

# Énergie ET Sécurité

NO. 13 2000

UNE PUBLICATION DE L'IEER

## La transmutation des déchets : le pari de l'alchimie nucléaire

PAR ANNIE MAKHIJANI  
ET HISHAM ZERIFFI

« La recherche sur la séparation et la transmutation des déchets est assez attrayante pour chacun d'entre nous. Elle nécessite de nouvelles techniques de retraitement, de nouveaux développements dans les combustibles, des données supplémentaires concernant le nucléaire, de nouveaux réacteurs et de nouvelles installations d'irradiation, de nouveaux concepts de traitement et d'évacuation des déchets, et des études spécifiques consacrées à la sûreté. Cette opportunité représente un nouveau défi pour la communauté nucléaire mondiale scientifique et technique. »

« Pourtant, chacun comprend bien que ce voyage vers la terre promise nous amènera à traverser un désert et de nombreuses montagnes escarpées, et que l'horizon ne sera peut-être pas aussi rose que nous pouvons l'espérer »

— Paul Govaerts, SCK-CEN (Centre de Recherche Nucléaire Belge). 'Discours de bienvenue à la 5ème réunion internationale d'information et d'échange sur la séparation et la transmutation des actinides et des produits de fission, Mol, Belgique, 25-27 novembre 1998.

« Le programme [de transmutation] est censé revitaliser les programmes de recherche-développement de façon générale, et il doit également attirer de jeunes chercheurs compétents et désireux de mettre tout en oeuvre pour faire franchir à l'option nucléaire le cap du 21ème dans les conditions les plus favorables. »

LIRE LA SUITE PAGE 6  
VOIR LA PAGE 13 POUR LES ANNOTATIONS

### DANS CE NUMÉRO

Les déchets radioactifs créés par l'énergie nucléaire .....	15
Cher Arjun .....	18



NATIONAL ARCHIVES AND RECORDS ADMINISTRATION

Exposition itinérante organisée par le programme 'Atomes pour la Paix' mis en place par la Commission à l'Energie Atomique des Etats-Unis, en 1957. Ce programme, initié pendant l'administration Eisenhower, consistait, entre autres à ce que les Etats-Unis fournissent de l'uranium hautement enrichi à des réacteurs de recherche étrangers dans 41 pays.

### EDITORIAL

## L'Energie nucléaire : un outil de propagande de la guerre froide

PAR ARJUN MAKHIJANI ET MICHÈLE BOYD

Basé sur le livre intitulé 'L'imposture de l'énergie nucléaire', par Arjun Makhijani et Scott Saleska.<sup>1</sup>

« Il n'est pas exagéré de s'attendre à ce que nos enfants puissent bénéficier dans leurs foyers d'une énergie électrique trop bon marché pour être facturée »

— Lewis Strauss, président de la Commission à l'Energie Atomique des Etats-Unis, 1954.

« La chaleur sera si abondante qu'elle sera même utilisée pour faire fondre la neige qui tombe...La centrale nucléaire fournira toute la chaleur, la lumière et l'énergie nécessaires pour toute la communauté, et ces services seront si peu coûteux que leur prix peut à peine être évalué. »

— Robert M. Hutchins, président de l'Université de Chicago, le site où s'est produit la première réaction nucléaire en chaîne, 1946.

LIRE LA SUITE PAGE 2  
VOIR LA PAGE 6 POUR LES ANNOTATIONS

L'idée selon laquelle l'énergie nucléaire serait extrêmement bon marché et inépuisable attira beaucoup l'attention immédiatement après la deuxième guerre mondiale. Comme si l'on voulait consciemment offrir une image opposée aux nouvelles horreurs de la guerre que la bombe atomique pouvait infliger, on s'évertua à dépeindre un avenir apporté par la science atomique en des termes radieux, pour tenter d'évoquer une vision de paix, de prospérité et d'abondance.

Lewis Strauss, nommé président de la Commission à l'Énergie Atomique (AEC) des États-Unis en 1953, avait 'la foi en l'avenir atomique' et croyait que le progrès de l'énergie nucléaire serait guidé par la "Divine Providence." La même fièvre s'empara du Congrès américain. Cette vision fut concrétisée par l'*Atomic Energy Act* de 1954, (Loi sur l'énergie atomique), l'acte législatif majeur qui permit de définir les conditions de la commercialisation de l'énergie atomique en faisant en sorte qu'elle reste compatible avec la fabrication d'armes nucléaires. La loi déclare que :

« le développement, l'utilisation et le contrôle de l'énergie atomique seront réalisés de façon à promouvoir la paix mondiale, à améliorer le bien-être général et le niveau de vie, et à renforcer la libre concurrence entre les entreprises privées. »

Les applications de l'énergie nucléaire ayant pour but d'améliorer le " bien-être général " devaient être « soumises à tout instant à l'objectif suprême de contribuer au maximum à la défense et à la sécurité communes. »

Les États-Unis voulaient présenter au monde une image bénigne du nucléaire, tout en se construisant un vaste arsenal d'armes atomiques toujours plus puissantes. Des déclarations inexacts et trompeuses et la bravade technologique de l'énergie nucléaire devinrent bientôt parties intégrantes de l'hystérie de la guerre froide qui domina le pays. Dès le début des années 80, il était devenu évident pour tous, y compris à Wall Street que, loin d'être 'trop bon marché pour être mesurée', l'énergie nucléaire était au contraire bien trop chère pour que l'on puisse se la permettre. Mais d'autres affirmations trompeuses sont devenues monnaie courante, comme par exemple celle selon laquelle l'industrie pourrait construire des réacteurs 'intrinsèquement sûrs', ou encore que l'énergie nucléaire pourrait apporter une réponse concrète au problème des émissions de gaz à effet de serre.<sup>2</sup>

### Des Atomes pour la Paix

Après le premier essai nucléaire soviétique en 1949, les États-Unis décidèrent d'accélérer le développement de

la bombe à hydrogène. Ils ouvrirent le site d'essais du Nevada et commencèrent la conception, la fabrication et l'expérimentation d'armes nucléaires. Les soviétiques firent de même de leur côté. Les États-Unis testèrent un engin thermonucléaire le 31 octobre 1952, et les Soviétiques en firent autant le 12 Août 1953.

Thomas Murray, un des commissaires de l'AEC, comprit les bénéfices évidents d'une 'propagande' exercée pour détourner l'attention de la population des bombes et la porter sur l'énergie civile, puisque les États-Unis et l'Union soviétique menaient tous deux une course effrénée vers l'ère des armes thermonucléaires. Une telle propagande permettrait de présenter les États-Unis comme les promoteurs des utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire, en contraste avec l'horreur du programme thermonucléaire soviétique. En plus de l'avantage de propagande obtenu en attribuant aux Soviétiques le côté militariste, (malgré le développement parallèle de centrales nucléaires soviétiques), une autre raison de l'empressement des États-Unis à se

LIRE LA SUITE PAGE 3  
VOIR LA PAGE 6 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 mai 2000.

### 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 •

lancer dans la production d'énergie nucléaire civile à grande échelle était la crainte, que si les Etats-Unis ne se dépêchaient pas les Soviétiques pourraient être les premiers à y arriver. Il se trouva que les Russes (en 1954) et les Anglais (en 1956) parvinrent tous deux à produire de l'électricité nucléaire commerciale avant les Etats-Unis (en 1957).

Un discours prononcé par le président Eisenhower devant les Nations unies en décembre 1953 fut préparé sur ce fond de développement et d'essais d'armes nucléaires américaines et soviétiques. Les premières versions du discours d'Eisenhower étaient centrées sur la nature terriblement destructrice des armes atomiques et thermonucléaires. Dans la nouvelle version du discours, une partie contenait des descriptions imagées de la puissance et de la terreur engendrées par les armes nucléaires; une autre évoquait en termes glorieux la promesse du nucléaire pacifique.

Eisenhower centra une grande partie de son discours prononcé devant l'Assemblée générale des Nations unies le 8 décembre 1953, sur les possibilités concrètes du développement de l'énergie nucléaire civile. Son discours devint connu sous le nom de programme des « Atomes pour la Paix ». Il affirma :

« Les Etats-Unis chercheraient à faire plus que simplement réduire ou éliminer les matières atomiques à usage militaire.

[Ce programme] aurait comme objectif spécifique d'apporter en abondance de l'électricité aux régions du monde qui en manquent cruellement. Ainsi, les puissances contributantes apporteraient une partie de leur force pour répondre aux besoins de l'humanité, plutôt que d'attiser ses inquiétudes. »

Selon le programme des Atomes pour la Paix, certains pays contribueraient donc en donnant des matières fissionnables à une nouvelle agence internationale de l'énergie atomique qui serait créée sous les auspices des Nations unies. Cette agence permettrait de prévenir la prolifération des armes nucléaires, et en même temps aiderait au développement de l'énergie nucléaire. Eisenhower exposa brièvement aussi les rôles de la nouvelle agence : allouer les matériaux fissionnables et envoyer des experts dans le monde entier.

La déclaration d'Eisenhower selon laquelle l'énergie nucléaire pourrait « être rapidement transformée » d'une technologie en développement en une « énergie d'utili-

sation universelle, efficace et rentable » ne se basait sur aucune analyse sérieuse. Elle transformait plutôt les déclarations prophétiques des premières années sur l'énergie nucléaire en instrument calculé pour la guerre froide. La division idéologique liée à la guerre froide ne se retrouvait pas au niveau de l'énergie nucléaire. Les partisans farouches de l'Union soviétique étaient au moins aussi enthousiastes quant aux possibilités de l'énergie nucléaire, réunissant ainsi la fameuse citation

de Lénine, selon laquelle « le communisme, c'est les soviets plus l'électricité », et le penchant de Staline pour des projets industriels gigantesques.

Environ quinze ans plus tard, la politique américaine des 'Atomes pour la Paix' trouva une expression plus formelle et empreinte de ferveur dans l'Article IV du Traité de Non Prolifération Nucléaire (TNP),

qui garantissait à tous ses signataires un 'droit inaliénable' aux avantages de la technologie nucléaire, parmi ceux-ci l'énergie nucléaire (le texte complet de l'Article IV est reproduit page 5). En l'espace de seulement deux décennies, l'énergie nucléaire avait été promue à un statut équivalent au droit de 'vie, liberté et recherche du bonheur', qui avaient inspiré non seulement les fondateurs des Etats-Unis, mais aussi depuis lors des citoyens de par le monde.

