# Le plutonium comme source d'énergie

— ARJUN MAKHIJANI

epuis ces dernières années, le démantèlement des têtes nucléaires excédentaires a laissé les États-Unis et la Russie avec des stocks importants de plutonium et d'uranium très enrichi. La création de ces surplus a ravivé les débats dans le monde sur l'utilisation du plutonium comme source d'énergie et apporté de nouveaux arguments pour continuer à financer les projets en cours. Cet article passe en revue les informations élémentaires sur l'utilisation du plutonium et donne le coût ainsi qu'une analyse technique de cette utilisation.

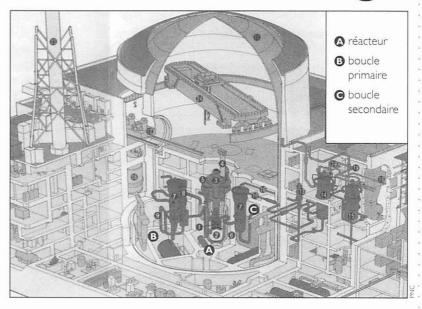
#### Les caractéristiques physiques du plutonium et de l'uranium comme ressources

L'uranium-235 est pratiquement la seule matière fissile (une matière qui peut maintenir une réaction en chaîne et qui peut servir de combustible aux réacteurs nucléaires) qui existe dans la nature. Cependant, la teneur de l'uranium-235 dans le minerai d'uranium n'est que de 0,7 pour cent. Presque tout le reste est composé d'un autre isotope, l'uranium-238 qui, lui, ne peut pas entretenir une réaction en chaîne.

Bien que l'uranium-238 ne soit pas une matière fissile, il peut être converti dans un réacteur nucléaire en plutonium-239 qui, lui, est fissile. Cette propriété a conduit les partisans du nucléaire à

considérer l'uranium-238 comme la solution à long terme de l'énergie nucléaire. En fait, les réacteurs peuvent être conçus pour produire, à partir de l'uranium-238, plus de matériaux fissiles sous forme de plutonium qu'ils

LIRE LA SUITE, PAGE 3



▲ Coupe longitudinale du surgénérateur "Monju". Les deux en boucle secondaire qui n'est pas radioactif, tire la boucle primaire. La fuite de sodium de décembre 1995 s'est produite dans le circuit en boucle secondaire.

# circuits sont refroidis au sodium. Le circuit chaleur du circuit en

### Les recommandations de l'IEER pour la gestion du plutonium

e débarrasser des stocks mondiaux de plutonium est un problème urgent. Alors que beaucoup considèrent le retraitement et l'utilisation du plutonium pour alimenter les centrales nucléaires comme un "recyclage", l'IEER pense que la vitrification et la nonutilisation comme combustible est la meilleure solution pour se débarrasser du plutonium. La Russie et les États-Unis sont en train de démonter des milliers de têtes nucléaires, mais ils n'ont pas encore mis en œuvre une stratégie efficace pour mettre hors de circulation l'excédent de plutonium militaire. Entre temps, la France, l'Angleterre, le Japon, la Russie et l'Inde continuent de retraiter le combustible usé en provenance des centrales civiles nucléaires pour en extraire du plutonium. Ce plutonium qui, parce qu'il

DANS	CE N	UM	ERO
------	------	----	-----

Le nucléaire et sa place dans la production d'électricité et d'énergie mondiale .....

Comparisons entre combustibles fossiles et puissance nucléaire ......

Bibliographie annotée .....

## Le programme de IEER: «Nuclear Material Dangers»

epuis sa création en 1985, l'Institut pour la Recherche sur l'Énergie et l'Environnement a diffusé des informations claires et exactes, ainsi que des analyses sur le nucléaire et a offert des stages de formation technique à des personnes et des organisations aux États-Unis. Le fait que l'intégrité des analyses techniques de IEER soit largement reconnue a établi solidement notre réputation comme source d'information clé sur les problèmes nucléaires pour tous ceux qui sont concernés. Nos rapports traitent des dégâts causés par la production des armes nucléaires sur l'environnement, de l'entreposage du plutonium, de la non-prolifération et du désarmement et sont appréciés par les responsables politiques, les militants, le monde universitaire et les journalistes.

Au début 1996, l'IEER a lancé «Nuclear Materials Dangers» (Les dangers des matières nucléaires), un projet visant à la diffusion de l'information au niveau mondial avec la publication de la traduction en russe de notre livre Fissile Materials in a Glass, Darkly. Ce nouveau projet fournira à une audience internationale les mêmes informations techniques exactes et compréhensibles qui sont à la base de notre réputation aux États-Unis. Grâce à un programme s'addressant aux médias et qui prévoit des conférences de presse à Washington avec les correspondants internationaux, ainsi que des téléconférences de presse avec des journalistes étrangers, nous espérons attirer l'attention d'une audience plus grande sur les questions du nucléaire et de l'énergie. Notre première conférence de presse a eu lieu à Washington en avril 1996; elle fut centrée sur la possibilité de mettre en place une action conjointe entre les États-Unis et la Russie en vue de réduire les dangers occasionnés par les stocks de plutonium et d'uranium très enrichi.

Pendant la durée du projet, la documentation de l'IEER sera sélectionnée et traduite en russe, français, chinois, et japonais. Nous avons aussi l'intention de communiquer la traduction d'articles et le sommaire des rapports sur des listes de courriers électroniques au niveau international, à commencer de la fin de cette année et d'améliorer notre page sur le World Wide Web pour y ajouter des liens dans d'autres langues. Disséminer des informations aux militants et aux journalistes dans leurs langues est l'objectif que l'IEER s'est fixé pour donner au public les moyens de formuler de façon efficace les questions qui touchent aux matières et à la technologie nucléaires. Un public informé peut faire pression sur les pays qui possèdent l'arme nucléaire et inciter ceux qui en ont la capacité à arrêter la fabrication de matières utilisables dans les armes nucléaires et le développement des technologies qui pourraient exacerber la prolifération.

Énergie et Sécurité est le point d'appui du projet Nuclear Material Dangers. Il s'inspire en partie de notre bulletin intitulé Science for Democratic Action qui est déjà distribué principalement aux États-Unis. Puisque notre but est de donner accès à l'information dans la langue des lecteurs, Energie et Sécurité est une publication multilingue, publiée en anglais, russe, français, japonais et chinois. Les prochains numéros publieront des articles traitant de problèmes concernant la région ou le pays dans lequel le bulletin est distribué et éditera des contributions de scientifiques et de militants du monde entier. Ce numéro examine les différents choix sur l'énergie, centrés sur l'énergie nucléaire et son rôle dans la production mondiale de l'énergie. Le prochain numéro qui sera publié au mois de décembre examinera le retraitement du combustible usé et l'extraction du plutonium.

-ANITA SETH

NO. 1, 1996

# Énergie & Sécurité

Le personnel de l'IEER

President: Arjun Makhijani
Directeur: Bernd Franke
Documentaliste: Lois Chalmers
Equipe de recherche: Marc Fioravanti, Kevin Gurney,
Annie Makhijani
Comptable: Diana Kohn
Responsable pour la diffusion: Pat Ortmeyer
Coordination génerale: Anita Seth
Assistante administrative: Betsy Thurlow-Shields

#### Crédits pour ce numéro

Traduction: Annie Makhijani
Corrigé du texte: Bruno Barrillot
Mise en page: Cutting Edge Graphics, Washington D.C.
Photos: Power Reactor and Nuclear Fuel Development
Corporation (PNC); Brian Smith, U.S. Department of Energy

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 •

SUITE DE LA PAGE I

n'en consomment au cours du cycle de production d'énergie. C'est pour cette raison qu'on appelle ces réacteurs "surgénérateurs" et l'uranium-238 une matière "fertile". Les avocats de l'énergie nucléaire ont utilisé l'expression "source d'énergie magique" pour décrire le système de production d'électricité dans les surgénérateurs parce que la quantité de combustible en fin de production pourrait être plus importante qu'au départ.<sup>1</sup>

Dans les années 50 et 60, on pensait que l'uranium était une ressource très rare. Les scientifiques ont réalisé que les besoins en uranium pour un système de production d'énergie utilisant les surgénérateurs seraient bien moindres que ceux basés sur un système fonctionnant sur une utilisation à cycle ouvert de l'uranium. Par exemple, la quantité d'uranium naturel nécéssaire pour la durée de fonctionnement d'une centrale électrique de 1 000 mégawatts<sup>2</sup> dotée d'un réacteur à eau légère (le réacteur à eau légère est le plus courant) est d'environ 4 000 tonnes. Au contraire, un surgénérateur de même grandeur n'a besoin que d'environ 40 tonnes. Cette réduction théorique des besoins énergétiques d'un facteur cent convainquirent les partisans de l'énergie nucléaire que les surgénérateurs, comprenant le retraitement du plutonium du combustible irradié, seraient au centre de ce futur magique de l'énergie nucléaire et qu'un jour l'énergie nucléaire deviendrait si bon marché qu'il ne serait plus utile de relever le compteur.<sup>3</sup> À cette époque, les prévisions pour la demande d'électricité étaient très importantes. Au début des années 70, les États-Unis pensaient qu'en l'an 2000 la capacité nucléaire à mettre en place devrait être de 1 000 000 de mégawatts.

