

## Energie nucléaire et développement durable

---

**Mots clés associés :** climat et énergie | risques, santé, précaution | transitions (écologique, énergétique, ...) | effet de serre | énergie | énergie nucléaire | modes de production et de consommation | sécurité

---

### Résumé

Le texte qui suit n'a pas la prétention d'épuiser les questions qui tournent autour du nucléaire (économiques sociales, énergétiques, environnementales, etc.) ni même de la compatibilité du nucléaire avec le concept et la mise en pratique du développement durable, mais simplement de tenter de rationaliser et de fournir quelques clés d'analyse pour faire avancer un débat totalement bloqué en France sur ces questions.

---

Télécharger l'article en format pdf :



*Mise en garde :* Cette version imprimable fait référence à l'ancien plan de classement de l'encyclopédie.

La nouvelle classification de cet article est :

- [5.5- Déchets, pollutions et risques](#)
  - [7.1- Energies](#)
- 

### Auteurs

#### Dessus Benjamin

Benjamin Dessus, ingénieur et économiste, a travaillé dans le domaine de l'énergie depuis une trentaine d'années, d'abord aux Études et recherches d'EDF puis à l'Agence française pour la maîtrise de l'énergie, enfin au CNRS où il a animé plusieurs programmes interdisciplinaires de recherche sur l'énergie, l'environnement et le développement durable. Il préside actuellement l'association *Global Chance*.

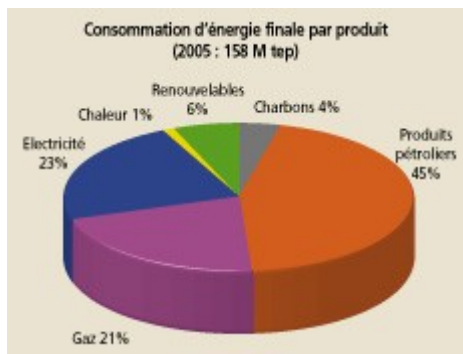
---

### Texte

Dans un pays comme la France où des propositions comme "développement durable = croissance économique + protection de l'environnement global ; protection de l'environnement global = lutte contre l'effet de serre, Énergie = électricité" sont présentées comme autant "d'identités remarquables" il n'est pas étonnant que le nucléaire, qui ne produit pas de gaz à effet de serre, soit bien souvent présenté comme "la" solution énergétique incontournable du développement durable.

Et pourtant, tout le monde sait ou devrait bien savoir à la fois que le développement durable n'est pas purement assimilable à la poursuite durable de la croissance avec quelques précautions environnementales, que les problèmes d'environnement global liés au secteur de l'énergie ne se bornent pas au réchauffement climatique et que l'électricité n'est pas tout puisque la consommation

d'électricité finale en France ne représente que 22% du total de l'énergie dépensée [1] (16% dans le monde [2]).



C'est pourtant sur la base de cette vision simpliste et tronquée de la réalité physique, environnementale et économique, que le débat, en France, évite en fait soigneusement d'aborder la question de la compatibilité du nucléaire, actuelle et future, avec le développement durable, en renvoyant dos à dos les "croyants", congénitalement convaincus des vertus du nucléaire et les "nucléophobes" tout aussi convaincus de ses tares. Et ce n'est pas la tentative récente des tenants du nucléaire de l'affubler du vocable de "renouvelable" [3], sans doute pour faire bénéficier cette filière de l'aura d'innocuité dont bénéficient ces énergies dans le grand public qui risque d'éclairer le débat.

Le problème d'un recours massif et diffus à l'énergie nucléaire au cours du siècle qui vient mérite bien évidemment, plutôt que d'actes de foi et d'affirmations péremptoires, une discussion approfondie et instrumentée sur la compatibilité actuelle et future de cette technologie générique avec le développement durable.