Aux yeux de nombreux dirigeants de pays émergent du colonialisme, cherchant des solutions rapides pour résoudre la misère économique de leur pays, l'énergie nucléaire semblait être l'équivalent matériel de leurs drapeaux et hymnes nationaux, devenant les symboles d'une liberté fraîchement acquise. L'énergie nucléaire était 'moderne' et, tout comme les usines d'acier et les compagnies aériennes nationales, il semblait clair qu'une telle modernisation permettrait de propulser les anciennes colonies sous-développées à toute vitesse en avant, les mettant ainsi sur un pied d'égalité avec les nations industrialisées. Même l'Inde, où Gandhi avait prôné avec vigueur le choix d'un type de développement alternatif à celui choisi en Occident, ne chercha pas à entreprendre une évaluation indépendante des affirmations des pays industrialisés, alors qu'elle possédait les capacités scientifiques et techniques nécessaires dès la fin des années 1940.<sup>3</sup>

### Les sceptiques atomiques

Malheureusement pour ses vrais partisans, l'idée d'une énergie 'trop bon marché pour être mesurée', qui était nécessaire pour transformer ces rêves extravagants bien fragiles en réalité économique concrète était un mélange de croyances illusoire et de propagande sans fonde-

LIRE LA SUITE PAGE 4  
VOIR LA PAGE 6 POUR LES ANNOTATIONS

Des déclarations inexactes et trompeuses et la bravade technologique de l'énergie nucléaire devinrent bientôt parties intégrantes de l'hystérie de la guerre froide qui domina le pays.

ment technique. En effet, toutes les évaluations techniques, de celles entreprises en secret par le Projet Manhattan aux études réalisées par le gouvernement, l'industrie ou les universitaires entre la fin des années 1940 et le début des années 1950, aboutirent aux mêmes conclusions. L'énergie nucléaire serait difficile à maîtriser, et elle ne serait pas, et ce pendant longtemps, compétitive par rapport à l'électricité produite par le charbon, bien qu'elle puisse devenir compétitive avec le charbon lui-même, surtout dans le cas d'une augmentation du prix de celui-ci. Aucune étude ne parvint à la conclusion qu'elle serait bon marché, encore moins qu'elle serait 'trop bon marché pour être mesurée'.

Selon C.G.Suits, vice-président et directeur de la recherche à *General Electric*, dans un discours prononcé en décembre 1950 :

«Aujourd'hui, l'énergie nucléaire est un moyen exceptionnellement coûteux et peu pratique de production d'électricité, qui peut être extraite d'une façon beaucoup plus rentable à partir des combustibles conventionnels... Les conditions économiques de l'énergie atomique n'ont rien d'attrayant de nos jours, et ne risquent pas de l'être même dans un avenir lointain. Il s'agit d'une énergie chère, pas d'une énergie bon marché, ainsi qu'on l'a fait croire au public.»

Pour citer un autre exemple, en 1948, l'AEC présenta un rapport au Congrès qui relevait : « un optimisme injustifié quant à la nature des difficultés techniques [posées par l'énergie nucléaire] et au temps nécessaire pour les surmonter. » Cette commission, parmi laquelle on trouvait notamment Enrico Fermi, Glenn Seaborg et J.R. Oppenheimer, n'était pas uniformément optimiste quant au coût du combustible, alors que le faible prix du combustible était justement considéré comme la condition essentielle pour que l'énergie nucléaire devienne compétitive face à l'électricité produite à partir de combustibles fossiles.

Pendant la fin des années 1940 et le début des années 1950, la situation énergétique des Etats-Unis subissait une considérable transformation. Aussi bien avant que pendant la deuxième guerre mondiale, les Etats-Unis étaient quasiment autosuffisants en ce qui concerne le pétrole. Mais l'augmentation énorme du nombre d'automobiles durant cette décennie, ainsi que la croissance explosive d'autres utilisations du pétrole finirent par transformer les Etats-Unis en un importateur net régulier dès la fin des années 1940. Dès 1960, les Etats-Unis importaient près d'un cinquième de leur

Malgré les piteuses performances de l'énergie nucléaire comparées aux espoirs de ses concepteurs, la majorité des gouvernements dans le monde semblent réticents à l'idée de l'abandonner complètement.

consommation.

Une des études officielles de la situation des ressources du début des années 1950 fut réalisée par une commission désignée par le président Truman, nommée *The President's Materials Policy Commission* (Commission présidentielle sur la politique des matériaux). Elle devint connue sous le nom de Commission Paley, du nom de son président.

Dans le secteur de l'énergie, le pétrole fut le premier domaine de préoccupation auquel s'attaqua la *Paley Commission*. Dans son rapport de 1952, il conclut qu'il pourrait y avoir des ruptures d'approvisionnement de pétrole dès les années 1970.

De plus, La *Paley Commission* fit une évaluation très négative de l'énergie nucléaire, exigeant : " qu'une recherche agressive soit menée dans tout le domaine de l'énergie solaire - un effort qui permettrait aux Etats-Unis de contribuer fortement au bien-être du monde ".

La commission incita également à ce qu'un travail plus approfondi soit mené sur l'énergie éolienne et la biomasse. Pourtant, malgré les conclusions de la commission, aucun effort significatif ne fut fait pour les énergies renouvelables jusqu'à ce que la crise du pétrole ait touché les Etats-Unis dans les années 1970. Etant donné l'évaluation selon laquelle l'énergie nucléaire pourrait, au mieux, couvrir seulement une petite fraction des besoins énergétiques, il semble illogique que le choix de l'énergie nucléaire ait été poursuivi avec acharnement, plutôt que l'énergie solaire ou d'autres sources d'énergie renouvelable. Evidemment, elles n'apportaient pas le même capital de propagande pour la guerre froide que l'énergie nucléaire. Il est intéressant de remarquer que les caisses de l'Etat étant vides pour les énergies renouvelables, cela s'est traduit par un manque d'effort de recherche privée, et d'une absence d'intérêt de la part d'un grand nombre de scientifiques et d'ingénieurs.

### Une illusion persistante

L'histoire de l'énergie nucléaire n'a pas répondu aux espoirs de ses partisans. Près d'un demi siècle après qu'un réacteur ait permis d'allumer une ampoule électrique pour la première fois,<sup>4</sup> les commandes de réacteurs nucléaires des pays industrialisés sont quasi inexistantes. Les ventes aux pays en voie de développement, les réparations sur les réacteurs existants et le démantèlement représentent maintenant l'essentiel du carnet de commandes des fabricants de centrales et des autres vendeurs nucléaires. Aux Etats-Unis, il n'y a eu

LIRE LA SUITE PAGE 5  
VOIR LA PAGE 6 POUR LES ANNOTATIONS

aucune nouvelle commande de réacteur depuis 1978, et toutes les commandes de réacteurs passées entre 1974 et 1978 ont été annulées.

Même en France, le bastion de l'énergie nucléaire, où les réacteurs produisent environ les quatre cinquièmes de l'électricité du pays, on reconnaît maintenant que les centrales à cycle combiné au gaz naturel sont plus rentables que les centrales nucléaires.

En 1986, Tchernobyl a démontré les conséquences très graves, étendues, durables et, dans une large mesure, irrémédiables, que peut avoir un accident grave de réacteur nucléaire. Chaque modèle de réacteur nucléaire commercial présente des faiblesses quant à de tels accidents catastrophiques, bien que les probabilités et mécanismes spécifiques aboutissant à des accidents puissent varier d'un modèle à un autre, et d'un pays à un autre.

Malgré les piteuses performances de l'énergie nucléaire comparées aux espoirs de ses concepteurs, la majorité des gouvernements dans le monde semblent réticents à l'idée de l'abandonner complètement. Cette réticence est un phénomène complexe, qui va bien au-delà du cadre de cet éditorial. Il semble, en partie, être la conséquence d'un sentiment partagé dans de nombreux pays non nucléaires en voie de développement, selon lequel les possesseurs principaux de cette technologie, en Occident, les privent de façon injuste de l'accès à une technologie qui leur est garantie par l'Article IV du TNP, comme correspondant à leur part du marché conclu, en échange de quoi ils se sont engagés à renoncer aux armes nucléaires. L'idée selon laquelle l'énergie nucléaire est le symbole de la technologie moderne de 'pointe' a encore une emprise assez forte sur les mentalités.

Pourtant, les problèmes liés à la mise en application de l'Article IV du TNP sont hors propos, car l'énergie nucléaire n'est pas rentable, et n'est pas désirable, cela à de nombreux titres. Même son statut de technologie 'de pointe' ou 'avancée' est largement surfait. Pour donner un exemple, la conception et la construction des cellules photovoltaïques et la construction de réseaux de distribution d'électricité à la fois fiables et contrôlés par informatique, utilisant l'énergie provenant de nombreuses sources et centrales différentes est, à de nombreux titres, une entreprise plus complexe et d'une technologie plus avancée que la conception et la construction de réacteurs nucléaires.

Après l'abandon de l'idée de l'énergie nucléaire comme étant 'trop bon marché pour être mesurée' face à une réalité exigeante, l'industrie nucléaire a mis en avant des raisonnements liés à la protection de l'environnement ou à la non-prolifération comme partie intégrante de sa promotion de l'énergie nucléaire. Ses porte-parole affirment que l'énergie nucléaire pourrait être un facteur essentiel permettant de réduire les émissions de pol-

## ARTICLE IV DU TRAITÉ DE NON PROLIFÉRATION NUCLÉAIRE

1. Aucune disposition du présent Traité ne sera interprétée comme portant atteinte au droit inaliénable de toutes les Parties au Traité de développer la recherche, la production et l'utilisation de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques, sans discrimination et conformément aux dispositions des articles 1 et 2 du présent Traité.
2. Toutes les Parties au Traité s'engagent à faciliter un échange aussi large que possible d'équipement, de matières et de renseignements scientifiques et technologiques en vue des utilisations de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques, et ont le droit d'y participer. Les Parties au Traité en mesure de le faire devront aussi coopérer en contribuant, à titre individuel ou conjointement avec d'autres Etats ou des organisations internationales, au développement plus poussé des applications de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques, en particulier sur les territoires des Etats non dotés d'armes nucléaires qui sont Parties au Traité, compte dûment tenu des besoins des régions du monde qui sont en voie de développement.

Source : <http://www.paix2000.org/prolif10.htm>

luants, notamment le dioxyde de carbone, qui contribue à l'effet de serre. Pourtant, cette affirmation oublie de prendre en compte les impacts écologiques de l'extraction de l'uranium et des déchets radioactifs, qui sont une partie inhérente de cette technologie (voir la Science pour les Masses Critiques, p 15). De plus, l'analyse de l'IEER a montré que les centrales au gaz naturel à haut rendement peuvent davantage réduire les émissions de gaz à effet de serre par unité d'investissement que ne le peut l'énergie nucléaire.<sup>5</sup>

De plus, les problèmes liés aux combustibles fossiles et à l'énergie nucléaire sont incommensurables. Faut-il vraiment choisir entre le risque d'accident catastrophique de type Tchernobyl et les problèmes de changement climatique ? (Voir Cher Arjun, p. 18).

Dans les premières années de la guerre froide, de nombreux partisans de l'énergie nucléaire ont proposé que la production de plutonium militaire soit utilisée pour financer les centrales nucléaires commerciales. L'industrie affirme qu'elle peut aider à transformer " les glaives en des socs de charrue " car le plutonium en surplus provenant des armes nucléaires démantelées serait utilisé pour fabriquer du combustible pour des réacteurs nucléaires commerciaux. Pourtant, un tel programme créerait une infrastructure physique et financière qui transformerait le plutonium en une marchandise 'commerciale', avec les risques qui lui sont associés en termes de prolifération, de protection de

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

l'environnement et de coûts.<sup>6</sup>

Afin de trouver des solutions aux problèmes de sûreté, l'industrie nucléaire a commencé à promouvoir une seconde génération de réacteurs nucléaires commerciaux (voir l'article principal, p 1), dont certains ont été décrits comme étant 'intrinsèquement sûrs' par leurs partisans. La sûreté est un problème majeur, étant donné que le scepticisme du public face aux affirmations de l'industrie s'est accru de façon nette après les accidents de Three Mile Island et de Tchernobyl. Pourtant, indépendamment de la validité des affirmations de résistance aux accidents de fusion du cœur, le choix des mots utilisés dans l'expression 'intrinsèquement sûrs' a plus de mérite rhétorique que de réel contenu technique. Bien qu'il soit possible de concevoir des réacteurs qui sont plus sûrs comparés aux réacteurs existants, il est impossible de considérer cette technologie comme ayant pour caractéristique inhérente la sûreté. Tous les réacteurs qui ont été proposés ont un potentiel d'accidents graves.

