

# Énergie ET Sécurité

NO. 16 2001 UNE PUBLICATION DE L'IEER

## La fin de l'économie du plutonium : Arrêter de retraiter et commencer à immobiliser

PAR ARJUN MAKHIJANI

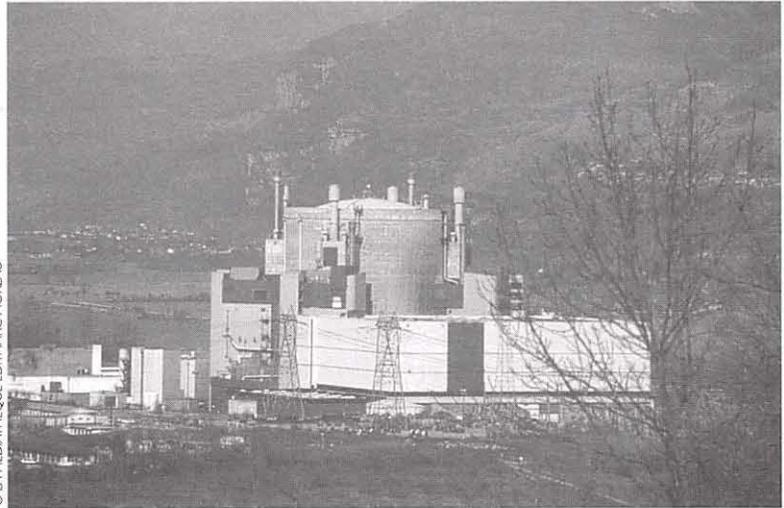
*Le problème des excédents de plutonium militaire s'est imposé rapidement à la fin de la guerre froide du fait des inquiétudes largement répandues quant à l'apparition éventuelle d'un marché noir de ce genre de plutonium (et de têtes nucléaires tactiques) après l'effondrement de l'Union soviétique. Mais le problème du plutonium civil séparé - dont le potentiel proliférant est tout aussi important - a peu à peu pris de l'importance au cours de la décennie passée, sans susciter une attention comparable.*

*L'industrie nucléaire avait espéré que le plutonium civil serait un combustible de grande valeur. Mais l'actualité économique du monde réel a ruiné ces espoirs, de la même façon que l'actualité politique a rendu obsolète l'idée selon laquelle la possession de stocks importants de plutonium militaire constituait un gage de sécurité.*

*Etant donné que la quasi totalité des combinaisons isotopiques de plutonium séparé, qu'il soit de provenance civile ou militaire, peut être utilisée pour la fabrication d'armes nucléaires, le plutonium est l'un des liens les plus importants entre les domaines civil et militaire de l'industrie nucléaire. La gestion du plutonium séparé, quelle que soit son origine, est par conséquent cruciale pour une politique de non-prolifération cohérente.*

*On a déjà beaucoup écrit sur les surplus de plutonium militaire, notamment une grande quantité de documents publiés par l'IEER, l'Académie Nationale des Sciences des Etats-Unis et bien d'autres. En janvier 2001, l'IEER a publié un rapport sur la gestion du plutonium civil, et la façon dont son évacuation pourrait et devrait être intégrée à la gestion des excédents de plutonium militaire. Cet article présente un résumé de ces travaux. Pour les références, consultez le rapport dans son intégralité.<sup>1</sup>*

LIRE LA SUITE PAGE 2  
VOIR LA PAGE 7 POUR LES ANNOTATIONS



Superphénix, le plus grand réacteur du monde. Il a été fermé prématurément et définitivement en 1998. Les problèmes techniques et les coûts élevés ont voué à l'échec de programme surgénérateur français.

### EDITORIAL

## Analyse de risque : un seul outil

PAR ARJUN MAKHIJANI

L'analyse de risque est une discipline relativement nouvelle qui est devenue un enjeu central du débat public et du mécanisme de prises de décision concernant un grand nombre de problèmes écologiques. Elle vise à quantifier les risques posés par les substances et/ou les procédés dangereux. Dans ses fondements, l'analyse de risques est probabiliste : elle cherche à quantifier à la fois la probabilité et l'ampleur de conséquences négatives pour les individus, les populations ou les écosystèmes, à partir de dangers spécifiques.<sup>2</sup>

Il existe plusieurs étapes dans l'évaluation du risque, qui vont de la définition de la nature du danger à l'estimation de l'exposition et des effets réels.

### Déterminer la nature d'un danger

Tout d'abord, il faut décider si un procédé ou une substance particulier(e) peut être nocif(ve) et comment. Par exemple, une

LIRE LA SUITE PAGE 7  
VOIR LA PAGE 9 POUR LES ANNOTATIONS

### DANS CE NUMÉRO

Un rapport français remet en cause l'intérêt du retraitement et du MOX .....	10
L'accord russo-américain sur l'évacuation du plutonium .....	13
L'énigme atomique .....	16

Le plutonium 239 est fabriqué par l'irradiation - dans un réacteur nucléaire - d'uranium 238, un isotope relativement abondant, présent dans la nature. Cette opération peut être réalisée à des fins militaires, auquel cas l'on extrait le plutonium présent dans les barres de combustible ou des cibles irradiées dans un réacteur nucléaire (que l'on l'appelle généralement « combustible irradié » ou « combustible usé »). Du plutonium se crée également dans des réacteurs nucléaires civils, parce que l'uranium 238 est présent en grande quantité dans le combustible. Etant donné qu'il existe de nombreux réacteurs nucléaires de ce type (plus de 400 dans le monde), la quantité totale de plutonium produite dans l'industrie nucléaire civile dépasse largement celle produite par les programmes nucléaires militaires. Fin 1999, le plutonium créé par les réacteurs civils s'élevait à plus de 1400 tonnes, à comparer aux 270 ou 300 tonnes des programmes militaires.

Le plutonium peut aussi être utilisé pour alimenter les réacteurs. Afin de l'utiliser comme combustible nucléaire, il faut d'abord le séparer de l'uranium et des produits de fission résiduels contenus dans les barres de combustibles irradiées. Les procédés chimiques et électrochimiques utilisés pour réaliser cette séparation sont regroupés sous le terme général de « retraitement ». Il reste 250 tonnes de plutonium militaire dans les stocks nationaux. Le reste a été consommé par les essais nucléaires, dispersé de par le monde et dans des cavités souterraines, comme résidus non utilisés des essais, et entreposé ou évacué en tant que déchets. De la totalité du plutonium civil, environ 280 tonnes ont été séparées, alors que le reste est toujours contenu dans le combustible usé. Une partie du plutonium civil séparé a été utilisée comme composante du combustible MOX, un mélange d'oxyde de plutonium et d'oxyde d'uranium, et le reste est toujours entreposé. Le tableau 1 montre l'inventaire actuel du plutonium civil séparé dans le monde.

Etant donné que la quantité de plutonium utilisée comme combustible MOX est bien plus petite que celle qui est séparée, le stock de plutonium civil s'accroît d'environ 10 tonnes par an. Le stock militaire s'accroît d'environ une tonne par an, principalement en Russie et aux États-Unis. Les deux pays affirment qu'ils retraitent pour des raisons écologiques et non militaires. A cette allure, le stock de plutonium civil séparé devrait dépasser le stock de plutonium militaire dans les années qui viennent. Il est déjà si imposant qu'il représente un sérieux problème de prolifération. Un groupe de travail interministériel du gouvernement américain sur l'évacuation du plutonium a clairement affirmé que :

*« Quasiment toutes les combinaisons d'isotopes de plutonium - c'est-à-dire les différentes formes d'un élément ayant un différent nombre de neutrons dans*

*leurs noyaux - peuvent être utilisées pour fabriquer une arme atomique. Toutefois, toutes les combinaisons ne sont pas également pratiques ou efficaces. »<sup>2</sup>*

Une tonne de plutonium de qualité militaire pourrait être utilisée pour fabriquer environ 200 bombes atomiques - davantage, si l'on utilise des modèles de bombes sophistiqués. Il faut environ 40% de plus de plutonium de qualité réacteur pour fabriquer une bombe de ce genre. Les quantités de plutonium civil entreposé sont par conséquent suffisantes pour la fabrication, au minimum, de 30 000 bombes atomiques de taille similaire à celle qui a détruit Nagasaki.

### **Plutonium civil : le contexte d'une situation embarrassante**

Pendant la plus grande partie de la période qui a suivi la Deuxième Guerre mondiale, le plutonium était considéré non seulement comme l'arme du pouvoir

LIRE LA SUITE PAGE 3  
VOIR LA PAGE 7 POUR LES ANNOTATIONS

## Énergie & Sécurité

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

**L'Institut pour la Recherche sur l'Énergie et l'Environnement (IEER)**

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.

### **Crédits pour ce numéro**

Traduction: Annike Thierry

avec la collaboration de: Jean-Luc Thierry et Annie Makhijani

Mise en page: Cutting Edge Graphics, Washington D.C.

Énergie et Sécurité est gratuit pour tous.

Rédactrice en chef: Lisa Ledwidge

La version anglaise de ce numéro

a été publiée en février 2001.

### **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 •  
HKH Foundation • New Land Foundation •

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  
• DJB Foundation •

**TABLEAU I : ESTIMATION DES STOCKS DE PLUTONIUM CIVIL SÉPARÉ DANS LEURS PAYS D'ENTREPOSAGE, EN TONNES**

Pays	Stock de plutonium séparé	Date du stock	Commentaires
France	~80	Fin-1999	Prend en compte le plutonium étranger entreposé en France
Grande-Bretagne	78,5	31 mars 2000	Prend en compte le plutonium étranger entreposé en Grande-Bretagne
Russie	30	2000	
Japon	5,3	Fin 1999	
Etats-Unis	1,5	2000	
Autres	11	Fin 1998	Allemagne, Belgique, Inde
TOTAL	~206		Ce total devait dépasser 210 tonnes à la fin de l'an 2000.

Note: Ce tableau prend en compte le plutonium sous forme de combustible MOX non irradié.

