

Fontenay-aux-Roses, le 3 août 2012

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN n° 2012 - 00363

Objet : Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR)
Etudes relatives aux perspectives industrielles de séparation et de transmutation des éléments radioactifs à vie longue
Examen du rapport d'étape du CEA, d'octobre 2010, relatif aux évaluations technico-économiques des options de séparation-transmutation

Réf. : Lettre ASN CODEP-DRC-2011-056823 du 14 octobre 2011

Par lettre citée en référence, vous demandez l'avis et les observations de l'IRSN sur la note de synthèse que le Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives (CEA) a transmise, en octobre 2010, au Président de la Commission Nationale d'Évaluation (CNE2) au titre du suivi des travaux relatifs à la séparation et à la transmutation des éléments radioactifs à vie longue présents dans les combustibles usés des centrales nucléaires de puissance. Cette note dresse un premier bilan des études de scénarios techniques et économiques menées depuis 2007 dans le cadre de ces travaux. Leur objectif est d'évaluer la faisabilité, sur les plans technique et économique, des différentes options retenues pour la mise en œuvre, à une échelle industrielle, de la transmutation des actinides mineurs (le CEA considère en effet que la transmutation des produits de fission à vie longue à une échelle industrielle est « très difficile, voire impossible ») et leur influence sur l'ensemble des étapes du cycle du combustible.

Ces études du CEA s'inscrivent dans le cadre de l'article 3 de la loi de programme du 28 juin 2006, traitant de la gestion durable des matières et déchets radioactifs, et de l'article 11 du décret du 16 avril 2008, fixant les prescriptions relatives au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR). Pour rappel, le CEA doit remettre aux ministres en charge de l'énergie, de la recherche et de l'environnement, au plus tard le 31 décembre 2012, un dossier établissant un bilan des recherches menées dans ce cadre.

Vous demandez plus particulièrement à l'IRSN de vous faire part de son appréciation sur « *le bien-fondé des scénarios étudiés* » ainsi que sur « *le potentiel de la transmutation des éléments radioactifs à vie longue pour la gestion des déchets et l'intérêt de sa mise en œuvre* ». Vous précisez que cette appréciation doit notamment porter, d'une part « *sur les bénéfiques potentiels en termes de réduction de la nocivité des déchets et d'impact sur l'emprise du futur stockage de déchets de haute activité à vie longue [HAVL]* », d'autre part « *sur l'impact de la transmutation sur l'ensemble du cycle (installations de traitement et de fabrication du combustible, manutention en réacteur, transports, maîtrise de la sûreté du cœur...)* du point de vue de la sûreté, de la radioprotection et de la gestion des matières ».

De l'examen de la note de synthèse précitée et des documents associés transmis au cours de l'instruction, l'IRSN retire les principales conclusions suivantes.

Adresse courrier
BP 17
92262 Fontenay-aux-Roses
Cedex France

Siège social
31, av. de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
Standard +33 (0)1 58 35 88 88
RCS Nanterre B 440 546 018

1. Contexte

Le CEA présente dans la note de synthèse les scénarios qu'il a étudiés pour la transmutation des actinides mineurs. Chaque scénario associe un type de réacteur (réacteur à neutrons rapides, refroidi au gaz (RNR-Gaz) ou au sodium liquide (RNR-Na), et ADS¹) et un mode de transmutation de tout ou partie des actinides (homogène ou hétérogène²). Les grandeurs caractéristiques des scénarios, déterminées par des calculs et des simulations, sont notamment les besoins en matières pour le fonctionnement des réacteurs (plutonium en particulier), les flux de matières entre les installations du cycle et les réacteurs (plutonium, actinides mineurs...) ainsi que l'évolution des caractéristiques (composition isotopique...) et des inventaires de ces matières et également des déchets produits par les installations du cycle, incluant les réacteurs.