#### **DES RÉACTEURS AUX ARMES?**

- Le plutonium du coeur de la bombe qui a explosé au-dessus de Nagasaki pourrait tenir facilement dans la main d'un adulte.
- Actuellement la quantité de plutonium séparé de provenance commerciale suffit pour fabriquer 20 000 à 30 000 armes nucléaires rudimentaires mais très efficaces.
- En l'an 2000, la quantité totale de plutonium séparé du secteur commercial pourrait dépasser la quantité totale de plutonium qui provient des arsenaux nucléaires mondiaux.

Cependant, aujourd'hui la capacité des États-Unis ne se situe qu'à la hauteur de 10 pour cent de ces projections (environ 100 000 mégawatts) et elle se maintiendra à ce niveau en l'an 2000 (voir le tableau 3, page 13 pour plus d'informations).

Malgré cela, des arguments théoriques en faveur des surgénérateurs continuent d'inspirer les pouvoirs établis nucléaires du monde entier. Mais les réalités techniques, économiques, politiques, écologiques et militaires se sont unies pour rendre un système d'énergie basé sur le plutonium économiquement irréalisable, dangereux pour l'environnement, difficile à justifier diplomatiquement et risqué sur le plan militaire.

#### Les complications techniques et économiques

Dans cet article, l'argumentation est centrée sur le surgénérateur refroidi au sodium (portant aussi le nom de réacteur à neutrons rapides) qui a été développé et mis en service. Des milliards de dollars ont été dépensés pour la recherche, le développement et la démonstration de cette technologie dans nombre de pays, en particulier aux États-Unis, en Russie, en France, en Grande-Bretagne, en Inde, au Japon et en Allemagne. Mais cette technologie n'a pas encore atteint le stade commercial d'une production fiable d'énergie, même modeste, et de surgénération du combustible. Les surgénérateurs ont une capacité totale d'environ 2 600 mégawatts, ce qui ne représente que 0,8 pour cent de la capacité mondiale d'énergie nucléaire qui est d'environ 340 000 mégawatts. Les centrales nucléaires elles-mêmes ne totalisent que 12 pour cent de la capacité mondiale de production d'électricité. Non seulement les surgénérateurs n'ont produit qu'une minuscule fraction d'électricité mais leur capacité à produire une quantité nette et importante de matière fissile est un échec. Il est même possible que jusqu'à ce jour les surgénérateurs ont consommé plus de matière fissile qu'ils n'en ont produit.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Une production de combustible peut se faire de la même façon en transformant le thorium-232 qui n'est pas fissile en uranium-233 (on n'en trouve que des quantités insignifiantes dans la nature) qui, lui, est fissile. Mais le développement de surgénérateurs marchant à l'uranium-233 est encore moins en avance que celui du plutonium. Pour des renseignements plus techniques nous recommendons la lecture de *Nuclear Power Deception* (Takoma Park, Maryland: Institute for Energy and Environmental Research, 1996), écrit par Arjun Makhijani et Scott Saleska.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Tous les chiffres se rapportant à la capacité des réacteurs sont en mégawatts électriques, sinon, cela est précisé. Une durée de fonctionnement de 30 ans et un fonctionnement à 70 pour cent du plein rendement sont utilisés. Les chiffres sont arrondis et adaptés de John R. Lamarsh, *Introduction to Nuclear Engineering*, 2ème édition (Reading, Massachusetts: Addision-Wesley Publishing Compagny, 1983).

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> L'idée que l'énergie nucléaire puisse être trop bon marché pour relever le compteur ("too cheap to meter") a en fait son origine dans la propagande de la guerre froide. Même dans les années cinquantes les ingénieurs du nucléaire n'ont jamais cru que l'énergie nucléaire deviendrait un jour bon marché. Ceci est discuté dans le rapport de IEER, The Nuclear Power Deception.

SUITE DE LA PAGE 3

Près de la moitié de la capacité mondiale des surgénérateurs provient d'un seul réacteur, Superphénix en France, qui a eu de sérieux problèmes de fonctionnement et n'est pas utilisé à l'heure actuelle comme surgénérateur. Plus exactement, c'est maintenant un net consommateur de matière fissile, utilisé principalement comme installation de recherche pour l'étude de la fission du plutonium et des actinides. Les actinides sont des éléments chimiquement semblables au plutonium. Environ 10 pour cent de la capacité mondiale des surgénérateurs est produite, en outre, dans le réacteur de 280 mégawatts de Monju au Japon qui a eu un accident au mois de décembre 1995, huit mois seulement après sa mise en service.

La plupart des surgénérateurs, autres que ceux de la France et du Japon, ont fonctionné avec du combustible à l'uranium plutôt qu'avec du plutonium qui est plus difficile à contrôler. Le surgénérateur russe BN600 refroidi au sodium a utilisé principalement comme combustible de l'uranium très enrichi et le BN350 du Kazakstan fonctionne maintenant avec de l'uranium moyennement enrichi.

Beaucoup de problèmes ont compliqué la recherche et le développement ainsi que le fonctionnement des surgénérateurs :

- Il est plus difficile de contrôler les surgénérateurs que les réacteurs à eau légère en raison de la possibilité de réactions nucléaires incontrôlables (perte totale du contrôle ou incidents de criticité) qui peuvent se produire plus facilement dans les surgénérateurs que dans les réacteurs à eau légère ou d'autres réacteurs utilisant des neutrons lents pour entretenir la réaction en chaîne.
- Le sodium, bien qu'excellent caloporteur, réagit très violemment avec l'air et explose au contact de l'eau.
   Ces propriétés, et d'autres, posent des problèmes

#### PRIX CONTRACTUEL DU MINERAI D'URANIUM EN DOLLARS (1995)

(tous les chiffres sont arrondis)\*

Année	Prix U.S. \$/kg U
1960	100
1970	50
1980	90
1990	60

 Nous avons utilisé l'indice des prix à la production pour convertir les prix actuels de l'uranium en dollars (1995). sérieux de sécurité qui compliquent la conception et le fonctionnement des surgénérateurs; par exemple l'air et l'humidité doivent être exclus des deux indispensables circuits en boucle de sodium.

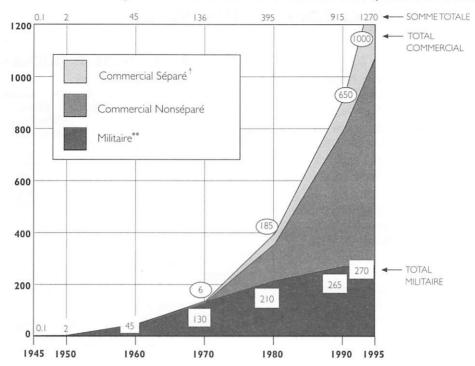
- La fabrication du combustible au plutonium est bien plus coûteuse que la fabrication du combustible à l'uranium parce que le plutonium est plus radioactif et demande plus de précautions.
- Le retraitement du plutonium du combustible irradié
  permettant de le réutiliser dans les réacteurs est cher.
  De plus, il comporte des risques de prolifération ainsi
  que de nombreux problèmes liés à la protection de
  l'environnement. (Le retraitement du plutonium sera
  étudié dans le prochain numéro d'Énergie et Sécurité)
- Les plus grands risques d'accidents catastrophiques et les conséquences les plus sérieuses de tels accidents, exigent de plus importantes mesures de sécurité.

La plupart des programmes concernant les surgénérateurs ont été suspendus ou arrêtés à cause des énormes investissements nécessaires et des problèmes de fonctionnement présentés ci-dessus. Le programme japonais a été sérieusement retardé à cause d'une fuite accidentelle de sodium qui s'est produite au mois de décembre 1995 à la centrale de Monju. Le redémarrage de la centrale n'est pas programmé avant plusieurs années. Il est même possible que l'arrêt soit définitif. Pour l'instant, il n'y a pas de projets français pour la construction de nouveaux surgénérateurs. L'Angleterre et l'Allemagne se sont retirés du projet de surgénérateur européen. Le programme indien n'a jusqu'ici abouti qu'à un petit prototype. Les projets russes sont au point mort pour des raisons économiques.

