
Déchets radioactifs : la vérité des faits et l'exactitude des chiffres

Dominique GRENECHE

Comme pour de nombreux sujets de société, en particulier ceux qui se rapportent à l'environnement, la question des déchets radioactifs suscite des débats parfois agités dans lesquels les protagonistes essaient de renforcer leurs arguments en s'appuyant sur des faits parfois discutables ou sur des chiffres souvent erronés. Cet article vise simplement à rappeler les fondamentaux scientifiques et techniques incontestables et facilement vérifiables concernant les déchets radioactifs afin d'étayer au mieux les débats sur ce sujet si controversé.

Qu'est-ce qu'un déchet radioactif ?

La réponse est écrite dans le code de l'environnement qui définit d'abord ce qu'est une « substance radioactive » : « substance qui contient des radionucléides, naturels ou artificiels, dont l'activité ou la concentration justifie un contrôle de radioprotection ». Ce code stipule ensuite que les déchets radioactifs sont des substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée ou qui ont été requalifiées comme tels par l'autorité administrative. Il est précisé en outre dans ce même texte que « 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 ». C'est un point fondamental dans les débats actuels sur les matières nucléaires issues de traitement des combustibles usés, puisque l'uranium et le plutonium séparés par cette opération ne peuvent pas légalement être considérés en France comme « déchets ultimes ».

La problématique des déchets radioactifs est-elle nouvelle ?

Non. Pour s'en convaincre il suffit de rappeler qu'à la naissance même des premiers concepts de réacteurs nucléaires civils, en avril 1944 aux Etats-Unis, Enrico Fermi avait déclaré lors d'une réunion entre les savants de l'époque « il [n'était] pas clair que le public accepte[rait] une source d'énergie qui produit autant de radioactivité ». Un comité spécial de haut niveau fut mis en place dès le début des années 1950 aux Etats-Unis pour réfléchir à cette question, et depuis un nombre considérable d'études et d'expériences diverses ont été menées dans le monde. Ce comité avait notamment conclu dans un rapport datant de 1957 : « The Committee is convinced that radioactive waste can be disposed of safely in a variety of ways and at a large number of sites in the USA ».

Quelle est la nature d'un déchet radioactif ?

Il existe une multitude de types de déchets radioactifs dont les caractéristiques sont d'abord liées à leurs propriétés radioactives pour les principaux radionucléides qu'ils contiennent : types de rayonnements émis, activité, contenu éventuel en matières fissiles, contamination surfacique, etc. Ces caractéristiques peuvent dépendre également de leurs diverses propriétés physico-chimiques : quantités, composition et formes chimiques, caractéristiques vis-à-vis de certains risques tels qu'inflammabilité, volatilité, corrosion, dispersabilité, solubilité, etc. Toutefois, les déchets radioactifs sont généralement traités et conditionnés de façon à réduire au maximum voire à supprimer ces risques d'ordre physico-chimique. C'est pourquoi les critères de classification des déchets reposent essentiellement sur les deux paramètres liés à leur radioactivité :

1. Leur activité massique (ou volumique), c'est-à-dire le nombre de rayonnements qu'ils émettent par unité de temps dans une masse donnée ou un volume donné.
2. Leur durée de vie qui est le temps nécessaire pour que leur activité passe en dessous d'un certain seuil de « dangerosité » potentielle (qui peut être par exemple l'activité d'une substance naturelle radioactive répandue sur la terre comme l'uranium naturel). La grandeur physique la mieux adaptée à cet égard est la demi-vie, qui est le temps au bout duquel leur activité a été réduite de moitié du fait de leur décroissance radioactive.

Comment gère-t-on les déchets radioactifs ?