Pour les scénarios (arrêtés arbitrairement en 2150), le CEA considère un déploiement progressif d'un parc de réacteurs RNR à partir de 2040, en remplacement des réacteurs REP actuels et EPR implantés lors d'une phase transitoire. Il a limité ses études détaillées de scénarios aux cas des RNR-Na, dans lesquels le plutonium est systématiquement recyclé, en considérant les configurations suivantes :

- l'absence de transmutation des actinides mineurs (scénario de référence dit F4 servant de base aux études réalisées) ;
- la transmutation de tous les actinides mineurs en mode homogène ou hétérogène (scénarios F2A et F1G) ;
- la transmutation uniquement de l'américium en mode homogène ou hétérogène (scénarios F2B et F1J).

Dans ces scénarios, les actinides mineurs qui font l'objet d'opérations de transmutation sont systématiquement recyclés dans les assemblages de combustible ou de couverture du réacteur (aux « pertes » estimées dans les procédés près).

Concernant les installations du cycle du combustible, le CEA considère trois générations successives d'usines (d'une durée de vie fixée à 40 ans), qui remplaceraient les usines actuelles à partir de 2038. Compte tenu des évolutions dans le temps des flux et des caractéristiques des combustibles, liées notamment au déploiement progressif et en deux phases du parc de RNR-Na, chaque génération d'usine présente des caractéristiques propres.

Enfin, le CEA a réalisé des études de sensibilité à certains paramètres (début du déploiement du parc de RNR-Na, configuration du cœur, taux de combustion des couvertures chargées en actinides...) jugés pertinents pour vérifier la robustesse des scénarios retenus en regard de critères qu'il se fixe (approvisionnement en plutonium, stabilisation des stocks de matières...).

Le CEA a également présenté succinctement un scénario comprenant le déploiement, en parallèle des réacteurs de puissance, d'un parc d'ADS dédiés à la transmutation des actinides mineurs. Toutefois, la faisabilité technique de ces systèmes ne sera pas acquise avant plusieurs décennies, tant sur le plan de leur contrôle (fiabilité de l'accélérateur de protons, conception des cibles de spallation...) que de du combustible utilisé (définition, traitement, fabrication...). Aussi, le CEA estime que le déploiement de tels systèmes, à l'horizon de 2040, est inaccessible. **En l'état actuel des connaissances, l'IRSN partage le constat du faible réalisme d'un tel scénario à cet horizon.** L'IRSN relève en outre que les flux de transport des combustibles ADS neufs et usés, évalués sur la base des concepts d'emballages existants, seraient réhibitifs, compte tenu de la puissance thermique des combustibles à transporter. Ce domaine nécessiterait donc également des évolutions importantes.

Enfin, le CEA présente un scénario « *non optimisé* » de déploiement d'un parc de RNR-Gaz avec transmutation des actinides mineurs, les questions relatives au cycle du combustible et au stockage des déchets n'étant pas abordées. En effet, il estime peu accessible le déploiement en 2040 d'un tel parc, compte tenu de l'absence de retour d'expérience de cette filière, des difficultés identifiées de tenue du combustible et des matériaux de structure à hautes températures et des besoins en plutonium nécessaires à un tel déploiement, besoins beaucoup plus importants que ceux estimés pour les RNR-Na. **L'IRSN considère que les arguments du CEA sont recevables.**

¹ ADS (Accelerator Driven System) : système « hybride », dédié à la transmutation, associant un réacteur nucléaire sous-critique, un accélérateur linéaire et une cible de spallation assurant un apport extérieur de neutrons.

² En mode homogène, les actinides mineurs sont incorporés, en faible proportion (2 à 5 %), au combustible du cœur. En mode hétérogène, ils sont concentrés dans des assemblages placés en périphérie du cœur, sur des supports inertes (cibles) ou sur des supports à base d'UO₂ (couvertures chargées en actinides mineurs ou CCAM).

Cependant, l'IRSN souligne que les choix de scénarios faits par le CEA sont fortement dépendants de la date du début de déploiement d'un parc de réacteurs RNR, fixée en 2040, qui impose, dès à présent, une certaine maturité des solutions envisagées. Si cette date devait être significativement repoussée, il pourrait être nécessaire de reprendre les études pour tenir compte des nouvelles connaissances acquises sur les filières de réacteurs de quatrième génération écartées à ce stade.

