

Scientific Position Paper commun

La séparation et la transmutation comme complément potentiel au stockage géologique pour la gestion sûre et à long terme des déchets radioactifs de haute activité et de longue durée de vie

Résumé

Plus de quarante ans de recherches menées par l'ONDRAF et le SCK•CEN ont montré que le stockage géologique dans des argiles peu indurées de déchets radioactifs de haute activité et de longue durée de vie (y compris le combustible nucléaire usé s'il est déclaré comme étant un déchet) constituerait une solution de gestion sûre et viable à long terme. Selon l'évolution attendue du système de stockage seuls les radionucléides ayant les plus longues durées de vie pourraient atteindre la biosphère. Comme la diffusion des radionucléides à travers la barrière géologique est un processus très lent, même le relâchement des plus mobiles d'entre eux, soit les produits d'activation et de fission, serait étalé sur de longues périodes, entraînant une exposition de l'homme et de l'environnement aux rayonnements nettement inférieure aux limites réglementaires. Les actinides, qui sont particulièrement peu mobiles, ne contribueraient que marginalement à la dose ; cette dernière étant dominée par les produits d'activation et de fission de longue durée de vie. Dans un scénario d'intrusion humaine peu probable, après la fermeture du stockage, l'exposition est définie par la radiotoxicité des déchets. Pour une formation hôte donnée, l'emprise du stockage est principalement définie par les volumes finaux et la puissance thermique des déchets stockés.

La séparation et le conditionnement (P&C - *Partitioning and Conditioning*) et la séparation et la transmutation (P&T - *Partitioning and Transmutation*) du combustible nucléaire usé pourraient être bénéfiques pour le stockage géologique en réduisant la radiotoxicité et/ou la puissance thermique du combustible usé. Ces techniques ne sont aujourd'hui pas considérées comme applicables aux déchets déjà conditionnés (vitrifiés ou bitumés, ...).

Le projet MYRRHA du SCK•CEN, que le gouvernement belge a décidé de soutenir, sera une installation pilote qui étudiera la faisabilité de la transmutation (principalement des actinides mineurs) par un système piloté par accélérateur (ADS - *Accelerator Driven System*). Associé à un retraitement avancé et à la réutilisation du plutonium, de préférence dans de futurs réacteurs (systèmes à neutrons rapides), un cycle du combustible avec un ADS pourrait présenter des avantages pour le stockage géologique, à la fois en diminuant la radiotoxicité des déchets à stocker et en réduisant l'emprise requise d'une telle installation. Ces réacteurs à neutrons rapides ne sont pas prévus dans la politique énergétique belge actuelle.

L'éventuelle application future de cycles du combustible avancés ne peut cependant effacer le besoin d'une solution à long terme (jusqu'à des centaines de milliers d'années – étant donné la présence de produits de fission de longue durée de vie) pour la gestion sûre des déchets produits par le cycle du combustible avancé, ainsi que des déchets de haute activité déjà produits et des déchets de faible et moyenne activité et de longue durée de vie. Une telle solution de gestion sûre peut être apportée par le stockage géologique.

L'ONDRAF et le SCK•CEN collaborent étroitement depuis plusieurs décennies pour démontrer la sûreté et la faisabilité du stockage géologique, et continueront ainsi à l'avenir.

Sur la base de leurs missions légales respectives, l'ONDRAF et le SCK•CEN poursuivront leur collaboration autour de l'élaboration d'une stratégie de gestion durable des déchets pour l'inventaire belge des déchets radioactifs de haute activité et de longue durée de vie, en tenant compte des nouvelles approches qui pourraient favoriser sa mise en œuvre.

Ce *Scientific Position Paper* a été établi dans le cadre de la mission de communication de l'ONDRAF et du SCK•CEN.

Scientific Position Paper commun

Ce document est un *Scientific Position Paper* commun de l'ONDRAF (l'Organisme national belge des déchets radioactifs et des matières fissiles enrichies) et du SCK•CEN (le Centre belge d'Étude de l'Énergie Nucléaire) sur la recherche sur le stockage géologique ainsi que sur la séparation et la transmutation des déchets de haute activité et de longue durée de vie.

