

# Étude de combustibles de remplacement

Ray Sollychin

*Dans le cadre de l'INPRO, des experts étudient la possibilité de recourir à des cycles du combustible fondés sur le thorium pour aider à parvenir à une énergie nucléaire durable au XXI<sup>e</sup> siècle.*

Tout comme l'uranium, le thorium est une matière fertile qui peut être utilisée pour produire une matière fissile, laquelle peut, à son tour, servir de combustible dans un réacteur nucléaire. Dans le cadre de l'INPRO, on étudie la possibilité de recourir au thorium en vue de faciliter le déploiement à grande échelle de systèmes d'énergie nucléaire à l'avenir au titre d'un projet de coopération intitulé « Poursuite de l'étude des cycles du combustible au thorium ». Les parties au projet sont la Commission européenne, l'Inde, le Canada, la Slovaquie, la Fédération de Russie, la Chine, la France et la République de Corée.

Les neutrons produits par une réaction de fission de  $^{235}\text{U}$  peuvent également servir à convertir par capture des matières fertiles comme  $^{238}\text{U}$  et  $^{232}\text{Th}$  en de nouvelles matières fissiles, à savoir respectivement  $^{239}\text{Pu}$  et  $^{233}\text{U}$ , ce qui est important pour accroître les disponibilités en matières fissiles afin d'assurer la durabilité de l'énergie nucléaire.

La principale préoccupation suscitée par la production d'une grande quantité de  $^{239}\text{Pu}$  a trait à la prolifération des matières, car  $^{239}\text{Pu}$  peut être utilisé pour fabriquer une arme nucléaire. La même préoccupation en matière de prolifération des matières existe dans le cas de l'utilisation du thorium, vu que  $^{233}\text{U}$  peut théoriquement être utilisé dans une arme nucléaire. Toutefois, la présence d'une faible quantité du produit de fission  $^{232}\text{U}$ , dont la décroissance radioactive émet un puissant rayonnement gamma fortement pénétrant, rend les armes à  $^{233}\text{U}$  plus difficiles à dissimuler et bien plus dangereuses à manipuler. En outre, à notre connaissance, aucune arme à base de  $^{233}\text{U}$  n'est en cours de développement dans le monde aujourd'hui et en vertu du moratoire sur les essais en place actuellement, il serait difficile de démontrer et de tester le succès du développement de nouvelles technologies d'armement faisant appel à  $^{233}\text{U}$ .

On pourrait aussi améliorer la résistance à la prolifération du cycle du combustible au thorium dans les modèles futurs de réacteur à neutrons thermiques en « recyclant »  $^{233}\text{U}$  à l'intérieur du réacteur sans avoir à le sortir de l'installation sécurisée en vue de son retraitement.

L'utilisation du thorium pourrait permettre de réduire la production de plutonium et d'éléments transuraniens et aider à éliminer le plutonium militaire. Dans certains modèles de réacteur utilisant le thorium, on peut « brûler » le plutonium, méthode pratique et économique pour l'élimination de matières utilisables pour des armes nucléaires.

Le combustible au thorium possède des propriétés thermiques et physiques et une performance sous irradiation qui sont meilleures que celles du combustible à l'uranium. Il pourrait constituer un meilleur choix pour les modèles de systèmes d'énergie nucléaire fonctionnant à température plus élevée, par exemple pour des applications non électriques. En outre, le point de fusion du dioxyde de thorium est supérieur d'environ  $500^\circ\text{C}$  à celui du dioxyde d'uranium. Cette différence procure une marge de sûreté accrue en cas de surtension temporaire ou de perte de caloporteur dans un réacteur.

Un autre avantage possible du cycle du combustible au thorium est lié à la gestion à long terme du combustible usé. Comparés aux cycles du combustible à l'uranium-plutonium, les cycles du combustible au thorium produisent moins de combustible usé de haute activité et ce dernier contient des produits de fission à période plus courte. Dans le cas du cycle du combustible au thorium, le stockage définitif des déchets pourrait être moins exigeant du point de vue technique que dans celui du cycle du combustible à l'uranium-plutonium pour ce qui est tant de la durée de vie des dépôts que de l'espace requis.

La forte radioactivité du combustible usé au thorium, due principalement à la présence de l'émetteur gamma  $^{232}\text{U}$  et à ses chaînes de décroissance, soulève des problèmes d'ordre technique mais pas de physique fondamentale aux concepteurs et aux exploitants d'installations de gestion du combustible usé. D'un autre côté, la présence d'émetteurs gamma puissants offre aussi la possibilité de développer de nouvelles applications industrielles innovantes. Le combustible usé au thorium pourra par exemple être incorporé dans la conception d'un combustible de longue durée (destiné à des réacteurs de faible et moyenne puissance

## Étapes thorium de l'INPRO

Lors d'une réunion de consultants AIEA/INPRO tenue en janvier 2009, diverses options pour des cycles du combustible fondés sur le thorium ont été retenues en vue de leur examen par les États membres de l'INPRO. À cette réunion, les trois groupes d'options ci-après pour un cycle du combustible adapté à des applications à court et moyen termes ont été recensés :

- ① Cycle du combustible à l'uranium/thorium à passage unique dans des REL, des REP, des REB et des RHTRG. Il comporte un passage unique classique avec permutation du combustible et recyclage du combustible restructuré mécaniquement ;
- ② Cycle du combustible au plutonium/thorium à passage unique dans des REL, des REP, des REB et des RHTRG. Cette option est analogue à la première sauf que le  $^{239}\text{Pu}$  existant est utilisé à la place de  $^{235}\text{U}$  pour amorcer la réaction de fission avant qu'une quantité suffisante de  $^{233}\text{U}$  ne soit produite dans le cœur du réacteur. Les modèles visant à réduire le plutonium en tant que matière potentielle pour des armes en constituent une variante particulière ; et
- ③ Synergie entre les réacteurs à neutrons rapides et les réacteurs à neutrons thermiques en vertu de laquelle un certain nombre de réacteurs à neutrons rapides fonctionnent comme des usines de conversion de  $^{232}\text{Th}$  en  $^{233}\text{U}$  pour alimenter d'autres réacteurs.

