



Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

SCIENCE @ DIRECT®

C. R. Geoscience 335 (2003) 943–950



Géomatériaux

# Les consommations d'énergie dans le monde : une méthode robuste de prévision de leur évolution à moyen terme ; premières conséquences

Michel Combarous\*, Anne Prieur

Laboratoire « énergétique et phénomènes de transfert », UMR ENSAM–université Bordeaux-I–CNRS 8508, Esplanade des Arts et Métiers, 33405 Talence Cedex, France

Reçu le 16 septembre 2003 ; accepté le 23 septembre 2003

Présenté par Robert Daustray

---

## Résumé

Les quelques réflexions proposées dans le cadre de cette note se situent résolument dans une perspective anthropique : quels sont les besoins de la population terrestre en matière d'énergie ? Comment les satisfaire à moyen terme ? Quels liens avec le futur d'un système nécessairement borné, le système « surface terrestre–océan–atmosphère » ? Depuis 30 ans, la consommation individuelle mondiale d'énergie est constante. Cette observation constitue l'élément essentiel d'une méthode robuste de prévision, à court et moyen termes, des rôles relatifs des principaux vecteurs énergétiques, de leur couplage avec le cycle du carbone. D'où, *in fine*, la formalisation des aspects essentiels de toute politique énergétique. **Pour citer cet article : M. Combarous, A. Prieur, C. R. Geoscience 335 (2003).**

© 2003 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

## Abstract

**World energy consumption: a robust method for the prevision of their middle term evolution; first consequences.** This document proposes some ideas on the global energy context in an anthropogenic view: what are the needs in energy for the world population? How could they be satisfied in the middle term? What links exist with the near future of a necessarily limited system, the 'Earth Surface, oceans and atmosphere' system? Over past 30 years, the world individual energy consumption has been a constant. This is the basis of a robust method for predicting, in the short and middle term, the relative part of the main energy vectors and their interactions with the carbon cycle. Finally, some essential aspects of any energy planning are pointed out. **To cite this article: M. Combarous, A. Prieur, C. R. Geoscience 335 (2003).**

© 2003 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

*Mots-clés :* cycle du carbone ; énergies fossiles ; principe d'économie ; principes de précaution

*Keywords:* carbon cycle; fossil fuels; principle of economy; precautionary principles

---

\* Auteur correspondant.

Adresses e-mail : [mc@lept-ensam.u-bordeaux.fr](mailto:mc@lept-ensam.u-bordeaux.fr) (M. Combarous), [prieur@lept-ensam.u-bordeaux.fr](mailto:prieur@lept-ensam.u-bordeaux.fr) (A. Prieur).

### Abridged English version

As far as global energy consumptions are concerned (§ 1), two main power units are frequently used, the watt and the ton of oil equivalent (toe) per year. Without taking into account neither the various types of energy vectors nor the yield aspects of energy production, the equivalence between those two units is rather simple: 1400 W equals approximately 1 toe/yr.

The world-population-growth rate (§ 2) is the first element to be considered, when looking at present and future energy consumptions. The world population is nowadays about  $6.5 \times 10^9$  inhabitants. Though both birth rate and death rate are on the way to be stabilized at the same low value, in the next decades, at the time an additional increase of 200 000 people is observed each day.

Looking at the main explicit energy vectors (§ 3), that is to say on one hand carbonaceous fossil, nuclear and hydraulic energy and, on the other hand, less massive energy carriers (renewable energy such as wind, solar, tide, geothermal and biomass energy), it appears that the world individual annual energy consumption has been roughly a constant over past thirty years, and is equal to 1.5 toe/(inhab yr) (Fig. 1). This result (§ 3.2) can be the basis of a robust estimate of the future energy needs: as the population is growing each day of 200 000 inhabitants, the world energy consumption will grow each day of 300 000 toe. Without taking into account the energy production yields, this leads to a necessary daily additional energy production of about 1000 MW.