Discussion qui devrait porter sur de nombreux points de controverse comme :

- La contribution potentielle au développement des PED d'une filière qui se caractérise actuellement par la taille unitaire considérable des outils de production et la nécessité d'un investissement culturel et technique particulièrement lourd. [4]
- Les risques de prolifération du nucléaire civil vers les applications militaires.
- Les risques d'accidents et la vulnérabilité à des actes de malveillance et leurs conséquences.
- Les risques liés aux matières et déchets du cycle nucléaire et en particulier au devenir des déchets de très haute activité et à longue durée de vie.

Au regard de ces questionnements, l'argument de l'absence d'émissions de CO<sub>2</sub>, bien que parfaitement recevable, est loin d'être suffisant pour trancher, en faveur d'un recours massif au nucléaire.

---

## Alors comment progresser ?

---

Si l'on veut bien admettre un instant le préalable selon lequel les conditions actuelles d'édification et de fonctionnement du nucléaire sont très loin d'être compatibles avec le développement durable, mais en même temps que l'énergie nucléaire civile n'est pas forcément congénitalement condamnée à demeurer pour les siècles qui viennent incompatible avec la notion de développement durable [5], on pourrait reformuler la question sous la forme suivante : A quels critères devrait répondre le nucléaire pour devenir compatible avec le développement durable ? Comment et avec qui discuter démocratiquement de ces critères ? Quel chemin emprunter pour y parvenir éventuellement ?

Il faut évidemment expliciter à la fois la première et la dernière question pour pouvoir mettre à la disposition des citoyens et de leurs gouvernements l'ensemble des éléments qui permettront un débat transparent : à la première pour tenter de définir "des critères d'acceptabilité" d'un nucléaire compatible avec le concept de développement durable, à la dernière parce que le chemin emprunté pour y parvenir n'est pas indifférent ; il peut en effet entraîner, au cours de la transition, des irréversibilités, elles-mêmes incompatibles avec le concept de développement durable.

D'où l'intérêt "d'indicateurs" susceptibles de mettre en évidence le chemin à parcourir ou déjà parcouru vers l'objectif de respect (simultané) des critères retenus.

Les questions qui viennent à l'esprit à propos du nucléaire peuvent être rangées sous trois rubriques : les questions qui relèvent du développement, les questions d'environnement local et global, les questions de sécurité (risques de prolifération, risques d'attentats terroristes sur les installations de production).

Bien entendu le simple fait de poser la question du développement sous entend qu'on se refuse à admettre que le nucléaire pourrait faire partie de ces technologies qui n'auraient pas vocation à se développer dans l'ensemble des pays du monde mais seulement chez ceux dont "on" peut assurer qu'ils ne présentent pas de risques trop grands (ni d'accident majeur, ni de prolifération, etc.), des pays aux capacités techniques et administratives reconnues, à la stabilité politique assurée...

Outre l'évidente difficulté de la désignation d'un arbitre pour trancher ces questions, il paraît à la fois inopérant et contraire à la notion même de développement durable d'envisager un tel "apartheid" technologique : contraire à la notion même de développement durable qui suppose un minimum d'équité et de solidarité entre les sociétés, inopérant quand on sait que pour devenir tant soit peu significative dans la lutte contre l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre, la technologie nucléaire devrait au cours du siècle qui vient s'étendre à la plupart des pays du monde [6]. C'est donc d'un "nucléaire pour tous" qu'il s'agit de traiter et non pas d'un nucléaire qui resterait confiné à un club autodésigné de quelques dizaines de pays de l'OCDE comme aujourd'hui.

---

## I - Critères de développement

---

Indépendamment des risques environnementaux, plusieurs arguments s'opposent aujourd'hui à l'adoption par les pays en développement de la filière nucléaire comme outil de leur développement économique et social.

