

**Low-Carbon Diet without Nukes in France**

An Energy Technology and Policy Case Study on Simultaneous Reduction of  
Climate Change and Proliferation Risks

Annie Makhijani  
Arjun Makhijani, Ph.D.

Institute for Energy and Environmental Research

May 3, 2006

## Préface

À mesure que s'accroissent les inquiétudes relatives à l'effet de serre, l'industrie nucléaire se présente de plus en plus comme la solution qui pourrait sauver la planète d'une catastrophe climatique. À la différence d'un slogan qui prétendait autrefois qu'avec le développement de l'énergie nucléaire l'électricité deviendrait « trop bon marché pour être mesurée », cette nouvelle prétention a le mérite d'une certaine rigueur technique : un système énergétique entièrement basé sur l'énergie nucléaire et les renouvelables n'aurait pas d'émissions de dioxyde de carbone .

Pourtant les sources d'énergie que la planète pourrait utiliser pour créer une économie mondiale sans CO<sub>2</sub> ne font pas défaut. Les énergies éolienne, solaire et hydraulique peuvent être facilement utilisées pour résoudre le problème de l'élimination des émissions de CO<sub>2</sub>. Cependant, leur utilisation, pour la mise en place d'un système énergétique fiable, devra être couplée avec l'utilisation de l'hydrogène ou d'un autre vecteur pour stocker l'énergie. Par conséquent, le problème n'est pas une pénurie d'énergie sans carbone. Le problème est défini par d'autres paramètres. En premier lieu, la quantité d'argent disponible pour convertir le présent système de combustibles fossiles en un système sans CO<sub>2</sub> est inévitablement limitée. Il appartient donc à la société de décider de la meilleure utilisation des ressources monétaires pour répondre à cette transition. En deuxième lieu, se pose la question de problèmes autres que ceux qui sont liés à l'effet de serre. Est-ce que les sources d'énergie qui n'émettent pas de carbone créent d'autres risques, en particulier pour les générations futures qui ne bénéficieront pas de leur utilisation par les générations du vingt et unième siècle ?

L'énergie nucléaire pose les risques bien connus de prolifération et d'accidents catastrophiques du type de Tchernobyl dont les conséquences se feraient sentir sur de très longues durées et affecteraient les générations futures qui n'auraient pas bénéficié des avantages de cette énergie. Par conséquent, quatre critères doivent être considérés pour évoluer vers un avenir sans CO<sub>2</sub>

- le coût
- la rapidité avec laquelle la transition peut être accomplie (puisque le problème du changement climatique est maintenant largement reconnu)
- les éventuels nouveaux problèmes graves ou les risques pour les générations futures ne provenant pas des émissions de CO<sub>2</sub>
- Les problèmes de sécurité associés à la restructuration du système énergétique

Du fait que la France obtient environ les trois-quarts de son électricité à partir de l'énergie nucléaire et qu'elle utilise, pour une partie, le plutonium extrait du combustible usé, elle bénéficie d'émissions de CO<sub>2</sub> par unité de PNB inférieures à celles de pays européens aux économies comparables. C'est précisément pour ces raisons que nous avons choisi d'étudier la possibilité de réduire fortement les émissions de CO<sub>2</sub> tout en éliminant l'énergie nucléaire. Les vulnérabilités présentées par l'énergie nucléaire sont différentes de celles qui accompagnent les combustibles fossiles. Par conséquent, il est crucial pour ceux qui cherchent à tenir compte des quatre critères présentés ci-dessus d'examiner la façon dont les émissions de CO<sub>2</sub> peuvent être réduites et même éliminées tout en sortant progressivement du nucléaire.

Le choix de la France comme entité géopolitique pour notre étude n'est pas sans désavantages. Le secteur électrique français étant bien moins diversifié que celui d'autres pays, nos choix de politique énergétiques sont plus restreints. Pour cette raison même, il n'est pas réaliste ou économiquement faisable d'envisager un arrêt brusque du nucléaire en France, tout en respectant des critères économiques.

