

Energy AND Security

AN I E E R P U B L I C A T I O N

Un régime à faible teneur en carbone: Sans nucléaire

No. 36, 2006

- [Editorial: Le retour des messies du nucléaire](#)
– par Arjun Makhijani
- [Un régime à faible teneur en carbone pour la France : Sans nucléaire](#)
– par Arjun Makhijani et Annie Makhijani
- [Des risques insurmontables : L'énergie nucléaire peut-elle résoudre le problème du réchauffement climatique ?](#)
– par Brice Smith
- [De dangereuses anomalies comptables : Du plutonium manquant dans le complexe nucléaire militaire américain ?](#)
– par Arjun Makhijani
- [Cher Arjun : Êtes-vous anti-nucléaire ou pro-nucléaire ?](#)
- [Développez vos connaissances du jargon technique avec le Dr Egghead](#)

Crédits pour ce numéro:

- Traduction: Annike Thierry, avec la collaboration de: Jean-Luc Thierry et Annie Makhijani.
- Rédactrice en chef: Lisa Ledwidge.
- La version anglaise de ce numéro, *Science for Democratic Action* v. 14, no. 2, a été publiée en août 2006.

Editorial : Le retour des messies du nucléaire

Par Arjun Makhijani¹

L'enrichissement et le retraitement de l'uranium, des termes autrefois réservés aux intellos férus d'ésotérisme nucléaire, font tous les jours la une des journaux. Politiciens et diplomates en débattent longuement ainsi que sur les risques de prolifération qui résultent de la diffusion de la technologie nucléaire civile.

Pourtant, étonnamment, dans un univers parallèle qui se joue également sur la scène publique, s'étalent les allégations de l'industrie nucléaire, amplifiées par la caisse de résonance des médias : le nucléaire peut jouer un rôle vital en sauvant notre planète d'un autre péril, les perturbations climatiques graves causées par les émissions anthropiques de gaz à effet de serre.

Est-ce possible ? L'énergie nucléaire pourrait-elle vraiment aider à sauver le monde de ce qu'on peut légitimement considérer comme le pire fléau environnemental auquel l'humanité se trouve confrontée ? L'histoire nous conseille deux choses : une prudence par rapport aux proclamations messianiques de l'industrie nucléaire et une analyse attentive du problème.

Les fervents partisans de l'énergie nucléaire ont dans un premier temps promis que cette énergie ferait accéder tout un chacun, du plus riche au plus pauvre, à un paradis économique. Les moindres caprices et besoins seraient exaucés. Mais c'était surtout du rêve et de la propagande.

Il y a près de vingt ans, en fouillant dans les étagères d'une importante bibliothèque, j'ai découvert un article de 1950 écrit par un ingénieur de recherche du nom de Ward Davidson, de la Consolidated Edison Company de New York. Il était publié dans *Atomics*, une revue de l'industrie nucléaire de l'époque. Dans une actualisation d'un avis antérieur de 1947, il écrivait que les problèmes techniques auxquels était confrontée l'énergie nucléaire étaient encore plus décourageants qu'il ne l'avait imaginé. Par exemple, les exigences sur les matériaux devaient être très strictes, étant donné les températures élevées et les dommages causés par les flux neutroniques importants. Les essais sur les alliages pour en garantir la qualité et la régularité nécessaires seraient difficiles. Tout ceci signifiait, bien sûr, que l'énergie nucléaire serait très coûteuse.

La lecture de cette déclaration visionnaire de 1950 m'a ouvert les yeux. Comme presque tout le monde, je croyais que la conclusion technique qui prévalait habituellement dans les milieux nucléaires des années 1940 et 1950 était que l'énergie nucléaire serait bientôt « trop bon marché pour relever le compteur. » Après tout, cette déclaration a été faite en 1954 par Lewis Strauss, président de la Commission américaine de l'énergie atomique (AEC), et répétée sans fin. Je parlais de l'hypothèse que Strauss et ses pareils, qui croyaient que l'énergie nucléaire serait très bon marché, faisaient simplement une erreur. La découverte de l'article de Davidson a réveillé le premier soupçon de quelque chose qui a été clairement démontré par une recherche ultérieure : toutes les analyses sérieuses s'accordaient à l'époque pour conclure que l'électricité nucléaire serait coûteuse.

La formule « trop bon marché pour relever le compteur » tenait en partie à un aveuglement, comme le montrent les déclarations grandiloquentes et invraisemblables qu'ont tenu des gens tout à fait sérieux comme Glenn Seaborg, qui a dirigé l'équipe qui, la première, a séparé le plutonium, et Robert Hutchins, le Président de l'Université de Chicago pendant le Projet Manhattan. Elle faisait par ailleurs partie d'une propagande organisée visant à dissimuler l'horreur de la bombe à hydrogène.

En septembre 1953, moins d'un mois après l'explosion de la première bombe à hydrogène soviétique, Thomas Murray, un membre de l'AEC, écrivait au président de la Commission que les États-Unis pourrait retirer un « capital de propagande » d'une campagne de publicité autour de leur récente décision de construire la centrale nucléaire de Shippingport. Sterling Cole, le président du Comité mixte sur l'énergie atomique au Congrès américain (*Joint Committee on Atomic Energy*), craignait que les Soviétiques devancent les États-Unis pour faire fonctionner une centrale nucléaire et ainsi prétendre être les véritables promoteurs de l'atome « pacifique ». Dans une lettre à l'un de ses collègues membre du Congrès, Sterling Cole écrivait :

Il serait possible que les relations entre les États-Unis et tout autre pays soient gravement affectées si la Russie devait construire avant nous une centrale atomique à usage pacifique. Le fait que la Russie puisse en fait démontrer ses intentions « pacifiques » dans le domaine de l'énergie atomique, alors que nous en sommes encore à nous concentrer sur des armes nucléaires, pourrait porter un coup majeur à notre position dans le monde.

Dès 1948, la Commission de l'énergie atomique a déclaré au Congrès que « le coût d'une centrale à combustible nucléaire serait significativement supérieur à celui d'une centrale au charbon de capacité similaire. » Parmi les premières critiques sur les aspects économiques de l'énergie nucléaire, une des plus directes a été formulée par C.G. Suits en décembre 1950 dans son discours devant l'Association américaine pour le progrès de la science. À cette époque, Suits était le vice-président et le directeur de la Recherche à General Electric, alors chargé de l'exploitation des réacteurs plutonigènes de Hanford dans l'État de Washington et une des principales sociétés développant des réacteurs nucléaires pour la production de l'électricité. Dans son discours, reproduit dans la revue de l'industrie nucléaire *Nucleonics* (Vol. 8, n° 2, février 1951), Suits déclare carrément que :

On peut affirmer sans risque de se tromper [...] que l'énergie atomique n'est *pas* l'instrument par lequel l'homme atteindra pour la première fois une émancipation économique, quel que soit le sens qu'on lui donne ; et ce n'est pas elle qui le débarrassera de son « fardeau de labeur », quel que soit le sens qu'on donne à cette expression. On pourrait entendre les gens s'esclaffer franchement dans les laboratoires qui travaillent sur ce problème si quelqu'un s'aventurait à parler de l'atome comme d'un moyen pour débarrasser l'homme de son fardeau de labeur. Ce n'est certainement pas le cas !

...

[...] Les aspects économiques de l'énergie atomique ne sont pas intéressants pour le moment, et cela risque d'être le cas pendant encore très longtemps. C'est une énergie coûteuse, pas une

énergie bon marché comme on a amené le public à le croire.

Aujourd'hui, plus d'un demi-siècle après les chimères et la propagande, et plus d'un quart de siècle après la dernière commande de réacteur aux États-Unis, l'industrie nucléaire est sur le retour. À l'époque, c'était la promesse d'une source d'énergie inépuisable, ce qu'Alvin Weinberg, le premier directeur du Laboratoire national d'Oak Ridge appelait une source d'énergie « magique ». L'uranium-238, qui n'est pas un combustible nucléaire, serait transformé en combustible dans les réacteurs surgénérateurs, même si ces derniers consommaient un combustible au plutonium. À la fin du cycle, il y aurait plus de combustible qu'au début. Les réserves d'uranium-238 étant assez abondantes, l'aspect physique du fantasme n'était que légèrement exagéré.

Mais il n'y a pas que l'aspect physique nucléaire. Une source d'énergie doit encore répondre à des critères de sûreté, de fiabilité et de coût. Dans le cas de l'énergie nucléaire, il se pose aussi le problème très spécifique de la prolifération nucléaire, dissimulé pour partie dans le plutonium présent dans le combustible usé et pour partie dans la diffusion du savoir-faire. Envisagés ensemble, ces facteurs ont dissipé la « magie » de l'aspect physique dès le début. Les réacteurs surgénérateurs et le retraitement qui leur est associé ne sont pas encore parvenus à un stade commercial, après plus de 100 milliards de dollars dépensés dans le monde (dollars constants de 1996) et plus de cinquante ans d'efforts.

La comptabilité du plutonium visant à garantir qu'une partie n'est pas détournée à des fins militaires a toujours été très difficile. Le livre du Dr Smith, [*Insurmountable Risks*](#), résumé dans l'article de couverture, donne des exemples de cette situation dans le secteur civil. Mais même dans le secteur militaire, au laboratoire le plus ancien et le plus fameux de l'histoire des armes nucléaires, le Laboratoire national de Los Alamos, la comptabilité du plutonium rejeté dans les déchets est déplorable comme le montre l'article « Dangereuses anomalies comptables » dans ce numéro.

C'est la même chose aujourd'hui. Les émissions de dioxyde de carbone d'un système électrique nucléaire peuvent être maintenues à un niveau très faible ; en fait un système tout-nucléaire pourrait théoriquement les réduire à zéro. Mais aujourd'hui ce n'est pas un problème de physique; pas plus que ça ne l'était hier.

Les problèmes sont les suivants :

1. Combien l'énergie nucléaire coûtera-t-elle par rapport à d'autres moyens permettant de se débarrasser des émissions de dioxyde de carbone ?
2. Quel montant de subventions sera nécessaire, étant donné que Wall street est réticent par rapport à l'énergie nucléaire ?
3. Quels seront les risques d'accidents catastrophiques si nous construisons des réacteurs au rythme d'un par semaine ou plus, en grande série, dans le monde entier ?
4. Que se passera-t-il en matière de sécurité d'approvisionnement énergétique en cas d'attaques terroristes ou d'accidents désastreux de l'ampleur de Tchernobyl ?
5. Que faire pour le plutonium contenu dans les déchets ?

Dans *Insurmountable Risks*, Brice Smith analyse attentivement toutes ces questions et bien d'autres encore. C'est un travail de recherche méticuleux qui attire l'attention sur les dangers considérables qui pourraient exister si l'on tentait de résoudre le problème de la réduction des émissions de dioxyde de carbone en recourant à une utilisation à grande échelle de l'énergie nucléaire. S'il n'y avait pas d'autre alternative, la gravité de la menace à laquelle est confrontée l'humanité et les autres espèces du fait du changement climatique mériterait une réflexion approfondie sur les risques de l'énergie nucléaire. Mais d'autres alternatives nous sont offertes, qui nous éviteront de laisser aux générations futures le casse-tête de la prolifération et les risques de paysages radioactifs comme la sinistre zone autour de Tchernobyl.

Ce n'est pas que ces alternatives ne présentent aucun risque. Certaines, comme la séquestration du carbone ou les terminaux GNL (gaz naturel liquéfié), impliquent des risques significatifs. La transition qui nous permettra de passer de la situation dans laquelle nous sommes aujourd'hui à un monde doté d'un système énergétique sûr et sans émissions de carbone sera dure et compliquée.

Un peu de la même manière qu'un malade atteint d'un cancer peut choisir de subir temporairement une chimiothérapie malgré ses effets secondaires toxiques, nous aurons à faire des choix difficiles dans les décennies qui viennent pour éviter les conséquences potentiellement catastrophiques du réchauffement climatique. Pour faire ces choix, l'un des principaux critères doit certainement être d'imposer le plus petit fardeau possible aux générations futures. Le nucléaire fait exactement l'inverse : l'essentiel de la charge est reporté sur l'avenir.

L'idée que l'énergie nucléaire va nous sauver du changement climatique est aujourd'hui à la mode tout comme l'étaient les hymnes à l'énergie nucléaire comme source magique d'énergie il y a un demi-siècle de cela. Avant de mordre au discours des lobbies nucléaires, lisez le livre de Brice Smith. Et travaillez ensuite aux alternatives.

LES NOTES BAS DE PAGE

¹ Cet éditorial est essentiellement de l'avant-propos d'Arjun Makhijani au livre de Brice Smith, *Insurmountable Risks* (IEER Press, 2006), et s'inspire largement de la première de l'ouvrage de Makhijani et Saleska, *The Nuclear Power Deception* (Apex Press, 1999). On pourra retrouver les références de cet éditorial dans l'un ou l'autre de ces livres. Ces livres peuvent être achetés sur <http://ieer.org/resource/topic/books/>. Sterling Cole, Letter to Congressman John Phillips du 20 mai 1953, avec une lettre d'accompagnement du secrétaire de l'AEC, Roy Snapp, 9 juillet 1953. DOE Archives, Box 1290, Folder 2. Atomic Energy Commission, "Report to the U.S. Congress, No. 4," Washington, DC, 1948.

Un régime à faible teneur en carbone pour la France : Sans nucléaire

Par Arjun Makhijani et Annie Makhijani¹

Pour les partisans de l'énergie nucléaire, la France est un pays emblématique. Pratiquement 80 pour cent de son électricité provient de ses 58 réacteurs nucléaires. Elle retraite le combustible usé pour récupérer le plutonium et l'utilise sous forme de combustible oxyde mixte (dioxyde de plutonium avec du dioxyde d'uranium appauvri), ou MOX en abrégé.

La France s'est débarrassée de l'utilisation du pétrole dans le secteur électrique en 1973. Du fait des émissions très faibles de dioxyde de carbone (CO₂) de son secteur électrique, liées à la prédominance de l'énergie nucléaire et accessoirement de l'énergie hydraulique, la France, à la différence des autres pays d'Europe occidentale, n'a pas d'obligation de réduire ses émissions de CO₂ au-dessous de leur niveau de 1990 dans le cadre du Protocole de Kyoto.

Un statut emblématique a tendance à alimenter une mythologie. Certains pensent que la France a résolu le problème de ses déchets nucléaires.² Pourtant le problème des déchets nucléaires s'envenime en France, à l'épicentre ou à proximité du débat sur le nucléaire.³

Les partisans de l'énergie nucléaire, qui ont dû renoncer à leur slogan « trop bon marché pour être mesurée » face à la réalité de ses coûts élevés, ont maintenant trouvé un nouvel argument de vente : l'énergie nucléaire aide à résoudre le problème des émissions de CO₂ du secteur de l'électricité et éventuellement de la totalité du secteur énergétique grâce à des réacteurs spécialement conçus pour la production de l'hydrogène. L'article de Brice Smith dans ce numéro aborde les risques liés à une telle utilisation de l'énergie nucléaire. Le présent article s'intéresse au modèle emblématique, la France. Nous posons la question centrale suivante : la France pourrait-elle décider de sortir du nucléaire et parvenir simultanément à des réductions importantes de ses émissions de CO₂ dans les quelques décennies qui viennent ?

Nous examinerons d'abord les caractéristiques de la consommation énergétique en France et nous analyserons brièvement son évolution sur les dernières dizaines d'années. Ceci permettra de préciser le contexte du débat sur les scénarios que nous avons élaborés, qui montrent que la France pourrait effectivement sortir du nucléaire et parvenir à des réductions de 20 pour cent des émissions de CO₂ d'ici la moitié du siècle avec des technologies existantes ou pratiquement existantes (scénario IEER TE), et des réductions d'environ 40 pour cent avec des technologies plus avancées, qui sont disponibles à présent mais ne sont peut être pas suffisamment rentables pour le moment (scénario IEER TA).

Le système énergétique français : son évolution et ses faiblesses

Le pétrole a montré sa puissance dans les batailles navales de la première guerre mondiale et c'est après que/, après quoi le sénateur français Bérenger l'a appelé le « sang de la victoire » ; mais ce serait aussi le « sang de la paix », a-t-il ajouté. Le cri de ralliement en France a alors été : « Du pétrole, toujours plus de pétrole. » Ce fut, en fait, la politique de toutes les grandes puissances.⁴

Le manque de maîtrise de ses principales sources de pétrole pendant la Première guerre (elle ne disposait pas de ressources nationales de pétrole ou de colonies riches en pétrole à cette époque), a conduit à « la naissance d'une obsession : l'indépendance énergétique. »⁵ Sa riposte a consisté à acquérir et à contrôler des ressources pétrolières à l'étranger et à créer une compagnie pétrolière avec pour mandat de gérer la part allemande de la Turkish Petroleum Company, qu'elle avait acquise après la Première guerre mondiale.⁶ Cette compagnie, la Compagnie française des pétroles, même si elle était privée, entretenait une relation très étroite avec le gouvernement.