Le document a été rédigé dans le contexte belge actuel, à savoir :

- l'exécution de la loi sur la sortie progressive du nucléaire ;
- la suspension du retraitement du combustible nucléaire usé commercial et les options actuellement disponibles pour la gestion future du combustible usé ;
- la mise en œuvre future de la politique proposée concernant la gestion à long terme des déchets de haute activité et de longue durée de vie, c'est-à-dire le stockage géologique sur le territoire belge ;
- la décision du gouvernement belge de soutenir le projet MYRRHA dont la transmutation des actinides de longue durée de vie est le sujet de recherche phare ;
- dans le cadre de la mission de communication de l'ONDRAF et du SCK•CEN.

En Belgique, les déchets radioactifs sont produits par les activités portant sur le cycle du combustible nucléaire (production d'électricité, fabrication de combustible et retraitement¹), à la recherche ou aux applications médicales et industrielles de la radioactivité. Les déchets radioactifs belges sont classés en trois catégories : A, B et C, qui peuvent être liés au système international de classification des déchets. Les déchets de catégorie A correspondent aux déchets de faible et moyenne activité et de courte durée de vie dont la politique de gestion finale consiste en la mise en stockage en surface dans la commune de Dessel. Les déchets de catégorie B sont des déchets de faible et moyenne activité et de longue durée de vie. Les déchets de catégorie B sont conditionnés sous des formes très diverses (ciment, bitume, verre, métaux) ; une grande partie des déchets B déjà produits provient du retraitement du combustible nucléaire usé, soit dans l'ancienne usine Eurochemic (Dessel, Belgique), soit dans l'usine Orano à La Hague (France). Les déchets de catégorie C sont des déchets de haute activité émetteurs de chaleur. Les déchets de catégorie C actuels sont des déchets vitrifiés résultant

¹ Le retraitement est le traitement mécanique et chimique du combustible nucléaire usé dans le but de séparer les éléments potentiellement utiles (actuellement l'uranium et le plutonium ; peut-être d'autres dans le futur) des matières inutilisables (comme les produits de fission ou la plupart d'entre eux) qui sont ensuite traitées comme déchets.

du retraitement du combustible nucléaire usé². Les combustibles nucléaires usés (provenant principalement des centrales nucléaires de Doel et Tihange) sont potentiellement des futurs déchets de catégorie C, qui n'ont pas encore été déclarés comme tels.

Du point de vue de la radiotoxicité³, les déchets de catégorie A sont les moins radiotoxiques. Ils contiennent surtout des radionucléides de courte durée de vie (demi-vie < 30 ans) émetteurs bêta ou gamma. Ces nucléides résultent principalement de la fission d'isotopes d'uranium (U) ou de plutonium (Pu) dans un réacteur, de l'activation de matériaux structuraux (métaux, béton, ...) dans des installations nucléaires, ou d'autres activités liées aux applications de la radioactivité (recherche, médecine, ...). Les déchets de catégorie B contiennent également des radionucléides émetteurs alpha (parfois en grandes quantités) et des quantités plus importantes de radionucléides émetteurs bêta et gamma. Les émetteurs alpha sont principalement les isotopes de l'uranium et des éléments transuraniens. Les éléments transuraniens sont le plutonium et les actinides mineurs à savoir le neptunium (Np), l'américium (Am) et le curium (Cm). Ceux-ci sont produits au sein du combustible dans les réacteurs nucléaires. Certains d'entre eux ont une très longue demi-vie et sont très radiotoxiques lorsqu'ils sont ingérés ou inhalés. Les déchets de catégorie C contiennent les plus grandes quantités de radionucléides émetteurs alpha et bêta/gamma, et sont donc les plus radiotoxiques. Ils sont aussi les plus émetteurs de chaleur produite par décroissance radioactive. Les déchets des catégories B et C contiennent également des produits de fission de longue durée de vie (émetteurs bêta ou gamma), dont la demi-vie peut être supérieure à 100 000 ans.

