

IRSNINSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

La séparation/transmutation des déchets à vie longue

Thème 1 - La place de Cigéo dans le dispositif de gestion des déchets

Contexte

Les études et recherches relatives à la séparation-transmutation ont pour but d'explorer des pistes d'optimisation de la gestion globale des déchets nucléaires de haute activité (HA). Elles sont menées par le CEA, avec l'appui d'AREVA, d'EDF, du CNRS et de l'ANDRA, en relation avec les recherches sur les systèmes nucléaires de quatrième génération et sur des systèmes spécifiquement dédiés à la transmutation. L'objectif des recherches sur la séparation-transmutation est de préciser si cette gestion peut être complémentaire du stockage géologique des déchets HA en permettant d'optimiser les volumes et l'emprise nécessaire pour le stockage des déchets produits. Le dossier remis en 2012 au Gouvernement par le CEA dresse un bilan des résultats acquis et des enseignements retenus dans le cadre de ces études et recherches. La priorité a été donnée par le CEA à deux systèmes nucléaires à neutrons rapides (RNR) : les RNR à caloporteur sodium (RNR-Na) et ceux à caloporteur gaz (RNR-gaz).

Les notions clés

- **La séparation**

L'étape préliminaire à la transmutation des actinides mineurs (AM) consiste à les séparer des combustibles qui les contiennent. Différents procédés de séparation existent (GANEX, DIAMEX-SANEX, EXAm), aptes à s'insérer dans les installations de traitement des combustibles usés actuelles.

- **La transmutation**

Le principe de la transmutation est de transformer des radionucléides dont la période radioactive est très longue (jusqu'à plusieurs centaines milliers d'années) en éléments stables ou à vie plus courte. La transmutation consiste en l'absorption d'un neutron par le noyau d'un radionucléide, ce qui conduit à en modifier les caractéristiques radioactives ou à provoquer une réaction de fission.

- **Cycle du combustible**

La fabrication du combustible, son irradiation en réacteur, puis la gestion du combustible usé constituent le cycle du combustible. De manière conventionnelle, le cycle débute avec l'extraction du minerai d'uranium et s'achève avec le stockage des combustibles usés ou celui des divers déchets radioactifs provenant de leur traitement et le recyclage des matières valorisables issues de ce traitement.

Questionnement

- **La séparation-transmutation des radionucléides à vie longue conduit-elle à des avancées dans la gestion des déchets, la sûreté, et la radioprotection de l'ensemble des installations nucléaires du cycle du combustible, en particulier pour le stockage géologique en couche profonde ?**

CONTACT :

IRSN
01 58 35 88 88
contact@irsn.fr
www.irsn.fr/dechets

La séparation et la transmutation des radionucléides à vie longue

Les radionucléides à vie longue pouvant faire l'objet d'une stratégie de transmutation sont les **actinides mineurs**¹, les **produits de fissions**² et les **produits d'activation**³, contenus en majeure partie dans les déchets de haute activité (HA) :

- La transmutation des **actinides mineurs** dans les réacteurs à eau pressurisée du parc actuel ne permettrait de transformer que des quantités modestes de ces éléments et par conséquent ne semble pas pertinente. En revanche, des rendements significatifs peuvent toutefois être obtenus dans les réacteurs à neutrons rapides, dits de quatrième génération, ou dans des systèmes dédiés de type ADS⁴.
- La transmutation des **produits de fission** à vie longue à une échelle industrielle apparaît très difficile, voire impossible. En effet, bien que leurs caractéristiques montrent qu'elle serait techniquement possible pour le technétium, le césium et l'iode, les rendements de transmutation sont faibles (technétium) ou la mise en œuvre de cette transmutation est complexe et peu réaliste (césium et iode).
- Pour ce qui concerne les **produits d'activation** tels que le chlore 36 et le calcium 41, la réduction de leur teneur dans les matériaux neufs contenant les éléments qui produisent ces éléments radioactifs lors de leur irradiation est à rechercher plutôt que d'opter pour la voie de la transmutation, qui présente peu d'intérêt dans la mesure où ces derniers sont présents en quantités limitées ou du fait de leurs caractéristiques insuffisamment adaptées à la transmutation.