Après la Deuxième guerre mondiale, le gouvernement français a nationalisé les autres secteurs du système énergétique. Cette évolution a permis la mise en exploitation de ressources nationales dans le secteur électrique, l'hydraulique et le charbon pour répondre à la croissance de la demande en électricité. Au total, ces différentes sources permettaient la production d'environ 90 pour cent de l'électricité en 1960. Toutefois, peu de temps après, le pétrole à bon marché a commencé à remplacer un charbon national de moins en moins compétitif, et en 1973, le charbon ne contribuait qu'à environ 16 pour cent de la production électrique alors que la part du pétrole avait grimpé à 39 pour cent ; l'hydroélectricité représentait 27 pour cent. Ainsi, la première grande transformation du secteur électrique en France après la Deuxième guerre mondiale s'est faite en passant du charbon au pétrole ; cela a pris environ 30 ans.

La vulnérabilité de ce système aux instabilités des prix et de l'approvisionnement a été mise clairement en lumière par la crise pétrolière de 1973, qui a été accompagnée d'importantes hausses du prix du brut et de l'embargo pétrolier arabe contre les États-Unis. À cette époque, l'énergie nucléaire ne représentait qu'une proportion relativement mineure du secteur électrique français (8 %). La décision a été prise, sans débat de grande ampleur, d'accélérer le programme nucléaire civil de la France. L'énergie nucléaire est passée de 8 pour cent à presque 80 pour cent à la fin du siècle, soit également en moins de trente ans. Le Tableau 1 indique les caractéristiques de l'approvisionnement énergétique de la France en 2000.

Tableau 1 : Consommation énergétique totale par source en France en 2000, en millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep) et en pourcentage

	Charbon	Pétrole	Gaz naturel	Nucléaire + hydraulique	Autres	Total
Mtep	14,1	98,5	37,3	94,9	12,7	257,6
%	5,5	38,2	14,5	36,9	4,9	100

Source : Adapté à partir de la page 20 du *Bilan énergétique provisoire de la France en 2000*, sur Internet www.industrie.gouv.fr/energie/pdf/bilan2000.pdf.

Remarques : Un Mtep est équivalent à 42×10^{12} joules. L'hydroélectricité est convertie en son équivalent thermique : 1 MWh électrique = 0.222 tep thermique.

Mais l'énergie nucléaire à elle seule ne pouvait garantir l'indépendance énergétique. Craignant une pénurie des ressources en uranium et une forte augmentation des prix, la France a rêvé d'une

économie du plutonium basée sur des réacteurs surgénérateurs alimentés par le plutonium extrait des combustibles à l'uranium usés déchargés de ses réacteurs à eau pressurisée (REP).

L'utilisation de l'énergie nucléaire a permis à la France d'éliminer le pétrole de son secteur électrique. Pourtant, la consommation de pétrole à l'intérieur du secteur énergétique dans sa globalité est encore très élevée. La raison en est que la consommation énergétique consacrée au transport est essentiellement liée au pétrole, les véhicules à moteur et les avions se plaçant au premier rang. L'utilisation du pétrole dans le secteur industriel est également importante. Le gaz naturel est aussi largement utilisé dans le secteur industriel et pour le chauffage dans les secteurs résidentiel et tertiaire.

La France prétend que le passage au nucléaire est le principal facteur qui lui a permis d'atteindre un niveau d'indépendance énergétique de 50 pour cent. Toutefois, si le terme « indépendance » est interprété comme la seule production nationale de combustibles, l'affirmation officielle ne tient pas. Comme la France importe la totalité de son approvisionnement en uranium, il est incorrect de dire que ce combustible contribue à « l'indépendance énergétique ». Il n'est pas plus raisonnable d'appliquer le qualificatif de « national » à l'électricité issue de l'uranium importé qu'à l'électricité produite à partir du pétrole importé.

Si la France avait été capable de baser son secteur nucléaire sur du combustible au plutonium issu de ses propres réacteurs, la formule sur l'indépendance énergétique serait plus justifiable. Mais le rêve de plutonium de la France s'est transformé en un cauchemar financier parce que Superphénix, son réacteur surgénérateur civil de démonstration de 1 200 MW, s'est avéré un raté.

Superphénix a fonctionné à un facteur de charge moyen d'environ 7 % au cours de ses 14 années de fonctionnement avant d'être mis à l'arrêt définitivement en 1998. Après avoir dépensé 20 milliards de dollars à essayer de commercialiser le plutonium, la France a été réduite à subventionner une utilisation non rentable du combustible au plutonium (combustible MOX) dans vingt de ses 58 réacteurs à eau légère, à hauteur de 1 milliard de dollars par an.⁷ Dans la mesure où seulement 30 % des cœurs de ces réacteurs sont chargés en MOX, la contribution du plutonium produit au niveau national au secteur électrique français est inférieure à 10 %.

Globalement, la France ne produit au niveau national qu'environ 15 pour cent de ses besoins en énergie, un niveau plancher historique, qui découle essentiellement de la poursuite de sa dépendance vis-à-vis du nucléaire et des combustibles fossiles dans de larges secteurs de son économie, comme on l'a rappelé plus haut.

La France est parvenue à une meilleure sécurité de son système énergétique depuis 1973, mais au prix de nouvelles vulnérabilités. Le passage de son secteur électrique d'une forte dépendance au pétrole à une production nucléaire ne s'est pas traduit par des réductions effectives de ses importations de combustible, mais il a amélioré la sécurité énergétique de la France en augmentant la diversité de son approvisionnement électrique. La France a aussi réduit ses émissions de dioxyde de carbone dans le secteur de l'électricité en s'appuyant principalement sur le nucléaire et l'hydraulique. C'est un facteur important dont il faut tenir compte dans n'importe quel scénario qui vise à réduire les émissions de gaz à effet de serre en France.

Malgré ces avantages significatifs, le système énergétique de la France continue de présenter d'importantes vulnérabilités et d'autres sont venues s'y ajouter :

- Des importations pétrolières élevées, et une dépendance quasi-totale du secteur des transports par rapport à celles-ci, continuent de constituer une vulnérabilité cruciale en dépit du rôle important de l'énergie nucléaire dans l'économie.
- Les émissions de CO₂ de la France continuent de croître essentiellement du fait d'une plus grande utilisation du pétrole.
- Son système électrique extrêmement centralisé est vulnérable à une attaque terroriste.
- La gestion des déchets nucléaires est devenue un problème technologique, financier, environnement et social majeur.
- Un seul accident de l'ampleur de celui de Tchernobyl pourrait anéantir l'économie et la société française(s).
- Le déclassement de ses importantes installations nucléaires, notamment de ses réacteurs surgénérateurs et de ses usines de retraitement, sera très coûteux.
- La France contribue aux problèmes de prolifération, notamment dans le cas du Japon, en exportant du plutonium civil. Certains dirigeants japonais estiment que le Japon devrait envisager de devenir une puissance nucléaire ; l'un d'eux, Ichiro Ozawa, a explicitement remarqué que le Japon pourrait utiliser les matières nucléaires du secteur civil pour fabriquer des milliers d'armes nucléaires.

Ces réalités concrètes ont amené beaucoup de gens en France à exprimer leur inquiétude quant à cette dépendance vis-à-vis de l'énergie nucléaire. Il n'y a pas de solution facile pour s'en sortir. Mais cette sortie est possible.

Les scénarios énergétiques de l'IEER pour la France

La réduction des émissions de CO₂ et l'arrêt du nucléaire imposent des défis particuliers en France. Premièrement, l'arrêt prématuré d'un nombre important de centrales nucléaires nécessiterait des investissements supplémentaires qui pourraient autrement être utilisés pour réduire les émissions de CO₂ dans d'autres secteurs. Deuxièmement, le réseau électrique français est extrêmement centralisé et construit autour des sites des centrales nucléaires. Troisièmement, même si la France dispose d'importantes ressources éoliennes, elles ne sont pas suffisantes pour ancrer le système électrique comme le fait aujourd'hui l'énergie nucléaire, même en mettant de côté le problème du fonctionnement intermittent de l'éolien. (À cet égard, la France est différente des États-Unis, où les ressources éoliennes sont très abondantes.) Pour ces raisons, l'approche que nous avons utilisée pour répondre à la fois à la question de la sortie du nucléaire et à celle des réductions des émissions de CO₂ a été de faire l'hypothèse que les centrales nucléaires seraient mises à l'arrêt définitif à la fin de leur durée de vie autorisée.

Pour obtenir des réductions importantes des émissions de dioxyde de carbone et une sortie du nucléaire, l'IEER s'est appuyé essentiellement sur les éléments suivants :

- Un secteur énergétique beaucoup plus efficace dans les grands domaines de consommation énergétique : résidentiel, tertiaire, industriel et transports ;
- Une transition passant d'un système de production énergétique basé essentiellement sur

le pétrole et le nucléaire, à un mix de gaz naturel, de pétrole et d'énergies renouvelables.

Pour démontrer la faisabilité économique et technique d'une transition majeure vers un système énergétique non nucléaire et avec des émissions de CO₂ plus faibles, nous avons adopté l'approche relativement prudente consistant à prendre en compte les technologies qui sont déjà à un niveau commercial, qui peuvent arriver à ce niveau avec des efforts modestes, ou celles qui peuvent parvenir à un niveau commercial avec des investissements importants mais qui ne présentent pas d'obstacles scientifiques essentiels. Nous utilisons les deux premières catégories pour définir le scénario IEER Technologies existantes (scénario IEER TE) et l'ensemble des trois pour définir le scénario IEER Technologies avancées (scénario IEER TA). Ces scénarios donnent une prévision du secteur énergétique en 2040 en comparaison de la situation en 2000.

Les scénarios énergétiques de l'IEER utilisent les mêmes paramètres démographiques et économiques que le scénario S1 (scénario « société de marché », appelé ci-après scénario « tendanciel ») du Commissariat général du plan dans son rapport de 1998, Énergie 2010-2020, qui présente des projections pour l'année 2020 pour la totalité du secteur énergétique français.⁸ Dans le scénario S1, les besoins énergétiques sont élevés et s'accompagnent d'importantes émissions de dioxyde de carbone. Nous montrons qu'avec le même niveau de services énergétiques que dans le scénario S1, la France peut parvenir à une réduction substantielle de ses émissions de CO₂.

Les composantes de la transformation des différents secteurs de demande énergétique et leur approvisionnement en combustible peuvent être résumés de la façon suivante :

- Transition vers des systèmes de climatisation haute performance pour les secteurs résidentiel et tertiaire (comme des pompes à chaleur géothermiques et de la cogénération), avec une augmentation du rendement.
- Pour le secteur électrique, une transition depuis l'énergie nucléaire et l'hydraulique au gaz naturel et aux renouvelables (éolien, hydraulique et biomasse dans le scénario TE et solaire dans le scénario TA). L'énergie éolienne joue un grand rôle dans les deux scénarios IEER. L'énergie solaire ne joue un rôle important que dans le scénario TA.
- Pour le secteur des transports, d'importantes réductions dans l'utilisation du pétrole et des augmentations radicales du rendement, avec la mise en œuvre de normes kilométriques de 2,4 litres aux 100 kilomètres pour les nouveaux véhicules de tourisme, en vingt ans environ avec des améliorations progressives ensuite (scénario TE). L'utilisation de véhicules hybrides « branchés » intervient dans le scénario TA.
- Une combinaison de centrales à gaz à cycle combiné, de stockage d'énergie par pompage hydraulique et de turbines à gaz pour les pics de consommation avec des sources d'énergie renouvelables pour aboutir à un système électrique fiable.

Les résultats qui pourraient être obtenus par la mise en œuvre des scénarios TE et TA sont présentés dans les Figures 1 à 4. Elles montrent qu'en 2040 la consommation énergétique dans le scénario tendanciel serait environ deux fois supérieure à celle du scénario IEER TE pour le même niveau de services énergétiques. Les émissions de dioxyde de carbone seraient 2,2 fois plus élevées.

Figure 1 : Projection de la consommation énergétique en 2040 : scénario Tendancier