PLUTONIUM SUITE DE LA PAGE 2

dans un monde régi par les armes nucléaires, mais aussi comme une source d'énergie « magique ». Cela venait du fait qu'un type particulier de réacteur, appelé réacteur surgénérateur, serait capable de convertir de l'uranium 238 en une quantité de plutonium 239 supérieure à celle nécessaire au fonctionnement du réacteur. Il y aurait donc eu plus de combustible (plutonium 239) à la fin du processus qu'au début, tout en réalisant une production d'électricité.<sup>3</sup>

Les grands espoirs des années 1950, qui voyaient dans le plutonium une source d'énergie « magique » - pouvant même être « trop bon marché pour être facturée » - se sont perdus sur les méandres de toute une série de problèmes pratiques qui n'ont fait qu'empirer au cours des 25 dernières années :

1. L'uranium s'est avéré être bien plus abondant que prévu, et le prix de l'uranium a baissé rapidement (à l'exception d'une petite montée dans les années 1970). Il est actuellement au niveau ou près du niveau le plus bas de son histoire.
2. Les réacteurs surgénérateurs refroidis par sodium, la technologie de choix pour la création d'une économie du plutonium, et celle pour laquelle les plus grands efforts et les plus grands investissements ont été fournis, se sont avérés être une technologie très difficile à maîtriser et à rentabiliser. Malgré des dépenses de construction de plus de 20 milliards de dollars (en dollars de 1999), étalées sur plus de quatre décennies, seulement pour les grandes centrales achevées, cette technologie continue d'être minée par des problèmes techniques et des coûts trop importants. Le tableau 2 montre une estimation des investissements effectués au niveau mondial pour les réacteurs surgénérateurs refroidis par sodium (en dollars de 1996), et le statut actuel de ces divers réacteurs.
3. Le plutonium civil séparé peut être utilisé pour fabriquer des armes nucléaires, ce qui implique que le

développement d'une économie du plutonium aggrave de façon considérable les risques de prolifération en comparaison avec les risques posés par les réacteurs nucléaires alimentés avec du combustible à l'uranium.

4. Le retraitement s'est avéré être une technologie coûteuse, ce qui accroît par conséquent les coûts du plutonium par rapport à ceux de l'uranium.
5. Le retraitement rejette de grandes quantités de déchets radioactifs liquides et crée également d'autres déchets radioactifs qui posent des problèmes en matière de protection de l'environnement, et qui engendrent des risques au niveau de la santé et de la sécurité.

Des événements récents, tous à l'exception d'un seul, sont hautement défavorables à la poursuite du retraitement civil et à l'utilisation de combustible MOX :

1. Après l'élection de la coalition des Sociaux Démocrates et des Grünen (Verts) à la fin de l'année 1998, l'Allemagne a décidé de sortir du nucléaire. Leur calendrier de sortie, tel qu'il se présente actuellement, sera relativement lent, puisqu'il correspondra approximativement à la durée de vie des centrales existantes. Mais la sortie du nucléaire comprend forcément l'arrêt du retraitement du combustible utilisé allemand. Cela signifie qu'il sera encore plus difficile de justifier la poursuite de l'exploitation d'UP3 en France (une installation dédiée au retraitement de combustible utilisé étranger) et de l'usine de retraitement anglaise, THORP, appartenant à *British Nuclear Fuels (BNFL)* une compagnie d'Etat, qui a aussi été créée afin de répondre aux besoins des clients étrangers.
2. La décision du gouvernement allemand de sortir du nucléaire, et par conséquent du retraitement, a des conséquences en France et ailleurs, où l'idée même de

LIRE LA SUITE PAGE 4  
VOIR LA PAGE 7 POUR LES ANNOTATIONS

**TABLEAU 2 : COÛTS D'INVESTISSEMENT DES RÉACTEURS SURGÉNÉRATEURS REFROIDIS PAR SODIUM DE PLUS DE 100 MEGAWATTS THERMIQUES (MWT)**

Réacteur et pays	Capacité, en MWT	Dates d'exploitation <sup>a</sup>	Coût d'investissement, en millions de dollars américains (de 1996) et, entre parenthèses et en italique, l'équivalent en millions de francs français <sup>1</sup>
Fermi 1, USA	300	1966-72	403 (2 640)
BN350, Kazakhstan	1 000	1972-	724 (4 740)
Phénix, France	560	1973-	395 (2 590)
Dounreay PFR, Grande-Bretagne	600	1974-94	~395 (~2 590)
Joyo, Japon	100	1977-	144 (940)
KNK-2, Allemagne	~100	1977-91	107 (700)
BN600, Russie	1 470	1980-	918 (6 010)
FFTF, USA	400	1980-1993	1 397 (9 150)
Superphénix, France	2 900	1985-98	6 028 (39 480)
Monju, Japon	714	1994-1995	5 134 (33 630)
SNR-300, Kalkar, Allemagne	762	N'a pas été mis en exploitation	4 272 (27 980)
Total	8 906		19 917 <sup>b</sup> (130 450)

Notes: a. La date de début d'exploitation correspond à la première fois où le stade de criticité à été atteint. b. Le total ne prend pas en compte les dépenses, d'environ 1,6 milliard de dollars (en dollars actuels), occasionnées pour le réacteur surgénérateur incomplet et abandonné de Clinch River - (coûts correspondant à environ 3 millions de dollars en dollars de 1996), ni les coûts d'autres réacteurs incomplets.

1 Note de la traductrice: Le taux de change dollar- franc étant fluctuant, nous avons unifié la correspondance en francs sur la base d'un euro pour un dollar, soit un dollar = 6,55 francs. Cette valeur est donnée pour information, nous faisons donc remarquer qu'il s'agit de chiffres très approximatifs.

PLUTONIUM SUITE DE LA PAGE 3

cette sortie est maintenant plus acceptable politiquement. Les subventions accordées à l'économie du plutonium en France détonnent dans le paysage. (Voir l'article associé à la page 10).

3. Au Royaume-Uni, le Comité scientifique et technologique de la Chambre des Lords (*Science and Technology Committee*) a conclu en 1999 que la majeure partie du plutonium civil britannique devrait être considérée comme déchet. Cela a porté un coup sévère aux perspectives de subventions du combustible au plutonium en Grande-Bretagne.
4. Le feu de sodium accidentel survenu au Japon en 1995 dans le réacteur surgénérateur de démonstration de Monju, soit seulement un an et demi après sa divergence, et l'accident de criticité de septembre 1999 à l'usine de Tokaimura (qui a irradié et causé la mort de deux travailleurs et a fait de nombreuses autres victimes), ont renforcé l'opposition aux projets d'utilisation du MOX au Japon. L'avenir même de l'énergie nucléaire au Japon est maintenant remis en question d'une manière qui ne semblait pas possible avant l'accident de Tokaimura.
5. Les révélations de la falsification de certaines données de 'contrôle-qualité' des combustibles MOX de BNFL, notamment des données liées à certains des

combustibles expédiés par bateau au Japon, ont jeté en plein désarroi le programme de MOX et de retraitement britanniques.

6. Minatom (le ministère russe pour les affaires nucléaires), l'agence nucléaire la plus attachée à une économie du plutonium, a été et demeure à court d'argent, et ne peut poursuivre seule son ambitieux programme de surgénérateurs. La Russie ne possède pas non plus d'usine de fabrication de MOX de taille industrielle.
7. Le seul facteur récent en faveur du combustible MOX provient du secteur militaire. L'accord du 1er septembre 2000 entre les Etats-Unis et la Russie permettrait de créer le seul chaînon manquant à l'infrastructure du cycle du plutonium en Russie, si les pays occidentaux le subventionnent dans son intégralité et s'il se déroule comme prévu (voir ci-dessous). Cet accord a pour but de transformer les stocks de plutonium militaire déclarés en excédent par les deux pays, en une forme non utilisable pour la fabrication d'armes, principalement par le biais de leur utilisation sous forme de MOX dans des réacteurs à eau ordinaire. La Russie souhaite également que cette usine de fabrication de MOX soit capable de fabriquer du MOX pour les surgénérateurs. Quoi qu'il en soit, la Russie et les Etats-Unis n'ont pas jusqu'ici pu arriver à un accord sur le pays qui porterait

LIRE LA SUITE PAGE 5  
VOIR LA PAGE 7 POUR LES ANNOTATIONS

la responsabilité du programme, notamment en cas d'accident. L'accord renvoie cette question à de futures négociations (voir l'article associé page 13).

Les événements passés et la conjoncture actuelle ont conduit à s'interroger sur la politique à suivre pour gérer le stock de plutonium civil - énorme, non rentable, et en croissance rapide - qui est devenu une grande question d'actualité. Ce problème est exacerbé par le fait que les stocks de plutonium et les installations associées sont gérés par des institutions qui sont en train de perdre la confiance et le respect du public, en particulier à cause des falsifications de données, des problèmes de sécurité, et des scandales écologiques qui affectent BNFL. Ces facteurs ont aggravé les problèmes sous-jacents provenant des mauvaises prises de décisions économiques des gouvernements et des sociétés privées liées à l'économie du plutonium.

Comme on pouvait s'y attendre, l'industrie du plutonium continue à faire pression pour obtenir des subventions, auxquelles elle devrait logiquement ne pas avoir droit. Une somme d'argent à la fois énorme et injustifiable - de l'ordre de 100 milliards de dollars (650 milliards de francs) au niveau mondial - a d'ores et déjà été dépensée ces cinquante dernières années

pour financer des tentatives de mise en place d'une économie basée sur le plutonium. L'essentiel de cette somme a été utilisée pour des surgénérateurs de grande taille, qui sont presque tous arrêtés. Le reste a pour l'essentiel servi au financement du retraitement et à l'utilisation sous forme de combustible du plutonium produit à perte de cette manière. Ces différents coûts sont résumés dans le tableau 3. Aucune baisse des subventions n'est en vue, et il n'existe aucun moyen raisonnable permettant de résoudre les nombreux problèmes qui restent en suspens dans un avenir prévisible.

