

# Énergie ET Sécurité

NO. 2 1997

UNE PUBLICATION D'IEER

## L'industrie internationale du retraitement civil

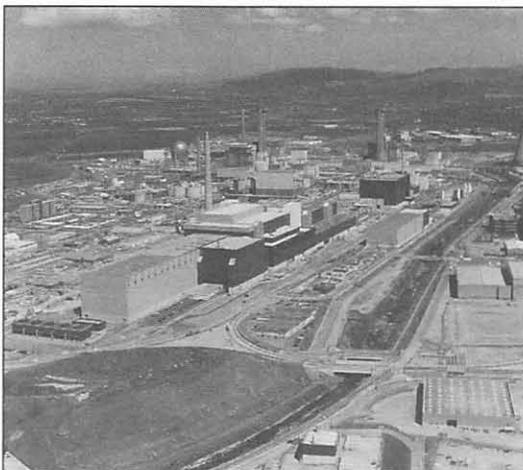
FRANS BERKHOUT

Il est ironique de constater qu'au moment où la séparation du plutonium à des fins militaires se termine, celle du plutonium pour les programmes civils subit une expansion sans précédent. Bien loin d'être "un dividende de la paix", le retraitement commercial est un édifice de croyances et d'engagements techniques érigé il y a plusieurs décennies. Si, il y a quelques années, le retraitement commercial semblait voué à une mort lente mais certaine parce qu'il était trop coûteux et peu populaire, le contexte a changé depuis ces deux dernières années. Cet article propose une explication sur l'ampleur et les justifications du retraitement civil, ainsi qu'une analyse des changements actuellement en cours dans l'industrie internationale du retraitement.

### Qu'est-ce que le retraitement?

À l'heure actuelle la grande majorité des réacteurs nucléaires utilise l'uranium enrichi comme combustible. L'uranium-235, qui est fissile, est irradié et fissionné dans le réacteur pour produire de la chaleur. Le combustible usé, très chaud et très radioactif est déchargé du réacteur. La chaleur et la radioactivité résultent de la désintégration des nouveaux éléments radioactifs produits durant la production d'énergie nucléaire.

Ensuite, le combustible irradié doit être entreposé en lieu sûr, généralement sous l'eau, pour lui permettre de se refroidir. Il y a deux choix possibles pour la gestion à long terme du combustible irradié. On peut, soit continuer d'entreposer le combustible, et peut-être même finalement s'en débarrasser comme d'un déchet (l'évacuation directe), soit traiter le combustible chimiquement pour séparer les éléments qui le constituent (le cycle "fermé"). Le retraitement est la séparation chimique du plutonium (0,2 à 1 % en poids)



▲ THORP (usine de retraitement du combustible sous forme d'oxyde pour réacteurs thermiques) à Sellafield, Angleterre.

et de l'uranium (95-96 %) des produits de fission et autres déchets à longue durée de vie (3-4 %) contenus dans le combustible irradié. À ce jour, environ un tiers du combustible irradié déchargé des réacteurs nucléaires a été retraité, le reste est entreposé en attendant d'être définitivement mis hors circuit.

### Justification du retraitement

Pour raconter l'évolution du retraitement civil, il est nécessaire de connaître non seulement le contexte technologique et industriel, mais aussi les présupposés et les convictions qui ont fait marcher cette activité. Le retraitement est l'exemple type de technologie coûteuse. Par exemple, le

LIRE LA SUITE, PAGE 2

## P O I N T D E V U E

### Les implications internationales du retraitement américain

LYDIA POPOVA

À l'automne 1995, les écologistes russes ont eu connaissance d'une lettre envoyée par John Conway, président du Conseil de sécurité des installations nucléaires militaires à Hazel O'Leary, secrétaire du Département de l'Énergie du gouvernement américain. Dans cette lettre, John Conway apportait son soutien au retraitement comme méthode de gestion du combustible irradié. La mise en route du retraitement sur le site du Savannah River, situé en Géorgie, a été ressentie par les écologistes russes comme la confirmation de l'intention du gouvernement américain de réexaminer sa position sur

LIRE LA SUITE, PAGE 11

temps entre la conception et l'ouverture de l'usine de retraitement, THORP, à Sellafield (Royaume-Uni) a été de 20 ans.<sup>1</sup> La construction de l'usine a coûté environ 23 milliards de francs. Les technologies qui consomment beaucoup de fonds publics ont besoin d'une logique solide. Au cours des années, alors que les conditions et perceptions changent, cette logique a aussi besoin de changer.

Les justifications du retraitement civil se divisent à peu près en trois périodes. Pendant la première période, depuis les années 60 jusqu'au milieu des années 70, le retraitement fut considéré comme la seule option viable pour la gestion de la plupart des combustibles irradiés. Le recyclage du plutonium dans des réacteurs à neutrons rapides ("surgénérateurs") était considéré comme un aspect essentiel de la croissance à long terme de la puissance nucléaire, fournissant une garantie à la demande d'énergie à une époque de pénurie d'énergie. Ainsi, ce recyclage du plutonium libérerait le potentiel énergétique contenu dans l'uranium-238 plus abondant mais qui ne fissionne pas en quantités importantes dans les réacteurs conventionnels.

Pendant la deuxième période, du milieu des années 70 à la fin des années 80, les arguments économiques et stratégiques en faveur du retraitement ont peu à peu perdu leurs justifications. Les bas prix de l'uranium ont sapé les arguments économiques en faveur du plutonium dont le prix réel a beaucoup augmenté à cause de l'escalade du prix du retraitement. Pendant ce temps, bien que d'énormes quantités de fonds publics aient été dépensées pour la recherche et le développement, la commercialisation des surgénérateurs est demeurée un rêve lointain, en grande partie à cause des grandes difficultés techniques associées aux surgénérateurs. Pendant cette période, les risques de prolifération liés à cette "économie du plutonium", sont devenus un sérieux problème international. Depuis le milieu des années 70, les États-Unis ont, de fait, eu une politique s'opposant au retraitement civil. Les justifications en faveur du retraitement se sont donc appuyées de moins en moins sur la valeur du plutonium comme combustible et plus sur l'affirmation que le retraitement procurait plus d'avantages écologiques que l'autre alternative pour la gestion du combustible irradié: le stockage et l'évacuation directe.

À l'heure actuelle, le stockage suivi de l'évacuation directe ont été choisis par la plupart des pays pour la gestion du combustible irradié. Le retraitement a survécu principalement à cause de l'inertie des engagements pris durant les années 70 et 80. Dans le futur, cette industrie sera probablement limitée à un noyau réduit de pays: la France, le Royaume-Uni, le Japon, la Russie, et peut-être l'Inde. Malgré cette direction nettement sur le déclin, les justifications

économiques, de sécurité et écologiques en faveur du retraitement sont en train d'être restructurées.

### L'évolution du retraitement civil

Le retraitement civil est resté l'apanage des états possédant l'arme nucléaire qui, dès le départ, ont conçu un avantage commercial jamais abandonné. Aujourd'hui il n'y a que quatre usines importantes de retraitement civil dans le monde: La Hague et Marcoule en France; Windscale/Sellafield au Royaume-Uni; et Chelyabinsk-65/Ozersk en Russie. À ce jour, plus de 95 % du retraitement civil a été fait dans ces quatre sites. Ces usines sont les centres d'une filière mondiale de la gestion du combustible dans laquelle le combustible irradié est envoyé depuis les réacteurs jusqu'aux usines de retraitement; les éléments séparés (l'uranium, le plutonium et les déchets) sont normalement renvoyés par contrat au propriétaire du combustible. Un certain nombre d'usines plus petites ont aussi fonctionné. La carte, à la page 9, présente les usines principales dans le monde.

La technologie du retraitement et le principe du traitement chimique du combustible irradié ont été hérités des programmes de fabrication de la bombe atomique. Au Royaume-Uni et en France, les usines de retraitement de Windscale (maintenant Sellafield) et de

LIRE LA SUIVE, PAGE 6

## Énergie & Sécurité

*Les opinions exprimées dans ce numéro ne sont pas nécessairement celles d'IEER.*

### Crédits pour ce numéro

Traduction: Annie Makhijani  
avec la collaboration de Bruno Barrillot  
Mise en page: Cutting Edge Graphics, Washington D.C.  
Photos: British Nuclear Fuels, Ltd

### Énergie et Sécurité est gratuit pour tous.

Rédactrice en chef: Anita Seth  
Le premier numéro de la version française a été publié en novembre 1996.

### Merci à ceux qui nous soutiennent

Nous remercions sincèrement les institutions dont le généreux soutien financier a rendu possible notre projet mondial sur "les dangers des matières nucléaires."

• W. Alton Jones Foundation • John D. And Catherine T. MacArthur Foundation • C.S. Fund •

Nous remercions également les institutions qui financent notre projet d'aide technique pour les organisations militantes. Nous nous inspirons beaucoup de ce projet pour notre projet mondial.

• Public Welfare Foundation • John Merck Fund • Ploughshares Fund • Unitarian Universalist Veatch Program at Shelter Rock • Rockefeller Financial Services • Stewart R. Mott Charitable Trust • Town Creek Foundation • Beldon II Fund •



## FRANCE

MYCLE SCHNEIDER ET MATHIEU PAVAGEAU

La séparation du plutonium a commencé en France dans le cadre du programme de recherche sur les armes nucléaires mis en place après la Deuxième Guerre mondiale. Les trois réacteurs producteurs de plutonium sont entrés en service entre 1956 et 1958 sur le site de Marcoule. UP1<sup>1</sup>, la première usine à échelle industrielle de plutonium a été terminée sur ce site en 1958.

Cogéma, une filiale du Commissariat à l'énergie atomique (CEA) créée en 1976, est l'exploitant du programme français de retraitement avec des contrats militaires et des contrats pour la Compagnie française d'électricité, Électricité de France (EDF). Cogéma exploite deux usines de retraitement à La Hague, UP2 et UP3, qui produisent à peu près 80 % de la totalité du plutonium séparé dans le monde. La capacité nominale annuelle de chaque usine est de 800 tonnes de métal lourd, équivalent à la production annuelle de plutonium séparé de 8 000 kilos. UP2 a démarré en 1966, et à l'origine retraitait du combustible Magnox. Sa capacité "nominale" a fluctué pour se maintenir finalement à 400 tonnes par an. À partir de 1976 une nouvelle tête d'usine a rendu possible le retraitement du combustible oxyde des réacteurs à eau ordinaire (PWR). Depuis 1994, après des modifications importantes et agrandissement, l'installation fonctionne sous le nom de UP2-800 pour indiquer sa capacité nominale annuelle. UP3 a démarré en 1990.

