Trajet : Quand prendre la décision définitive ?
Concernant la réversibilité, la récupération des déchets, générations futures, nouvelles technologies

PRÉSENTS POUR LE FUTUR
Dialogue sur l'avenir des déchets radioactifs.

La recherche et la technologie doivent fournir doivent fournir des solutions innovantes…

… c'est à la société et aux décideurs politiques de décider des solutions à mette en œuvre.

La parole à Hamid Aït Abderrahim, ingénieur nucléaire, professeur de physique des réacteurs à l'UC Louvain et ex-directeur général adjoint du SCK CEN. Aujourd'hui, il apparaît souvent dans les médias en tant que directeur général de MYRRHA, une association internationale qui veut construire à Mol, à des fins de recherche, un réacteur nucléaire subcritique piloté par un accélérateur à particules. Ce type de réacteur – appelé en anglais 'Accelerator Driven System' (ADS), permettra entre autres d'étudier la faisabilité de la 'transmutation' de combustible usé.

"En ce qui concerne la gestion des déchets nucléaires, et plus particulièrement du combustible usé, on développe des technologies qui peuvent avoir un grand impact sur le stockage géologique éventuel de ces matériaux," affirme d'emblée Hamid Aït Abderrahim en commençant l'interview. "J'approuve pourtant entièrement la décision de principe du gouvernement d'opter pour le concept de stockage géologique comme des destination finale des déchets de haute radioactivité. Mais nous devons laisser la porte ouverte à une meilleure utilisation de ce stockage et du combustible usé. Nous pouvons le faire en investissant dans des solutions technologiques de pointe."

Hamid Aït Abderrahim est ingénieur nucléaire, diplômé en physique des réacteurs et directeur général de l'ISBL MYRRHA. Il a une longue expérience des recherches sur la production d'énergie nucléaire et de sujets connexes. Pendant plus de 15 ans, il a été directeur-général adjoint au SCK CEN. Il s'intéresse actuellement aux réacteurs de 4e génération, aux cycles avancés fermés de combustible et à la transmutation des déchets nucléaires.
Hamid Aït Abderrahim dirige le projet MYRRHA ADS à l'échelon européen et est l'un des coordinateurs de plusieurs projets EC Framework FP5, FP6, FP7 et H2020. Il a été président du groupe Strategic Research Agenda et de la Sustainable Nuclear Energy Technological Platform (SNETP) au niveau européen. Il est vice-président du t Nuclear Science Committee de l'OCDE/AEN, membre du comité scientifique d'EDF et membre du groupe consultatif permanent pour l'énergie nucléaire du directeur-général de l'IAEA. Il enseigne aussi la physique des réacteurs et le génie nucléaire à l'Université Catholique de Louvain (UCLouvain).

Le recyclage du combustible nucléaire usé, un vieux concept

Hamid Aït Abderrahim est le parrain en Belgique de ce qu'on appelle le 'partitionnement' et la 'transmutation', associés à l'ADS, du combustible nucléaire usé, c'est-à-dire des éléments combustibles du cœur d'une centrale nucléaire qui sont remplacés parce qu'ils ne peuvent plus maintenir la réaction en chaîne de la fission nucléaire. Ce combustible nucléaire usé contient pourtant encore d'importantes quantités d'uranium et de plutonium qu'il est possible de recycler.

"Dès le début de l'ère nucléaire, des physiciens, des chimistes et des ingénieurs ont développé des techniques pour recycler le combustible usé," explique Hamid Aïd Abderrahim. "À l'époque, l'idée était de réutiliser le combustible au lieu de le remplacer par de l'uranium issu de l'extraction minière. L'extraction d'uranium est en effet la phase de tout le cycle du combustible nucléaire qui a le plus d'impact sur l'environnement. Pour un réacteur de 1.000 mégawatts, qui consomme en quatre ans et demi environ 25 tonnes d'oxyde d'uranium enrichi à 4,5%, il faut extraire environ 50.000 tonnes de minerai d'uranium. C'est pourquoi le recyclage (appelé 'retraitement' dans le jargon nucléaire) a été dès le premier jour un sujet de recherche et de développement."

