

FICHE 7-B: RECHERCHES SUR LA SEPARATION TRANSMUTATION

**QUESTION Q7-B: Depuis les derniers débats publics (2005 et 2013), y a-t-il eu des éléments nouveaux relatifs aux recherches sur la séparation et la transmutation, de nature à influencer sur les options de gestion des déchets à haute ou moyenne activité et vie longue<sup>1</sup> ?**

**Cadre 1, rempli et retourné à la CPDP par mail pour le lundi 4 février.**

**POSITION ARGUMENTEE SUR LA QUESTION Q7-B EXPRIMEE PAR EDF**

La séparation et la transmutation des déchets à haute et moyenne activité et vie longue fait l'objet de nombreux programmes internationaux de R&D. En France, cette recherche, à laquelle EDF est associée, a été encadrée par des dispositifs législatifs à partir de 1991.

Depuis les derniers débats publics, il y a eu des **éléments nouveaux relatifs à ces recherches mais ils ne sont pas de nature à modifier les options de gestion des déchets à haute ou moyenne activité et vie longue. Ils confortent les options retenues et confirment les difficultés technologiques à surmonter et la complexité du système industriel à mettre en place pour la séparation et la transmutation. Ils confirment aussi que même si l'on mettait en œuvre la séparation / transmutation, cela ne concernerait que quelques éléments et qu'un stockage resterait nécessaire.**

Les principes de la séparation-transmutation

La séparation-transmutation se décompose en deux étapes.

La première étape consiste à réaliser une séparation « poussée » puis une concentration et une mise sur support cible des radioéléments destinés à la transmutation par différents procédés physico-chimiques. Le rendement de la séparation « poussée » doit être à la pointe de ce qui est technologiquement réalisable car tout radioélément non séparé ne pourrait pas être transmuté ; *a contrario*, si des éléments étrangers n'étaient pas séparés et restaient mélangés avec les radioéléments ciblés, ils seraient transmutés avec le risque de produire de nouveaux radioéléments... éventuellement plus pénalisants que les radioéléments initialement ciblés.

L'étape de concentration et de mise sur support cible nécessite la mise au point de nouveaux procédés robustes industriellement et avec un confinement adapté, compte tenu de la forte radioactivité des radioéléments.

**Une mise en œuvre industrielle des opérations de séparation, de concentration et de mise sur support cible nécessiterait ainsi la construction d'ateliers spécifiques, mettant en**

---

1 Sans préjuger des mesures législatives éventuellement nécessaires en cas de changement d'option

**œuvre des procédés d'une complexité très supérieure aux procédés actuellement exploités dans l'usine de traitement du combustible usé de La Hague (à titre d'exemple). Elle nécessiterait aussi la mise en place d'une logistique dédiée contraignante.**

La deuxième étape, la transmutation proprement dite, consiste à irradier les supports cibles dans des installations nucléaires, afin de provoquer des réactions de capture ou de fission des noyaux des radioéléments. Les concepts d'installation les plus matures à même de réaliser cette irradiation sont **les réacteurs RNR-Na**, similaires à ceux qui ont été mis en service en France et à ceux qui sont actuellement en production en Russie (cf. Fiche Q2b EDF).

**D'autres concepts peuvent être envisagés pour réaliser cette irradiation dans des installations dédiées mais ces concepts n'ont pas fait l'objet de réalisation industrielle et restent à des stades d'avancement technologique plus ou moins préliminaires et, dans tous les cas, moins avancés que les RNR-Na.**

#### Eléments nouveaux depuis les précédents débats publics

**Au fur et à mesure des progrès réalisés dans la recherche sur la séparation-transmutation, son champ d'utilisation potentiel s'est progressivement réduit et ce, quel que soit le concept envisagé.**

Il a notamment été établi en 2006 que la séparation-transmutation industrielle des produits de fission à vie longue n'était pas possible et que seule la séparation-transmutation des actinides mineurs devait être étudiée.

Puis, en 2012, les chercheurs ont convenu que, parmi les actinides mineurs, la séparation-transmutation du curium présentait plus d'inconvénients que d'avantages. Un procédé aurait été en effet particulièrement complexe à mettre en œuvre à cause de la volatilité et de la très forte radioactivité du curium après séparation et concentration.

**Les recherches se focalisent dorénavant sur la séparation-transmutation de l'américium seul.** Cette séparation-transmutation pourrait en effet présenter un intérêt pour la réduction de la puissance thermique des déchets HA et donc pour la réduction de leur emprise au stockage en couche géologique profonde. Elle aurait en revanche peu d'effet sur le volume des déchets à stocker.