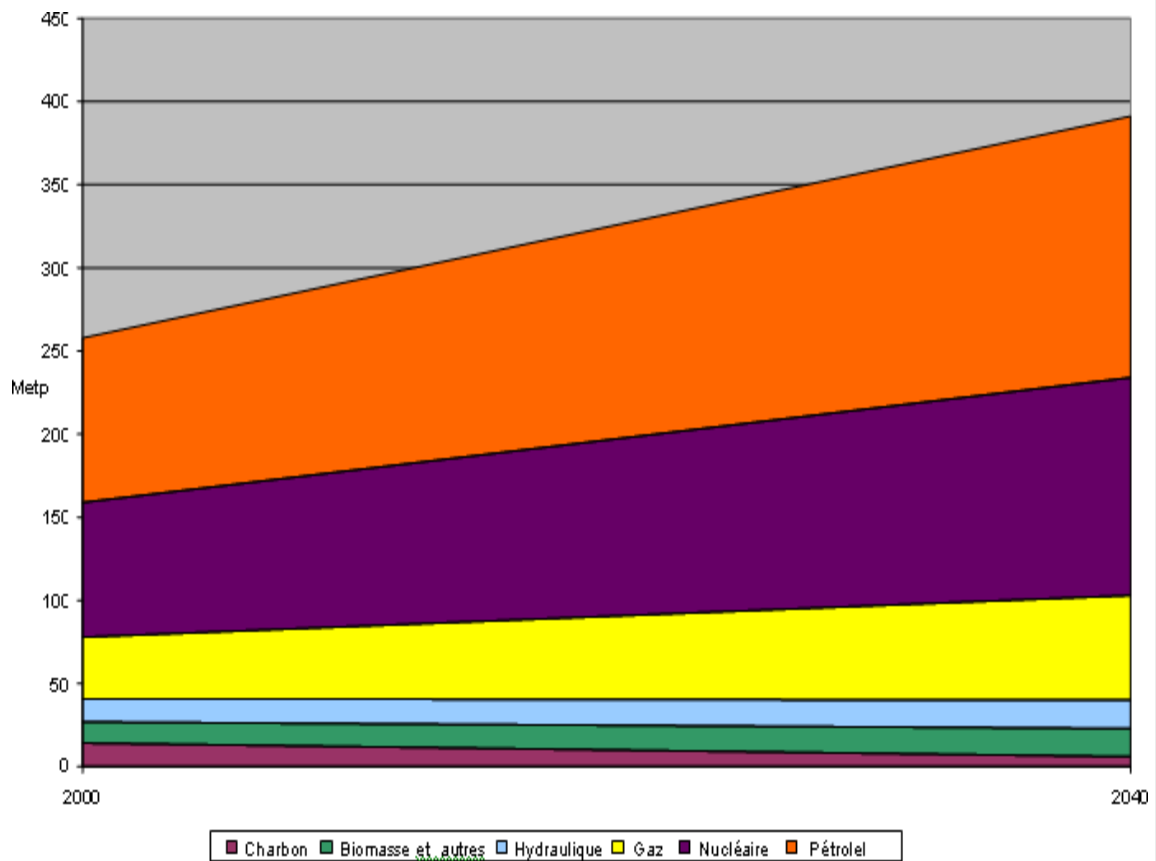


Figure 2 : Projection de la consommation énergétique en 2040 : scénario IEER TE

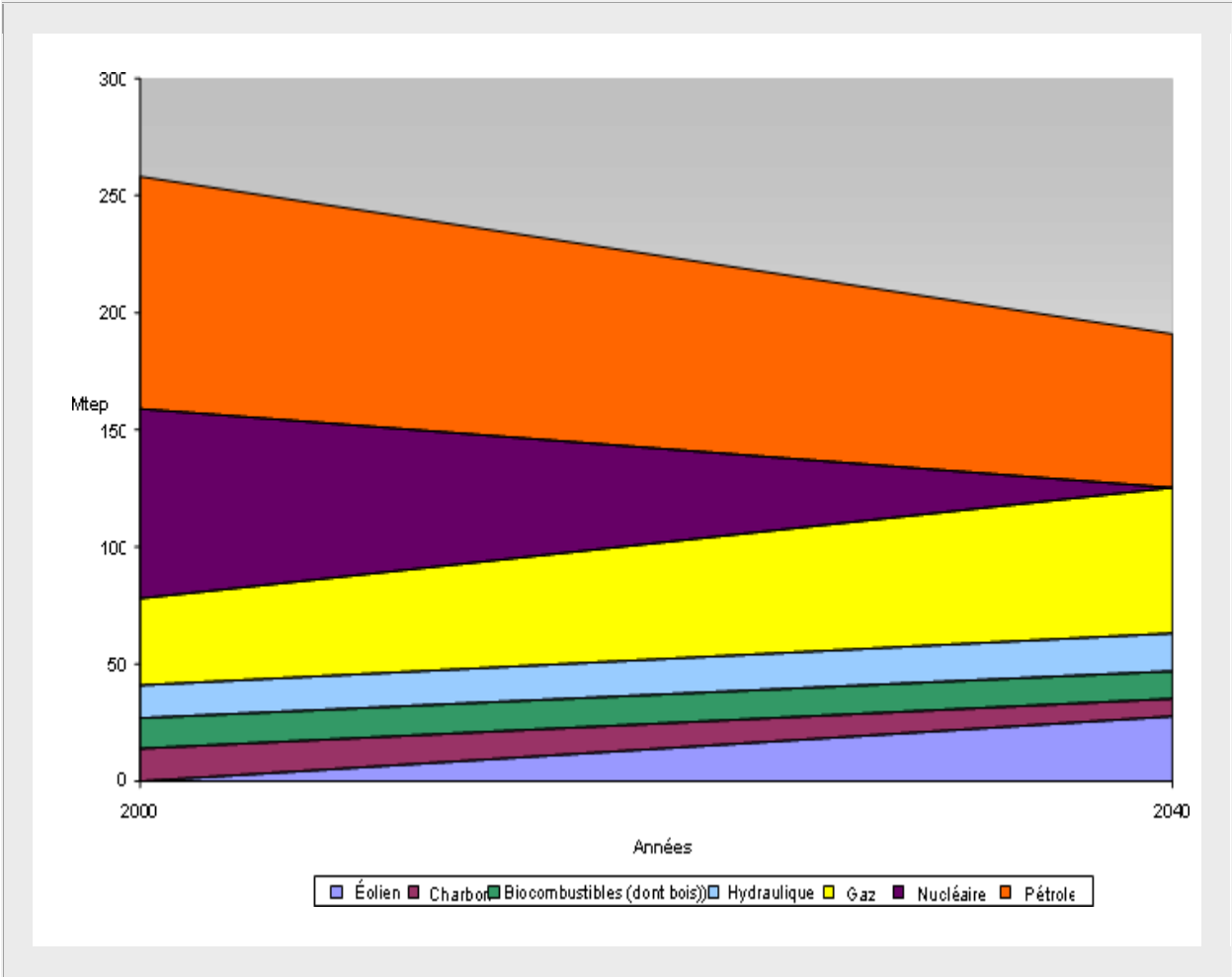


Figure 3 : Projection de la consommation énergétique en 2040 : scénario IEER TA

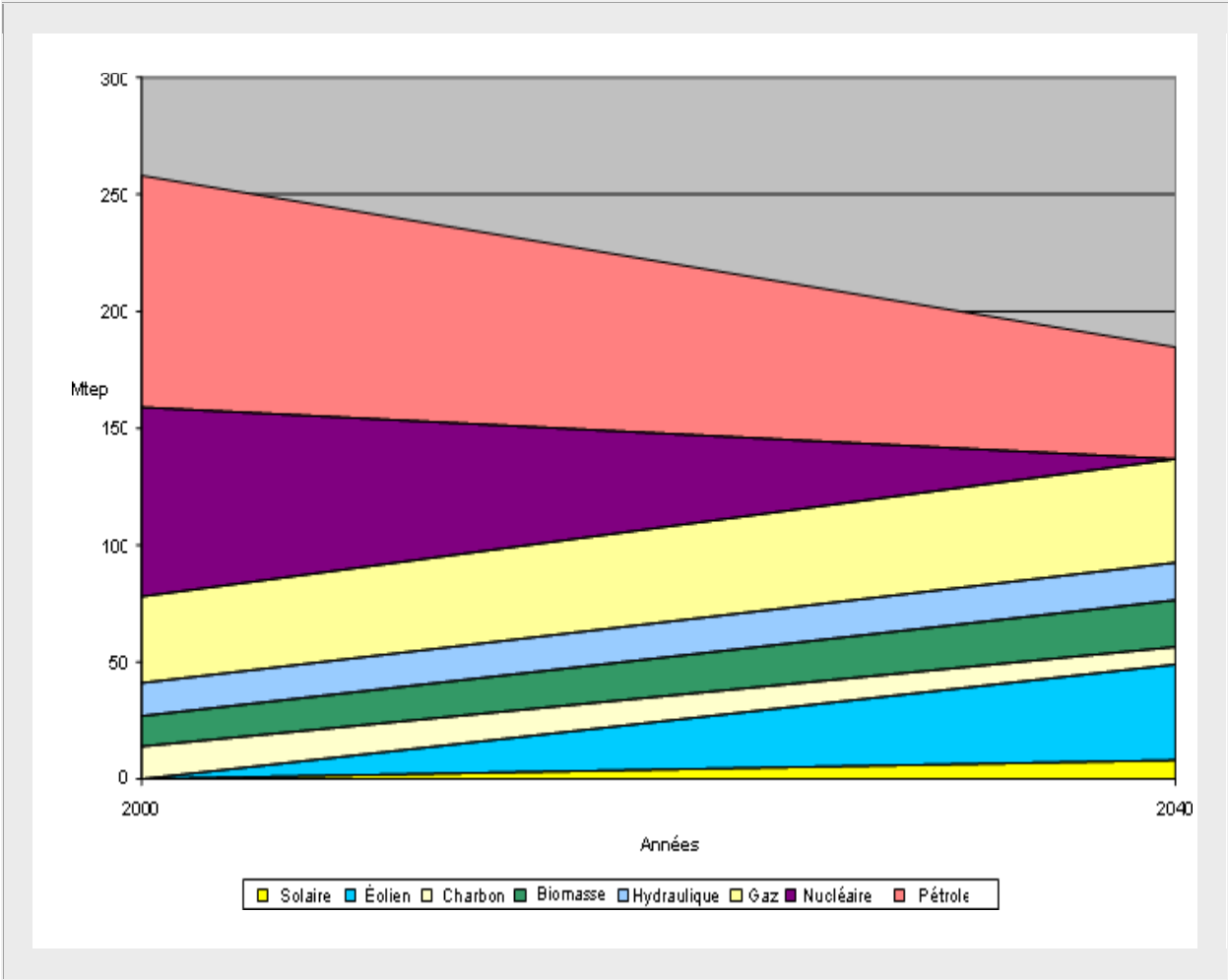
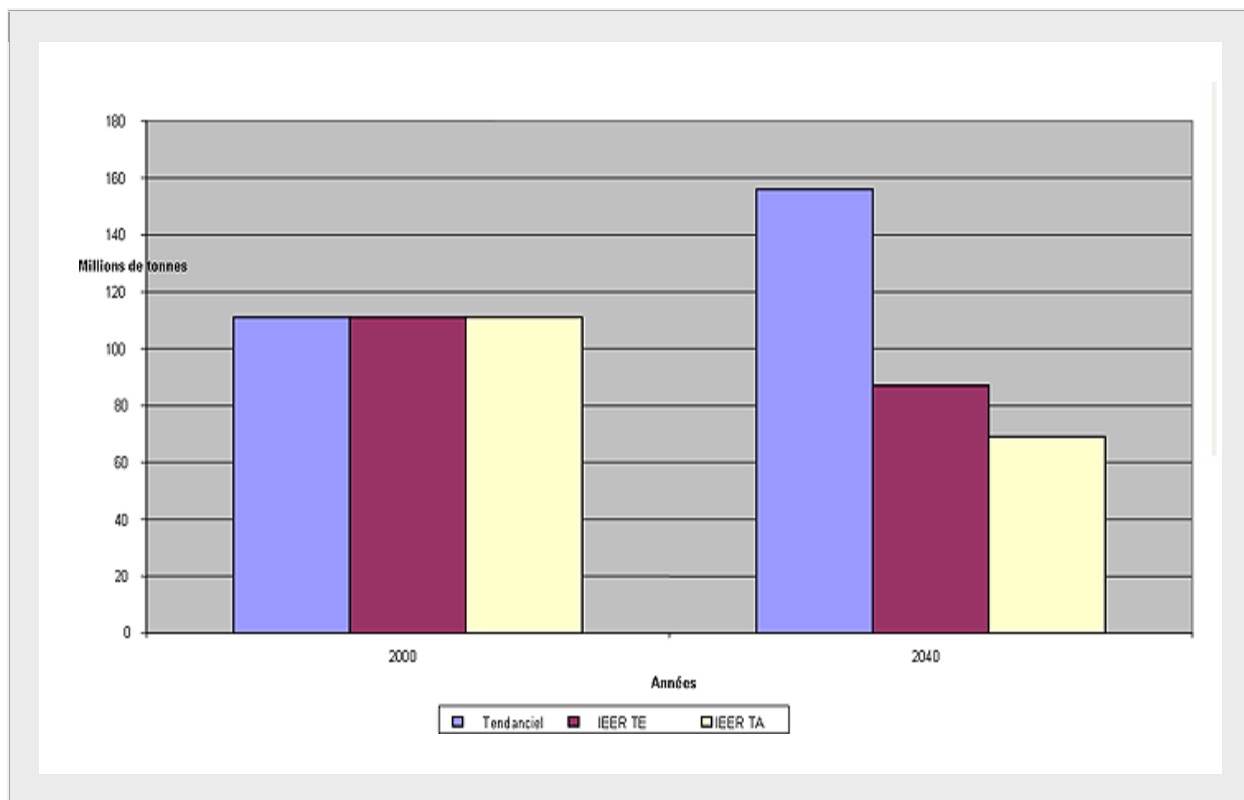


Figure 4 : Comparaison des projections sur les émissions de carbone dans l'ensemble des secteurs : Scénario Tendanciel par rapport aux scénarios IEER TE et TA



Détails du secteur électrique

En fonction des hypothèses technologiques utilisées par le scénario IEER TE pour les différents secteurs, nous estimons que près de 450 TWh (terawatts-heures) d'électricité seraient nécessaires pour fournir le même niveau de services énergétiques que le scénario Tendanciel.⁹ Le Tableau 2 montre les combustibles et la répartition de la production électrique entre ces derniers en 1995 et ceux qui sont nécessaires pour assurer le niveau de services électriques fourni par l'électricité en 2040 selon les projections des scénarios IEER TE et TA. (Comme indiqué plus haut, le niveau de consommation des services énergétiques, comme les transports, le logement, les bâtiments commerciaux, etc. reste le même que dans le scénario Tendanciel, mais les scénarios IEER utilisent moins de combustible et recourent à une technologie plus efficace pour l'utilisation finale.

Tableau 2 : Scénarios IEER TE et TA pour la structure du secteur électrique de la France (en térawatts-heures par année et pourcentage)

Source	1995		Scénario TE 2040		Scénario TA 2040	
	TWh	%	TWh	%	TWh	%
Éolien	0	0	126	28	181	42

Charbon	22	5	0	0	0	0
Biomasse et divers	0	0	40	9	20	5
Hydraulique	76	16	74	17	74	17
Gaz	13	3	204	46	117	27
Nucléaire	359	76	0	0	0	0
Pétrole	2	0	0	0	0	0
Solaire	0	0	<i>(Voir note 1)</i>		35	8
Total	472	100	444	100	427	100 <i>(Voir note 2)</i>

Remarques :

1. Les sources d'énergie comme le gaz de décharge et le solaire sont inclus dans la ligne « Biomasse et divers » pour le scénario TE.
2. Du fait des arrondis le total de la dernière colonne n'est pas égal à 100.

Le caractère intermittent de l'éolien est compensé en prévoyant une utilisation d'énergie hydraulique de pompage. L'eau est repompée dans des bassins de retenue en dehors des heures de pointe lorsqu'il y a un excédent d'énergie éolienne. Il est également prévu d'avoir des capacités de pointe au gaz naturel pour produire une quantité d'électricité égale à 5 % de la production électrique éolienne. Ces deux mesures devraient compenser les déficits dans les périodes où les vitesses de vent sont faibles. Le coût global de ces mesures ne devrait pas aboutir à des coûts de l'éolien supérieurs à ceux de l'électricité nucléaire (voir dans ce même numéro l'article de Brice Smith).

Pétrole et gaz

La consommation de pétrole de la France a été d'environ deux millions de barils-jour en 2000 et les projections du scénario Tendancier prévoient qu'elle devrait dépasser légèrement les trois millions de barils par jour en 2040.¹⁰ Actuellement, environ la moitié du pétrole est consommée dans le secteur des transports, le reste étant essentiellement utilisé pour le chauffage et l'eau chaude dans les secteurs résidentiel, tertiaire et industriel (et une quantité comparativement faible dans l'agriculture), ainsi que comme matière première dans le secteur industriel. Dans les scénarios IEER, la consommation de pétrole sera totalement éliminée dans les secteurs résidentiel et tertiaire, et considérablement réduite dans le secteur industriel où il ne sera plus utilisé que comme matière première.

Une augmentation de l'efficacité énergétique à 100 miles par gallon (2,4 l au 100 kilomètres) dans les vingt ans qui viennent, et la poursuite des améliorations ultérieurement, devraient permettre de réduire les émissions de carbone du secteur des transports de 65 pour cent par rapport au scénario tendancier, en le ramenant à 33 millions de tonnes de carbone. C'est environ 30 pour cent de moins que les émissions de CO₂ du secteur des transports en 2000.

Dans les scénarios de l'IEER, la consommation de gaz naturel est estimée à peu près au même niveau que dans le scénario tendanciel. Le charbon serait éliminé sauf pour la production d'acier.

Globalement, du fait de l'utilisation de l'éolien, de l'hydraulique (au même niveau qu'actuellement) et des améliorations de l'efficacité qui aboutissent à une consommation énergétique inférieure pour des services énergétiques (comme l'éclairage, la réfrigération et les transports) beaucoup plus importants, la proportion de l'énergie produite en France passerait de 15 % en 2000 à environ 25 % (scénario TE) ou plus (scénario TA). La diversification de l'approvisionnement énergétique serait quelque peu améliorée. La dépendance vis-à-vis des importations de pétrole et de gaz se poursuivrait, mais la vulnérabilité par rapport à une perturbation de l'approvisionnement pétrolier serait considérablement réduite du fait de la réduction des importations. Dans le cadre des scénarios de l'IEER, les réserves stratégiques de pétrole dureraient plus longtemps que dans le cas de l'approche tendancielle. Finalement, les vulnérabilités liées au nucléaire seraient en bonne partie éliminées, même si les charges correspondant à la gestion des déchets nucléaires et au démantèlement dureront probablement bien au-delà de 2040. Le problème du démantèlement des installations de retraitement et celles qui y sont liées imposeront, en particulier, des coûts considérables.

Émissions de dioxyde de carbone

La consommation d'énergie dans le scénario tendanciel serait de 390 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep) en 2040. Dans le scénario IEER TE, la consommation est réduite de plus de moitié par rapport au scénario de référence tendanciel, à 191 Mtep. La réduction des émissions de CO₂ dans le scénario IEER TE est d'environ 44 pour cent par rapport au scénario tendanciel. Les réductions des émissions de CO₂ sont relativement inférieures aux réductions de la consommation énergétique, parce qu'une grande partie de la production d'électricité nucléaire a été remplacée par une production au gaz naturel. Toutefois, cette dernière a un très bon rendement (beaucoup plus que le nucléaire), et les émissions de CO₂ par Mtep à partir de l'utilisation de gaz naturel représentent environ la moitié de celles du charbon.

Comparée aux émissions de CO₂ en 2000, la réduction dans le scénario IEER TE est légèrement supérieure à 20 pour cent. C'est important, étant donné notamment qu'il y a aussi un arrêt du recours au nucléaire. C'est toutefois assez modeste comparé à la nécessité de réduire d'environ 80 % les émissions de CO₂ pour parvenir aux objectifs relatifs à la réduction du risque de changement climatique grave.

Dans le scénario IEER TA, la consommation énergétique à 186 Mtep est comparable à celle du scénario TE. Ceci tient au fait que la priorité accordée aux mesures de réduction du CO₂ était largement du côté de l'offre. Dans le cadre du scénario IEER TA, les émissions de CO₂ sont 40 pour cent inférieures à ce qu'elles étaient en 2000, grâce à une mise en œuvre de l'efficacité énergétique et d'un recours aux énergies renouvelables plus importants que dans le scénario IEER TE.

Considérations portant sur la politique énergétique

Même si le choix de technologies permettant d'obtenir d'importantes réductions des émissions

de CO₂ parallèlement à une sortie du nucléaire pose d'importantes difficultés dans le cas de la France, le véritable défi se situe au niveau politique. Les coûts nets de la réduction des émissions de CO₂ peuvent être maintenus à un niveau peu élevé s'ils sont accompagnés des bons choix politiques et du suivi des effets de ces choix. Le déterminant le plus important est d'adopter les bons choix dans les politiques publiques. Il est essentiel d'appliquer des réductions contraignantes des émissions de CO₂ au-delà de ce qui est exigé par le Protocole de Kyoto. La France devra également prendre la décision de sortir du nucléaire. La composante la moins difficile de cette décision devrait être l'élimination du retraitement, qui représente une charge nette considérable pour l'économie française.

