

Que faire des déchets nucléaires ?

Hervé NIFENECKER

Résumé

La France a une position particulière. Son électricité est produite quasiment sans carbone grâce à l'hydraulique et au nucléaire. L'association « *Sauvons Le Climat* »¹, qui s'attache à recommander les voies d'avenir les plus adaptées et les plus efficaces pour limiter très rapidement les émissions de gaz carbonique, et limiter ainsi le risque, potentiellement considérable, d'un réchauffement climatique incontrôlé, se doit ainsi de s'impliquer dans le débat qui vient d'être lancé sur le PNGMDR (Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs).

« *Sauvons le climat* », qui a déjà participé aux précédents débats sur les déchets radioactifs, estime qu'il est essentiel, sur un sujet complexe, de rappeler quelques données élémentaires qui permettront à nos concitoyens de juger, en connaissance de cause, de l'impact des déchets et matières radioactifs, en regard de l'apport des sciences et techniques nucléaires pour la lutte contre le changement climatique, mais aussi dans de très nombreux autres domaines, santé, industrie, indépendance énergétique, compétitivité.

Ce « PNGMDR », publié pour la première fois en mai 2007, résulte de l'application de la loi de programme du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs. Son élaboration a débuté dès 2003 sous l'égide de l'ASN.

Mis à jour tous les 3 ans, le PNGMDR dresse le bilan des modes de gestion existants des matières et des déchets radioactifs, recense les besoins prévisibles d'installations d'entreposage ou de stockage, et précise les capacités nécessaires pour ces installations et les durées d'entreposage.

Ce document, essentiel et très technique, traite pour la période 2019 – 2021 de l'intégralité des thèmes liés à la gestion des déchets et matières nucléaires, quelles que soient leurs origines (industrie, énergie, secteur médical, enseignement, défense nationale). Il s'appuie sur un inventaire national des matières et déchets radioactifs géré par l'ANDRA qui est également public.

Un débat avait été tenu entre septembre 2005 et Janvier 2006 (<https://www.vie-publique.fr/actualite/alaune/gestion-dechets-nucleaires-debut-du-debat-public.html>), préalablement à sa première publication, en mai 2006, et avait conduit au vote de la loi sur la gestion des déchets radioactifs, promulguée le 28 juin 2006.

Un autre débat tenu en 2013, débat plus général, avait largement avorté, à cause de l'opposition de la part d'organisations qui s'opposaient, parfois physiquement, à toute consultation sur ce thème (<https://www.debatpublic.fr/options-generales-gestion-dechets-radioactifs-haute-activite-moyenne-activite-a-vie-longue>).

Le PNGMDR lui-même, dans sa version 2019 - 2021, est pour la première fois depuis la première édition soumis à enquête publique. Le débat s'est ouvert le 17 Avril.

Ce document s'attache, dans le cadre de notre action sur le climat à présenter une vue d'ensemble factuelle sur la quantité de déchets produits par les réacteurs nucléaires, leur prise en charge, et la réalité des risques encourus par les populations. Il se focalise sur la question des déchets de haute activité et à vie longue devant être stockés sur le site de CIGEO. « *Sauvons Le Climat* » s'exprimera, le cas échéant, sur les autres thèmes évoqués dans le PNGMDR.

¹ <https://www.sauvonsleclimat.org/fr/>

Généralités

Contrairement aux déchets chimiques industriels renfermant des éléments toxiques comme l'arsenic, le plomb, le cadmium, le mercure dont la durée de vie est infinie, les déchets nucléaires renferment des radionucléides qui disparaissent avec le temps, même si, pour certains d'entre eux, il faut très longtemps. Par ailleurs plus les radionucléides durent longtemps et moins ils sont radioactifs ! En effet, qui dit grande durée de vie dit faible taux de désintégration. Par exemple l'iode 129 de demi-vieⁱ de 15 millions d'années est 700 millions de fois moins radioactif que l'iode 131, la responsable des cancers de la thyroïde de Tchernobyl, dont la demi-vie n'est que de 8 jours. Or le public imagine souvent que les deux iodures sont les mêmes et ont les mêmes conséquences radiologiques !