Par rapport aux précédents débats publics, on peut noter les points suivants :

**- L'IRSN et l'ASN ont émis un avis défavorable sur la transmutation le 4 juillet 2013 :**  
*« l'ASN considère que les gains espérés de la transmutation des actinides mineurs en termes de sûreté, de radioprotection et de gestion des déchets n'apparaissent pas déterminants au vu notamment des contraintes induites sur les installations du cycle du combustible, les réacteurs et les transports, qui devraient mettre en œuvre des matières fortement radioactives à toutes les étapes ».*

- Dans le cadre du PNGMDR, le CEA avec ses partenaires (dont EDF) a continué d'étudier la mise en œuvre de la séparation-transmutation de l'américium seul (cf. dossier CEA 2015). Le CEA a conçu et expérimenté à l'échelle du laboratoire des procédés innovants pour l'extraction de l'américium seul (procédé « EXAm »), ainsi que pour la fabrication des supports cible, à base notamment d'oxydes mixtes uranium/américium (procédés UMACS et WAR/CRMP) dans le cas d'une transmutation dite hétérogène. Par ailleurs, **les études ont montré que c'est seulement mise en œuvre dans le cadre d'un parc qui comprendrait une majorité de réacteurs RNR-Na de quatrième génération, multi-recyclant les matières des combustibles, qu'une transmutation de l'américium entraînerait une réduction significative de l'emprise au stockage.**

- Concernant l'étude de nouveaux **concepts dédiés à la transmutation**, il n'y a pas eu de réalisations techniques nouvelles depuis les précédents débats. Globalement, **les systèmes apparaissent complexes, envisagent des performances très limitées et sont d'un niveau de maturité technologique bien inférieurs à ceux des réacteurs RNR-Na.**

#### Principaux concepts alternatifs étudiés :

- **Concept « ADS »** (Accelerator Driven System) : il s'agit d'un concept de réacteur nucléaire à neutron rapide contrôlé par un accélérateur de particule linéaire (LINAC). L'intérêt de ce concept initialement développé par le prix Nobel Carlo Rubbia dans les années 1990 est que l'on peut envisager un combustible sans uranium, qui ne consommerait donc que du plutonium et des actinides mineurs.

Le gouvernement belge a pris la décision de lancer la phase 1 du projet de réacteur ADS « Myrrha » en septembre 2018 ; la phase 1 ne concerne que la construction du LINAC dont il reste à prouver la fiabilité et le rendement de production du faisceau en continu. La phase 2 qui commencerait au plus tôt en 2025 concernerait notamment la construction du réacteur en lui-même qui sera un RNR à caloporteur plomb-bismuth. Il s'agirait d'une première pour un réacteur de ce type en Europe, réacteur pour lequel le retour d'expérience russe est cependant défavorable concernant le comportement en corrosion.

La R&D reste encore à développer sur le combustible avec actinides mineurs pour ce type de réacteur, il est ainsi envisagé que Myrrha démarrerait avec du combustible MOX.

Lors de l'annonce de son prix Nobel en octobre 2018, Gérard Mourou a proposé d'utiliser des lasers ultra-intenses pour améliorer les performances de la transmutation. Si l'idée est intéressante, le rendement et la fréquence d'impulsion de ces lasers semblent trop faibles pour envisager de les utiliser en remplacement d'un LINAC.

- **Concept RSF** : les Réacteurs à Sel Fondu pourraient être utilisés pour la transmutation, un concept avec des sels contenant du plutonium et des actinides mineurs a ainsi été développé par les Russes (MOSART) au début des années 2000. Depuis les précédents débats publics, on peut noter les réserves de l'IRSN vis-à-vis de ce type de réacteurs dans son rapport « Examen des systèmes nucléaires de 4ème génération » de 2014 sur l'exploitation et les options de sûreté de ces réacteurs notamment à cause des risques de corrosion et des risques de réaction sel fondu / eau dans les multiples systèmes d'évacuation de la puissance résiduelle. On peut noter aussi que d'autres concepts de RSF ont été mis sur le devant de la

scène par des start-ups, comme le « Transmutator » de T. Tajima, avec le soutien de G. Mourou. Ces concepts sont au stade de l'esquisse et n'apportent pour l'instant pas de réponse aux réserves de l'IRSN.

- Concept hybride fission-fusion : il s'agit d'utiliser des neutrons produits par réaction de fusion pour transmuter des actinides mineurs. L'intérêt du concept est que la source de neutron est auto-entretenu si l'on atteint l'ignition du réacteur de fusion. Depuis les précédents débats publics, EDF n'a pas noté de progrès significatifs et n'en attend pas avant les premières expériences Deutérium Tritium sur ITER annoncées pour 2035.

En plus d'une plus faible maturité technique que les RNR, aucun de ces concepts ne remet en question les éléments développés précédemment, à savoir :

- une mise en œuvre industrielle des opérations de séparation, de concentration et de mise sur support cible préalable nécessiterait la construction d'ateliers spécifiques, avec des procédés complexes et une logistique contraignante.
- le champ d'utilisation potentiel de la transmutation est réduit à la transmutation de certains des actinides mineurs (à date, au regard des avantages et inconvénients qu'on peut en attendre, seulement l'americium) et ne viendrait qu'en complément d'un stockage géologique.

**Cadre 2**, rempli et retourné à la CPDP par mail pour le ... par les personnes ou organismes ayant des contre-arguments à présenter par référence au cadre 1.

**CONTRE-ARGUMENTATION, PRESENTÉE PAR (NOM DE LA PERSONNE OU ORGANISME):**

[Tapez le texte]