Les difficultés financières et techniques liées aux surgénérateurs, au retraitement du plutonium et à la fabrication du combustible au plutonium ont consommé des crédits beaucoup plus élevés que ceux dépensés pour les réacteurs qui ne fonctionnent qu'à l'uranium. De plus l'uranium est beaucoup plus abondant aujourd'hui qu'on ne le pensait dans les années 50 et 60. Au lieu d'augmenter, le prix de l'uranium a baissé en coût réel au cours des dernières dizaines d'années (voir le tableau ci-contre).

De plus, depuis dix ans, le cours du marché au comptant (les prix sur le marché libre à un moment donné) ont été considérablement plus bas que le prix contractuel. Par exemple, en 1990 le prix de l'uranium sur le marché au comptant était d'environ 30 dollars du kilo, juste la moitié du prix contractuel (en dollars de 1995). Au cours de ces deux dernières années, les prix sur le marché au comptant se sont situés entre 20 et 40 dollars du kilo. La baisse du prix de l'uranium provient en partie du fait que le nombre des nouvelles centrales

#### INVENTAIRE HISTORIQUE MONDIAL DU PLUTONIUM, EN TONNES\*



- \* Tous les chiffres sont arrondis soit au premier chiffre significatif soit à 5 tonnes près. La somme n'est pas arrondie.
- \*\*\* Aucun pays, sauf les États-Unis, n'a dévoilé les chiffres de sa production militaire de plutonium. Tous les autres chiffres militaires sont des estimations approximatives. Nous avons choisi le chiffre de 150 tonnes de plutonium militaire en Russie pour les années 1990 et 1995. Des informations récentes provenant de Russie indiquent que ce chiffre pourrait être plus faible, approximativement 130 tonnes.
- † Le plutonium commercial séparé appartient aux seuls pays qui retraitent actuellement: la France, l'Angleterre, le Japon,

la Russie et l'Inde. De plus, certain pays qui ne retraitent pas à l'heure actuelle ont passé des contrats de retraitement avec la France et l'Angleterre, et possédent aussi des réserves importantes de plutonium commercial. Ce sont: l'Allemagne, la Belgique, la Hollande, l'Italie et la Suisse. Les États-Unis ont aussi une petite réserve de plutonium commercial provenant de l'usine de retraitement de West Valley dans l'État de New-York, qui a été fermée en 1972.

Source: Arjun Makhijani et Scott Saleska, The Nuclear Power Deception (Takoma Park, Maryland: Institute for Energy and Environmental Research, 1996).

SUITE DE LA PAGE 4

nucléaires construites est bien moindre que prévu et a entraîné une baisse de la demande.

#### La valeur et le coût du plutonium

Quoiqu'il n'y ait pas d'installations électriques construites basées sur les surgénérateurs, il est quand même possible d'utiliser le plutonium comme combustible dans des réacteurs à eau légère et d'autres réacteurs qui, au départ, n'avaient pas été conçus pour la consommation du plutonium. De toute façon, environ un quart à un tiers de l'énergie dans un réacteur à eau légère provient du plutonium créé à partir de l'uranium-238 contenu dans les aiguilles de combustible au cours du fonctionnement du réacteur. De plus, le combustible usé en provenance des réacteurs à eau légère contient environ 0,7 pour cent d'isotopes fissiles de plutonium. Ce plutonium, bien qu'étant une petite fraction de la matière fissile utilisée

dans le réacteur peut être séparé pour être utilisé comme combustible.

Cependant, la plupart des réacteurs n'ont pas été conçus pour fonctionner avec du plutonium pur. La quantité totale de matière fissile (l'uranium-235 ainsi que les isotopes fissiles de plutonium) doit être maintenue à moins de 5 pour cent dans la plupart des réacteurs à eau légère. Le plutonium est transformé en oxyde et mélangé avec de l'oxyde d'uranium appauvri (principalement de l'uranium-238 avec environ 0,2 pour cent d'uranium 235) pour créer un oxyde mixte de plutonium et d'uranium (combustible MOX). Ainsi, il semblerait que, même sans les surgénérateurs, le plutonium peut être utile en tant que combustible pour les centrales nucléaires.

Bien que cet argument soit vrai en théorie, du point de vue de la physique, il n'est pas valable pour des raisons économiques. Pour déterminer une valeur

# Le nucléaire et sa place dans la production d'électricité et d'énergie mondiale

COMPILATION D'ANITA SETH

Le tableau 1 donne en ordre décroissant le pourcentage d'électricité nucléaire produite par certains pays. Ce tableau, en fait, contient deux mesures différentes d'électricité: la capacité et la production. La capacité correspond au rendement de l'équipement de production installé dans un pays. Elle est mesurée en mégawatts (MW). La production correspond à la production d'électricité au cours d'une période donnée (dans ce cas, un an) et est mesurée en kilowatts heure (kWh). Les tableaux 1 et 2 montrent la production brute d'électricité, y compris les pertes durant la transmission et la distribution.

Le tableau 2 compare la production d'électricité provenant du nucléaire à la production d'électricité provenant d'autres sources. Bien que la production d'électricité à partir de combustible fossile soit la plus courante, elle représente 60 pour cent de l'électricité mondiale; sur le plan régional, d'autres sources d'énergie peuvent fournir la majorité de l'électricité.

#### **TABLEAU I: ÉNERGIE NUCLÉAIRE (1993)**

Pays	Part du nucléaire e pourcentage de la production brute d'électricité (arrondie)		Capacité brute (MW)
France	78	368 188	59 020
Belgique	60	41 927	5 485
Suède	43	61 395	9 912
Espagne	36	56 060	7 020
Corée du Sud	36	58 138	7 616
Ukraine	33	75 243	12 818
Allemagne	29	153 476	22 657
Japon	28	249 256	38 541
Royaume Uni	28	89 353	11 894
États-Unis	19	610 365	99 061
Canada	18	94 823	15 437
Russie	12	119 186	21 242
Monde entier	* 18	2 167 515	340 911

<sup>\*</sup> Le total mondial comprend des pays qui ne sont pas dans la liste ci-dessus. Source: Annuaire des statistiques de l'énergie, (New York: Nations Unies, 1995).

# TABLEAU 2: PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ MONDIALE—PAR TYPE

(en millions de kWh)

	Combustible		Géothermique		
	fossiles	Hydro	Nucléaire	et autres	Total
Monde entier	7 669 958	2 376 106	2 167 515	47 131	12 260 710
Afrique	281 518	50 531	7 200	340	339 589
Amerique du Nord	2 491 646	641 208	709 994	30 195	3 873 043
USA	2 236 388	276 463	610 365	22 676	3 145 892
Amerique du Sud	97 291	410 479	8 192	_	515 962
Asie	2 403 166	526 107	351 498	9 356	3 290 127
Chine	685 153	151 800	2 500	-	839 453
Inde	279 000	70 667	6 800	52	356 519
Japon	550 181	105 470	249 256	I 798	906 705
Europe	2 237 226	708 654	1 090 631	5 640	4 042 151
France	35 366	67 894	368 188	_	471 448
Allemagne	350 656	21 465	153 476	124	525 721
Russie	662 199	175 174	119 186	28	956 587

Source: Annuaire des statistiques de l'énergie, (New York: Nations Unies, 1995).

En Amérique du Sud, l'électricité hydraulique représente 80 pour cent du total de l'électricité produite, plus de quatre fois celle produite à partir du combustible fossile et plus de cinquante fois celle produite par l'énergie nucléaire.

Le tableau 3 examine le contexte plus vaste de la production non seulement d'électricité, mais de toute la consommation d'énergie commerciale. La population de l'Afrique—700 millions de personnes représentant 13 pour cent de la population mondialen'a consommé que 3 pour cent de l'énergie commerciale mondiale en 1993. Par contre, l'Amérique du Nord et l'Europe, où se trouve environ un cinquième de la population mondiale, ont consommé presque les deux tiers de l'énergie commerciale en 1993. Parmi les sources d'énergie commerciale, la dépendance vis-à-vis des combustibles fossiles est claire. 90 pour cent de

l'énergie mondiale provient des combustibles fossiles (principalement du charbon, du pétrole et du gaz naturel). Cependant, certains pays obtiennent un pourcentage important de leur énergie du nucléaire. En France, par exemple, le nucléaire compte pour environ 44 pour cent de l'énergie totale consommée en 1993.

Les chiffres des tableaux 1 à 3 se basent sur les informations des Nations Unies les plus récentes. Ces tableaux ne prennent en compte que l'utilisation commerciale de l'énergie, et ainsi omettent les sources d'énergie traditionnelle, notamment du bois, de la bouse de vache et des restes des récoltes (connus sous le nom générique de biomasse) qui sont utilisées pour la cuisine et pour le chauffage.

