



# l'Encyclopédie du Développement Durable

N°174 Novembre 2012

5.4- Ressources minérales et énergétiques

## Limites sur les ressources énergétiques et impacts climatiques : Les controverses sur le mix énergétique futur.

### Résumé

**Cet article précise les limites qui caractérisent les ressources énergétiques et les enjeux géopolitiques et met en lumière les controverses sur leurs modes de gestion aujourd'hui et dans les décennies à venir.**

Il est tiré du rapport « *Etat des lieux des controverses sur les ressources naturelles* », Fanny Déléris, Pierre Radanne, Jean-Luc Redaud, Jacques Varet, juin 2012, Association 4D.

La prise de conscience de la finitude de la planète et de ses ressources amène à s'interroger sur les contraintes en termes de rareté des ressources et de capacités d'absorption de l'environnement. Face à une démographie ascendante dans les décennies à venir et un modèle de développement énergivore, consommateur de ressources et polluant, la question des limites est déterminante pour le développement socio-économique d'aujourd'hui et de demain. Ce dossier, composé de 7 articles, s'appuie sur un rapport publié par l'Association 4D en juin 2012 (« Etat des lieux des controverses sur les ressources naturelles»). Il approfondit la notion de *limite*, par le biais d'une approche différenciée de la rareté, en fonction de 6 catégories de ressources : biodiversité, ressources minérales, énergétiques, ressources naturelles et alimentaires, et enfin les milieux physiques (ici traitée par le biais de la forêt). Les pressions et limites ne se posent pas de la même façon et sont présentées au travers de 6 articles, en termes de stock disponible, d'accès (avec les enjeux géostratégiques que la localisation de certaines ressources peut poser), de coût d'exploitation et de qualité afin d'anticiper les enjeux économiques liés à l'utilisation de la ressource et enfin par rapport à leur potentiel de recyclage et d'optimisation.

Dans un 7ème article sont posés les enjeux pour la France, dans la perspective de l'optimisation de la gestion des ressources naturelles.

En précisant les limites posées par les milieux physiques et les ressources naturelles, il s'agit de délimiter les marges de manœuvre, ainsi que les contradictions potentielles dans le cadre de l'élaboration des chemins de la transition vers une économie écologique.

### Mots-clés associés

[changement climatique](#) | [energie](#) | [energie fossile](#) | [energie nucléaire](#) | [energies renouvelables](#)

### Auteurs

#### [Chéron Marie](#)

est chargée de mission à l'association 4D et chargée d'étude sur la Transition vers une économie écologique.

#### [Déléris Fanny](#)

a été chargée de mission Territoire et développement durable à l'association 4D et chargée d'étude sur la Transition vers une économie écologique.

## Sommaire

- [Introduction](#)
- [1. La rareté par type de ressource énergétique](#)
- [2. Enjeux : résilience énergétique et lutte contre le changement climatique](#)

## Introduction

Les ressources énergétiques présentent plusieurs particularités qui exigent un traitement spécifique. D'abord, c'est assurément le domaine (notamment les énergies fossiles et plus particulièrement la plus « facile » d'usage : le pétrole) où la limite sur la ressource est la plus importante et la plus rapprochée dans le temps. Pétrole, charbon, gaz et uranium sont des **énergies de « stock »**, provenant de gisements limités de combustibles fossiles. A la différence des ressources minérales, elles sont disponibles en quantité limitée dans la partie supérieure de l'écorce terrestre, et disparaissent lors de leur utilisation ; passé une certaine profondeur dans la croûte terrestre, les hydrocarbures sont « craqués » du fait du gradient géothermique, et la « fenêtre à huile », puis la « fenêtre à gaz » se ferment. Une réelle limite physique existe donc. L'ordre de gravité des problèmes de rareté est le suivant : pétrole, gaz naturel, puis combustibles solides.