Il existe des options énergétiques bien meilleures et plus sûres qui sont disponibles dès maintenant.<sup>7</sup> Il est grand temps que l'on abandonne l'énergie nucléaire comme le rêve avorté du siècle passé. Nous pouvons, et

devons remplacer la propagande mensongère des 'atomes pour la paix' par un programme 'énergies pour la paix' qui pourrait rendre le bien-être de la génération actuelle compatible avec la protection de la sécurité et de l'environnement des générations futures.

- 1 *The Nuclear Power Deception : US Nuclear Mythology from Electricity «Too Cheap to Meter» to «Inherently Safe» Reactors* (Apex Press 1999). Toutes les références de l'article peuvent être retrouvées dans cet ouvrage, sauf mention spécifique. [La version française de cet ouvrage, l'Imposture de l'Energie Nucléaire, sera prochainement disponible.]
- 2 Pour une comparaison entre la réduction des émissions de gaz à effet de serre avec l'utilisation d'une centrale nucléaire pour remplacer les centrales à charbon, et celle réalisée en utilisant une centrale au gaz naturel à cycle combiné, voir *Energie et Sécurité* n° 5.
- 3 George Perkovich, *India's Nuclear Bomb: The Impact on Global Proliferation*. Berkeley: University of California Press, 1999, p. 15-21.
- 4 En 1951, le réacteur surgénérateur expérimental I (Experimental Breeder Reactor I) a produit la première électricité nucléaire qui ait été utilisée pour allumer une ampoule électrique. Le réacteur tout comme l'ampoule en question sont maintenant dans un musée dans l'Idaho.
- 5 Voir *Energie et Sécurité*, n° 5
- 6 Voir *Science for Democratic Action*, vol. 5 no. 4, février 1997
- 7 Voir par exemple le rapport de l'IEER, *Wind vs. Plutonium: An Examination of Wind Energy Potential and a Comparison of Offshore Wind Energy to Plutonium Use in Japan* (1999), le chapitre 9 de *The Nuclear Power Deception*, et Thomas Johansson et al., *Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity*. Washington, DC: Island Press, 1993.

#### LA TRANSMUTATION DES DÉCHETS SUITE DE LA PAGE 1

— Programme OMEGA : Programme japonais de Recherche et de Développement sur le Partage et la Transmutation, dans l'ouvrage publié par l'Organisation de Coopération et de Développement Economique et l'Agence pour l'Energie Nucléaire des Etats-Unis : *Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation : Status and Assessment Report*, Paris, OCDE/AEN 1999, page 253.

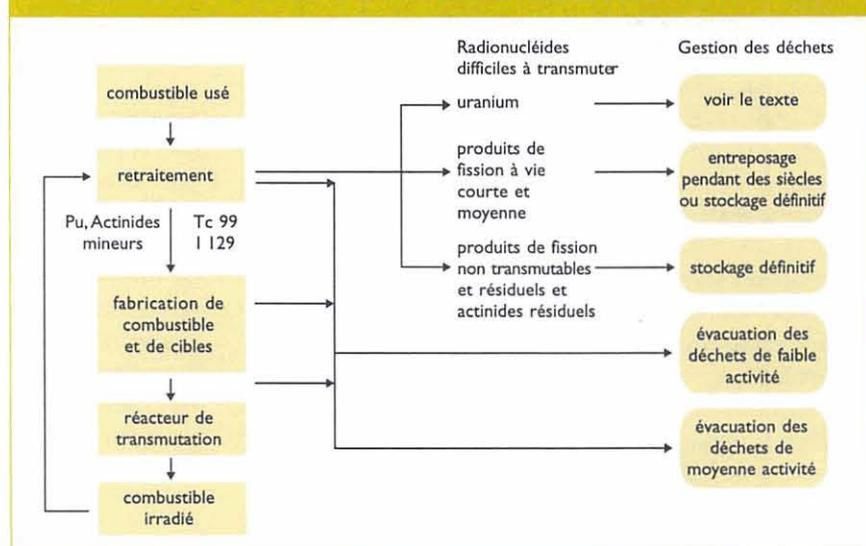
L'un des obstacles majeurs auxquels est confrontée l'industrie nucléaire est de savoir quoi faire des déchets nucléaires produits sous la forme de combustible usé déchargé des réacteurs commerciaux, ou sous la forme de déchets de haute activité provenant de l'extraction du plutonium à partir du combustible usé. L'option permettant d'isoler les déchets nucléaires du public et de l'environnement qui a aujourd'hui la faveur de la plupart des pays, est l'enfouissement souterrain dans un site de stockage géologique en profondeur.

Pourtant, étant donné que le combustible usé et les déchets de haute activité contiennent de nombreux radionucléides ayant de

longues demi-vies (de plusieurs milliers à plusieurs millions d'années), il est généralement admis qu'il sera impossible d'assurer le confinement de ces déchets sur de telles durées. Outre la probabilité de fuites de certains radionucléides à vie longue, il est aussi impossible de

LIRE LA SUITE PAGE 7  
VOIR LA PAGE 13 POUR LES ANNOTATIONS

### ETAPES DU PROCESSUS DE TRANSMUTATION



garantir qu'il n'y aura aucune intrusion humaine (intentionnelle ou involontaire). Le tableau 1, à la page suivante, montre les principaux radionucléides à vie longue qui peuvent poser problème.

Les problèmes pour le moins épineux liés à la garantie de confinement des déchets à un niveau permettant de prévenir une contamination grave des ressources, notamment des ressources en eau, a fait du choix des sites de stockage un problème scientifique et politique controversé, qui est au cœur de la plupart des inquiétudes et de l'opposition du public aux sites de stockage. De plus, la sélection des sites d'étude a souvent été associée à un opportunisme de la part des hommes politiques, ce qui a intensifié cette opposition. Alors que les programmes de sélection de sites de stockage pour le combustible usé et les déchets de haute activité sont en cours dans diverses régions du monde, ils sont toujours confrontés à de nombreux obstacles scientifiques non résolus et à une opposition publique intense. Aux États-Unis, où l'ouverture d'un site de stockage est prévue potentiellement dès 2010, aucune norme finale n'a encore été établie pour la protection de la santé des générations futures et pour l'environnement autour du site proposé de Yucca Mountain.<sup>1</sup>

Les problèmes liés au choix des sites de stockage, notamment les périodes extrêmement longues de confinement nécessaires, ont amené certains à considérer la transmutation des radionucléides à vie longue en radionucléides à vie courte comme une solution potentielle au problème de gestion des déchets radioactifs. La transmutation se fait en induisant diverses sortes de réactions nucléaires dans les noyaux des radionucléides à vie longue. En théorie, un programme de transmutation permettrait de transformer le problème de confinement à long terme en un problème moins complexe de stockage pour plusieurs décennies ou quelques centaines d'années.

Cette promesse théorique a amené les partisans de la transmutation à affirmer qu'elle permettrait de diminuer fortement les problèmes associés à la gestion à long terme des déchets. Ils ont même parfois affirmé que cela permettrait d'éliminer le besoin de site de stockage, mais ces affirmations ont eu tendance à s'amenuiser au fur et à mesure que progressaient les recherches menées sur les possibilités pratiques de la transmutation. Cette même période a vu l'intensification des inquiétudes liées à la protection de l'environnement, à la gestion des déchets, aux coûts et à la prolifération. L'IEER a évalué les avantages et les inconvénients associés à la transmutation en tant que concept de gestion des déchets. Cet article a pour but de résumer ces évaluations et nos recommandations.<sup>2</sup>

### Les 'réactions induites par les neutrons' dans le réacteur transmutent les produits de fission à vie longue en produits de fission à vie courte

## Bases pour comprendre la transmutation

La transmutation, est la transformation d'un radionucléide en un autre radionucléide, ou en deux radionucléides ou plus. La transmutation se fait par des réactions nucléaires qui se produisent dans certains types de réacteur nucléaire. Divers projets de réacteurs ont été proposés, mais ils ont tous comme caractéristique commune qu'une quantité significative d'énergie doit être apportée au noyau d'un radionucléide à vie longue afin d'induire une réaction nucléaire qui le convertirait en un radionucléide à vie courte ou en un élément stable.

Le diagramme ci-dessous montre les composants principaux d'un système de transmutation idéalisé. Une usine de retraitement est nécessaire pour trier les radionucléides candidats à la transmutation par la séparation de certains radionucléides à vie longue des autres. (Dans le cadre de la transmutation, le retraitement est également appelé 'séparation'). Ceci permet la conversion sélective des radionucléides à vie longue en radionucléides à vie courte quand ils sont irradiés dans un réacteur. Sans retraitement, les

réactions nucléaires inverses provoqueraient une conversion contre-productive des radionucléides à vie courte en radionucléides à vie longue. L'installation de fabrication transforme les radionucléides à vie longue en combustible et/ou en 'cibles' qui sont ensuite envoyées à l'installation de transmutation, qui peut être un simple réacteur, ou comprendre à la fois un 'accélérateur', une 'cible en métal lourd' et un réacteur sous-critique. Les 'réactions induites par les neutrons' dans le réacteur transmutent les produits de fission à vie longue en produits de fission à vie courte; ils provoquent aussi la fission des actinides, tels que le plutonium, et créent ainsi de nouveaux produits de fission. La plupart de ces produits de fission sont à vie courte, mais cela aboutit également à la création de nouveaux produits de fission à vie longue (voir ci-dessous). Les actinides peuvent aussi absorber des neutrons, ce qui aboutit à la création d'actinides de 'masse plus élevée' (voir ci-dessous). De plus, les actinides ne peuvent pas tous être transmutés avant que le réacteur n'atteigne un stade de très faible efficacité. Par conséquent, un certain nombre de passages dans le cycle du retraitement, de la fabrication de combustibles et des réacteurs sont nécessaires pour permettre la transmutation de la plupart des radionucléides à vie longue.