# TABLEAU 3: CONSOMMATION MONDIALE D'ÉNERGIE COMMERCIALE 1993

(en pétajoules)\*

			Gaz		<b>Autres</b>	
	Solides	Liquides	naturel	Nucléaire**	élec**	Total
Monde entier	93 981	119 407	77 921	23 599	9 966	324 873
Afrique	3 130	3 859	1 548	78	195	8 805
Amerique						
du Nord	20 056	40 070	26 474	7 730	3 266	97 598
USA	18 863	32 093	22 362	6 645	I 684	81 751
Amerique						
du Sud	616	5 456	2 461	89	1 478	10 095
Asie	42 131	34 132	13 443	3 827	2 260	95 830
Chine	23 540	4 886	661	27	547	29 679
Inde	6 281	2 264	460	74	255	9 338
Japon	3 545	8 579	2 223	2714	443	17 505
Europe	26 231	34 095	33 109	11 874	2 569	107 852
France	610	3 204	1 307	4 009	244	9 153
Allemagne	4 115	5 158	2 699	I 671	78	13 724
Russie	6 636	6 802	14 745	1 298	631	30 042

- \* Les solides comprennent l'anthracite, la lignite, la tourbe et les schistes bitumeux. Les liquides comprennent les liquides dérivés du pétrole brut et du gaz naturel. La rubrique "autres électricités" est principalement pour l'hydro-électricité, mais comprend aussi les sources géothermiques, éoliennes, des marées et solaires. L'électricité provenant du nucléaire a été convertie en énergie thermique équivalente en utilisant l'équivalence 1 000 kWh (électrique) = 0,372 tonnes de charbon.
- \*\*Les importations et exportations ne sont pas comprises.

Note: Le tableau 3 énumère les consommations d'énergie primaire, tandis que le tableau 2 énumère les rendements énergétiques (sous forme d'électricité). C'est la raison de l'apparente contradiction entre les chiffres des colonnes "Nucléaire" et "Autres Électricités" (principalement hydro- électricité) de ce tableau et ceux des colonnes "Hydro" et "Nucléaire" du tableau 2. Le rendement de la production d'électricité à partir d'une source de chaleur (comme le nucléaire) est seulement d'environ un tiers comparé à celui de la production d'électricité obtenue à partir de l'énergie mécanique (hydraulique par exemple). Alors que les quantités d'électricité produites à partir des énergies nucléaires et hydrauliques sont à peu près les mêmes, l'énergie thermique d'origine nucléaire est trois fois plus importante que l'énergie mécanique d'origine hydraulique. Pour que les chiffres soient comparables, les chiffres de l'autre colonne du tableau devraient être augmentés d'environ 27 000 pétajoules.

Source: Annuaire des statistiques de l'énergie, (New York: Nations Unies, 1995).

#### TABLEAU 4: ENERGIE RÉSULTANT DE LA COMBUSTION DE LA BIOMASSE (1985)

biomass

	pétajoules	comme pourcentage d'énergie totale
Monde entier	54 800	14,7
Pays industrialisés	6 900	2,8
Pays en voie de développement	48 000	38,1

Source: Thomas B. Johansson, Henry Kelly, Amulya K. N. Reddy, and Robert H. Williams, Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity (Washington, DC: Island Press, 1993), pp. 594-5.

L'utilisation de la biomasse représente presque 15 pour cent de la consommation d'énergie mondiale. Dans les pays en voie de développement, la dépendance énergétique par rapport à la biomasse est même plus grande: l'utilisation de la biomasse est la plus grande source d'énergie, représentant environ 38 pour cent de l'utilisation totale de l'énergie. Parce que ces combustibles ne sont pas monétisés, leur valeur et l'ampleur de leur usage sont souvent oubliées. Cependant ce sont les seules sources d'énergie disponibles pour des centaines de millions de personnes. Une des sources d'énergie primordiale dont il n'est pas fait mention dans ces chiffres est l'utilisation de l'énergie des animaux de trait qui joue un rôle important en particulier en Asie. La façon dont la biomasse est consommée à l'heure actuelle est d'un rendement faible comparé au rendement des combustibles fossiles. Cette utilisation crée aussi des problèmes de santé et d'environnement. Avec des investissements financiers et dans la recherche, les combustibles de la biomasse pourraient être convertis en énergies modernes, plus efficaces, plus propres. Sur une base renouvelable, ils seraient préférables aux combustibles fossiles et à l'énergie nucléaire.

### Comparaisons entre combustibles fossiles et puissance nucléaire

-ARJUN MAKHIJANI

Les comparaisons qualitatives dans ce tableau reposent sur l'hypothèse que les installations fonctionnent en tenant raisonnablement compte de la protection de l'environnement pour ce qui est du fonctionnement de routine et de la gestion des déchets. Les effets pourraient être (et sont souvent) bien pire si ces précautions ne sont pas prises. Les indications du tableau sur les changements de climat se rapportent seulement à des risques croissants résultant de l'adoption d'une stratégie en particulier. Les stratégies,

	Nucléaire avec surgénèrateurs	Nucléaire cycle ouvert avec uranium	Combustibles fossiles, utilisation actuelle	Utilisation limitée des combustibles fossiles et énergies renouvelables
ressources connues, conditions économiques actuelles	futur illimité	50 à 100 ans, peut-être même plus	quelques centaines d'années	futur illimité
ressources connues, y sont comprises des ressources de basse qualité	pas nécéssaire	futur illimité	milliers d'années	pas nécéssaire
risques de changement du climat	aucun**	aucun	possibilité de catastrophe	aucun si les combustibles fossiles sont abandonnés progressivement
conséquences possibles d'accidents catastrophiques	sévères: effets de longue durée couvrant de larges régions	sévères: effets de longue durée couvrant de larges régions	sans conséquences pour de larges régions mais peuvent être sérieuses localement; les effets sont en général de courte durée	sans conséquences pour de larges régions mais peuvent être sérieuses localement; les effets sont en général de courte durée
pollution atmosphérique	relativement minime	relativement minime	de sérieuse à modérée, suivant les techniques de contrôle	de sérieuse à modérée, suivant les techniques de contrôle
pollution de l'eau, fonctionnement de routine	effets sérieux possibles aux mines et aux usines d'extraction, mais limités du fait des besoins faibles en uranium; effets sérieux possibles aux locations de stockage des déchets	effets souvent sérieux aux mines et aux usines d'extraction où l'uranium est transformé (les polluants radioactifs aussi bien que non radioactifs sont inclus); effets sérieux possibles aux locations de stockage des déchets	effets souvent sérieux aux mines de charbon; sérieux à certaines nappes de pétrole (les polluants radioactifs aussi bien que non radioactifs sont inclus, notamment le radium-226 prés de beaucoup de puits de pétrole)	effets possibles très minimes
risques de prolifération	oui	oui, mais moins qu'avec un système de surgénérateurs	aucun	aucun

<sup>\*</sup> Voir le texte

<sup>\*\*</sup>Des questions ont été posées concernant les effets du krypton-85, résultant du retraitement nécéssaire pour un système de surgénérateurs, sur la formation des nuages et donc sur la possibilité de changement de climat. Néanmoins le krypton-85 peut être éliminé des émissions gazeuses par refroidissement cryogène

nucléaires ainsi que celles qui sont renouvelables comporteront des risques, outre ceux déjà subis, en raison du temps nécessaire à la transition vers une stratégie énergétique future.

Il semble que notre planète ait la capacité d'absorber les émissions de carbone (sous la forme de dioxyde de gaz carbonique) à un niveau de 3 milliards de tonnes par an, bien que le niveau exact de tolérance et d'absorption soit incertain. Aujourd'hui la totalité des émissions est d'environ 9 milliards de tonnes, dont les deux tiers proviennent des combustibles fossiles. Le reste résulte de la consommation de la biomasse.

Mises à part les émissions de dioxyde de carbone (gaz carbonique), l'exploitation minière du combustible fossile et le manque de technologies de contrôle des émissions gazeuses autres que celles du gaz carbonique dans l'air et l'eau contribuent à la dégradation de l'environnement, avec des effets souvent très importants à l'échelle locale et régionale. De plus, la façon dont les combustibles fossiles sont utilisés à l'heure actuelle comporte des risques de changement de climat qui peuvent être catastrophiques et irréversibles. Parmi les

combustibles fossiles, le gaz naturel donne le plus d'énergie par unité de carbone émis. Cependant, le gaz naturel, à lui seul, ne peut pas répondre aux besoins énergétiques mondiaux avec les technologies actuellement utilisées, surtout si l'on tient compte que les besoins en énergie de la majorité de la population mondiale ne sont pas satisfaits. De plus, les fuites de gaz naturel (le méthane) des oléoducs contribuent plus à l'effet de serre (bien que les raisons n'en soient pas bien connues) que le gaz carbonique molécule pour molécule.