Au-delà de ces objectifs nécessaires, nos principales recommandations sont les suivantes.

1. Il faudrait fixer une norme kilométrique de 2,4 litres au 100 kilomètres pour les nouveaux véhicules de tourisme dans les vingt ans qui viennent, avec des améliorations progressives après cela.
2. Une transition vers un réseau électrique distribué devrait être réalisée au cours des quatre décennies qui viennent.
3. Un programme d'achats publics national et régional de 5 milliards d'euros par an, pendant au moins dix ans, devrait être mis en œuvre pour acheter des énergies renouvelables, des pompes à chaleur géothermiques, des automobiles plus efficaces, et d'autres technologies de pointe dont l'efficacité énergétique est supérieure à celle des technologies accessibles sur le marché, de façon à encourager la commercialisation de technologies progressivement plus efficaces et d'énergies renouvelables. Toutes les subventions autres que celles qui sont implicites dans ce programme d'achats publics devraient être éliminées.
4. La France devrait créer un groupe de travail pour étudier les implications fiscales à long terme d'une importante réduction de l'utilisation de l'essence, qui est lourdement taxée. Une option pour les recettes budgétaires consisterait à taxer les nouvelles automobiles ou les autres véhicules à moteur au-dessous de certains niveaux d'efficacité énergétique, qui seraient revus à la hausse au fil des années.
5. La France devrait établir des règlements pour les bâtiments résidentiels et publics existants et nouveaux, qui permettraient une augmentation considérable de l'efficacité énergétique des enveloppes des bâtiments et une utilisation accrue des pompes à chaleur géothermiques et de la cogénération.

LES NOTES BAS DE PAGE

¹ Cet article est basé sur le rapport de l'IEER, *Low Carbon Diet without Nukes in France*, qui peut être téléchargé depuis le site internet de l'IEER www.ieer.org. Les détails sur les références et les scénarios peuvent être trouvés dans le rapport complet.

² Voir par exemple la déclaration du Vice-président américain Dick Cheney citée dans le communiqué de presse de l'IEER concernant la France et les déchets nucléaires, en ligne sur <http://ieer.org/resource/press-releases/vice->

[president-cheney-wrong-about-french-nuclear-repository-program/](#).

³ Pour une étude du programme d'enfouissement français voir Arjun Makhijani et Annie Makhijani, "L'évacuation des déchets à haute activité et à vie longue en France : une évaluation de l'IEER », *Energie et Sécurité* n° 34, 2006. Sur le web : <http://ieer.org/article/energy-security/disposal-of-radioactive-waste-in-france-a-readiness-to-harm-issue-34/>.

⁴ Le sénateur Bérenger cité dans Daniel Yergin. *The Prize: The Epic Quest for Oil, Money, and Power*. New York: Simon & Schuster, 1991. Page 183.

⁵ François-Xavier Ortoli. « Le pétrole: enjeux et défis pour la France. » *Revue des Sciences Morales et Politiques* 151e année, N° 3 (1996). page 295. Cité par Pierre Noël dans « Indépendance énergétique versus marché mondial » (Genoble: Institut d'Etudes Politiques et IEPE, 1999). Sur le Web : www.upmf-grenoble.fr/iepe/textes/Noel19910.PDF. Traduction par Annie Makhijani.

⁶ François Roche. *TotalFinaElf : une major française*. Paris: Le Cherche midi, 2003. Pages 24 and 25.

⁷ Arjun Makhijani. *Plutonium end game: managing global stocks of separated weapons-usable commercial and surplus nuclear weapons plutonium*. Takoma Park, MD. Institute for Energy and Environmental Research, 22 janvier 2001. Sur le web : <http://ieer.org/resource/reports/plutonium-end-game/>

⁸ François Moisan. *Énergie 2010-2020: Rapport de l'Atelier, Trois scénarios énergétiques pour la France*. Paris: Commissariat Général du Plan, Septembre 1998. Président, François Moisan. Rapporteur, Olivier Godard. Résumé sur le web : www.industrie.gouv.fr/energie/prospect/pdf/trois-scenarios.pdf.

⁹ Un terawatt-heure est égal à mille milliards (10^{12}) watts-heures, ce qui correspond à un milliard de kilowatts-heures (10^9 kWh). Un watt-heure est une puissance d'un watt utilisée pendant une heure. Par exemple, une lampe à filament de 40 watts utilise 40 watts-heures d'électricité lorsqu'elle est allumée pendant une heure.

¹⁰ Ces chiffres ont été calculés par l'IEER à partir de données issues de Moisan 1998.

Des risques insurmontables : L'énergie nucléaire peut-elle résoudre le problème du réchauffement climatique ?

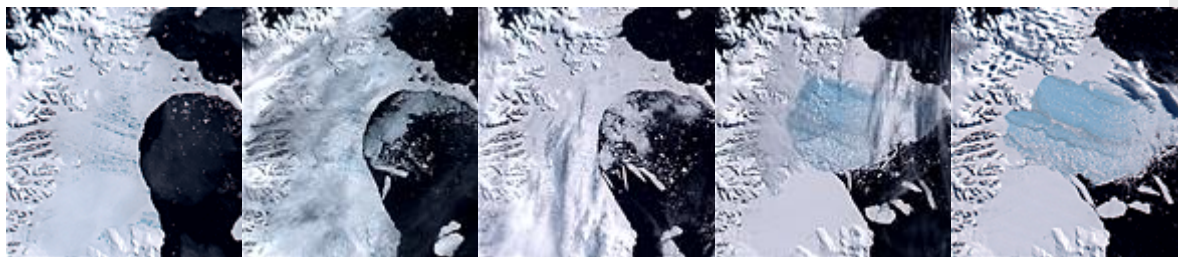
Par Brice Smith¹

Aujourd'hui, le changement climatique représente de très loin, la plus grave vulnérabilité du système énergétique mondial. Même s'il existe des incertitudes importantes, l'impact écologique et humain des conséquences potentielles du réchauffement climatique sont tellement diverses et potentiellement graves que des mesures de précaution immédiates s'imposent.

Comparée aux combustibles fossiles, l'énergie nucléaire émet des niveaux de gaz à effet de serre bien inférieurs même si l'on tient compte de l'extraction, de l'enrichissement et de la fabrication du combustible.² De ce fait, certains en sont venus à croire que l'énergie nucléaire pourrait jouer un rôle dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

L'aspect pratique le plus important, mais rarement pris en considération dans le débat, est le suivant : combien de centrales nucléaires faudra-t-il pour avoir un impact significatif sur les futures émissions de dioxyde de carbone des centrales à combustibles fossiles ? Nous avons envisagé en détail deux scénarios représentatifs pour le futur développement de l'énergie nucléaire. L'hypothèse du taux de croissance de l'électricité est la même pour les deux (2,1 pour cent par an), une valeur comparable à celles prévues dans la plupart des études classiques sur le secteur électrique.

Effondrement de la plate-forme glaciaire Larsen B, Péninsule antarctique



Effondrement de la plate-forme glaciaire Larsen B, Péninsule antarctique. Les chercheurs s'attendaient à ce que cette plate-forme glaciaire, de la taille de Rhode Island, finisse un jour ou l'autre par se réduire, mais ils ont été surpris qu'elle se brise en 35 jours seulement. Au cours des 50 dernières années, la Péninsule Antarctique s'est réchauffée de 2,5 °C, soit cinq fois plus que le reste du monde.

(Crédit photo : Ted Scambos, National Snow and Ice Data Center, <http://earthobservatory.nasa.gov/Study/LarsenIceShelf/>)

Scénarios de croissance nucléaire

Le premier scénario est issu d'une étude de 2003 du *Massachusetts Institute of*

*Technology.*³ Dans ce rapport, les auteurs ont envisagé un « scénario de croissance mondial » correspondant à un scénario de référence de 1 000 gigawatts (GW) de capacité nucléaire installée dans le monde en 2050. Dans la mesure où tous les réacteurs en fonctionnement aujourd'hui seront fermés dès la moitié du siècle, ceci représenterait une augmentation nette d'un facteur trois environ par rapport à la capacité effective actuelle. Pour donner une idée de l'importance de ce chiffre, il faudrait raccorder au réseau mondial un nouveau réacteur tous les 15 jours en moyenne entre 2010 et 2050.

Malgré le développement prévu pour l'énergie nucléaire par ce scénario de croissance mondiale, la proportion d'électricité fournie par les centrales nucléaires n'augmenterait que légèrement, passant d'environ 16 pour cent aujourd'hui à 20 pour cent. Par conséquent, la production issue des centrales à combustibles fossiles continuerait à croître et *les émissions de dioxyde de carbone (le gaz à effet de serre le plus important) issues du secteur électrique continueraient d'augmenter.*

Pour pouvoir envisager un effort plus sérieux de limitation des émissions de carbone par l'utilisation de l'énergie nucléaire, nous avons élaboré un « scénario de croissance à émissions constantes ». En utilisant la même augmentation de la demande que celle prévue dans le rapport du MIT, nous avons calculé le nombre de réacteurs nucléaires qui seraient nécessaires pour simplement maintenir les émissions mondiales de dioxyde de carbone à leur niveau de l'an 2000.

En prenant en compte une série d'hypothèses sur la future contribution des énergies renouvelables et des centrales à gaz, nous sommes arrivés au résultat qu'il faudrait entre 1 900 et 3 300 GW de capacité nucléaire pour maintenir les émissions à un niveau constant. Par souci de simplicité, nous avons retenu le chiffre de 2 500 GW pour l'étude du scénario alternatif. Ce scénario revient grosso modo à faire l'hypothèse que le nucléaire joue à peu près le même rôle dans le secteur mondial de l'électricité en 2050 que le charbon aux États-Unis aujourd'hui.

Pour pouvoir *réduire* considérablement les émissions de dioxyde de carbone, le rythme de construction devrait dépasser une centrale nucléaire par semaine. Nous n'avons pas envisagé de tels scénarios dans la mesure où les dangers liés à l'utilisation de l'énergie nucléaire pour répondre aux émissions de gaz à effet de serre sont suffisamment clairs dans les deux scénarios analysés ici.

Évaluation des scénarios

Étant donné que le temps et les ressources sont limitées, un choix s'impose entre les sources d'électricité. Un effort de développement considérable devrait favoriser certaines aux dépens des autres. La meilleure combinaison d'alternatives variera en fonction des ressources et des besoins aux niveaux local, régional et national. Dans ce choix, les critères suivants devraient servir de points de repère :

1. les différentes options doivent pourvoir apporter une contribution importante à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, une préférence étant donnée à celles qui parviennent le plus rapidement à des réductions ;
2. elles doivent être économiquement compétitives pour faciliter leur entrée rapide sur le

- marché ;
3. elles doivent avoir les effets les plus limités possibles sur l'environnement et la sécurité et elles devraient être compatibles avec une vision à plus long terme pour créer un système énergétique mondial équitable et durable.

C'est dans ce contexte que doit être jugé l'avenir de l'énergie nucléaire.

Sécurité

Le lien entre un développement important de l'énergie nucléaire et la prolifération des armes nucléaires représente probablement le plus grand problème. Pour pourvoir aux besoins du scénario de croissance mondiale ou du scénario de croissance à émissions constantes, la capacité mondiale en enrichissement d'uranium devrait être augmentée d'un facteur deux et demi à six approximativement.⁴ Un pour cent seulement de la capacité d'enrichissement nécessitée par le scénario de croissance mondiale suffirait pour fournir de l'uranium hautement enrichi pour près de 210 armes nucléaires chaque année. Le retraitement du combustible utilisé augmenterait significativement les risques pour la sécurité (voir plus loin).

Les propositions visant à réduire les risques de prolifération des armes atomiques ont peu de chance de réussir dans un monde où les cinq États nucléaires militaires reconnus cherchent à conserver indéfiniment leurs arsenaux. L'institutionnalisation d'un système qui permet à certains États de posséder des armes nucléaires, tout en imposant des inspections intrusives et en restreignant les activités auxquelles peuvent procéder les autres États ne peut être durable. Comme le résume M. Mohamed ElBaradei, le Directeur général de l'Agence internationale de l'énergie atomique :

Nous devons abandonner l'idée impossible selon laquelle il est moralement répréhensible que certains pays cherchent à se doter d'armes de destruction massive, mais acceptable que d'autres en détiennent pour leur sécurité et continuent d'affiner leur capacités et de définir des plans pour les utiliser.⁵

Sans un programme concret et vérifiable d'élimination irréversible des dizaines de milliers d'armes nucléaires existantes, aucune stratégie de non-prolifération n'est susceptible d'être efficace, aussi énergique soit-elle.

Sûreté

L'éventualité d'un accident catastrophique d'un réacteur ou d'une attaque terroriste bien coordonnée auraient comme conséquence le rejet d'une grande quantité de radioactivité constituée un autre danger spécifique à l'énergie nucléaire. Un tel rejet de radioactivité pourrait avoir des conséquences extrêmement graves pour la santé des populations et l'environnement. Une étude réalisée par les Laboratoires nationaux de Sandia, baptisée CRAC-2, a estimé que l'accident le plus catastrophique sur une centrale nucléaire américaine pourrait, pour certains sites, aboutir à des dizaines de milliers de morts immédiates et à long terme et causer des centaines de milliards de dollars de dommages.⁶ Même si l'enceinte de confinement secondaire du réacteur restait intacte, un accident grave serait néanmoins très coûteux. Peter Bradford, un ancien membre de la

Commission de la réglementation nucléaire (américaine) (NRC), résume ainsi la situation :

L'accident de Three Mile Island servi de leçon à Wall Street : un groupe d'exploitants de réacteurs agréés par la NRC, pas plus mauvais que les autres, peuvent en 90 minutes transformer un capital de 2 milliards de dollars en un chantier de décontamination de 1 milliard de dollars.⁷

Malgré l'importance de la sûreté des réacteurs, les évaluations probabilistes de risques utilisées pour estimer la probabilité d'accidents présentent de nombreuses faiblesses méthodologiques qui limitent leur utilité. Tout d'abord, il est particulièrement difficile de gérer les questions d'exhaustivité et la façon de prendre en compte les défauts de conception. Ensuite, certaines difficultés tiennent au fait que l'énergie nucléaire exige à tout moment un niveau de compétence très élevé de la part de l'autorité de sûreté et de l'encadrement, et à tous les niveaux jusqu'aux opérateurs et aux équipes de maintenance. Enfin, le recours accru à l'informatique et aux systèmes numériques a des effets mitigés sur la sûreté, avec des améliorations possibles en fonctionnement normal mais aussi d'éventuels problèmes inattendus pendant des accidents. Compte tenu des incertitudes inhérentes aux analyses de risques, William Ruckelshaus, qui a dirigé l'Agence américaine de protection de l'environnement (EPA) sous les présidents Nixon et Reagan, incitait à la prudence :

Nous devons rappeler que les données d'évaluations de risques peuvent être un peu comme un espion prisonnier : si vous les torturez suffisamment longtemps, il vous dira tout ce que vous voulez leur faire dire.⁸

Durant pratiquement 3 000 années-réacteurs d'expérience dans les centrales nucléaires américaines, il s'est produit une fusion de cœur partielle et un certain nombre de situations où un incident ou une catastrophe a été évité(e) de justesse. À partir de ces chiffres, la probabilité annuelle d'occurrence d'un tel accident est estimée entre 1 sur 8 440 et 1 sur 630.⁹ En utilisant la probabilité moyenne d'accident de 1 sur 1 800 par an, et en retenant l'hypothèse du rapport du MIT selon lequel les futures centrales seront dix fois plus sûres que celles qui sont en fonctionnement aujourd'hui, nous arrivons au résultat que la probabilité qu'il se produise au moins un accident quelque part dans le monde d'ici 2050 serait supérieure à 75 % pour le scénario de croissance mondiale, et supérieur à 90 % pour le scénario de croissance à émissions constantes.

La possibilité que l'opinion publique s'en prenne violemment à l'utilisation généralisée de l'énergie nucléaire à la suite d'un accident constitue une vulnérabilité importante. Si l'énergie nucléaire était en phase d'expansion à ce moment, la pression de l'opinion à la suite d'un accident ne laisserait pas beaucoup d'options. D'un autre côté, si des programmes à long terme d'arrêt du nucléaire étaient déjà mis en place, il y aurait beaucoup plus de choix possibles, qui pourraient être renforcés avec moins de perturbations pour l'ensemble de l'économie.

Combustible usé

La gestion des déchets radioactifs représente une autre difficulté. La présence dans les déchets de plutonium utilisable à des fins militaires complique le problème. Même si la gestion des déchets de faible activité va continuer à poser des difficultés, la principale préoccupation, et de loin,

porte sur la gestion des combustibles nucléaires usés. Les longues périodes radioactives de certains radionucléides présents dans les déchets compliquent la tâche (par exemple : plutonium-239, demi-vie 24 000 ans, technetium-99, demi-vie 212 000 ans ; iode-129, demi-vie 15,7 millions d'années).

