

Gestion des matières fissiles et fertiles recyclables

E. Bertel, T. Dujardin*

La possibilité de recycler le combustible est une propriété très intéressante des systèmes nucléaires qu'ils sont pratiquement les seuls à posséder. Les matières fissiles et fertiles contenues dans les combustibles nucléaires usés et les rejets des usines d'enrichissement, par exemple, peuvent être récupérés et réutilisés à des fins énergétiques. Cette opération permet également de réduire la quantité et la radiotoxicité des déchets qu'il faudra finalement stocker dans des dépôts.

À un moment où il devient de plus en plus attractif de recycler le combustible nucléaire usé à cause du renouveau d'intérêt pour l'énergie nucléaire et des objectifs de développement durable, de nombreux pays privilégient encore l'entreposage de longue durée et le stockage direct de matières recyclables. Les matières recyclables que l'on n'a pas l'intention de réutiliser peuvent être stockées dans des conditions sûres permettant de les isoler de la biosphère sur de très longues périodes, le temps qu'elles deviennent inoffensives tant pour l'homme que pour l'environnement.

L'étude que l'AEN a consacrée¹ aux matières fissiles et fertiles recyclables a été entreprise afin de faire le point des aspects techniques et stratégiques de la gestion de ces matières et d'apporter quelques éclaircissements sur les possibilités et difficultés que présentent les différentes approches possi-

bles. Les matières suivantes ont été étudiées : combustible usé, uranium appauvri sortant des usines d'enrichissement, uranium et plutonium de retraitement, matières démilitarisées (uranium hautement enrichi et plutonium) déclarées excédentaires par rapport aux besoins de la sécurité nationale par les États-Unis et la Fédération de Russie, et stocks de thorium.

Cet article repose sur les analyses, les résultats et les conclusions de l'étude. Il donne une vue d'ensemble des quantités et de la valeur énergétique potentielle des matières recyclables disponibles à l'échelle mondiale. Les principaux avantages et inconvénients des deux solutions de gestion qui s'offrent aux décideurs sont également décrits.

Stocks de matières recyclables

Les stocks actuels de matières fissiles et fertiles recyclables représentent une source d'énergie potentielle suffisamment importante pour être significatifs dans le cadre d'une politique à long terme, et l'on produit en permanence de nouvelles matières recyclables. En effet, l'exploitation du

* Mme Evelyne Bertel (evelyne.bertel@oecd.org) est Administrateur principal dans la Division du développement de l'énergie nucléaire de l'AEN. M. Thierry Dujardin (thierry.dujardin@oecd.org) est Directeur adjoint Sciences et développement à l'AEN. Cet article, ©OECD, a d'abord été soumis à l'American Nuclear Society (ANS) pour publication dans Global 2007: Advanced Nuclear Fuel Cycles and Systems.

Tableau 1. Stocks de matières fissiles recyclables séparées

Origine	Quantité (tHM)	Équivalent en U naturel (10 ³ tU)	Offre potentielle, années-réacteurs *
Uranium hautement enrichi (UHE) issu du démantèlement des armes	230	70	420
Plutonium issu du démantèlement des armes	70	15	90
Plutonium	320	60	380
Uranium récupéré lors du retraitement du combustible irradié (URT)	45 000	50	300
Rejets des usines d'enrichissement	1 600 000	450	2 650

* Pour un REO de 1 000 MWe fonctionnant avec un facteur de charge de 80 %.

parc actuel de centrales nucléaires génère environ 10 000 tonnes de combustibles usés chaque année.

Le tableau 1 présente les quantités de matières recyclables séparées stockées dans le monde entier à la fin de l'année 2005 ainsi qu'une estimation de leur valeur potentielle en termes d'offre de combustible. On s'aperçoit que les stocks de matières recyclables représentent près de 4 000 années-réacteurs d'approvisionnement en combustible pour des réacteurs de la génération actuelle. Autrement dit, si l'on recyclait la totalité des stocks de matières séparées dans les réacteurs en service aujourd'hui, on disposerait de 10 années supplémentaires de combustible pour les faire fonctionner, soit une prolongation de plus de 10 % par rapport aux 85 années que représentent les ressources en uranium identifiées aujourd'hui².

Les rejets des usines d'enrichissement constituent de loin le plus fort potentiel énergétique, mais leur exploitation exigerait des capacités considérables de réenrichissement qui n'existent pas à échelle industrielle aujourd'hui. En outre, la viabilité économique de cette option n'est pas acquise avec les technologies actuelles et les prix de l'uranium naturel aujourd'hui, même après les hausses récentes des prix spot.

Les stocks figurant sur le tableau 1 n'incluent pas les combustibles usés qui se sont accumulés dans les installations d'entreposage et devraient être retraités avant leur recyclage. Le retraitement

de la totalité du combustible usé ainsi accumulé produirait environ 1 700 tonnes de plutonium et 190 000 tonnes d'équivalent uranium naturel, soit près de 7 ans et demi de consommation des centrales nucléaires en service aujourd'hui.