Si des critères rationnels relevant strictement de l'économie ou de la sécurité internationale avaient prévalu, l'industrie civile des surgénérateurs et de la fabrication de combustible au plutonium aurait dû disparaître de la scène mondiale des choix énergétiques il y a au moins une dizaine d'années. Pourtant, plusieurs pays poursuivent actuellement la séparation du plutonium civil et certains ont encore des projets d'utilisation de surgénérateurs. Au cours des années 1990, il y a eu une augmentation considérable de l'utilisation du plutonium sous forme de MOX, sans justification économique, dans les réacteurs déjà

LIRE LA SUITE PAGE 6  
VOIR LA PAGE 7 POUR LES ANNOTATIONS

**TABLEAU 3 : RÉCAPITULATIF DES COÛTS NETS APPROXIMATIFS DES TENTATIVES DE DÉVELOPPEMENT DU COMBUSTIBLE AU PLUTONIUM AU NIVEAU MONDIAL**

Catégorie de coût	Coût, en dollars US de 1999 et indication en milliards de francs français <sup>1</sup>	Commentaires
Principaux réacteurs surgénérateurs	~20 milliards (131)	Il ne s'agit ici que de réacteurs de plus de 100 mégawatts thermiques, et seulement des réacteurs achevés.
Réacteurs surgénérateurs partiellement construits, petits surgénérateurs, coûts d'exploitation nets	~10 milliards ? (65,5)	Les coûts d'exploitation nets sont les coûts de l'exploitation du réacteur excédant les revenus produits par la vente d'électricité.
Retraitement et MOX	~40 milliards (~262)	Valeur nette obtenue par la substitution du combustible à l'uranium par du MOX. Estimation approximative.
Construction de l'usine de retraitement de Rokkasho-mura	~20 milliards (~131)	Chantier en cours, qui devrait selon les sources officielles être achevée en 2005
Autres coûts anciens (R&D, infrastructure, anciens démantèlements, stockage de plutonium civil à long terme)	De nombreux milliards	Comprend les usines de retraitement fermées (par ex West Valley dans l'Etat de New York), le démantèlement de surgénérateurs et d'usines de retraitement par le passé, et la Recherche-Développement pour les surgénérateurs et le retraitement
<b>Sous-total. Coûts à ce jour</b>	<b>~100 milliards (655)</b>	
Coûts nets de la poursuite du retraitement et du MOX	~2 milliards par an (~13 milliards FRF par an)	Sur la base de 1000 dollars par tonne de métal lourd, et d'un retraitement aux taux actuels.
Coûts d'entreposage pour les anciens stocks de plutonium	0,4 milliard par an (~2,60 milliards FRF par an)	
Coûts d'évacuation du plutonium civil et des démantèlements à venir	Un total de plusieurs dizaines de milliards	

1 Note de la traductrice: Le même taux de change a été utilisé ici que pour le tableau 2 page 4.

existants, ce qui a débouché sur la création d'un nouvel ensemble de subventions pour l'industrie du plutonium.

Ces subventions et projets irréalistes persistent, parce que ceux qui ont espéré et cru avec ferveur aux perspectives d'utilisation à long terme du plutonium pour la production d'énergie ont eu une influence suffisante dans les milieux économiques et politiques pour maintenir allumée la flamme du plutonium. En effet, ils ont été capables d'augmenter considérablement la quantité de plutonium séparé et utilisé comme combustible MOX dans des réacteurs à eau ordinaire - le modèle de réacteur civil le plus répandu - qui n'étaient, pour la plupart, pas conçus pour du combustible au plutonium. Pour la France seule, l'utilisation du MOX pour l'industrie civile du plutonium correspond à un subventionnement d'environ un milliard de dollars (6,5 milliards FRF). (Voir l'article associé page 10).

### L'évacuation du plutonium militaire

Les perspectives d'utilisation du combustible au plutonium ont également été relancées par la fin de la guerre froide. Les Etats-Unis et la Russie se proposent d'utiliser l'essentiel de leurs excédents déclarés de plutonium militaire comme combustible dans des réacteurs nucléaires civils. Cela serait une nouvelle subvention énorme à l'industrie du combustible au plutonium, au nom de la non-prolifération, et apporterait aux establishments nucléaires des deux pays les arguments qu'ils recherchent pour poursuivre le retraitement et leurs programmes de surgénérateurs. Plus précisément, Minatom a ouvertement des projets d'utilisation de cette infrastructure potentielle - créée avec des fonds occidentaux pour la non-prolifération - pour son programme de surgénérateurs.

Minatom a affirmé de façon très claire que le programme d'évacuation du plutonium militaire russo-américain « doit être considéré comme le premier pas du développement d'une technologie pour un cycle du combustible nucléaire fermé... » Cela impliquerait « l'utilisation d'un combustible pour réacteurs rapides à base d'un mélange d'uranium et de plutonium » (« réacteur rapide » est une autre expression utilisée pour parler de surgénérateurs).<sup>4</sup> Les Etats-Unis ont donné leur accord à la mise en place d'un tel schéma en Russie pour le plutonium militaire, alors qu'il a été rejeté par les Etats-Unis dans les années 1970 parce qu'il posait un trop grand risque de prolifération. (Voir l'article associé sur l'accord russo-américain, page 13).

La conversion des excédents de plutonium de qualité militaire en combustible, et son utilisation dans des réacteurs civils suscite non seulement des inquiétudes du point de vue de la prolifération, mais également au niveau de la sûreté. La grande majorité des réacteurs civils ont été conçus pour utiliser de l'uranium, et non du MOX, dans lequel les isotopes du plutonium

apportent la matière fissile. Des modifications de ces réacteurs pourraient s'avérer nécessaires pour intégrer davantage d'éléments de contrôle. Bien que le plutonium issu de combustible civil usé soit actuellement utilisé dans des réacteurs nucléaires en France, Allemagne, Belgique et Suisse, le plutonium de qualité militaire n'a jamais été utilisé comme combustible civil dans des réacteurs. Les codes informatiques qui seraient utilisés pour évaluer la sûreté du MOX fabriqué à partir de plutonium de qualité militaire seraient ceux développés et testés pour le plutonium de qualité réacteur. On ne sait toujours pas bien comment seront résolus les problèmes liés aux différences de composition isotopique entre le plutonium de qualité militaire et celui de qualité réacteur, mais aussi ceux liés aux différents schémas de chargement du MOX.

Les conséquences d'un accident dans un réacteur contenant du MOX seraient plus graves que dans le cas d'un réacteur contenant du combustible à l'uranium parce que le combustible MOX contient une proportion plus importante de plutonium et de radionucléides transuraniens. L'autorité de sûreté nucléaire en Russie est relativement faible, ce qui soulève des questions sur la façon dont ces problèmes de sûreté seraient posés ou résolus. De surcroît, de nouveaux risques de prolifération vont également être induits, par l'acheminement de MOX neuf par autoroute, et son entreposage sur le site de centrales nucléaires civiles n'ayant pas actuellement des niveaux de sûreté militaires.

### L'immobilisation

Même si l'on mettait fin immédiatement à la séparation du plutonium civil et militaire, il resterait néanmoins à régler l'immense problème de la gestion des stocks de plutonium civil séparé et des excédents militaires. Il est donc urgent à la fois de mettre fin au retraitement civil et de mettre sur pied un programme permettant de mettre le plutonium civil et le plutonium militaire en excédent en une forme non utilisable pour la fabrication d'armes, aussi rapidement que possible tout en respectant les critères de protection de la sûreté, de la santé et de l'environnement.

L'IEER a montré au cours d'analyses passées que l'immobilisation du plutonium en suivant l'une des différentes options disponibles, serait une méthode plus sûre, plus rapide et moins coûteuse pour transformer le plutonium séparé en une forme non utilisable pour la fabrication d'armes.<sup>5</sup> Le but premier de cette immobilisation devrait être d'empêcher le vol de plutonium par des Etats non dotés d'armes nucléaires ou par des groupes terroristes. L'idée d'immobiliser tout le plutonium civil séparé et tous les excédents de plutonium militaire n'a fait aucun progrès, et ceci pour deux raisons :

- ▶ On croit généralement que la Russie n'acceptera pas d'autre option que l'utilisation du plutonium comme

LIRE LA SUITE PAGE 7  
VOIR LA PAGE 7 POUR LES ANNOTATIONS

combustible. Par conséquent, l'option consistant à transformer le surplus de plutonium militaire en combustible MOX est considérée comme essentielle pour que le plutonium militaire russe soit mis en une forme non utilisable pour la fabrication d'armes (ici en combustible usé);

- ▶ Le lobby du plutonium des pays occidentaux et du Japon a fermement soutenu la création d'une infrastructure pour le combustible MOX utilisant des fonds destinés à la non prolifération.

Bien qu'il soit vrai que Minatom souhaite le financement d'une infrastructure du combustible MOX à partir de fonds occidentaux, cela ne signifie pas qu'une proposition différente serait rejetée par tous les acteurs de la société et du gouvernement russes. Par exemple, aucune offre n'a jamais été présentée au gouvernement russe visant à racheter la totalité du plutonium civil séparé et du plutonium militaire russes en surplus pour l'immobiliser et l'entreposer en Russie sous surveillance internationale. Cela coûterait au plus 2 milliards de dollars (13 milliards FRF) pour l'achat de 80 tonnes de plutonium, si on lui attribuait son prix théorique maximum (c'est-à-dire s'il était transformé par magie en combustible MOX à coût zéro).<sup>6</sup> L'immobilisation du plutonium coûterait une somme équivalente. Les arrangements existant actuellement dans le cadre de la

coopération sur la sûreté nucléaire indiquent une volonté russe d'étudier des programmes qui n'auraient pas été entrepris autrement. Pourtant, aucune offre de rachat des excédents de plutonium russe en surplus avec pour but son immobilisation n'a été présentée officiellement au gouvernement russe. Une telle approche, associée à un arrêt total du retraitement dans le monde entier, doit être étudiée de façon urgente pour des raisons de non-prolifération, de sûreté et de protection de l'environnement.