2. Evaluation du bien-fondé des scénarios

2.1 Scénario de référence (F4)

Selon le CEA, l'étude de ce scénario ne met pas en évidence de difficulté rédhibitoire quant à sa mise en œuvre. En effet, la conception des réacteurs ainsi que celle des procédés de fabrication et de traitement des combustibles bénéficient, d'une part du retour d'expérience acquis lors de l'exploitation des RNR-Na français (Rapsodie, Phénix et Superphénix) et du cycle du combustible associé, d'autre part d'importants programmes de recherche et de développement. Ces programmes visent notamment à aboutir à la réalisation, vers 2020, d'un démonstrateur (dénommé ASTRID) et d'ateliers pilotes de fabrication et de traitement. **L'IRSN relève toutefois que de nombreuses études et recherches restent à mener et que le retour d'expérience précité montre la nécessité d'innovations technologiques significatives (cœur hétérogène faiblement modéré, système de conversion d'énergie sodium/gaz, désassemblage des éléments combustibles, dissolveurs continus pour combustibles RNR...).** Néanmoins, l'échéancier du CEA apparaît compatible, d'un point de vue technique, avec le début du déploiement d'un parc de RNR-Na et du cycle du combustible correspondant vers 2040.

Le scénario F4 montre un déficit de plutonium pour fabriquer les combustibles des nouveaux réacteurs RNR-Na, dans la seconde phase de son déploiement (à partir de 2080). Pour résorber ce déficit, le CEA prévoit de réduire le temps de refroidissement des combustibles avant traitement de 5 ans à 3,4 ans. **L'IRSN estime que cette réduction aurait des conséquences significatives sur le dimensionnement des moyens de manutention des assemblages en réacteur, des emballages de transport et des installations du cycle.** Notamment, le traitement des combustibles usés pourrait être rendu plus difficile (dégradation importante des solvants liée à la très forte radioactivité α , β et γ des solutions à traiter, à l'accroissement des phénomènes de radiolyse...). Enfin, **la nécessité de traiter et de fabriquer les combustibles dans un délai raccourci rendrait le cycle très sensible aux aléas de fonctionnement des installations, augmentant les risques de défaut d'approvisionnement des réacteurs en combustibles.**

2.2 Scénarios de transmutation en RNR-Na

Les études des scénarios de transmutation présentées portent sur le multirecyclage, soit de la totalité des actinides mineurs, soit de l'américium seul.

Le CEA ne présente pas de scénario avec multirecyclage du neptunium seul ou du curium seul. **Les études effectuées par l'IRSN sur ce point confirment que ces scénarios ne sont pas pertinents.** En effet, les facteurs de réduction³ des inventaires des actinides mineurs seraient négligeables. En outre, les contraintes liées au recyclage du curium (dégagements thermiques et radioprotection) auraient une incidence très importante sur les installations du cycle, la manutention des assemblages combustibles en réacteur et les transports.

Dans les scénarios étudiés, le CEA retient la transmutation des actinides mineurs ou de l'américium provenant essentiellement des combustibles REP/MOX usés qui seraient traités, vers 2035, en vue de produire le plutonium nécessaire au déploiement de la première phase des réacteurs RNR. **A cet égard, l'IRSN estime que la transmutation des actinides mineurs provenant de ces combustibles REP/MOX doit être considérée dans les scénarios étudiés, quelle que soit la date du début de déploiement du parc RNR.** En effet, dans le cas où seule la transmutation des actinides mineurs provenant du traitement des combustibles des futurs RNR serait envisagée, les facteurs de réduction obtenus seraient faibles et limiteraient dès lors l'intérêt de la transmutation en termes de réduction d'inventaire.

³ Par convention, le facteur de réduction correspond au rapport entre les inventaires des actinides mineurs du scénario de référence (F4) et du scénario de transmutation considéré, établis au terme du scénario (2150).

Par ailleurs, le CEA détermine l'inventaire des actinides mineurs provenant du traitement des combustibles REP usés, jusqu'à la date de 2035, qui ne feront pas l'objet d'opérations de transmutation ; le CEA estime le nombre de colis de déchets vitrifiés correspondant. Toutefois, dans le cadre des scénarios présentés, il n'en tient pas compte dans les études relatives au stockage des déchets HAVL (haute activité à vie longue).