Pour les raisons évoquées, seule la transmutation des actinides mineurs peut être considérée à des fins industrielles. Deux modes de recyclage de ces actinides mineurs sont envisagés dans les réacteurs de quatrième génération :

- le **mode homogène** où ils sont incorporés au combustible du cœur du réacteur dans de faibles proportions de façon à limiter leur influence sur les paramètres de sûreté du cœur,
- le **mode hétérogène** où ils sont séparés du combustible du cœur du réacteur et concentrés dans des assemblages spécifiques placés en périphérie du cœur. Ces éléments peuvent être mélangés à un support en uranium (on parle alors de couvertures chargées en actinides mineurs) ou à un support inerte (on parle alors de cibles).

La transmutation dans des **systèmes dédiés pilotés par accélérateurs (ADS)**, qui peut constituer un troisième mode de recyclage, ne semble pas pouvoir être déployée à l'échelle industrielle avant au moins plusieurs décennies, car elle nécessite le développement de technologies complexes.

La transmutation des actinides mineurs nécessite au préalable leur **séparation des combustibles**, cibles et couvertures usés lors du traitement, pour les recycler en réacteur. Différents procédés de séparation très « sélectifs » sont étudiés (séparation groupée ou individualisée des radionucléides). Ils permettent par exemple, soit de récupérer de façon groupée le plutonium et l'ensemble des AM pour un recyclage homogène, soit de récupérer seulement l'américium pour le recycler en mode hétérogène. La faisabilité de ces différents procédés a été démontrée à l'échelle du laboratoire sur des échantillons réels de combustibles usés. Cependant de nombreux développements technologiques et études de consolidation seraient encore nécessaires pour pouvoir les mettre en œuvre à l'échelle industrielle.

Scénarios électronucléaires

Plusieurs options sont envisagées pour la mise en œuvre industrielle de la séparation/transmutation. Des études de scénario fournissent, pour chaque option examinée, une vue d'ensemble du parc électronucléaire, du cycle du combustible associé et des déchets produits au cours du temps. Les scénarios étudiés par le CEA simulent le renouvellement complet du parc REP actuel après une phase de transition mettant en œuvre des réacteurs EPR. Ces scénarios considèrent :

- le recyclage du plutonium via le déploiement d'un parc de réacteurs RNR-Na ou le déploiement d'un parc de réacteurs RNR-Gaz,
- la transmutation des actinides mineurs selon les 3 modes de recyclage cités ci-avant.

L'intérêt et les conséquences de la mise en œuvre des scénarios étudiés sur les installations industrielles (usines du cycle, réacteurs et stockages) restent à étudier plus en détail. Par ailleurs, il faut aussi considérer dans le bilan les colis de déchets HA produits avant le début du déploiement du parc RNR ainsi que le devenir de l'inventaire « final » (masses de plutonium et d'actinides mineurs) présent dans les réacteurs et dans l'ensemble des installations du cycle au terme du scénario.

¹ Eléments radioactifs de la famille des actinides présents en quantité moins importante que l'Uranium et le Plutonium dans les déchets HA (principalement Neptunium, Curium et Américium)

² Espèces chimiques résultant de la fission des noyaux en réacteur (par exemple, ¹³¹I et ¹³⁷Cs)

³ Espèces chimiques résultant du processus d'activation neutronique en réacteur (par exemple ³⁶Cl ou ¹⁴C)

⁴ Ces systèmes dédiés ou ADS fonctionnent de manière indépendante, en parallèle au parc de RNR-Na producteur d'électricité (concept dit en « double strates »).

Conséquences de la séparation/transmutation sur le cycle du combustible

La mise en œuvre de la séparation/transmutation aurait une influence notable sur la sûreté des réacteurs, des installations du cycle, des transports et du stockage géologique.

