiers (66,5 %); dans le cas du MOX usé les actinides mineurs représentent 42 % de la radiotoxicité de l'ensemble des actinides du MOX et le plutonium 58 %.

On voit que dans les deux cas la radiotoxicité des combustibles est largement dominée par celle du plutonium.

L'opération retraitement séparation effectuée à la Hague a pour conséquence d'isoler les actinides mineurs du plutonium et les produits de fission et de les vitrifier pour en éviter au maximum les risques de dispersion dans l'eau ou l'atmosphère. Si cette opération ne garantit pas contre une telle dispersion à très long terme, il paraît probable qu'elle l'assure dans de bonnes conditions pour plusieurs décennies.

Par contre cette opération met en place un flux de plutonium fortement radiotoxique qui représente de l'ordre des deux tiers de la radiotoxicité totale des combustibles usés, et de plus, sous une forme pulvérulente, qui accroît considérablement les risques associés à sa dispersion éventuelle.

Du point de vue de la radiotoxicité à court et moyen terme (quelques décennies) on peut considérer que le processus « retraitement-séparation-vitrification » s'attaque au mieux à un tiers du problème de la radiotoxicité et laisse entier les deux tiers de la question. Resterait encore à comparer les risques radiotoxiques entraînés par l'entreposage de combustible usé plutôt que d'entreposage de plutonium (en attendant son usage éventuel) dans différents scénarios accidentels.

L'ambiguïté de la situation tient au fait que l'on fait semblant d'admettre que le plutonium créé par retraitement est ou va être réutilisé complètement et à court terme. Ce qui est historiquement faux et très probablement inatteignable à l'avenir sans pari technologique et industriel majeur.

Historiquement faux puisque le bilan actuel se solde par près de 40 tonnes de plutonium en stock à la Hague<sup>8</sup> (l'équivalent en terme de radiotoxicité de 4545 tonnes d'UOX irradié (50 x 1000/11, 4,5 ans de production nucléaire en UOX) 12000 tonnes d'UOX irradiés entreposés à la Hague ou dans les centrales fin 2010, 1300 tonnes de MOX irradiés entreposés à la Hague (pour mémoire entre 1976 et 2010 16800 tonnes de combustible UOX d'origine française ont été traités). D'autre part les simulations d'évolution jusqu'à 2030 selon le programme affiché par le Président de la République (50 % de nucléaire en 2025) et deux versions du retraitement - 1- Pas de retraitement du MOX et de l'URE et limitation du retraitement aux besoins de MOX des 900 MW- 2- Retraitement intégral des MOX, URE et UOX- conduisent respectivement en 2030 à la présence de **38** tonnes de Pu, **3 000** tonnes de MOX, **16 000** tonnes de UOX dans le premier cas et de **426** tonnes de Pu dans le second cas.

Pour la petite histoire, on pourra remarquer que les surfaces nécessaires au stockage des déchets pour les deux stratégies atteignent respectivement 4,5 et 2,7 km<sup>2</sup>, 2000 à 4000 fois plus que la fameuse « piscine olympique » régulièrement évoquée par les défenseurs du nucléaire pour montrer l'insignifiance du problème

Dans tous les cas il reste une bonne partie de la radiotoxicité hors des déchets ultimes.

On peut donc dire que le retraitement n'apporte à court et moyen terme qu'une contribution mineure à la réduction du risque :

- faible diminution des quantités confinées
- risques aggravés des quantités non confinées.

## La radioactivité

En ce qui concerne la radioactivité, le retraitement qui permet de séparer ces composants du plutonium, de confiner ces produits dans des verres et de les enfouir est a priori protecteur, tout au moins à court ou moyen terme, puisqu'il soustrait ces produits à la présence humaine. Par contre, les combustibles usés Mox et Uox, dans la mesure où ils ne sont pas enfouis directement à court ou moyen terme présentent des risques de radioactivité importants qui nécessitent un confinement sous surveillance permanente. On peut en donner un ordre de grandeur en examinant la radioactivité au sol ou enfouie pour les deux stratégies exposées ci dessus en 2030, retraitement partiel et retraitement total (après trois ans de refroidissement).

Le retraitement total permet d'enfouir de l'ordre de 2, 1 milliards de térabecquerels (de produits de fission, d'activation et d'actinides mineurs). Le retraitement partiel ne permet d'enfouir que de l'ordre de 1,2 milliard de TBq, et conduit donc à laisser au sol une radioactivité de l'ordre de 1 milliard de terabecquerels.

Mais l'avantage supplémentaire de protection vis-à-vis de la radioactivité qu'on peut attendre du retraitement se paye par une présence supplémentaire de plutonium de l'ordre de 400 tonnes dont on déjà signalé les risques de radiotoxicité et de prolifération.