Le développement de l'industrie française du plutonium depuis les 20 dernières années a dépendu d'importants contrats étrangers. Plus de la moitié du combustible irradié des PWR traitée à La Hague est d'origine étrangère. UP2 a retraité du combustible étranger jusqu'à 1990 et depuis ne retraite que du combustible français (à l'exception d'un lot de combustible MOX allemand pour des besoins de démonstration).

UP3 doit pouvoir retraiter uniquement du combustible étranger jusqu'aux environs de l'an 2000. En 1977 et 1978, 30 clients étrangers de 7 pays ont financé la construction de l'usine UP3, et en retour ils ont reçu des contrats de retraitement de UP3 pendant les 10 premières années de son fonctionnement. Aujourd'hui, la Cogéma fournit des services pour le combustible nucléaire à des compagnies d'électricité allemandes, japonaises, belges, néerlandaises, et suisses. SGN, une société d'études techniques, filiale de Cogéma, a fourni le savoir-faire, basé sur les plans de fonctionnement de la Hague pour la construction de l'usine de retraitement de Rokkasho-mura au Japon.

Malgré sa position annoncée de longue date de

retraiter tout son combustible irradié, la France est incapable de le faire. Cogéma peut retraiter 850 tonnes sur 1 200 tonnes de combustible irradié déchargées annuellement des réacteurs français. Le combustible qui n'est pas retraité est entreposé. Pour la première fois, en 1996, il est apparu qu'EDF n'avait plus l'intention d'atteindre son objectif de retraiter tout le combustible irradié. Un combat féroce se déroule maintenant dans les couloirs au sein des pouvoirs nucléaires au sujet de la définition d'une stratégie future pour la gestion du combustible irradié en France. En 1992, EDF avait déjà décidé—sans publicité: "de ne plus tenir compte, en déduction de la provision pour retraitement, de la valeur du plutonium qui sera issu du retraitement, compte tenu des incertitudes relatives à son utilisation future."<sup>2</sup>

De plus, EDF a des doutes sur l'utilisation du combustible à oxydes mixtes (MOX) parce qu'il coûte cher en comparaison avec le combustible à l'uranium. Aujourd'hui seize réacteurs ont l'autorisation d'utiliser du combustible MOX (30 % du cœur). D'après les informations obtenues par WISE-Paris, le ministre de l'Industrie a récemment ordonné à EDF d'augmenter de dix, en 1997, le nombre de réacteurs utilisant le MOX. EDF devra développer son programme MOX et demander une autorisation pour le MOX pour 12 réacteurs de plus. La France a déjà un important stock de plutonium. Ce stock s'agrandira dans les années qui viennent puisque les cadences de production de MOX sont limitées et que la production de plutonium ne diminue pas en contrepartie. Les chiffres officiels des stocks de plutonium non-irradié sous formes diverses (séparé, MOX neuf, etc.), en France, s'élevaient à 55 300 kg au mois de décembre 1995 dont 25 700 kg appartiennent à d'autres pays.<sup>3</sup> De cette façon, la France aggrave les deux problèmes: celui du combustible irradié et celui des stocks de plutonium séparé. 

*Mycle Schneider, journaliste scientifique et expert technique, a beaucoup écrit sur les problèmes de l'énergie et du nucléaire. Il est un des fondateurs et l'actuel directeur du World Information Service on Energy (Service mondial d'information sur l'énergie) à Paris (Wise-Paris).*

*Mathieu Pavageau est chercheur à WISE-Paris. Il travaille plus particulièrement sur la gestion des déchets radioactifs et sur l'industrie du plutonium. Il est le coauteur de nombreuses publications de WISE.*

<sup>1</sup> UP est le sigle pour usine de plutonium

<sup>2</sup> EDF, Rapport annuel 1994, Paris 1995.

<sup>3</sup> Ministère de l'Industrie, *L'énergie nucléaire en 110 questions*, Ed. Le Cherche Midi, Octobre 1966.



## GRANDE-BRETAGNE

FRANS BERKHOUT

Après la France, la Grande-Bretagne est le deuxième industriel du retraitement mondial. Cette activité est installée à l'usine de Windscale/Sellafield dans le nord-ouest de l'Angleterre.<sup>1</sup> Le retraitement civil a commencé à Windscale en 1964 et il est prévu qu'il continue au moins jusqu'à 2010. Le graphe ci-dessous montre l'évolution de la séparation du plutonium à Sellafield.

Le combustible Magnox a été retraité depuis 1964 dans le Bâtiment 205 (B205) à Windscale/Sellafield. L'usine a joué un rôle central dans le programme anglais des réacteurs Magnox, tout en retraitant du combustible Magnox japonais et italien. À la fin 1995, près de 26 800 tonnes de combustible avaient été retraitées à B205 pour donner 59 tonnes de plutonium. Il est prévu que le retraitement du combustible Magnox continuera jusqu'à 2015, à peu près cinq ans après l'arrêt du dernier réacteur Magnox en Grande-Bretagne. D'ici là près de 90 tonnes de plutonium auront été séparées à B205.

Le retraitement du combustible oxyde a commencé à Windscale en 1969 avec la mise en marche d'une petite usine de tête (HEP) dans laquelle le combustible oxyde était préparé comme combustible d'alimentation pour le B205. 110 tonnes de combustible avaient été retraitées à HEP/B205 avant qu'un accident ne provoque la fermeture définitive de B204 en 1973.<sup>2</sup> Environ 400 kg de plutonium avaient été extraits.

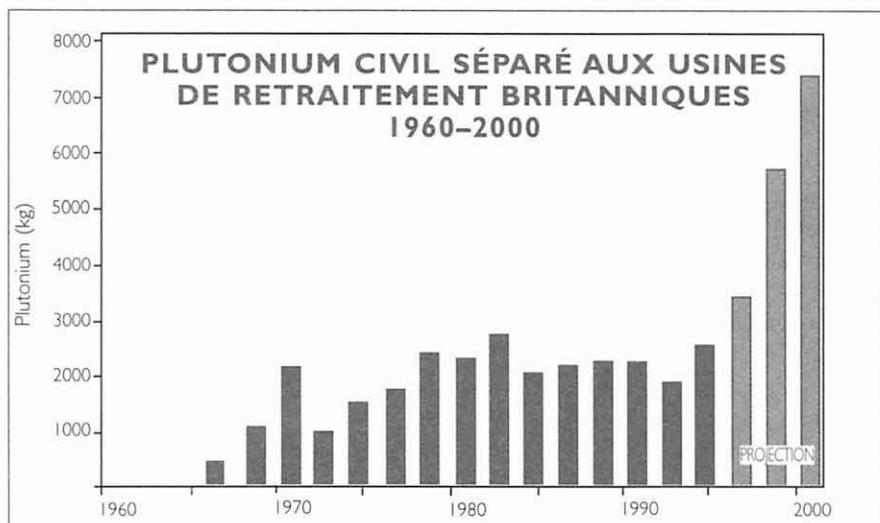
Le retraitement à grande échelle a commencé en 1994 avec la mise en service de THORP avec une capacité annuelle de 700 tonnes. Environ 70 % de la production de THORP au cours des 10 premières

années seront destinés au combustible étranger. Des contrats fermes et en option pour le retraitement de 6 600 tonnes de combustible sont en cours jusqu'à 2005. Au-delà de 2005, les contrats sont moins assurés. La Compagnie britannique d'électricité, British Energy détient des contrats pour environ 2 600 tonnes de combustible, alors que des contrats supplémentaires pour 700 tonnes de combustible ont été signés par les compagnies allemande d'électricité en 1990. Ces contrats assureraient la production de THORP jusqu'à 2010.

Le combustible des surgénérateurs et des réacteurs d'essai de matériaux (MTR) a été retraité à Dounreay en Écosse du Nord depuis 1958. Deux usines ont été exploitées par l'Autorité de l'énergie atomique du Royaume-Uni (UK Atomic Energy Authority, UKAE). Il s'agit de D1204 pour le combustible des réacteurs d'essai de matériaux; et D1206 pour le combustible des surgénérateurs. D1204 est une petite usine qui a retraité du combustible pour des réacteurs de recherches, britanniques et étrangers. D1206 a été mise en service en 1961 et a retraité du combustible d'uranium très enrichi venant du *Demonstration Fast Reactor* (DFR, réacteur rapide) qui a été fermé en 1977, et du combustible MOX venant du *Prototype Fast Reactor* (PFR, réacteur rapide prototype) qui a été fermé en 1994. Ces deux réacteurs étaient situés à Dounreay. Dès la fin 1995 près de 21 tonnes de combustible du PFR ont été retraitées à Dounreay contenant environ 4,5 tonnes de plutonium. En l'absence de nouveaux contrats de retraitement avec le MTR, il est prévu que l'usine D1206 fermera ses portes en 1997-98.



Frans Berkhout est maître de recherche et organisateur du programme sur l'environnement et la technologie au Science Policy Research Unit (SPRU) à l'université de Sussex en Grande-Bretagne. Il est coauteur (avec David Albright et William Walker) du *Plutonium and Highly Enriched Uranium 1996: World Inventories, Capabilities and Policies*, publié par Oxford University Press et le Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI).



<sup>1</sup> Le nom de cette usine qui a la charge de ces activités civiles a été changé au début des années 80 de Windscale en Sellafield.

<sup>2</sup> B204 est un autre nom pour l'usine de tête attachée à B205.