Outre les membres qui participent au projet de coopération, plusieurs observateurs de Thorium Power (États-Unis), de Thor Energy (Norvège) et de l'Institut de recherche énergétique de Juliers (Allemagne) ont pris part à la réunion.

sans rechargement sur place) à titre d'élément de dissuasion intrinsèque contre le sabotage ou le vol lors de l'expédition vers une installation centralisée de traitement du combustible usé. D'autres applications pourront résider dans la stérilisation de matériel médical et son utilisation dans l'irradiation des aliments, le matériel de radiothérapie, le matériel de diagnostic médical et les installations d'inspection des douanes, etc.

### Économie du combustible au thorium

Une fois mis en œuvre à grande échelle, le cycle du combustible au thorium pourrait offrir un avantage économique par rapport au cycle du combustible ouvert actuel fondé sur l'uranium, bien que l'on s'attende à ce que le coût de fabrication du combustible au thorium soit plus élevé que pour le combustible à l'uranium.

Ce coût éventuellement supérieur auquel on s'attend tient à la manipulation plus difficile de  $^{233}\text{U}$  et au  $^{232}\text{U}$  hautement radioactif qui y est associé. D'autres facteurs pourraient cependant atténuer ce coût de fabrication plus élevé, par exemple le fait qu'aucun enrichissement n'est nécessaire dans le cas du cycle du combustible au thorium et que le processus de conversion requis pour transformer l'oxyde de thorium naturel en forme de combustible prête à subir une première irradiation comporte moins d'étapes que dans le cas de l'uranium.

En outre, la capacité de « recyclage » du combustible au thorium et la possibilité d'une exploitation à température plus élevée procureront probablement un certain avantage économique supplémentaire. La conversion de

$^{232}\text{Th}$  fertile en  $^{233}\text{U}$  s'effectue durant la fission, c'est-à-dire pendant la production d'énergie, et le  $^{233}\text{U}$  fissile qui en résulte peut continuer à subir une fission et à produire de l'énergie pendant longtemps (taux de combustion plus élevé) jusqu'à la limite imposée par le comportement du matériau de gainage du combustible et des structures. Une exploitation à température plus élevée des futurs modèles de réacteurs faisant appel au thorium devrait accroître le rendement thermique des systèmes d'énergie nucléaire, qui est actuellement de 34 % dans le meilleur des cas, pour le porter à 50 %, voire davantage, ce qui contribuerait directement à une réduction du coût du combustible par unité d'énergie produite.

### Pourquoi ne pouvons-nous pas commencer à utiliser le thorium ?

On pourrait commencer à utiliser le thorium dès aujourd'hui dans le système actuel d'énergie nucléaire moyennant une certaine modification de la conception et des autorisations. Toutefois, dans un cycle à passage unique (c'est-à-dire sans recyclage pour récupérer le  $^{233}\text{U}$  restant après déchargement), l'emploi de combustible thorium n'est pas très économique.

On met actuellement au point plusieurs modèles avancés en vue d'utiliser le thorium de manière plus optimale avec une efficacité d'utilisation accrue ou à des fins particulières (par exemple pour l'élimination du plutonium). Il s'agit notamment de modèles avancés ou évolutifs basés sur des types de réacteurs actuels comme le réacteur avancé à eau lourde indien et le VVR-100 faisant appel au thorium que les États-Unis et la Russie mettent au point conjointement, le réacteur à lit de boulets utilisant le thorium, des réacteurs à neutrons rapides (refroidis par métaux liquides et par gaz), ainsi que de modèles avancés comme le réacteur à sels fondus et le système hybride.

En outre, plusieurs concepts de réacteurs ont été proposés et sont en cours de mise au point en vue de satisfaire les besoins de petits utilisateurs d'énergie. Certains de ces concepts de réacteurs peuvent être optimisés en vue de l'utilisation de combustible au thorium.

Le principal problème auquel se heurte l'introduction du cycle du combustible au thorium aux fins de la production commerciale d'électricité réside dans l'absence d'infrastructure pour la fabrication du combustible.

L'industrie nucléaire a profité de l'existence d'infrastructures analogues pour le combustible à l'uranium grâce aux investissements consacrés à des applications non civiles dans le passé. Or, les infrastructures pour la fabrication du combustible au thorium devront être mises en place sur la base de considérations commerciales. ☒

*Ray Sollychin est Directeur exécutif de l'Institut Neopanora-Réseau de technologies énergétiques ; il a été membre du Groupe INPRO de 2006 à 2009 en tant qu'expert fourni à titre gracieux par le Gouvernement canadien.*

*Adresse électronique : ray.sollychin@neopanora.com*