De même, le CEA ne considère pas dans son étude l'inventaire des matières (plutonium et actinides mineurs) présentes dans les installations du cycle, incluant les réacteurs, en fin de scénario (vers 2150). Or, l'IRSN estime que la gestion de cet inventaire final, qui peut représenter de l'ordre de 1 400 tonnes, constitue un élément majeur pour juger de l'intérêt d'ensemble des scénarios de transmutation étudiés. En effet, il résulte de présentations faites par le CEA lors des auditions de la CNE2, que l'incinération de 95 % de cet inventaire nécessiterait environ deux siècles supplémentaires. Si cet inventaire était conditionné en colis de déchets HAVL destinés au stockage géologique, les gains (emprise souterraine du stockage, volume excavé...) apportés par la mise en œuvre de la transmutation des actinides mineurs durant la période 2040-2150 seraient fortement réduits, et deviendraient même négligeables si les assemblages combustibles usés et les couvertures contenant des actinides mineurs, déchargés au-delà de la période examinée, étaient stockés directement.

Enfin, en l'état actuel des connaissances, les données nucléaires de base relatives aux actinides mineurs (sections efficaces, fractions de neutrons retardés, énergies de désintégration...) présentent des incertitudes importantes. Celles-ci influent sur la précision des résultats des études des scénarios (évolution des teneurs en actinides mineurs des combustibles et couvertures, neufs et irradiés, caractéristiques des flux de matières, puissance résiduelle due aux radionucléides émetteurs alpha...). Elles sont susceptibles d'affecter les données utilisées pour le dimensionnement des installations du cycle, des emballages de transport et du stockage géologique (par exemple, pour ce qui concerne les délais nécessaires pour réduire les puissances résiduelles des assemblages combustibles, couvertures et colis de déchets HAVL).

En conclusion, au regard de l'influence des hypothèses considérées de transmutation sur le dimensionnement du stockage géologique (notamment son emprise souterraine), l'IRSN estime que les scénarios étudiés doivent tenir compte des colis de déchets HAVL produits avant le début du déploiement du parc RNR ainsi que de l'inventaire final (masses de plutonium et d'actinides mineurs présentes dans les installations au terme du scénario). A cet égard, le CEA devrait, d'une part examiner l'impact de ces « talons » sur la réduction de l'inventaire des actinides mineurs et de la charge thermique des déchets HAVL, éléments dimensionnants du stockage géologique, d'autre part expliciter les choix possibles de gestion de ces matières et les durées associées (qui peuvent atteindre plusieurs siècles si de nouvelles opérations de transmutation étaient mises en œuvre).

Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus pour les scénarios étudiés par le CEA en intégrant les talons précités, évalués en 2150. L'IRSN retient que, quel que soit le scénario incluant la transmutation d'actinides mineurs, le facteur de réduction de l'inventaire des actinides mineurs, bien que significatif, reste inférieur à 3. L'ordre de grandeur global des quantités de matières destinées au stockage géologique n'est donc pas fortement modifié (à moins d'une prolongation des scénarios). Dans les conditions retenues dans les études, le recours aux opérations de transmutation ne fait donc pas apparaître un apport absolument déterminant en termes de réduction d'inventaire.

Inventaires du plutonium et des actinides mineurs à la fin des scénarios (2150)					
Scénario	F4	F2A	F2B	F1G	F1J
Masse totale de plutonium (ratio par rapport au scénario F4)	1	0,8	0,8	0,8	0,8
Masse totale des actinides mineurs tenant compte des talons initiaux et finaux (ratio par rapport au scénario F4)	1	2,9	1,9	2,3	1,7

(Les masses totales incluent les masses présentes dans les réacteurs, les installations du cycle et les déchets)

3. Incidence des scénarios de transmutation sur les installations et les opérations de transport

3.1 Réacteurs de puissance

L'analyse du CEA, qui reste très qualitative, conclut que la transmutation d'actinides mineurs dans des réacteurs RNR-Na (quel que soit le mode retenu) ne remet globalement pas en cause la sûreté de ces réacteurs.