Il s'agit d'abord de leur appliquer des traitements physico-chimiques afin de réduire éventuellement leur volume et de les « stabiliser », si nécessaire, puis de les conditionner pour pouvoir ensuite les stocker définitivement de façon sûre dans un centre de stockage dédié conçu et exploité par l'Agence Nationale des Déchets Radioactifs (ANDRA), sous le contrôle de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). Tous les déchets radioactifs peuvent être classés en fonction de leur activité et de leur durée de vie ce qui permet de distinguer différentes catégories auxquelles sont appliqués des modes de gestion spécifique, en particulier pour leur stockage définitif. A cet égard, si on écarte quelques déchets spéciaux hérités du passé et les déchets de très faible activité (dits « TFA »), on distingue schématiquement deux grandes classes de déchets en France :

1. les déchets de faible ou moyenne activité à vie courte (FMA-VC), stockés de façon rigoureuse dans un site de stockage de surface, comme le centre de stockage de l'Aube ouvert en 1992. Pour ces déchets, qui représentent 60 % du total du volume des déchets radioactifs, IL EXISTE DEJA DONC UNE SOLUTION de gestion sûre et pérenne.
2. Les déchets de haute activité à vie longue qui se subdivisent en deux catégories : ceux qui sont de moyenne activité, les MA-VL et ceux qui sont de haute activité, les HA. Pour ces déchets, un stockage réversible en formation géologique profonde est à l'étude (projet CIGEO, dans un milieu argileux).

Il faut souligner que de toutes les options envisageables pour l'élimination définitive de ces déchets radioactifs ont été abondamment étudiées dans monde et que la seule solution qui apparait comme parfaitement sûre est celle d'un stockage définitif dans une formation géologique profonde adaptée à un tel stockage (stabilité prouvée sur des échelles géologiques, absence ou circulation d'eau très limitée, éloignement de toute ressource naturelle potentielle, etc.). D'ailleurs, il existe déjà un stockage géologique de déchets radioactifs opérationnel dans le monde, contrairement à ce qui est parfois affirmé : le WIPP (pour « Waste Isolation Pilot Plant ») aux Etats-Unis, ouvert en 1999. Les déchets y sont stockés définitivement dans des galeries percées à 650 m de profondeur dans une formation géologique qui n'a pas bougé depuis 225 millions d'années.

Combien de déchets radioactifs ?

Il existe un inventaire national très précis de l'ensemble des déchets radioactifs (y compris d'origine médicale) que l'on trouve sur le territoire français, actualisé régulièrement par l'ANDRA et dont les données sont entièrement accessibles au public. Dans sa dernière version publiée en 2018, on constate que les déchets HA et MA-VL conditionnés ne représentent qu'une très faible part du volume total des déchets radioactifs français : respectivement 0,2 % (3650 m³) et 2,9% (45000 m³). Par contre ils concentrent PRESQUE la TOTALITE de la RADIOACTIVITE générée par l'ENERGIE NUCLEAIRE en France avec une proportion de 94,9 % pour les HA et 4,9% pour les MA-VL. C'est là un point fondamental qui mérite d'être explicité puisque ce sont bien ces déchets qui entretiennent la plupart des polémiques et à propos desquels on cite parfois des chiffres extravagants pour ne pas dire « abracadabrantesques ».