Le premier est de nature technique. L'appropriation totale, ou même partielle, des technologies qui constituent la "filière nucléaire" (du berceau à la tombe) impose un pas d'investissement, éducatif, scientifique, technique et culturel qui se chiffre à plusieurs milliers d'ingénieurs et techniciens/an. Les perspectives de rentabilisation de cet investissement humain par la quantité d'énergie produite à moyen et long terme, ne se présentent souvent pas dans les PED, par comparaison avec d'autres investissements culturels et techniques. À partir d'un critère "adéquation avec les priorités du développement", il serait donc utile de définir un indicateur d'investissement humain, permettant une comparaison avec les investissements humains nationaux nécessaires à l'appropriation de filières concurrentes de production d'électricité.

Le second est de nature économique et financière. Les filières nucléaires dominantes aujourd'hui (PWR, BWR etc.) se caractérisent par l'importance de la taille unitaire des outils de production, de l'ordre de 600 à 1 500 MW, très peu modulables dans le temps et donc capables de produire principalement en base des quantités annuelles d'électricité de 3,5 à 10 TWh. Les pas d'investissement unitaires des centrales correspondantes se situent entre 1 et plus de 3 milliards d'euros (hors investissement d'extraction, d'enrichissement, de mise en forme du combustible, ou d'aval du cycle), les temps de construction de l'ordre de la décennie. En termes de développement, la technologie nucléaire peut donc se heurter à l'inadéquation entre la demande d'électricité d'un pays (nombre d'abonnés raccordés, demande annuelle d'électricité) et l'offre.



Rouso Courrier de l'Environnement de l'INRA, avril 1989

Le critère adéquation au développement doit donc très probablement se décliner aussi sous forme d'un indicateur d'adéquation de taille unitaire et de pas d'investissement des outils de production par rapport au rythme de développement des besoins

d'électricité des pays éventuellement concernés par ce type de technologie.

---

## II - Critères d'environnement : accident majeur, matières nucléaires dangereuses et déchets

---

### Accident majeur

La spécificité du risque d'accident nucléaire majeur est celle d'un accident de très faible probabilité mais aux conséquences catastrophiques, le produit de l'infiniment petit (la probabilité) par l'infiniment grand (les conséquences). Les technologies actuelles ne sont en effet pas intrinsèquement exemptes de risques majeurs. Les efforts consentis à ce jour portent donc sur la minimisation de l'occurrence du risque et sur la limitation des conséquences potentielles de ce risque qui dépend à la fois de la nature et du site de l'installation. D'autres filières, encore au stade de la R&D (nouveaux réacteurs et/ou nouveaux combustibles), sont réputées intrinsèquement sûres, dans la mesure où les lois de la physique interdisent toute possibilité d'emballement et de divergence des réactions nucléaires envisagées.

Cette condition de sûreté intrinsèque pourrait à l'avenir devenir un critère impératif de choix de nouvelles filières (combustibles et réacteurs, amont et aval des cycles) en concurrence pour un développement mondial massif, à partir d'une échéance donnée, par exemple 2030.

En attendant, on devrait pouvoir définir des critères et des indicateurs ne reposant plus sur la notion de probabilité d'accident multipliée par les conséquences de l'accident, mais sur le produit de deux nouveaux termes, la vulnérabilité et la sensibilité, où :

- la vulnérabilité désigne la plus ou moins grande possibilité pour une technologie d'être victime d'un type d'accident déterminé (par exemple la fusion du cœur),
- la sensibilité désignant la nature et la gravité des conséquences de ce type d'accident en fonction du type d'installation.

### Les matières et déchets nucléaires

Le débat national engagé par la Commission nationale du débat public en 2005-2006 a bien mis en évidence les limites, l'aspect artificiel de la distinction traditionnelle en France, entre "matières valorisables" (susceptibles d'être un jour recyclées pour produire de l'énergie) et "déchets ultimes", ceux que nous garderons pendant des milliers d'années. Artificiel, car le statut de matières valorisables dépend d'abord de la politique énergétique : en cas d'arrêt du nucléaire, elles deviennent instantanément des déchets ultimes. Et puis, le progrès technique peut rendre valorisables des déchets ultimes : c'est d'ailleurs le but des recherches sur la séparation-transmutation, en particulier pour les actinides mineurs. En attendant cette valorisation potentielle, parfois pendant plusieurs décennies, ces matières stockées ou en circulation (pudiquement dites dans le "cycle") présentent des risques majeurs, plus encore que les déchets ultimes. C'est le cas par exemple du plutonium de la Hague. [7] C'est donc l'ensemble des matières nucléaires les plus dangereuses, y compris celles qui sont potentiellement valorisables, qu'il faut prendre en compte dans une optique de développement durable.