# JAPON

JINZABURO TAKAGI

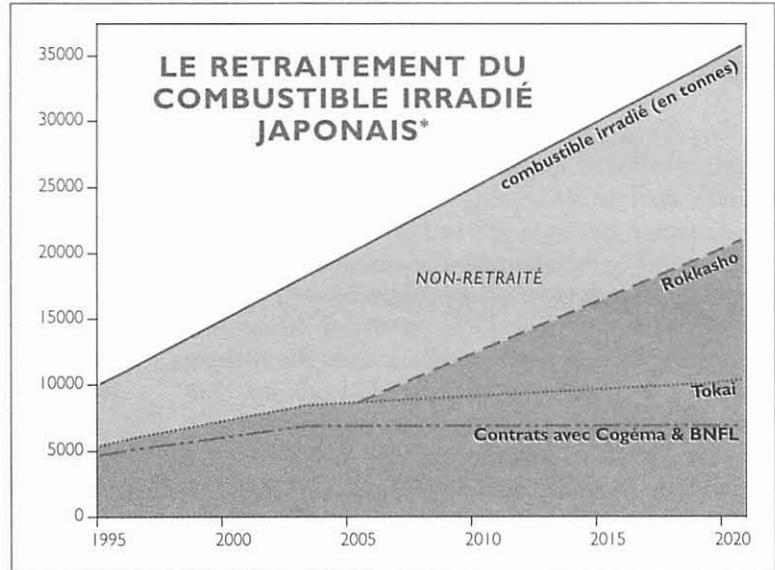
La politique du Japon vis-à-vis du cycle du combustible nucléaire consiste à retraiter tout le combustible irradié et à utiliser tout le plutonium comme combustible dans les réacteurs. Ainsi la Société d'État pour le développement de réacteurs de puissance et des combustibles nucléaires a mis en service, en 1977, l'usine de retraitement de Tokai. Les compagnies japonaises d'électricité ont aussi signé des contrats avec la Cogéma et la BNFL pour le retraitement d'environ 7 000 tonnes de combustible irradié aux usines de La Hague et de Sellafield. De plus, la Compagnie japonaise de combustible nucléaire (JNFL) est maintenant en train de construire une usine à échelle industrielle à Rokkasho, qui normalement devrait démarrer au milieu des années 2000.

Cependant, la réalité est différente. D'après les statistiques du gouvernement, la quantité de combustible irradié déchargée des réacteurs à eau ordinaire (PWR) depuis le début de leur fonctionnement jusqu'au 31 mars 1995 se montait à 10 400 tonnes, et à l'heure actuelle 1 000 tonnes sont déchargées annuellement. L'usine de Tokai fonctionne en rendement d'installation pilote, et elle avait retraité 864 tonnes à la fin de l'année budgétaire 1995.

Étant donnée la capacité limitée de l'usine de Tokai, combinée à la politique de ne pas signer de nouveaux contrats avec les industriels du retraitement étranger, le Japon ne pourra pas retraiter son combustible irradié qui s'accumule. Même si l'usine de Rokkasho commençait à fonctionner en plein régime, comme prévu, au milieu des années 2000, la capacité de retraitement de 800 tonnes ne sera capable d'absorber qu'une petite partie du combustible irradié.

De plus, l'augmentation du coût de l'usine de Rokkasho, rend sa construction très aléatoire. La dernière estimation de JNFL des frais de construction comprenant le coût de l'usine de vitrification des déchets de haute activité est de 1,88 billions de yens (environ 17 milliards de dollars)—soit jusqu'à 7 fois plus que le coût de ses homologues européens. Il est possible que les travaux de construction soient reculés après l'achèvement de la construction d'un bassin de stockage de combustible irradié prévue pour 1997.

Étant donnée la maigre demande de plutonium, le gouvernement et les compagnies d'électricité ont à faire face à un sérieux problème de surplus. De grandes



inquiétudes sur les questions de sûreté et de sécurité, internationales et nationales, ont été suscitées lors du transport de 1,5 tonnes de plutonium à bord du cargo, Akatsuki-maru, depuis la France jusqu'au Japon. En 1995, les compagnies japonaises d'électricité ont forcé le gouvernement à abandonner pour raisons financières le projet Ohma *Advanced Thermal Reactor* (ATR, réacteur thermique avancé) utilisant du combustible MOX. Une fuite de sodium sur le réacteur à neutrons rapides (RNR) de Monju le 8 décembre 1995 a porté un coup terrible au programme de plutonium du gouvernement. Tout le programme RNR du Japon a depuis été retardé, peut-être indéfiniment.

Le gouvernement a l'intention de consommer dans des PWR, sous forme de MOX, presque tout le plutonium séparé en Europe, dans le but de maintenir sa "politique de non-accumulation de plutonium". Mais ce programme pourrait être aussi reporté à cause de l'opposition des pouvoirs locaux. Dans ce cas, le surplus japonais de plutonium séparé en Europe augmenterait jusqu'à 20-25 tonnes au tournant du siècle.

La politique de retraitement japonaise doit maintenant faire face à une curieuse contradiction. Le Japon a une pénurie de capacité de retraitement du combustible irradié, alors qu'il souffre d'un accroissement de son surplus de plutonium. La politique basée sur le cycle fermé du combustible est en train de perdre sa justification. La seule façon de sortir de cette difficulté est de réexaminer minutieusement la politique du retraitement pour empêcher la poursuite de l'accroissement du stock de plutonium séparé.

*Jinzaburo Takagi est directeur du Centre de d'information nucléaire des citoyens à Tokyo.*

Marcoule, qui au départ étaient destinées à la production de plutonium militaire ont été aussi utilisées pour fabriquer du combustible pour les réacteurs civils Magnox ou UNGG (Uranium naturel graphite-gaz). Le combustible métallique en provenance de ces premiers réacteurs refroidis au gaz subissait une corrosion rapide quand il était entreposé sous l'eau. En l'absence d'installations de stockage à sec, un retraitement rapide du combustible de cette filière de réacteurs était donc nécessaire pour la sécurité des personnes et la protection de l'environnement. La quasi totalité du combustible irradié Magnox a été retraitée. L'arrêt des réacteurs en France, en Espagne, au Japon et au Royaume-Uni amèneront la fin du retraitement du combustible Magnox vers 2010. À ce jour environ 40 000 tonnes de combustible Magnox ont été retraitées, dont à peu près 80 % à l'usine B205 à Windscale/Sellafield.

Le combustible oxyde des réacteurs avancés refroidis au gaz (ARG) et des réacteurs à eau ordinaire (LWR) peut être entreposé pour des périodes plus longues. Cette filière de réacteurs dépend donc moins du retraitement. De plus il a fallu modifier des usines pour le retraitement de ce combustible. La mise en place du retraitement du combustible oxyde a été de ce fait plus lente.

Le retraitement du combustible oxyde a fait ses débuts en 1966 à l'usine de Nuclear Fuel Services à West Valley dans l'état de New York et dans la petite usine Eurochemic en Belgique. Un atelier de tête qui préparait le combustible oxyde pour les stades de séparation à B205 commença à fonctionner à Windscale en 1969. Aucune de ces usines a fonctionné longtemps. L'usine de West Valley a été fermée pour raisons commerciales en 1972, l'usine de Windscale a été fermée à la suite d'un accident en 1973 et l'usine Eurochemic a suivi en 1975 après le retrait de ses partenaires allemands et français.

La crise de l'énergie en 1973-1974 a eu comme conséquence d'accorder à l'énergie nucléaire une plus grande place dans la politique de l'énergie. On affirmait qu'à long terme l'énergie nucléaire serait fondée sur les réacteurs à neutrons rapides alimentés en plutonium, parce que la croissance prévue de la capacité nucléaire ne serait pas satisfaite par les ressources actuelles d'uranium. Pendant une brève période, le retraitement et la commercialisation des réacteurs à neutrons rapides ont guidé la politique de l'énergie dans de nombreux pays.

Ces nouvelles possibilités ont été exploitées par le British Nuclear Fuels Ltd. (BNFL) et par Cogéma, les compagnies étatiques anglaise et française de retraitement. Elles ont lancé d'ambitieux projets pour intensifier le retraitement à Sellafield et à La Hague. Ces usines avaient pour but d'assurer les besoins domesti-

ques et étrangers, et en 1978-1979, des contrats engageant chaque partie ont été signés avec des compagnies d'électricité européennes et japonaises. Plus de 60 % de la production des 10 premières années de ces deux usines ont été vendus à des compagnies d'électricité étrangères qui ont financé par avance la construction de UP3 et THORP. UP3 a démarré en 1990, alors que UP-800 et THORP ont démarré en 1994.

Des programmes de retraitement ont été mis en place dans d'autres pays, notamment en Allemagne et au Japon. Ces deux pays ont commencé à faire fonctionner des installations pilotes de retraitement dans les années 70 (WAK à Karlsruhe en Allemagne et Tokaimura au Japon) et ont conçu des projets pour d'importantes usines commerciales. Le programme allemand a survécu jusqu'à 1989 et a été annulé à cause de son coût et de son manque de soutien populaire. Le retraitement japonais a progressé plus lentement que prévu, en partie à cause de l'hostilité de la communauté internationale. La construction d'une usine commerciale à Rokkasho-mura a commencé en 1992 avec des plans de fonctionnement en très grande partie basés sur la technologie française.

Les années 70 ont aussi vu la création d'un régime distinct de gestion du combustible irradié engagé par l'Union soviétique. Le cycle du combustible des réacteurs de construction soviétique était contrôlé de façon centralisée, en partie comme mesure de non-prolifération par le "Ministry of Atomic Power and Industry" (MAPI devenu plus tard Minatom). Le combustible irradié en provenance de la série 440 (VVER-440) des réacteurs à eau pressurisée (REP) dans l'ex-Union soviétique, l'Europe de l'Est et la Finlande était systématiquement envoyé à Chelyabinsk-65/Ozersk pour le retraitement. Selon des accords intergouvernementaux, la reprise du combustible irradié était gratuite. Le plutonium séparé du combustible restait la propriété de MAPI et était entreposé pour son utilisation anticipée dans les surgénérateurs.

### La situation actuelle

Deux régimes parallèles de retraitement existent aujourd'hui: le système euro-japonais; et le système russe.

Le système euro-japonais, concentré sur La Hague et Sellafield, est presque achevé. Le retraitement du combustible Magnox continue sans interruption à Sellafield à un rythme d'environ 1 000 tonnes par an, alors que la cadence totale de production pour le retraitement du combustible oxyde en France et en Grande-Bretagne atteindra environ 2 350 tonnes en 1998 quand THORP arrivera à sa capacité maximale. Ces trois usines traitent le combustible provenant d'environ 150 réacteurs de neuf pays (y compris le Royaume-Uni et la France). La petite usine de Tokai, au Japon, avec une capacité annuelle d'environ 100

## LES ASPECTS ÉCONOMIQUES DU RETRAITEMENT

Les avantages économiques relatifs au retraitement avec l'évacuation des produits de fission, et à l'entreposage provisoire suivi d'évacuation définitive ont été au centre de nombreux débats depuis les dix dernières années. Récemment, des études globales sur les différentes options ont été faites par l'agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (1994)<sup>2</sup> et le Energiewirtschaftlichen Institut (EWI)<sup>3</sup>.