Mais même les procédés les plus élaborés ne peuvent en pratique convertir tous les radionucléides à vie longue en radionucléides à vie courte. La transmutation

LIRE LA SUITE PAGE 9  
VOIR LA PAGE 13 POUR LES ANNOTATIONS

## TABLEAU I : PRINCIPAUX RADIONUCLÉIDES À VIE LONGUE QUI SUSCITENT L'INQUIÉTUDE

Radionucléide (demi-vie exprimée en années, arrondie à deux chiffres significatifs)	Type	Impact	Potentiel de Transmutation	Problèmes liés à la transmutation
Strontium 90 (29)	Produit de fission à durée de vie moyenne	Contribue à la chaleur initiale des déchets. Détermine la capacité de stockage. En cas de scénario d'intrusion. Se comporte comme le calcium dans le corps humain.	Aucun	Ne peut être transmuté à cause de sa faible section efficace d'absorption de neutrons. Correspond à une grande partie de la chaleur du combustible usé et des déchets de haute activité, et par conséquent limite l'augmentation de capacité de stockage par transmutation.
Césium 137 (30)	Idem	Idem, mais il se comporte comme le potassium dans le corps humain. Sert aussi de barrière radiologique à la prolifération	Aucun	Idem. De plus, sa séparation des matières fissiles élimine la protection par rayonnements pour prévenir la prolifération.
Etain 126 (100 000)	Produit de fission à vie longue	Rejets dans les eaux souterraines	Difficile	Difficile à séparer du combustible usé/des déchets à haute activité. Sa transmutation nécessite beaucoup de temps.
Sélénium 79 (60 000)	Idem	Idem	Aucun	Idem
Césium 135 (2,3 millions)	Idem	Idem	Aucun	Formation de Cs 135 supplémentaire à partir de Cs 133. La séparation isotopique est rendue difficile par la présence de Cs 137.
Zirconium 93 (1,5 million)	Produit d'activation	Rejets dans les eaux souterraines	Aucun	La présence d'isotopes Zr stables produirait plus de Zr 93. Nécessiterait une séparation isotopique très coûteuse.
Carbone 14 (5 700)	Produit d'Activation	Rejets dans les eaux souterraines et/ou dans l'air sous la forme de CO <sub>2</sub> , incorporation dans les matières vivantes.	Aucun	Faible section efficace d'absorption de neutrons. Souvent rejeté sous forme de gaz lors des opérations de retraitement.
Chlore 36 (300 000)	Produit d'activation	Eaux souterraines	Aucun	La présence de Cl 35 produirait davantage de Cl 36.
Technétium 99 (210 000)	Produit de fission à vie longue	rejets dans les eaux souterraines, affecte la thyroïde.	Oui. Requiert des neutrons lents.	Nécessiterait plusieurs cycles de transmutation.
Iode 129 (16 millions)	Produit de fission à vie longue	Idem	Oui. Requiert des neutrons lents.	Idem. Difficulté de piégeage durant la séparation. Difficulté de fabrication de cibles. Poserait aussi des problèmes de corrosion.
Uranium (principalement U 238, 4,5 milliards)	Matière à l'origine d'actinides	Représente l'essentiel du combustible usé (en masse, environ 94%). A une radioactivité plus élevée que les déchets transuraniens destinés à l'enfouissement géologique	Aucun. Serait séparé et évacué en tant que déchet de faible activité ou utilisé en tant qu'uranium appauvri.	La transmutation de l'U 238 aboutirait à la production de plus de Pu 239, ce qui annulerait l'objectif de la transmutation comme stratégie de gestion des déchets. Créerait essentiellement une économie de réacteur surgénérateur.
Américium 241 (430)	Actinide	Emet des rayonnements gamma. Intrusion humaine. Rejets dans les eaux souterraines (parent de l'U 233). Radiotoxicité.	De préférence dans les réacteurs rapides	Nécessiterait de multiples cycles de séparation et d'irradiation. Aboutirait à la création de curium qui rendrait les cycles suivants plus difficiles.
Neptunium 237 (2,1 millions)	Actinide	Rejets dans les eaux souterraines	De préférence dans un réacteur rapide	Formation de plus de Pu 238 radioactif à vie courte.
Curium-244 (18)	Actinide	Emetteur alpha et gamma hautement radioactif. Contribue à la chaleur du combustible usé.	Difficile. Requiert un réacteur rapide.	Difficile à séparer des autres actinides dans les déchets à haute activité à cause de problèmes de manipulation et de chimie. Nécessiterait un multi-recyclage avec d'autres actinides. Pourrait nécessiter un entreposage pendant des décennies voire même un siècle. Plus de Cm 244 et d'autres isotopes de Cm seraient créés lors de l'irradiation d'actinides plus légers (Pu et Am).
Plutonium (principalement du Pu 239, 24 000)	Actinide	Pu 239 fissile. Radiotoxicité. Se fixe dans les os.	Des réacteurs rapides seraient requis pour les isotopes non-fissiles.	La capture de neutrons forme des isotopes et des actinides plus lourds (par ex. Am et Cm).

Ce tableau a été adapté et développé à partir des documents de l'Organisation pour la Coopération et le Développement Economique et l'Agence pour l'Energie Atomique des Etats-Unis : *Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation : Proceedings of the Fifth International Information Exchange Meeting*, Mol, Belgique. 25-27 novembre 1998. Paris : OCDE/AEN 1999, p 470, et l'Organisation pour la Coopération et le Développement Economique et l'Agence pour l'Energie Atomique des Etats-Unis : *Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation : Status and Assessment Report*, Paris : OCDE/AEN.

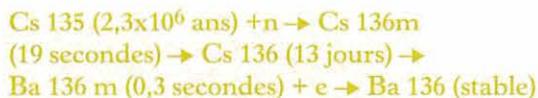
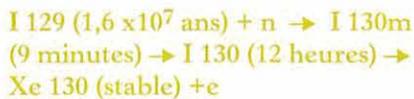
de l'uranium séparé, qui constitue environ 94% du poids du combustible usé des réacteurs à eau ordinaire, qui a une vie très longue, et qui est généralement contaminé par des produits de fission, serait contre-productive étant donné que le mode de transmutation principal pour l'essentiel de l'uranium serait la conversion de l'uranium 238 en plutonium 239. D'autres produits de fission à vie longue ainsi que des actinides transuraniens résiduels devraient également être évacués. Par conséquent, un site de stockage, tout comme d'autres installations de gestion et de stockage des déchets resteraient encore une partie importante des procédés de transmutation.

Les avantages des procédés de transmutation et les problèmes qui leur sont associés deviennent plus clairs si l'on comprend les bases de la physique de la transmutation.

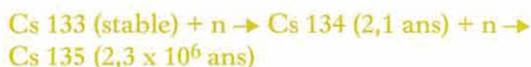
### La physique de la transmutation

Pour ce qui concerne la gestion des déchets nucléaires, deux réactions de transmutation sont importantes : la capture de neutrons et la fission.<sup>3</sup> L'objectif est de transformer les radionucléides à vie longue en radionucléides à vie courte.

L'absorption d'un neutron par de l'iode 129 et par du césium 135 correspondent à deux exemples de telles réactions (les demi-vies sont exprimées entre parenthèses)<sup>4</sup> :

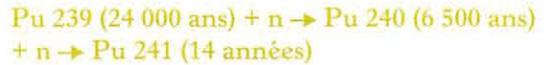


Pourtant, la capture de neutrons peut aussi aboutir à la création de radionucléides à vie longue, ce qui rend impossible l'objectif de la transmutation, comme cela pourrait être le cas pour le Cs-133 :



Le césium présent dans le combustible usé est un mélange à la fois d'isotopes de Cs 133 et de Cs 135, qui ne peuvent être aisément séparés, en partie à cause de la présence d'isotopes très radioactifs de Cs 137, qui rendent la manipulation et le traitement du césium extrêmement difficiles, coûteux et dangereux. Par conséquent, il est facile de constater que l'avantage de la transmutation du Cs 135 serait annihilé par la production de quantités plus importantes de Cs 135 à partir de la capture de neutrons du Cs 133.

L'exemple qui suit (les demi-vies étant exprimées entre parenthèses et arrondies à deux chiffres significatifs) montre la façon dont le plutonium 239 serait transmuté par deux réactions successives :



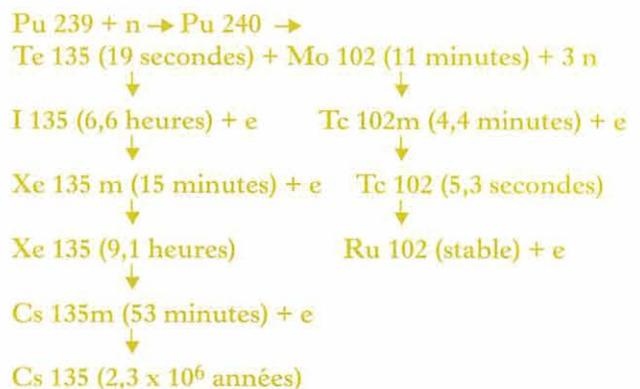
Pourtant, une capture neutronique plus poussée aboutirait à la création de Pu-242, qui a une demi-vie longue :



Cela démontre que la transmutation devrait être strictement contrôlée pour qu'il y ait globalement un passage de radionucléides à vie à longue à des radionucléides à vie courte sans pour autant amener à la création de nouveaux radionucléides à vie longue.

Il faut également remarquer que la capture d'un neutron par le plutonium 239 et 240 ne résoudrait pas le problème de l'élimination des radionucléides même dans le cas où tout le plutonium serait transformé en plutonium 241 à vie courte. Ceci vient du fait que le plutonium 241 a sa propre chaîne de désintégration. Il décroît en américium 241 qui a une demi-vie de 430 ans. Lui-même décroît en neptunium 237 qui a une demi-vie de plus de 2 millions d'années. De ce fait, une réduction significative des actinides à vie longue, comme le plutonium, nécessite généralement la fission des noyaux.

Les réactions de transmutation par fission produisent principalement des produits de fission à vie courte qui décroissent en éléments stables mais quelques-uns de ces produits de fission à vie courte peuvent également décroître en éléments à vie longue. L'exemple ci-dessous montre la production de deux produits de fission à vie courte, le tellure et le molybdène. Ils subissent tous deux une série de décroissance bêta. La chaîne de décroissance du molybdène 102 consiste en une série de radionucléides à vie courte jusqu'au ruthénium 102 stable (non radioactif). Le tellure décroît en césium 135 à vie longue.



### Projets de scénarios de transmutation

Divers scénarios ont été proposés pour la transmutation. Trois types de réacteurs (réacteurs à eau légère, réacteurs à neutrons rapides, et réacteurs sous-critiques) et deux types de retraitement ont été proposés. Le tableau 2, ci-dessous, montre le (ou les) type(s) de retraitement associé(s) à chaque type de réacteur et les radionucléides qui seraient candidats à la transmutation. La plupart des filières de transmutation utiliseraient une combinaison de réacteurs et de technologies de retraitement associées. Par exemple, dans un des scénarios, des réacteurs à eau légère seraient alimentés par du combustible à oxydes mixtes (MOX), c'est-à-dire avec du combustible fait avec du plutonium extrait à partir de combustible usé à l'uranium faiblement enrichi. Le combustible MOX usé serait alors retraité et les actinides transuraniens seraient extraits pour alimenter un réacteur à neutrons rapides (communément appelé surgénérateur). Le combustible pour réacteur à neutrons rapides serait, à son tour, retraité et les actinides restant alimenteraient un réacteur sous-critique contrôlé par un accélérateur.

Aucun de ces scénarios ne peut, soit pour des raisons de physique fondamentale soit pour des raisons pratiques, transmuter l'uranium, le césium 135, le carbone 14, ou quelques autres radionucléides. Le tableau 1 montre les différents radionucléides préoccupants du point de vue de leur gestion à long terme et leur statut au regard de différents procédés de transmutation.