De plus, le secteur de l'énergie nucléaire s'est fortement développé dans le monde durant les années 1970 et au début des années 1980. On prévoyait que l'industrie minière ne pourrait lus répondre à la demande d'oxyde d'uranium. Ce n'est que lorsque la consommation d'oxyde d'uranium a commencé à stagner – après la catastrophe de Tchernobyl – que les prix du minerai d'uranium ont chuté, ce qui a réduit l'engouement pour le recyclage.

Pourtant, il y a encore des pays qui retraitent leur combustible nucléaire usé. "Dans 1 000 kg, on peut récupérer 935 kg d'uranium réutilisable et 12 kg de plutonium. Mais il y a encore d'autres substances dans le combustible usé, comme des actinides dits 'mineurs' (neptunium, américium et curium) et environ 50 kg de produits de fission. Ce sont les fragments d'atomes qui subsistent après la scission d'un grand noyau d'atome comme uranium en atomes plus petits, principalement le strontium, le césium, le zirconium, l'iode, etc."

La plupart des produits de fission et les actinides mineurs sont instables et donc radioactifs. Au début, ce sont les produits de fission qui contribuent le plus au rayonnement direct et intense qui est produit par le combustible usé. Mais ces produits de fission sont aussi ceux qui se désintègrent le plus vite. Quelques centaines d'années après que combustible usé a été extrait du réacteur, le plutonium contribuera le plus à la radiotoxicité, suivi par les actinides mineurs. Ils sont la principale raison pour laquelle nous devons isoler ces déchets pendant des centaines de milliers d'années. De plus, ils constituent aussi à long terme la principale cause d'émission de chaleur dans le combustible usé.

Recherches sur le retraitement avancé

"Au cours des dernières décennies, la Belgique a retraité ou recyclé une petite partie de son combustible nucléaire usé", précise Hamid Aït Abderrahim. "L'uranium et le plutonium récupérés sont réutilisés dans nos réacteurs nucléaires sous forme de combustible MOX (mixed oxide fuel). Les actinides mineurs et les produits de fission ont été encapsulés dans du verre (vitrifiés) et sont considérés comme des déchets de haute radioactivité. Aujourd'hui, la

Belgique ne recycle plus son combustible usé. Il est actuellement stocké en toute sécurité sur les sites des centrales nucléaires."

La recherche a maintenant atteint un stade où nous pouvons envisager d'utiliser ces actinides mineurs de manière utile comme futur combustible nucléaire. Cela signifierait aussi que nous pourrions réduire la durée de la radiotoxicité du combustible nucléaire usé.

"Pourtant, les recherches sur le 'retraitement avancé' (appelé 'partitionnement' dans le jargon nucléaire) se poursuivent, au niveau international mais aussi en Belgique", indique Hamid Aït Abderrahim. "Depuis les années 1990, des pistes prometteuses ont été développées. La principale consiste à isoler aussi les actinides mineurs du combustible usé et à les réutiliser. Certains laboratoires parviennent à extraire plus de 99,9 % du neptunium et de l'américium présents dans le combustible usé. Pour le curium, nous n'atteignons pas encore ces chiffres, mais nous progressons. Il nous faut maintenant faire passer le processus à l'échelle préindustrielle. Là aussi, il y a des progrès". L'un des pionniers de cette recherche, le laboratoire ATALANTE de Marcoule (CEA, France), traite actuellement des lots de 50 kg de combustible usé pour en isoler les actinides.

Le réacteur de recherche MYRRHA

Ces actinides mineurs peuvent à leur tour être scindés et dégager suffisamment de chaleur pour produire de l'électricité, par exemple. Cependant, contrairement au MOX, ils ont besoin d'un autre type de réacteur nucléaire, à savoir un réacteur subcritique qui génère des neutrons rapides et dans lequel sont chargées des matières fissiles à haute concentration d'actinides mineurs.