Dans les conditions actuelles de fonctionnement de routine, les rejets du nucléaire présentent des dangers minimes comparés aux rejets de la production d'énergie à partir des combustibles fissiles. Cependant, le nucléaire présente des dangers qui lui sont propres, notamment les risques d'accidents, comme celui de Tchernobyl, avec des conséquences graves et à long terme couvrant de vastes régions. De plus, les problèmes de sécurité posés par les importants stocks de matières utilisables dans les armes nucléaires n'ont pas d'équivalent pour les combustibles fossiles.

En clair, ni le nucléaire, ni l'utilisation importante des combustibles fossiles ne peuvent conduire à une politique fiable du point de vue de l'environnement et de la sécurité. Qui plus est, ni les surgénérateurs, ni les



Un groupe de turbines Zond 2-40 (550 kW) installées près de Davis au Texas. L'énergie éolienne, propre et renouvelable, est un bon choix alternatif pour une énergie rentable et soutenable dans les régions qui sont favorisées par des vents forts.

énergies renouvelables (les deux sources possibles de production illimitée d'énergie) ne sont rentables en comparaison des prix actuels des combustibles et donc, ne peuvent servir de base pour une source d'énergie mondiale. Quelles sont les options d'avenir pour une source d'énergie sans danger, "soutenable" et écologique?

Si la consommation des combustibles fossiles pouvait être diminuée et la consommation de la biomasse réalisée de façon renouvelable pour que les émissions s'élèvent à moins de 3 milliards de tonnes de carbone par an, alors les combustibles fossiles constitueraient une source d'énergie plus valable que l'énergie nucléaire, mais ils auraient besoin d'être accompagnés d'autres sources d'énergie. Des systèmes de captage économiques et écologiques du carbone, qui permettraient au gaz carbonique d'être absorbé et mis en réserve ou d'être mis hors circuit sans être relâché dans l'atmosphère sous forme gazeuse, pourraient permettre aux combustibles fossiles de devenir une meilleure source d'énergie. Les combustibles fossiles peuvent être utilisés soit à un niveau réduit comme combustibles de

transition vers les énergies renouvelables, soit à un niveau plus élevé si les systèmes de captage du carbone s'avèrent rentables.

Ainsi, le gaz naturel pourrait servir de combustible de transition vers l'hydrogène dérivé de l'énergie solaire puisque l'infrastructure pour l'utilisation de ces deux combustibles gazeux serait similaire. Des sources d'énergie renouvelables, comme par exemple l'énergie solaire, les combustibles obtenus par la biomasse (produits et utilisés d'une façon renouvelable) et l'énergie éolienne peuvent être complémentaires du gaz naturel. Les énergies éolienne et solaire sont rentables sous certaines conditions (notamment dans des régions à grand vent et dans des régions ayant peu de précipitations et beaucoup de soleil). L'essentiel de ces technologies pourrait se prolonger dans un avenir illimité dans les conditions économiques actuelles avec une réduction du coût de ces technologies, ou une augmentation des prix de l'uranium, du charbon et du pétrole. L'utilisation modérée du combustible fossile (accompagnée de mécanismes pour empêcher les rejets de gaz carbonique dans l'atmosphère) et de sources d'énergies renouvelables, accompagnées de mesures pour un meilleur rendement, sont les meilleures solutions pour la production d'une énergie future 312 rentable et "soutenable".

SUITE DE LA PAGE 10

peut être utilisé pour les armes atomiques, vient s'ajouter aux réserves déjà existantes. Bien que les États-Unis n'extraient pas de plutonium pour des raisons militaires ou commerciales, ils ont néanmoins succombé à des pressions pour continuer le financement des installations militaires nucléaires. En février 1996, ils ont remis en marche une usine de retraitement sur le site du Savannah River en Caroline du Sud donnant comme raison "la gestion de l'environnement", bien que le retraitement soit la solution la plus mauvaise pour la gestion du combustible usé du point de vue de la protection de l'environnement, du public et de la santé des employés.<sup>11</sup>

Les nombreuses raisons économiques, techniques, écologiques et de sécurité opposées à l'utilisation du plutonium n'ont pas convaincu ceux qui croient

#### **VITRIFICATION DU PLUTONIUM**

our être sûr que le plutonium ne soit pas utilisé pour fabriquer des armes nucléaires, il est nécessaire de lui donner une forme inutilisable pour les armes. Un des procédés pour obtenir ce résultat est de le mixer avec une grande quantité de verre fondu et de verser ce mélange dans des récipients métalliques pour former des billettes de verre. Ce procédé est connu sous le nom de vitrification. La concentration de plutonium dans le verre peut aller d'une fraction d'un pour cent jusqu'à plusieurs pour cent. Une faible concentration rend le vol ou la réextraction du plutonium plus difficile, mais elle a le désavantage d'augmenter le nombre de billettes de verre à stocker. La réextraction du plutonium du verre peut se faire sans utiliser un procédé trop compliqué. Pour rendre le plutonium plus difficile à récupérer et ainsi davantage à l'abri des dangers de prolifération, il peut être mixé avec des produits de fission très radioactifs, comme par exemple le césium-137 ou un mélange de produits de fission provenant d'usines de retraitement qui ne sont plus en service. De tels produits de fission émettant des rayons gamma produiraient une dose de radiation mortelle à quiconque essayerait de voler ces billettes de verre contenant du plutonium. Cependant, cette méthode augmenterait le coût de la réextraction du plutonium si cela s'avérait nécéssaire dans l'avenir. Un compromis pourrait consister à vitrifier le plutonium avec d'autres éléments, comme le thorium-232 et à mettre ce mélange dans un récipient rendu très radioactif par du césium-137 en vue de le rendre très difficile à voler.

fermement que le plutonium est un trésor d'énergie qui, à long terme, a un rôle à jouer dans l'économie mondiale de l'énergie. De plus, ces partisans du plutonium occupent des postes où ils ont une influence considérable dans des pays clés comme la Russie, la France, le Japon, l'Angleterre et, dans une moindre mesure, les États-Unis.

#### Réduire l'écart entre les différentes opinions des États-Unis et de la Russie sur le plutonium

Les dirigeants des États-Unis et de la Russie sont en désaccord complet vis-à-vis du plutonium. Le gouvernement russe considère que le plutonium représente une source d'énergie importante et constitue un trésor économique, alors que des leaders américains comme la Secrétaire à l'Énergie Hazel O'Leary et le Conseiller Scientifique auprès du Président, Dr. John H. Gibbons, le considèrent comme un fardeau.

Des études menées par l'Académie Nationale des Sciences des États-Unis en 1994 et 1995 ont conclu que l'utilisation du plutonium dans les réacteurs entraînerait une perte nette, même en tenant compte de la vente d'électricité. Cette perte nette serait de la même ampleur que le coût de la vitrification du plutonium. Bien sûr, il y a des organismes aux États-Unis comme par exemple la Société Nucléaire Américaine (American Nuclear Society) dont l'opinion sur le plutonium est proche de l'opinion russe officielle. De plus il y a encore aux États-Unis un fort penchant, y compris au Département de l'Énergie, d'utiliser le plutonium comme combustible sous forme d'oxydes mixtes d'uranium et de plutonium (combustible MOX) dans les centrales nucléaires déjà existantes. Les mêmes opinions ont été exprimées par les leaders russes.

La question à long terme de la valeur du plutonium ne peut pas être résolue aujourd'hui; mais on peut néanmoins séparer les questions d'énergie à court et moyen termes des questions à long terme. La plupart des études indépendantes qui ont pris en compte correctement les coûts du retraitement et de la fabrication du combustible ont conclu qu'à l'heure actuelle, parce que l'uranium est abondant et bon marché, le plutonium n'est pas un combustible rentable et ne le sera pas dans un avenir prévisible (voir l'article principal). L'IEER partage cette opinion. Tenant compte du fait que l'uranium est bon marché et des dangers urgents du point de vue de la sécurité, nous sommes d'avis qu'il est possible de se mettre d'accord, pour le moment, de transformer le plutonium en le rendant inutilisable pour la fabrication d'armes, tout en laissant la possibilité de l'utiliser comme source d'énergie plus

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup> Voir: Noah Sachs, Risky Relapse into Reprocessing (Takoma Park, Maryland: Institute for Energy and Environmental Research, Jan.1996)

SUITE DE LA PAGE 10

tard si les conditions économiques et de nonprolifération le permettent.