Examinons donc de plus près les déchets HA puisqu'ils rassemblent presque 95% de toute la radioactivité de NOS déchets nucléaires. Ils contiennent deux catégories de radionucléides : les produits de fission (PF) et les actinides dits « mineurs » (AM). Il est possible de faire un calcul simple et vérifiable par tout le monde de la quantité de PF en procédant de la façon suivante. On prend l'énergie dégagée par la fission d'un noyau atomique qui se transforme en énergie électrique dans une centrale nucléaire avec un rendement de l'ordre de 34%. Cette fission donne naissance à deux PF dont la masse totale est très proche de celle du noyau atomique initial. On peut ainsi associer à une production d'électricité donnée une masse de PF, et cela de façon rigoureuse et irréfutable. En prenant une production annuelle de 400 TWhe (en gros celle de nos réacteurs nucléaires qui fournissent 72 % de notre électricité), on parvient à **50 tonnes de PF par an**. De plus, seulement 15 % de ces PF, donc à peine **8 tonnes**, restent **radioactifs** au moment de leur vitrification. Ils sont constitués de 7 radionucléides à vie longue mais faiblement radioactifs (par définition !) et de 2 radionucléides qui ont 30 ans de période radioactive, le Cs137 et le Sr90, dont l'activité est réduite de plus d'un facteur mille après 300 ans (diviser 10 fois par 2 donnant 1024). Il faut ajouter à ces PF les **AM** (neptunium, américium, curium) dont la masse ne peut pas être calculée « à la main » comme pour les PF, mais dont on sait que la masse totale produite annuellement dans nos réacteurs nucléaires est d'environ de **1,6 tonne**. Ainsi :

La masse totale de déchets radioactifs de haute activité à vie longue qui représentent 95 % de toute la radioactivité générée par l'énergie nucléaire en France est de moins de 10 tonnes

Cela tiendrait facilement dans un camion ! On peut décliner ce chiffre de multiples façons. A titre d'exemple, toute l'électricité consommée par la SNCF pour faire rouler ses trains toute l'année (et transporter 1,7 milliards de voyageurs !) est de 9 TWhe, ce qui correspond à moins de 200 kg de déchets radioactifs de haute activité en supposant que toute l'électricité soit d'origine nucléaire. Si cette électricité était produite avec du charbon, cela générerait environ 700 000 tonnes (sept-cent-mille tonnes) de cendres solides, généralement stockées à l'air libre, et à l'émission dans l'atmosphère de presque 1000 tonnes de suies et de particules fines. Ces déchets du charbon contiennent des produits plus ou moins toxiques et de durée de vie souvent illimitée tels que de l'arsenic, du plomb, du thallium, du mercure et même de l'uranium et du thorium, dont les quantités se chiffrent en tonnes ou même dizaines de tonnes.

Evidemment, ces radionucléides (PF et AM) sont mélangés aux autres PF non radioactifs et ils sont conditionnés dans des « colis standards de déchets vitrifiés » (CSDV) ce qui conduit à des masses de déchets HA conditionnés nettement supérieures à cette valeur. Pour fixer les idées, un CSDV pèse environ 500 kg dont 400 kg de matrice vitreuse enrobant les PF et AM qui se présentent sous forme d'oxydes et qui représentent environ 17 % de la masse totale de cette matrice. Le traitement de tous les combustibles à uranium enrichi du parc nucléaire français génère environ 800 CSDV par an qui ont chacun un volume de 0,175 m³, ce qui fait un total d'environ 140 m³ par an de déchets HA conditionnés (2 cm³ par habitant). Le cumul des productions depuis l'origine de la fabrication des CSDV en France est de 3650 m³ (chiffre cité plus haut) : ce volume tient dans une seule piscine olympique.

Les déchets radioactifs sont-ils dangereux et pour combien de temps ?

Il importe de souligner que la TOXICITÉ des déchets radioactifs DIMINUE avec le temps du fait de la décroissance radioactive caractérisée, rappelons-le, par la demi-vie radioactive. Un bon indicateur de la nocivité potentielle des déchets radioactifs est la notion simple de « radiotoxicité potentielle » (RP) calculée à un instant donné. Pour un radionucléide donné et une masse donnée de ce radionucléide, cet indicateur est obtenu en multipliant son coefficient de dose par ingestion, en Sievert/Becquerel, par son activité spécifique à un instant donné exprimée en Becquerel par unité de masse. Il suffit de faire la somme des RP de tous les radionucléides contenus dans un déchet auquel on s'intéresse