D'ici 2050, le scénario de croissance mondiale entraînerait un quasi-doublement du rythme moyen de production du combustible usé, avec des augmentations proportionnellement plus importantes dans le cadre du scénario de croissance à émissions constantes. En supposant une augmentation à un rythme constant, un site de stockage de la capacité de Yucca Mountain (70 000 tonnes) devrait être mis en service dans le monde tous les cinq ans et demi pour accueillir les déchets qui seraient produits dans le cadre de ce scénario de croissance mondiale. Pour le scénario de croissance à émissions constantes, un nouveau site serait nécessaire tous les trois ans en moyenne.

Il serait très difficile de caractériser et de choisir des sites d'enfouissement suffisamment rapidement pour prendre en charge ces déchets. Des recherches se poursuivent depuis plus de vingt ans sur Yucca Mountain, le seul choix privilégié par le Département de l'énergie (DOE) pour un site d'enfouissement depuis 1987. Malgré cet effort, et des dépenses qui s'élèvent à près de 9 milliards de dollars, aucune demande d'autorisation d'exploitation n'a jusqu'ici été déposée. En fait, en février 2006, le Secrétaire à l'énergie Samuel Bodman a admis que le DOE ne peut plus prévoir de date officielle pour l'ouverture de Yucca Mountain du fait des difficultés auxquelles le projet est constamment confronté.

Au niveau international, aucun pays ne prévoit d'avoir un site d'enfouissement en fonctionnement avant 2020, au plus tôt, et tous les programmes de ce type ont connu des problèmes pendant la phase de développement. Même si la capacité par site d'enfouissement est augmentée, l'évacuation en site géologique profond demeurera une vulnérabilité de premier ordre pour un système énergétique nucléaire de grande ampleur.

Les alternatives à l'évacuation par enfouissement ne pourront probablement pas répondre aux difficultés posées par les quantités de déchets qui seraient générées dans le cadre du scénario de croissance mondiale ou du scénario de croissance à émissions constantes. Non seulement les propositions visant au retraitement des combustibles usés ne résoudraient pas le problème des déchets, mais elles augmenteraient considérablement les dangers associés. Les procédés de retraitement sont coûteux et posent un certain nombre de risques graves pour l'environnement, tout en continuant à générer d'importants volumes de déchets destinés à un enfouissement en couche géologique. En outre, le retraitement aboutit à la séparation de plutonium utilisable à des fins militaires, ce qui renforce considérablement les risques de prolifération. Même si les futures technologies de retraitement comme UREX+ ou le pyroretraitement pourraient présenter certains avantages du point de vue de la non-prolifération, elles continueraient de présenter un risque significatif si elles étaient déployées à grande échelle. Dans le cadre du scénario de croissance mondiale, les auteurs de l'étude du MIT estiment qu'il faudrait plus de 155 tonnes de plutonium séparé annuellement pour fournir le combustible MOX (oxydes mixtes) nécessaire. *Un pour cent* seulement de ce plutonium civil suffirait à produire plus de 190 armes nucléaires chaque année.

Les auteurs de l'étude du MIT reconnaissent les coûts élevés et les impacts négatifs du retraitement et, par conséquent, recommandent de ne pas l'utiliser. Ils proposent au contraire un entreposage provisoire et un développement des recherches sur l'évacuation des déchets dans des forages très profonds (« deep borehole disposal »). Il est possible que des forages très profonds s'avèrent une alternative dans des pays qui n'ont que des quantités limitées de déchets. Toutefois, s'engager dans une importante augmentation du taux de production des déchets sur la seule base de la plausibilité d'une option de gestion des déchets à venir reviendrait à répéter l'erreur majeure que l'énergie nucléaire a commise par le passé. Le concept de l'enfouissement dans des excavations en couche géologique remonte au moins à 1957. Toutefois, il s'est avéré très difficile de concrétiser cette idée, et aucun assemblage usé n'a encore été stocké définitivement quelque part dans le monde.

Coûts

Avec des prévisions de coûts se situant entre six et sept cents de dollar par kilowatt-heure (kWh) pour les nouveaux réacteurs, l'énergie nucléaire risque d'être une source d'électricité coûteuse. Les tableaux 1 et 2 reprennent les données de l'étude du MIT et d'une étude réalisée à l'Université de Chicago.¹⁰ Le tableau 1 présente les estimations utilisées pour les coûts d'investissements prévus, les délais de construction et le taux d'intérêt pour le gaz naturel, le charbon et l'énergie nucléaire aux États-Unis. Le Tableau 2 donne des estimations du coût par kilowatt-heure.

Tableau 1 : Comparaison de certaines hypothèses utilisées dans les études du MIT et de l'Université de Chicago

Type de production	Étude MIT (2003)			Étude de l'Université de Chicago (2004)		
	Coût d'investissement instantané (« overnight ») (\$ par kW)	Délai de construction (années)	Taux d'intérêt effectif	Coût d'investissement instantané (« overnight ») (\$ par kW)	Délai de construction (années)	Taux d'intérêt effectif
Gaz naturel	500	2	9,6%	500 à 700	3	9,5%
Charbon	1 300	4	9,6%	1 182 à 1 430	4	9,5%
Nucléaire	2 000	5	11,5%	1 200 à 1 800	7	12,5%

Tableau 2 : Coût actualisé de l'électricité dans les estimations des études du MIT et de l'Université de Chicago

Type de production	Rapport MIT (2003)	Étude de l'Université de Chicago (2004)
--------------------	--------------------	---

Charbon ^a	4,2 cents par kWh	3,3 à 4,1 cents par kWh
Gaz naturel (TGCC) ^b	3,8 à 5,6 cents par kWh	3,5 à 4,5 cents par kWh
Énergie nucléaire ^c	6,7 cents par kWh	6,2 cents par kWh

^a Ces estimations correspondent à des centrales à charbon pulvérisé. Le coût actualisé du charbon dans l'étude du MIT est de 1,30 \$ par million de Btu (MBtu) tandis que le prix moyen du charbon dans l'étude de l'Université de Chicago est 1,02 à 1,23 par MBtu.

^b Ces estimations correspondent à une technologie de turbines à gaz naturel à cycle combiné (TGCC). Le coût actualisé du gaz naturel dans l'étude du MIT se situe entre 3,77 \$ et 6,72 par MBtu. Le prix moyen du gaz naturel dans l'étude de l'Université de Chicago se situe entre 3,39 et 4,46 \$ par MBtu. Le cours récent du gaz naturel a été bien au-dessus du cours « élevé » de combustible utilisé dans ces études. Toutefois, les prix du gaz à long terme devraient rester dans la zone de prix prévue par l'étude du MIT si des politiques sur l'efficacité énergétique, les économies d'énergie et un recours accru au gaz naturel liquéfié sont poursuivies.

^c Le coût d'investissement instantané (overnight) d'une centrale nucléaire dans l'étude du MIT est de 2 000 \$ par kW. Même si l'analyse de l'Université de Chicago prend en compte une fourchette de coûts d'investissement allant de 1 200 à 1 800 \$ par kW, l'estimation inférieure de cette fourchette était tellement loin de ce que l'expérience permet d'escompter raisonnablement aux États-Unis et dans le monde qu'elle ne constitue pas une base crédible pour l'analyse. La valeur médiane de la fourchette de l'Université de Chicago, 1 500 \$ par kW, a été utilisée dans cette analyse.

Même si un certain nombre de réductions éventuelles de coûts ont été envisagées par les promoteurs de l'énergie nucléaire aux États-Unis, il est improbable qu'elles puissent être obtenues sans subventions importantes du gouvernement fédéral. Ceci est d'autant plus vrai que les réductions de coûts devraient être assurées dans le cadre des calendriers extrêmement serrés définis par le scénario de croissance mondiale ou le scénario de croissance à émissions constantes.

Des alternatives prometteuses

Un certain nombre d'énergies alternatives, économiquement compétitives par rapport à la « nouvelle » énergie nucléaire, sont disponibles à court ou moyen terme.¹¹ Le choix entre ces alternatives dépendra principalement de la rapidité avec laquelle elles peuvent être mises sur le réseau et de leur impact relatif en matière d'environnement et de sécurité.

Parmi les options disponibles à court terme pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, les deux plus prometteuses aux États-Unis et dans d'autres zones de l'hémisphère Nord sont l'amélioration de l'efficacité énergétique et le développement de l'utilisation de l'énergie éolienne dans des sites favorables. À environ quatre à six cents de dollar le kWh, l'éolien dans des sites favorables aux États-Unis est déjà compétitif avec le gaz naturel et la nouvelle énergie nucléaire. Avec les priorités pertinentes dans la modernisation des infrastructures de transport et de distribution et dans la façon dont la régulation est assurée dans le secteur électrique, l'éolien pourrait se développer rapidement aux États-Unis. En fait, sans aucun changement majeur dans le réseau existant, l'énergie éolienne pourrait se développer jusqu'à atteindre 15 à 20 pour cent

de l'approvisionnement en électricité des États-Unis, à comparer à moins d'un demi pour cent en 2003, sans impact négatif sur la stabilité globale ou la fiabilité.

Des améliorations dans l'efficacité énergétique pourraient également se poursuivre à moyen terme). Par exemple, au fur et mesure du renouvellement du parc foncier, les bâtiments les plus anciens pourraient être remplacés par des ouvrages plus économes. En outre, l'utilisation de l'énergie éolienne, de cellules solaires en couche mince, d'hydraulique moderne sur les barrages existants et de certains types de biomasse durables pourrait permettre aux renouvelables de représenter une proportion de plus en plus importante de l'approvisionnement en électricité à moyen terme. Cette expansion des renouvelables pourrait être facilitée par le développement d'une combinaison robuste de différentes technologies, le développement de réseaux régionaux renforcés pour aider à stabiliser la contribution de l'éolien et du solaire par une répartition géographique, l'utilisation de systèmes hydrauliques à pompage pour stocker l'électricité en excédent pendant les périodes de faible demande et l'intégration plus étroite de parcs éoliens de grandes dimensions avec une capacité de production thermique au gaz naturel.¹²

Bien entendu la mise en œuvre de nouveaux programmes d'efficacité énergétique et le développement des infrastructures nécessaires pour développer l'utilisation de l'éolien exigeront des efforts importants, cependant ces derniers doivent être comparés aux difficultés qui seraient rencontrées par le redémarrage d'une industrie nucléaire qui n'a pas eu une seule commande aux États-Unis depuis plus de 25 ans et n'a pas ouvert une seule centrale au cours des dix dernières années. En outre, le maintien du système énergétique actuel, basé sur les combustibles fossiles, est très coûteux. Par exemple, l'Agence internationale de l'énergie estime que le montant des investissements dans le pétrole et le gaz entre 2001 et 2030 atteindra près de 6 100 milliards de dollars, dont 72 pour cent iront vers des efforts de prospection de nouveaux sites et de mise en exploitation.



Des panneaux photovoltaïques à l'Oberlin College, Oberlin, Ohio

Des panneaux photovoltaïques à l'Oberlin College, Oberlin, Ohio. Ce bâtiment possède 420 m² de panneaux photovoltaïques, des puits géothermiques en circuit fermé pour le chauffage et la climatisation, et un système de traitement des eaux usées qui s'inspire des écosystèmes des zones humides naturelles.

(Crédit photo : Robb Williamson et NREL)

Technologies de transition

Comparés avec notre système énergétique actuel, les programmes d'efficacité énergétique et d'énergies renouvelables ont peu d'impacts négatifs pour l'environnement ou la sécurité, ils présentent même de nombreux avantages. Par conséquent, ces options doivent être généralisées le plus largement possible. Toutefois, pour stabiliser le climat, il apparaît probable que certaines sources d'énergies obligeant à des compromis plus importants seront aussi nécessaires à titre de technologies de transition.

Les deux stratégies de transition les plus importantes sont le recours à l'importation de gaz naturel liquéfié (GNL) et le développement d'installations de gazéification intégrées à des centrales à cycle combiné (IGCC — *integrated gasification combined cycle*) avec séquestration des émissions de dioxyde de carbone dans des formations géologiques.

Pour la même production d'énergie, les centrales au gaz naturel à cycle combiné émettent environ 55 pour cent de CO₂ en moins que les centrales à charbon pulvérisé. Si des améliorations du rendement et un développement des infrastructures de liquéfaction et de regazéification peuvent stabiliser à long terme le cours du gaz naturel au prix du GNL importé, l'utilisation de centrales au gaz naturel à cycle combiné devrait rester une option économiquement viable pour remplacer des centrales à charbon très inefficaces.

La gazéification du charbon réduirait fortement les émissions de mercure, de particules, de soufre et d'oxydes d'azote résultant de la combustion du charbon. Toutefois, pour être considérée comme une technologie de transition éventuellement viable, elle doit être accompagnée d'une séquestration du carbone, de l'injection et du stockage du CO₂ dans des formations géologiques. Les États-Unis ont acquis une expérience de l'injection de dioxyde de carbone - pour améliorer le taux de récupération du pétrole - qui date d'au moins 1972. En outre, la faisabilité de la séquestration du dioxyde de carbone a été démontrée dans les champs gaziers de Sleipner en Mer du Nord et dans les gisements de gaz naturel d'In Salah en Algérie. Même si les coûts de telles stratégies sont plus incertains que ceux des autres options de réduction, les prévisions de coût pour l'électricité des centrales avec séquestration du carbone se situent néanmoins dans une fourchette de six à sept centimes par kWh.

L'augmentation de l'efficacité et le rapide développement de sources d'énergie alternatives feraient baisser la demande de charbon avec comme conséquence une réduction de certains aspects les plus inquiétants du charbon, comme le rasage du sommet d'une montagne (*mountain top removal*) pour atteindre la veine de charbon. En outre, il semble que la gazéification du charbon et la séquestration du carbone seraient plus adaptées dans les États de l'Ouest, étant donné le meilleur accès aux champs pétroliers et gaziers qui ont déjà été explorés et qui, grâce à une meilleure récupération du pétrole et du gaz, pourraient offrir des avantages économiques supplémentaires. Par contre, les États de l'Est sembleraient plus adaptés à une utilisation accrue du GNL pendant la période de transition, étant donné la capacité de regazéification déjà existante, le réseau de distribution bien développé, et les itinéraires de transport plus courts à partir des Caraïbes, du Venezuela et de l'Afrique de l'Ouest.

La poursuite de l'utilisation des combustibles fossiles pendant la période de transition présenterait de nombreux aspects négatifs. Toutefois, ils doivent être comparés aux dommages potentiellement catastrophiques qui pourraient résulter du changement climatique et aux dangers spécifiques de l'utilisation de l'énergie nucléaire. Risquer une éventuelle catastrophe pour la santé, l'environnement et la sécurité pour échapper à une autre ne relève pas d'une attitude rationnelle pour fonder une politique énergétique.

Aucun système énergétique n'est totalement dépourvu d'inconvénients. Le défi consiste à choisir la « moins mauvaise » combinaison d'options à court et moyen terme, tout en obtenant d'importantes réductions des émissions de CO₂ au niveau mondial et en s'engageant dans le sens d'un développement durable et équitable du système énergétique mondial.

Conclusion

Tout comme la déclaration du Président de la Commission de l'énergie atomique (AEC) Lewis Strauss (prétendant que l'énergie nucléaire serait un jour « trop bon marché pour relever le compteur ») était un mythe bien avant la pose de la première pierre du premier réacteur civil américain, tout comme le lien entre le cycle du combustible militaire et la possibilité de fabriquer des armes nucléaires était largement reconnu avant que le Président Eisenhower n'ait exprimé pour la première fois sa vision d'un programme des « atomes pour la paix », une étude approfondie révèle aujourd'hui que les dépenses et les vulnérabilités liées à l'énergie nucléaire en feraient une option risquée et non viable pour réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Comme le concluent eux-mêmes les auteurs du rapport du MIT :

L'impact potentiel sur le public d'un échec au niveau de la sûreté ou de la gestion des déchets, et le lien avec la technologie des explosifs nucléaires, sont propres à l'énergie nucléaires et la sépare des autres options d'approvisionnement. *Ces caractéristiques et le fait que le nucléaire est plus coûteux, ne permettent pas aujourd'hui de justifier de façon crédible un développement immédiat de l'utilisation de l'énergie nucléaire.*¹³

L'énergie nucléaire est une source d'électricité particulièrement dangereuse, qui donnerait lieu à un grand nombre de risques graves si elle était utilisée à grande échelle. Il est très improbable que l'on puisse surmonter les problèmes de l'énergie nucléaire étant donné le grand nombre de réacteurs nécessaires pour influencer même modestement les émissions de dioxyde de carbone. La naissance de l'industrie nucléaire civile date maintenant de plus de 50 ans et la dernière commande de réacteur nucléaire aux États-Unis remonte à plus de 25 ans.