### Résidus ultimes

La transmutation n'élimine pas la nécessité d'un site d'enfouissement pour les déchets de haute activité et les combustibles usés. Les procédés théoriques illustrés ci-dessus ne peuvent être traduits en une réalité concrète qui permettrait l'élimination presque complète des radionucléides à vie longue. D'abord, aucun procédé de transmutation ne permet de prendre en compte la totalité des radionucléides problématiques dans la mesure où beaucoup ne peuvent être transmutés pour des raisons pratiques (voir l'exemple du Cs 133 et du Cs 135 ci-dessus). Deuxièmement, la transmutation du Tc 99 et de l'I 129 n'est pas efficace à 100%, même avec de multiples passages en réacteur, et de nouveaux produits de fission à vie longue sont créés à partir de la fission des actinides. Troisièmement, la fission des actinides n'est pas efficace à 100%. Par exemple, dans le meilleur des procédés proposés, la transmutation de 906 tonnes de transuraniens (quantité qui devrait être produite par l'ensemble des réacteurs américains au cours de leur période de vie autorisée) laisserait une quantité résiduelle de 2,4 tonnes. La composition des déchets transuraniens résiduels serait déplacée vers des isotopes d'actinides plus lourds et les déchets seraient donc plus radioactifs. Cela poserait des risques radiologiques plus élevés et compliquerait le stockage définitif. Finalement, dans la mesure où le césium 137 serait enfoui avec du césium 135, la grande quantité de chaleur qui s'en dégagerait signifierait des volumes de stockage

LIRE LA SUITE PAGE 11  
VOIR LA PAGE 13 POUR LES ANNOTATIONS

### TABLEAU 2 : SCENARIOS DE TRANSMUTATION

Réacteurs et sources de neutrons	Retraitement et radionucléides	Commentaires
Réacteurs à eau ordinaire (REO) (le type de réacteur nucléaire commercial le plus répandu) : Le réacteur est critique et alimenté soit en uranium faiblement enrichi soit en combustible à mélange d'oxydes uranium-plutonium.	Retraitement : par voie aqueuse. Radionucléides : principalement du plutonium, du Tc 99 et de l'I 129.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crée une forte proportion d'actinides lourds, et les dangers de rayonnements graves qui y sont associés.</li> <li>• Le retraitement crée de grandes quantités de déchets liquides radioactifs</li> <li>• Problèmes de sûreté du réacteur</li> <li>• Ne permet pas la fission de la plupart des actinides</li> <li>• Cause une accumulation de transuraniens lourds, d'où des problèmes de gestion de déchets.</li> </ul>
Réacteurs rapides : Le réacteur est critique et peut être alimenté par du plutonium, de l'uranium, ou théoriquement, du combustible contenant certains actinides mineurs.	Retraitement : utilise le plus souvent la voie sèche dans les dispositifs avancés Radionucléides : Plutonium et éventuellement des actinides mineurs. La transmutation de Tc 99 et de l'I 129 serait possible, mais seulement dans les cibles modérées en dehors du cœur du réacteur.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Le développement de réacteurs rapides a été handicapé par des problèmes persistants</li> <li>• Les produits de fission ne sont pas transmutés de façon efficace.</li> <li>• Accumulation importante de transuraniens, mais moins forte que pour les REO</li> <li>• Problèmes de sûreté du réacteur</li> </ul>
Réacteurs sous-critiques : un système d'accélérateur avec une cible fournit des neutrons rapides à un réacteur sous-critique	Retraitement : peut être totalement aqueux ou totalement sec, ou les deux associés. Radionucléides : plutonium et actinides mineurs. Présence possible de Tc 99 et de l'I 129, mais seulement dans les cibles modérées en dehors du cœur du réacteur.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les réacteurs sous-critiques en sont seulement au stade de Recherche-Développement</li> <li>• Les prévisions du coût sont, élevées</li> <li>• La sûreté du réacteur pose toujours problème</li> <li>• Les produits de fission ne sont pas transmutés de façon efficace.</li> </ul>

considérables.<sup>5</sup> Seul l'entreposage de déchets à vie longue pendant des centaines d'années, avec les incertitudes, les risques et les coûts qui l'accompagnent, permettrait de réduire le problème de capacité de stockage.

En plus de ne pas résoudre le problème de l'uranium, qui représente environ 94% du poids des matériaux radioactifs dans le combustible usé, et avec des quantités significatives de radionucléides transuraniens et de produits de fissions à vie longue, la transmutation créerait des quantités significatives de déchets supplémentaires, particulièrement dans le cas de l'utilisation du retraitement par voie humide. Cela permettrait également de transférer certains matériaux de l'enfouissement géologique profond vers des sites pour déchets de faible activité si, comme il a été proposé à tort, l'uranium est géré comme un déchet de "faible activité". Ceci pourrait entraîner un risque radiologique supérieur pour le public, par comparaison avec le stockage définitif de tout le combustible usé dans un site ouvrage convenablement sélectionné. La transmutation, même dans le contexte d'une sortie du nucléaire, nécessiterait également des décennies pour sa mise en place et peut-être des siècles pour être achevée.<sup>6</sup> Cela pourrait nécessiter un contrôle institutionnel sur les déchets pour des périodes historiques bien plus longues que ce qui est possible ou désirable.

### Implications de la transmutation

La mise en oeuvre de n'importe lequel des procédés de transmutation abordés ci-dessus aurait également un certain nombre d'implications pour la prolifération nucléaire, l'environnement, la santé publique, la sûreté, le coût et l'avenir de l'énergie nucléaire.

*Prolifération.* Tous les procédés de transmutation nécessitent le retraitement de radionucléides transuraniens. Bien que ces procédés ne produisent pas forcément de matières risquant d'attirer les concepteurs d'armes des pays possédant l'arme nucléaire, elles peuvent néanmoins être utilisées pour fabriquer des armes nucléaires, et créeraient donc des risques de prolifération significatifs, dans la mesure où des groupes terroristes ou des États non possesseurs de l'arme nucléaire pourraient chercher à les acquérir et à les utiliser. Même les méthodes de retraitement que l'on présente comme étant 'résistantes à la prolifération', comme par exemple le traitement pyrométallurgique, peuvent facilement être modifiées afin de permettre l'extraction d'un plutonium suffisamment pur pour servir à la fabrication d'armes. Ces types d'installations pourraient en fait intensifier les risques de prolifération à cause de leur taille compacte et des problèmes potentiels liés au développement de méthodes de

surveillance appropriées. En outre, le fait de promouvoir la transmutation comme méthode de gestion des déchets pourrait aboutir à une large diffusion de cette technologie. La séparation d'isotopes tels que le neptunium 237 et l'américium 241 aurait aussi pour effet d'augmenter les risques de prolifération, étant donné que ces deux radionucléides peuvent également être utilisés pour la fabrication d'armes nucléaires.

La création et la mise en application de procédés qui développent fortement la séparation de matières utilisables pour la fabrication d'armes aura pour conséquence une augmentation considérable des risques de prolifération.

*L'environnement et la santé.* Le retraitement, qui est nécessaire pour tous les procédés de transmutation, est l'une des composantes les plus néfastes du cycle du combustible. Il aboutit à la création de grands volumes de déchets et d'émissions radioactives dans l'air et dans l'eau. Ses impacts sur la santé des travailleurs, des riverains, voire même des populations lointaines, sont largement reconnus. Par exemple, les inquiétudes liées à la santé humaine et à l'environnement sont la base des demandes faites par l'Irlande, la Norvège, l'Islande et d'autres pays auprès de la France et de la Grande-Bretagne pour qu'ils arrêtent leurs

rejets de déchets radioactifs dits 'de faible activité' dans les océans. Etant donné que la fabrication de combustible n'occasionne pas de production de déchets liquides, ses effets touchent pour l'essentiel seulement les travailleurs, et sont du même ordre que ceux pour les travailleurs du secteur du retraitement. Le risque radiologique plus important lié à la manipulation de combustible irradié de façon répétée suscite de sérieuses inquiétudes. Enfin, la multiplication des transports de déchets de haute activité nécessités par de nombreux procédés de transmutation auraient pour effet d'augmenter la probabilité d'un accident de transport, avec tous les effets qui y sont associés.

*Sûreté du réacteur.* La transmutation nécessiterait le développement et la mise en application de nouvelles technologies de réacteurs et /ou une utilisation élargie des réacteurs existants. Certains de ces nouveaux réacteurs ont été décrits comme étant 'intrinsèquement sûrs'. Pourtant, les améliorations de certaines caractéristiques de sûreté, si on les compare aux réacteurs existants, sont contrées par des faiblesses de sûreté à d'autres niveaux, et la création de nouveaux problèmes de sûreté qui sont spécifiques à ces nouveaux modèles de réacteurs. Par exemple, certains effets rétroactifs qui contribuent à empêcher une réaction d'emballage dans les réacteurs existants ont disparu dans certains des réacteurs de transmutation. Pour ce qui concerne

Tous les procédés de transmutation nécessitent le retraitement de radionucléides transuraniens.

les systèmes basés sur un accélérateur, la possibilité de stopper la source de neutrons, et le fait que le réacteur soit en général sous-critique leurs donnent certains avantages de sûreté. D'un autre côté, ces systèmes reposent largement sur cette possibilité de stopper la source de neutrons en cas d'urgence. Par ailleurs, il pourrait s'avérer nécessaire de s'assurer que la source de neutrons externe ne fonctionne pas à pleine puissance quand du combustible neuf est présent dans le réacteur, ce qui pourrait engendrer une surcriticalité de celui-ci.

**Coûts.** Le coût de la transmutation, en particulier pour ce qui concerne les procédés avancés, qui seraient nécessaires pour obtenir une réduction significative des actinides, est (quasiment) inabordable. De surcroît, bien qu'il y aurait une production d'électricité pour compenser ces coûts, il est hautement improbable que ces rentrées financières soient suffisantes. Le développement de la transmutation nécessiterait sans doute des dizaines de milliards de dollars, ainsi que des subventions additionnelles importantes même au cours de l'exploitation, c'est-à-dire même lorsque les ventes d'énergie électrique seraient censées produire des revenus.

**Poursuite de l'énergie nucléaire.** La transmutation n'est pas seulement étudiée dans le contexte de la gestion des

déchets provenant de la génération actuelle de réacteurs nucléaires (c'est-à-dire comme faisant partie du processus de sortie de l'énergie nucléaire). La plupart des procédés de transmutation, particulièrement pour ce qui concerne l'Europe et le Japon, supposent une poursuite dans un avenir indéterminé de l'énergie nucléaire, considérant la transmutation comme faisant partie d'un nouveau cycle du combustible nucléaire. Etant donné qu'elle est censée résoudre certains problèmes actuels liés à l'énergie nucléaire, la transmutation est considérée par certains comme étant essentielle pour assurer la croissance continue de l'énergie nucléaire.

### Conclusions et Recommandations

La conclusion principale à laquelle nous avons abouti est que les scénarios de transmutation ne résoudront pas les problèmes de gestion de déchets à long terme. L'uranium correspond à près de la totalité du poids des déchets proposés pour la transmutation. Selon les propositions officielles actuelles, cet uranium serait traité en tant que déchet radioactif de faible activité, et serait évacué de façons qui engendreraient des risques bien plus grands que leur évacuation dans un site

LIRE LA SUITE PAGE 13  
VOIR LA PAGE 13 POUR LES ANNOTATIONS

## GLOSSAIRE

**Actinide :** Groupe d'éléments situés haut dans la table périodique des éléments, comprenant entre autres l'uranium, le plutonium, le neptunium et l'américium. L'expression 'actinide transurannique' se réfère aux actinides situés au-dessus de l'uranium sur la table périodique, le plus souvent au plutonium. Les actinides 'mineurs' sont les actinides autres que le plutonium et l'uranium (principalement le neptunium, l'américium et le curium). Les éléments appartenant au groupe des actinides ont des propriétés chimiques à peu près similaires.

**Chaîne de désintégration :** Série de décroissances radioactives aboutissant à un noyau stable.

**Cible :** Dans le contexte des procédés de transmutation à accélérateur par protons, il s'agit d'une matière qui, lorsqu'elle est heurtée par des protons provenant de l'accélérateur, émet des neutrons au cours d'un processus que l'on appelle spallation. Ce terme est utilisé également pour les radionucléides séparés qui sont mis sous la forme de cibles pour l'irradiation.