Nous sommes, d'autre part, conscients qu'un rapport qui ne couvre qu'un seul pays européen important ne prend pas suffisamment en compte la réalité de l'intégration européenne qui s'effectue à tous les niveaux, y compris dans le secteur de l'énergie. La France importe du pétrole et exporte de l'électricité nucléaire. Sa compagnie nationale d'électricité est en passe de devenir partiellement privatisée. Les échanges d'électricité d'un pays à l'autre vont probablement augmenter. Dans le même temps, il est tout à fait probable que la production locale augmentera. Il faut par conséquent accorder à certains aspects techniques du mix énergétique présenté dans les scénarios de ce rapport une valeur illustrative plutôt que prescriptive.

Pour les raisons évoquées plus haut, nous nous sommes concentrés sur une élimination progressive du nucléaire et sur des technologies pour lesquelles les nouveaux investissements peuvent réconcilier les réalités économiques avec les objectifs environnementaux et de sécurité. L'énergie nucléaire et la forte utilisation des combustibles fossiles dans les transports, par exemple, imposent chacune d'importants risques dans la période intermédiaire parce que la société de haute consommation se trouve dans une impasse, pas nécessairement en raison de la forte consommation mais résultant des constituants spécifiques qui la composent. La voie de la sortie ne sera pas dénuée du risque d'un changement climatique catastrophique, d'accidents nucléaires, d'attaques terroristes sur les centrales nucléaires, ou de matières nucléaires civiles détournées pour la fabrication d'armes atomiques. Dans ce contexte, il est souhaitable et justifié de consacrer d'importants investissements qui pourraient conduire à une transition plus rapide vers des technologies non émettrices de carbone et sans fission de l'atome.

Les vulnérabilités des systèmes énergétiques des Etats-Unis et de la France comportent de nombreuses similarités. En conséquence, une grande partie de ce rapport est une adaptation à la situation française du rapport de l'IEER, *Securing the Energy Future of the United-States : Oil, Nuclear, and Electricity Vulnerabilities and a post-September 11, 2001 Roadmap for Action*.

Le scénario énergétique de l'IEER pour les Etats-Unis est mis en parallèle avec le plan énergie Bush-Cheney. Dans le présent rapport, le scénario énergie de l'IEER est mis en parallèle avec le scénario S1 du rapport *Energie 2010-2020*. Dans notre rapport nous y faisons référence sous le nom de BAU (« Business-as-Usual » ou « laisser-faire ») puisqu'il correspond à une situation où l'offre et la demande d'énergie répondent aux forces du marché suivant les lois et réglementations en vigueur aujourd'hui. Ce scénario est le plus gourmand en énergie et s'accompagne d'une plus forte augmentation des émissions de CO<sub>2</sub>. Nous avons choisi ce scénario pour démontrer que pour les mêmes services énergétiques rendus, il est possible, sur une période de 40 ans, de réduire drastiquement la consommation d'énergie ainsi que les émissions de CO<sub>2</sub> tout en éliminant progressivement l'énergie nucléaire.

Le scénario IEER des Technologies Existantes est également brièvement mis en opposition avec *Le Scénario Vert pour la France* réalisé par l'organisation Détente. Le Scénario Vert démontre qu'il est possible, sur une période de 20 ans, de pratiquement éliminer le nucléaire (et complètement après 25-30 ans) tout en respectant le Protocole de Kyoto, c'est-à-dire de maintenir les émissions de CO<sub>2</sub> à leur niveau dans le cas de la France. Bien que Détente et l'IEER partagent le même objectif de sortie du nucléaire, l'IEER pense que les effets potentiellement désastreux du changement climatique sont d'une gravité telle qu'il est impératif d'aller beaucoup plus loin que le protocole de Kyoto en vue de limiter ces effets. Pour atteindre cet objectif, la sortie du nucléaire dans le scénario IEER est deux fois plus longue.

La concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> est en passe d'atteindre 500 ou 600 ppm (parties par million) ou plus au cours de ce siècle. Si l'objectif est de réduire les émissions en dessous du niveau d'absorption de trois milliards de tonnes de carbone (deux milliards par exemple) dès la fin du siècle, *la part annuelle de CO<sub>2</sub> par habitant sera de 250 kg. en supposant une population de 8 milliards.* En conséquence, les émissions actuelles françaises de 1,800 kg de carbone par habitant sont clairement insoutenables. Ces chiffres approximatifs apportent la preuve que le Protocole de Kyoto n'est qu'une étape dans la bonne direction pour l'effort de stabilisation du climat et la prévention d'une catastrophe. Nous considérons que pour effectuer une réduction de 85 pour cent (ou plus) des émissions de CO<sub>2</sub> en France au cours de ce siècle, des réductions substantielles devront être accomplies au cours des deux prochaines décennies et une réduction de 40 pour cent (à peu près la moitié de la valeur nécessaire) devrait être accomplie dès le milieu du siècle. Cela est non seulement souhaitable mais aussi techniquement et économiquement possible sans modification des habitudes et modes de vie. Une réduction de cette ampleur ferait appel à un effort soutenu non seulement pour le déploiement des technologies existantes (le scénario IEER ET) mais aussi pour les technologies avancées (le scénario IEER AT).

Il est évident que si les normes qui dictent ce qui est considéré actuellement comme une bonne qualité de vie venaient à changer dans le sens d'une moindre contrainte sur l'environnement et d'une plus grande simplicité, avec une sophistication technologique et écologique accrue, il serait possible d'aller beaucoup plus loin. Dans ce rapport nous n'examinerons pas ces possibilités. Le rapport restera dans les limites d'un contexte plutôt conventionnel dans lequel une consommation matérielle plus importante est la norme et démontrera que cela est possible sans énergie nucléaire et avec des réductions importantes de gaz à effets de serre, même en France.

Seules les technologies ayant fait la preuve de leur faisabilité sont considérées dans ce rapport. Pour le scénario IEER Technologies Existantes, seules les technologies déjà disponibles sur le marché ou en passe de l'être sont incluses. Pour le scénario IEER Technologies Avancées, seules sont incluses les technologies en passe d'être commercialisées ou celles pour lesquelles la faisabilité a été démontrée. Nous avons sommairement décrit quelques concepts pour une approche sans CO<sub>2</sub>. Pour cette approche sans CO<sub>2</sub> nous ne présentons qu'une analyse qualitative basée sur des méthodes qui ont fait la preuve de leur faisabilité, tout au moins en principe. Nous n'avons pas pris en compte la fusion nucléaire parce que la faisabilité scientifique de cette technologie n'a pas encore été établie. Dans ce rapport, le terme « énergie nucléaire » se rapporte à l'énergie obtenue uniquement à partir de la fission nucléaire. Nous remarquons, en passant, que certaines méthodes de fusion nucléaire, s'il était

possible de démontrer leur faisabilité technique et leur coût-efficacité, comme par exemple les réactions proton-lithium et proton-bore, pourraient probablement répondre aux objectifs essentiels de sécurité et environnementaux.

Quelques remarques sur les unités : nous avons exprimé les unités d'énergie en million de tonnes équivalent pétrole (Mtep), l'unité conventionnelle utilisée en Europe et l'électricité en térawatt heures. Les suffixes « e » et « th » sont employés pour dénoter l'énergie « électrique » et « thermique lorsque cela est nécessaire pour éviter toute ambiguïté. Les émissions de CO<sub>2</sub> sont exprimées en tonnes de carbone, sauf mention explicitement différente. Nous avons exprimé l'efficacité automobile en termes de litres aux 100 kilomètres et de miles par gallon. Dans le cadre de ce rapport nous avons considéré, en première approche, les énergies éolienne, solaire, nucléaire et la biomasse comme n'émettant pas de CO<sub>2</sub>. Nous admettons que pour convertir ces sources d'énergie en des formes utilisables certaines fournitures d'énergie sont nécessaires. Cependant, elles sont différentes des combustibles fossiles puisque la source d'énergie même n'émet pas, en principe, de CO<sub>2</sub>. Par conséquent, si un système économique fonctionnait entièrement avec cette source d'énergie ou un bouquet de ces énergies, il n'y aurait pas d'émissions de CO<sub>2</sub>.