Les politiques belges actuelles ou proposées pour la gestion à long terme des déchets radioactifs dépendent de la classification et du type de déchets.

- Pour les déchets de catégorie A, qui sont de courte durée de vie, une installation de stockage en surface sera construite à Dessel (elle est actuellement en phase d'autorisation).
- Pour les déchets des catégories B et C, le stockage géologique sur le territoire belge a été proposé par l'ONDRAF comme une solution sûre, réalisable et durable ; cette proposition devrait encore être formellement ratifiée pour devenir une politique nationale. Plus de quarante ans de recherches menées par l'ONDRAF et le SCK•CEN, conformément aux recommandations internationales, ont en effet montré que le stockage géologique de ces déchets dans des argiles peu indurées constituerait une solution de gestion à long terme sûre et faisable. Le stockage sûr de ces déchets dans une installation de stockage géologique

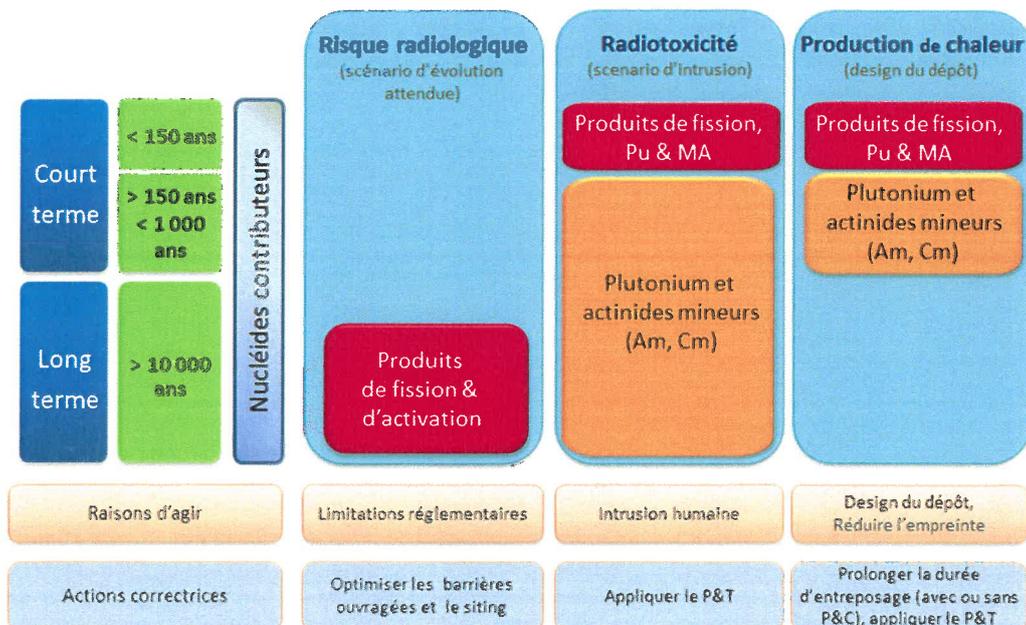
² Au début de la production d'énergie nucléaire en Belgique, le combustible nucléaire usé était envoyé à La Hague (France) pour retraitement. Ce processus a été interrompu en 1993 à l'issue d'un débat parlementaire et, depuis lors, aucun nouveau contrat de retraitement du combustible nucléaire usé n'a été conclu. L'uranium et le plutonium récupérés lors du retraitement ont été réintroduits dans le cycle du combustible nucléaire belge (sous forme de combustible UOX ou MOX). La reprise du retraitement pour le combustible usé commercial nécessite une décision du gouvernement fédéral.