- 1 Arjun Makhijani, *Plutonium End Game: Managing Global Stocks of Separated Weapons-Usable Commercial and Surplus Nuclear Weapons Plutonium*. Takoma Park, Maryland: Institute for Energy and Environmental Research, janvier 2001. Sur le site web : <http://www.ieer.org/reports/pu/index.html>.
- 2 U.S. DOE, *Nonproliferation and Arms Control Assessment of Weapons-Usable Fissile Material Storage and Excess Plutonium Disposition Alternatives*, DOE/NN-007. Washington, DC: U.S. Department of Energy, janvier 1997, p. 37.
- 3 Ce procédé est bien sûr théoriquement limité par la disponibilité d'uranium 238, un combustible actuellement abondant.
- 4 Source des citations: *Strategy for the Development of Power Engineering in Russia for the First Half of the 21st Century: Principal Provisions*. Moscou: Ministère pour l'Ingénierie de l'Energie Atomique de la Fédération Russe, 2000, pp. 17-18.
- 5 Les analyses et commentaires techniques de l'IEER concernant l'évacuation de plutonium militaire sont diffusés sur son site web suivant : <http://www.ieer.org/latest/pu-disp.html>.
- 6 La valeur économique réelle du plutonium en tant que combustible (qu'il soit d'origine civile ou militaire) est négative, puisqu'il est plus cher que le combustible à l'uranium.

substance peut présenter une toxicité aiguë ou être un poison seulement en cas d'exposition prolongée, elle peut aussi être carcinogène, mutagène, etc.. Il est également nécessaire de définir les doses à partir desquelles ces effets et d'autres surviennent. Lorsque les situations dangereuses peuvent faire intervenir des rejets accidentels, il faut également calculer les probabilités d'accidents. Il est possible qu'il faille toute une série de défaillances pour qu'un accident se produise. Dans de tels cas, une analyse de risques implique en général la mise au point « d'arbres de défaillance », qui sont des diagrammes montrant la (les) séquence(s) des défaillances dans des sous-systèmes qui pourraient aboutir à une défaillance globale du système. Dans l'idéal, cela permet idéalement d'évaluer la probabilité globale de défaillance.

### Déterminer l'exposition

Lorsqu'on fait l'estimation d'une exposition causée par la contamination de l'environnement (appelée « reconstruction de dose »), il est essentiel de connaître la quantité de polluant qui a été rejetée dans un milieu donné, tel que l'air ou l'eau, à partir d'une source de pollution (appelée « terme source »). En l'absence de cette indica-

tion, il est nécessaire d'avoir un historique précis des concentrations de polluants dans l'air, l'eau et les sols.

Un rejet dans un milieu donné peut affecter un autre milieu. Ainsi, les émissions dans l'air de particules radioactives finiront par se déposer dans le sol au fur et à mesure de leurs « retombées ». Les polluants à la surface du sol peuvent aussi s'infiltrer jusque dans la nappe phréatique ou se trouver entraînés dans les eaux de surface par la pluie et la fonte des neiges. Des radionucléides tels que le césium 137, le strontium 90 et le carbone 14, et de nombreux composés toxiques organiques peuvent être incorporés par la végétation et les cultures partir de l'air, de l'eau et du sol.

« L'analyse de la voie de transfert » clarifie les voies souvent complexes par lesquelles les polluants atteignent la population par l'intermédiaire de l'environnement. Cette analyse permet de convertir des estimations de rejets en estimations de doses. Les expositions des travailleurs peuvent être, en principe, vérifiées plus directement. Par exemple, les travailleurs des centrales nucléaires portent des dosimètres photographiques personnels qui enregistrent les niveaux d'exposition aux rayonnements bêta et gamma. L'exposition interne aux matières radioactives

LIRE LA SUITE PAGE 8  
VOIR LA PAGE 9 POUR LES ANNOTATIONS

peut être déterminée à partir du comptage d'échantillons d'urines et d'expositions au corps entier.

Les substances nocives peuvent aussi être contenues dans des produits de consommation, auquel cas il est nécessaire de faire des prélèvements d'échantillons de ceux-ci et d'en étudier les modes d'utilisation et de consommation afin d'estimer l'exposition.

### Évaluer les dommages

Une fois que les niveaux d'exposition des travailleurs et des populations vivant en dehors du site ont été déterminés, il est possible d'estimer les conséquences néfastes pour la santé si les effets de l'exposition à cette substance sont connus. Dans de nombreuses circonstances, une autre façon d'évaluer l'impact causé sur la santé est de mener une étude épidémiologique - s'il est possible d'établir des groupes d'individus exposés et des groupes de contrôle appropriés.

Les risques peuvent être exprimés en termes absolus ou relatifs, et sur une base individuelle ou au niveau de la population. Indiquer que le risque pour un individu de contracter un cancer à la suite d'un niveau donné d'exposition est de 1 sur 100 000 revient en général à dire que l'on s'attendrait à trouver un « cancer en excès » sur une population de 100 000 si chaque personne avait connu le même niveau d'exposition. Il s'agit d'une indication sur le « risque absolu » parce qu'elle spécifie le nombre précis de cancers qui seraient engendrés à la suite de l'exposition.

On peut aussi définir un « risque relatif », par exemple en disant qu'un risque individuel (à l'intérieur d'une population donnée) de contracter un cancer donné a doublé à la suite d'une exposition. Cela signifie que l'on s'attendrait à trouver deux fois plus de cas de cancers parmi la population exposée que dans une population « de contrôle » comparable, mais n'ayant pas subi d'exposition.

### Incertitudes liées à la nature du danger

Lorsque l'on identifie un danger, les manifestations aiguës (à court terme) liées à des niveaux d'exposition élevés à des substances toxiques sont souvent bien connues. Il est donc relativement facile dans de tels cas de démontrer qu'un effet a probablement été causé par un danger donné. Par exemple, les manifestations aiguës d'une exposition à des niveaux élevés d'irradiation, parmi lesquels on trouve entre autres des vomissements et la perte de cheveux, sont bien connues.

Au contraire, les effets chroniques de l'exposition à des faibles doses de matières toxiques et d'irradiation ne se manifestent qu'à long terme, et peuvent dépendre de l'imbrication de nombreux facteurs, tels que le régime alimentaire, les prédispositions génétiques et l'exposition à d'autres substances nocives. Par exemple, il est

difficile de démontrer le lien entre une exposition donnée et des conséquences néfastes à cause de la longue période de latence et des incertitudes concernant les causes de cancers.

D'autres problèmes viennent s'ajouter, du fait que les estimations des effets à long terme sont souvent basées sur des extrapolations plutôt que directement sur des données : on fait des extrapolations de doses relativement élevées vers des doses relativement faibles, d'études sur des animaux à des études sur les êtres humains, des hommes on extrapole aux femmes ou bien d'adultes à des enfants ou à des fœtus. De nombreux problèmes proviennent de telles extrapolations. Par exemple, certaines substances peuvent avoir des seuils en dessous desquels elles ne causent pas de dommages spécifiques, ce qui rend par conséquent erronées les extrapolations partant de doses relativement élevées pour trouver des doses faibles. Dans d'autres cas, les normes établies pour les adultes pourraient avoir des effets plus néfastes (proportionnellement) pour les enfants et les fœtus.

Le manque de données disponibles constitue un autre problème de taille dans l'identification des dangers. Un très grand nombre de produits chimiques sont devenus d'usage courant sans que leur toxicité à long terme à faibles doses ait jamais été analysée. Les effets synergiques de produits chimiques toxiques agissant ensemble ou associés à des rayonnements ionisants n'ont, le plus souvent, jamais été étudiés. Enfin, la recherche sur l'identification des dangers s'est focalisée sur le cancer, en négligeant souvent d'autres effets pénalisants importants pour la santé, tels que les malformations à la naissance ou les dommages causés au système immunitaire.

### Incertitudes dans l'estimation de l'exposition

Pour calculer les expositions causées par des accidents, il faut estimer à la fois la probabilité et les conséquences d'un accident donné. Ces estimations sont relativement simples à réaliser pour ce qui concerne les systèmes bien connus. Par exemple, le nombre d'accidents de la route aux États-Unis et leurs conséquences peuvent être estimés de façon assez précise d'année en année.

Mais il existe de nombreux problèmes dans l'estimation des probabilités pour des systèmes nouveaux et complexes, et dont les composants sont censés avoir un faible taux de défaillances. Il est possible que l'interdépendance entre les défaillances des composants ou des sous-systèmes ne soit pas bien connue. Dans de tels cas, seules des données limitées fournissent la base de la prédiction de la fréquence d'événements catastrophiques tels que les fusions de cœur de réacteurs nucléaires. Des simulations peuvent aider à réduire ces

LIRE LA SUITE PAGE 9  
VOIR LA PAGE 9 POUR LES ANNOTATIONS

incertitudes, mais pas à les éliminer. Parfois, il est même difficile de prévoir les types d'accidents catastrophiques qui pourraient se produire, sans parler de préciser leur probabilité.

Les estimations d'exposition dépendent également d'une connaissance solide des termes sources ou des concentrations en polluants rejetés dans l'environnement. Par exemple, aucune mesure n'a été faite des rejets de radium 226 dans l'air pendant les trois premières décennies de l'exploitation de l'usine de retraitement d'uranium appartenant au ministère de l'Énergie américain à Fernald dans l'Ohio. Dans d'autres cas, les estimations officielles peuvent être de mauvaise qualité du fait d'une surveillance inadéquate, du mauvais entretien des appareils et de toutes sortes d'autres problèmes. La re-évaluation des termes sources pour les rejets de substances nocives constitue une composante essentielle du travail de l'estimation de doses et des effets sanitaires pénalisants pour les populations vivant hors site à proximité d'usines de fabrication d'armements du DOE. En revanche, l'estimation de l'exposition aux produits chimiques contenus dans des aliments est souvent relativement facile.

De la même façon, dans le cas des travailleurs, les données pertinentes ne sont souvent pas disponibles ou ne sont pas assez fiables pour qu'il soit possible d'effectuer des évaluations précises de l'exposition des travailleurs. Par exemple, l'exposition de travailleurs à des matières toxiques non radioactives, comme l'acide fluorhydrique, causée par des opérations menées dans de nombreuses usines de fabrication d'armes nucléaires, ne peut être évaluée directement parce qu'aucune mesure de ces matières n'a été faite. Pourtant, ces expositions pourraient s'avérer bien plus importantes que ce qui avait été imaginé.