S'y opposent les **énergies de « flux »**, les renouvelables : hydraulique, solaire, éolien, biomasse,

géothermie. L'ensemble de ces flux trouve leur origine dans le rayonnement solaire ou terrestre, et sont donc inépuisables à échelle humaine. L'intensité énergétique de ces flux est globalement très supérieure à nos besoins. Néanmoins, seule une partie est réellement exploitable et ces énergies doivent faire l'objet d'un stockage – que ne permettent que quelques-unes d'entre elles (hydraulique et géothermie) pour répondre au problème de la disponibilité.

Ensuite l'exploitation des ressources énergétiques fossiles génère d'importantes émissions de gaz à effet de serre. La responsabilité liée à l'exploitation de ces ressources et les coûts économiques liés aux impacts remettent en cause leur utilisation pérenne.

En conséquence, il faudra aborder non seulement la contrainte sur les ressources énergétiques mais également sa trajectoire dans les années à venir, et identifier les effets économiques et financiers que prendra cette confrontation au déclin des ressources.

## 1. La rareté par type de ressource énergétique

### Le pétrole et le gaz

La question des ressources fossiles est certainement celle qui a fait l'objet du plus grand nombre de recherches et de publications, où l'on détient les meilleures connaissances du fait des investissements publics et privés consentis.

#### Incertitudes sur l'offre

En fonction des auteurs, les estimations concernant les réserves varient du simple au double. Ces variations s'expliquent par différents facteurs : les efforts de prospection ont été très inégalement réalisés selon les régions du monde et un doute existe sur la validité des réserves de certains pays, dont l'Arabie Saoudite, qui n'autorisent pas l'expertise de leur sous-sol par des experts étrangers. D'importantes incertitudes existent par ailleurs concernant certaines configurations géologiques qui peuvent receler d'importants gisements (océans au-delà du plateau continental,

Arctique). Il est surtout difficile d'estimer quelle partie du pétrole d'un gisement pourra être extraite en fonction du degré de fluidité d'écoulement de l'huile dans le gisement. Cette incertitude est encore plus grande pour ce qui concerne les pétroles non conventionnels (pétroles lourds visqueux ou solides). Ces pétroles posent trois types de problèmes : leur accessibilité, la capacité de récupération dans des couches profondes et le coût de leur raffinage. Il n'est donc possible ni de connaître le taux de récupération possible, ni leur coût global. En pratique, les ratios avancés contournent une appréciation nécessairement incertaine de la demande en se contentant de formuler un ratio réserves/consommation de l'année en cours. Ce ratio s'établissait fin 2010 à 46,2 années de consommation.

Néanmoins, les données sont consistantes et confirment les contraintes.

Evolution de la répartition des ressources pétrolières prouvées selon le BP review

En milliards de barils	1990	2000	2010
Ensemble du monde	1003,2	1104,9	1383,2
Dont les pays de l'OCDE	115,4	93,3	91,4
Dont l'OPEP	763,4	849,7	1068,4
Dont les producteurs non OPEP	176,5	168,2	188,7
Dont l'Union européenne	8,1	8,8	6,3
Dont l'ex URSS	63,3	87,1	126,1

Source : BP Review, 2010

Ce tableau montre clairement l'effort de prospection effectué dans la décennie 2000. Il met également clairement en évidence que les accroissements de réserves prouvées se sont réalisés dans les pays de l'OPEP. Cette hausse peut être mise en doute ; elle provient d'une réestimation par le Venezuela de ses réserves dont la valeur déclarative a doublé.

L'évolution des réserves prouvées de gaz naturel selon le BP review

En milliers de milliards de m <sup>3</sup>	1990	2000	2010
Ensemble du monde	125,7	154,3	187,1
Dont les pays de l'OCDE	15,7	14,7	17,1
Dont pays non-OCDE	109,9	139,6	170,0
Dont pays du Moyen-Orient	38,0	59,1	75,8
Dont l'Union européenne	3,4	3,8	2,4
Dont l'ex URSS	49,3	50,8	58,5

Source : BP Review, 2010

L'amplitude de l'augmentation des réserves est nettement plus importante en gaz qu'en pétrole puisqu'elle est de moitié supérieure. Cela n'a rien d'étonnant puisque dans le passé, on ne recherchait pas spécifiquement le gaz mais le pétrole et l'essentiel des gisements mis en exploitation concernait du gaz associé à du pétrole. Mais les caractéristiques géopolitiques sont les mêmes, avec dans ce cas, un doublement des ressources localisées dans le Moyen-Orient par rapport à 1990.