Nous tenons à remercier Benjamin Dessus, Yves Marignac, Bernard Chabot, et Michel Frémont pour leurs commentaires sur différentes versions préliminaires de ce rapport. Bien entendu, les auteurs sont seuls responsables du contenu de ce rapport, notamment des conclusions et des recommandations et de toutes les erreurs qui pourraient y subsister.

Cette étude fait partie du programme de projet international de IEER. Nous tenons à remercier le soutien généreux pour ce projet des John D. and Catherine T. MacArthur Foundation and the W. Alton Jones Foundation. Nous tenons également à remercier les donateurs individuels ainsi que les Rockefeller Financial Services, Colombe Foundation, Ford Foundation, The New-Land Foundation, Turner Foundation, HKH Foundation et Town Creek Foundation pour leur soutien financier.

Annie Makhijani  
Arjun Makhijani  
Takoma Park, Maryland  
Avril 2006

## Résumé et recommandations

La France se trouve maintenant à la croisée des chemins en matière de politiques sur l'énergie et la sécurité. Après les attentats du 11 septembre 2001, la dépendance du pays vis-à-vis de l'énergie nucléaire pour la production de plus des trois-quarts de son électricité a, comme aux États-Unis, mis en évidence ses vulnérabilités. Et comme le reste de l'Europe et du monde, elle est aussi à la croisée des chemins pour décider jusqu'où elle est prête à aller pour réduire ses émissions de gaz à effet de serre pour limiter l'impact du changement climatique induit par les activités humaines.

Ces questions revêtent un relief tout particulier en France, qui a décidé de recourir massivement à l'énergie nucléaire au lendemain de la crise pétrolière de 1973.

L'embargo pétrolier des pays arabes dirigé contre les États-Unis avait démontré la vulnérabilité de la France face à une rupture des approvisionnements d'hydrocarbures. Mais les événements du 11 septembre ont maintenant mis en évidence les faiblesses de son importante dépendance vis-à-vis de l'énergie nucléaire ainsi que sa décision d'utiliser le plutonium à des fins énergétiques. Le secteur énergétique français du plutonium constitue aussi une vulnérabilité par la prolifération mondiale qu'elle entraîne. La France est le pays le plus important à poursuivre l'utilisation de cette matière nucléaire militaire dans le secteur commercial.

L'énergie nucléaire a permis à la France de diversifier son approvisionnement énergétique mais elle n'a pas beaucoup contribué à réduire sa vulnérabilité vis-à-vis du pétrole dans la mesure où ce dernier constitue le principal carburant pour le secteur français des transports, et sans lui le pays serait littéralement immobilisé.

Au-delà des conséquences qu'il peut avoir sur la sécurité, le pétrole joue également un rôle central dans la problématique du changement climatique. Environ 40 pour cent des émissions mondiales de dioxyde de carbone liées aux combustibles fossiles sont issues de la combustion du pétrole. La plus grande partie de la pollution de l'air en ville provient des véhicules à moteur. La pollution des océans est due largement aux déversements d'hydrocarbures, qu'ils soient réguliers ou accidentels. Une perturbation importante du climat mondial risque non seulement d'avoir des effets néfastes sur la santé et l'économie, elle peut aussi avoir sur la sécurité internationale des conséquences graves et difficilement prévisibles.

Pour toutes ces raisons, les deux centres d'intérêt de ce rapport sont la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, notamment par une baisse de la consommation du pétrole, et l'abandon progressif de l'énergie nucléaire, tous deux dans le contexte d'objectifs économiques habituellement acceptés.