Cette analyse très préliminaire n'appelle pas de remarque particulière de l'IRSN, s'agissant de la faisabilité des opérations de transmutation. Toutefois, l'IRSN considère que :

- pour ce qui concerne le mode homogène, l'évaluation de la diminution en valeur absolue de la contre-réaction Doppler et de l'augmentation de l'effet de vide, dues à la présence d'actinides mineurs dans le combustible, présentent des incertitudes importantes dues essentiellement aux données nucléaires ;
- pour ce qui concerne le mode hétérogène, qui influe peu sur les contre-réactions neutroniques du cœur, les puissances résiduelles importantes des couvertures neuves et usées nécessiteront de concevoir des entreposages spécifiques avant leur évacuation ou leur chargement en réacteur. Ces entreposages pourraient être situés dans la cuve du réacteur, ceci impliquant une augmentation de son diamètre, ou aménagés dans un équipement annexe, de type « barillet » en sodium ou en gaz, dimensionné à cet effet.

3.2 Installations du cycle du combustible

Afin d'apprécier la faisabilité de la mise en œuvre à une échelle industrielle des opérations du cycle du combustible associées aux scénarios étudiés, le CEA a mené une analyse fonctionnelle et technique des futures installations de ce cycle. Cette analyse, réalisée à partir des flux de matières à traiter et des procédés de fabrication et de traitement des combustibles, a pour but d'obtenir une « *image technique préliminaire* » mettant en évidence les points durs et les « verrous » technologiques.

3.2.1 Installations de fabrication des combustibles et des couvertures

L'introduction d'actinides mineurs dans les combustibles ou les couvertures conduit à augmenter significativement la puissance thermique et l'intensité des sources de rayonnements neutroniques et gamma des matières radioactives utilisées pour leur fabrication.

Dans ce contexte, la fabrication des combustibles et des couvertures chargées en actinides mineurs, selon le procédé dit COCA fondé sur la métallurgie des poudres, conduirait à limiter fortement la masse des lots de matières manipulées en tête de procédé, du fait des dégagements thermiques, et, par voie de conséquence, à multiplier le nombre d'équipements (mélangeurs, broyeurs...) et d'opérations à réaliser. Le CEA retient donc, au stade actuel, l'existence d'un « verrou » technologique majeur.

A cet égard, le CEA développe un nouveau procédé, dit de co-conversion, mettant en œuvre des poudres d'oxyde converties simultanément en fin de traitement des combustibles usés, qui devrait simplifier les premières étapes du procédé COCA, les plus contraignantes notamment en termes de radioprotection des opérateurs. Cependant, de fortes incertitudes demeurent quant à la possibilité de précipiter simultanément des mélanges d'uranium et d'actinides mineurs. **Aussi, la démonstration de la faisabilité de ce nouveau procédé de fabrication, tant à l'échelle du laboratoire qu'à l'échelle industrielle, n'étant pas apportée à ce jour, d'autres voies (dénitration thermique, cogélification...) sont étudiées par le CEA.**

En outre, la présence d'actinides mineurs dans le procédé conduirait à implanter notamment :

- une partie des équipements de procédé dans des cellules blindées munies de protections radiologiques adaptées ;
- des systèmes de refroidissement renforcés dans les entreposages de matières (sous forme de poudres, aiguilles ou assemblages).

A ce stade, l'IRSN retient que la faisabilité de la fabrication en enceintes blindées de combustibles ou de couvertures contenant des actinides mineurs reste à valider pour des cadences industrielles.

3.2.2 Installations de traitement des combustibles et des couvertures usés

Les opérations de transmutation entraînent une augmentation de la teneur en actinides mineurs dans les combustibles usés. Ceci peut induire des comportements différents des procédés, par exemple s'agissant de la fraction de matières insolubles. Par ailleurs, des modifications des procédés doivent être réalisées de manière à séparer les actinides concernés par la transmutation.

A cet égard, les études du CEA relatives aux évolutions des procédés de traitement des combustibles ou des couvertures, mettent en évidence des contraintes ou des difficultés majeures pour leur mise en œuvre à l'échelle industrielle. Le CEA conclut que la poursuite d'activités de recherche et de développement est nécessaire aussi bien sur le plan scientifique que sur le plan technologique.