Il est temps d'abandonner l'option nucléaire pour se concentrer sur des options plus rapides, plus robustes et plus durables pour répondre à la préoccupation écologique la plus urgente. Les alternatives sont disponibles si le public et les décideurs ont la volonté de les concrétiser. Sinon, nos enfants et nos petits-enfants auront à en subir les conséquences.

LES NOTES BAS DE PAGE

¹ Cet article est basé sur le livre de Brice Smith, *Insurmountable Risks: The Dangers of Using Nuclear Power to Combat Global Climate Change* (IEER Press, 2006). Les références détaillées se trouvent dans l'ouvrage qui peut être acheté sur <http://ieer.org/resource/topic/books/>.

² Voir Paul J. Meier, "Life-Cycle Assessment of Electricity Generation Systems and Applications for Climate Change Policy Analysis", Ph.D. Dissertation, University of Wisconsin-Madison, août 2002, en ligne sur <http://fti.neep.wisc.edu/pdf/fdm1181.pdf>; et Uwe R. Fritsche, *Comparison of Greenhouse-Gas Emissions and Abatement Cost of Nuclear and Alternative Energy Options from a Life-Cycle Perspective, Updated Version* (Öko-Institut, Darmstadt, janvier 2006).

³ John Deutch and Ernest J. Moniz (co-chairs) et al., *The Future of Nuclear Power*, une étude interdisciplinaire du MIT, 2003, en ligne sur <http://web.mit.edu/nuclearpower/pdf/nuclearpower-full.pdf>.

⁴ Un réacteur à eau légère typique de 1000 mégawatts (MW) a besoin d'approximativement 100 000 à 120 000 UTS par an de services d'enrichissement pour son combustible. Pour simplifier ce calcul, nous avons supposé que 110 000 UTS seraient nécessaires annuellement pour de futurs réacteurs. (L'UTS, unité de travail de séparation, est une unité complexe qui représente essentiellement la quantité d'effort nécessaire pour parvenir à un niveau donné d'enrichissement.)

⁵ Mohamed El Baradei, "Saving Ourselves from Self-Destruction", *New York Times*, 12 février 2004.

⁶ Jim Riccio, *Risky Business: The Probability and Consequences of a Nuclear Accident*, une étude pour Greenpeace USA, 2001, en ligne sur www.greenpeace.org/raw/content/usa/press/reports/risky-business-the-probabilit.pdf.

⁷ Matthew Wald, "Interest in Building Reactors, but Industry Is Still Cautious," *New York Times*, 2 mai 2005.

⁸ William D. Ruckelshaus, "Risk in a Free Society", *Risk Analysis*, Vol. 4 No. 3, 157-162 (1984), pp. 157–158.

⁹ La fourchette citée représente notre estimation pour l'intervalle de confiance entre 5–95 pour cent pour le taux d'accident moyen (c'est-à-dire qu'il y a 5 pour cent de chance pour que le taux d'accident réel soit supérieur à 1 sur 633 par an et 5 pour cent de chance pour qu'il soit inférieur à 1 sur 8 440 ans.)

¹⁰ *The Economic Future of Nuclear Power*, A Study Conducted at The University of Chicago, août 2004.

¹¹ L'importance du fait que le coût de toutes les alternatives tend à se centrer autour de six à sept cents par kWh a été relevé à l'origine par le Dr Arjun Makhijani.

¹² Le Dr Arjun Makhijani s'est prononcé depuis très longtemps pour des changements dans le système énergétique américain. Pour une analyse des recommandations de l'IEER proposées par le Dr Makhijani sur la façon de faciliter au mieux la diffusion des programmes d'efficacité énergétique et le développement des énergies renouvelables, notamment par des actions au niveau local et au niveau étatique, voir : pp. 181–195 d'Arjun Makhijani et Scott Saleska, *The Nuclear Power Deception* (Apex Press, New York, 1999); pp. 48–57 d'Arjun Makhijani, *Securing the Energy Future of the United States: Oil, Nuclear, and Electricity Vulnerabilities and a post-September 11, 2001 Roadmap for Action*, novembre 2001; and, pp. 7–10 d'Arjun Makhijani, Peter Bickel, Aiyou Chen, et Brice Smith, *Cash Crop on the Wind Farm: A New Mexico Case Study of the Cost, Price, and Value of Wind-Generated Electricity*, préparé pour une présentation devant la North American Energy Summit Western Governors' Association, Albuquerque, Nouveau Mexique, 15–16 avril 2004. Tous sont accessibles sur le site www.ieer.org.

¹³ Deutch and Moniz, op.cit., p. 22 (c'est nous qui soulignons).

De dangereuses anomalies comptables : Du plutonium manquant dans le complexe nucléaire militaire américain ?

Par Arjun Makhijani¹

En 1996, le Département de l'énergie des États-Unis (DOE) a publié un bilan historique sur le plutonium militaire souvent appelé le « 50 Years Report » (« Rapport du cinquantenaire ») parce qu'il contient des données sur les cinquante premières années de la production du plutonium aux États-Unis. Le rapport contient également des données détaillées sur les stocks de plutonium des différents sites du DOE. Dans le cadre de la préparation de cet historique, qui faisait partie de l'Initiative de transparence de la Secrétaire à l'énergie de l'époque, Mme Hazel O'Leary, le DOE a également entrepris un effort pour évaluer la quantité de plutonium contenue dans les déchets générés pendant la production et le traitement du plutonium dès le démarrage du complexe nucléaire militaire pendant le Projet Manhattan.

Au cours de la compilation des données, le DOE a découvert que les inventaires des quantités de plutonium présentes dans les déchets qui apparaissaient dans les documents de comptabilité des matières nucléaires au siège du DOE ne correspondaient pas aux inventaires de plutonium dans les déchets établis par les *Operations Offices* du DOE (les sites). Les écarts étaient dans certains cas considérables, le Laboratoire national de Los Alamos (désigné ci-après par Los Alamos, LANL ou le laboratoire) présentant de loin la plus grande différence. Un mémorandum interne préparé pour la Secrétaire d'État H. O'Leary a indiqué un écart atteignant 765 kilogrammes à Los Alamos, soit de quoi fabriquer environ 150 armes nucléaires.²

Pendant des années l'*Institute for Energy and Environmental Research* (IEER) a exhorté le DOE et Los Alamos à traiter cette question, mais il n'a reçu en réponse que des propos relevant des relations publiques.³ L'IEER a donc entrepris sa propre analyse détaillée du plutonium dans les déchets de Los Alamos, sur laquelle cet article est basé.

Il est à noter que les écarts discutés ici sont différents de ceux qui sont couverts par la rubrique générale des « différences d'inventaire » (*Material Unaccounted For* — MUF), ou un terme équivalent pour la même chose, les « différences stock comptable-stock physique » (*Book-Physical Inventory Differences* — B-PID). Les différences d'inventaires concernant les MUF et les B-PID découlent de facteurs comme des erreurs de mesure ou une rétention imprévue de matières dans les zones de traitement. La présente analyse ne porte pas sur de telles différences d'inventaire. Cet article et le rapport sur lequel il est basé portent sur les écarts qui existent entre deux ensembles de comptes, relatifs à la quantité de plutonium présente dans les déchets. En effet, pour une partie du système comptable sur le plutonium, nous avons affaire à deux ensembles de comptes.

Nous avons principalement découvert que, selon les archives officielles, la différence s'élève à environ 300 kg, ce qui suffirait à la fabrication de 60 bombes nucléaires. La comptabilité des matières à des fins de sécurité à Los Alamos indique que le laboratoire a produit des déchets contenant 610 kilogrammes de plutonium. Cette comptabilité porte le nom de Système de gestion et de garanties pour les matières nucléaires (*Nuclear Materials Management and Safeguards System* — NMMSS). Mais lorsqu'on additionne les différents décomptes de déchets, le total

dépasse à peine 300 kilogrammes.

Ces résultats amènent à se poser certaines questions :

- Qu'est-il arrivé aux quelque 300 kilogrammes de plutonium dans les déchets qui ont été, selon la comptabilité du NMMSS, envoyés dans les déchets mais n'apparaissent pas dans les décomptes des déchets ?
- Ont-ils été enfouis quelque part sur le site pendant les premières décennies de production, la comptabilité des déchets ne les indiquant pas ?
- Sont-ils stockés dans les fûts de déchets qui ont été ou seront envoyés en stockage en formation géologique profonde, dans ce qu'on appelle l'installation pilote de confinement des déchets (*Waste Isolation Pilot Plant*) ?
- Ou bien, les comptes NMMSS sont-ils faux, et la quantité des déchets produits est-elle en fait inférieure à ce qui a été déclaré ?

C'est dans cette dernière hypothèse que les implications pourraient être les plus graves pour la sécurité, parce que cela signifierait que le plutonium qui a été déclaré comme présent dans les déchets la comptabilité principale à des fins de sécurité a pu être détourné à des fins non autorisées. La discordance des chiffres reste inexplicée. Les conséquences éventuelles du point de vue de l'environnement, de la santé et de la sécurité d'une telle anomalie dans l'inventaire de plutonium sont graves.

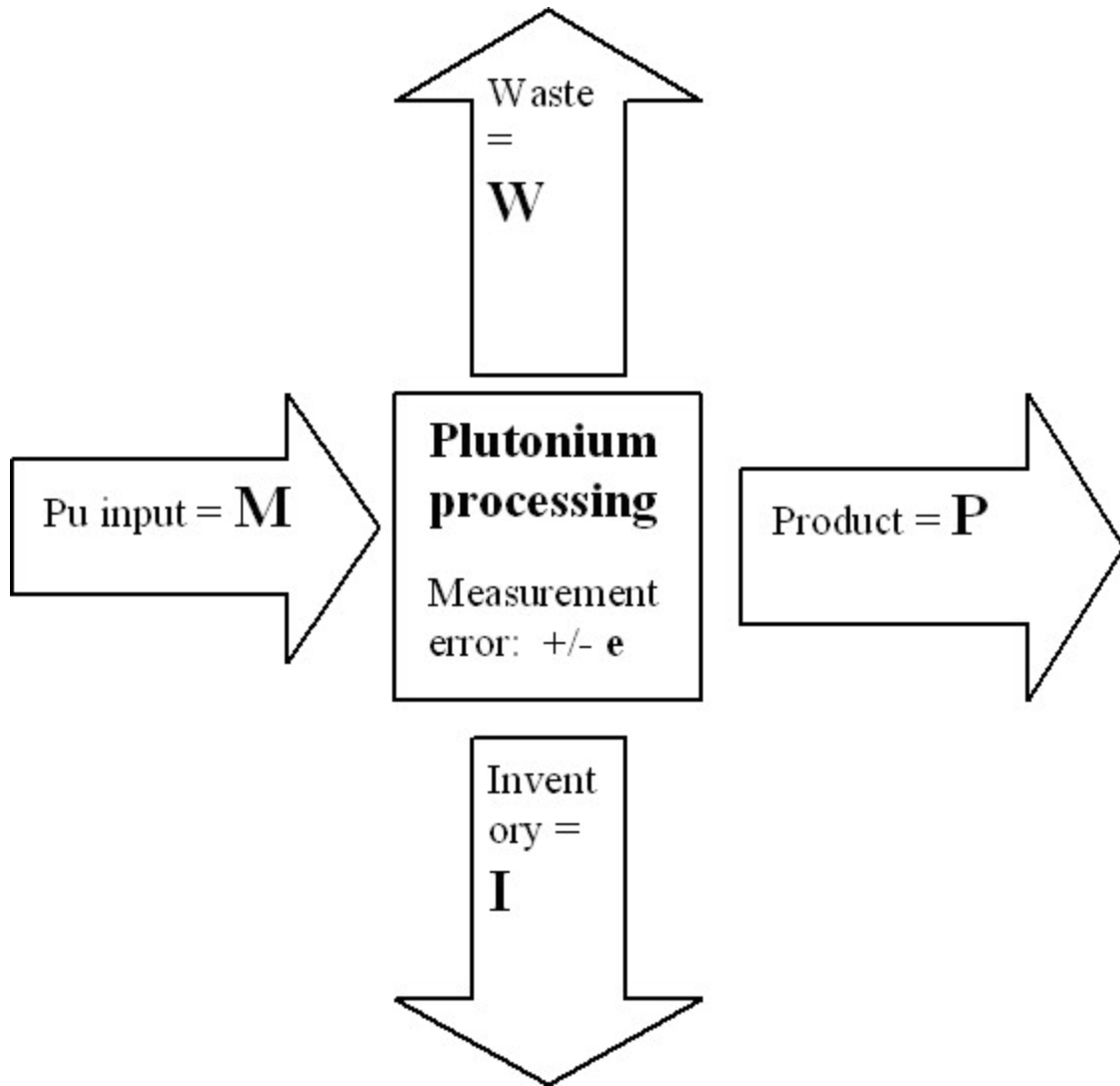
Il est utile de rappeler dans ce contexte que l'Agence internationale de l'énergie atomique a contraint le Japon à des normes comptables très strictes suite à des écarts dans les comptes de plutonium qui s'élevaient à environ 200 kilogrammes. Du fait de ces irrégularités, le Japon a dû se soumettre à des inspections et donner des explications sur ses installations contenant du plutonium. Les États-Unis, en revanche, parce qu'ils sont un État doté d'armes nucléaires, sont dispensés de rendre des comptes dans le domaine nucléaire militaire, en dépit des évidentes implications mondiales en termes de non-prolifération des irrégularités de ses propres comptes de plutonium.

À titre de comparaison, 300 kilogrammes représentent environ sept fois la quantité de plutonium que posséderait la Corée du Nord. Cette quantité a très justement suscité une très grande inquiétude des États-Unis et d'autres pays, ainsi que de l'Agence internationale de l'énergie atomique.⁴

La comptabilité des matières nucléaires

La Figure 1 est un diagramme schématique d'une comptabilité de matières nucléaires, dans ce cas d'un décompte de plutonium militaire. Globalement, la quantité de matière qui entre dans une installation (M) devrait être égale à la quantité qui est expédiée sous forme de produit fini (P), plus la quantité qui part des zones de traitement de sécurité dans les déchets (W), plus la variation de stock sur le site (?I). Tout écart entre la quantité entrant dans l'installation et les autres quantités cumulées devrait se situer dans la fourchette des erreurs de mesures.

Figure 1: Diagramme simplifié indiquant les paramètres de comptabilité des matières



Déchet = W
Pu entrant = M
Traitement du plutonium
Erreur de mesure +/- e
Inventaire = ?I
Produit = P

Équation du bilan matière $M = P + W + ?I + +/- e$

M correspond à la valeur comptable du plutonium reçu. P est la valeur mesurée du produit sortant. W est la valeur mesurée du Pu dans les déchets. ?I est le changement de stock sur le site. Les deux termes de l'équation

doivent correspondre à l'erreur de mesure près, « e » (à un niveau de confiance donné, de 99 pour cent par exemple).

L'écart analysé dans cet article est celui qui existe entre deux valeurs du plutonium dans les déchets (W) : celle qui figure dans la comptabilité pour la sécurité (NMMSS) et celle qui correspond à la somme des valeurs dans la comptabilité des déchets. Les deux doivent correspondre. Mais pour Los Alamos, ce n'est pas le cas, ce qui signifie qu'un des nombres ou les deux sont faux.

Avoir deux ensembles de comptes pour le plutonium dans les déchets revient un peu à avoir deux comptabilités pour le fonds de caisse dans une succursale, une pour les déclarations envoyées au siège (comme le compte NMMSS du plutonium dans les déchets), et une pour la gestion interne dans le magasin (l'équivalent de différents comptes de gestion du plutonium dans les déchets). Si les deux livres comptables ne correspondent pas exactement, cela indique que de l'argent a été dépensé mais n'a pas été entré dans les comptes, ou que de l'argent a été déclaré comme dépensé mais a été en fait détourné illégalement, ou les deux. Dans les deux cas, la situation est préoccupante — ou devrait l'être.

Il devrait y avoir un seul chiffre pour chacune des quantités comptables (matière entrante, produit, déchets, variation de stock). Mais le DOE a deux chiffres pour le plutonium contenu dans les déchets (W) :

1. L'un correspond à la quantité de plutonium dans les déchets telle qu'indiquée dans le système de comptabilité des matières à l'intérieur du périmètre de sécurité où est reçu, entreposé, traité et expédié le plutonium sous une forme utilisable à des fins militaires. Ce système comptable est officiellement appelé Système de gestion et de garanties pour les matières nucléaires (*Nuclear Materials Management and Safeguards System* — NMMSS). Il représente la comptabilité principale pour les matières nucléaires, y compris pour le plutonium dans les déchets, pour s'assurer qu'une partie n'est pas détournée de façon non autorisée.
2. L'autre chiffre correspond à la quantité de plutonium contenue dans les déchets telle qu'elle est indiquée par le département de la gestion des déchets du LANL qui reçoit les déchets contenant du plutonium envoyés par les zones de traitement et d'entreposage. Les déchets sont expédiés à l'extérieur des périmètres de sécurité une fois que le plutonium militaire est dilué jusqu'à un niveau qui ne permet plus une extraction et une purification facile pour une utilisation militaire. Nous appellerons ce chiffre la comptabilité déchets.