## **A. Principaux résultats**

1. La France a obtenu une plus grande diversité de son approvisionnement énergétique depuis 1973. Toutefois, même s'il y a relativement peu de risques sur l'approvisionnement en uranium, la France doit maintenant affronter deux types de vulnérabilités importantes au lieu d'une. En 1973, seules les importations de pétrole constituaient une vulnérabilité importante. Cette vulnérabilité demeure mais une autre s'y est ajoutée avec une importante dépendance vis-à-vis de l'énergie nucléaire. Les vulnérabilités nucléaires sont relativement élevées en France dans la mesure où le pays possède la plus grande installation de retraitement du monde (à La Hague, dans le Cotentin) où sont entreposés des déchets radioactifs solides et liquides et quelque quatre-vingt tonnes de plutonium séparé.
2. Si le pétrole et les combustibles nucléaires continuent d'être au cœur des transports et du système de production électrique de la France, comme l'envisagent actuellement les prévisions officielles, ces vulnérabilités se développeront : 1) il y aura de plus en plus de cibles nucléaires pour le terrorisme, en particulier dans le système électrique ; 2) les importations de pétrole augmenteront ; 3) les risques de prolifération s'accroîtront du fait de la poursuite de l'utilisation et de l'exportation des combustibles au plutonium.

3. La France n'a pas réduit de manière significative des importations d'énergie en recourant à l'énergie nucléaire. Étant donné que la France importe la totalité de son uranium et qu'environ sept pour cent seulement de son électricité nucléaire provient de l'utilisation du combustible au plutonium (MOX), sa dépendance vis-à-vis des importations énergétiques est plus élevée qu'elle ne l'était il y a trente ans (voir tableau IV.5). Malgré cela, la sécurité énergétique du pays en matière d'approvisionnement s'est améliorée du fait de la diversification des sources énergétiques.
4. La France a réduit ses émissions de gaz à effet de serre (par habitant) par rapport à d'autres pays européens d'importance économique comparable du fait de l'utilisation de l'énergie nucléaire, mais seulement en créant de nouvelles vulnérabilités et en payant le prix fort.
5. La France peut techniquement et économiquement abandonner l'énergie nucléaire au cours des quatre décennies qui viennent tout en réduisant ses émissions de dioxyde de carbone d'environ 20 pour cent avec des technologies existantes, ou de 40 pour cent avec des technologies avancées qui sont en passe d'être commercialisées. Pourtant, les efforts que devra déployer la France devront être beaucoup plus importants que dans le cas des États-Unis parce que 1) l'efficacité de l'utilisation de l'énergie est plus élevée en France ; 2) la France produit la plus grande partie de l'électricité avec des centrales nucléaires ; 3) les ressources éoliennes terrestres françaises sont bien plus limitées qu'aux États-Unis par rapport aux besoins de production électrique. Les mesures qui permettent une réduction d'au moins 40 pour cent des émissions de CO<sub>2</sub> aux États-Unis ne permettraient qu'une réduction d'environ 20 pour cent des émissions de CO<sub>2</sub> en France.
6. En France, le secteur des transports est dominant pour les émissions de dioxyde de carbone. D'importantes réductions des émissions de dioxyde de carbone sont essentielles dans ce secteur, quel que soit le niveau de production électronucléaire fourni pour les applications hors transports.
7. Les technologies permettant de réduire simultanément les émissions de dioxyde de carbone et les vulnérabilités aux attaques existent déjà. Certaines, comme l'énergie éolienne et la cogénération, sont déjà rentables. D'autres auront besoin de politiques d'achats publics adaptées pour parvenir à une viabilité économique. Toutes les technologies nécessaires sont suffisamment développées pour pouvoir être commercialisées dans les cinq à dix ans qui viennent. Les centrales à cycle combiné alimentées au gaz naturel, les piles à combustibles, les différents types de cogénération, l'énergie éolienne et les systèmes très efficaces de chauffage et de réfrigération constituent les technologies clés pour obtenir une progression importante dans les services fournis par l'énergie et réduire dans le même temps les émissions de gaz à effet de serre.
8. La réduction des importations pétrolières aurait un impact favorable sur la balance commerciale française. Selon le scénario de l'IEER les économies sur les importations de pétroles s'élèveraient approximativement à 25 milliards d'euros en 2040 (en supposant un prix du baril à 40 \$ US et 1 \$ US = 1 euro). Une partie

de cette somme couvrirait le paiement d'importations de gaz naturel plus importantes, qui représenteraient environ 8 milliards d'euros en 2040 selon le scénario de l'IEER.