Modes de gestion

Il existe aujourd'hui deux modes de gestion des matières recyclables : le stockage définitif et le recyclage. Dans les deux cas, on aura besoin finalement de dépôts de déchets mais l'approche choisie aura un impact très grand sur la taille et la date de mise en service des dépôts nécessaires. L'entreposage de longue durée n'est pas une solution viable. Il s'agit d'une mesure provisoire qui laisse un délai de réflexion avant d'adopter une décision définitive.

Les stocks de matières qui ne sont pas en cours de traitement dans des installations du cycle du combustible sont entreposés sous diverses formes physiques et chimiques sur différents sites. Dans tous les pays de l'OCDE, les transports, l'entreposage et le traitement de ces matières sont assujettis à une réglementation et à des normes rigoureuses, grâce à quoi les répercussions radiologiques sur la santé et l'environnement restent aussi faibles que raisonnablement possible.

Il est possible, avec les techniques actuelles, de stocker les matières recyclables, y compris le combustible usé, de manière sûre et économiquement viable. Bien que l'on n'ait pas encore conditionné

de combustible usé en vue de son stockage définitif, il est prévu d'analyser la possibilité d'appliquer au stockage du combustible usé les techniques aujourd'hui employées ou à l'étude pour les déchets de faible, de moyenne ou de haute activité. Pour le stockage, les formations géologiques offrent de l'avis général, une solution à coûts raisonnables à la fois fiable et sûre pour les générations actuelles et futures. Les projets en cours dans plusieurs pays pourraient conduire à la mise en service de dépôts d'ici 10 à 20 ans.

Pour les pays qui n'envisagent pas le recyclage, le stockage définitif des matières recyclables au moment opportun permet d'éviter les contraintes et les coûts que représente l'entreposage de longue durée et de s'affranchir des charges financières futures qu'il implique. En revanche, le stockage définitif de substances potentiellement valorisables peut être considéré comme une solution « non durable » par certains. C'est pourquoi les approches actuelles tendent à privilégier les solutions réversibles laissant ouverte la porte au recyclage le jour où cette solution sera adoptée.

Toutes les options conduiront nécessairement au stockage des déchets radioactifs, mais certaines d'entre elles permettent de limiter les volumes et la radiotoxicité des déchets plus que d'autres. Les conceptions et tailles des dépôts doivent donc être adaptées aux solutions choisies.

Recycler les matières fissiles et fertiles peut augmenter de manière substantielle la quantité d'énergie tirée de l'uranium naturel et du thorium, prolonger la durée de vie des ressources en combustibles nucléaires et donc renforcer la durabilité de l'énergie nucléaire. La solution du recyclage est adoptée principalement pour mieux exploiter l'énergie contenue dans les ressources naturelles et réduire les volumes de déchets et leur radiotoxicité. Recycler les matières fissiles et fertiles est un moyen, par conséquent, de se doter de ressources en combustible supplémentaires, de limiter les quantités de plutonium et d'actinides mineurs à stocker et donc d'alléger la gestion à long terme des déchets radioactifs.

Quelques exemples illustrent la diversité des possibilités offertes par les solutions de recyclage. Le retraitement du combustible usé des réacteurs à eau ordinaire suivi du recyclage de l'uranium et du plutonium dans ces mêmes réacteurs peut diminuer de moitié la consommation spécifique (par kWh) d'uranium neuf des systèmes nucléaires actuels. Les systèmes avancés qui font appel à des réacteurs à neutrons rapides pourraient eux multiplier par plus

de 50 l'énergie produite par tonne d'uranium naturel consommé.

Le rendement du recyclage dépend des différents systèmes nucléaires en service et du moment où ils sont déployés. L'analyse des diverses solutions de gestion des matières recyclables a montré que la quantité d'énergie récupérée est très sensible non seulement à la filière de réacteur et aux cycles du combustible choisis, mais aussi au moment de leur déploiement. Les stratégies les plus efficaces reposeront probablement sur des systèmes nucléaires capables de consommer différentes matières en synergie (par exemple, du plutonium et de l'uranium appauvri dans des réacteurs à neutrons rapides). Pour pouvoir identifier les meilleures stratégies, compte tenu de la taille et du rythme de développement du parc nucléaire national, régional ou mondial, une analyse approfondie des scénarios de transition entre le cycle ouvert et le cycle entièrement fermé s'impose.

Du point de vue de la réduction des volumes et de la toxicité des déchets – qui constitue un problème déterminant pour le déploiement de l'énergie nucléaire dans une perspective de développement durable à long terme – le recyclage présente des atouts importants. Il permet de reporter le stockage définitif des déchets de haute activité et, ce qui est plus important, de diminuer la quantité et la radiotoxicité des déchets à stocker, en particulier si le parc nucléaire comprend des systèmes avancés conçus pour la séparation et la transmutation des actinides mineurs.

Questions, défis et possibilités

Quelles que soient les stratégies de gestion des matières recyclables, il importe de mettre en place des mesures rigoureuses pour parvenir à des niveaux satisfaisants de sûreté, de protection radiologique, de résistance à la prolifération et de protection physique. Les régimes juridiques et réglementaires en vigueur dans les pays de l'OCDE offrent de ce point de vue un cadre solide.

