

**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 LE CEA**

**Depuis les derniers débats publics, il n'est pas apparu de nouveaux éléments relatifs aux recherches sur la séparation et la transmutation susceptibles d'influer sur les options de gestion des déchets à haute ou moyenne activité et à vie longue.**

Le concept d'une gestion particulière des éléments radioactifs à vie longue a percé notamment en Europe dans les années 1970 et 1980 ; mais c'est à partir de 1991 qu'il a connu un essor considérable, particulièrement en France à la suite du moratoire sur l'enfouissement des déchets nucléaires, et de « la loi Bataille », qui identifiait la transmutation des radioéléments à vie longue comme l'un des grands axes des recherches à mener pour définir une politique de gestion des déchets appropriée.

La transmutation d'un radionucléide consiste à le transformer en un autre radionucléide de période radioactive plus courte : cela peut être obtenu par des réactions nucléaires de capture ou de fission, et pourrait ainsi conduire à « raccourcir la durée de vie » des déchets nucléaires (par exemple : la transformation par capture de neutron du technétium 99 (période 210 000 ans) en technétium 100 (période 15s)).

Des efforts considérables ont ainsi été conduits en ce domaine durant plus de deux décennies, les recherches initiales ayant été poursuivies dans le cadre fixé par la nouvelle loi votée en 2006, qui a confirmé la transmutation comme objectif de recherches. Ils ont impliqué jusqu'à plusieurs centaines de chercheurs au CEA, et bien au-delà dans la communauté scientifique nationale et internationale (Union européenne, Etats-Unis, Japon notamment), la transmutation constituant l'un des objectifs affichés des systèmes nucléaires dits « de 4<sup>ème</sup> génération ».

***1. Principaux enseignements après 20 ans d'études et de recherches (1991-2012):***

- La transmutation de l'américium et du curium permettrait de réduire la radiotoxicité à long terme des déchets ultimes (jusqu'à de l'ordre d'un facteur 100 pour la période 1000-10000 ans)
- La transmutation de l'américium permettrait de réduire l'emprise du stockage HAVL (d'un facteur de l'ordre de 10)
- La performance « globale » (sur la durée de vie du parc) est limitée par:

---

<sup>1</sup> Sans préjuger des mesures législatives éventuellement nécessaires en cas de changement d'option

- les déchets produits auparavant (“talon initial”);
- la capacité à résorber l’inventaire en fin de vie du parc
- La transmutation des actinides mineurs n’a de sens que si l’on envisage préalablement le multi-recyclage du plutonium (Pu dix fois plus abondant et contribuant à 90% de la radiotoxicité)
- La transmutation n’est pleinement efficace que si elle conduit à la fission des actinides et pour cela, les réacteurs à neutrons rapides paraissent les plus appropriés.
- La transmutation est une opération complexe :
  - qui nécessite la récupération des éléments d’intérêt (séparation des actinides mineurs, puis insertion au sein d’un matériau inerte ou combustible)
  - pour laquelle les réacteurs à neutrons rapides sont appropriés, diverses options étant envisageables (homogène, hétérogène, strate dédiée).
- Les recherches menées ont permis de valider à l’échelle du laboratoire:
  - des procédés de séparation des actinides mineurs,
  - certains dispositifs de transmutation
- Les détriments (avérés) sur réacteurs et les opérations du cycle resteraient à mieux apprécier, pour les options considérées;
- **Il paraît difficilement envisageable de récupérer à des fins de transmutation des actinides mineurs dans les déchets vitrifiés** (déchets déjà produits).
- **Pour le CEA, Les réacteurs à neutrons rapides s’imposent clairement dans le cadre de la transmutation.** Les ADS sont une option possible mais à un niveau de maturité industrielle plus faible. Enfin, les REP ont été écartés car ils ont été étudiés pour cette fonction dans les années 2000 et le multi-recyclage des actinides mineurs en REP produit des isotopes supérieurs (comme le Californium ou encore le Berkélium) dont l’impact sur le cycle a été jugé trop pénalisant.
- S’il est envisagé de transmuter les actinides mineurs, **il est essentiel de chercher tout d’abord à en limiter l’abondance dans le combustible usé** : américium et curium proviennent de réactions de capture neutronique suivies de décroissances bêta sur le plutonium ; les conditions de recyclage du plutonium en réacteur sont essentielles à cet égard (ainsi, on obtient environ trois à cinq fois moins d’Am et Cm si le plutonium est recyclé en RNR plutôt qu’en REP).

## 2. *Y a-t’il eu des éléments nouveaux depuis les derniers débats publics (2005 et 2013) ?*

- **Les avis de l’IRSN et de l’ASN sur la transmutation : une position très en recul (2013)**

Après analyse du rapport d’étape du CEA en date d’octobre 2010, l’IRSN a émis un avis<sup>2</sup> peu favorable à la transmutation en 2012, considérant que « les gains espérés de la transmutation des actinides mineurs [...] ne sont pas décisifs au vu des contraintes induites ».