### Hausse de la demande

La consommation mondiale reste en forte hausse malgré la crise économique et financière : La consommation de pétrole a augmenté de 3,1% entre 2010 et 2011 ; la Chine est devenue le premier consommateur d'énergie avec une part de 20,3%. La croissance de la consommation mondiale est clairement tirée par la zone Asie-Pacifique, les pays du Moyen-Orient, l'Amérique du sud et centrale et l'Afrique, avec une croissance particulièrement forte en 2010.

Les perspectives de croissance des pays émergents n'ont aucune raison de chuter dans les années qui viennent. Des taux de croissance de 6 à 8% sont les plus probables.

### Evolution des prix et impacts économiques

L'évolution des prix traduit l'évolution des rapports de force, ainsi que les phénomènes de rareté et la

manière dont les acteurs économiques les anticipent. La hausse des prix du pétrole a connu son maximum en août 2008 avec 147 \$ le baril. Cette hausse, simultanée avec une augmentation générale des prix des matières premières et une hausse des cours des céréales (grave sécheresse en Australie) a fortement impacté le budget des ménages dans les pays les plus consommateurs d'énergie [1]... un rôle non négligeable dans le déclenchement de la crise des sub-primes (dont les causes profondes résident dans le fonctionnement du marché immobilier et hypothécaire américain). La grave crise financière et économique ainsi déclenchée a ensuite provoqué une forte chute des prix du pétrole et des énergies indexées sur celui-ci. Le cours du pétrole a plongé à 40 \$/bl en novembre 2008. Depuis, alors que la crise économique perdure et s'étend à la perte de crédibilité des dettes publiques et que la croissance économique est nulle dans les pays développés et baisse un peu dans les pays émergents, les prix du pétrole ont

progressivement remonté pour retrouver le niveau de 100 \$/bl en 2010.

Ces évolutions signalent la fin de l'énergie pas chère et questionnent les conditions futures d'un accès à l'énergie pour tous.

### Controverses

Schématiquement, les controverses sur les ressources pétrolières et gazières s'illustrent à travers deux positions :

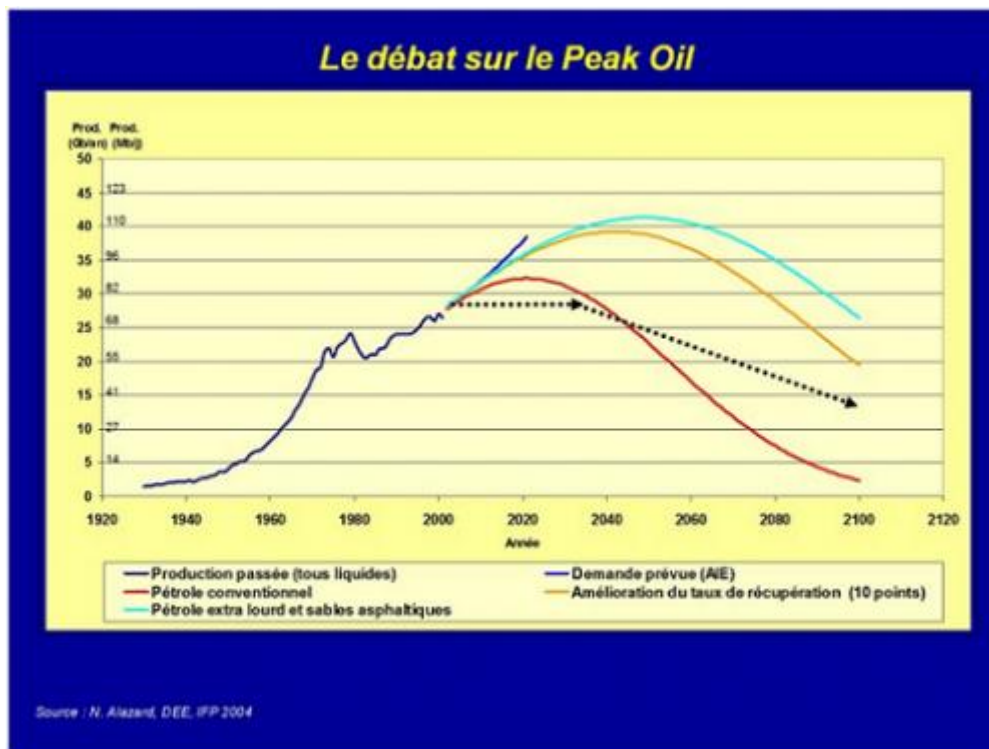
- Les tenants du « business as usual »