## Les déchets autres que les HAVL et MAVL

La question de l'inventaire, de la gestion et des risques liés aux déchets ne s'arrête pas là.

D'une part parce qu'il existe déjà une série de déchets autres que les déchets à haute ou moyenne activité dont nous venons de traiter (et qui sont supposés être enfouis à l'exception du plutonium, cf projet Cigeo). Il s'agit des déchets de faible ou moyenne activité à vie courte (FMA-VC) et des déchets de très faible activité (TFA). D'autre part, la poursuite du programme nucléaire et de démantèlement des centrales va créer des nouveaux déchets, eux-mêmes sources de risques de radiotoxicité et de radioactivité.

Nous n'aborderons que très succinctement et pour mémoire cette question qui a été traitée en détail dans le numéro 29 des Cahiers de Global dans un article d'Yves Marignac « MATIÈRES ET DÉCHETS NUCLÉAIRES DE QUOI PARLE-T-ON ? ».

La France compte à ce jour trois centres de stockage exploités par l'Andra, qui concernent les déchets représentant les plus gros volumes – hors déchets miniers – mais également contenant le moins de radioactivité. On dénombre ainsi :

- le Centre de stockage de la Manche (CSM), qui contient 527 225 m<sup>3</sup> déchets faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC) issus de l'exploitation des réacteurs, des centres d'étude et des usines nucléaires, y compris du retraitement à La Hague qu'il jouxte. Exploité de 1969 à 1994, le CSM est entré depuis janvier 2003 dans une phase de surveillance ;
- le Centre de stockage de l'Aube (CSA), qui contenait selon l'Andra, fin 2011, 255 143 m<sup>3</sup> de déchets du même type que le CSM, pour une capacité de 1 000 000 m<sup>3</sup>. Exploité depuis janvier 1992, le CSA est prévu pour fonctionner pendant une soixantaine d'années et accueillir l'ensemble des déchets FMA VC associés au parc nucléaire actuel ;

---

<sup>8</sup> - Au 31/12/2012, il y avait à La Hague 56 tonnes de plutonium entreposés, dont 37,8 t appartenant à la France.

- le Centre de stockage des déchets de très faible activité (CSTFA) de l'Aube. Ouvert depuis 2003, le centre a une capacité de 650 000 m<sup>3</sup> qui ne sera pas suffisante pour accueillir l'ensemble des déchets de démantèlement attendus des installations existantes, évalué avec encore beaucoup d'incertitude malgré la précision du chiffre, à 869 311 m<sup>3</sup> à la fin 2030, et 637 500 m<sup>3</sup> de plus après 2030. Fin 2011, le CSTFA avait stocké 203 435 m<sup>3</sup> de déchets, ce qui représentait 31 % de la capacité totale de stockage autorisée (650 000 m<sup>3</sup>).

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 estimait à 2 905 m<sup>3</sup> 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 estimait leur volume existant fin 2007, en équivalent conditionné, à 82 536 m<sup>3</sup> ; toutefois 8 137 m<sup>3</sup> 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.

Enfin du point de vue des volumes en jeu, le volet principal de l'inventaire porte sans doute sur l'ensemble des sites issus de l'exploitation des mines d'uranium françaises, commencée dans les années cinquante et arrêtée avec la fermeture de la dernière mine à Jouac, en 2001.

## Conclusion

À l'issue de cette analyse plusieurs remarques méritent d'être mises en relief :

- 1- Contrairement au message généralement propagé par l'industrie nucléaire, le retraitement n'a donc ni *pour but* ni *pour résultat de réduire la dangerosité des matières nucléaires, mais d'en séparer partiellement les éléments pour tenter d'en valoriser certains et d'en gérer d'autres dans des conditions considérées comme plus sûres et/ou moins onéreuses.*
- 2- *La transmutation des actinides et des produits de fission, présentée dans les années 90 comme une voie prometteuse de diminution de la quantité de déchets de haute activité à très longue durée de vie semble un échec.*
- 3- *La stratégie de poursuite de retraitement présentée comme actuellement incontournable n'apporte pas d'amélioration réelle aux questions de protection des populations contre les risques de radiotoxicité pour le siècle qui vient. En particulier, la constitution d'un stock considérable de plutonium qu'entraînerait le retraitement intégral de l'ensemble des combustibles (plus de 400 tonnes) ferait courir des risques considérables à l'humanité à la fois en termes de radiotoxicité et de prolifération, risques qui se pérenniseraient sur plus d'un siècle, même si la génération 4 des réacteurs se développait sans aucune difficulté technique, économique et sociale.*

Ces remarques permettent de mettre dans une perspective plus juste la place du projet Cigéo de stockage géologique des déchets dans l'ensemble du dispositif nécessaire à la protection des populations actuelles et des générations futures.