Prenant cet avis en référence, l’ASN a publié un avis<sup>3</sup> en 2013 sur la transmutation des éléments radioactifs à vie longue, concluant en substance au peu d’intérêt d’une stratégie de transmutation lourde et *in fine* peu utile dans le contexte d’un stockage géologique dans l’argile.

<sup>2</sup> Avis IRSN n°2012-00363 en date du 3 août 2012.

<sup>3</sup> Avis ASN n° 2013-AV-0187 en date du 4 juillet 2013.

Dans une stratégie de transmutation, la diminution de l'inventaire en actinides mineurs dans les déchets s'accompagne en contrepartie d'un accroissement de la quantité d'actinides mineurs dans le cycle (réacteurs et installations périphériques), d'un facteur 5 à un facteur 10 selon les options technologiques retenues.

L'IRSN a considéré que la transmutation des actinides mineurs dans un parc de réacteurs à neutrons rapides, en remplacement des réacteurs à eau sous pression actuels, conduirait à mettre en œuvre, dans l'ensemble des installations du cycle du combustible et dans les transports associés, des matières fortement radioactives, présentant des caractéristiques contraignantes en termes de sûreté et de radioprotection, ce qui nécessiterait de développer de nouveaux procédés, dont la faisabilité n'est pas encore acquise, et de concevoir de nouvelles installations et des moyens de transport adaptés.

Sur le plan de la sûreté du stockage géologique, les gains escomptés seraient limités. En effet, la transmutation des actinides mineurs ne modifierait pas l'impact radiologique calculé du stockage ; elle permettrait toutefois de diminuer la charge thermique des déchets HAVL, ce qui est un élément favorable en termes de réduction de l'emprise souterraine et du volume excavé.

- **Pour transmuter efficacement, il est nécessaire de disposer d'un parc majoritairement constitué de réacteurs à neutrons rapides**

Des études ont été menées au CEA entre 2012 et 2015<sup>4</sup>, par l'analyse de scénarios de transmutation pendant la phase de déploiement des RNR, c'est-à-dire pour des configurations évolutives de parcs électronucléaires présentant une composante REP et une composante RNR. Il apparaît dans ce cas que les quantités d'américium et de curium produites chaque année sont plus élevées (transmutation du plutonium sous flux thermique) et que le nombre de RNR pour les transmuter est réduit (parc mixte), ce qui renforce pour toutes les options étudiées les pénalités évoquées ci-dessus, avec un caractère que l'on peut considérer comme rédhibitoire tant que la proportion de RNR dans le parc est minoritaire.

**Cette dernière observation conduit à considérer que la mise en œuvre d'options de transmutation ne pourrait pas raisonnablement (efficacement) intervenir lors des premières étapes du déploiement des RNR, suggérant la mise en place progressive du multi-recyclage du plutonium dans un premier temps, puis, le cas échéant, celle de la transmutation.**

- **Le prix Nobel Gérard Mourou :**

Le récent prix Nobel Gérard Mourou a indiqué travailler sur un projet qui permettrait de transmuter les atomes radioactifs dans les déchets nucléaires pour en réduire très significativement, « à 30 minutes », la durée de vie et la radioactivité.

Il s'agirait de mettre au point un système associant un réacteur à sels fondus et une source externe de neutrons très intenses (où intervient la technologie laser) pour « transmuter » les actinides mineurs, c'est-à-dire les transformer en d'autres atomes dont la période radioactive est plus courte. Ce projet associe au sein d'une même machine :

- Une technologie d'accélération d'ions deutérium (D) par laser
- Une source de neutrons par fusion DD ou DT (tritium)
- Un réacteur à sels fondus émulé par les neutrons de fusion dans lequel s'effectue la transmutation des actinides mineurs.

---

<sup>4</sup> Dossier 2015 remis au gouvernement le 30 juin 2015 au titre du PNMDR

La part du système qui réalise la transmutation n'est autre qu'un réacteur à sels fondus qui met en œuvre, dans un type de réacteur différent, les mêmes principes que ceux étudiés pour la transmutation en France (neutrons rapides et multi-recyclage). La transmutation des actinides en réacteur à sels fondus est étudiée par d'autres équipes dans le monde, notamment par l'Institut Kourchatov (projet MOSART).

Ce projet propose certaines idées originales à la communauté nucléaire, notamment pour la source de neutrons, mais il constitue une machine extrêmement complexe. **Prises séparément, les technologies considérées présentent un certain intérêt (accélération d'ions par les lasers, fusion DT ou DD, réacteur à sels fondus...) mais leur assemblage dans une même machine, qui suscite de nombreux problèmes scientifiques et techniques, soulève des questions importantes qu'il convient d'étudier en priorité car la faisabilité et les performances de cette machine en dépendent.**

- **En résumé, quel que soit l'assemblage complexe des technologies, la mise en œuvre de l'option de transmutation des actinides mineurs ne supprime pas le besoin 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, PRESENTEE PAR (NOM DE LA PERSONNE OU ORGANISME):**

[Tapez le texte]