**Décroissance bêta :** C'est l'émission d'électrons ou de positrons (particules identiques aux électrons, mais ayant une charge électrique positive) par le noyau d'un élément au cours du processus de décroissance radioactive de l'élément.

**Neutron :** Particule élémentaire légèrement plus lourde qu'un proton, sans charge électrique. Le noyau d'un atome est constitué de protons et de neutrons (le nombre de protons détermine l'élément, alors que le nombre total de protons et de neutrons détermine l'isotope). La capture de neutrons se réfère à l'absorption d'un neutron par un noyau pour former un nouvel isotope.

**Produit de fission :** Tout atome créé par la fission d'un élément lourd. Les produits de fission sont radioactifs (en général à cause de la décroissance bêta).

**Réacteur sous-critique :** Un réacteur nucléaire configuré pour être exploité avec une source de neutrons externe permettant de compléter les neutrons générés au niveau interne, afin de maintenir la réaction en chaîne.

**Retraitement :** Terme générique utilisé pour la séparation d'éléments à partir de combustible nucléaire irradié.

**Séparation par voie humide :** Il s'agit de l'utilisation d'un élément aqueux - comme par exemple de l'acide nitrique dans l'eau - pour permettre la séparation des radionucléides.

**Séparation par voie sèche :** Utilisation de techniques électrochimiques pour séparer les radionucléides.

**Surcritique :** Lorsque chaque fission dans un réacteur nucléaire aboutit à plus d'une fission, amenant à une réaction en chaîne d'emballlement, sauf dans quelques cas contrôlés avec rigueur; lorsque l'énergie du réacteur est augmentée de façon contrôlée, en le rendant légèrement surcritique pour de courts laps de temps.

**Traitement pyrométallurgique :** Un type de séparation électrochimique par voie sèche proposé pour une utilisation avec des combustibles métalliques pour réacteur de transmutation (par exemple ceux pour une transmutation se basant sur un accélérateur, ou pour des réacteurs rapides).

ouvrage convenablement sélectionné. De plus, des quantités considérables de matières transuraniennes resteraient en résidus de la transmutation, ainsi que des produits de fission à vie longue. De grandes quantités de nouveaux déchets seraient ainsi créées, en même temps que seraient aggravés les dangers de prolifération et des coûts très élevés. Malgré ces inconvénients majeurs, certains continuent à considérer la transmutation comme un domaine de recherche 'attirant', vu comme essentiel pour revitaliser 'l'option nucléaire'. Les évaluations qui ont encouragé la promotion de la transmutation comme technologie de gestion des déchets apportent une analyse largement insuffisante, et elles ont été menées pour l'essentiel par ceux qui prônent une poursuite de l'énergie nucléaire.

A la lumière de ces conclusions, la recommandation principale de l'IEER est, étant donné qu'il n'y a aucune base cohérente qui justifie sa mise en oeuvre, d'abandonner la transmutation en tant que technologie de gestion des déchets.

- 1 Pour plus d'informations sur les thèmes liés à la gestion à long terme des déchets nucléaires, voir *Energie et Sécurité* n° 10 (mai 99).
- 2 Le rapport détaillé de l'IEER (en anglais) qui évalue les technologies de transmutation est disponible, vous pouvez donc contacter l'IEER pour le recevoir.
- 3 La transmutation est également possible par l'utilisation de réactions photonucléaires, qui utilisent des photons énergétiques pour induire la transmutation. Les procédés de transmutation photonucléaire posent pour l'essentiel les mêmes problèmes de base que les procédés étudiés dans cet article, et ont été même moins bien développés que ceux-ci.
- 4 n=neutron, e= particule bêta, m= métastable, (un état d'excitation du noyau qui ne se désintègre pas immédiatement à l'état fondamental.)
- 5 Dans ce cas, le strontium 90 serait également probablement évacué dans le site de stockage, étant donné que sa demi-vie est environ la même que celle du césium 137.
- 6 *National Research Council. Nuclear Wastes : Technologies for Separations and Transmutation.* Washington : National Academy Press, 1996, p 5 et OCDE/AEN : *Status and Assessment Report 1999*, p 204. Certains procédés de transmutation auraient pour but de stocker des produits de fission à durée de vie moyenne pendant au maximum 600 ans afin de permettre leur décroissance (voir Rubbia et al, *Fast Neutron Incineration in the Energy Amplifier as an Alternative to Geologic Storage : the Case of Spain*, CERN/LHC/97-01 (EET), Genève : *European Organization for Nuclear Research*, le 17 février 1997.

## MAINTENANT EN VERSION DE POCHE

### **Nuclear Wastelands: A Global Guide to Nuclear Weapons Production and Its Health and Environmental Effects**

MIT Press, 2000 – 669 pages, version non cartonnée, avec une brève mise à jour – édité par Arjun Makhijani, Howard Hu, et Catherine Yih – un projet en commun avec International Physicians for the Prevention of Nuclear War (l'Association internationale des médecins pour la prévention de la guerre nucléaire) et l'IEER.

Un guide pour les spécialistes, les étudiants, les décideurs et les associations pour la paix et l'environnement qui fournit de façon concise l'histoire des programmes de développement des armes nucléaires pour chaque puissance nucléaire déclarée et non déclarée. Cette documentation détaillée et l'analyse approfondie révèlent comment le secret d'Etat et le mensonge délibéré ont camouflé les préjudices fait aux personnes et aux territoires que les armes étaient sensées protéger.

Prix de l'IEER : FF210, frais d'envoi compris – Contacter l'IEER pour commander tel : 301-270-5500 • fax : 301-270-3029 • [ieer@ieer.org](mailto:ieer@ieer.org) • [www.ieer.org](http://www.ieer.org)

## ERRATA

Dans le livre publié par l'IEER et L'Association Internationale des Médecins pour la Prévention de la Guerre Nucléaire, *Plutonium : Deadly Gold of the Nuclear Age* (Cambridge, Mass : International Physicians Press, 1992), les corrections suivantes sont à prendre en compte pour le Tableau 3.2 de la page 55 :

Le volume de liquides de faible activité devrait être de  $2,2 \times 10^9$  gallons (un gallon = 3,787 litres). Le volume de déchets solides de haute activité devrait être de 213 mètres cubes. Les chiffres pour la radioactivité des liquides de faible activité devrait être les suivants :

Tritium :  $4,0 \times 10^4$   
 Strontium 90 : 2,9  
 Césium 137 : 5,1

## LES NUMÉROS PRÉCÉDENTS

- No. 1: Le plutonium comme source d'énergie (1996)
- No. 2: L'industrie internationale du retraitement civil (1997)
- No. 3: L'utilisation du plutonium militaire comme combustible de réacteur (1998)
- No. 4: Les risques pour la santé des rayonnements ionisants (1998)
- No. 5: L'énergie nucléaire n'est pas la solution aux changements climatiques de la planète (1998)
- No. 6 et 7: Vers un désarmement nucléaire durable (numéro double spécial) (1999)
- No. 8: Endiguer les dégâts de la guerre froide (1999)
- No. 9: Gestion à court et moyen terme des déchets de haute activité (1999)
- No. 10: Gestion des déchets nucléaires en Russie et en France/Reflexions sur les bombardements de l'OTAN (2000)
- No. 11: Eolien contre plutonium (ce numéro est incorrectement paru comme No.10) (2000)
- No. 12: Les armes nucléaires et l'Etat de droit (2000)

## SOLUTIONS DES ÉNIGMES DES NUMÉROS 5 ET 11

### Solution de l'énigme du numéro 5

1.  $1000 \text{ MWe} \times 6600 \text{ heures/an} = 6,6 \times 10^6 \text{ MWhe/an}$   
 $0,37 \text{ tonne de carbone/MWhe} \times 6,6 \times 10^6 \text{ MWhe/an} = 2,4 \times 10^6 \text{ tonnes de carbone/an}$  (usine au charbon)
2.  $0,12 \text{ tonne de carbone/MWhe} \times 6,6 \times 10^6 \text{ MWhe/an} = 0,8 \times 10^6 \text{ tonnes de carbone/an}$  (usine cycle combiné au gaz)
3. a) une centrale nucléaire par rapport à une centrale au charbon: réduction de  $2,4 \times 10^6 \text{ tonnes de carbone/an}$   
b) deux centrales au gaz naturel :  $(0,8 \times 10^6) \times 2 = 1,6 \times 10^6 \text{ tonnes de carbone/an}$   
deux centrales au charbon :  $(2,4 \times 10^6) \times 2 = 4,8 \times 10^6 \text{ tonnes de carbone/an}$   
c) réductions annuelles
  - i) scénario nucléaire :  $2,4 \times 10^6 \text{ tonnes de carbone/an}$
  - ii) scénario gaz naturel :  $(4,8 - 1,6) \times 10^6 = 3,2 \times 10^6 \text{ tonnes de carbone/an}$   
Les réductions d'émission de carbone entre le scénario ii et le scénario i sont de  $(3,2 - 2,4) \times 10^6 = 0,8 \times 10^6 \text{ tonnes}$   
Les réductions de carbone dans le scénario ii sont donc plus grandes que celles dans le scénario i de  $(0,8/2,4) \times 100 = 33\%$

### La solution de l'énigme du numéro 11

- 1) 100 000 homme-rem ou 1 000 homme-Sv
- 2) 1 000 000 homme-rem ou 10 000 homme-Sv
- 3) a) 10 rem ou 0.1 Sv  
b) oui
- 4) a) risque de cancer  
b) 12,5 homme-Sv  
c) 0,0025 Sv  
d) 800 cancers
- 5) 0,04 cancers mortels par homme-Sv

## Les déchets radioactifs créés par l'énergie nucléaire

On présente parfois le nucléaire comme une source d'énergie très peu polluante. Pourtant, si l'on prend en compte toutes les étapes de production de l'énergie nucléaire, de l'extraction minière jusqu'à la gestion du combustible nucléaire usé, en passant par toutes les étapes intermédiaires, l'énergie nucléaire produit en quantité toutes sortes de déchets ainsi qu'une pollution de l'environnement tout à fait significative. L'incapacité du gouvernement des États-Unis à gérer, à contenir et à confiner correctement les substances toxiques et radioactives produites tout au long du cycle du combustible nucléaire, et à créer une réglementation appropriée, a souvent abouti à des conséquences tragiques pour la santé humaine et l'environnement.<sup>1</sup>

L'extraction, la concentration, le traitement et l'enrichissement de l'uranium ont engendré, et contiennent d'engendrer des dommages considérables pour la santé humaine et pour l'environnement. Les résidus du traitement dans de nombreuses régions du monde continuent de fuir dans le sol et contaminent les nappes d'eaux souterraines. Les opérations de retraitement à but commercial continuent de rejeter de grandes quantités de déchets radioactifs dans des ressources en eau qui servent d'approvisionnement aux populations, comme c'est par exemple le cas avec les rejets par des usines de retraitement britanniques de Sellafield dans la Mer d'Irlande et ceux de l'usine française de la Hague dans la Manche.

Le tableau des deux pages suivantes donne des estimations des volumes de déchets radioactifs produits par l'énergie nucléaire.<sup>2</sup> En plus de la radioactivité, une bonne partie de ces déchets contiennent également des matières toxiques non radioactives. Le tableau donne

les volumes de déchets produits par le cycle ouvert (sans retraitement) du combustible à l'uranium faiblement enrichi (UFE), et le cycle ouvert du combustible à mélange d'oxydes (MOX). On trouvera ci-dessous les définitions correspondant aux différents types de déchets radioactifs.