Ces études établissent un modèle du coût total de la filière retraitement-recyclage fondé sur le recyclage thermique du plutonium pour le comparer avec le coût total d'un cycle ouvert avec évacuation directe. Les résultats des études sont très divers, mais toutes sont unanimes pour conclure que, dans les conditions économiques actuelles, l'option retraitement-recyclage est la plus coûteuse. Le débat est centré sur l'ampleur de l'écart. Le tableau 1 montre les résultats de deux études récentes qui se situent chacune aux pôles extrêmes de cet éventail d'estimations: l'interprétation par la Cogéma de l'étude de 1994 de l'OCDE; et une étude de 1993 faite par la Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW). Les chiffres de l'OCDE n'indiquent qu'une petite différence entre les coûts

relatifs des deux options, alors que l'étude de la VDEW indique que, pour les conditions allemandes, l'option retraitement-recyclage est plus que deux fois plus chère que l'autre option. Les différences principales portent sur les coûts présumés du retraitement et de la gestion des déchets, et sur la façon de traiter les crédits et pénalités pour le recyclage de l'uranium et du plutonium recyclés.

Des évaluations plus limitées ont utilisé le concept de "plutonium gratuit" où le coût de la séparation du plutonium lors du retraitement n'est pas pris en compte.<sup>5</sup> En effet, beaucoup de compagnies considèrent le retraitement comme un coût non inclus auquel elles sont liées par des contrats avec les entreprises de retraitement. Ceci explique aussi pourquoi des pénalités sont attribuées à la récupération du plutonium dans l'étude du VDEW. Dans le scénario "plutonium gratuit", les aspects économiques du combustible MOX dépendent de la mise en balance des économies faites parce qu'il n'y a pas d'achat de nouveaux minéraux d'uranium ni d'enrichissement de cet uranium, d'un côté, et de l'autre, des frais supplémentaires pour la fabrication du combustible pluto-

nium. La fabrication du MOX est plus coûteuse que la fabrication avec de l'uranium faiblement enrichi à cause des précautions supplémentaires nécessaires de sécurité et sûreté qui doivent accompagner la manipulation du plutonium.

Si les prix, actuels et en prévision de l'uranium, de l'enrichissement et de la fabrication du combustible, sont pris en compte, alors le combustible MOX sera plus coûteux que le combustible à uranium faiblement enrichi. En supposant même le fonctionnement à plein rendement de grandes et nouvelles usines de fabrication de MOX (Hanau, Melox), le combustible MOX coûtera environ deux fois plus cher que le combustible à l'uranium faiblement enrichi. Si les frais du retraitement sont inclus dans les frais du combustible MOX (les crédits pour l'uranium ne sont pas pris en compte), il semblerait alors que le combustible MOX serait jusqu'à six fois plus cher que le combustible à uranium faiblement enrichi.<sup>6</sup> Plutôt qu'une ressource, le plutonium doit être considéré comme un handicap.

—FRANS BERKHOUT

Voir la page 16 pour les annotations.

**TABLEAU 1: Comparaison de coût entre les options retraitement-recyclage et entreposage-évacuation directe: partie terminale du cycle du combustible seulement (coûts non ajustés, un millième de dollar/kWh)<sup>4</sup>**

	OECD/Cogema (1994)		VDEW (1993) <sup>1</sup>	
	Fermé	Ouvert	Fermé	Ouvert
Transport du combustible	0,20*	0,20	0,38	0,12
Stockage du combustible	—	0,62	—	1,06
Retraitement	2,40	—	4,16	—
Conditionnement du combustible irradié	—	1,0	—	1,86 <sup>2</sup>
Stockage des déchets et conditionnement	—	—	2,32	0,46
Evacuation des déchets	0,22	0,38	2,32	2,32
Crédit pour l'uranium <sup>3</sup>	-0,36	—	+0,46	—
Crédit pour le plutonium <sup>3</sup>	-0,14	—	+1,62	—
<b>Total</b>	<b>2,32</b>	<b>2,20</b>	<b>11,26</b>	<b>5,92</b>

\* Pour convertir un chiffre quelconque de ce tableau en \$/tonne de combustible, il suffit de le multiplier par 356,4.

<sup>1</sup> Un rendement de 0,33 des réacteurs est présumé, correspondant à un niveau d'irradiation du combustible de 45 GWj/t.

<sup>2</sup> On présume une capacité annuelle de conditionnement du combustible des usines de 450 tML.

<sup>3</sup> Un chiffre négatif suppose une économie et de ce fait une valeur positive est attribuée aux produits récupérés.

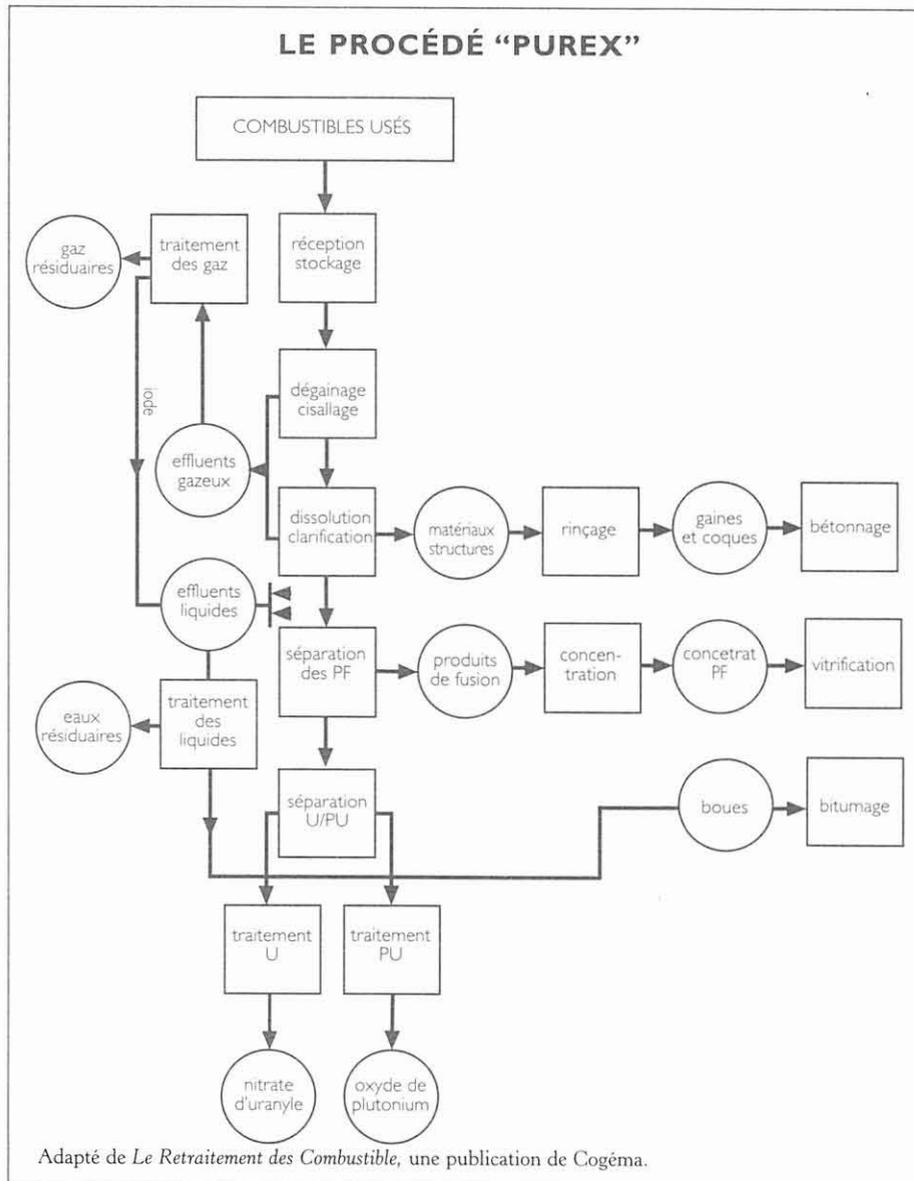
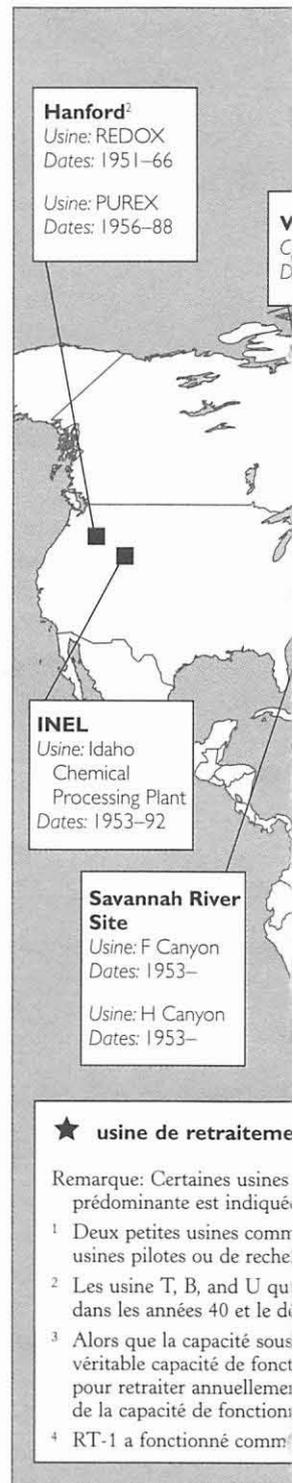
# Le retraitement: où et comment