Parmi ces produits dangereux, les matières et déchets à haute activité et très longue durée de vie (HALV) que sont aujourd'hui le plutonium, les actinides mineurs et certains des produits de fission des réactions nucléaires, posent de toute évidence des problèmes nouveaux à la fois sur le plan éthique et sur le plan scientifique. Sur le plan scientifique en effet, quel crédit accorder aux affirmations sur l'innocuité des solutions de stockage pour des centaines de millénaires ? Sur le plan éthique, avons-nous le droit de laisser un tel problème d'environnement aux dix ou vingt mille générations [8] qui vont nous suivre sur la planète ?

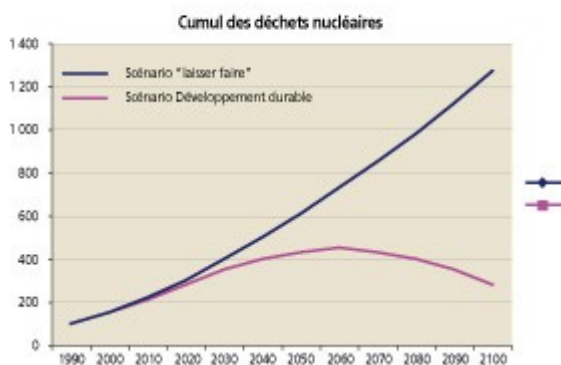
Bien évidemment et idéalement, le critère concernant ces matières HALV devrait être celui du zéro HALV, mais cela implique le développement encore hautement spéculatif de solutions techniques qui permettent non seulement de ne produire aucune nouvelle matière HALV par kWh supplémentaire mais aussi de réduire, voire de supprimer totalement, le stock de ces matières déjà accumulé par le nucléaire.

En attendant l'éventualité d'un tel développement que faire ?

Il serait évidemment tout à fait inacceptable du point de vue du principe de précaution de laisser croître à vive allure [9] les matières et déchets nucléaires en se contentant de faire les efforts de recherche censés aboutir aux technologies requises. On se placerait dans une situation d'irréversibilité tout à fait inacceptable avec pour seule voie de sortie, une rupture technologique, par principe aléatoire.

Pour sortir de l'impasse, l'une des solutions consiste à s'engager, au niveau mondial ou régional, dans une politique clairement affichée de limitation de la croissance des stocks de matières HALV à divers horizons temporels. Une sorte de "Kyoto des matières

et déchets nucléaires dangereux” avec des engagements quantitatifs des pays disposant déjà d’une industrie nucléaire quant à la limitation de leurs stocks de matières HALV à différents horizons, illustrée par le graphique ci-dessous.



Cette maîtrise de la croissance des stocks de matières dangereuses pourrait être obtenue par l’utilisation de technologies de plus en plus performantes (qui produisent des quantités de matières HALV de plus en plus faibles par kWh et brûlent les matières déjà stockées) et/ou par la limitation des puissances installées.

---

### III- Les questions de sécurité : prolifération et attentats terroristes

---

#### Les risques de prolifération

Il s’agit du risque de voir des états ou des groupes d’individus détourner des matériaux, des matériels ou des installations nucléaires de leur usage civil vers des applications militaires.

Bien entendu, encore une fois, le critère idéal à imposer devrait être la prolifération zéro, c’est-à-dire l’impossibilité physique de passage de l’application civile à l’application militaire des outils développés. Mais un tel critère relève peut être de l’utopie

Cela n’empêche pas pour autant de se le fixer comme référence et de définir un ou plusieurs indicateurs de risque spécifique de prolifération des différentes filières disponibles ou en développement, en prenant bien entendu la précaution de définir la notion de “filière” de façon non restrictive pour prendre en compte la chaîne complète qui mène de la mine au stockage éventuel des déchets ultimes.