(avec les masses individuelles de chaque radionucléide contenu dans le déchet) pour avoir la RP globale de ce déchet, en prenant soin cependant d'inclure dans ces calculs la RP des descendants éventuels de chacun des radionucléides. Si on prend la quantité totale de déchets HA contenue dans un stockage géologique on obtient ce que l'on appelle « l'inventaire radiotoxique » du stockage. En fait, les valeurs obtenues n'ont pas beaucoup de signification dans l'absolu, sauf peut-être pour de très petites masses puisque la nocivité ainsi calculée suppose qu'une personne ingère directement cette masse de déchets. En revanche, on peut comparer cette RP avec celle de la masse d'uranium naturel (Unat) extraite du sous-sol qui a été utilisée pour générer une masse donnée de déchets. Cela peut être par exemple la masse d'Unat qui a été utilisée pour fabriquer une tonne de combustible, qui est d'environ 8,5 tonnes (pour un enrichissement initial de 4,2 %). Cette comparaison donne un repère valable pour estimer la « dangerosité » d'un déchet puisqu'on la compare au produit radioactif naturel qu'est de l'Unat. Ces calculs montrent alors que :

**La radiotoxicité potentielle des déchets nucléaires de haute activité (qui rassemblent 95 % de la totalité de la radioactivité des déchets nucléaires en France) devient inférieure à celle de l'uranium naturel après environ
10 000 ans**

On trouve quelques critiques sur l'emploi de ce critère de RP mais il est simple à comprendre et il permet de répondre plus facilement à la question souvent posée « **pendant combien de temps les déchets sont-ils dangereux** » ? Un autre critère est celui de la radiotoxicité dite « résiduelle » qui essaye de quantifier la dose possible sur le très long terme à l'exutoire d'un stockage géologique de déchets nucléaires. Il est basé sur des calculs qui utilisent des modèles complexes et des données parfois très incertaines, ainsi que sur des scénarios d'évolution du stockage malaisés à justifier. Quoiqu'il en soit, on aboutit à des doses tellement faibles (tout au plus quelques fractions de micro-sievert) au bout de temps tellement longs (centaines de milliers ou même millions d'années) que ces résultats ne sont pas très faciles à « vulgariser ». Son seul avantage est de montrer que l'impact radiologique d'un stockage géologique (bien conçu) de déchets radioactifs est pratiquement NUL, même à très long terme.

Notons pour terminer que ce résultat énoncé n'est valable que pour des déchets ne contenant PAS DE PLUTONIUM, ce qui est le cas en France du fait que le plutonium issu du retraitement des combustibles usés (CU) est recyclé dans les réacteurs nucléaires pour produire de l'électricité ou bien stocké pour un usage futur (par exemple avec le multi-recyclage). Dans le cas d'un stockage géologique direct des CU, l'intervalle de temps de 10 000 ans que l'on vient de citer passe à 300 000 ans du fait de la seule présence du plutonium qui contribue à plus de 90 % de RP des CU entre quelques centaines d'années et 100 000 ans. Stocker définitivement du plutonium en formation géologique profonde n'est d'autant pas une bonne idée qu'il peut être recyclé pour produire de l'électricité. En France, une ampoule électrique sur 10 est éclairée par du combustible recyclé. Vers 2030, ce sera plus d'une ampoule sur 4.

EN CONCLUSION

Les quantités de déchets potentiellement et durablement toxiques produits par l'énergie nucléaire sont extrêmement faibles rapportées au service rendu. Ce sont même certainement les plus faibles parmi les déchets générés par toutes les activités industrielles dont certains (comme les métaux lourds non recyclables) sont d'ailleurs très toxiques et ont des « durées de vie » pratiquement infinies. L'élimination de ces déchets « nucléaires » noyés dans une matrice pratiquement inaltérable (le verre) enfouie dans une formation géologique dont les propriétés pétro physiques n'ont guère varié depuis ces derniers 30 millions d'années constitue une solution parfaitement sûre. Ces faits sont prouvés. Ils sont INCONTESTABLES.