Les déchets actuels, composés de produits de fission et d'actinides mineurs enrobés dans du verre, doivent être refroidis pendant quelques dizaines d'années. Ils sont entreposés en surface ou en sub-surface, sous surveillance, sans qu'aucune conséquence sur la santé publique n'ait jamais pu être observée. La pratique actuelle d'entreposage en surface est globalement satisfaisante, même si elle peut être encore améliorée, et ce, aussi longtemps que la production d'électricité nucléaire continuera.

Dès que la puissance dégagée devient suffisamment faible pour ne plus nécessiter de refroidissement, il devient possible de stocker les déchets à quelques centaines de mètres de profondeur, à l'abri d'éventuelles agressions criminelles et des conséquences possibles de changements climatiques à long terme.

Le bon sens dit qu'un stockage à quelques centaines de mètres de profondeur serait encore plus sûr qu'un stockage en sub-surface. Or tout se passe comme si l'on craignait davantage un stockage en profondeur qu'un stockage en surface !

Production de déchets

Ordres de grandeur

Un réacteur d'une puissance de 1 000 mégawatts électriques (MWe) produit environ 30 tonnes de combustibles usés par an (environ 3 m³). La principale partie de ces combustibles est composée d'uranium (environ 28,7 tonnes, correspondant à l'extraction de 120 tonnes d'Uranium naturel). Ils contiennent aussi environ 1 tonne de produits de fission dont 45 kg de nucléides de demi-vie d'environ 30 ans (césium 137 et strontium 90) et 65 kg de nucléides à demi-vie plus longue. Enfin ils contiennent environ 220 kg de plutonium et 18 kg d'actinides mineursⁱⁱ (américium, curium et neptunium).

La quantité de déchets finaux à stocker dépend de la conception que l'on a de l'avenir de la filière nucléaire.

Un scénario de sortie du nucléaire conduit à envisager que la totalité des combustibles usés soit stockée en couche géologique profonde. La pratique du retraitementⁱⁱⁱ et du Mox n'y changera pas grand-chose, car, au bout du compte, il faudra stocker l'uranium de retraitement, les combustibles MOx usés et les déchets du retraitement. On voit donc que, par réacteur de

1 000 MWe, environ 30 tonnes de déchets de haute activité et à vie longue (HAVL) devront être enfouis chaque année dans un stockage géologique^{iv}.

Dans le cas contraire, celui d'un nucléaire durable reposant sur l'utilisation future de réacteurs surgénérateurs, aussi bien l'uranium de retraitement que le plutonium doivent être considérés comme des ressources et la quantité de déchets HAVL destinée au stockage géologique est réduite à environ 1 tonne par an. Il faut y ajouter la production d'une vingtaine de tonnes de déchets de moyenne activité et longue durée de vie (MAVL) ayant une radioactivité totale de quelques pour cent de celle des déchets HAVL, ne dégageant pratiquement pas de chaleur, et qui sont donc beaucoup plus faciles à gérer.

On voit qu'un scénario de sortie du nucléaire conduit à devoir gérer une quantité de déchets HAVL près de 30 fois plus important qu'un scénario de nucléaire durable. Un tel scénario exigerait aussi de prendre rapidement la décision du stockage géologique puisqu'il supposerait la disparition assez rapide des compétences nucléaires qui assurent, actuellement, la sûreté des entreposages. Une telle disparition est déjà observable dans un pays comme l'Italie. Contrairement à ce qui s'est passé en Allemagne et en Belgique, une décision de sortie du nucléaire ne saurait donc être prise avant que le stockage géologique soit assuré. Réclamer la sortie du nucléaire et s'opposer à la réalisation d'un site de stockage géologique est irresponsable.

Comparaisons

Au niveau mondial l'électricité est actuellement produite à 37 % par des centrales au charbon. Une centrale à charbon de 1 000 MWe consomme environ 4 millions de tonnes de charbon par an. Elle produit en moyenne environ 300 000 tonnes de cendres renfermant 400 tonnes de métaux lourds (cadmium, nickel, mercure, plomb...) et autres produits toxiques (antimoine, arsenic, béryllium, fluor...), et des nucléides radioactifs, dont 5 tonnes d'uranium et 13 tonnes de thorium et leurs descendants (radium, radon, polonium...). Notons que ces radioéléments ne sont pas gérés, contrairement, bien sûr, à ceux produits dans le cycle nucléaire. De plus, la centrale à charbon rejette chaque année 10 millions de tonnes de gaz carbonique dans l'atmosphère, et des dizaines de milliers de tonnes de cendres volantes et de particules fines.