La quantité de plutonium devrait normalement être la même dans les deux comptabilités. Ceci veut dire que la quantité de plutonium qui entre dans la comptabilité NMMSS en tant que déchet doit être la même que celle que l'on pense être possédée par le département de la gestion des déchets, dans la mesure où ces déchets sont les mêmes que ceux qui sont sortis des zones de sécurité.

Le fait que les deux chiffres ne correspondent pas à Los Alamos (et sur certains autres sites) a créé un certain émoi à l'intérieur du DOE, qui a mis en place un « groupe de travail pour étudier les différentes méthodes comptables pour les données sur le plutonium, pour résoudre les différences entre ces méthodes, et pour formuler des recommandations quant au bien-fondé de changements dans la façon dont le Département assure un suivi de ses stocks de plutonium.

»⁵ Ceci traduit la gravité que le DOE lui-même accordait à ces écarts en 1996, quand les stocks de plutonium et les comptes ont été rendus publics.

Le groupe de travail n'a toutefois pas produit de rapport public. Autant qu'on puisse le savoir, il n'a même rédigé aucun rapport. L'IEER a donc réalisé sa propre analyse en utilisant les données les plus récentes établies par le DOE.

Le Tableau 1 illustre l'écart entre les quantités de plutonium rejetées dans les déchets telles qu'indiquées dans la comptabilité de la gestion des déchets d'une part et d'autre part telles qu'elles apparaissent dans la comptabilité NMMSS. Pour rendre compte des incertitudes, nous avons fait deux estimations, sur la base des données officielles, des quantités de plutonium présentes dans le sol en subsurface⁶ à Los Alamos, 100 kilogrammes et 140 kilogrammes. La seconde colonne de chiffres dans le Tableau 1 correspond aux déchets évacués vers l'Installation pilote de confinement des déchets (WIPP) et à ceux qui sont entreposés à Los Alamos en attente d'une évacuation vers la WIPP. Le total de tous ces éléments, dont différents documents officiels indiquent la présence dans la comptabilité des déchets, se situe entre 300 kilogrammes (estimation réaliste) et 340 kilogrammes (estimation haute).

Dans la mesure où la comptabilité NMMSS signale que 610 kilogrammes de plutonium ont été expédiés sous forme de déchets hors du périmètre de sécurité, il y a un écart important évident. L'estimation basse pour cet écart est de 270 kilogrammes, l'estimation plus réaliste se situant autour de 310 kilogrammes. L'estimation haute de l'IEER pour cet écart est de 350 kilogrammes.

Tableau 1 : Plutonium 239/240 dans la comptabilité déchets de Los Alamos et dans la déclaration des déchets de la comptabilité NMMSS, et écarts

	Total en subsurface au LANL	Au WIPP ou destinés à y être expédiés	Total comptabilité déchets	Déclaration déchets dans comptabilité NMMSS	Écart
Estimation haute	140	200	340	610	270 (estimation basse)
Estimation plus réaliste	100	200	300	610	310 (plus réaliste)

Remarque : Tous les chiffres sont en kilogrammes, arrondis à la dizaine de kilogrammes la plus proche.

Nous avons également étudié les évaluations annuelles des rejets de déchets qui étaient inscrits dans la comptabilité NMMSS. La comptabilité des matières de l'installation servant à la sécurité (correspondant au schéma simplifié de la Figure 1) est effectuée chaque année et, de ce fait, les quantités de plutonium rejetées dans les déchets doivent également être déclarées chaque année. Le Tableau 2 indique les rejets annuels de plutonium dans les déchets dans la comptabilité NMMSS. Il est à remarquer que le nombre figurant dans la ligne 1968 est un cumul jusqu'à cette

date.

Tableau 2 : Pertes opérationnelles de plutonium au Laboratoire national de Los Alamos (en kilogrammes)

Année	Pertes annuelles	Pertes cumulées
Jusqu'en 1968	4,3	4,3
1969	1,3	5,6
1970	0,3	5,9
1971	0,2	6,1
1972	0,4	6,5
1973	0,7	7,2
1974	5,3	12,5
1975	5,0	17,5
1976	4,6	22,1
1977	4,2	26,3
1978	8,2	34,5
1979	13,1	47,6
1980	20,0	67,6
1981	22,1	89,7
1982	55,1	144,8
1983	69,7	214,5
1984	78,9	293,4
1985	92,4	385,8
1986	84,8	470,6
1987	24,7	495,3
1988	26,9	522,2
1989	28,8	551,0
1990	18,9	569,9
1991	2,0	571,9
1992	4,6	576,5

1993	24,9	601,4
1984	8,6	610,0

Source: U.S. Department of Energy. *Plutonium: The First 50 Years: United States Plutonium Production, Acquisition, and Utilization from 1944 to 1994*. Washington, DC: DOE, Février 1996, p. 57 (Tableau 9). Sur le Web : www.fas.org/sgp/othergov/doe/pu50y.html.

Selon la comptabilité NMMSS pour le plutonium dans les déchets, reproduite dans le Tableau 2, la grande majorité du plutonium, un peu plus de 560 kilogrammes sur un total de 610 kilogrammes, a été rejetée dans des flux de déchets dans les années 1980 et 1990, dont plus de 500 kilogrammes pour les seules années 1980. Les archives sur les déchets transuraniens montrent que l'enfouissement sur le site d'importantes quantités de plutonium dans les déchets s'est arrêté en 1979. La comptabilité des déchets du WIPP, dont l'exactitude a été certifiée par l'EPA en 2004 et à nouveau en 2005,⁷ fait apparaître un total d'environ 200 kilogrammes de plutonium seulement dans les déchets entreposés au LANL ou qui ont été transportés du LANL au WIPP. Donc, si la comptabilité des déchets du NMMSS de Los Alamos, apparaissant dans le Tableau 2, est correcte, alors une erreur importante, d'environ 360 kilogrammes (560 moins 200), doit exister dans les comptes du WIPP.

L'IEER a obtenu la confirmation par M. l'Ambassadeur Linton Brooks, Administrateur de l'Administration nationale de sécurité nucléaire (NNSA), qui fait partie du DOE, que « le Département de l'énergie a une confiance absolue dans les informations qui figurent dans les systèmes de comptabilité de l'installation et le NMMSS. »⁸ Parallèlement, Mme Bonnie Gitlin, directrice intérimaire de la Division de la radioprotection de l'Agence américaine de protection de l'environnement (EPA), nous a affirmé que les données du WIPP sur les déchets respectaient les spécifications techniques et juridiques nécessaires à une expédition au WIPP.⁹ Ces spécificités juridiques et techniques ne permettent pas des incertitudes aussi importantes qui pourraient, par exemple, entraîner des risques imprévus de criticité. Dans la mesure où quelques kilogrammes de plutonium seulement peuvent être à l'origine de tels risques, un écart de plusieurs centaines de kilogramme est a priori inacceptable. Mais la comptabilité NMMSS suppose clairement qu'il doit y avoir environ 360 kilogrammes de plutonium de plus dans les déchets du WIPP que ne le font apparaître les données du WIPP jusqu'à aujourd'hui.

Donc, si les comptes NMMS sont corrects, les comptes du WIPP doivent être faux. Ceci signifie que le processus de caractérisation et de certification des déchets du WIPP présente de sérieuses lacunes, puisqu'il passe à côté de plus de la moitié du plutonium que la comptabilité NMMSS indique comme présent dans les flux de déchets des années 1980 et 1990, quand ces déchets ont presque tous été entreposés de manière réversible pour un stockage ultérieur au WIPP.

En bref, il y a une incompatibilité fondamentale entre la comptabilité du WIPP qui a été certifiée comme respectant les critères juridiques et techniques de l'EPA, et celle du NMMSS que la NNSA considère comme complètement fiable. Ces deux assertions ne peuvent être vraies en même temps. En fait, l'une d'entre elles doit être fausse. Et bien sûr, il est possible que les deux soient fausses.

Si les comptes du WIPP présentent une erreur qui atteint 360 kilogrammes, ceci signifie un échec flagrant du processus de certification pour les déchets transuraniens à Los Alamos. L'IEER, en collaboration avec le *Southwest Research and Information Center*, a appelé l'EPA à suspendre tout nouveau transport de Los Alamos au WIPP tant que les écarts sur les quantités de plutonium ne reçoivent pas une explication satisfaisante. L'IEER a également demandé à la NNSA de poursuivre ses recherches sur la question. Enfin, l'Inspection générale du DOE a accepté d'accepter l'analyse de l'IEER à titre de plainte. Mais il a décidé de ne pas procéder à un audit complet et de s'en tenir à la déclaration de l'Administrateur de l'Administration nationale de la sécurité nucléaire affirmant que la comptabilité des matières nucléaires pour les garanties est correcte.

Il est possible que des quantités beaucoup plus importantes de déchets aient été enfouies sur le site avant les années 1970, alors que des déchets contenant d'importantes concentrations en plutonium étaient conditionnés dans des conteneurs rudimentaires et enfouis dans des fosses et des tranchées. C'était alors la pratique habituelle dans l'ensemble du secteur nucléaire militaire. La catégorie spéciale « déchets transuraniens » destinés à l'évacuation en site géologique a été créée à la suite du scandale causé par l'important incendie de plutonium à Rocky Flats en 1969. (Los Alamos a continué à enterrer des déchets transuraniens après cette date, jusqu'en 1979, avec l'idée qu'ils seraient ensuite récupérés ; cette hypothèse s'est finalement révélée fausse.) Des communications officielles tout comme des avis informels ont laissé entendre que le plutonium manquant devait se trouver dans les déchets qui ont été enfouis dans les deux ou trois premières décennies. Toutefois, cette explication est loin d'être convaincante.

Tout d'abord, l'estimation de la quantité cumulée de plutonium dans les déchets enfouis jusqu'à 1979 ne représente que 47,6 kilogrammes dans la comptabilité NMMSS (Tableau 2). Deuxièmement, ce chiffre correspond de très près à ce qui figure dans la base de données pour les déchets transuraniens produits par le DOE en 1999 et 2000. Cette partie de la base de données qui donne des précisions sur les déchets de Los Alamos indique qu'environ 50 kilogrammes de plutonium ont été évacués dans les déchets enfouis pendant la période précédant le stockage réversible des déchets transuraniens. Les décomptes de déchets enterrés sont donc les seuls pour lesquels les données de la comptabilité déchets et les données de la comptabilité sécurité correspondent. Ceci ne veut pas dire que les données sur les déchets enfouis sont correctes, mais il est peu probable qu'elles soient très erronées.¹⁰ Finalement, si les déchets enfouis contiennent 360 kilogrammes de plutonium (la quantité approximative nécessaire pour expliquer l'écart) de plus que ce qui est actuellement attribué aux déchets enfouis, cela signifierait aussi que la comptabilité NMMSS est fautive puisqu'elle ne fait apparaître que 47,6 kilogrammes dans ces déchets.

Ceci vient renforcer la conclusion que la comptabilité du WIPP ou celle du NMMSS est fautive. Dans les deux cas, les implications sont très graves. Bien sûr, les deux pourraient être fautes, les implications étant alors encore plus graves.

Déchets plutonifères par kilogramme traité

Pour mieux comprendre si la comptabilité des déchets peut être fautive, nous avons effectué une comparaison entre les déchets générés par kilogramme de plutonium traité à Los Alamos et ceux

issus de l'exploitation du site de Rocky Flats, où environ 70 000 cœurs fissiles de plutonium ont été fabriqués pendant la Guerre froide. Ceci signifie qu'entre 230 000 et 280 000 kilogrammes de plutonium ont été traités à Rocky Flats. La quantité totale de plutonium présente dans les déchets générés à Rocky Flats est estimée à un peu moins de 5 600 kilogrammes. Environ 2 à 2,4 pour cent du plutonium traité à Rocky Flats a donc été rejeté dans les déchets.

Il est plus difficile d'estimer la quantité totale du plutonium traité à Los Alamos. Environ 600 cœurs fissiles au plutonium y ont été fabriqués au cours des cinquante dernières années, représentant 2 000 à 2 400 kilogrammes de plutonium. Environ 100 kilogrammes ont été utilisés dans des engins pour des essais hydronucléaires ou autres. Il y a eu diverses autres expériences et activités avec du plutonium à Los Alamos, mais les quantités impliquées étaient généralement très faibles. À partir de là, il semble qu'une valeur d'environ 3 000 kilogrammes paraît raisonnable pour la quantité de plutonium traitée à Los Alamos.

Si l'on considère que le chiffre de 3 000 kilogrammes pour le plutonium transformé en engins à Los Alamos est proche de la réalité, alors la présence de 610 kilogrammes de plutonium dans les déchets signifierait que, en moyenne, environ 20 pour cent du plutonium traité à Los Alamos s'est retrouvé dans les déchets. En d'autres termes, Los Alamos rejetait dans ses déchets huit à dix fois plus de plutonium que Rocky Flats par unité de plutonium traité. Étant donné la répartition des déchets pendant les différentes décennies, le chiffre dans les années 1980 a été probablement beaucoup plus élevé.

Il est possible qu'il y ait eu à Los Alamos dans les années 1980 des activités impliquant le traitement de grandes quantités de plutonium qui n'auraient pas été intégrées dans l'estimation des 3 000 kilogrammes décrite plus haut. Toutefois, si la production de déchets avait été comparable en pourcentage à celle de Rocky Flats, la quantité totale du plutonium traité dans les années 1980 aurait été de l'ordre d'environ 20 000 à 25 000 kilogrammes. Même si un tel chiffre est possible, il semble plutôt improbable. Si la comptabilité NMMSS est correcte, des centaines de millions de dollars de plutonium ont été envoyés dans les déchets dans les années 1980 à des taux de perte par unité de production qui ont probablement été beaucoup plus élevés qu'à Rocky Flats.

Implications en termes de sécurité

L'analyse ci-dessus laisse clairement entrevoir la possibilité que la comptabilité NMMSS soit fautive, notamment pour les années 1980. Si tel est le cas, les implications en termes de sécurité pourraient être graves. Il serait stupéfiant d'arriver à la conclusion que le problème est une incapacité à tenir une comptabilité des matières pour le plutonium au point que des centaines de kilogrammes auraient pu être détournés. L'IEER n'est pas encore arrivé à cette conclusion. Il est tout à fait possible que la comptabilité du WIPP soit nettement erronée et ceci doit être soigneusement examiné. Si les comptes du WIPP ne sont pas faux, alors ceux du NMMSS doivent l'être. Dans ce cas, il serait absolument nécessaire d'engager une enquête de sécurité pour savoir ce qui est arrivé aux centaines de kilogrammes de plutonium qui sont maintenant indiqués comme envoyés dans les déchets.

Conclusion

En 1996, le Secrétaire à l'énergie de l'époque, Mme Hazel O'Leary, a pris une décision courageuse et clairvoyante en rendant publiques les données américaines sur la production et le stockage de plutonium militaire. Si elle ne l'avait pas fait, ces anomalies comptables n'auraient jamais été mises en lumière. Étant donné la similitude des techniques et des attitudes dans les différents lobbies nucléaires militaires sur beaucoup de questions ,¹¹ il est très improbable que la situation globale soit meilleure dans d'autres pays, même s'il peut bien sûr y avoir quelques différences. L'analyse reprise dans cet article montre que de tels écarts de comptabilité peuvent avoir des implications gravissimes du point de vue de la sécurité si elles ne sont pas étudiées et expliquées. S'assurer que la comptabilité des matières fissiles est correcte et que ces dernières n'ont pas été détournées nécessite des déclarations comparables d'autres pays dotés d'armes nucléaires (Russie, Chine, Grande-Bretagne, France, Israël, Inde, Pakistan et Corée du Nord) pour le plutonium et l'uranium fortement enrichi.¹²

Principaux résultats

1. Il existe d'importants écarts entre les comptabilités de matières nucléaires pour le plutonium militaire contenu dans les déchets au Laboratoire national de Los Alamos (LANL). Une analyse des données officielles indique que le plutonium manquant correspond à environ 300 kilogrammes, soit une quantité suffisante pour fabriquer environ 60 bombes nucléaires. On ne sait pas si le plutonium a été enfoui à l'intérieur des déchets, envoyé à l'Installation pilote de confinement des déchets (WIPP), ou s'il a été détourné.
2. Si une grande partie, ou la plupart de ce plutonium a été évacué sous forme de déchets de faible activité enfouis, les déclarations annuelles sur le plutonium perdu dans les déchets, qui apparaissent dans la comptabilité NMMSS pour la sécurité, sont fausses.
3. Si le plutonium manquant est en réalité présent dans les déchets qui sont entreposés et destinés à être envoyés au WIPP, ou sont déjà au WIPP, alors la caractérisation des déchets du WIPP est incorrecte et la certification de ces déchets pour l'expédition au WIPP est gravement déficiente.
4. Si les comptes du WIPP sont corrects, alors les importantes quantités de plutonium qui sont indiquées dans la comptabilité NMMSS comme éliminées à travers les déchets dans les années 1980, doivent être fausses.
5. À la lumière de ce qui précède, il est clair que les estimations du WIPP sur le plutonium dans les déchets sont fausses d'au moins 360 kilogrammes ou qu'une partie au moins de la comptabilité NMMSS est fausse. Les deux peuvent être fausses.

