

# L'AVENIR : DES TECHNOLOGIES INNOVANTES POUR LA TRANSFORMATION ET LE STOCKAGE DÉFINITIF DES DÉCHETS RADIOACTIFS

Des cycles du combustible nucléaire sûrs, résistants à la prolifération, rentables et réduisant au minimum la production de déchets et les impacts environnementaux sont essentiels pour une énergie nucléaire durable. Des approches et des technologies innovantes permettraient de réduire considérablement la radiotoxicité ou le danger que représentent les substances radioactives pour l'être humain, ainsi que les déchets produits. Une réduction du volume des déchets, de la charge thermique et de la durée pendant laquelle les déchets doivent être isolés de la biosphère simplifiera énormément les concepts de stockage définitif.

Le recyclage et la réutilisation permettent de réduire le volume des déchets. Ils sont, de même que l'utilisation optimale des ressources naturelles, à la base du « cycle fermé du combustible », dans lequel les parties réutilisables du combustible usé sont recyclées et ne sont pas considérées comme des déchets.

Il serait possible de traiter le combustible nucléaire usé pour séparer les éléments radioactifs à longue période et/ou les transformer en des éléments à période plus courte moins dangereux. Les déchets obtenus à l'issue de ce processus, connu sous le nom de « séparation et transmutation », sont moins volumineux et beaucoup moins radiotoxiques.

**Le recyclage et la réutilisation permettent de réduire le volume des déchets. Ils sont, de même que l'utilisation optimale des ressources naturelles, à la base du « cycle fermé du combustible », dans lequel les parties réutilisables du combustible usé sont recyclées et ne sont pas considérées comme des déchets.**

## Séparation et transmutation

Le combustible nucléaire usé déchargé d'un réacteur nucléaire est hautement radiotoxique, car il contient des éléments des trois groupes suivants : des actinides majeurs, qui sont l'uranium et le plutonium ; des actinides mineurs, dont le neptunium, l'américium et le curium ; et des produits de fission. En raison des actinides à longue période et des produits de fission générant de la chaleur, le combustible usé est considéré comme un déchet de haute activité et doit être confiné et isolé de la biosphère dans une installation en formations géologiques profondes pendant plusieurs centaines de milliers d'années.

La radiotoxicité à long terme est due principalement aux actinides à longue période. Les produits de fission, qui génèrent certes de la chaleur, ont une période courte et ne contribuent à la radiotoxicité qu'au cours des 100 premières années.

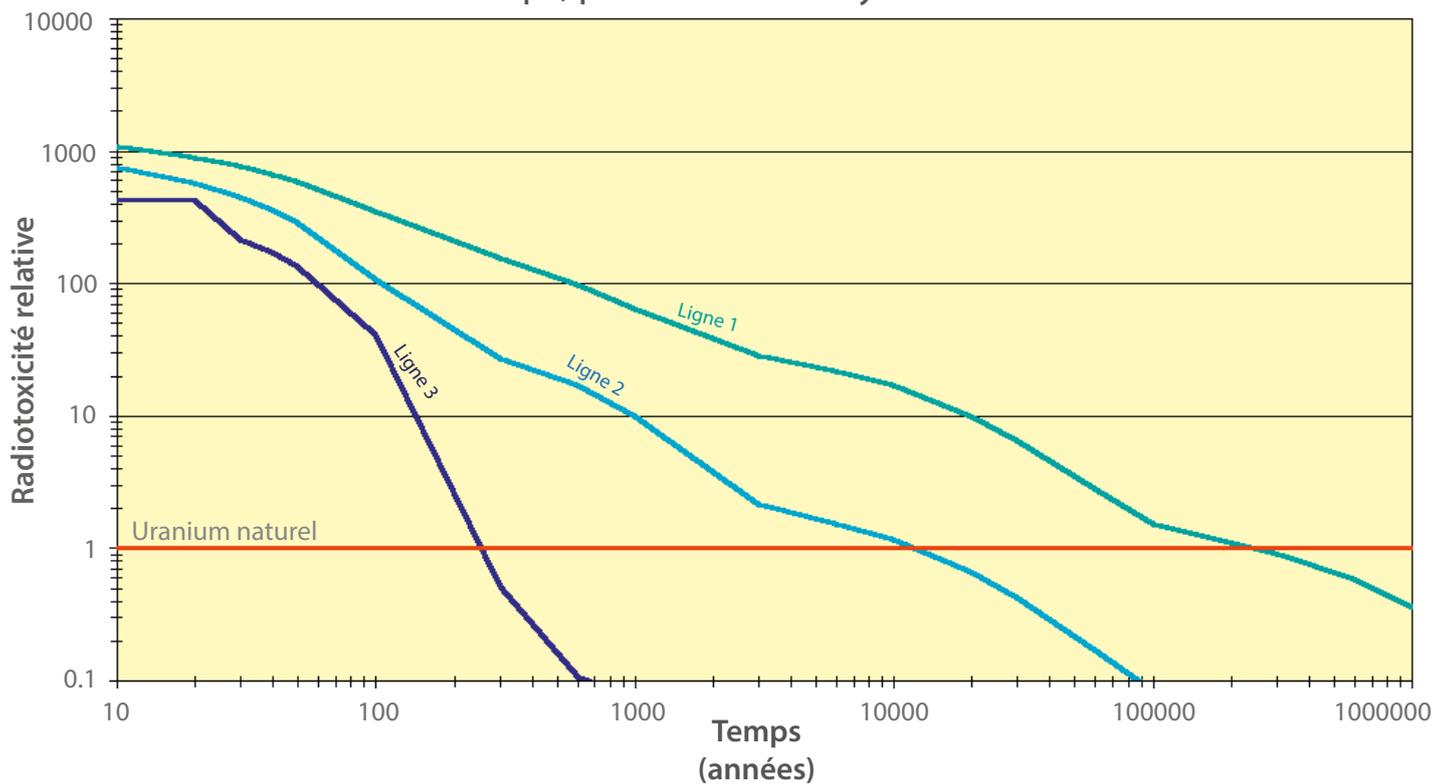
Dans le processus de séparation et transmutation, le plutonium et les actinides mineurs sont extraits du combustible usé par séparation chimique. Puis a lieu la transmutation, au cours de laquelle les éléments transuraniens (neptunium, plutonium, américium et curium) sont détruits par fission dans un réacteur nucléaire spécialement conçu. Ce processus de séparation et transmutation permet d'améliorer l'efficacité de la gestion des déchets radioactifs en réduisant leur volume, ce qui a pour conséquence une meilleure rentabilité des systèmes de gestion.