### Les limites de l'analyse de risques

Les incertitudes sont inhérentes à l'analyse de risque, étant donné que les évaluations de risques sont généralement des affirmations probabilistes. Une bonne pratique consiste à évaluer les incertitudes et à les exprimer de façon explicite. Lorsque les données sont relativement bonnes, les calculs d'incertitudes sont assez faciles à effectuer. En revanche, lorsque les données sont de mauvaise qualité ou non existantes, de tels calculs sont bien plus problématiques et sujets à controverse, parce qu'ils font entrer en ligne de compte le jugement personnel d'« experts » à la place de données et d'analyse réelles. Dans ces cas là, la marge d'incertitude peut être énorme.

Pourtant, même si toutes les données nécessaires au calcul du risque sont disponibles, l'analyse de risque ne devrait pas être la seule base de la prise de décision, et

ce pour de nombreuses raisons. En premier lieu, elle ne fait pas de différence entre les risques volontaires et involontaires. Il existe des différences humaines, politiques et éthiques fondamentales entre ces risques. On peut perdre six cent francs volontairement en prenant un risque en pariant sur un cheval, mais à juste titre être contrarié par la perte d'un seul franc lors d'un hold-up.

L'analyse de risque pose un deuxième problème fondamental : des événements ayant des conséquences catastrophiques mais une faible probabilité sont traités de la même façon que des événements ayant des conséquences mineures mais une probabilité élevée. Cela est dû au fait que le risque simple est calculé comme étant le produit de la probabilité d'un événement multiplié par la conséquence estimée. Ainsi, des accidents rares et à grande échelle comme ceux de Tchernobyl ou de Bhopal sont traités sur un plan d'égalité avec un événement beaucoup plus fréquent, tel qu'une fuite d'une quantité bien plus petite d'un radionucléide ou d'un produit chimique. Ce problème est particulièrement grave lorsque les conséquences des accidents aboutissent à la perte de la vie ou d'un membre ou à la contamination étendue des nappes phréatiques, et sont donc irrémédiables.

L'analyse de risque met en général sur un pied d'égalité des risques qui s'étendent loin dans l'avenir et les risques qui sont encourus par la génération qui bénéficie des activités en question. De la même façon, les risques encourus par un groupe social déterminé sont mis dans la balance au même titre que les bénéfices revenant à un autre groupe, même lorsque l'imposition de ces risques est discriminatoire dans la pratique. Par exemple, les populations vivant dans la campagne et les minorités ethniques ont souvent à payer une part disproportionnée de risques provenant d'activités dont bénéficient la classe moyenne urbaine et les populations aisées.

En résumé, l'analyse de risque peut être un guide quantitatif utile pour les prises de décision si elle s'appuie sur une étude scientifique solide et si elle est complétée par des processus de prise de décision sociaux et politiques qui prennent en compte les limites inhérentes à cette méthode.



1. Cet article a d'abord été publié dans le bulletin de l'IEER en langue anglaise, *Science for Democratic Action* vol 2, n°2. Je souhaiterais remercier Jim Werner pour tous ses commentaires sur la version préliminaire de cet article.
2. L'ouvrage de John J Cohrssen et Vincent T Covello, *Risk Analysis: A Guide to Principles and Methods for Analyzing Health and Environmental Risks*, donne une vue d'ensemble (bien que peu critique) de l'analyse de risque, et il comprend une bonne partie des réglementations et des documents de fonds ayant rapport à ce sujet. *Council on Environmental Quality, Executive Office of the President, Washington, D.C. 1989.* (Il est disponible auprès du *National Technical Information Service, Springfield, Virginie.*)

# Un rapport français remet en cause l'intérêt du retraitement et du MOX

PAR ANNIE MAKHIJANI

Les partisans du nucléaire aiment à montrer la France comme l'exemple de la réussite de l'énergie nucléaire. Les centrales nucléaires françaises produisent 75 à 80 pour cent de l'électricité du pays, et cette situation est bien souvent brandie comme le symbole de l'acceptation présumée de l'énergie nucléaire par une large majorité de la population française.<sup>1</sup> Pourtant, depuis la fin des années 1980, au cours desquelles le gouvernement français a pour la première fois essayé de lancer des enquêtes locales pour répertorier des sites potentiels d'entreposage [de déchets], la gestion des déchets nucléaires figure en bonne place dans la liste des inquiétudes principales de la population. Cette inquiétude a, à son tour, alimenté un débat sur l'abandon de l'énergie nucléaire. C'est dans ce contexte que le débat, plus restreint mais fondamental, de l'arrêt du retraitement, a fait l'objet pour la première fois d'une étude officielle.

Un rapport datant de juillet 2000, intitulé « Etude économique prospective de la filière électrique nucléaire », a été demandé par le Premier Ministre français Lionel Jospin, afin de fournir au gouvernement une analyse économique de l'énergie nucléaire, prenant en compte le retraitement et l'utilisation de MOX (mélange d'oxydes [de plutonium et d'uranium]).<sup>2</sup> Ce document est plus connu sous le nom de « rapport Charpin », du nom de son auteur principal, Jean-Michel Charpin, qui est le directeur du Commissariat du Plan. Les deux autres coauteurs sont Benjamin Dessus, Directeur du programme ECODEV (Ecodéveloppement) au Centre National de Recherche Scientifique, et René Pellat, Haut Commissaire à l'Energie Atomique.

Etant donné la diversité des institutions représentées par les auteurs, notamment l'establishment nucléaire français, le rapport doit être considéré comme une sorte de document technique officiel de consensus. Dans l'introduction du rapport, les auteurs affirment que :

« Nous n'avons pas cherché à définir les futurs les plus souhaitables, a fortiori les moyens de les atteindre. Cette étude ne débouche en conséquence sur aucune préconisation. [...] Notre ambition n'est pas de guider le choix des autorités, ni même d'influencer l'opinion publique. C'est de permettre au nécessaire débat démocratique de s'engager sur la base d'informations vérifiées et de raisonnements explicités en termes techniques, économiques et écologiques. »

Bien que le rapport n'ait émis aucune recommandation, ses deux principales conclusions concernant le

retraitement sont claires. Elles sont, en outre, basées sur des données fournies par l'industrie nucléaire elle-même. D'abord, le retraitement et l'utilisation du combustible MOX ne sont pas rentables et ne le seront pas non plus dans un avenir prévisible. Deuxièmement, le retraitement et l'utilisation du combustible MOX ne contribueront que de façon limitée à la réduction des quantités de radionucléides transuraniens présents dans les déchets, entre autres le plutonium.

Le rapport est structuré de façon à montrer une analyse économique comparative des différents modes potentiels de production d'électricité. Il évalue également l'impact à long terme de ces options pour l'environnement, notamment au niveau des émissions de dioxyde de carbone. Nous présentons ici le sommaire du Chapitre I du rapport, « Pour la France : l'héritage du passé », dans lequel les auteurs aboutissent aux deux conclusions précitées concernant le retraitement. Afin de remettre le rapport dans son contexte, nous avons décidé de le faire précéder d'une rapide vue d'ensemble du secteur de l'électricité et de l'utilisation du combustible MOX en France.

## La production d'électricité en France

La production globale d'électricité en France en 1997 était de 481 TWh (terawatt-heure)<sup>3</sup>. De ce chiffre, 376 TWh (soit 78 %) provenaient du secteur nucléaire. Le secteur nucléaire civil comprend 58 réacteurs à eau pressurisée. De ceux-ci, 20 utilisent actuellement du MOX, 8 pourraient être transformés afin d'utiliser du MOX mais n'en utilisent pas actuellement, et les 30 réacteurs restants utilisent du combustible UO<sub>2</sub> (dioxyde d'uranium) et ne peuvent pas être modifiés pour utiliser du MOX.

Les réacteurs qui sont chargés en MOX utilisent un cœur composé à 30% de MOX. Le reste du combustible est fait d'uranium faiblement enrichi. La charge de MOX de ces 20 réacteurs constitue la quasi-totalité du plutonium séparé à partir de combustible usé français. Le tableau 1 montre la quantité totale de combustible usé qui est déchargée des réacteurs français et, de celle-ci, la quantité qui en est retraitée. Si le MOX était chargé dans la totalité des 28 réacteurs qui peuvent l'utiliser, la totalité des 1100 tonnes de combustible usé UO<sub>2</sub> (environ) produits chaque année en France pourrait être retraitée. Il existe, en revanche, des quantités considérables de plutonium séparées non utilisées qui sont entreposées en France, puisque l'utilisation généralisée du MOX est bien plus récente que ne l'est le retraitement commercial.

LIRE LA SUITE PAGE 11

VOIR LA PAGE 12 POUR LES ANNOTATIONS

### TABLEAU 1: TYPES ET QUANTITÉS DE COMBUSTIBLES RETRAITÉS EN FRANCE

Type de combustible usé	Déchargement annuel, en tonnes	Quantité retraitée, en tonnes
UO <sub>2</sub>	~ 1100	850
MOX	~ 100	0
Total	1200	850

Source: Commission Nationale d'Evaluation Relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs, Instituée par la loi 91-1381 du 30 décembre 1991, Rapport d'Evaluation N°4, Octobre 1998.

#### Les scénarios

Le rapport a effectué son analyse en bâtissant sept scénarios. Six de ceux-ci supposent à l'avenir différents niveaux de retraitement et d'utilisation de combustible MOX. Ces six scénarios

peuvent en gros être divisés en deux groupes de trois, la seule différence entre les deux groupes étant la durée de vie attribuée aux réacteurs (41 ou 45 ans). Le septième scénario, appelé S7, est un scénario fictif qui estime le prix de l'électricité en France en imaginant que le retraitement n'ait jamais été mis en place.

La différence entre les deux durées de vie potentielles est si peu importante que nous avons décidé de centrer notre propos seulement sur le deuxième lot de scénarios, de S4 à S6, qui se basent sur une durée de vie des réacteurs de 45 ans. C'est également cette hypothèse qui a été posée dans le scénario de « non retraitement », et par conséquent elle permet une comparaison entre les coûts de différents niveaux de retraitement et le « non retraitement ».