"C'est là qu'entre en jeu le projet belge MYRRHA. MYRRHA est l'acronyme de 'Multi-purpose hYbrid Research Reactor for High-tech Applications', une nouvelle infrastructure de recherche que nous sommes en train de construire au SCK CEN. Il s'agit d'un réacteur nucléaire 'sous-critique' piloté par un puissant accélérateur linéaire de protons", explique Aït Abderrahim. Les simulations indiquent que les réacteurs de type MYRRHA peuvent fonctionner en toute sécurité avec au maximum 45 % d'actinides mineurs dans le cœur du combustible. MYRRHA servira donc de premier grand prototype de réacteur au monde qui fournira des informations importantes sur la possibilité de fissionner des actinides mineurs. Les réacteurs critiques rapides pourraient également fissionner les cœurs de ces actinides, mais à une échelle plus limitée : pour ces réacteurs, les actinides mineurs ne peuvent constituer que 2 à 4 % du combustible nucléaire.

Influence sur le stockage géologique

"À mes yeux, la recherche a maintenant atteint un stade où nous pouvons envisager d'utiliser ces actinides mineurs de manière utile comme futur combustible nucléaire. Cela signifierait aussi que nous pourrions réduire la durée de la radiotoxicité du combustible nucléaire usé", affirme le directeur du MYRRHA. Les produits de fission des actinides mineurs se désintègrent plus rapidement et dégagent moins de chaleur. La transformation des actinides en produits radioactifs à durée de vie plus courte est également appelée 'transmutation'."

“Même si des efforts considérables de R&D sont encore nécessaires pour la démonstration préindustrielle, nous devons saisir cette opportunité”, estime Hamid Aïd Abderrahim. “D'autant plus que le calendrier de ces recherches est compatible avec celui de l'approbation, de la construction et de la mise en service d'un dépôt géologique.”

Selon Hamid Aït Abderrahim, le partitionnement et la transmutation ne rendront cependant pas superflu le stockage géologique. “Mais si nous pouvons optimiser ce stockage en y enfouissant moins de déchets, avec une radiotoxicité à long terme plus faible et une moins grande production de chaleur, il peut en résulter un stockage avec une empreinte beaucoup plus petite.”

La question qui se pose est de savoir si cela vaut la peine de faire ce genre de recherche pour un pays comme la Belgique, qui sort progressivement de l'énergie nucléaire ? Réponse d’Aït Abderrahim : "Nous ne devons pas nous limiter à la perspective de la seule Belgique, mais penser à l'échelle de la planète. On s’inquiète beaucoup des énormes quantités d'énergie (électrique) dont l'humanité aura besoin à l'avenir. Dans le même temps, nous devons décarboniser et évoluer vers une société neutre en CO_2. La transition vers des sources d'énergie durables inclura l'énergie nucléaire dans de nombreux pays. C'est pourquoi la question des ‘futurs’ déchets nucléaires refait surface. Les nouvelles technologies peuvent à tout le moins optimaliser les concepts de stockage géologique.”

Qu’en est-il des produits de fission ?

“Nous pouvons aussi isoler chimiquement certains produits de fission (strontium, césium, zirconium, iode,...) du combustible nucléaire utilisé. Personnellement, je pense qu'il est judicieux de le faire car il s'agit de produits à courte durée de vie. En les séparant du combustible usé, nous pouvons même envisager de les entreposer en surface. Cette technologie de séparation avancée – appelée par les chercheurs ‘partitionnement et conditionnement’ – nécessite certes des recherches scientifiques, techniques et de démonstration supplémentaires, mais il vaut au moins la peine de l’envisager. En particulier pour les éléments qui contribuent le plus, à court terme, aux effets thermiques des déchets nucléaires.”