RÉSUMÉ PAR ANITA SETH

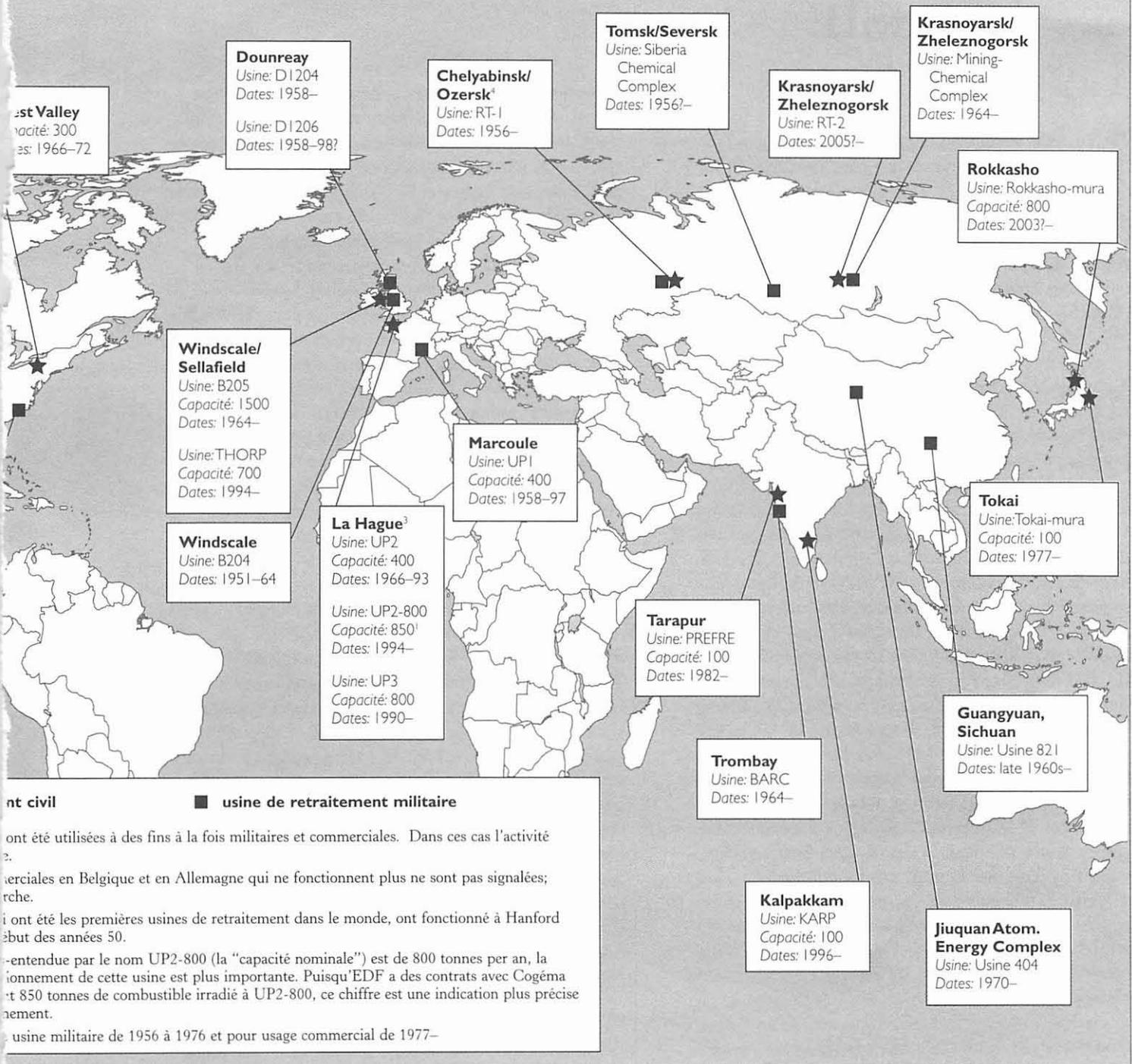
Le retraitement est généralement considéré comme un maillon clé entre le nucléaire civil et le nucléaire militaire, puisque le plutonium doit être séparé du combustible irradié pour être utilisable dans les armes nucléaires. Depuis les trente dernières années, les industries nucléaires se sont lancées dans le retraitement "commercial" à grande échelle dans le vain espoir que le plutonium devienne une ressource rentable d'énergie (pour plus d'information sur l'utilisation du plutonium comme source d'énergie, lire le No. 1 d'Énergie et Sécurité). La carte de la page ci-contre montre l'emplacement des principales usines de retraitement, commerciales et militaires. Les capacités sont indiquées pour les usines civiles.

Les retraitements militaire et commercial utilisent fondamentalement le même procédé pour la séparation du plutonium; c'est le type de combustible irradié qui les différencie. Dans un réacteur, l'uranium-238 qui se trouve dans les aiguilles de combustible est converti en plutonium-239, fissile, à la suite de l'absorption d'un neutron et des réactions nucléaires qui s'ensuivent. Peu à peu, une partie du plutonium-239, après avoir absorbé un autre neutron, est convertie en plutonium-240, non-fissile. Plus le réacteur continue à marcher, plus une grande quantité d'uranium-238 est convertie en plutonium-239, conduisant ainsi à une plus grande production de plutonium-240. Les isotopes supérieurs du plutonium, notamment les plutonium-241 et -242 s'accumulent aussi avec des périodes d'irradiation plus longues.

Pour produire une grande quantité d'énergie, l'irradiation dans les usines civiles est plus longue. Le combustible irradié des réacteurs à eau ordinaire (le réacteur civil le plus courant) contient typiquement à peu près 0,7 % de plutonium-240 et 241 (les isotopes fissiles) et 0,2 % d'isotopes non fissiles. L'irradiation dans les usines militaires est d'une durée plus courte pour réduire la production de plutonium-240 et des autres isotopes supérieurs indésirables. Le combustible militaire irradié contient une petite fraction d'1 % de plutonium, mais presque entièrement du plutonium-239. Le plutonium qui contient moins



## IMPORTANTES USINES DE RETRAITEMENT<sup>1</sup>



de 6 à 7 % de plutonium-240 est considéré de bonne qualité militaire, mais il est aussi possible de fabriquer une arme avec du plutonium de réacteur civil. Le plutonium contenu dans le combustible irradié ne peut pas être utilisé tant qu'il n'a pas été récupéré par retraitement. Le type de retraitement le plus courant est le procédé "Purex" qui vient de Plutonium-URanium EXtraction (voir le schéma). Toutes les usines de retraitement qui fonctionnent à l'heure actuelle utilisent

ce procédé. D'autres techniques de retraitement ont été utilisées dans le passé, y compris le procédé initial de bismuth de phosphate utilisé pour construire la première bombe atomique des États-Unis. Les États-Unis mettent au point une nouvelle méthode de retraitement, généralement connue sous le nom de "pyroprocessing"<sup>1</sup> qui est un procédé électrolytique de séparation du combustible irradié en trois effluent différents (voir l'article de la page 13).

<sup>1</sup> Traitement pyrolytique



## RUSSIE

ANATOLI DIAKOV

Le retraitement du combustible irradié des centrales nucléaires civiles russes a commencé en 1977 quand l'usine RT-1 du complexe de Mayak a été mise en route. L'usine traite du combustible irradié des réacteurs civils VVER-440 et BN-600. Il traite également celui des réacteurs de la propulsion navale des brise-glaces et sous-marins; et des réacteurs de recherche. Le rendement annuel de l'usine est de 400 tonnes de combustible irradié. L'uranium, qui est séparé durant le retraitement, est utilisé pour fabriquer du combustible pour les réacteurs RBMK-1 000 (avec un enrichissement de 2,4 %). Le plutonium séparé sous forme d'oxyde est entreposé; à l'heure actuelle il y en a plus de 30 tonnes.

La presque totalité des déchets de basse et moyenne activité résultant du retraitement sont mis sans conditionnement dans des cuves de stockage, des piscines, et des réservoirs. La radioactivité totale des déchets de haute activité du complexe de Mayak résultant du retraitement du combustible des réacteurs commerciaux et militaires se monte à 389 curies. Ces déchets sont stockés pour le moment sous forme de solutions (11 200 mètres cubes, 258 millions de curies) et de pulpe (18 650 mètres cubes, 131 millions de curies).

La vitrification des déchets liquides de haute activité a commencé en février 1991 avec la mise en service du four EP-500. Le four peut traiter 500 litres de déchets de haute activité par heure et fabriquer du verre de phosphate. Bien que conçu pour une durée de vie de 3 ans, le four fonctionne toujours, mais avec un rendement très diminué. Durant son fonctionnement, le four a vitrifié 280 millions de curies de déchets de haute activité. Actuellement, deux fours supplémentaires semblables sont en cours de construction, dont l'un pourrait être terminé d'ici un an si le financement est suffisant.

La construction d'un four à creuset "froid"<sup>1</sup> avec un rendement prévu de 100 litres par heure est presque achevé. Cette usine fabriquera du verre à base de borosilicates. On pense qu'avec la mise en service de cette nouvelle usine, il sera possible de vitrifier des déchets de haute activité contenant de grandes quantités de silicium, de molybdène, de fer, de soufre, et d'autres constituants. Ces déchets ne pouvaient pas être vitrifiés dans le four EP-500 et s'étaient donc accumulés dans des cuves de métal.

En 1995, environ 200 tonnes de combustible irradié ont été retraitées à RT-1, et près de 150 tonnes en 1996. L'usine a des contrats de retraitement avec des

centrales nucléaires russes et étrangères. Parmi les fournisseurs de combustible irradié se trouvent deux réacteurs VVER-440 finlandais (environ 25 tonnes par an), quatre réacteurs hongrois (environ 50 tonnes par an), la centrale nucléaire de Kolsk et deux réacteurs de la centrale de Novovoronezh. Du combustible irradié de réacteurs ukrainiens est également retraité.

Récemment il y a eu des désaccords entre les autorités de RT-1 et celles des centrales nucléaires finlandaises. À cause de l'escalade des prix du combustible et de l'électricité, Mayak voulait augmenter le montant du contrat de retraitement de l'uranium à 800 dollars du kg. D'après des sources non-officielles, le prix se situe maintenant aux environs de 400 à 500 dollars du kg. La partie finlandaise a protesté contre cette augmentation du prix de contrat et a arrêté le retraitement à la fin de 1996. Une autre difficulté vient de la nouvelle législation russe qui prévoit que les déchets radioactifs et vitrifiés doivent être rendus au pays d'où provient le combustible irradié. Les finlandais s'opposent à l'exigence russe de retour des déchets. Une situation semblable existe avec la Hongrie.

On avait pensé que le combustible irradié des réacteurs VVER-1 000 serait retraité à l'usine RT-2 de Zheleznogorsk (autrefois appelée Krasnoyarsk-26). Cependant la construction de cette usine n'en est qu'à ses débuts et, ces dernières années, elle a dû s'arrêter faute de fonds. Il n'est pas réaliste de compter sur des sources de financement nationales tandis que les efforts pour attirer des investissements étrangers ont peu de chance d'aboutir parce que le retraitement est mal considéré à l'étranger. En raison de ces circonstances, Mayak est en train d'étudier la possibilité de retraiter le combustible irradié des réacteurs VVER-1 000 à RT-1. Cependant, des investissements considérables seraient nécessaires pour construire une usine de préparation du combustible irradié des réacteurs VVER-1 000. 