De ce point de vue par exemple, la filière française, avec la mise en place d’une économie du plutonium à travers le retraitement et l’usage de Mox, qui induit de nombreux transports et manipulations de ce matériau considéré comme très proliférant, présente un indice intrinsèque de risque de prolifération nettement supérieur aux filières sans retraitement du combustible uranium irradié.

#### Les risques d’attentat terroriste

Ce type de risque s’étend de l’attentat suicide d’un avion de commerce sur une installation nucléaire à la construction et l’usage éventuel d’une “bombe sale” à base d’explosifs conventionnels mais chargée de produits radioactifs dangereux. Pour ce type de problème, les propositions de critères et d’indicateurs envisagées plus haut pour la lutte contre l’accident majeur, à partir d’une analyse de vulnérabilité et de sensibilité aux risques d’attentats des différentes technologies, trouve toute sa justification, puisque l’analyse en termes de probabilité d’occurrence n’est évidemment plus opérationnelle dans un tel cas.

---

### Éléments de conclusion

---

Globalement la compatibilité du nucléaire avec la notion de développement durable devrait idéalement se traduire à terme par les critères suivants : une réelle contribution au développement pour tous, une impossibilité physique d’accident majeur, une impossibilité physique de prolifération, un inventaire final nul des matières et déchets à haute activité.

Bien entendu, si ces exigences sont imposées sous cette forme dès aujourd’hui, il n’existe pas de solution au problème posé ; le moindre mal serait une sortie d’urgence du nucléaire, ce qui laisserait néanmoins pendant l’ensemble des problèmes liés aux parcs et aux combustibles existants. D’où l’utilité majeure d’une définition, poste par poste, d’indicateurs quantitatifs de progrès,

physiquement constatables, permettant de donner une information dynamique, non seulement sur l'état des technologies, prises une par une, mais aussi sur l'évolution de la situation régionale ou mondiale (et compte tenu du poids de l'histoire), vis-à-vis de l'objectif final.

La définition du nombre et de la nature des critères et indicateurs à retenir n'est évidemment pas la seule affaire des scientifiques mais aussi et surtout celle des citoyens qui doivent pouvoir en débattre démocratiquement. Si ces critères sont adoptés après discussion, restera à discuter à différents niveaux, internationaux, régionaux et nationaux, de l'évolution quantitative des différents indicateurs, selon un processus analogue à la négociation climat ou à celle sur la biodiversité, pour rendre crédible et concret le chemin conduisant à la compatibilité du nucléaire avec le développement durable. Restera aussi à vérifier la compatibilité de la gestion des filières nucléaires avec l'exercice de la démocratie, vu le degré extrême de sécurité qu'elles exigent.

La nature de la démarche proposée tranche à la fois avec la démarche actuelle de l'industrie nucléaire, d'une grande partie de la communauté scientifique et des administrations, qui accordent un blanc-seing aveugle au progrès technique censé résoudre à terme tous les problèmes, mais aussi avec celle de ceux des antinucléaires qui refusent en bloc l'idée même d'une mise à plat des conditions qui permettraient éventuellement un jour l'émergence d'un nucléaire non antinomique de la notion même de développement durable.

Il faut bien reconnaître que les derniers développements du nucléaire en France concernant l'EPR ou ITER, montrent que les antinucléaires ont quelque raison d'être encore renforcés dans leur conviction. Pour l'EPR, on oublie de dire que le réacteur proposé est inutile avant 2025 ou 2030 [10], n'apporte pas d'élément réellement nouveau vis-à-vis des problèmes d'environnement [11] et renforce les risques de prolifération [12]. Pour ITER, on oublie de signaler les conséquences énergétiques et environnementales d'un succès éventuel (coût énergétique de l'extraction du deutérium, risque de pollution radioactive par le tritium, production de déchets radioactifs engendrés par le choc neutronique sur les parois des installations, etc.).