Cette position est défendue par certains économistes de l'énergie, les principales entreprises pétrolières, l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) (jusqu'en 2008), ainsi que le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), qui s'appuie sur les publications de l'AIE. Pour ces acteurs, la question de la limitation des ressources en hydrocarbures ne se pose pas, car elle pourra être résolue dans le futur pour de nouvelles technologies et des avancées techniques. Les dépenses d'exploration et de production croissent et permettent de mettre sur le marché des quantités supérieures, soit par l'amélioration des technologies de production, augmentant les taux de récupération (production assistée, pétrole et gaz de schistes...), soit du fait de

nouvelles découvertes (plus profondes, plus lointaines, off-shore...).

- Les tenants du « peak oil »

La théorie du pic pétrolier, développée par King Hubbert dans les années 50 aux Etats-Unis, est soutenue par les géologues pétroliers de l'Association for the Study of Peak Oil (ASPO), les écologistes et associations. Ces derniers reconnaissent que l'épuisement des ressources fossiles est inéluctable car la croissance exponentielle de la demande entraîne, face à des gisements en quantité limitée, une courbe « en cloche » de la production. Bien entendu, la croissance des coûts de production permet de prolonger le pic, et de passer du pic au plateau, mais en tout état de cause, la production ne pourra dépasser un certain volume annuel. La discussion porte alors sur la date du pic, selon son caractère plus ou moins élevé. L'Agence internationale de l'énergie (AIE), qui s'est ralliée en 2008 à la thèse du peak oil, estime que celui-ci est effectivement atteint au plan mondial. A l'exception de quelques contradicteurs, la date désormais couramment admise est 2010.



*Ces dernières années, on a vu les certitudes du premier groupe s'effriter. Ainsi, ce n'est plus seulement le changement climatique qui contraint à réduire les consommations des ressources fossiles, c'est aussi la limitation des ressources en combustibles fossiles, et la croissance des prix qui en découle.*

## Le charbon

Le charbon est à la fois l'énergie fossile la plus abondante et la mieux répartie sur le globe. Ses cours varient moins fortement que ceux du pétrole, même suivent ses variations, par le biais d'un effet d'aubaine. Cela signifie moins de problèmes de dépendance énergétique et d'approvisionnement. La part du marché du charbon a atteint en 2011 son record depuis 1970 avec 29,2 % ; la Chine consomme 48,2 % du charbon dans le monde. En outre, elle assure 66 % de la production mondiale de charbon.

La tentation du recours au charbon est donc forte au regard des contraintes sur les autres ressources fossiles.

La limite à l'utilisation massive du charbon est le niveau d'émission de gaz carbonique. Le facteur déterminant concernant la demande mondiale de charbon va finalement être la pression de la communauté internationale en faveur de la réduction des émissions de gaz à effet de serre. La maîtrise de la technique de séquestration du carbone (injection du CO<sub>2</sub> dans des gisements de pétrole et de gaz épuisés et dans des nappes aquifères profondes) devrait atteindre un stade industriel vers 2030. L'exploitation massive du charbon, notamment pour la production électrique, va donc dépendre de la capacité à maîtriser la technologie de capture et stockage du CO<sub>2</sub>. Elle ne constitue donc pas une solution optimale aux contraintes sur les ressources énergétiques, ni pour aujourd'hui car elle est inacceptable du point de vue climatique, ni pour demain, de par les risques que cette technologie induit.