*Anatoli Diakov est professeur de physique à l'Institut de Moscou de Physique et Technologie. En 1990, il a fondé [conjointement avec le professeur Frank von Hippel] le Centre d'études pour le contrôle des armes, de l'énergie et de l'environnement à l'Institut de Moscou de Physique et Technologie. Le professeur Diakov travaille actuellement sur la politique russe de gestion et évacuation du plutonium de qualité militaire en une forme inutilisable pour la fabrication des armes nucléaires, la transparence, et l'irréversibilité de la réduction des armes nucléaires.*

<sup>1</sup> Un four dans lequel une couche de verre solide sépare la paroi refroidie du creuset du verre fondu.

le retraitement adoptée lors de la présidence de Jimmy Carter. Cette décision a vivement réjoui le ministère russe de l'Énergie et de l'Industrie atomiques (Minatom) et a été une grande déception pour les écologistes et ceux qui sont préoccupés par la prolifération des armes nucléaires.

Que les américains fassent campagne pour le retraitement provoque beaucoup d'inquiétude et de désarroi en Russie: en effet, cela encourage les promoteurs du retraitement de Minatom. Les responsables de Minatom utilisent beaucoup d'arguments trompeurs pour défendre leur programme de retraitement. Ils déclarent que c'est la meilleure méthode pour gérer le combustible nucléaire irradié. Mais le retraitement est à l'heure actuelle fondé sur la technologie PUREX qui est dépassée et qui produit d'importants volumes de déchets radioactifs liquides qui sont difficiles à manipuler. Il est maintenant bien connu que des alternatives existent et beaucoup de pays ont décidé de les explorer.

Minatom déclare aussi que le retraitement est rentable parce qu'il récupère le plutonium qui peut être utilisé comme combustible dans les réacteurs, y compris pour une nouvelle génération de surgénérateurs. Mais, à l'heure actuelle, il est beaucoup moins cher et dangereux d'utiliser de l'uranium enrichi comme combustible pour les réacteurs. De plus, depuis la fin de la Guerre froide, il y a un surplus d'uranium enrichi qui peut être utilisé comme combustible si cela s'avère nécessaire. La Russie en envoie même aux États-Unis.

La construction en Russie d'une nouvelle usine de retraitement, RT-2, commencée au début des années 80 et ensuite arrêtée à la suite de l'opposition du public et de difficultés financières ne peut pas reprendre sans capitaux étrangers. Les responsables de Minatom espéraient trouver des clients pour RT-2 en leur faisant des offres avantageuses. Malgré cela, l'Allemagne et la Suisse ont décidé de ne pas envoyer leur combustible irradié pour retraitement et de ne pas prêter de capitaux pour la construction de RT-2.

La technologie des surgénérateurs est chère et n'est pas sans danger. Le retraitement devient même encore plus cher si les normes de protection de la santé et de l'environnement sont respectées. De plus, l'uranium qui est récupéré lors du retraitement, est contaminé par les isotopes d'uranium, 232 et 236, qui limitent sa possible réutilisation. Ainsi le concept d'un cycle fermé du combustible nucléaire devient tout à fait vulnérable. Les problèmes écologiques, de santé et de prolifération occasionnés par l'extraction du plutonium annulent les avantages économiques.

Au milieu des années 70, le gouvernement américain avait décidé de ne pas extraire le plutonium à des fins commerciales principalement pour des raisons de non-prolifération. Aujourd'hui le Département de l'Énergie

a décidé qu'il retirera une quantité limitée pour des raisons écologiques, mais qu'il ne retirera aucun combustible irradié provenant de réacteurs commerciaux ou militaires. Puisque cette décision a été annoncée d'abord pendant la présidence de Bush et ensuite confirmée par le président Clinton, elle ne paraît pas se baser sur des motifs politiques.

Il est clair que, dans ces deux pays, les initiatives pour le retraitement viennent d'experts ayant hérité de la mentalité de la Guerre froide puisqu'on ne trouve pas de raisons logiques, techniques ou économiques pour son développement. Ceux qui cherchent à gagner des emplois et un soutien politique aux installations de Tomsk, Krasnoyarsk et Chelyabinsk en Russie s'appuient sur les mêmes technologies inutiles et dangereuses qui soutiennent des emplois gouvernementaux en Caroline du Sud aux États-Unis. Nous avons la certitude que si les scientifiques et hommes politiques de ces deux pays collaboraient ensemble, ils pourraient trouver des technologies et des capitaux permettant de manipuler le combustible irradié sans danger pour l'environnement.

Les experts nucléaires déclarent qu'il n'y a pas à l'heure actuelle de solutions techniques viables pour remplacer le retraitement du combustible irradié contenu dans des gaines très minces et qui posent des problèmes de stockage. Les fonctionnaires de Minatom peuvent maintenant se tourner vers le redémarrage de l'usine de retraitement du site de Savannah River comme confirmation de cette déclaration. Nous avons la certitude que les ingénieurs du nucléaire, aux États-Unis comme en Russie, peuvent développer une alternative au retraitement permettant de stabiliser le combustible irradié qui produirait ainsi moins de déchets, coûterait moins cher, et qui ne créerait pas inutilement de dangereux stocks de matières fissiles.

L'humanité est en train d'investir de nombreuses ressources, financières et intellectuelles pour mettre en place un régime de non-prolifération; le traité de non-prolifération ne peut même pas garantir que d'autres États ne viendront pas s'ajouter aux cinq puissances nucléaires déclarées. Le retraitement, procédé pour la séparation du plutonium qui peut être utilisé pour les armes, restera une constante tentation pour les gouvernements qui cherchent à se doter de l'arme nucléaire.

Le retraitement ne devrait recevoir le soutien ni des États-Unis ni de la Russie ne serait ce que parce que d'autres pays se tournent vers eux pour les conseils techniques. La Russie et les États-Unis ne souhaiteraient-ils voir le monde entier leur emboîter le pas? 

*Lydia Popova est directrice d'un organisme à Moscou qui travaille sur les répercussions de la radioactivité sur l'environnement et les questions d'énergie. Le nom anglais est: Center for Nuclear Ecology and Energy Policy of the Socio-Ecological Union.*



## INDE

FRANS BERKHOUT ET SURENDRA GADEKAR

L'Inde a adopté de longue date une position pour le développement d'un cycle fermé du combustible avec le recyclage du plutonium dans des surgénérateurs. Dans ce but, elle s'est dotée de réacteurs CANDU qui utilisent l'uranium naturel comme combustible.<sup>1</sup> L'objectif à long terme du programme indien est de pouvoir utiliser les importantes réserves indiennes de thorium-232 pour la production d'électricité.<sup>2</sup> Un rapport de 1982 notait qu' "on a eu conscience très tôt que la filière des réacteurs devait pouvoir utiliser au maximum les ressources limitées en uranium au maximum. Peu importait la qualité de cette filière puisque le potentiel de production d'électricité [en Inde] venant des seules ressources d'uranium n'allait pas être très important."<sup>3</sup>

Aujourd'hui les trois usines de retraitement dont la capacité totale s'élève à 230 tonnes sont exploitées par le Département indien à l'énergie atomique. Aucune de ces usines n'est sous le système de garanties de l'AIEA.

La première usine de retraitement du Centre de recherche atomique de Babha (BARC) à Trombay a été mise en service en 1964 et elle a retraité du combustible des réacteurs de recherche, Cirus et Dhruva. Elle a été mise hors service en 1973 à cause de sérieux problèmes de corrosion, puis réaménagée et remise en service en 1982. On estime que 400 kg de plutonium au total ont été séparés à la petite usine de Babha, et qu'ils auraient été utilisés pour le programme d'armes nucléaires indien.<sup>4</sup> Le plutonium utilisé dans l'"engin nucléaire à fins pacifiques" qui a explosé au Rajasthan en 1974 avait été retraité à BARC.

Une deuxième usine de retraitement exclusivement destinée au retraitement du combustible des réacteurs CANDU, *Power Reactor Fuel Reprocessing* (PREFRE), a été mise en service à Tarapur en 1982.<sup>5</sup> La capacité totale de l'installation de PREFRE est de 100 tonnes de combustible par an. Cependant la production de l'usine a rencontré des problèmes techniques et de logistique. De plus, l'Inde a cherché à éviter la création de stocks de plutonium. En 1995, il y a eu une sérieuse fuite radioactive à l'usine de vitrification des déchets située sur le site de l'usine de Tarapur. À l'occasion de cette fuite, il a été révélé que c'était pour des raisons économiques que l'équipement de l'usine de vitrification des déchets avait été laissé à l'air libre et s'était corrodé.

Aujourd'hui, le combustible de deux centrales nucléaires seulement, Rajasthan Atomic Power Station (RAPS) et Madras Atomic Power Stations (MAPS) a été retraité à PREFRE. Il est très difficile d'estimer la

quantité de combustible retraité à PREFRE puisqu'aucun chiffre n'a été publié par les autorités indiennes. Les estimations se basent donc sur les hypothèses de fonctionnement des usines RAPS et MAPS et sur les quantités de combustible qui auraient pu être envoyées à Tarapur.

On pense qu'un maximum de 310 tonnes de combustible refroidi de ces deux réacteurs ont été retraitées, produisant un maximum de 990 kg de plutonium à la fin de 1995. Une estimation plus réaliste, tenant compte des besoins en plutonium du *Fast Breeder Test Reactor*, (réacteur surgénérateur à neutrons rapides expérimental) de Kalpakkam suggère que 300 à 400 kg de plutonium ont été séparés à PREFRE à la fin 1995.

En mars 1996 la mise en route à froid (fonctionnement sans véritable combustible irradié) a commencé à l'usine de retraitement de Kalpakkam située dans le Centre Indira Gandhi de recherche atomique près de Madras. La mise en route à chaud avec l'introduction de combustible irradié était prévue pour la fin de 1996. Au départ ce site devait avoir une capacité de retraitement de 1 000 tonnes dès l'an 2000, mais ces projets sont maintenant en suspens.<sup>6</sup> L'usine est à l'heure actuelle conçue pour traiter du combustible des réacteurs de MAPS et elle a une capacité annuelle de fonctionnement de 100 tonnes de combustible CANDU, avec une production annuelle de 350 kg de plutonium.



*Surendra Gadekar est directeur de Anumukti: A Journal Devoted to Non-Nuclear India. Il travaille à l'Institute for Total Revolution, institut gandhien situé à Vedchhi, un petit village tribal du Gujarat.*

<sup>1</sup> Réacteur CANDU vient de CANadian Deuterium-Uranium, réacteur canadien à uranium-deutérium.