Nous avons deux recommandations principales quant à la gestion du plutonium à court et à moyen termes.

- Les excédents de plutonium militaire et tout le plutonium "civil" devraient être vitrifiés de telle façon qu'il soit très difficile de le voler et très difficile pour des groupes non-gouvernementaux de l'extraire à nouveau pour en faire des armes atomiques. La vitrification diluerait le plutonium avec de grandes quantités de verre fondu (et d'autres matériaux) pour faire des billettes de verre. Les conteneurs des
- billettes de verre (ou les billettes elles-mêmes) devraient être rendus très radioactifs pour qu'ils soient trop difficiles à voler.
- Toutes les usines de retraitement aussi bien militaires que civiles qui produisent des matériaux utilisables pour la fabrication des armes nucléaires devraient être fermés pour stopper l'augmentation des stocks de ces matières.

Les gouvernements des États-Unis et de la Russie peuvent traiter des problèmes d'énergie à propos des matières fissiles en créant des mécanismes qui rassureraient ceux qui pensent que le plutonium

LIRE LA SUITE, PAGE 12

### G L O S S A I R E

- surgénérateur: réacteur conçu pour produire plus de matière fissiles qu'il n'en consomme. La plupart des surgénérateurs utilisent les neutrons rapides pour soutenir la réaction en chaîne. Un surgénérateur qui ne produit pas plus de matière fissile qu'il n'en consomme est appelé réacteur à neutrons rapides.
- taux de combustion: quantité d'énergie qui a été produite par une unité de combustible nucléaire; normalement mesurée en mégawatts jour par tonne
- électron: particule élémentaire qui est chargée négativement.
- matière fertile: matière qui n'est pas fissile, mais qui peut être convertie en matière fissile. L'uranium-238 et le thorium-232 sont les deux principales matières fertiles.
- matière fissile: matière dont le noyau atomique peut être fissionné quand il incorpore un neutron peu énergétique (idéalement d'énergie nulle). Les matières fissiles peuvent soutenir une réaction en chaîne.
- matière fissionnable: matière qui peut être fissionnée quand elle est bombardée par des neutrons énergétiques. La plupart des matières fissionnables qui ne sont pas fissiles ne peuvent pas soutenir de réactions en chaîne.
- **demi-vie:** temps nécessaire pour que la moitié d'une quantité donnée d'un élément radioactif se désintègre.
- isotope: variété d'un élément qui a le même nombre de protons mais un nombre différent de neutrons dans le noyau. Les isotopes d'un même élément ont le même nombre atomique mais une masse atomique différente.

- modérateur: matière utilisée dans un réacteur nucléaire pour ralentir les neutrons rapides émis lors du processus de fission.
- neutron: particule élémentaire non chargée qui se trouve dans le noyau des éléments (sauf l'hydrogène). Hors du noyau, les neutrons se désintègrent en un proton, un électron et un antineutrino. Un neutron est environ 1 838 fois plus lourd qu'un électron.
- fission nucléaire: désintégration du noyau d'un élément lourd en deux noyaux plus légers. Cette désintégration est en général accompagnée de la libération d'un ou de plusieurs neutrons et d'énergie.
- **proton:** particule élémentaire de charge positive égale à celle de l'électron mais qui est 1 836 fois plus lourde qu'un électron.
- cœur de réacteur: Le cœur d'un réacteur comprend le combustible, le modérateur, (pour les réacteurs thermiques) et le caloporteur.
- retraitement: séparation du combustible irradié en uranium, plutonium, actinides et produits de fission.
- **réacteur thermique:** réacteur qui utilise les neutrons thermiques (ou lents) pour soutenir la réaction en chaîne.
- vitrification: méthode de fabrication du verre. Dans le contexte du plutonium et de la gestion des déchets nucléaires, elle consiste à mélanger le plutonium avec du verre fondu en vue de l'immobiliser, pour le rendre sans danger pour le stockage et difficile à utiliser pour les armes nucléaires.

SUITE DE LA PAGE II

pourrait devenir une source d'énergie de grande valeur à long terme. Nous recommandons deux actions complémentaires :

- La création d'une réserve internationale de combustible à l'uranium pour les centrales électriques comme moyen d'en assurer l'approvisionnement à long terme à des prix raisonnables. Cette réserve serait créée à partir des excédents militaires d'uranium très enrichi.
- Des garanties financières pour extraire à nouveau le plutonium des billettes de verre au cas où un comité impartial d'experts déciderait que c'est un combustible rentable pour la production d'énergie. De cette façon le gouvernement russe ainsi que d'autres gouvernements pourraient conserver leur choix d'utiliser le plutonium à l'avenir si cela s'avère rentable.

Ces étapes devraient rassurer ceux qui craignent pour l'approvisionnement en combustible des centrales nucléaires et permettre la vitrification de se faire dans le court terme. Les fonds et les garanties financières nécessaires à ces activités pourraient être pris en charge par les gouvernements des États-Unis, des pays de l'Union européenne et du Japon.

#### Une collaboration entre la Russie et les États-Unis

Il v a quelques signes encourageants pour la poursuite d'une politique de non-prolifération en Russie et aux États-Unis. Les États-Unis ne retraitent pas le combustible civil irradié (bien qu'il y ait une usine militaire de retraitement en service) et ils ont commencé de vrais tests sur les déchets radioactifs à très forte activité dans les installations de vitrification à Savannah River Site en Caroline du Sud et à West Valley dans l'État de New York. Avec son usine de vitrification en service à Chelvabinsk-65, la Russie a considérablement plus d'expérience que les États-Unis pour la vitrification des déchets radioactifs à très forte activité. La Russie est aussi en train de faire des expérimentations sur la vitrification du plutonium en se servant de résidus de plutonium non utilisables comme combustible à l'Institut du Radium de Saint-Pétersbourg. La recherche avancée en Russie ainsi que la recherche en cours dans les centres de recherche aux États-Unis, comme par exemple à Savannah River Site et au centre de recherche d'Oak Ridge, peuvent être à la base d'une coopération active et mutuellement bénéfique concernant un des problèmes les plus urgents de notre temps.

Les présidents Clinton et Eltsine devraient décider dès maintenant de vitrifier le plutonium pour éviter son détournement vers le marché noir. Dans un premier temps, la Russie et les États-Unis devraient mettre en route conjointement deux usines prototypes—une dans chaque pays —dans le cadre d'un programme de collaboration technique sur la sécurité des matières fissiles. Les États-Unis et la Russie devraient se mettre d'accord pour fermer leurs usines de retraitement et pour ne pas utiliser le plutonium comme combustible. Ils pourraient alors travailler ensemble pour convaincre d'autres pays de fermer leurs usines de retraitement. Seule une collaboration entre la Russie et les États-Unis pour la gestion des matières utilisables pour la fabrication des armes atomiques peut encourager d'autres gouvernements à faire de bons choix pour la gestion de l'environnement et la politique de non-prolifération. Ces choix créeraient de l'emploi dans ces domaines au lieu d'en créer dans des domaines à problèmes comme le retraitement. Les possibilités de détournement du plutonium des stocks militaires ou civils constituent un problème mondial qui appelle une solution mondiale.

-ARJUN MAKHIJANI

### UNITÉS DE MESURE

watt: Une unité du système métrique utilisée pour mesurer le taux de la production et de la consommation d'énergie.

**joule:** Une unité d'énergie du système métrique égale à une puissance de 1 watt par seconde.

kilo: Un millier. Un kilowatt est une mesure courante pour la capacité de puissance électrique.

**kilowatt-hour (kWh):** Une unité d'énergie égale à 3,6 millions de joules. C'est la quantité d'énergie produite par une source de 1 kilowatt fonctionnant pendant une heure.

méga: Un million. Un mégawatt (MW) mesure la capacité de production pour les grandes usines. Quand il est utilisé, seul, dans le contexte de production d'électricité, il se rapporte, en général, à la capacité de production d'électricité.

giga: Un milliard (ou 10°). Un gigawatt électrique (égal à 1000 MW) correspond approximativement à la capacité d'une grande usine nucléaire.

tera: Un billion (ou 1012).

péta: Un millier de billions (ou 10<sup>15</sup>). L'utilisation de l'énergie à grande échelle est souvent mesurée en pétajoules. Une tonne d'équivalent charbon (standard U.N.) correspond à approximativement à 29 milliards de joules. Ainsi un pétajoule équivaut à environ 34,500 tonnes de charbon.

exa: Un million de billions (ou 1018).

économique du plutonium qui ait un sens, nous devons prendre en compte les coûts de son retraitement et de sa fabrication nécessaires pour le rendre utilisable et les comparer au coût d'autres combustibles. L'analyse indépendante la plus détaillée et récente faite sur ce sujet est une étude publiée en 1995 par l'Académie Nationale des Sciences des États-Unis en 1995 où différents choix pour l'utilisation du plutonium sont étudiés.