Il existe des incertitudes et des différences considérables quant à la production de déchets et la pollution engendrées par l'énergie nucléaire et les opérations qui y sont associées, qui dépendent de facteurs tels que la qualité du minerai d'uranium, les types d'installation de traitement, le taux de combustion du combustible et les réglementations en vigueur, ainsi que l'efficacité avec laquelle elles sont mises en application. Les estimations des tableaux ont été réalisées par Brian Chow et Gregory Jones (RAND 99). Ils apportent une analyse depuis l'extraction jusqu'à l'évacuation pour deux types de combustibles nucléaires utilisés dans les réacteurs à eau ordinaire.

Le cycle ouvert du combustible UFE est l'approche utilisée le plus souvent. Tous les réacteurs nucléaires commerciaux des États-Unis et la plupart des réacteurs au niveau mondial utilisent un cycle ouvert du combustible UFE. L'UFE correspond au type de combustible utilisé, l'expression 'cycle ouvert' signifie que le combustible usé n'est pas traité pour la récupération du plutonium et de l'uranium destinés à la fabrication de nouveau combustible de réacteur.

Le cycle ouvert du combustible à mélange d'oxydes, utilise du combustible à mélange d'oxydes fabriqué à partir de plutonium extrait du combustible

LIRE LA SUITE PAGE 20  
VOIR LA PAGE 20 POUR LES ANNOTATIONS

### LES DÉCHETS RADIOACTIFS AUX ETATS-UNIS SONT CLASSÉS EN CINQ CATÉGORIES\*

**Combustible usé :** Combustible irradié, déchargé. Les combustibles usés et les DHA (Déchets de Haute Activité) contiennent plus de radioactivité que tout autre déchet produit par le cycle du combustible nucléaire.

**DFA (Déchets de Faible Activité):** catégorie dans laquelle rentrent tous les déchets qui ne figurent pas dans les autres catégories listées.

**DHA (Déchets de Haute Activité):** Déchets produits par le retraitement du combustible usé. Les DHA et les combustibles usés contiennent plus de radioactivité que tout autre déchet produit par le cycle du combustible nucléaire.

**DMA (Déchets de Moyenne Activité):** Déchets contaminés par radionucléides transuraniens à émetteurs alpha ayant des demi-vies de plus de 20 ans, et une concentration totale de tels radionucléides en excès de 0,1 Curie ( $3,7 \times 10^9$  Bq) par tonne de déchet au moment du calcul de la teneur. Cette définition correspond à celle du Ministère de l'Énergie des États-Unis pour les déchets transuraniens, mais le nom DMA est un terme utilisé plus couramment au niveau international.

**Résidus :** résidus de minerais provenant de la concentration, après extraction, de l'uranium.

\* Ces catégories sont basées sur la réglementation existante aux États-Unis et dans certains autres pays. Bien que nous les utilisions ici afin de faciliter la compréhension des estimations de l'étude de RAND, la classification des déchets des États-Unis est fondamentalement insuffisante car les catégories de déchets sont basés sur l'origine des déchets et non sur les propriétés physiques ou chimiques qui définissent leur dangerosité et par conséquent qui déterminent la gestion qui doit leur être propre. Pour lire un exposé plus complet de ce problème, voir SDA, vol. 6 no. 1, mai 1997.

**PRODUCTION ANNUELLE DE DÉCHETS RADIOACTIFS PAR RÉACTEUR**  
Cycles ouverts (sans retraitement) de l'uranium faiblement enrichi (UFE) et du MOX<sup>a</sup>

En mètres cubes par Gigawatt d'électricité/an (m<sup>3</sup>/GWe-an)

Étapes	UFE Cycle Ouvert				MOX Cycle Ouvert				
	CU <sup>b</sup>	DMA	DFA	Résidus	CU <sup>b</sup>	DHA <sup>b</sup>	DMA	DFA	Résidus
Extraction et concentration	-	-	-	65 000	-	-	-	-	50 060
Conversion	-	-	32-112	-	-	-	-	25-86	-
Enrichissement	-	-	3-40	-	-	-	-	3-35	-
Fabrication du combustible	-	-	3-9	-	-	-	13	7,4-12,5	-
Retraitement et vitrification	Non applicable	non applicable	non applicable	non applicable	-	2-4 <sup>c</sup>	17-39	8016-8037 <sup>d</sup>	-
Exploitation du réacteur	-	22-33	86-130	-	-	-	22-33	86-130	-
Entreposage et conditionnement du combustible usé <sup>e</sup>	-	2	0,2	-	-	-	0,3	0,03	-
Evacuation finale du combustible usé <sup>f</sup>	26	-	-	-	26	-	-	-	-
Démantèlement <sup>g</sup>	-	9	333	-	-	-	10,1	315	-
<b>Totaux</b>	<b>26</b>	<b>33-44</b>	<b>457-624</b>	<b>65 000</b>	<b>26</b>	<b>2-4</b>	<b>62-95</b>	<b>8452-8615</b>	<b>50 060</b>

NOTES :

a. Les volumes de déchets ne comprennent pas les émissions radioactives dans l'air et dans l'eau, à l'exception des rejets dans les eaux océaniques ou terrestres du traitement des déchets liquides de faible activité. On utilise ici les caractéristiques typiques des réacteurs à eau ordinaire modernes: tous les combustibles sont supposés avoir un taux de combustion de 42,5 Gigawatt-jour thermiques par tonne de métal lourd (c'est-à-dire l'uranium et le plutonium). On attribue aux réacteurs une efficacité thermique de 33%, et on émet l'hypothèse

selon laquelle 26 tonnes d'uranium sont nécessaires pour produire 1 GWe/an d'électricité.

b. Le volume réel du combustible usé et des DHA ne permet pas de rendre compte du fardeau qu'ils représentent en termes de problèmes d'évacuation. C'est la chaleur générée par le combustible usé et les DHA, et non leur volume, qui détermine, par exemple, le volume qui serait nécessaire pour un enfouissement en couche géologi-

Sources: Tous les volumes de déchets ont été tirés de l'ouvrage de Brian G. Chow et Gregory S. Jones, *Managing Wastes With and Without Plutonium Separation* (Santa Monica, Calif.: RAND, 1999). Le chiffre donné pour le retraitement des DFA est basé sur les données du Groupe Radioécologie Nord Cotentin, *Inventaire des rejets radioactifs des installations nucléaires*, vol. 1, juillet 1999, p. 19, et de Cogema, *Rapport Environnement*, 1996, p. 54. Les commentaires ont été rédigés par Makhijani, Hu, et Yih, eds., *Nuclear Wastelands: A Global Guide to Nuclear Weapons Production and Its Health and Environmental Effects* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1995).

PRODUCTION ANNUELLE DE DÉCHETS RADIOACTIFS PAR RÉACTEUR

Cycles ouverts de l'uranium faiblement enrichi et du MOX<sup>a</sup>

En mètres cubes par Gigawatt d'électricité/an (m<sup>3</sup>/GWe-an)

(suite)

Commentaires

En termes de doses de radiation et de nombre de personnes affectées, l'extraction de l'uranium a été l'une des étapes les plus dangereuses de la chaîne du combustible nucléaire, qui a affecté de façon disproportionnée les populations autochtones. L'extraction produit de grandes quantités de déchets sous la forme de matières non rentables ayant encore une faible teneur en uranium, qui ne sont pas gérés en tant que déchet radioactifs. Les résidus de traitement du minerai représentent plus de 95% du volume total des déchets radioactifs, sans compter les déchets de la mine. De nombreux sites d'entreposage de résidus de traitement du minerai de par le monde n'ont jamais été décontaminés et/ou sont à l'état d'abandon et polluent le sol et les eaux de surface avec des substances radioactives et des substances toxiques non-radioactives.

Le processus de fabrication de l'hexafluorure d'uranium, destiné à l'usine d'enrichissement, engendre la création de nombreuses formes chimiques de l'uranium. En plus de l'uranium rejeté dans l'air et dans l'eau, les produits chimiques, eux aussi, sont à l'origine de risques importants, comme c'est par exemple le cas pour l'acide fluorhydrique, l'acide nitrique et le fluor sous forme gazeuse.

Les déchets de faible activité issus de la conversion et de l'enrichissement sont généralement enterrés dans des décharges. De nombreux sites dédiés aux déchets « de faible activité » ont rejeté des radionucléides dans les eaux souterraines. Les déchets provenant de l'enrichissement comprennent aussi des produits chimiques toxiques non-radioactifs tels que les polychloro-biphényles (PCB), le chlore, l'ammoniac, les nitrates, le zinc et l'arsenic.

Étant donné que la fabrication de combustible n'engendre pas de production de déchets liquides, ses effets sont pour l'essentiel limités aux travailleurs, et sont du même ordre que ceux des travailleurs du secteur du retraitement. Le risque radiologique plus important lié à la manipulation du combustible irradié de façon répétée suscite de sérieuses inquiétudes.

Le retraitement est l'étape qui, parmi toutes les étapes du cycle du combustible nucléaire, engendre certains problèmes écologiques les plus difficiles à résoudre. Les déchets issus du retraitement contiennent, avec le combustible usé, plus de radioactivité que tout autre type de déchet du cycle du combustible. En 1957, une cuve de déchets liquides de haute activité a explosé en Russie. Le risque d'explosion est aujourd'hui réel pour d'autres cuves qui contiennent des déchets issus du retraitement en Russie, aux États-Unis et dans d'autres pays. Des fuites provenant de certaines de ces cuves ont contaminé les sols et les eaux souterraines. En volume, la plus grande quantité de déchets radioactifs issus du retraitement est rejetée directement dans des eaux océaniques ou terrestres. Étant donné qu'il nécessite la séparation des matières pouvant servir à la fabrication d'armes (le plutonium) du combustible usé, le retraitement pose des problèmes de prolifération significatifs. De plus, cela engendre également des émissions radioactives de krypton 85 et de carbone 14 dans l'air, qui ne sont pas comprises dans ce tableau.

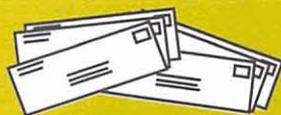
Les réacteurs nucléaires peuvent être l'objet d'accidents catastrophiques (par exemple, Tchernobyl, Three Mile Island). Les réacteurs à eau bouillante rejettent des quantités considérables de gaz nobles radioactifs.

Des quantités considérables de déchets de 'faible activité' sont créés par les fuites de produits de fission, qui passent par des fissures dans les gaines de combustibles, jusque dans les piscines de combustible usé. Ces produits de fission sont piégés dans les résines de filtres, qui deviennent alors des déchets de 'faible activité' aux États-Unis, et de moyenne activité en Europe.

L'incapacité à confiner la contamination du combustible usé et à empêcher qu'elle atteigne l'environnement humain pendant tout le temps au cours duquel il est radiotoxique fait de l'évacuation du combustible usé l'un des problèmes les plus difficiles à résoudre de l'énergie nucléaire.

La plupart de la radioactivité des déchets issus du démantèlement de réacteurs est contenue dans un volume relativement peu important de matière extrêmement radioactive. La plupart des réacteurs et des installations nucléaires commerciales associées n'ont pas encore été démantelés.