À l'heure actuelle, la technologie de transmutation la plus étudiée pour détruire les actinides à longue période est celle des systèmes à neutrons rapides. La transmutation est possible dans d'autres réacteurs, comme les réacteurs à eau sous pression, mais la fission y est moins efficace.

L'utilisation de réacteurs à neutrons rapides en association avec de nouvelles technologies du cycle du combustible offre comme avantage notable la possibilité de recycler les actinides majeurs et mineurs sans systèmes de purification poussée, comme c'est le cas dans des usines de retraitement en Fédération de Russie, en France, en Inde et au Japon. Ce système est très résistant à la prolifération, car il n'est pas nécessaire de séparer le plutonium des autres actinides. La combinaison de réacteurs à neutrons rapides (ou l'utilisation du spectre de neutrons rapides) et du traitement thermique avancé du combustible usé est actuellement à l'étude et expérimentée en Fédération de Russie, en Inde et dans l'Union européenne.

Le recyclage des actinides dans des réacteurs à neutrons rapides permet de réduire sensiblement le volume des déchets, la charge thermique et le temps nécessaire pour que les niveaux de radiotoxicité diminuent jusqu'à celui de l'uranium naturel utilisé pour le combustible des réacteurs à eau ordinaire. La recherche-développement (R-D) actuellement menée montre que le concept de « stockage définitif équivalent état naturel » est viable. Autrement dit, il est techniquement possible de générer des déchets radioactifs dont le niveau de radioactivité descendrait au niveau naturel en 300 à 400 ans, au lieu de 250 000 ans.

## Radiotoxicité des déchets nucléaires au fil du temps, pour différents cycles de combustible



**Ligne 1:** Les déchets de combustible usé en stockage définitif direct contiennent Pu + AM + PF.

**Ligne 2:** Les déchets issus du recyclage du plutonium contiennent AM + PF.

**Ligne 3:** Les déchets issus du recyclage de Pu + AM contiennent des PF.

PF = produits de fission AM = actinides mineurs Pu = plutonium

*La technologie des neutrons rapides permet de ramener la radiotoxicité des déchets au niveau de celle de l'uranium naturel en 400 ans environ au lieu de plusieurs centaines de milliers d'années.*

si l'on stockait directement le combustible usé. Ou, plus simplement, la mise au point d'une centrale nucléaire moderne permettrait de réduire considérablement la charge des déchets pour les générations futures.

fondus. L'objectif est de réduire les quantités d'éléments transuraniens tout en produisant la même quantité d'électricité.

Toutefois, il s'agit d'une tâche complexe et il est nécessaire d'améliorer les technologies de retraitement et de recyclage pour accroître l'efficacité des séparations des actinides, réduire le volume des déchets secondaires et éviter les problèmes de prolifération. Des études de l'AIEA relatives à la conception de réacteurs à neutrons rapides et aux cycles du combustible innovants montrent que ces questions pourraient être résolues et que l'industrie nucléaire pourrait passer à un nouveau cycle du combustible, plus durable.

Alexander V. Bychkov, Directeur général adjoint, chef du Département de l'énergie nucléaire de l'AIEA

D'importantes activités de R-D sont menées sur l'utilisation du thorium au lieu de l'uranium et sur l'exploitation accrue des filières de réacteurs pour lesquelles le taux de combustion est plus élevé, comme les réacteurs à haute température refroidis par gaz et les réacteurs à sels