Il est intéressant de comparer le volume des déchets nucléaires à celui des autres déchets industriels toxiques. Au cours de l'année 1998, dans l'Union Européenne, le volume total de déchets nucléaires de haute activité (HAVL) était, avec leurs containers de 150 m³ (un cube de 5,5 mètres de côté), le volume total des déchets nucléaires, y compris ceux de faible activité était de 80 000 m³ (un cube de moins de 45 mètres de côté), celui des déchets industriels toxiques de 10 millions de m³ (un cube de 215 mètres de côté) et celui de tous les déchets industriels de 1 milliard de m³ (un cube de 1 kilomètre de côté).

Les gestions des déchets industriels toxiques et des déchets nucléaires à court ou long terme sont difficilement comparables mais on peut noter des cas d'intoxication graves au plomb ou au mercure, même dans les pays développés, alors que dans ces mêmes pays on n'a jamais rapporté de cas d'exposition aux rayonnements ayant entraîné des conséquences significatives pour le public du fait de la gestion des combustibles usés ou des déchets de retraitement.

Le stockage en site géologique profond

Aussi longtemps qu'ils restent confinés sous terre, dans le site de stockage géologique, les déchets nucléaires ne présentent aucun danger pour le public. C'est la contamination des eaux superficielles par des radionucléides à vie longue qui pourrait peut-être constituer un risque pour le futur. Pour qu'une telle contamination se produise il faut :

- D'abord que les conteneurs des déchets soient endommagés par une corrosion aqueuse, un processus qui devrait durer au moins 10 000 ans.
- Que les éléments radioactifs soient progressivement dissous dans l'eau. Pour ceux contenus dans les verres ce processus durerait plusieurs centaines de milliers d'années. Certains éléments comme le plutonium, l'américium, le curium et le neptunium sont, d'ailleurs, très peu solubles dans l'eau ce qui étale dans le temps le processus de dissolution.
- Que les éléments radioactifs soient transportés par l'eau hors de la couche géologique de stockage. Dans l'argile cela a lieu par un processus de diffusion qui est très lent. Typiquement pour un site comme celui de Bure ce processus durerait entre quelques centaines de milliers d'années pour les éléments les plus mobiles (iode 129, technétium 99, niobium 94, Chlore 36) et beaucoup plus pour les moins mobiles (plutonium, uranium, neptunium ...).
- Que les éléments radioactifs passent dans la nappe phréatique de surface, ce qui est assez rapide en comparaison avec les processus précédents. À ce stade, les radionucléides les plus radioactifs, césium 137, strontium 90 et les principaux actinides (plutonium, américium et curium) auront disparu depuis longtemps ! Le neptunium lui-même très faiblement radioactif, est très peu soluble dans les eaux souterraines et peu mobile. Une faible couche d'argile de quelques mètres d'épaisseur suffirait à ce qu'il ne puisse jamais revenir en surface. Or la couche d'argile du site de l'Est de la France a 150 mètres d'épaisseur ! Pratiquement, seule l'iode 129, et le Chlore 36 très peu radiotoxiques, devraient se retrouver dans les nappes phréatiques en liaison avec le site de stockage après quelques centaines de milliers d'années.

Risques pour la population

La règle fondamentale de sûreté imposée par les autorités de sûreté pour un stockage géologique recommande que l'augmentation de l'exposition des populations les plus exposées à tout moment du futur, n'excède pas le dixième de la radioactivité naturelle. Pour un stockage bien conçu, toutes les simulations de retour des radionucléides à la biosphère effectuées montrent que cette limite ne devrait jamais être atteinte sauf, éventuellement, en cas d'intrusion volontaire dans le site de stockage, et ce pour les intervenants eux-mêmes. Dans le Dossier Argile 2005 de l'ANDRA on trouve une estimation des doses maximales qui seraient reçues par les populations les plus à risque pour différents types de déchets stockés^v.