<sup>2</sup> L'irradiation du thorium-232 le transforme en uranium-233 qui est fissile. L'uranium-233 peut être utilisé dans des réacteurs thermiques ainsi que dans des surgénérateurs. Le thorium n'a pas encore été utilisé dans un programme nucléaire à échelle industrielle en raison des difficiles aspects, techniques et économiques, liés à son utilisation.

<sup>3</sup> Rapport du comité N.B. Prasad sur le Rajasthan Atomic Power Station (1982)

<sup>4</sup> Pour plus d'information lire; David Albright, Frans Berkhout, et William Walker, *Plutonium and Highly Enriched Uranium 1996: Inventories, Capabilities and Policies*, SIPRI/Oxford University Press, 1997, pp. 180-83.

<sup>5</sup> Power Reactor Fuel Reprocessing plant se traduit par: usine de retraitement du combustible des réacteurs de puissance.

<sup>6</sup> P.K. Iyengar dans *Nuclear Power: Policy and Prospects* ed. P.M.S. Jones (John Wiley and Sons) 1987. P. 283



## ÉTATS-UNIS

BRIAN COSTNER

Durant la Deuxième Guerre mondiale et la Guerre froide, les États-Unis ont séparé environ 100 tonnes de plutonium. La séparation du plutonium, ou retraitement, s'est faite principalement à Hanford, dans l'état de Washington et sur le site de Savannah River (SRS), en Caroline du Sud. Du retraitement supplémentaire a été aussi effectué dans des laboratoires nationaux, plus petits, notamment à Los Alamos au Nouveau Mexique. Au laboratoire national technique de l'Idaho (*Idaho National Engineering Laboratory* -INEL), le retraitement du combustible usé de la propulsion navale était réalisé pour séparer l'uranium très enrichi des produits de fission.

Chacune de ces usines appartenait à l'État. Le seul retraitement privé aux États-Unis a été effectué à l'usine de West Valley dans l'état de New York. Cette usine a été fermée en 1972 et le plutonium séparé a été transféré au gouvernement fédéral, alors que la responsabilité pour la décontamination de l'usine est partagée entre l'état de New York et le gouvernement fédéral. D'après les estimations du Département de l'Énergie (DOE), l'immobilisation, le confinement et la surveillance de tous les déchets radioactifs et la contamination de l'environnement résultant de 50 ans de retraitement aux États-Unis pourraient coûter aux contribuables environ 1 milliard de dollars pour chaque tonne de plutonium produite.

Le secrétaire à l'Énergie du président Reagan, John Herrington, avait déclaré publiquement que les États-Unis avaient produit un surplus de plutonium même avant la fin de la Guerre froide. Celle-ci étant terminée et un accord sur la réduction des armes nucléaires signé, le secrétaire à l'Énergie du président Bush, l'amiral Watkins, a annoncé que les opérations de retraitement seraient progressivement abandonnées. Cependant cet abandon progressif a rencontré des obstacles politiques sur tous les sites à l'exception de Hanford qui a fermé les portes de sa dernière usine de retraitement début 1996. Maintenus principalement pour éviter des pertes d'emploi, les projets de retraitement de SRS et de INEL, plutôt que d'être conduits à leur terme dans le respect de la sûreté, sont au contraire en train de prendre de l'envergure.

À SRS se trouvent les deux dernières usines américaines de retraitement qui utilisent le procédé Purex datant de plusieurs décennies. Ces gigantesques bâtiments de béton, construits dans les années 50 auraient dû être fermés au tournant du siècle. Cette date, basée sur le temps nécessaire pour achever le

retraitement du combustible irradié et d'autres matériaux nucléaires laissés sur le site et provenant des opérations de la Guerre froide, a été repoussée à environ 2002 en raison de retards causés par des craintes sur la sûreté. De plus, la direction de SRS et les élus locaux proposent de prolonger les opérations d'au moins 30 ans en faisant venir des déchets d'autres usines du DOE et même de réacteurs commerciaux pour les retraiter à SRS.

À INEL, l'usine de retraitement qui avait fonctionné pendant la Guerre froide a été arrêtée et il n'est pas prévu qu'elle soit remise en marche. Cependant, une nouvelle et plus petite usine de retraitement, utilisant une nouvelle technologie qui n'est pas encore commercialisée, a été mise en service. Cette technologie, souvent désignée sous le nom de "pyroprocessing" ou "electrorefining", a été développée aux États-Unis dans le cadre du programme surgénérateur américain. Ce programme a été annulé en 1995 à cause des problèmes incessants liés à la non-prolifération et à des aspects techniques et économiques. La partie retraitement du programme a été cependant conservée et rebaptisée comme entreprise de gestion des déchets. Ceci est tout particulièrement inquiétant pour les partisans de la non-prolifération parce que ce nouveau mode de retraitement peut être construit dans un espace beaucoup plus petit que les anciennes usines. De plus, les caractéristiques des plans de fonctionnement de cette technologie de gestion des déchets ne seraient pas totalement protégées.

Cette année sera cruciale pour l'avenir du retraitement aux États-Unis. En effet, des décisions capitales seront prises, soit de fermer les usines de retraitement comme prévu, soit d'accroître leur rôle. Deux opinions contradictoires dominent la discussion en cours. L'opinion la plus raisonnable pour une option à long terme à prendre par les États-Unis consiste— puisque la nécessité militaire de séparer le plutonium n'existe plus— à fermer ce qui reste des capacités de retraitement et à mettre en place de meilleures techniques pour la gestion des combustibles nucléaires et autres matériaux nucléaires. Ceux qui soutiennent une opinion différente présentent les besoins actuels et futurs du gouvernement fédéral pour la gestion du combustible irradié comme raison pour prolonger le retraitement aux États-Unis, dans l'espoir que de cette façon, on aboutira finalement à la revitalisation de l'industrie nucléaire.

Brian Costner est directeur de l'Energy and Research Foundation à Columbia en Caroline du Sud.

tonnes s'ajoute à ces usines principales.

Il faudrait adjoindre à cette filière, en 2003, une usine d'une capacité annuelle de 800 tonnes à Rokkasho-muro au Japon. Cependant, la politique du plutonium au Japon est en cours de réévaluation à la suite d'un accident survenu au surgénérateur de Monju en décembre 1995. Le coût de la construction de l'usine de Rokkasho a obligé les compagnies d'électricité à réexaminer leur stratégie de gestion du combustible irradié. Il est possible que l'usine ne soit pas achevée.

Deux autres facteurs se sont ajoutés au régime euro-japonais. L'échec des surgénérateurs au début des années 80 a obligé les compagnies d'électricité de considérer d'autres voies pour la gestion du plutonium. Bien que ce soit une façon bien moins efficace d'utiliser le plutonium, le recyclage dans des réacteurs "thermiques" traditionnels a été adopté par les compagnies d'électricité en Belgique, en France, en Allemagne, en Suisse et au Japon comme moyen d'éviter les dépenses et les difficultés de stockage du plutonium. Pour permettre le recyclage du plutonium dans les réacteurs thermiques, des usines de fabrication de combustibles oxydes mixtes (MOX) ont été construites en Belgique (Dessel PO, opérationnelle à échelle industrielle depuis 1986), en France (Melox, opérationnelle depuis 1995) et au Royaume-Uni (SMP, qui démarrera en 1997). Les compagnies d'électricité ont aussi eu besoin d'obtenir l'autorisation d'utiliser le combustible MOX dans leurs réacteurs. Bien que techniquement possible, l'introduction de combustible de plutonium s'est avérée politiquement controversée dans plusieurs pays, y compris en Allemagne et au Japon. Les goulots d'étranglement au niveau de la fabrication du combustible MOX et de son chargement présentent toujours des obstacles au régime euro-japonais de retraitement-recyclage.

**TABLEAU 2: INVENTAIRES MONDIAUX DU PLUTONIUM CIVIL**

Inventaire	Plutonium total (tonnes)
Plutonium militaire	250*
Plutonium civile	990
Combustible irradié	800
Plutonium séparé et entreposé	141
Plutonium recyclé	49
<b>Total</b>	<b>1240</b>

\* Une estimation antérieure de 270 tonnes (qui se basait sur un inventaire des armes russes de 150 tonnes, au lieu de 130 tonnes) a été publié dans le numéro 1 d'*Énergie et Sécurité*

La survie de cette filière industrielle au-delà de 2005 dépendra de nouvelles demandes pour les services de retraitement. Les compagnies d'électricité ont de plus en plus tourné leur dos au retraitement en faveur de la voie, moins chère et moins problématique, du stockage-évacuation directe du combustible. À l'avenir, la poursuite d'une demande continue pour le retraitement est possible au Royaume-Uni (combustible Magnox), en France et au Japon. Ailleurs les capacités de stockage prolongé du combustible seront mises en place. La question reste ouverte de savoir si l'industrialisation rapide des économies asiatiques deviendra plus dépendante de l'énergie nucléaire. Cela pourrait provoquer une nouvelle demande pour le retraitement.

La filière russe du retraitement a été très touchée par l'effondrement de l'Union soviétique. De 1990 à 1994 le rendement annuel de l'usine RT-1 a été d'environ 100 tonnes. Il y a eu une légère amélioration en 1995 et 1996 à la suite de contrats avec la Finlande, la Hongrie et l'Ukraine. Néanmoins, presque tous les clients non russes de Chelyabinsk ont maintenant mis sur pied une politique de stockage du combustible irradié, alors qu'entre temps les exploitants des réacteurs russes ne paient pas leurs factures. L'avenir de l'usine dépend de la faible possibilité d'attirer de nouveaux clients étrangers.

**Résumé du retraitement du combustible: 1960-1995**

En 1995, 17 tonnes de plutonium ont été séparées dans des usines civiles de retraitement. Sur ces 17 tonnes, un peu moins de 8 tonnes ont servi à fabriquer du combustible MOX; le reste a été entreposé. Un des héritages tenace du retraitement civil est l'entreposage de presque tous les matériaux (plutonium et uranium) récupérés du combustible irradié. Près des trois-quarts du plutonium séparé à ce jour restent entreposés. Les inventaires de plutonium civil les plus importants sont au Royaume-Uni (49 tonnes), en France (55 tonnes), et en Russie (environ 30 tonnes). Le tableau 2 présente un sommaire des inventaires mondiaux de plutonium à la fin de l'année 1995. A cette époque 190 tonnes de plutonium, au total, avaient été séparées dans les usines de retraitement civil.

**L'évolution du contexte du retraitement**

Bien que du point de vue commercial la situation du retraitement ne soit pas brillante, un certain nombre de facteurs contrariants ont fait surface depuis les quelques dernières années, qui transforment l'état d'esprit des compagnies d'électricité et des gouvernements vis-à-vis du retraitement.