³ La nocivité d'un radionucléide ou d'une matière radioactive lors de son ingestion ou inhalation est appelée radiotoxicité.

repose sur le concept de confinement et d'isolation des déchets résultant d'un choix approprié de barrières ouvragées et naturelles multiples, pendant une durée suffisante pour permettre à la décroissance radioactive de réduire le danger radiologique et pour que les relâchements finaux de radionucléides dans l'environnement soient bien inférieurs aux limites réglementaires. Les calculs effectués dans le cadre de l'évaluation de la sûreté dans le cas d'un scénario d'évolution attendue ont montré que seuls les radionucléides ayant les plus longues durées de vie pourraient atteindre la biosphère. Comme la diffusion des radionucléides à travers la barrière géologique est un processus très lent, même le relâchement des plus mobiles d'entre eux, soit les produits d'activation et de fission, serait étalé sur de longues périodes, ce qui entraînerait une exposition de l'homme et de l'environnement aux rayonnements nettement inférieure aux limites réglementaires. Les actinides, qui sont particulièrement peu mobiles, ne contribueraient que marginalement à la dose ; cette dernière étant dominée par les produits d'activation et de fission à vie longue.

Quel est l'impact des radionucléides sur la conception et la performance du stockage géologique ?

Les radionucléides peuvent avoir un impact sur la conception et la performance du stockage géologique de trois façons principales : par leur risque radiologique, leur radiotoxicité et leur production de chaleur.



Les deux premières ont trait à la sûreté à long terme d'un système de stockage géologique. La sûreté à long terme d'un système de stockage géologique est assurée par un certain nombre de barrières ouvragées et naturelles. Ces barrières isoleront et confineront les déchets de manière à ce que la décroissance radioactive puisse diminuer le danger radiologique et que les relâchements finaux dans l'environnement soient inférieurs aux limites réglementaires.

D'une manière générale, il existe deux types de scénarios dans lesquels les radionucléides contenus dans les déchets stockés peuvent atteindre la biosphère et conduire à des doses radiologiques. Le premier type concerne l'évolution à long terme attendue du système de stockage géologique, tandis que l'autre porte sur le cas peu probable d'intrusion humaine dans l'installation de stockage à un moment donné après sa fermeture.

- Dans l'évolution attendue d'une installation de stockage géologique, les déchets radioactifs et les barrières ouvragées se dégraderont lentement avec le temps et libéreront les radionucléides. Dans les installations de stockage construites dans l'argile, telles qu'elles sont actuellement étudiées dans le contexte belge, ces radionucléides migreront lentement, par diffusion, à travers la roche hôte et une partie d'entre eux pourraient atteindre un aquifère (de nombreux radionucléides se seront désintégrés en nucléides stables avant d'atteindre un aquifère). L'utilisation de l'eau de cet aquifère par la population (eau potable, eau d'irrigation, ...) conduira à une certaine exposition aux rayonnements nettement inférieure aux limites réglementaires. Il s'agit du risque radiologique, qui peut être attribué presque entièrement à un nombre limité de produits de fission et d'activation mobiles ayant une longue demi-vie (à savoir les Se-79, I-129, Cl-36, C-14, ...).
- Le deuxième type de scénarios implique une intrusion humaine involontaire (peu probable) dans l'installation de stockage géologique, par exemple en réalisant un forage qui intercepterait un colis de déchets. Il en résulterait une dose radioactive élevée pour les intrus et/ou une dose radioactive pour les riverains. Dans ce type de scénario, le risque est défini par la radiotoxicité des déchets. Dans le combustible usé, le plutonium est le principal contributeur à la radiotoxicité, suivi par les actinides mineurs (neptunium, américium et curium).

La production de chaleur des déchets de catégorie C détermine la distance entre les galeries de stockage et a donc un effet significatif sur le coût et l'emprise de l'installation de stockage. La puissance thermique est initialement déterminée par les produits de fission Cs-137 et Sr-90 et, dans une moindre mesure, par l'Am-241 et certains isotopes du Pu. Après quelques centaines d'années de décroissance, l'américium et le plutonium sont les principaux contributeurs à la puissance thermique.

La production de chaleur des déchets de catégorie B n'est pas suffisante pour affecter l'architecture du stockage.

Jusqu'à présent, les assemblages de combustible irradiés dans les réacteurs nucléaires (appelés combustibles usés) ne sont pas encore déclarés comme déchets radioactifs et sont entreposés sur les sites des centrales nucléaires belges.