Plusieurs pays ont acquis une bonne expérience industrielle de diverses étapes des options possibles (recyclage de certaines matières fissiles, essentiellement le plutonium, par exemple) si bien que les spécialistes sont convaincus que toutes les matières fissiles et fertiles recyclables pourront être gérées de manière sûre et fiable. Les technologies existantes permettent déjà d'exploiter en partie le contenu énergétique de ces matières recyclables. Par exemple, la quantité d'énergie que l'on peut retirer des

stocks d'uranium appauvri avec les techniques actuelles est si importante qu'elle dépasse celle du plutonium consommé dans les filières nucléaires actuelles. Toutefois, il faudrait adapter les capacités industrielles d'enrichissement au traitement de ces stocks d'uranium appauvri.

Suivant les options de recyclage choisies et les stratégies adoptées pour leur mise en œuvre, la quantité d'énergie que l'on parviendra à extraire des matières fissiles et fertiles recyclables variera dans de fortes proportions. Cette quantité pourrait être multipliée par 2 mais aussi par plus de 50, tel qu'évoqué ci-dessus.

Pour la définition des politiques à suivre, la collaboration internationale permettra de résoudre certains problèmes soulevés par la gestion des matières fissiles et fertiles recyclables qu'il serait difficile de régler au niveau national, en particulier pour les pays dont les infrastructures nucléaires sont limitées. La collaboration entre pays pourrait en effet apporter des solutions optimisées au niveau planétaire et faciliter la mise en œuvre d'infrastructures dont la viabilité au niveau national ne serait pas assurée.

La gestion des matières fissiles et fertiles recyclables exige des infrastructures et des installations qui risquent fort de ne pas être techniquement et économiquement viables dans tous les pays dotés de centrales nucléaires ou qui envisagent d'en construire. La construction d'installations multinationales régionales et/ou internationales présenterait l'avantage de diversifier l'offre pour tous les pays, y compris ceux qui sont dotés de programmes électronucléaires modestes ou moyens.

Les programmes d'études et de recherches entrepris dans de nombreux pays visent à améliorer non seulement les performances technologiques, mais aussi la sûreté et les caractéristiques économiques du stockage et des solutions de recyclage. Unir les efforts nationaux dans le cadre d'entreprises de R-D internationales est un moyen efficace de mettre au point des technologies avancées qui répondent aux besoins sociaux, environnementaux et économiques des générations futures.

Conclusions

Les stocks de matières fissiles et fertiles recyclables représentent une ressource énergétique potentielle considérable qui pourrait aider les pays dotés de programmes électronucléaires à améliorer la sécurité de leurs approvisionnements et abaisser simultanément les émissions de gaz à effet de serre de leur secteur énergétique à des coûts raisonnables.

L'examen attentif des solutions de gestion existantes pour entreposer, réutiliser ou stocker les matières recyclables montre qu'il existe, ou que l'on met au point actuellement, pour tous les matériaux un éventail de solutions techniquement, économiquement et écologiquement viables.

Aucune solution n'est optimale dans tous les cas, mais l'éventail des solutions entre lesquelles choisir en fonction des circonstances spécifiques et des priorités des décideurs est assez vaste. Ces solutions doivent être intégrées à des politiques énergétiques nationales à long terme, et leur évaluation nécessite d'étudier divers scénarios d'évolution de la contribution des systèmes nucléaires à la satisfaction de la demande d'énergie mondiale.

La solution optimale pour la gestion des matières recyclables dépendra de facteurs tels que la situation spécifique des détenteurs des matières en question, la politique énergétique nationale, la taille et les propriétés du parc nucléaire, l'existence d'un dépôt, l'infrastructure de l'industrie nucléaire et le cadre réglementaire national.

L'évaluation des diverses solutions possibles pour la gestion des matières recyclables doit s'appuyer sur une analyse multicritères qui intègre les facteurs économiques, environnementaux et sociaux dans le contexte global des politiques énergétiques nationales. Des aspects tels que la sécurité de l'approvisionnement énergétique, le fardeau de la surveillance des déchets imposé aux générations futures et la résistance à la prolifération ont un impact nettement plus marqué sur l'évaluation des différentes solutions que la variation des coûts du cycle du combustible qui, en tout état de cause, représente aujourd'hui moins de 20 % du coût total de l'électricité produite par les centrales nucléaires.

Avant toute décision dans ce domaine, il convient d'identifier les mesures irréversibles qui fermeraient la porte à toutes les autres solutions. En général, la réversibilité est souhaitable car elle offre la possibilité de reconsidérer plus tard les solutions choisies et ainsi de tirer parti des progrès technologiques et des changements du paysage socioéconomique. ■

Références

1. AEN (2007), *Gestion des matières fissiles et fertiles recyclables*, OCDE, Paris.
2. AEN et AIEA (2006), *Uranium 2005 : Ressources, production et demande*, OCDE, Paris.