Elle estime le coût du retraitement et de la fabrication de combustible d'oxyde d'uranium enrichi à 4,4 pour cent à 1 400 dollars du kilo en dollars de 1992, en supposant que le prix de l'uranium naturel soit de 55 dollars. Le coût de la fabrication du combustible MOX. en supposant que le plutonium est gratuit (c'est à dire que le plutonium est obtenu des surplus du programme des armes nucléaires), serait d'environ 1 900 dollars du kilo en dollars de 1992, sans compter les taxes et les assurances.4 Ce prix plus élevé du combustible MOX signifie que le coût annuel, pour un cœur doté entièrement de MOX, se monterait à environ 15 millions de dollars supplémentaires par an que pour un réacteur de 1000 mégawatts chargé avec du combustible à l'uranium. Ceci équivaut à 450 millions de dollars (en dollars de 1992) pour la durée de fonctionnement du réacteur même si le plutonium est gratuit. Ce montant équivaut à environ 500 millions de dollars 1995. De plus, les coûts pour l'entreposage du combustible MOX usé seront probablement plus élevés que ceux du combustible usé à l'uranium parce que le combustible MOX usé sera plus radioactif et contiendra deux à trois fois plus de résidus de plutonium que le combustible usé à l'uranium.

Il est clair que si les prix de l'uranium restent relativement bas, l'utilisation du combustible MOX n'est pas rentable même dans les circonstances les plus favorables, c'est à dire quand le plutonium ne coûte rien et tant que le prix de l'uranium est présumé plus cher que sur l'actuel marché au comptant. La différence est même encore plus grande quand le coût du retraitement entre en compte, parce que le retraitement augmenterait de centaines de millions de dollars le coût du combustible nécessaire pour la durée de fonctionnement d'un réacteur.

Comme l'Académie Nationale des Sciences l'indiquait dans son rapport de 1994, le fait que le plutonium ait une valeur comme combustible, du fait aussi une valeur physique, mais le coût de l'exploitation de ces schistes comparé à celui des nappes de pétrole rend impossible, sur le plan économique, son utilisation comme combustible (tout comme pour le plutonium). De plus le plutonium pose des problèmes de prolifération qui, bien qu'ils soient difficiles à quantifier monétairement, sont malgré tout importants.

Les dangers de la prolifération

Bien que le plutonium civil ait une composition

économiquement rentable. Les schistes bitumineux ont

de ses caractéristiques physiques, ne le rend pas

Bien que le plutonium civil ait une composition isotopique différente du plutonium produit pour les armes, il peut quand même être utilisé comme explosif nucléaire. Cela a été clairement démontré lors d'un essai positif effectué en 1962 par la Commission de l'Énergie Atomique des États-Unis. Continuer le retraitement et l'utilisation du plutonium entraînerait un double danger de prolifération. D'abord, l'augmentation du stock de plutonium, séparé du combustible usé provenant des centrales nucléaires électriques, contrevient aux engagements contenus dans les traités internationaux. Même si la séparation du plutonium n'est effectuée que pour des raisons commerciales, elle peut être perçue comme ayant pour but unique d'augmenter le stock des matières utilisables pour les armes nucléaires. Très vite, cela pourrait ruiner les chances de succès des négociations mondiales pour l'arrêt de la fabrication des matières fissiles et, à la longue, le Traité de Non-Prolifération, dans lequel chaque signataire en accord avec l'article VI s'engage à « poursuivre de bonne foi des négociations sur des mesures efficaces relatives à la cessation de la course aux armements nucléaires à une date rapprochée et au désarmement nucléaire... »

Ensuite, il y a danger de détournement du plutonium sur le marché noir. La valeur du plutonium comme combustible est déterminée par le prix de l'uranium. En supposant que le prix de l'uranium naturel soit de 40 dollars du kilo, l'uranium-235 vaut alors 5 600 dollars du kilo. Puisque l'énergie obtenue par la fission du plutonium-239 et de l'uranium-235 est à peu près la même, la valeur du plutonium comme combustible peut être en principe évaluée à 5 600 dollars du kilo. Le plutonium créé dans les réacteurs commerciaux contient aussi des isotopes qui ne sont pas fissiles, diminuant ainsi la valeur du plutonium pour l'amener à 4 400 du kilo.<sup>5</sup> Six à dix kilos de plutonium créés dans les réacteurs commerciaux suffisent pour fabriquer une bombe atomique, pour un prix entre 26 400 et 44 000 dollars. Néanmoins, la valeur du plutonium serait sans aucun doute bien plus élevée sur un marché noir éventuel où les motifs de l'achat seraient de fabriquer une arme. Le danger de détournement du plutonium vers un marché noir est particulièrement

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Panel on Reactor-Related Options for the Disposition of Excess Weapons Plutonium. Committee on International Security and Arms Control, Management and Disposition of Excess Weapons Plutonium-Reactor-Related Options (Washington, DC: National Academy Press, 1995), pp. 290, 294.

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Le combustible d'un réacteur typique à eau légère contient environ 0,2 pour cent d'isotopes de plutonium non fissiles et 0,7 pour cent de d'isotopes fissiles.

sévère en Russie où l'affaiblissement du contrôle central s'ajoutant à la croissance du crime organisé et à des conditions économiques difficiles rendent les risques de détournement plus grands.

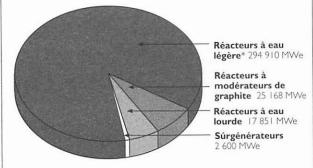
#### Les problèmes à long terme

Les réalités économiques relatives au plutonium sont maintenant si bien connues qu'il n'y a pas de polémiques sérieuses quant à sa non-utilisation comme source d'énergie, à court terme et à moyen terme. Mais les partisans du plutonium comme source d'énergie mettent en avant les besoins énergétiques à long terme comme motifs pour créer et maintenir une infrastructure nécessaire à l'utilisation du plutonium.

On estime que les ressources d'uranium à 80 dollars du kilo (encore bien en-dessous du prix auquel le plutonium serait concurrentiel) sont d'environ 3,3 millions de tonnes, assez pour à peu près six à sept décennies de combustible à cycle ouvert si les quantités utilisées pour la production des centrales nucléaires restent les mêmes qu'à l'heure actuelle. Ces approximations ne tiennent pas compte du fait qu'une augmentation réelle des prix est accompagnée d'une campagne intense de prospection. L'histoire de la prospection du pétrole et du gaz naturel est intructive.

L'augmentation des prix dans les années 73-74 s'est produite à la suite de la politique de limitation de production et de fixation des prix adoptée par l'Organisation des Pays Exportateurs de Pétrole (OPEP). Cependant, la hausse des prix engendra de nouvelles prospections et la considérable augmentation du nombre de pays exportateurs de pétrole ainsi que la disponibilité du pétrole eurent comme résultat qu'aujourd'hui le prix réel du pétrole est plus bas qu'il ne l'était en 1974. Les prix de l'uranium ont eu tendence à baisser en termes réels (à l'exception d'une période dans les années 70 quand les prix de l'uranium ont suivi la hausse des prix du pétrole), ainsi les estimations actuelles des ressources d'uranium pourraient être sous-estimées. Quelques soient les opinions sur le futur de l'énergie nucléaire, il ne sert à rien aujourd'hui d'investir d'énormes sommes d'argent pour utiliser le plutonium comme combustible puisque les perspectives d'une utilisation rentable se situent à plusieurs décennies, et ce n'est même pas encore sûr. L'utilisation du plutonium a encore moins de sens dans le contexte d'une situation de crise économique, où les rares capitaux pourraient être mieux investis dans des systèmes de production d'énergie plus adaptés au respect de l'environnement et à la sécurité et avec de plus grands profits, comme par exemple des usines au gaz naturel ou utilisant la biomasse, la production d'électricité solaire avec le concours du gaz et une 312 utilisation plus efficace de l'énergie.

# PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ DE DIVERS RÉACTEURS\*



- \* Les réacteurs à eau préssurisée (REP) contribuent 219 391 MWe et les réacteurs à eau bouillante (REB), 75 519 MWe.
- \*\* Une petite quantité de la capacité électrique (moins de 0,1 pour cent) provient d'autres types de réacteurs.

Sources: Uranium Institue website (http:// www.uilondon.org/reastats.html). Le chiffre pour les surgénérateurs provient de Nuclear Power Reactors in the World (Vienna: International Atomic Energy Agency, April 1995). 280 MWe ont été ajoutés pour tenir compte du réacteur de Monju au Japon qui a démarré en Avril 1995 mais est maintenant arrêté.