Type de déchets	Dose maximum mSv/an	Date du maximum
Tous B	0,00047	370 000
Tous C	0,0008	550 000
CU1+CU2	0,022	410 000
CU3	0,000073	400 000

Tableau 1

Estimation par l'ANDRA des doses maximales pouvant être reçues par les populations les plus exposées

La règle fondamentale de sûreté (RFS) limite la dose acceptable à 0,25 mSv/an. On voit que, dans le pire des cas, la dose prévue n'excéderait pas le dixième de la RFS. Rappelons qu'aucun effet d'une irradiation naturelle inférieure à 50 mSv n'a jamais été observé.

Les riverains actuels des sites de stockage géologique et leur lointaine descendance ne risquent rien, à l'exception d'accidents liés aux transports divers relatifs à l'exploitation du stockage. Il reste à comprendre pourquoi cette innocuité du stockage géologique est aussi largement mise en doute dans les médias et le public. Sans doute les organisations institutionnelles n'ont-elles pas suffisamment informé le public sous prétexte qu'elles ne possédaient pas les évaluations définitives de risque.

Risques pour l'environnement

Alors qu'il ne fait plus de doute que les activités humaines sont responsables de la disparition de nombreuses espèces animales, il est impossible de trouver un cas de disparition imputable à l'exploitation de l'énergie nucléaire. Bien plus, même dans les cas extrêmes de contamination radioactive comme lors des essais atmosphériques d'armes ou la catastrophe de Tchernobyl, les biotopes ont assez rapidement retrouvé leur état initial alors même que la radioactivité résiduelle restait notable.

D'une façon générale, une quelconque influence sur la biosphère de la production d'électricité nucléaire ne pourrait être envisagée que si l'augmentation de la radioactivité moyenne qu'elle pourrait entraîner dépassait la valeur de la radioactivité naturelle. Par ailleurs, l'activité de la totalité des déchets produits pendant 50 ans de fonctionnement du parc de réacteurs français en l'absence de retraitement ne représenterait, au bout de 1 000 ans qu'environ un dix-millième de l'activité de la croûte terrestre française^{vi}, ce qui signifie que, même dans le cas extrêmement improbable où toute l'activité du dépôt serait relâchée dans l'environnement, l'augmentation de la radioactivité moyenne resterait très faible.

Les alternatives géologiques

- Le site de Bure, choisi par l'ANDRA pour la réalisation de son laboratoire souterrain est caractérisé par une épaisse couche d'argilite^{vii}. L'argilite est saturée d'eau très peu mobile.
- Les sites creusés dans des couches de sel comme ceux en test aux USA et en Allemagne sont anhydres et complètement secs. Mais, si pour une raison ou une autre comme une mauvaise conception des voies d'accès ou, dans le futur, une exploitation du sel, de l'eau pénètre dans le site, elle se charge de sel et devient très corrosive, accélérant le passage en solution des composants des combustibles.
- Les sites granitiques comme ceux prévus en Suède et en Finlande, sont caractérisés par une absence totale d'eau dans la mesure où le granite est bien homogène et peu fissuré comme celui du bouclier scandinave.

La séparation-transmutation

Les dimensions du stockage géologique sont essentiellement déterminées par le dégagement de chaleur des colis de déchets de haute activité. La réduction des dimensions du stockage pour en diminuer le coût est une motivation pour adopter une stratégie de séparation transmutation. La seule extraction du plutonium permet de diviser par deux la charge thermique. Pour diminuer la charge thermique pendant le premier siècle de stockage il pourrait être économiquement intéressant de séparer le césium et le strontium et de les entreposer sur une longue durée pour décroissance. La séparation et la transmutation de l'américium dans des réacteurs spécialisés ou dans les réacteurs surgénérateurs permettraient de gagner deux ordres de grandeur sur la charge thermique de déchets, et donc, une réduction comparable de la surface du site de stockage.

Séparation et transmutation ne sont pas des préalables à la mise au point d'une gestion satisfaisante des déchets nucléaires mais pourraient en réduire notablement le coût. Par contre l'extraction du plutonium est une nécessité pour le développement d'un nucléaire durable basé sur des réacteurs surgénérateurs.