Les scénarios S4 à S6 se basent sur les hypothèses suivantes :

- ▶ Le scénario S4 suppose que le retraitement va s'arrêter en 2010.
- ▶ S5 correspond à la situation actuelle de la France, c'est à dire que 70% du combustible usé est retraité, et le plutonium extrait est utilisé pour la fabrication de MOX et irradié dans 20 réacteurs.
- ▶ S6 correspond à la situation dans laquelle la totalité du combustible usé produit actuellement est retraitée, (mais pas les stocks de combustible usé non-retraités produits par le passé), et où le plutonium extrait est utilisé pour la fabrication de MOX et irradié dans 28 réacteurs.

Il est à remarquer qu'aucun scénario n'émet l'hypothèse d'un arrêt rapide du retraitement. Le rapport fait remarquer que les auteurs ont étudié un scénario impliquant l'arrêt du retraitement en 2001, date du renouvellement des contrats de retraitement d'Electricité de France, avant de le rejeter. L'argumentaire donné pour ce rejet est qu'un arrêt soudain engendrerait de nombreux problèmes techniques (le stockage de combustible usé), sociaux et légaux. Roland Lagarde, le conseiller de la ministre de l'Environnement Dominique Voynet pour les questions nucléaires, a récemment évoqué la possibilité de mettre fin au retraitement en 2002.

#### Analyse économique

Le tableau 2 résume les coûts des scénarios S4 à S7, pour lesquels on envisage la même durée de vie par réacteur, soit 45 ans. Les coûts présentés comprennent les coûts de démantèlement différés. (Le démantèle-

### TABLEAU 2: COÛT ET PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ EN FONCTION DE DIFFÉRENTS SCÉNARIOS DE RETRAITEMENT EN FRANCE

Scénario	S4 (arrêt du retraitement en 2010)	S5 (70% de retraitement)	S6 (« tout retraitement »)	S7 (pas de retraitement)
Coûts cumulés, en milliards de francs	2 888	2 910	2 927	2 762
Production d'électricité cumulée totale, en milliards de kilowattheure (milliard kWh)	20 238	20 238	20 238	20 238
Coût moyen de l'électricité, en centimes/kWh	14,27	14,38	14,46	13,65

ment immédiat est plus coûteux). Tous les chiffres correspondant aux coûts sont en francs français constants de 1999.

Ces résultats peuvent amener à plusieurs conclusions. Il est clair que, du point de vue économique, la France aurait largement gagné à ne pas faire de retraitement. La différence en coût cumulé entre le « tout retraitement » désiré par l'establishment nucléaire et le « non retraitement » s'élève à 165 milliards de francs. Cela correspond à une différence d'environ 3,7 milliards de francs par an, en moyenne et ce pendant la totalité de la durée de vie présumée des réacteurs (soit 45 ans). Pourtant, le MOX est seulement utilisé dans quelques réacteurs, et seulement pour une partie de la durée de vie de ces réacteurs. Par conséquent, la différence de coût entre les scénarios du « tout retraitement » et du « non retraitement », par réacteur utilisant du MOX et par année d'utilisation de MOX est

LIRE LA SUITE PAGE 12  
VOIR LA PAGE 12 POUR LES ANNOTATIONS

d'environ 330 millions de francs (en prenant en compte les coûts de retraitement associés).

Un arrêt du retraitement en 2010 permettrait d'économiser près de 40 milliards de francs cumulés, alors qu'un accroissement de la réutilisation du plutonium de 70 à 100% du combustible usé UO<sub>2</sub> produit annuellement coûterait 17 milliards de francs supplémentaires. Malheureusement, les chiffres concernant un arrêt potentiel du retraitement en 2001 ou 2002 ne sont pas fournis. Mais une extrapolation à partir des chiffres publiés indique que l'économie effectuée serait considérablement plus importante.

### La comptabilité des matières nucléaires

Le tableau 3 donne une projection des stocks de plutonium et d'américium en tonnes à la fin de la durée de vie présumée d'exploitation des réacteurs, soit au bout de 45 ans.

**TABLEAU 3: QUANTITÉS DE PLUTONIUM ET D'AMÉRICIUM CONTENUES DANS LE COMBUSTIBLE USÉ NON RETRAITÉ (UO<sub>2</sub> ET MOX) PRODUITS EN FONCTIONS DE DIFFÉRENTS SCÉNARIOS DE RETRAITEMENT EN FRANCE**

Scénario	S4 (Arrêt du retraitement en 2010)	S5 (70% de retraitement)	S6 (« tout retraitement »)	S7 (pas de retraitement)
Stock final de plutonium et d'américium, en tonnes	602	555	514	667

Note: L'américium correspond seulement à quelques pour cent des quantités ci-dessus.

Par conséquent, la forme de retraitement la plus poussée, si on la compare au scénario sans aucun retraitement, ne permet de réduire le stock de plutonium que de 153 tonnes (S6 comparé à S7), soit seulement de 23%. La différence entre le stock de plutonium du scénario d'arrêt du retraitement en 2010 et de « tout retraitement » est encore plus négligeable (15%). Plusieurs raisons expliquent ce manque d'impact du retraitement sur les stocks de plutonium:

- ▶ Le combustible usé MOX contient toujours une grande quantité de plutonium résiduel.
- ▶ La France possède de grandes quantités de plutonium séparées pendant la période où elle n'avait pas ou peu de réacteurs utilisant du MOX. <sup>4</sup> La France ne possède pas assez de réacteurs pour utiliser ces anciens stocks. De plus, le plutonium ancien contient de l'américium 241, un puissant émetteur gamma provenant de la décroissance du plutonium 241. Sa présence est un danger pour les travailleurs et nécessiterait son extraction du plutonium avant même la fabrication du MOX.

- ▶ Le projet de la France visant à utiliser de grandes quantités de plutonium dans des surgénérateurs s'est effondré du fait de graves problèmes techniques et de l'importance du coût du programme de réacteurs surgénérateurs. La France a arrêté définitivement le réacteur emblématique de ce programme, Superphénix, de loin le surgénérateur le plus grand du monde, ceci bien avant la date programmée de fermeture.
- ▶ Il existe également dans le combustible usé du plutonium que la France n'a pas l'intention de retraiter, parce qu'il lui faudrait, pour l'utiliser, s'engager dans un programme de transmutation.<sup>5</sup>

### Les conclusions de l'IEER

Le rapport Charpin apporte au public pour la première fois une étude détaillée des données officielles concernant le retraitement et l'utilisation de MOX en France. Ses conclusions montrent clairement que le

chemin à suivre est celui de l'arrêt rapide du retraitement puisque celui-ci ne résoud significativement aucun problème dans les secteurs de l'énergie ou de la gestion des déchets. Une sortie rapide du retraitement et par conséquent de l'utilisation du MOX semble donc être économiquement dans l'intérêt d'EDF qui, comme d'autres électriciens dans d'autres pays, se retrouve confrontée à une ère de dérégulation et

de compétition. Cogema, la compagnie appartenant principalement à l'État qui exploite toutes les usines de retraitement et de fabrication de combustible MOX en France, serait quant à elle certainement opposée à une telle politique.

- 1 Voir, par exemple, le documentaire en anglais Frontline, « Nuclear Reaction » diffusé le 15 avril 1997 sur PBS.
- 2 Jean-Michel Charpin, Benjamin Dessus et René Pellat, Etude économique prospective de la filière électrique nucléaire, La Documentation Française, Juillet 2000. Ce rapport peut être trouvé sur le site web suivant : <http://www.plan.gouv.fr/publications/4pageappert.htm>
- 3 Un térawatt équivaut à mille milliards de watts (10<sup>12</sup> ou 1 000 000 000 000 watts).
- 4 A la fin de l'année 1996, ce stock ancien était d'environ 35 tonnes. Si l'on inclut le plutonium d'origine étrangère, le chiffre passe à environ 65 tonnes.
- 5 L'analyse de l'IEER sur la transmutation comme méthode de gestion des déchets -qui comporte des études des risques en termes de protection de l'environnement, de gestion des déchets, de coûts et de prolifération - est résumée dans Energie et Sécurité n°13, et sur le web : [www.ieer.org/ensec/no-13/no13frnc/transm.html](http://www.ieer.org/ensec/no-13/no13frnc/transm.html).

# L'accord russo-américain sur l'évacuation du plutonium

PAR MICHÈLE BOYD

Le 1er septembre 2000, l'ex vice-président Al Gore et le Premier Ministre russe Mikhail Kasyanov ont signé l'accord russo-américain sur l'évacuation du plutonium.<sup>1</sup> Cet accord exige qu'une quantité de 68 tonnes de plutonium de qualité militaire, 34 tonnes pour chaque pays, soit mise sous une forme non utilisable pour la fabrication d'armes nucléaires, soit par son irradiation comme combustible dans des réacteurs (combustible MOX), soit par son immobilisation dans du verre avec des déchets hautement radioactifs.

Les Etats-Unis ont décidé d'utiliser 25,57 tonnes de plutonium pour en faire du MOX, et d'immobiliser le reste (soit 8,43 tonnes), alors que la Russie utilisera la totalité de son plutonium, soit 34 tonnes, pour la fabrication de combustible MOX. Le tableau ci-contre résume certaines des caractéristiques des stocks de plutonium militaire en surplus.

Selon cet accord, le plutonium immobilisé ne devra jamais être séparé, mais chaque pays sera autorisé à retraiter son MOX irradié une fois que les 34 tonnes de son plutonium auront été évacuées. Le ministère russe pour l'énergie atomique, Minatom, a clairement affirmé son intention de retraiter le combustible MOX comme une première étape du développement d'un cycle du combustible nucléaire « fermé » (voir l'article principal, page 1). Etant donné le calendrier du programme MOX stipulé dans l'accord, la Russie sera autorisée à ré-extraire le plutonium résiduel du MOX usé dès 2025, voire même plus tôt. Bien que la majeure partie des surplus de plutonium déclarés soit destinée à être utilisée dans des réacteurs à eau ordinaire aux Etats-Unis et en Russie, la Russie compte également utiliser une partie de son MOX dans des réacteurs surgénérateurs.<sup>2</sup> Le MOX pour réacteurs rapides contient un pourcentage beaucoup plus élevé de plutonium que celui destiné aux réacteurs à eau ordinaire.