9. La France devra surmonter des difficultés significatives pour aller dans le sens d'un réseau électrique distribué, dans la mesure où ses infrastructures électriques sont actuellement très centralisées du fait de la concentration de 58 réacteurs électronucléaires dans 19 sites. Néanmoins, des réseaux électriques distribués peuvent apporter une plus grande fiabilité et réduire les pertes de transmission et de distribution.
10. La loi française de 2000 sur l'électricité, qui transcrit la Directive européenne sur l'électricité de 1996 pour permettre une concurrence sur le marché de l'électricité, pourrait entraîner des inégalités à long terme pour les petits consommateurs si la France ne met pas fin au retraitement et ne répartit pas équitablement les coûts de démantèlement équitablement entre les consommateurs d'électricité.
11. Il est possible d'arriver à une économie sans émissions de CO<sub>2</sub> et sans énergie nucléaire au cours du vingt-et-unième siècle avec des technologies dont la faisabilité est démontrée mais qui en sont encore, pour certaines, à une phase de développement.

## ***B. Principales recommandations***

1. La France doit adopter un programme énergétique qui définit des objectifs à long terme, sur une période de quarante ans. Au cours de cette période, elle doit s'efforcer principalement d'éliminer les vulnérabilités les plus graves vis-à-vis d'attentats et de réduire d'environ 40 pourcent ses émissions de dioxyde de carbone d'ici le milieu du siècle.
2. Un objectif d'efficacité énergétique moyenne de 100 miles par gallon (2,4 litres/100 kilomètres) devrait être fixé pour les nouveaux véhicules de transport de passagers à l'horizon 2020. Les technologies permettant d'obtenir des voitures sûres, efficaces et relativement non polluantes existent déjà.
3. Étant donnée l'importante centralisation du réseau électrique et de ses infrastructures autour des sites des centrales nucléaires servant à l'approvisionnement électrique, une étude spéciale devrait être entreprise pour évaluer le coût et les aspects pratiques d'une transition à un réseau électrique distribué.
4. L'énergie nucléaire devrait faire l'objet d'un abandon progressif dans le cadre d'une orientation politique nationale. De façon générale, les centrales peuvent être déclassées lorsqu'elles arrivent à la fin de la durée de vie prévue initialement dans leur autorisation. Certaines pourraient être arrêtées plus rapidement si elles présentent des vulnérabilités particulières.

5. Le gouvernement français devrait consacrer environ 2,5 millions d'euros par an pendant au moins dix ans pour acheter des énergies renouvelables, des pompes à chaleur géothermique, des automobiles à haute efficacité énergétique et d'autres technologies d'avant-garde à des niveaux d'efficacité supérieur à ceux qui sont en vente libre de façon à encourager la commercialisation des technologies progressivement plus efficaces et des énergies renouvelables. Les régions devraient également pouvoir disposer de 2,5 milliards euros par an pour les mêmes objectifs. Toutes les subventions autres que celles qui sont implicites dans ce programme d'achats publics devraient être éliminées. Le programme devrait fonctionner de manière régulière et fiable pendant au moins 10 ans, voir 20 ans de préférence. Les allègements fiscaux, dans l'hypothèse où ils seraient disponibles, pour les installations déjà construites ou en cours de construction, pourraient se poursuivre.
6. 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 serait de 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.
7. La France devrait mettre fin à l'utilisation du combustible au plutonium et créer un mécanisme équitable pour payer les coûts de démantèlement avant l'entrée en vigueur des effets de la déréglementation de façon à ce que les petits consommateurs, notamment les ménages français, n'aient pas à en supporter seuls les coûts.
8. 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 à une utilisation accrue des pompes à chaleur géothermiques et de la cogénération.