## Les ressources nucléaires (Uranium)

L'uranium n'est pas en lui-même une substance fossile, mais ses meilleurs gisements étant associés à la matière organique, les ressources en uranium de bonne qualité sont donc limitées. La difficulté d'approvisionnement en ressources nucléaires, en l'occurrence en uranium, a longtemps été obliérée par l'abondance de l'offre, résultant notamment du démantèlement des armements soviétiques. Par ailleurs, l'uranium radiogénique est « brûlé » dans les réacteurs, et donc non recyclable pour l'essentiel [2] ;

les matières radioactives ne deviendront recyclables qu'en cas de maîtrise future de la filière surgénératrice. C'est pourquoi la question de la rareté des ressources nucléaires se pose aujourd'hui fortement. Par ailleurs, les ressources en minerai à forte teneur en uranium sont aussi géographiquement mal réparties : l'Europe, l'Amérique latine et la majorité du territoire africain sont complètement dépourvus de ressources en uranium. L'essentiel de la ressource est localisée en Australie, en Russie et au Canada.

De la même manière que pour les ressources fossiles, deux positions peuvent être présentées pour l'uranium :

- **Les tenants de l'abondance**

Ce sont les entreprises nucléaires, minières et les gouvernements des pays nucléarisés, ainsi que l'AIE et l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA). Pour ces derniers, l'uranium est jugé assez abondant dans l'écorce terrestre pour permettre d'alimenter, en toute hypothèse de croissance de la demande, les besoins futurs des centrales, quel qu'en soit le nombre. Outre l'abondance de la ressource, cette assurance repose sur la conviction que les technologies futures permettront d'augmenter le rendement des centrales, allant jusqu'à une production de combustible supérieure au volume consommé grâce à la surrégénération.

- **Les sceptiques**

Les sceptiques sont les tenants des énergies renouvelables, les mouvements antinucléaires, ainsi qu'une partie des lobbies pétroliers. Ils soulignent que les meilleurs gisements mondiaux seront écrémés dans les 30 prochaines années, et que des risques d'approvisionnement seront à craindre à moyenne échéance. De ce fait – outre les questions de risques technologiques et naturels induits – le passage aux énergies renouvelables paraît préférable en tout état de cause, dans le cadre d'une sortie progressive du nucléaire (en France à horizon 2030-2035 pour certains, 2050 pour d'autres).

*Au niveau actuel de consommation, les ressources d'uranium exploitables sont estimées à environ 80 années au niveau actuel de consommation. Néanmoins, que ce soit du fait des coûts globaux du nucléaire, du risque technologique, accru par le poids croissant du changement climatique par exemple, ou du fait des difficultés d'approvisionnement en minerais d'uranium, on trouve ici encore une raison supplémentaire de travailler sur le long terme à une alternative au nucléaire.*



Centrale de Cruas Meysse, Ardèche



Mine d'uranium au Niger

## Les ressources renouvelables

Sous la dénomination commune « *énergies renouvelables* » se présentent différentes sources : hydraulique, solaire, éolien, biomasse, géothermie [3]. Pour chacune de ces ressources, correspond une situation contrastée au regard de la localisation, du potentiel, de la maturité des techniques, de la continuité ou de la discontinuité de fourniture, du caractère stockable ou non, et du prix de chaque ressource.

Les énergies renouvelables sont les seules dont l'Europe dispose sur son sol. Elles présentent une qualité d'énergie de flux, des impacts environnementaux modérés et maîtrisables, une

adéquation pour répondre à une demande dispersée ainsi que la nécessité de prendre des précautions face à un avenir énergétique assez incertain. Ces avantages justifient des prises de décisions pour accélérer le développement des énergies renouvelables. De plus, les renouvelables, outre l'indépendance géopolitique qu'elles permettent pour les territoires, se prêtent très bien à un **traitement démocratique** et à une **approche décentralisée** de la gestion de l'énergie, à la différence du nucléaire qui ne peut que faire l'objet d'un modèle quasi militaire, étant donné les risques liés à cette technologie. Seule **la question du stockage** pose encore question afin de répondre au problème de la disponibilité.