Pour l'ensemble des modes de recyclage envisagés, la transmutation des actinides mineurs entraînera une augmentation de leur inventaire en **réacteurs** et est susceptible d'influer sur la sûreté du cœur. En particulier, en mode homogène, le comportement du réacteur en cas d'accident grave présente de nombreuses incertitudes, associées notamment aux données nucléaires. En outre, si le mode hétérogène apparaît globalement plus favorable à la sûreté du réacteur, les couvertures neuves chargées en actinides mineurs conduiront à des risques accrus liés à la sûreté et la radioprotection (problèmes liés à la tenue des combustibles à l'irradiation, à la manutention et au refroidissement...).

La transmutation des actinides mineurs dans un parc de RNR-Na conduira à mettre en œuvre, dans l'ensemble des **installations du cycle du combustible** et dans les **transports** associés, des matières ou objets très fortement radioactifs. Ces matières et objets présentent une puissance thermique, une réactivité et une intensité de rayonnements qui sont autant de caractéristiques très contraignantes pour la sûreté et la radioprotection. Le nombre de situations accidentelles à maîtriser et le niveau de leurs conséquences augmenteront par la même occasion (augmentation de la quantité de radioactivité mise en œuvre, doses aux opérateurs potentiellement plus importantes...). De plus, la mise en œuvre de la transmutation nécessitera de développer de nouveaux procédés de fabrication et de traitement dont la faisabilité est encore loin d'être acquise à l'échelle industrielle.

Enfin, les scénarios électronucléaires étudiés montrent que les gains escomptés pour un **stockage géologique** resteraient modestes :

- En termes de **réduction de l'emprise souterraine totale et du volume excavé** de l'installation de stockage, des gains peuvent être obtenus du fait de la réduction de la puissance thermique des colis de déchets HA qui permet notamment de rendre plus compacte la zone de stockage de ces déchets. Ces gains pourraient atteindre 50 % du volume excavé dans cette zone, mais au prix d'une durée d'entreposage préalable très longue de ces déchets (au moins 120 ans). De plus, ces gains doivent être relativisés au regard d'une part du volume total de l'excavation de l'installation de stockage et d'autre part du fait notamment que les déchets vitrifiés déjà produits doivent être stockés en l'état, et qu'il faudrait comptabiliser aussi l'inventaire final à gérer en fin de vie du parc électronucléaire (« talon »). Au final, les gains escomptés sont limités, d'autant plus qu'ils doivent être mis en balance avec les difficultés induites par les opérations du cycle évoquées ci-avant.
- Par ailleurs, concernant l'**impact radiologique** du stockage, les actinides mineurs restant confinés dans le champ proche de l'installation et ne contribuant pas aux flux d'activité susceptibles d'être relâchés dans la biosphère à très long terme, la transmutation de ces éléments n'est donc pas de nature à le modifier sensiblement.

Position IRSN

L'IRSN considère que la séparation/transmutation ne constitue pas une alternative au stockage géologique. En dépit de l'avancée des recherches qui se poursuivent aujourd'hui, il est vraisemblable que ces opérations ne seront pas réalisables à l'échelle industrielle dans un proche avenir ni applicables aux déchets déjà produits. Par ailleurs, la transmutation nécessite de déployer un parc de réacteurs dits de quatrième génération dont la conception est encore à l'étude.

En termes de sûreté, de radioprotection et de gestion des matières et déchets radioactifs, le bilan entre les gains et les contraintes apportés par la transmutation est très déséquilibré, les gains apparaissant faibles en regard des fortes contraintes induites sur le cycle du combustible. En effet, la mise en œuvre de la transmutation des actinides mineurs nécessite de manipuler des matières fortement radioactives en quantités importantes, de développer de nouveaux procédés de fabrication et de traitement nécessitant de nombreux sauts technologiques, ainsi que de concevoir de nouvelles installations et entreposages. Ceci conduira, d'une part à un accroissement sensible des sources de danger et des situations incidentelles et accidentelles à analyser, d'autre part à une augmentation des doses reçues par les opérateurs, pour des gains modestes pour un stockage géologique de déchets HA et MAVL.

Ainsi, dans l'état actuel des connaissances, la transmutation ne constitue pas par elle-même une solution suffisante pour gérer les déchets de ce type. L'IRSN estime en outre qu'elle n'apporterait pas un gain probant pour la sûreté de la gestion des déchets radioactifs les plus dangereux.