C'est bien pour tenter de sortir de l'impasse d'une confrontation stérile entre deux thèses définitivement inconciliables et permettre aux citoyens de s'approprier l'indispensable débat qui devrait s'instaurer, qu'une démarche raisonnée, sans a priori, sur la base de critères et d'indicateurs "discutables" est indispensable.



---

## Notes

[1] GLOBAL CHANCE "Petit mémento énergétique" Les cahiers de Global Chance, Janvier 2003.

[2] Cf Encyclopédie du Développement Durable : 9.3 La consommation d'énergie dans le monde.

[3] Au prétexte que l'usage systématique du plutonium issu d'un retraitement répété éventuel des combustibles usés multiplierait les réserves d'énergie primaire nucléaire par un facteur important de l'ordre de 50 en oubliant soigneusement de signaler les nouveaux risques entraînés par le recours aux nouvelles filières dont super phenix était un exemple.

[4] Sur la question de la limitation des ressources en uranium : cf dans le chapitre 9 Faits et chiffres : Les ressources minérales, dont les ressources énergétiques, parution prochaine.

[5] On fera remarquer que sans cette double assertion la question ne se pose plus, qu'on décide une bonne fois pour toutes de la compatibilité ou de l'incompatibilité congénitales du nucléaire avec le développement durable.

[6] Voir "le scénario SUNBURN de relance du nucléaire mondial" Benjamin Dessus et Philippe Girard, Cahiers de Global Chance n° 21.

[7] De quoi faire plusieurs centaines de bombes nucléaires ou provoquer la mort par cancer de plusieurs fois la population française

[8] À moins de penser comme Marcel Boiteux : "N'est-ce pas une évidente et dangereuse illusion que de vouloir extirper de notre héritage toutes difficultés, toutes responsabilités, que de vouloir transmettre à nos descendants un monde sans problème".(Science et Vie, 1974)

[9] Pour un parc de production augmentant de façon linéaire, la masse de déchets augmente de façon parabolique.

[10] Là c'est l'aspect développement qui est en cause

[11] La nature des déchets HALVA n'est pas modifiée et leur quantité réduite de 10 à 20% au prix de risques de pollutions locales nouvelles à court terme.

[12] Par un usage amplifié du combustible Mo et donc de plutonium, vecteur privilégié de prolifération.

---

## Bibliographie

### Pour en savoir plus

- Robert Dautray, *Les isotopes du plutonium et leurs descendants dans le nucléaire civil*, Rapport à l'Académie des sciences, Paris 2005
  - *Petit mémento des déchets nucléaires*, Global Chance, 2005
  - *Débattre publiquement du nucléaire*, Cahiers de Global Chance n°22, novembre 2006
  - *Le démantèlement des installations nucléaires et la gestion des déchets radioactifs*, Rapport au Président de la république , janvier 2005
  - Charpin JM, Dessus B, PellatR, *Étude économique prospective de la filière électrique nucléaire*, la Documentation française, 2000
  - *Recherche et déchets nucléaires : une réflexion interdisciplinaire*, Cahiers "Risques collectifs et situations de crise", MSH Alpes février 2006
  - *Rapport d'évaluation n°11*, Commission nationale d'évaluation relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs, juillet 2005
  - *Compte rendu de la Commission particulière du débat public "gestion des déchets radioactifs"*, janvier 2006
- 

## Lire également dans l'encyclopédie

- Benjamin Dessus, [Introduction à l'énergie](#) (N°24).
  - Bernard Laponche, *Faits et chiffres* : [Les consommations d'énergie dans le monde](#) (N°25), [Les consommations d'énergie en France](#) (N°38/39).
  - Michel Mousel, [L'effet de serre, c'est la vie](#) (N°26).
  - Michel Mousel, [La dérive du climat, une crise écologique](#) (N°27).
-