- que. Le besoin d'espacer les combustibles usés et les DHA (afin, par exemple, qu'ils n'engendrent pas d'accumulation de chaleur qui aurait pour conséquence la corrosion de leur emballage ou aboutirait à des transformations indésirables de la géologie) signifie que le volume nécessaire à leur entreposage dans le site d'enfouissement sera bien plus important que leur volume réel.
- c. Ce chiffre ne représente pas le volume initial total de DHA liquides provenant du retraitement, mais en fait celui qui résulte de l'évaporation, de la concentration et de la vitrification du volume initial en un nouveau volume plus petit d'environ 98% (Agence pour l'Énergie Nucléaire des États-Unis, Organisation pour la Coopération et le Développement Économique, *The Economics of the Nuclear Fuel Cycle* [Paris : OCDE, 1994], page 33).
  - d. Ce chiffre comprend 7956 m<sup>3</sup>/GWe-an de rejets liquides dans l'environnement (Groupe Radioécologie Nord Cotentin, 1999).
  - e. Les étapes d'entreposage et de conditionnement du combustible usé impliquent nécessairement une première phase de transfert du combustible usé dans un site d'entreposage provisoire avant évacuation finale. Ce fait n'a pas été pris en compte dans les calculs. Si, en plus de l'entreposage du combustible usé dans une piscine, des châteaux d'entreposage à sec étaient utilisés pour le stockage provisoire, il faudrait ajouter encore 6 mètres cubes de déchets de faible activité/GWe-an produits pendant le stockage provisoire.
  - f. Bien que les volumes de combustible usé résultant des cycles du combustible UFE et MOX soient équivalents, le combustible usé MOX est plus difficile à gérer car il est plus chaud (au sens physique) que le combustible usé UFE.
  - g. Ceci inclut le démantèlement du réacteur et les usines de conversion, d'enrichissement, de fabrication et de retraitement.



# CHER ARJUN

Cher Arjun,

J'entends toutes sortes de déclarations concernant l'énergie nucléaire. Comment puis-je la comparer aux combustibles fossiles ou aux énergies

renouvelables comme l'éolien ou le solaire ?  
— Monsieur Perplexe de Périgueux

LIRE LA SUITE PAGE 19

## COMPARAISON ENTRE COMBUSTIBLES FOSSILES ET ENERGIE NUCLEAIRE

	Nucléaire avec surgénérateurs	Nucléaire, cycle ouvert avec uranium	Combustibles fossiles, utilisation actuelle	Utilisation limitée des combustibles fossiles et énergies renouvelables
<b>ressources connues, conditions économiques actuelles*</b>	futur illimité	50 à 100 ans, peut-être même plus	quelques centaines d'années	futur illimité
<b>ressources connues, y sont comprises des ressources de basse qualité</b>	pas nécessaire	futur illimité	milliers d'années	pas nécessaire
<b>risques de changement climatique</b>	aucun**	aucun	possibilité de catastrophe	aucun si les combustibles fossiles sont abandonnés progressivement
<b>conséquences possibles d'accidents catastrophiques</b>	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
<b>pollution atmosphérique</b>	relativement minime	relativement minime	de sérieuse à modérée suivant les techniques de contrôle	de sérieuse à modérée suivant les techniques de contrôle
<b>pollution de l'eau, fonctionnement de routine</b>	effets sérieux possibles aux mines et aux usines d'extraction, mais limités du fait des besoins faibles en uranium: effets sérieux possibles aux sites 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 sites 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 près de beaucoup de puits de pétrole)	effets possibles très minimes
<b>risques de prolifération</b>	oui	oui, mais moins qu'avec un système de surgénérateurs	aucun	aucun

\* Les jugements présentés dans ce tableau sont basés sur les pratiques présentes et les technologies présentement disponibles qui sont commercialisées ou presque. Les déclarations sur les conséquences et la pollution se rapportent aux conséquences d'un usage futur et non aux effets néfastes déjà encourus.

\*\* Des questions ont été posées concernant les effets du krypton 35, résultant du retraitement nécessaire pour un système de surgénérateurs, sur la formation des nuages et donc de la possibilité de changement de climat. Néanmoins le krypton-85 peut être éliminé des émissions gazeuses par refroidissement cryogène

Ce tableau est déjà apparu dans Energie et Sécurité no. 1, 1996.

Cher Monsieur Perplexe,

Il était un temps où les gens déposaient des déclarations auprès de leurs compagnies d'assurances pour obtenir des dommages-intérêts. Maintenant que les centrales nucléaires bénéficient d'une assurance gratuite fournie par le gouvernement américain, les déclarations font plutôt partie du monde de la publicité. Et les publicitaires déclarent les choses suivantes :

1. Les accidents graves ne se produisent que dans l'ex-Union soviétique et ne peuvent se produire chez nous.
2. Les centrales nucléaires ne produisent aucune émission de polluants.
3. Les centrales nucléaires produisent une électricité trop bon marché pour être mesurée. (Euh, désolé, publicité obsolète)
4. Il est possible de construire des centrales nucléaires 'intrinsèquement sûres'.
5. Une économie de l'énergie basée sur des centrales nucléaires peut éviter toute prolifération.
6. L'énergie nucléaire est une bonne solution pour éliminer les émissions de gaz à effet de serre.

Il est impossible de décrire les cinq premières affirmations correctement si l'on veut rester poli. En bon français, on les traiterait simplement de 'balivernes'. Vous en trouverez une description plus scientifique dans l'éditorial de la page 1, dans l'article 'Science pour les Masses Critiques' page 15, dans le tableau de la page précédente, et dans l'ouvrage *The Nuclear Power Deception*, dans lequel vous trouverez un grand nombre de références.

La seule affirmation qui mériterait que l'on s'attarde de façon plus longtemps est celle selon laquelle les centrales nucléaires pourraient éliminer l'accumulation

de gaz à effet de serre. En théorie, les centrales nucléaires émettent des quantités relativement faibles de dioxyde de carbone si on les compare aux centrales à charbon. Pourtant, l'objectif visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre ne dépend qu'en partie des choix technologiques qui peuvent accomplir cette tâche. Même en dehors des améliorations en termes d'efficacité énergétique, de nombreuses technologies d'approvisionnement énergétique peuvent réduire les émissions de dioxyde de carbone : les énergies éolienne et solaire en sont de bons exemples. La capture du dioxyde de carbone, c'est-à-dire le stockage de dioxyde de carbone par diverses méthodes afin qu'il ne parte pas dans l'atmosphère, est également techniquement faisable.

L'une des contraintes majeures est économique : quel groupe de technologies peut réduire les émissions de gaz à effet de serre pour une somme financière donnée ? Vue sous cet angle, l'énergie nucléaire n'est très certainement pas la solution pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. La deuxième question essentielle est de savoir quelles sont les autres fardeaux qui vont incomber aux générations futures du fait d'une manière donnée de réduire les émissions de gaz à effet de serre ? Au centre de ce problème, on trouve la vulnérabilité de l'énergie nucléaire aux accidents catastrophiques, le problème des déchets nucléaires à vie longue, et le risque de prolifération associé à tous les systèmes liés à l'énergie nucléaire (à différents niveaux). Bien qu'il y ait des impacts associés à toutes les sources d'énergie, de telles responsabilités irréversibles à long terme peuvent être évitées par le biais de technologies telles que les énergies renouvelables, qui doivent dès le départ être mises en application avec toute l'attention que requièrent les problèmes écologiques.

Pour toute information sur l'énergie nucléaire et le changement climatique mondial, voir le numéro d'Énergie et Sécurité n° 5

## LECTURES RECOMMANDÉES



- *The Nuclear Power Deception : U.S. Nuclear Mythology from Electricity 'Too Cheap to Meter' to 'Inherently Safe' Reactors*, par Arjun Makhijani et Scott Saleska (Apex Press 1999), 266 pages. Disponible par commande auprès de l'IEER, pour FF 105, par chèque à l'ordre de l'IEER.

Ce livre apporte une analyse critique et des éléments permettant de réfuter les affirmations selon lesquelles l'énergie nucléaire peut réduire l'accumulation de gaz à effet de serre et du même coup réduire la dépendance des États-Unis vis-à-vis des importations de pétrole. Il révèle également au grand jour les risques de prolifération liés aux quantités toujours croissantes de plutonium produit par les centrales nucléaires au niveau mondial.

- *India's Nuclear Bomb : The Impact on Global Prolifération* par George Perkovich (University of California Press, 1999), 610 pages. Pour toute commande, voir le site web : <http://www.ucpress.berkeley.edu/books/pages/8386.html>

Un historique politique de référence sur le programme d'armes nucléaire de l'Inde. Il apporte également un éclairage unique pour la compréhension du programme pakistanais et de la politique de non-prolifération des États-Unis. L'analyse de Perkovich a été décrite comme "donnant à réfléchir, vitale et tombant à point nommé."

usé UFE. Le coeur du réacteur - dans le cadre de ce cycle - est composé à 30% de combustible MOX, le reste étant du combustible UFE. Après irradiation, le combustible MOX usé est destiné à être évacué, alors que le combustible usé UFE est retraité.

Environ 30 réacteurs nucléaires commerciaux en Allemagne, en France et en Belgique utilisent actuellement du combustible MOX. D'autres technologies visant à manipuler le combustible nucléaire usé sont

également proposées, comme par exemple la transmutation et les réacteurs rapides, qui nécessitent plusieurs passages en réacteurs avec les retraitements associés. Vous trouverez une analyse de ces propositions dans l'article principal en page 1.

- 1 Pour une analyse détaillée, voir l'ouvrage 'Nuclear Wastelands' par Makhijani, Hu et Yih, eds, (Cambridge Mass., MIT Press), 1995.
- 2 Les émissions dans l'air et l'eau ne sont pas comprises, à l'exception des rejets de déchets liquides provenant du retraitement.

## VISITEZ NOTRE PAGE WEB À WWW.IEER.ORG

- Vous pouvez y consulter les numéros d'Énergie et Sécurité de 1 à 10. Si vous lisez l'anglais vous y trouverez tous les numéros de Energy and Security et Science for Democratic Action.

- La préface, les conclusions et les recommandation du rapport : « *The plutonium end game* » (La fin de l'économie du plutonium) (sept 2000).

Un rapport qui révèle que les dépenses mondiales pour tenter de mettre sur pied une économie du plutonium ont été de 100 milliards de dollars. La part de la France a été de 20 milliards de dollars depuis 1960 et elle continue de dépenser annuellement 1 milliard de dollars.

- Le rapport « *L'Énergie éolienne comparée au plutonium* » (janvier 1999). Une étude de cas sur le Japon qui montre que l'énergie éolienne offshore pourrait facilement remplacer le plutonium à des coûts moindres.

- « *Le rideau de fumée de la sûreté nucléaire* » (mai 1966).

Cet article révèle que le programme américain de maintenance de son arsenal nucléaire pour la sûreté et la fiabilité pourrait conduire à des instabilités mondiales puisqu'il prévoit la construction de coûteuses installations d'expérimentation ayant potentiel de concevoir des armes nouvelles. Ce programme pourrait avoir des répercussions très néfastes sur le Traité de non prolifération (TNP) et le Traité d'interdiction complète des armes nucléaires (TICE).

Energie et Sécurité	Energy and Security
#1	#1
#2	#2
#3	#3
#4	#4
Energie et Sécurité	SDA
#5	Vol 6 # 3
#6	Vol 6 # 4
#7	Vol 7 # 1
#8	Vol 7 # 2
#9	Vol 7 # 3
#10	Vol 7 # 4
#11 A venir bientôt	Vol 8 # 1
#12 A venir bientôt	Vol 8 # 2
#13 A venir bientôt	Vol 8 # 3
#14 A venir bientôt	Vol 8 # 4

### 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>