Dans une étude comparative du SPF Economie⁴, six scénarios de gestion du combustible usé belge⁵ ont été déterminés en tenant compte de la loi sur la sortie progressive de l'énergie nucléaire (loi du 31 janvier 2003) et d'un certain nombre d'autres hypothèses. Cinq scénarios sont décrits ci-dessous⁶.

A. Stockage direct du combustible usé (sans retraitement ultérieur)

Dans ce scénario, le combustible nucléaire usé (UOX et MOX) n'est pas retraité. Il sera entreposé pendant plusieurs décennies (au moins cinquante ans) pour refroidir, après quoi il sera conditionné et stocké dans une installation de stockage géologique (en tant que déchet C).

B. Retraitement complet du combustible nucléaire usé

Dans ce scénario, l'ensemble du combustible nucléaire usé (UOX et MOX) est retraité. L'uranium récupéré peut être ré-enrichi pour être utilisé dans des réacteurs nucléaires belges ou étrangers. Le plutonium récupéré serait vendu à d'autres parties (étrangères) pour être utilisé dans leurs réacteurs nucléaires (civils). Le retraitement produit des déchets vitrifiés de haute activité (déchets C) et des déchets métalliques compactés de moyenne activité (déchets B).

C. Retraitement partiel du combustible nucléaire usé

Dans ce scénario, seule une partie du combustible nucléaire usé (une partie du combustible UOX et la totalité du combustible MOX) est retraitée. Dans ce cas, on considère que l'uranium et le plutonium récupérés seraient réutilisés dans les centrales nucléaires belges jusqu'à la fermeture de la dernière centrale en 2025. Le retraitement produit des déchets vitrifiés de haute activité (déchets C) et des déchets métalliques compactés de moyenne activité (déchets B). Le combustible usé qui n'est pas retraité est en outre déclaré comme déchet.

D. Séparation et conditionnement (P&C - *Partitioning and Conditioning*)

Dans ce scénario, le combustible nucléaire usé (UOX et MOX) serait séparé par des techniques de retraitement avancées en plusieurs flux de matières. Certains d'entre eux pourraient contenir des matières réutilisables (actuellement U et Pu ; éventuellement d'autres radionucléides), tandis

⁴ SPF Économie, PME, Classes moyennes et Énergie – Direction générale de l'Énergie - Division des applications nucléaires (2014). Étude comparative des stratégies de gestion du combustible nucléaire belge - Volume 2.

⁵ L'inventaire du combustible usé belge (actuel et prévu) contient du combustible UOX (oxyde d'uranium) et une petite quantité de combustible MOX (oxyde mixte (= uranium + plutonium)). Le combustible UOX est principalement produit à partir d'uranium naturel enrichi, mais peut également être produit à partir d'uranium retraité.

⁶ Le sixième, la recherche additionnelle pour explorer d'autres options de gestion, n'est pas abordé ici.

que les autres devraient être conditionnés comme déchets. Des techniques de conditionnement spécifiques pourraient être appliquées en fonction de la nature chimique des flux de déchets. L'idée est d'optimiser la matrice de conditionnement et/ou la stratégie de gestion en fonction des propriétés spécifiques du flux des déchets (par exemple, un temps de refroidissement plus long avant le stockage des radionucléides émetteurs de chaleur). Les techniques avancées de séparation ne sont pas encore appliquées à l'échelle industrielle, bien qu'un certain nombre d'entre elles soient déjà utilisées à petite échelle. Ce scénario commence donc par une phase de R&D pour étudier et sélectionner une stratégie de séparation et de conditionnement optimal du combustible utilisé, et le développer à l'échelle industrielle.