Deux éléments cruciaux de cet accord : qui financera et qui assumera la responsabilité civile du programme russe, ont été renvoyés à de futures négociations, et le programme MOX en Russie ne pourra être lancé que lorsque ces problèmes seront résolus. De plus, le document officiel stipule qu'un accord doit être obtenu d'ici un an sur un doublement du taux d'évacuation, bien qu'il ne soit pas évident à l'heure actuelle comment cela se fera. Ces trois problèmes sont présentés plus en détail ci-dessous.

## Le financement

Le projet de financement du programme MOX russe est en suspens jusqu'à de prochaines négociations, l'accord multilatéral devant à priori être conclu avant le 1er septembre 2001. Si un accord n'est pas conclu avant le mois de mars 2002, les Etats-Unis et la Russie peuvent, soit accepter d'ajuster le calendrier de leurs programmes, soit abandonner totalement le programme.

## QUANTITES ET METHODE D'EVACUATION

### Pour les Etats-Unis

Quantités en tonnes)	Forme	Méthode d'évacuation
25,00	Cœurs et métal noncontaminé	Irradiation du MOX
0,57	Oxyde	Irradiation du MOX
2,70	Métal impur	Immobilisation
5,73	Oxyde	Immobilisation

### Pour la fédération russe

Quantités (en tonnes)	Forme	Méthode d'évacuation
25,00	Cœurs et métal non contaminé	Irradiation du MOX
9,00	Oxyde	Irradiation du MOX

### Formes

**Cœurs et métaux non contaminés :** le plutonium provenant ou contenu dans des éléments ou pièces des armes, et le plutonium métallique préparé pour être fabriqué en composants des armes. Le plutonium des cœurs peut être sous forme d'alliage, notamment avec du gallium.

**Métaux impurs :** alliage de plutonium avec un ou plusieurs éléments sous forme de métal homogène, et du plutonium non allié mais qui a été contaminé.

**Oxyde :** plutonium sous forme de dioxyde de plutonium

**Source :** *Agreement Between the Government of the United States of America and the Government of the Russian Federation Concerning the Management and Disposition of Plutonium Designated as No Longer Required for Defense Purposes and Related Cooperation. Annex on Quantities, Forms, Locations, and Methods of Disposition, Sections I and II. (1<sup>er</sup> septembre 2000)*

L'estimation actuelle du coût du programme MOX russe se situe dans une fourchette allant de 1,7 à 2,5 milliards de dollars (11 à 16 milliards de francs), alors que l'on estime le programme américain à approximativement 4 milliards de dollars (26 milliards FRF).<sup>3</sup> Les Etats-Unis ont alloué 200 millions de dollars (1,3 milliard FRF) pour la mise en place du programme russe, et ont promis l'apport de 200 millions de dollars supplémentaires, qui n'ont pas encore été accordés par le Congrès américain. Les Etats-Unis et la Russie ont débattu d'un financement multilatéral du programme de MOX russe avec les autres dirigeants des pays du G-8 (la Grande-Bretagne, le Canada, la France, l'Allemagne, l'Italie et le Japon) lors d'une réunion à Okinawa, au Japon, en juillet 2000. La Grande-Bretagne s'est engagée sur une contribution de 100 millions de dollars (655 millions FRF), et la France sur la somme de 60

LIRE LA SUITE PAGE 14  
VOIR LA PAGE 15 POUR LES ANNOTATIONS

L'ACCORD RUSSO-AMÉRICAIN SUITE DE LA PAGE 13  
millions de dollars (390 millions FRF), ce qui, ajoutés à la contribution américaine, aboutit à un total de 560 millions de dollars (3,7 milliards FRF) à comparer aux 900 millions de dollars (5,9 milliards FRF) nécessaires pour commencer la conception et la construction des installations MOX russes.<sup>4</sup>

Le G-8 a accepté de préparer un projet de financement international pour le programme russe avant sa prochaine réunion prévue à Gênes, en Italie, en juillet prochain.<sup>5</sup> Un groupe de travail spécial, le Groupe d'Experts sur la Non Prolifération a été spécialement créé au sein du G-8 pour développer un dispositif de financement et la structure d'un projet multilatéral, qui aborderait entre autres les questions liées à la structuration de la gestion du projet et aux droits de surveillance des pays donateurs. La Banque Européenne pour la Reconstruction et le Développement a été pressentie pour la direction de la mise en place du programme de MOX russe.<sup>6</sup>

### La responsabilité civile

Les Etats-Unis et la Russie ne sont pas encore tombés d'accord sur le pays qui serait tenu financièrement responsable en cas de dommages et intérêts liés au programme MOX russe. Aux Etats-Unis, le Price-Anderson Act prévoit jusqu'à 10 milliards de dollars (65,5 milliards de francs) aux exploitants d'une centrale nucléaire en cas d'accident.<sup>7</sup> Bien qu'il ne suffise pas dans le cas d'un gros accident nucléaire, un tel niveau d'indemnisation financière serait très improbable du côté russe, étant donné la situation économique du pays. De surcroît, le suivi du programme MOX par l'autorité de sûreté en Russie pourrait être moins important. Un texte de loi a récemment été proposé à la Douma qui, s'il est entériné, transférerait le pouvoir permettant d'accorder les autorisations d'exploitation d'activités nucléaires civiles de l'agence réglementaire fédérale *Gosatomnadzor* (GAN) à Minatom.

Bien que Minatom préférerait utiliser du MOX dans une « nouvelle génération » de réacteurs rapides, qui ne seraient pas construits avant de nombreuses années, il a accepté le projet américain visant à utiliser le MOX dans les réacteurs à eau ordinaire (REO) existants. Etant donné que ce sont les Etats-Unis qui financent ce projet, au moins en partie, un accident survenant dans un REO russe utilisant du MOX pourrait aboutir à une crise politique grave au sujet du partage des responsabilités entre les deux pays, même si un accord est conclu.

L'accord stipule que les Etats-Unis et la Russie doivent aboutir à un accord sur le partage des responsabilités au plus tard lors de l'entrée en vigueur d'un accord de financement multilatéral, qui doit être finalisé au plus tard avant le 1er septembre 2001.

En attendant, l'aide technique apportée à la Russie se limite à des travaux de conception précédant la construction, travaux que la Russie n'a pas le droit d'utiliser pour la construction ou l'exploitation d'une usine MOX avant la résolution du problème de la responsabilité.

### Rythme d'évacuation

Le 31 décembre 2007 est la « date cible » pour le début de l'exploitation des installations d'évacuation du plutonium, avec pour objectif minimum l'évacuation de deux tonnes par an pour chaque pays. La Russie soutient une « option occidentale », qui consiste à utiliser du MOX fabriqué en Russie dans des réacteurs de pays d'Europe de l'Ouest. Cependant, la compagnie de retraitement française, Cogéma, qui fabrique du MOX pour les réacteurs occidentaux, s'est opposée à ce projet parce que le MOX fabriqué en Russie pourrait être vendu à des prix subventionnés. Depuis, la Russie a accepté d'utiliser son combustible MOX dans ses propres réacteurs avant d'en vendre aux autres pays.<sup>8</sup>

Comme l'illustre l'accord russo-américain sur l'évacuation de l'uranium hautement enrichi,<sup>9</sup> le côté commercial des programmes d'évacuation peut ralentir le rythme de l'évacuation. Selon un rapport récent publié par le *General Accounting Office*, les livraisons d'uranium faiblement enrichi d'origine russe aux Etats-Unis ont été retardées parce que la Russie n'était pas satisfaite des niveaux de revenus reçus selon cet accord.

De surcroît, USEC Inc., la compagnie privée américaine qui dirige la mise en application du contrat commercial, a étudié en 1999 la possibilité de se retirer du projet en tant qu'agent exécutif à cause du déclin des prix de l'uranium faiblement enrichi sur le marché, qui avait réduit leurs profits.<sup>10</sup>

L'accord sur le plutonium stipule également que les Etats-Unis et la Russie doivent développer un projet d'action détaillé avant le 1er septembre 2001, afin au minimum de doubler le rythme d'évacuation. Plusieurs options visant à accroître ce rythme sont énumérées, entre autres :

- ▶ **L'exportation de MOX pour une utilisation dans d'autres pays.** Minatom est particulièrement intéressé par cette option. La Suède et le Canada ont fait part de leur intérêt pour l'utilisation du MOX dans leurs réacteurs. La Russie et les Etats-Unis ont tous deux envoyé des échantillons de MOX au Canada pour qu'il y soit testé dans un réacteur CANDU, mais les Etats-Unis ont décidé de ne pas exporter leur MOX dans le cadre de leur programme d'évacuation.
- ▶ **L'accroissement du nombre de réacteurs utilisant du MOX en Russie :** Cette option paraît peu vraisemblable parce que le nombre de réacteurs russes qui peuvent utiliser du MOX est restreint, et parce que la Russie ne possède pas de fonds suffisants pour finir les réacteurs qui sont en construction depuis plusieurs années. L'assistance américaine dans le cadre de l'accord ne comprend pas de financement pour l'achèvement de ces réacteurs ou pour la construction de nouveaux réacteurs. En revanche, l'accord permet à l'assistance américaine de modifier les réacteurs russes existants afin qu'ils puissent utiliser du MOX.
- ▶ **L'utilisation de cœurs composés de plus d'1/3 de MOX :** De nouveaux réacteurs peuvent être conçus afin d'utiliser des cœurs composés à 100% de MOX, mais tous

LIRE LA SUITE PAGE 15  
VOIR LA PAGE 15 POUR LES ANNOTATIONS

## EXTRAITS DE L'ACCORD RUSSO-AMERICAIN SUR L'EVACUATION DU PLUTONIUM

« Aucun [pays] signataire n'effectuera de séparation du plutonium contenu dans le combustible usé tant que celui-ci n'a pas rempli l'obligation mise en avant au paragraphe 1 de l'Article II de cet Accord [qu'il ait évacué au minimum trente-quatre (34) tonnes de plutonium à évacuer]. » —Article VI, paragraphe 2

« Aucun [pays] signataire n'effectuera la séparation du plutonium à évacuer présent sous des formes immobilisées. » —Article VI, paragraphe 3

« L'assistance fournie par le gouvernement des Etats-Unis [à la Fédération russe] sera destinée à des activités telles que la recherche, la conception, le développement, l'attribution d'autorisations, la construction et/ou la modification d'installations (y compris la modification de réacteurs nucléaires), et les procédés, systèmes et infrastructures technologiques associés à de telles activités. » —Article IX, paragraphe 1.