L'IRSN retient notamment que devraient faire l'objet de développements particuliers :

- la mise au point des conditions de dissolution des couvertures chargées en actinides ;
- la définition et la qualification de schémas de procédé avec séparation des actinides mineurs, simplifiés et suffisamment éprouvés pour chacun des scénarios de transmutation étudiés ;
- la mise au point d'un procédé de co-conversion oxalique conduisant à la fabrication d'oxydes destinés aux combustibles porteurs ou non d'actinides mineurs, eu égard à la forte capacité de traitement requise pour réaliser ces opérations et à la possibilité de précipiter simultanément les mélanges contenant du plutonium ou de l'uranium avec des actinides mineurs.

Par ailleurs, la présence d'actinides mineurs dans les différents équipements de procédé devrait nécessiter de renforcer les systèmes de refroidissement ainsi que les systèmes de production et de distribution de l'air de dilution des gaz de radiolyse. De plus, des protections radiologiques adaptées devraient être mises en place dans les unités de séparation et de co-conversion contenant des solutions d'actinides mineurs séparés sous une forme concentrée.

En outre, l'augmentation des teneurs en éléments insolubles (platinoïdes, plutonium formé par successivement par transmutation et décroissance...), voire en produits de corrosion des gaines (du fait de conditions de dissolution agressives), dans les solutions de produits de fission pourrait nécessiter des évolutions du procédé de vitrification et des spécifications actuelles des déchets vitrifiés.

Enfin, le multirecyclage des actinides mineurs nécessiterait un besoin accru d'entrepôts de combustibles et de matières séparées dans l'usine de traitement. La présence d'entrepôts dédiés accroîtrait les inventaires de matières dans l'usine et donc les risques associés.

L'IRSN souligne qu'un travail très important a été effectué par le CEA à l'échelle du laboratoire, pour progresser dans la définition des procédés associés à la transmutation des actinides mineurs. Cependant, leur mise en œuvre industrielle reste problématique et un travail important serait encore à mener pour y parvenir.

3.3 Transports

Dans le cas des scénarios avec transmutation en mode homogène, les études présentées par le CEA montrent que les flux annuels de transport de combustibles neufs et de combustibles usés augmenteraient de manière limitée par rapport au scénario de référence (de l'ordre de 30 % à 70 %).

Dans le cas des scénarios avec transmutation en mode hétérogène, l'utilisation de concepts d'emballages similaires à ceux actuellement utilisés avec fractionnement des matières transportées (couvertures neuves ou usées, combustibles usés...), les flux de transport augmenteraient de manière importante (d'un facteur 3 environ). Aussi, le CEA n'exclut pas de concevoir de nouveaux types d'emballages. **L'IRSN relève que des « innovations technologiques » seraient nécessaires et estime qu'à ce stade, la démonstration de leur faisabilité n'est pas acquise.**

3.4 Stockage en couche géologique profonde

En liminaire, indépendamment du dossier examiné dans le présent avis, il convient de rappeler que les études réalisées par l'ANDRA montrent que les flux d'activité évalués au toit de la formation hôte pour un stockage géologique éventuel de déchets HAVL sur le site de Meuse/Haute-Marne, tant en situation normale qu'en situations altérées (densification du stockage, zone de plus forte perméabilité...), sont essentiellement dus aux produits de fission ou d'activation à vie longue facilement « mobilisables » (^{36}Cl , ^{99}Tc , ^{129}I , ^{135}Cs ...).

En effet, les actinides mineurs restent confinés dans le champ proche compte tenu de leur forte rétention dans les argilites du Callovo-Oxfordien. **Dans ce contexte, le flux d'activité associé aux actinides mineurs sortant de la formation hôte étant négligeable, les opérations de transmutation des actinides mineurs ne sont pas de nature à modifier les conclusions des études précitées.**