Un effort européen commun

L'Europe a identifié quatre piliers pour étudier la faisabilité à l'échelle industrielle des technologies avancées dont il vient d’être question. Le premier pilier est le retraitement avancé du combustible usé des réacteurs nucléaires actuels. Le laboratoire français ATALANTE de Marcoule, cité plus haut, joue un rôle de pointe dans ce domaine. Le deuxième pilier est la fabrication de combustible spécifique fortement chargé en actinides mineurs susceptibles de faire l’objet d’une transmutation. Le Centre commun de recherche EURATOM à Karlsruhe, en Allemagne, est actuellement le meilleur site pour cette activité. Le troisième pilier est la transmutation, pour laquelle le projet MYRRHA fait figure de leader. Enfin, il y a le retraitement des déchets des réacteurs de transmutation par le biais du ‘pyrotraitement et de l'électro-raffinage’. Pour ces activités, il y a des acteurs en Italie et en République tchèque. “En combinant ces quatre éléments, nous pouvons développer au niveau européen une stratégie qui pourrait traiter le combustible nucléaire usé des 14 pays de l'UE dotés de centrales nucléaires commerciales”, selon Hamid Aït Abderrahim.

La transition vers des sources d'énergie durables inclura l'énergie nucléaire dans de nombreux pays. C'est pourquoi la question des 'futurs' déchets nucléaires refait surface. Les nouvelles technologies peuvent à tout le moins optimaliser les concepts de stockage géologique.

"Bien que logique, un tel traitement centralisé du combustible usé n'est évidemment pas pour demain. Nous construisons actuellement la phase I de MYRRHA, avec le soutien du gouvernement belge. Cette phase I comprend la conception et la construction de la première partie de l'accélérateur linéaire. Elle se compose par ailleurs de la 'Proton Target Facility' et de la 'Fusion Target Station', dans lesquelles nous pouvons produire des radio-isotopes médicaux innovants, mais aussi mener des recherches fondamentales et appliquées en physique et en étude des matériaux. Cette première phase devrait être achevée au cours de l'année 2027. La phase II consistera à améliorer les performances de l'accélérateur. La phase III sera la construction du réacteur sous-critique, qui devrait être achevé (selon le planning actuel) en 2036". Aït Abderrahim rappelle que MYRRHA sera une installation de recherche polyvalente. La limitation de la radiotoxicité et des émissions de chaleur du combustible usé n'est qu'un des nombreux sujets de recherche que MYRRHA étudiera.

"La recherche et la technologie apportent des solutions innovantes", conclut le directeur de MYRRHA. "C'est à la société et aux décideurs politiques de décider de la mise en œuvre de ces innovations. Les solutions sur lesquelles nous travaillions il y a quarante ans ne suffisent peut-être plus aujourd'hui. La société place constamment la barre plus haut en termes de sûreté, de sécurité, de durabilité,…"

"L'actuelle décision de principe du gouvernement de s'orienter vers le stockage géologique des déchets de haute radioactivité est à mon sens une décision rationnelle. En même temps, nous devons laisser la porte ouverte à la poursuite de la recherche sur des solutions alternatives afin qu'une décision plus optimale puisse être prise à terme. Nous avons déjà quelque chose en développement qui peut devenir réalité dans un délai plus court que la fermeture du stockage géologique. Il est donc logique de prendre aujourd'hui une décision de principe, mais aussi de laisser la porte ouverte à de nouveaux développements. Nous devons oser appliquer ce genre de rationalité au problème des déchets radioactifs".

Plus concernant MYRRHA:

Jean-Pol Poncelet en Hamid Aïd Abderrahim, MYRRHA, un (autre) regard sur l'énergie nucléaire. Editions de l'Académie Royale de Belgique. https://academie-editions.be/accueil/422-myrrha-un-autre-regard-sur-l-energie-nucleaire.html

Brochure: 'MYRRHA, innovating is in our genes' – SCK CEN – MYRRHA, een onderzoerksinfrastructuur uniek in de wereld.

Website (Engelstalig): 'MYRRHA, the world's first large scale accelerator driven system', https://myrrha.be/about-myrrha