La question du financement de la gestion des déchets

En l'état actuel, le budget de l'ANDRA qui est chargée du stockage définitif des déchets nucléaires est abondé par les producteurs, essentiellement par EDF et AREVA. On peut se poser la question, comme l'a d'ailleurs fait l'OPECST, de savoir si cette solution reste fiable et valable dans le contexte de libéralisation du marché de l'électricité. Il est aussi légitime de s'interroger sur le financement des recherches sur la séparation-transmutation.

Une estimation (d'ailleurs discutée par EDF) de l'ANDRA du coût du site de stockage CIGEO est de 36 Mds d'euros. Ce chiffre correspondrait à une durée de fonctionnement de 50 ans du parc actuel qui fournit approximativement 400 millions de MWh/an, soit une production totale de 20 000 millions de MWh. Le MWh est, actuellement, payé 42 Euros à EDF par les opérateurs alternatifs de production d'électricité. L'évaluation du chiffre d'affaire correspondant à 50 années de fonctionnement du parc conduit donc à 840 Mds d'Euros. Le stockage ne représenterait que 4% du chiffre d'affaires. Il faut, d'ailleurs, remarquer que EDF provisionne les sommes nécessaires pour assurer la gestion des déchets de ses réacteurs.

En conclusion,

Rien ne justifie l'affirmation, pourtant bien populaire, selon laquelle on ne saurait pas gérer les déchets nucléaires. Le véritable problème qu'ils posent est socio politique et d'acceptabilité par les populations.

Documents pour en savoir plus

A. Les déchets nucléaires sont-ils gérables ? Cahier d'Acteur de SLC

https://www.sauvonsleclimat.org/images/articles/pdf_files/debats_publics/dechets-long-final.pdf

B. Physique d'un site géologique de stockage de déchets nucléaires, H.Nifenecker et G.Ouzounian

<https://www.sauvonsleclimat.org/fr/base-documentaire/physique-dun-site-geologique-de-stockage-de-dechets-nucleaires>

C. Andra Dossier Argile 2005

http://www.andra.fr/download/site-principal/document/dossier2005/D05A_266.pdf

D. Le stockage des déchets nucléaires en site profond, H.Nifenecker et G.Ouzounian

https://www.sauvonsleclimat.org/images/articles/pdf_files/etudes/dechets.pdf

ⁱ Temps au bout duquel la quantité initiale de radioélément est divisée par 2

ⁱⁱ Les actinides sont les éléments dont le numéro atomique est supérieur à 88. Les actinides majeurs sont ceux qui sont les plus présents dans les combustibles soit, l'Uranium (92) et le Plutonium (94). Les actinides mineurs sont moins produits et comptent principalement le Neptunium, l'Americium, le Curium,

ⁱⁱⁱ Le retraitement, pratiqué à l'usine Orano de La Hague, consiste à dissoudre les éléments combustibles irradiés, à extraire le Plutonium et l'Uranium de la solution et à vitrifier le reste qui contient les produits de fission et les actinides mineurs. L'Uranium, qui est appauvri, et le Plutonium sont généralement utilisés pour fabriquer des combustibles Mox (mixed oxydes). Actuellement on ne traite pas les combustibles Mox irradiés.

^{iv} Les déchets de faible activité (démantèlement) peuvent, généralement, être stockés en surface (Soulaines, Morvilliers, Marcoule et site de la Manche)

^v Les Déchets B : déchets de moyenne activité. C : déchets de haute activité. Déchets CU : Combustibles irradiés, CU1 : combustibles REP Uox , CU2 :Combustibles REP Mox, CU3 :autres combustibles usés

^{vi} On suppose que les déchets sont enfouis à 500 mètres de profondeur et on calcule l'activité du premier kilomètre de croûte terrestre. Au bout de 1 000 ans la radio toxicité des déchets est équivalente à celle de l'uranium qui a été utilisé pour faire fonctionner les réacteurs, soit environ 360 000 tonnes (60 réacteurs fonctionnant 50 ans et nécessitant 120 tonnes par année de fonctionnement d'un réacteur). La quantité d'uranium contenu dans le premier kilomètre de la croûte terrestre sur la surface de la France est d'environ 2 milliards de tonnes pour une concentration de 1,7 ppm d'uranium. La valeur du rapport de radio-toxicité est donc $2 \cdot 10^{-4}$

^{vii} Pour les propriétés de l'argile de Bure on peut consulter les documents C et D