S'agissant de l'incidence sur le stockage géologique de la diminution de la charge thermique des déchets HAVL due à la transmutation des actinides mineurs, les études du CEA montrent que les gains apportés par les scénarios avec transmutation, en termes de réduction de l'emprise souterraine et du volume excavé de la zone de stockage HAVL, sont significatifs (un facteur 2 à 4,6 pour l'emprise souterraine et de l'ordre de 30 % à 50 % pour le volume excavé, selon la période préalable d'entreposage des actinides mineurs). **Toutefois, ces gains doivent être appréciés en regard, d'une part de la totalité de l'emprise des installations du stockage, d'autre part de l'inventaire des colis produits avant la mise en œuvre des scénarios avec transmutation et de l'option choisie quant à la gestion de l'inventaire final des actinides mineurs et du plutonium présents en fin de la période retenue (2150).**

En outre, selon les études du CEA, les gains les plus élevés en termes d'emprise souterraine du stockage et de volume excavé sont obtenus après une période d'entreposage de longue durée des colis HAVL avant leur stockage (120 ans). L'IRSN souligne que de telles durées nécessiteraient la mise en service d'installations d'entreposage, dont les exigences d'exploitation (surveillance, maintenance, conditions de reprise des colis, capacité de reconditionnement...) devraient être maintenues à une échelle de temps séculaire (ce qui pourrait nécessiter un renouvellement de ces installations durant la période d'entreposage considérée). **En regard des gains attendus pour le stockage géologique, l'apport global pour la sûreté et la radioprotection d'un entreposage séculaire des déchets HAVL avant leur stockage reste à démontrer (installations de surface de longue durée, transports associés).**

Enfin, la mise en œuvre de la transmutation de l'américium seul ou de l'ensemble des actinides mineurs pourrait conduire à une réduction significative du délai d'atteinte de la température maximale de la paroi des alvéoles, le ramenant de quelques centaines à quelques dizaines d'années, permettant ainsi, pendant la période d'exploitation du stockage, une surveillance des premiers modules de stockage durant leur « phase thermique »⁴. Par ailleurs, la réduction de la charge thermique des colis pourrait également être appréciable en termes de durée d'étanchéité requise des conteneurs pour isoler les verres des arrivées éventuelles d'eau aussi longtemps que leur température est supérieure à 50 °C. **Cet impact sur les aspects thermiques du stockage constitue un élément positif pour la sûreté.**

4. Conclusion

La transmutation des actinides mineurs conduirait à mettre en œuvre, dans l'ensemble des installations du cycle 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 et de concevoir de nouvelles installations et des moyens de transport adaptés.

De l'examen des études menées par le CEA, il ressort que la démonstration de la faisabilité des procédés à mettre en œuvre dans les installations de fabrication et de traitement nécessaires aux opérations de transmutation n'est pas encore acquise à l'échelle industrielle, les caractéristiques des matières ou des objets (poudres d'oxyde, aiguilles, assemblages...) à traiter ou à fabriquer pouvant induire de fortes contraintes sur le dimensionnement des équipements, des systèmes et des installations précitées.

⁴ Phase pendant laquelle le colis de verre est à une température supérieure à 50 °C et pendant laquelle toute arrivée d'eau au niveau du verre doit être évitée.

Par ailleurs, les gains escomptés en termes de réduction de l'emprise souterraine et du volume excavé d'un stockage géologique du type de celui envisagé sur le site de Meuse/Haute Marne seraient modestes, d'autant plus que les scénarios étudiés par le CEA ne tiennent pas compte des inventaires d'actinides mineurs (et plutonium) initial et final. Au plan de la sûreté du stockage, si la transmutation des actinides mineurs ne devrait pas modifier l'impact radiologique calculé du stockage, les flux d'activité évalués au toit de la formation hôte n'étant pas modifiés, la réduction de la durée de la phase thermique serait un élément favorable pour la sûreté du stockage géologique.

Au final, pour l'IRSN, les études examinées confirment que les gains espérés de la transmutation des actinides mineurs, en termes de sûreté, de radioprotection et de gestion des déchets, n'apparaissent pas décisifs au vu notamment des contraintes induites sur les installations du cycle du combustible, incluant les réacteurs et les transports, qui devraient mettre en œuvre des matières fortement radioactives à toutes les étapes.

Le Directeur général de l'IRSN



Jacques Repussard

Copies :

- M. le Directeur général de l'Autorité de sûreté nucléaire
- Mme la Directrice de l'ASN/DRC - FAR (2 exemplaires)