Le premier de ces facteurs est le problème de l'agrandissement de la capacité de stockage du combustible irradié, auquel les compagnies d'électricité ont de plus en plus à faire face dans de nombreux pays. Ce

## LE RETRAITEMENT ET L'ENVIRONNEMENT

**L**es justifications écologiques en faveur du retraitement ont commencé à être développées au cours des années 70 au moment où les justifications stratégiques pour le retraitement commençaient à être mises en question. Vu la médiocrité du contrôle des émissions radioactives (gazeuses et liquides) effectué par le passé par les usines de retraitement, cet argument est difficile à défendre. Dans cet encadré nous passons uniquement en revue la comparaison écologique entre l'option stockage-évacuation directe et l'option retraitement. Deux affirmations ont été faites:

- des quantités réduites de déchets seraient produites lors du retraitement, et
- la toxicité des effluents du retraitement est moindre que celle du combustible irradié

### Quantités réduites des déchets

Les compagnies de retraitement européennes ont fait de gros efforts pour réduire le volume des effluents de faible et moyenne activité, en les réduisant par 3 depuis les 15 dernières années.<sup>7</sup> Néanmoins, même aujourd'hui, la totalité du volume des déchets retraités, conditionnés et emballés, est d'environ 20 m<sup>3</sup>/tML alors que le volume du combustible irradié, conditionné et emballé, est d'environ 2 m<sup>3</sup>/tML.<sup>8</sup> Bien que le volume des déchets vitrifiés à haute activité résultant du retraitement soit moindre que le volume du combustible irradié, les déchets de moyenne activité doivent être aussi enfouis dans des formations géologiques; cela augmente considérablement la totalité des volumes de déchets dans ces formations géologiques. Cogéma et BNFL<sup>9</sup> ont annoncé encore plus de réductions de volume à l'avenir. Cependant leurs chiffres continuent d'ignorer les déchets de faible activité qui comptent pour environ la moitié des coûts totaux de la gestion du retraitement des déchets et de l'évacuation.

Quels sont les avantages de la réduction des volumes? Ils réduisent manifestement les frais d'entreposage et de transport, mais les avantages concernant la sûreté de l'enfouissement dans des couches géologiques sont moins évidents. L'établissement de plans et le fonctionnement d'un

dépôt d'enfouissement dépendent en grande partie de la quantité de chaleur produite par les déchets placés en son sein. Bien que les déchets vitrifiés de haute activité dégagent un peu moins de chaleur puisqu'ils ne contiennent pas de plutonium, cela n'a pas d'effet sur les plans de fonctionnement de l'entreposage des déchets ou du site géologique. De plus, le dégagement de chaleur de la décroissance radioactive dû aux actinides dans le combustible MOX irradié est dix fois plus important que pour le combustible à l'uranium irradié.

### Toxicité réduite

Un index général de toxicité est souvent employé par les entreprises de retraitement pour prouver que l'extraction du plutonium des effluents à haute activité améliore la sûreté à long terme du site géologique. Cependant des évaluations de sûreté pour divers plans de fonctionnement de dépôt et d'environnements géologiques démontrent que le combustible irradié peut, en principe, être évacué aussi sûrement que les déchets vitrifiés à haute activité du retraitement. Le concept allemand de site géologique présume, par exemple, que le combustible irradié et les déchets vitrifiés à haute activité seront entreposés dans le même site géologique. Le combustible irradié est une matrice, au moins aussi bonne que le verre, pour les produits de fission et les actinides, et de nouvelles recherches sur les déchets immobilisés dans de la céramique suggèrent que celle-ci est même plus efficace.<sup>10</sup>

Les évaluations de sûreté des sites géologiques démontrent que la sûreté à long terme dépend de leur capacité à retenir les éléments radioactifs. Des études sur l'immobilisation du plutonium suggèrent que, dans la plupart des cas, il ne sera pas transporté loin du site géologique. Ainsi l'extraction du plutonium ne conduit pas à une grande amélioration de la sûreté à long terme qui dépend plus de la prédominance de nucléides tels le neptunium-237, le technécium-99, et l'iode-129. Ces nucléides se trouvent en même quantité dans le combustible irradié et les déchets du retraitement.

—FRANS BERKHOUT

Voir la page 16 pour les annotations.

SUITE DE LA PAGE 14

problème est lié aux longs délais et à l'incertitude qui entourent les programmes de dépôt des déchets radioactifs. Naturellement, les gens qui vivent près des centrales nucléaires voient d'un mauvais œil ces centrales se transformer en sites de stockage à long

terme du combustible irradié. De plus, les organisations de protection de l'environnement qui considèrent le stockage du combustible irradié comme le tendon d'Achille de l'industrie nucléaire pensent que si elles pouvaient bloquer l'entreposage du combustible irradié, elles pourraient forcer les centrales nucléaires à fermer.

LIRE LA SUITE, PAGE 16

Malheureusement, la réplique des compagnies d'électricité, en Allemagne et ailleurs, a été de reprendre les négociations avec les compagnies de retraitement comme la seule solution.

Le second facteur est le changement des programmes de surgénérateurs en programmes de partition et de transmutation. La partition est assimilable à la séparation dans des usines de retraitement de type avancé: on sépare le plutonium et l'uranium des matériaux radioactifs qui représentent un risque à long terme. Ces matériaux seraient ensuite "transmutés" par irradiation soit dans des réacteurs, soit dans des convertisseurs à accélération. Ce procédé aurait pour résultat de les "casser" en éléments à durée de vie plus courte qui pourraient être entreposés et évacués comme déchets à vie courte de faible activité. Ces programmes sont justifiés comme un moyen de résoudre le problème de l'enfouissement à long terme et certains partisans du retraitement y voient une occasion en or.

Le troisième facteur est le démantèlement des armes nucléaires et la récupération du plutonium et de l'uranium très enrichi des têtes nucléaires. D'un certain point de vue cela représente une menace pour les entreprises de retraitement. La disponibilité de nouveaux stocks importants de plutonium et d'uranium mettent à mal la logique qui soutend la poursuite de la séparation par retraitement commercial, d'autant plus que d'importants stocks civils existent déjà. Malgré cela, il y a deux avantages possibles pour les entreprises de retraitement qui sont aussi les principaux fabricants de combustible MOX. Le recyclage dans les centrales civiles est devenu l'option privilégiée, en Russie, pour la gestion du plutonium et de l'uranium militaires. Cette option est aussi considérée sérieusement aux États-Unis. Les programmes pour l'utilisation civile du plutonium (dans le combustible MOX) et de l'uranium militaires nécessitent la construction d'une infrastructure industrielle et des subventions pour les activités commerciales. Cela aura comme résultat de renforcer l'industrie du retraitement. Ces programmes de fabrication de MOX avec du plutonium en provenance des armes a aussi l'avantage de donner l'impression de transformer des "épées en charrues", légitimant ainsi cette activité.

### Conclusions

Une industrie mondiale de retraitement civil a été construite depuis le milieu des années 60. Aujourd'hui ce système répond aux besoins en combustible d'environ un tiers des réacteurs dans le monde. À l'avenir, la place du retraitement en tant que gestion du combustible devrait décliner. Cependant, bien que la logique et la viabilité commerciale sous-jacentes à cette industrie, durant les 20 dernières années, soient ébranlées, cette

industrie a du ressort. Ce serait une erreur de la sous-estimer. Dans cette industrie, c'est plutôt l'offre qui domine que la demande. L'avenir du retraitement dépendra finalement d'un éventuel accord sur le choix de l'alternative principale à la gestion du combustible irradié: l'entreposage provisoire suivi de l'évacuation définitive.



- <sup>1</sup> THORP: Thermal Oxide Reprocessing Plant, se traduit en français par: usine de retraitement du combustible sous forme d'oxyde pour réacteurs thermiques.
- <sup>2</sup> Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, *Les aspects économiques du cycle du combustible nucléaire*, Paris, 1994.
- <sup>3</sup> I. Hensing et W. Schultz, *Economic Comparison of Nuclear Fuel Cycle Options*, Energiewirtschaftlichen Instituts, Cologne, 1995.
- <sup>4</sup> Cogéma, *Reprocessing-Recycling: the Industrial Stakes*, présenté à Konrad Adenauer Stitung, Bonn, 9 mai, 1995.
- <sup>5</sup> Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire,
- <sup>6</sup> Le coût d'un assemblage à combustible d'uranium faiblement enrichi pour un réacteur nucléaire se situe entre 1 000 et 1 500 dollars du kilo d'uranium. Les coûts spécifiques pour la fabrication du combustible MOX et le transport se situent entre 2 000 et 3 000 dollars du kilo de MOX. 4 kg de combustible d'uranium faiblement enrichi doivent être retraités pour séparer le plutonium nécessaire pour 1 kg de MOX. Les prix européens de retraitement sont maintenant fixés à environ 1 000 dollars du kilo de métaux lourds, ainsi le coût du retraitement associé à la fabrication d'1 kg de MOX est à environ 4 000 dollars.
- <sup>7</sup> Cogéma, *Reprocessing-Recycling: the Industrial Stakes*, présenté à Konrad Adenauer Stitung, Bonn, 9 mai, 1995.
- <sup>8</sup> G. Kessler, "Direct Disposal Versus Multiple Recycling of Plutonium", document présenté à la rencontre allemande RSK/japonais NSC à Tokyo en novembre 1992.
- <sup>9</sup> BNFL, British Nuclear Fuels Limited, compagnie britannique des combustibles nucléaires.
- <sup>10</sup> W. Lutze and E.C. Ewing (eds), *Radioactive Waste Forms for the Future*, North Holland, Amsterdam, 1988.

*Énergie et Sécurité* est un bulletin sur la non-prolifération, le désarmement et les énergies soutenables. Il est publié quatre fois par an par:

#### The Institute for Energy and Environmental Research

6935 Laurel Avenue, Takoma Park, MD 20912, USA

Phone: (301) 270-5500 FAX: (301) 270-3029

Adresse Internet: [ieer@ieer.org](mailto:ieer@ieer.org)

Page Web: <http://www.ieer.org>

L'Institut pour la Recherche sur l'Énergie et l'Environnement (IEER) fournit au public et aux décideurs politiques des études techniques claires et scientifiquement solides dans un grand nombre de domaines. L'objectif de l'IEER est d'apporter une analyse scientifique d'excellente qualité aux questions politiques touchant le public tout en favorisant la démocratisation de la science et un environnement plus sain.