E. Séparation et transmutation (P&T - *Partitioning and Transmutation*)

Ce scénario s'appuie sur le précédent (P&C), mais tient également compte d'une installation de transmutation à l'échelle industrielle capable de transmuter les actinides en radionucléides de plus courte durée de vie. Pour la Belgique, ce scénario se concentre sur un système piloté par accélérateur (ADS - Accelerator Driven System) dont l'objectif est de traiter efficacement les déchets tout en considérant la production d'électricité comme un sous-produit (à la différence d'autres réacteurs rapides de type Generation IV⁷). Un cycle de combustible P&T devrait produire des déchets vitrifiés de haute activité (déchets C) et des déchets métalliques compactés de moyenne activité (déchets B) provenant du retraitement du combustible UOX et MOX utilisé, des déchets vitrifiés de haute activité (déchets C) et éventuellement des déchets B provenant du retraitement du combustible utilisé ADS et de nouveaux flux de déchets secondaires issus de la cible de spallation ADS. Ce scénario nécessite des travaux de R&D sur différentes étapes distinctes du cycle du combustible, parmi lesquelles la séparation du combustible utilisé et la sélection d'un processus approprié d'extraction des actinides mineurs, la fabrication de combustibles et/ou de cibles spécifiques, la démonstration de la transmutation des actinides mineurs dans un système piloté par accélérateur et le conditionnement des déchets produits au cours des différentes étapes de ce cycle du combustible. Ces différentes étapes ne seraient pas nécessairement mises en œuvre sur le territoire belge.

⁷ Les réacteurs *Generation IV* sont un ensemble de concepts de réacteurs innovants qui font actuellement l'objet de recherches (par exemple par le *Generation IV International Forum* (www.gen-4.org)).

Qu'est-ce que la transmutation et quel rôle peut jouer MYRRHA dans son développement ?

En termes généraux, la transmutation vise à transformer une matière radiotoxique dangereuse en une matière moins radiotoxique, en la bombardant de neutrons rapides. Le but du processus est de transmuter les noyaux lourds (qui se décomposent typiquement par désintégration alpha avec de longues demi-vies) en noyaux plus légers (qui se décomposent typiquement par désintégration bêta avec de plus courtes demi-vies). De cette façon, les déchets résultants stockés dans une installation de stockage géologique sont moins dangereux en cas d'intrusion humaine. De plus, la puissance thermique des déchets peut être réduite, ce qui est bénéfique pour l'emprise et le coût de l'installation de stockage.

L'application de la séparation et de la transmutation est limitée (en pratique) aux actinides contenus dans le combustible nucléaire utilisé. Pour d'autres nucléides ou d'autres types de déchets, la séparation et la transmutation ne sont actuellement pas considérées comme réalisables dans la pratique.

La faisabilité scientifique du P&T a été démontrée. Toutefois, des efforts importants de R&D et la mise en service d'installations de démonstration à une échelle suffisamment grande sont encore nécessaires pour mettre au point des processus de P&T industriels viables et pour améliorer la fiabilité des estimations relatives aux incidences écologiques, sociétales et économiques. L'Europe a identifié quatre éléments fondamentaux à développer à l'échelle de l'ingénierie : 1) retraitement avancé des combustibles usés de réacteurs à eau légère ; 2) fabrication de combustibles de transmutation spécifiques ; 3) transmutation dans un transmutateur à l'échelle préindustrielle et 4) retraitement du combustible de transmutation.

MYRRHA est un prototype d'installation de démonstration prévu pour répondre au troisième élément fondamental de la liste précitée en ce qui concerne, entre autres, l'étude de la transmutation d'actinides mineurs (Am principalement) issus du combustible nucléaire utilisé en fonctionnant comme une installation d'essai pour divers matériaux de la matrice de combustible et pour différentes compositions en actinides mineurs.

Le gouvernement belge a décidé de soutenir la réalisation de l'infrastructure de recherche MYRRHA sur le site du SCK•CEN. Ce projet étudie la faisabilité de la transmutation par un système piloté par accélérateur.

Compte tenu de cette décision, il est important de mettre en évidence les principaux impacts d'un scénario P&C/P&T sur la stratégie de gestion à long terme des déchets proposée pour les déchets B&C (stockage géologique) en Belgique.