Principales recommandations

1. L'EPA devrait suspendre les expéditions de déchets transuraniens de Los Alamos au

WIPP tant que les anomalies de comptabilité ne reçoivent pas une explication satisfaisante.

2. L'Inspecteur général du DOE devrait enquêter sur les écarts dans les inventaires de plutonium au moyen d'un audit complet.
3. La NNSA et l'EPA devrait déterminer conjointement lequel de leurs comptes sur les déchets plutonifères est erroné et rendre publics les résultats de leur enquête.
4. Les États-Unis devraient considérer comme une priorité diplomatique de premier ordre d'inciter les autres pays disposant de stocks d'uranium enrichi et de plutonium à les déclarer de la même manière que ce qui a été fait par l'ancienne Secrétaire à l'énergie Hazel O'Leary. Ces déclarations devraient faire figurer les estimations du plutonium rejeté par le biais des flux de déchets solides et des rejets atmosphériques et liquides.

LES NOTES BAS DE PAGE

¹ Cet article est basé sur le document *Dangerous Discrepancies: Missing Plutonium in Los Alamos National Laboratory Waste Accounts*, Institute for Energy and Environmental Research, 21 avril 2006. Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une subvention accordée par le Citizens' Monitoring and Technical Assessment Fund, administré par RESOLVE, Inc. Les références détaillées figurent dans le rapport qui se trouve en ligne sur <http://ieer.org/resource/commentary/plutonium-discrepancies-nuclear/>. On pourra également y trouver des informations précises sur certains résultats présentés ici mais qui ne sont pas expliqués en détail.

² Guimond, R.J. et E.H. Beckner, *Memorandum on Plutonium in Waste Inventories*, U.S. Department of Energy, 30 janvier 1996, sur <http://ieer.org/resource/audiovideo/plutonium-discrepancies-nuclear/>.

³ Pour des informations détaillées sur le travail de l'IEER, voir <http://ieer.org/resource/audiovideo/plutonium-discrepancies-nuclear/>.

⁴ Selon les estimations les plus récentes, le stock de plutonium de la Corée du Nord se situait entre 40 et 55 kilogrammes au milieu de l'année 2005 (Institute for Science and International Security). L'émotion internationale était déjà vive lorsqu'on estimait que le stock de plutonium de la Corée du Nord était de l'ordre de 20 à 30 kilogrammes.

⁵ Guimond et Beckner 1996, *op. cit.*

⁶ Le sous-sol comprend l'enfouissement à faible profondeur, l'évacuation sur site à plus grande profondeur, et les résidus sur site du plutonium utilisé dans différentes sortes d'essais comme des essais hydronucléaires, qui ne sont pas des explosions nucléaires en vraie grandeur.

⁷ Lettre de Bonnie Gitlin à Arjun Makhijani, 2 mai 2006, sur le Web : <http://ieer.org/resource/audiovideo/plutonium-discrepancies-nuclear/>.

⁸ Lettre de Linton Brooks à Arjun Makhijani, le 28 février 2006, disponible sur le web à l'adresse : <http://ieer.org/resource/audiovideo/plutonium-discrepancies-nuclear/>.

⁹ Gitlin, *op. cit.*

¹⁰ Une partie du plutonium manquant a aussi pu être rejetée à travers les effluents atmosphériques et liquides à des quantités supérieures à celles qui sont indiquées dans ces comptes. Toutefois, généralement, beaucoup plus de matières radioactives sont présentes dans les déchets solides que dans les effluents gazeux ou liquides. Par ailleurs, les plus grandes quantités de déchets dans les comptes déchets NMMSS se situent dans les années 1980 et 1990 (plus de 90 pour cent du total). La vigilance concernant les émissions dans l'eau et l'air à cette époque était bien supérieure à ce qu'elle était dans la période antérieure à 1970. Les comptes des rejets aériens et liquides ne sont donc pas analysés dans ce rapport comme une explication importante pour les écarts dans les quantités de plutonium. C'est toutefois un aspect qui nécessite une recherche plus poussée dans la mesure où des rejets atmosphériques et/ou liquides supérieurs à ce qui a été déclaré pourraient avoir des implications pour la santé, l'environnement, les travaux de décontamination et le respect de la réglementation.

¹¹ Makhijani, Hu, et Yih, eds. [*Nuclear Wastelands*](#), MIT Press, 2000.

¹² Les stocks civils sont déclarés à l'Agence internationale de l'énergie atomique.

" Cher Arjun "

Êtes-vous anti-nucléaire ou pro-nucléaire ?

Cher Arjun,

Êtes-vous anti-nucléaire ou pro-nucléaire ?

— M. Perplexe, du Wyoming

Cher M. Perplexe,

Il y a très, très longtemps, avant l'ère du Lemon Pledge[®], la Nu-Clear Wax était une cire magique qui donnait au mobilier un brillant permanent. Elle empêchait également la poussière de se déposer. Elle était si efficace que l'entreprise a fait faillite : le client n'ayant pas besoin de renouveler son achat. Par la suite, les deux parties de Nu-Clear se sont confondues en un mot unique — nucléaire — qui renvoie aux noyaux de vos cellules (et des miennes). De ce point de vue, j'ai toujours été pro-nucléaire. Je suis en particulier partisan du matériel génétique qui se trouve dans mes mitochondries que j'ai hérité de ma mère (c'est aussi vrai pour vous, sauf que vous ne l'avez pas hérité de ma mère mais de la vôtre).

La physique moderne et l'arrivée de la bombe ont tout changé et ont rendu plus confuse la question du nucléaire. Le nucléaire signifie maintenant tellement de choses différentes qu'il est difficile de savoir de quoi il s'agit. Prenez mon cas. Pour mon doctorat, j'ai étudié la fusion nucléaire. Il s'agit du phénomène dans lequel deux noyaux d'atomes légers fusionnent et donnent lieu à un gros dégagement d'énergie.

Si l'on pouvait convaincre des noyaux de lithium ou de bore de fusionner avec des protons dans les conditions adéquates (il faut qu'il fasse très, très chaud pour obtenir ce phénomène à une échelle suffisante, en fait beaucoup plus chaud qu'à l'intérieur du soleil), nous aurions une source d'énergie qui serait presque idéale. Elle n'exigerait comme combustibles que des matériaux abondants, non radioactifs et relativement peu toxiques. Les produits finaux seraient des noyaux d'hélium directement recueillis sur des électrodes pour produire de l'électricité. Ce serait comme une batterie à fusion nucléaire. Pas de dégâts, et pratiquement pas besoin d'eau. Mais il est difficile d'arriver aux températures élevées nécessaires à ces réactions de fusion nucléaire. De manière beaucoup plus fondamentale, il n'a pas été démontré que des dispositifs de fusion contrôlée sont réalisables. Mais nous savons comment fabriquer des bombes à fusion nucléaire déclenchées par des bombes à fission nucléaire.

C'est là que les ennuis ont vraiment commencé : la fission nucléaire. Les matières premières nécessaires, comme l'uranium 235 et le plutonium 239, sont radioactives et à vie longue. Il n'est pas recommandé de les inhaler, ces substances augmentent le risque de cancer. On peut assembler des masses critiques de ces matières pour fabriquer des bombes qui anéantissent les villes et tuent en une seule frappe un très grand nombre de personnes : une utilisation qui n'est

pas non plus recommandable. Ces atomes doivent être fissionnés pour émettre de l'énergie. Beaucoup de produits de fission, des éléments comme le césium 137 et le strontium 90, situés au milieu du tableau périodique des éléments, sont aussi radioactifs. Certains, comme le césium 135 et l'iode 129, ont une durée de vie très importante. Ceci crée un problème de déchets nucléaires dont la gestion à long terme et sans risques continue de défier la science et la technologie.

Ce n'est pas faute de cerveaux brillants pour réfléchir au problème. Simplement, l'expérience a montré qu'il était trop difficile de mettre au point des systèmes qui garantiraient que (1) de futurs mécréants ne vont pas extraire le plutonium des déchets pour faire des bombes et (2) que les conteneurs ne vont pas se détériorer et contaminer l'eau dont auront besoin, pour la boisson et l'irrigation, les gens qui vivront dans plusieurs dizaines de milliers d'années.

Bien sûr, beaucoup de gens du lobby nucléaire pensent qu'ils ont résolu le problème, si seulement le public voulait bien les croire. Mais après avoir entendu que l'énergie nucléaire serait trop bon marché pour relever le compteur, que le plutonium offrirait une source d' « énergie magique » si le public apportait son soutien à un « clergé nucléaire » pour assurer la garde des déchets (ce qu'a déclaré en 1972 le premier directeur du Laboratoire national d'Oak Ridge), et que les risques liés au fait de donner à manger des céréales radioactives à des écoliers handicapés mentaux dans le cadre d'une expérience étaient « insignifiants par rapport à la totalité des décès dus au cancer aux États-Unis », il se pourrait bien que le public fasse de sa confiance la marchandise la plus difficile à obtenir par le lobby nucléaire. (Cette dernière déclaration a été faite au cours d'un témoignage devant le Congrès américain en 1994 par le Dr Kenneth Mossman, le président de la Société de radioprotection à cette époque. On lui a ensuite demandé s'il donnerait ces céréales à son propre fils. Il a répondu non.)

Comprenez-moi bien. L'énergie nucléaire de fission présente certains avantages, par exemple de faibles émissions de dioxyde de carbone. Mais les centrales nucléaires à fission (la seule sorte que nous sachions construire) produisent du plutonium, disséminent le savoir-faire de la fission nucléaire et donc, dans une grande mesure, des bombes nucléaires, créent des déchets à vie longue, et sont coûteuses. Même si les différents modèles de centrales ont des niveaux de risque et des mécanismes accidentels différents, tous les types de centrales nucléaires civiles peuvent connaître des accidents de l'ampleur de Tchernobyl.

Nous savons comment répondre aux besoins en électricité de la société de bien meilleures façons qu'en émettant de grandes quantités de gaz à effet de serre ou en produisant du plutonium. Et nous pouvons le faire avec à peu près les mêmes sommes d'argent ou moins. Vous pourrez trouver une discussion plus approfondie dans les diverses publications de l'IEER, notamment dans le livre [*The Nuclear Power Deception \(L'illusion nucléaire\)*](#) et dans le rapport *Securing the Energy Future of the United States (Assurer l'avenir énergétique des États-Unis)*. Alors, pourquoi s'exposer à la prolifération, aux déchets et au casse-tête des risques d'accidents de la fission nucléaire ?

Aussi, en dehors de mon inévitable attachement au matériel nucléaire que j'ai hérité de mes parents, je ne suis ni pronucléaire ni antinucléaire. Mon recours à la technologie se fait sans sentimentalité, en ne perdant pas de vue les coûts, l'impact sur l'environnement, la fiabilité et des aspects high-tech comme ceux-là. J'aime bien les réactions nucléaires p-lithium et p-boron parce

qu'elles ont un sens d'un point de vue technique et environnemental. La société devrait investir plus dans cette technologie nucléaire pour essayer d'en faire une réalité. L'énergie de la fission nucléaire représente trop de casse-têtes en matière de prolifération et de déchets, et nous pouvons nous en passer. Il est temps de passer à autre chose.

— Arjun (Dr Egghead)

Développez vos connaissances du jargon technique avec le Dr Egghead

Émissions de gaz à effet de serre :

- a) Les vapeurs qui embuent les vitres des serres.
- b) Les mauvaises odeurs qui ne proviennent que des maisons peintes dans une teinte chartreuse foncée.
- c) Les gaz émis dans l'atmosphère qui piègent le rayonnement infrarouge et influencent la température et le climat de la terre. Les gaz à effet de serre les plus importants sont le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), l'oxyde nitreux (N₂O), plusieurs catégories de produits chimiques organo-halogénés (comme les chlorofluorocarbones (CFC), les hydrofluorocarbones (HFC), les perfluorocarbones (PFC), et l'hexafluorure de soufre (SF₆).

Gazéification du charbon :

- a) Une retranscription erronée d'une méthode allemande pour convertir le chou en gaz nauséabonds. À l'origine « kohlgasification ».
- b) La même chose que la gazéification du coca-cola : l'injection de dioxyde de carbone dans des sodas.
- c) Un procédé dans lequel le charbon, la vapeur et l'oxygène entrent en réaction à une température et une pression élevées pour donner un mélange de monoxyde de carbone, de dioxyde de carbone, d'hydrogène et de méthane, qui est généralement utilisé comme source d'énergie ou matière première.

Séquestration du carbone

- a) Nom de code utilisé par les mineurs de charbon au XIX^e siècle en cas d'action de séquestration du patron de la mine pour obtenir de meilleures conditions de travail.
- b) La célèbre affaire de l'emprisonnement par Napoléon Bonaparte de son frère, CARLOS BONAPARTE, surnommé Carbone, accusé de conspirer pour le détrôner dans le cadre d'un complot portant le nom de code « Piège à chaleur ».
- c) Aussi appelée capture et stockage du carbone. La capture, la concentration, le transport et le stockage à long terme du dioxyde de carbone issu des centrales électriques alimentées par des combustibles fossiles. Le CO₂ est habituellement stocké dans des formations géologiques comme des champs de pétrole ou de gaz épuisés ou des aquifères salins profonds.

Pyroretraitement :

- a) Procédure juridique que les autorités doivent suivre pour traduire en justice un pyromane.
- b) Nouvelle fonction de nettoyage des fours à pyrolyse des cuisinières.
- c) La séparation électrolytique en plusieurs flux des matières contenues dans le combustible nucléaire usé, dont l'uranium, un mélange de plutonium et radionucléides transuraniens et des produits de fission. Également appelé traitement électrométallurgique. Le pyroretraitement peut être réalisé dans des installations plus compactes que le retraitement traditionnel, ce qui peut donc aggraver les risques de prolifération.

Protocole de Kyoto

- a) Un exercice de diction pour apprendre aux enfants à prononcer le « o ».
- b) Les bonnes manières à respecter lorsqu'on visite Kyoto au Japon, qui veulent que le visiteur offre un cadeau au premier écologiste qu'il rencontre.
- c) Un accord conforme à la Convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques par lequel les pays très industrialisés acceptent des engagements contraignants de réduction de six gaz à effet de serre principaux. Entré en vigueur en février 2005, il comptait en avril 2006 163 États parties. Les États-Unis, plus gros pays émetteur de gaz à effet de serre, ont signé le Protocole mais ne l'ont pas ratifié et ne l'appliquent pas.

Stockage par pompage hydraulique

- a) Système de stockage industriel reposant sur des plates formes élévatrices hydrauliques.
- b) Local destiné à stocker l'équipement utilisé pour le cours de « pompage hydraulique », une sorte d'aérobic aquatique.
- c) Un système de production d'énergie dans lequel l'eau est pompée d'un niveau bas à un niveau supérieur dans un réservoir, ce qui permet de stocker l'énergie électrique hors période de pointe sous forme d'énergie gravitationnelle. Lorsqu'elle est libérée, l'eau passe à travers des turbines hydrauliques qui actionnent des générateurs électriques.

Réseau électrique décentralisé

- a) Le réseau des prises électriques chez les particuliers.
- b) Dans une économie socialiste, un système énergétique dans lequel chaque personne se voit attribuer la même quantité d'électricité.
- c) Le réseau électrique est l'ensemble des lignes de transport et des centrales de production d'électricité (généralement grandes et centralisées) qui transmet l'électricité du producteur au consommateur. Dans un réseau *décentralisé*, une proportion importante de l'électricité provient de producteurs relativement dispersés ou décentralisés raccordés au réseau par le biais de systèmes de distribution locaux.

Réponses : c, c, c, c, c, c

[Énergie et Sécurité No. 36 Index](#)

[Énergie et Sécurité Index](#)

[IEER page d'accueil](#)

L'Institut pour la Recherche sur l'Énergie et l'Environnement

Envoyez vos impressions à la rédactrice en chef, *Énergie et Sécurité*: annie[at]ieer.org
Takoma Park, Maryland, USA

(La version anglaise de ce numéro, *Science for Democratic Action* v. 14, no. 2, a été publiée en août 2006.)

Mise en place juillet 2007