« Les parties signataires travailleront en coopération avec pour objectif d'atteindre au bout d'un (1) an après l'entrée en vigueur de cet accord, un accord multilatéral qui détaille les arrangements concernant l'assistance nécessaire à [un rythme d'évacuation de deux tonnes par an]. » —Article IX, paragraphe 8

« Dans le cas où le gouvernement de la Fédération russe suspendrait des activités liées à la mise en application [de cet accord]..., le gouvernement des Etats-Unis d'Amérique serait autorisé à suspendre de façon proportionnelle la mise en

application de ses propres activités dans le cadre de cet accord. » —Article IX, paragraphe 14

« Aucun des pays signataires ne procédera au retraitement de combustible au plutonium usé après l'achèvement de cet accord à moins qu'un tel retraitement soit soumis à une surveillance acceptée par les signataires... » —Article XIII, paragraphe 7

« Les pays signataires vont poursuivre les négociations liées aux clauses de responsabilité civile qui s'appliqueraient à toute plainte qui pourrait éventuellement découler d'activités entreprises conformément à cet accord, et chercheront à aboutir à un accord... à la date la plus proche possible dans la pratique, et, dans tous les cas, avant l'entrée en vigueur de l'accord multilatéral... » —Annexe sur l'assistance technique, section II, paragraphe 1

« Jusqu'à l'entrée en vigueur de l'accord contenant les clauses de responsabilités mentionnées dans le paragraphe 1 de cette section : a) les activités d'assistance mentionnées dans cet accord seront limitées à des travaux de conception appropriés à la phase de pré-construction; b) aucun signataire ne sera obligé par cet accord à construire, modifier ou exploiter des installations d'évacuation, notamment des réacteurs; et c) la Fédération russe n'utilisera en aucune manière les travaux de conception de la phase de pré-construction pour la construction, la modification ou l'exploitation d'installations d'évacuation (y compris les réacteurs). » —Annexe sur l'Assistance technique, Section II, paragraphe 2.

Source : *Agreement Between the Government of the United States of America and the Government of the Russian Federation Concerning the Management and Disposition of Plutonium Designated as No Longer Required for Defense Purposes and Related Cooperation*, le 1er septembre 2000.

### L'ACCORD RUSSO-AMÉRICAIN SUITE DE LA PAGE 14

la réacteurs russes existants nécessiteraient des modifications pour toute utilisation de MOX. Même un cœur composé partiellement chargé de MOX de REO rend l'exploitation et le contrôle du réacteur plus complexe.

#### ► L'utilisation de « réacteurs nucléaires avancés » :

Minatom a affirmé son intention de construire « une nouvelle génération » de réacteurs surgénérateurs. General Atomics et Framatome, avec la participation du ministère de l'Énergie des États-Unis, Minatom et Fuji Electric, mènent des recherches sur un Réacteur Modulaire à l'Hélium utilisant une turbine à gaz, qui serait potentiellement destiné à l'utilisation de combustible MOX après 2010.<sup>11</sup>

#### ► L'augmentation de la capacité de conversion des installations de fabrication MOX.



1 Le titre, dans son intégralité, est : *Agreement Between the Government of the United States of America and the Government of the Russian Federation Concerning the Management and Disposition of Plutonium Designated as No Longer Required for Defense Purposes and Related Cooperation*. En anglais sur le site suivant : <http://twilight.saic.com/md/bilatagreement1.htm>. Document sous forme pdf : [pudispagree.pdf](#).

2 Cet accord mentionne spécifiquement le réacteur BOR-60 de Dnitrovgrad, et le BN-600 de Sarechnyy. Les réacteurs surgénérateurs peuvent être exploités pour obtenir une augmentation ou réduction nette de plutonium, selon la façon dont le réacteur est exploité et la configuration de son cœur et de sa couverture de combustible.

3 L'estimation de coût russe provient du document intitulé *Preliminary Cost Assessment for the Disposition of Weapon-Grade Plutonium Withdrawn from Russia's Nuclear Military Programs*, Joint US-Russian Working Group on Cost Analysis and Economics in Plutonium Disposition avril 2000, p. iii. On retrouve ce document sur le site internet suivant : <http://www.doe-md.com/> en choisissant la rubrique 'Work with Russia'. L'estimation de coût américain provient du document rédigé par Laura Holgate, *Presentation to the Advisory Board to the Secretary of Energy on Plutonium Disposition in Russia*, (présentation sur l'évacuation du plutonium en Russie faite devant le conseil consultatif du Secrétariat à l'Énergie) le 13 mars 2000. Rapporté par Kevin Kamps, *Nuclear Information and Resource Service, Washington, DC*

4 Hisane Masaki, « G-8 to tackle disposal of Russian plutonium », *Japan Times*, le 25 octobre 2000; *Post Soviet Nuclear & Defense Monitor*, le 13 novembre 2000, p 15.

5 Aucum progrès n'a été fait durant cette rencontre.

6 *Nuclear Fuel*, le 11 décembre 2000, p.7.

7 A la date du 20 août 1998, l'incident ayant coûté le plus cher en termes d'assurance était de 9,43 milliards de dollars (62 milliards de francs). (Source : NUREG/CR - 6617 : *The Price-Anderson Act - Crossing the Bridge to the Next Century: A Report to Congress*, Préparé par ICF Incorporated for U.S. Nuclear Regulatory Commission, août 1998). L'Acte Price-Anderson a été entériné en 1957 à titre d'amendement de l'Acte sur l'Énergie Atomique. L'amendement le plus récent a été fait en 1988, lorsque l'Acte d'Amendements Price-Anderson de 1988 a été entériné (Public Law 100-408).

8 *Nuclear Fuel*, 11 décembre 2000, p.9.

9 Le titre intégral est : "The Agreement Between the Government of the United States of America and the Government of the Russian Federation Concerning the Disposition of Highly Enriched Uranium Extracted From Nuclear Weapons (le 18 février 1993).

10 *General Accounting Office, Implications of the US Purchase of Russian Highly Enriched Uranium*, GAO-01-148, décembre 2000.

11 *Nuclear Fuel*, le 11 décembre 2000, page 9.



# L'ÉNIGME ATOMIQUE



**G**amma a récemment lu des tas de choses à propos de l'évacuation du plutonium, des réacteurs surgénérateurs et du combustible MOX. Pour tant, comme c'est un chien, l'essentiel de ce qu'il lit lui passe largement au-dessus de la tête. Pour l'aider à faire des progrès, Dr Egghead lui a fait passer un long examen. Gamma est coincé sur les questions suivantes. Pouvez-vous l'aider ? (Indice : certaines des réponses se trouvent dans ce numéro d'Energie et Sécurité).

- Comment fabrique-t-on le plutonium ?
  - En envoyant - sans équipage à bord - un vaisseau spatial sur Pluton, qui effectue des prélèvements à la surface de la planète, puis les ramène à terre.
  - En utilisant un chien magique qui vit à Disney World.
  - En faisant chauffer de l'eau sous haute pression, puis en la faisant refroidir très rapidement.
  - En irradiant de l'uranium 238. (Le plutonium est aussi présent à l'état de traces dans la nature).
- Lequel des pays suivants obtient le plus grand pourcentage de son approvisionnement électrique à partir de l'énergie nucléaire ?
  - Les Etats-Unis
  - L'Allemagne
  - La France
  - La Russie
- Le plutonium possède plusieurs caractéristiques, entre autres :
  - c'est un carcinogène reconnu
  - il est utilisé pour renforcer les appareils dentaires
  - il est non-radioactif
  - toutes les réponses ci-dessus
- Vrai ou Faux : La majeure partie du plutonium produit aux Etats-Unis est issu d'activités militaires.
- Vrai ou Faux : Le plutonium a pour la première fois été utilisé comme combustible parce que l'on pensait que la dépendance vis-à-vis de l'énergie nucléaire irait croissant, et que la rareté de l'uranium ferait du plutonium un combustible à faible coût.
- Vrai ou faux : L'Allemagne est le seul pays possédant des centrales nucléaires en fonctionnement qui a décidé de sortir de l'énergie nucléaire.
- Etant donné que (i) le taux d'augmentation du stock de plutonium civil séparé équivaut à 10 tonnes par an, (ii) le taux d'augmentation des stocks de plutonium militaire séparé est égal à 1 tonne par an, (iii) au 1er décembre 1999, le stock de plutonium civil séparé était de 205 tonnes, et (iv) au 1er décembre 1999, le stock de plutonium militaire séparé était de 250 tonnes, répondez aux questions suivantes :
  - Estimez, en tonnes, les stocks de plutonium civil et militaire séparé aux dates suivantes: 1er décembre 2000, 1er décembre 2001 et 1er décembre 2002. (Les taux d'augmentation présumés restent constants).
  - A quelle date (mois et année) le poids des stocks de plutonium civil séparé sera-t-il égal à celui des stocks de plutonium militaire séparé ?
  - Si l'on suppose qu'il faut une tonne de plutonium de qualité militaire pour fabriquer 200 armes atomiques, utilisez vos réponses à la question 7a) pour calculer le nombre d'armes atomiques qui pourraient être fabriquées avec le stock entier de plutonium séparé de qualité militaire au 1er décembre 2000.
  - Si l'on suppose qu'il faut 1,4 tonnes de plutonium de qualité industrielle pour fabriquer 200 armes atomiques, utilisez votre réponse à la question 7a) pour calculer le nombre d'armes nucléaires qui pourraient être fabriquées avec le stock entier de plutonium civil séparé au 1er décembre 2000.
  - Quel est le nombre total d'armes atomiques qui pourraient être créées à partir de la totalité des stocks de plutonium séparé (à la fois militaire et civil) au 1er décembre 2000 ?

## 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>



## SOLUTION DE L'ÉNIGME ATOMIQUE DU NUMÉRO 15

- |                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|
| 1. 192 Bq                | 4. $5,56 \times 10^5$ |
| 2. $1,32 \times 10^5$ Bq | 5. 12,4 fois          |
| 3. 806 mrem              |                       |