#### TABLEAU 5: LES RÉACTEURS NUCLÉAIRES PAR RÉGION

(Depuis mai 1996)

	En service*	Sous construction	Construction arrêtée
Afrique	2	0	0
USA	110	0	6
Autres pays d'Amérique du Nord	24	0	2
Amérique du Sud	3	2	0
Japon	52	2	0
Autres pays d'Asie	31	15	I
France	56	4	0
Autres pays d'Europe de l'Ouest	94	0	0
Europe d'Est	20	4	6
Russie	29	3	7
Ukraine	15	2	3
Autres pays de l'URSS	5 5	0	0
TOTAL	441	32	25

\* Cette rubrique comprend cinq réacteurs qui n'avaient pas démarré en mai 1996 mais qui avaient obtenu l'autorisation de fonctionner aux États-Unis, en Arménie, au Canada, en Allemagne et en Inde. Cette rubrique comprend aussi quatre réacteurs qui avaient divergé mais ne produisaient pas encore d'électricité: deux au Japon, un aux États-Unis et un en Roumanie.

Source: Uranium Institute website (http://www.uilondon.org/reastats.html)

#### PROBLÈMES CONCERNANT LE PLUTONIUM

Albright, David, Frans Berkhout, and William Walker. World Inventory of Plutonium and Highly Enriched Uranium 1992. Oxford and New York: Oxford University Press, 1993.

La source d'information publique la plus complète et fiable sur le plutonium et l'uranium très enrichi utilisables pour la fabrication des armes nucléaires, avec une quantité considérable d'informations historiques. Une partie des informations les plus récentes sont publiées dans ce bulletin. Portée: mondiale.

Berkhout, Frans, Anatoli Diakov, Harold Feiveson, Helen Hunt, Marvin Miller, and Frank von Hippel. "Disposition of separated plutonium." Science & Global Security 3, Nos. 3-4 (March 1993): pp. 161-213.

Fournit une analyse détaillée sur les options pour rendre le plutonium non utilisable pour les armes nucléaires. Parmi ces options se trouvent, le stockage sous surveillance, la fabrication du combustible MOX, et la vitrification, ainsi qu'une discussion sur les sources de plutonium séparé. Portée: mondiale.

Chow, Brian G., and Kenneth A. Solomon. Limiting the Spread of Weapon-Usable Fissile Materials. Santa Monica, CA: RAND, 1993.

Contient une analyse du coût de l'utilisation du plutonium dans les réacteurs. Cette analyse démontre qu'il y aurait un coût net parceque le prix le l'uranium est très bas. Portée: mondiale.

U.S. Department of Energy. Plutonium: The First Fifty Years - United States Plutonium Production, Acquisition and Utilization from 1944 to 1994. Washington, D.C.: U.S. Department of Energy, February 1996.

Fait partie de "l'initiative d'ouverture" de la part de la Sécrétaire à l'Énergie des U.S., Hazel O'Leary pour rendre publiques des informations auparavant secrètes sur des activités se rapportant aux armes nucléaires. Des chiffres sont fournit sur les importations et les exportations de plutonium des États-Unis. Portée: principalement les États-Unis.

U.S. Department of Energy. Plutonium Working Group Report on Environmental, Safety and Health Vulnerabilities Associated with the Department's Plutonium Storage, Draft. Washington, D.C.: U.S. Department of Energy, Publication Number DOE/EH-0415, September 1994.

Traite des problèmes qui découlent du stockage, sous diverses formes chimiques du plutonium et de déchets de plutonium laissés à la fin de la guerre froide. Décrit auusi les problèmes dus à la détérioration des emballages de stockage, comme par example la formation de gaz inflammables résultants de la radiolyse. Portée: États-Unis.

Pour l'obtention de copies de publications du Département de l'Énergie, contacter:

U.S. Department of Energy 1000 Independence Avenue, SW Washington, DC 20585

National Academy of Sciences. Management and Disposition of Excess Weapons. Washington, D.C.: Committee on International Security and Arms Control, 1994. En anglais et russe.

Fournit un bilan des choix pour se débarasser du plutonium militaire en surplus aux États-Unis. Il recommende trois options à considérer: l'utilisation du plutonium comme combustible MOX, la vitrification du plutonium, et l'enfouissement du plutonium par sondage en profondeur. Il remarque que même l'utilisation du plutonium comme combustible aurait un coût net à cause du prix bon marché de l'uranium et du coût élevé de la fabrication du combustible. La portée est principalement américaine, mais il y est aussi discuté des aspect russses liés à ce problème. Reportez-vous à notre article "Le plutonium comme source d'énergie" pour des informations contenues dans le rapport de 1995.

Pour obtenir une copie des rapports de la NAS, contactez:

#### Committee on International Security and Arms Control

U.S. National Academy of Sciences 2101 Constitution Avenue, NW Washington, DC 20055 cisac@nas.edu

#### **OUESTIONS D'ÉNERGIE**

Flavin, Christopher, and Nicholas Lenssen. Power Surge: Guide to the Coming Energy Revolution. New York and London: W.W. Norton & Company, 1994.

Traite en détail de l'état des énergies renouvelables.

Goldemberg, Jose, Thomas B. Johansson, Amulya K. N. Reddy, and Robert H. Williams, eds. Energy for a Sustainable World. New York: John Wiley & Sons, 1988; and Johansson, Thomas B., Henry Kelly, Amulya K. N. Reddy, and Robert H. Williams. Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity. Washington, D.C.: Island Press, 1993.

Ces livres présentent une discussion et une analyse détaillées de l'utilisation actuelle de l'énergie et des énergies alternatives pour l'avenir.

### SÉLECTION DES PUBLICATIONS DE



#### Nuclear Wastelands

Un guide, pour les spécialistes, les étudiants, les responsables politiques, et ceux qui militent pour la paix et la protection de l'environnement. Ce guide fournit pour chaque puissance nucléaire militaire, déclarée ou de fait, une description concise et historique du développement de leurs programmes d'armes nucléaires. La documentation et les analyses méticuleuses font la lumière sur le secret dont se sont entourés les gouvernements et sur le mensonge qui a camouflé les atteintes aux personnes et aux régions alors même que ces armes étaient supposées protéger.

Aucune recherche future sur les armes nucléaires ne sera

crédible si elle ne renvoie pas à cette étude.

-Jonathan Steel, The Guardian (UK), August 9, 1995 Livre cartonné, 666 pages. Prix de vente: \$55.00. Prix spécial aux lecteurs: \$40.00

#### Plutonium: Deadly Gold of the

Nuclear Age

by IPPNW and IEER

International Pysicians Press, 1992

Édition de poche, 178 pages. Prix \$17. A aussi été traduit ent Japonais, Français et Allemand.

Traduction française: Plutonium: Or mortel de lâge

Éditeur: Association des Médecins pour la Prévention de la Guerre Nucléaire (AMFPGN)

#### Fissile Materials, In a Glass, Darkly

by Arjun Makhijani and Annie Makhijani, IEER Press Traduit en Russe

Édition de poche, 126 pages. Prix: \$12

#### Radioactive Heaven and Earth

The Health and Environmental Effects of Nuclear Weapons Testing In, On, and Above the Earth by IPPNW and IEER Apex Press/Zed Books, 1991 Édition de poche, 193 pages. Prix \$17

The Nuclear Safety Smokescreen

La sécurité et la fiabilité des têtes nucléaires et le programme de surveillance du stock des armes nucléaires Rapport de l'IEER, 1996

Prix: \$10.

Résumé disponible en Russe et en Chinois. (Gratuit)

Nuclear Power Deception

U.S. Nuclear Mythology from Electricity "Too Cheap to Meter" to "Inherently Safe" Reactors Rapport de l'IEER, 1996

Prix: \$15.

#### Frais d'envoi

Ajouter \$15 par copie pour Nuclear Wastelands; \$5 par copie pour les autres livres

Nos brochures et autres informations sur l'IEER sont facilement accessibles sur notre page Web à http:// www.ieer.org. Vous y trouverez aussi une formation technique au réseau, des rapports techniques, et des sélections de nos publications.

Énergie et Sécurité est un bulletin sur la nonprolifération, 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: (310) 270-3029 Addresse Internet: 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.

a préparation et la production d'Energie et Sécurité ont été bien facilitées par les conseils réguliers d'amis des quatre coins du

Notre succés dépend en grande partie de vos suggestions. Nous accueillons volontiers les remarques de nos lecteurs, et nous publierons des lettres sélectionnées dans nos prochains numéros, si la place nous le permet. Nous nous réservons le droit d'abréger les lettres et nous indiquerons si le texte a été raccourci.