- Impact du P&T sur la radiotoxicité du combustible utilisé

Quelques centaines d'années après le déchargement du combustible nucléaire utilisé du réacteur, le plutonium devient le principal contributeur à la radiotoxicité, suivi des actinides mineurs. La radiotoxicité des produits de fission et d'activation est plus élevée au départ, mais diminue plus rapidement. Dans un scénario P&T, les actinides mineurs pourraient être recyclés dans l'ADS. L'objectif ultime est de produire des déchets dont la radiotoxicité diminue plus rapidement que le combustible utilisé initial. La mesure dans laquelle la séparation et la transmutation auront un impact sur la radiotoxicité du combustible utilisé dépend fortement de l'efficacité du cycle du combustible P&T. Une séparation du Pu avec sa fission complète (de préférence dans des réacteurs rapides de génération IV ou dans un ADS) pourrait réduire la radiotoxicité du combustible utilisé à 10 % de sa valeur initiale. En outre, si une transmutation complète de l'américium était réalisée (de préférence dans un ADS), la radiotoxicité serait réduite davantage, à environ 1 % de sa valeur initiale. Une telle diminution de la radiotoxicité réduirait le risque radiologique associé à l'intrusion humaine dans une installation de stockage.

- Impact du P&T sur la puissance thermique du combustible utilisé

Dans un premier temps, la puissance thermique du combustible nucléaire utilisé est déterminée par l'activité des produits de fission de courte durée de vie Sr-90 et Cs-137. Après quelques centaines d'années de décroissance, les éléments transuraniens (principalement Am-241, mais aussi certains isotopes du Pu) sont les principaux contributeurs à la puissance thermique. Un procédé de séparation avancé, consistant à retirer ces nucléides du combustible utilisé pour les réutiliser comme combustible dans un ADS (dans le cas de l'Am et du Pu), ou à adopter une stratégie de gestion séparée des déchets (dans le cas du Sr et du Cs – avec entreposage intermédiaire prolongé), réduirait dès lors la puissance thermique des déchets à mettre en stockage. Une réduction de la puissance thermique a un impact significatif sur l'emprise d'une installation de stockage géologique, réduisant ainsi considérablement ses coûts.

- Impact du P&T sur l'exposition radiologique à long terme

Dans l'évolution attendue d'un système de stockage géologique, l'exposition aux rayonnements peut être attribuée presque entièrement à un nombre limité de produits de fission et d'activation ayant une longue demi-vie (à savoir Se-79, I-129, Cl-36, C-14, ...). Malgré leur forte radiotoxicité, les actinides n'ont qu'un impact limité en matière d'exposition radiologique, à cause de leur faible mobilité dans la barrière ouvragée et l'environnement argileux de la roche hôte. Un scénario P&T conduit à la production de produits de fission et d'activation supplémentaires et donc à une augmentation de leur inventaire. La transmutation des produits de fission et d'activation elle-même n'est en fait pas considérée comme réalisable dans la pratique. Par conséquent, indépendamment d'un scénario P&C/P&T, une stratégie de gestion à long terme pour (les déchets contenant) ces

nucléides reste nécessaire. Étant donné la longue demi-vie de ces nucléides, le stockage géologique constitue la seule solution de gestion acceptée au niveau international.

- Impact sur les déchets des catégories C et B déjà produits

Dans les déchets vitrifiés, les radionucléides sont constitués principalement de produits de fission et de tous les actinides mineurs (en faibles quantités par rapport aux produits de fission) qui sont dispersés de façon homogène dans une matrice de verre stable. De plus, ces déchets produisent des niveaux de rayonnement très élevés. Il n'est dès lors pas considéré comme pratiquement réalisable, ni recommandable, de récupérer les radionucléides (c'est-à-dire d'inverser le processus de vitrification) de la matrice de déchets pour appliquer le P&C ou le P&T. La même argumentation s'applique aux déchets de catégorie B déjà produits (tels que les déchets bitumés), qui contiennent encore moins d'actinides. C'est pourquoi le stockage géologique est également nécessaire en tant que solution sûre de gestion des déchets pour les déchets B&C conditionnés déjà produits.