## 2. Enjeux: résilience énergétique et lutte contre le changement climatique

Les limites auxquelles les ressources énergétiques confrontent les sociétés et les **enjeux géopolitiques entretenus par leur inégale répartition sur le globe** imposent une réflexion prospective de long terme et la définition de stratégies. L'Europe présente en effet une grande dépendance au plan de son approvisionnement énergétique pour tous les combustibles fossiles, ne possédant plus d'hydrocarbures dans son sol et disposant de ressources charbonnières réduites.

Outre la nécessité de devoir construire la résilience énergétique de demain, l'Europe se trouve face à un défi économique majeur. La tendance globale est celle de l'accroissement de la consommation de ces ressources, parallèlement à celui des coûts d'extraction et d'exploitation. Cette demande plus rapide que l'offre crée des tensions sur les marchés, avec une augmentation du prix de l'énergie. Le pétrole sera cher avant d'être rare, et il en est de même

des autres énergies (gaz et charbon). Les tensions continues sur l'approvisionnement international ont donc une conséquence économique directe : l'augmentation généralisée du prix de l'énergie. Il est évident que la fin de l'énergie peu chère aura des implications socio-économiques majeures au sein des sociétés occidentales, avec la hausse des prix à la consommation et l'émergence de phénomènes de précarité énergétique.

De plus, les produits carbonés (charbon, pétrole et gaz naturel) ont joué le rôle le plus déterminant dans l'essor et la « richesse » des pays occidentaux. Les tensions internationales pour l'approvisionnement en ressources énergétiques risquent donc d'augmenter dans les années à venir. Le développement des énergies renouvelables mais aussi les progrès en termes d'efficacité énergétique devront être une priorité dans le cadre d'une transition vers une économie écologique. Une démarche en coût global

doit être développée pour appréhender l'économie des projets en prenant en compte de façon attentive et réaliste les évolutions de dépenses de fonctionnement

et les prix futurs de l'énergie et du carbone. Il est donc essentiel d'aborder de façon conjointe les questions d'énergie et de climat.

*Tableau des émissions de CO<sub>2</sub> (en g/kWh électrique)*

Source	Emission	Remarque
Charbon	980	Des solutions existent pour capter le CO <sub>2</sub> en fin de processus mais ces solutions d'une part diminuent le rendement et d'autre part coûtent relativement cher. De plus il n'existe pas de solutions de stockage du CO <sub>2</sub> avérées.
Fuel	890	
Gaz naturel	860	
Cycle combiné gaz naturel	430	Cette solution impose l'utilisation simultanée de l'électricité et de la chaleur.
Photovoltaïque	60 à 150	Dépend du type de capteur utilisé.
Éolien	3 à 20	
Nucléaire	6	
Hydraulique	4	
Géothermie	3	

*Ce tableau parle de lui-même en éliminant toutes les solutions ayant massivement recours aux combustibles fossiles. Pour répondre à cet enjeu ne peuvent être gardées que des solutions à base d'énergies renouvelables ou de nucléaire, avec éventuellement des solutions à base de combustibles fossiles, soit pour une utilisation marginale, soit de manière transitoire .*

Enfin, l'Europe s'est engagée dans la lutte contre le changement climatique, est partie prenante du Protocole de Kyoto (un des rares Etats à en être encore acteurs). Or,  $\frac{3}{4}$  des émissions de gaz à effet de serre découlent de la consommation directe ou indirecte de combustibles fossiles. Elle devra conforter son engagement sur la scène internationale, répondre à ses engagements en matière de réduction des émissions, et donc mettre en œuvre une politique cohérente en matière énergétique.

-----