- Nouvelles formes de déchets produits dans un scénario P&C/P&T

Outre les déchets de haute activité et de longue durée de vie comparables aux déchets existants, un cycle du combustible avancé dans lequel les P&C/P&T sont appliqués produira également de nouveaux types de déchets de catégorie B, augmentant ainsi la quantité de ce type de déchets dans l'inventaire belge. Dans le cadre d'un scénario P&C, il est possible de développer des matrices spécifiques sur mesure dans lesquelles des flux de déchets spécifiques pourraient être immobilisés. En sus du flux de déchets Cs/Sr déjà mentionné, on pourrait aussi envisager une matrice de déchets spécifique ciblant (par exemple) les produits de fission de longue durée de vie qui seraient les nucléides les plus mobiles dans une installation de stockage géologique, contribuant ainsi à la sûreté à long terme d'une telle installation. Cela signifie évidemment qu'il convient de développer des matrices qui ont des performances similaires à celles de la matrice UOX.

Conclusion

Indépendamment du scénario choisi pour la gestion du combustible nucléaire usé, une solution à long terme (jusqu'à des centaines de milliers d'années – en raison de la présence de produits de fission de longue durée de vie) est en tout état de cause nécessaire pour la gestion sûre des déchets radioactifs issus du cycle du combustible nucléaire, ainsi que des déchets de haute activité déjà produits et des déchets de faible et moyenne activité et de longue durée de vie. L'application éventuelle de cycles du combustible avancés à l'avenir ne peut éliminer ce besoin. Une telle solution de gestion sûre peut être fournie par une installation de stockage géologique. L'ONDRAF et le SCK•CEN collaborent étroitement depuis plusieurs décennies pour démontrer la sûreté et la faisabilité d'une telle solution, et continueront à le faire à l'avenir.

Un cycle du combustible avancé qui comprend le P&C/P&T en plus de la réutilisation de l'U/Pu, par exemple dans des réacteurs rapides de quatrième génération ou des ADS, pourrait offrir des avantages pour le stockage géologique, à la fois en réduisant la radiotoxicité des déchets à mettre en stockage, en proposant des stratégies adaptées de gestion des déchets pour certains nucléides et flux de déchets, et en ayant un impact positif sur l'emprise requise d'une telle installation de stockage. Ces réacteurs à neutrons rapides ne sont pas prévus dans la politique belge actuelle en matière d'énergie.

Toutefois, étant donné qu'un tel cycle du combustible est encore en phase de R&D, les avantages réels pour le stockage géologique en particulier et pour le cycle du combustible en général sont aujourd'hui difficiles à estimer avec exactitude. Afin de bénéficier d'une image complète des avantages et des inconvénients d'un cycle du combustible avancé avec séparation et transmutation, une analyse minutieuse et réaliste du cycle de vie complet est nécessaire. Une telle analyse du cycle de vie devrait également tenir compte des aspects de la radioprotection, de l'économie, de l'utilisation des ressources naturelles, de la planification et de l'acceptabilité sociétale. Le projet MYRRHA contribuera grandement à accroître les connaissances sur la transmutation en Europe.

Sur la base de leurs missions légales respectives, l'ONDRAF et le SCK•CEN poursuivront leur collaboration autour de l'élaboration d'une stratégie de gestion durable des déchets pour l'inventaire belge des déchets radioactifs de haute activité et de longue durée de vie, en tenant compte des nouvelles approches qui pourraient favoriser sa mise en œuvre.



Eric van Walle
Directeur général
SCK•CEN



Marc Demarche
Directeur général
ONDRAF

août 2019

Le Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire (SCK•CEN) se consacre quotidiennement au développement d'applications pacifiques de l'énergie nucléaire. Le SCK•CEN vise à développer des technologies innovantes pour répondre aux questions sociales et aux besoins dans le domaine de l'énergie nucléaire et des rayonnements ionisants.

Au service de la collectivité, l'ONDRAF, l'Organisme national des déchets radioactifs et des matières fissiles enrichies, gère tous les déchets radioactifs en Belgique, aujourd'hui et demain, en développant et en mettant en œuvre de solutions qui respectent la société et l'environnement.