At the global scale (§ 4), the main energy vectors are the carbonaceous fossil fuels (coal, oil and gas), the nuclear energy, the hydraulic energy and the woody biomass (Fig. 2). Coal is said to have the main proved reserves (about 800 Gtoe), whereas gas has about 150 Gtoe of proved reserves and oil 250 Gtoe. It has to be pointed out that this estimate does not consider the potential of oil shales and tar sand. Then carbonaceous fossil fuels appear to be, in the next decades, necessary energy vectors (§ 4.2): (1) the daily energy demand is constantly growing, (2) the distribution between the different energy vectors seems to present a certain inertia, (3) the part of carbonaceous fossil fuels (more than 80%) is important, and (4) the reserves of those fuels, as any form studied at the time, are important too.

The first-well known consequence of the permanent importance of carbonaceous energy carriers is a strong increase of greenhouse effects (Fig. 3). Hence, two complementary attitudes must be emphasized. First, because of limited fossil fuels reserves, a principle of economy must be promoted (§ 5.1). Secondly (§ 5.2), in order to satisfy the pressing need of anthropogenic carbon dioxide emission reductions, another group of principles, the precautionary principles, have to be set up. Indeed, the only energy responsible for the carbon emissions into the atmosphere are coal, oil and gas, if wood is treated apart. Those anthropogenic emissions are either concentrated or diffuse (Fig. 4) and participate to the global carbon cycle, implying exchanges between various compartments: atmosphere, oceans, animal and vegetal biomass and underground, from which are extracted fossil fuels. In order to enhance a better control on anthropogenic emissions of carbon into the atmosphere (§ 5.3), various methods are studied at the time, either for concentrated or for diffuse emissions: underground storage, ocean storage and terrestrial biological storage. In this context, wood could have a double function: carbon capture and storage and substitution to fossil fuel energy (Fig. 5).

As concluding remarks (§ 6), despite important inertial effects in the relative distribution between energy vectors (Fig. 6), some essential elements of any energy planning are pointed out. First, at the local or operational scale, various types of actions can be promoted: energy savings, development of any type of energy production and development of carbon capture and storage systems. This last point is very important if we consider the influence of energy production devices on the behaviour of the overall system constituted by the Earth Surface, oceans and Atmosphere (ESA). Obviously, all these remarks must be included in a wider 'vision of the world', through which the geographical distribution of resources, of any kind, must tend to a better homogeneity.

### 1. Quelques unités et équivalences fréquemment utilisées

En matière de consommations globales, deux unités de puissance, c'est-à-dire de flux d'énergie par unité de temps (les kWh et MWh sont, bien sûr, des unités

d'énergie et non de puissance), sont classiquement utilisées dans maints domaines.

- Le watt, unité internationale, et ses multiples, le kW et le mégawatt (million de watts), qui est une référence fréquente. Ainsi, par exemple, une grosse centrale électrique à charbon produit couramment entre 600 et 800 MW, et les tranches nucléaires mises en place dans la dernière décennie produisent environ 1000 MW (les dernières tranches nucléaires européennes approchent les 1450 MW).
- La tonne d'équivalent – pétrole par an, ou plus souvent également la Mtep/an ou la Gtep/an (1000 Mtep/an) (remarque : les producteurs de pétrole utilisent couramment le million de barils par jour qui correspond à 50 Mtep/an).

L'équivalence « théorique » entre ces deux unités est simple : la prise en compte du pouvoir de combustion supérieur (PCS) des hydrocarbures conduit, sur la base d'une composition moyenne de brut pétrolier, à considérer, pour l'ensemble des statistiques internationales que 1400 W *équivalent* à 1 tep/an.

Cette équivalence ne préjuge en rien des formes d'énergie produites ou utilisées. Ainsi, pour prendre l'exemple classique de la production d'électricité à partir de combustibles carbonés, il faut nettement plus d'une tep/an pour produire 1400 watts électriques, compte tenu des rendements moyens de combustion de 30 à 40%.

## 2. Évolution de la population mondiale

Après une période où la référence dominante était la « croissance exponentielle », avec tout ce que cela sous-entend d'expansion incontrôlée, il apparaît nettement que nous assistons plutôt à ce que les démographes appellent une transition démographique [12,14].

À partir d'un premier état, où taux de natalité et de mortalité, égaux, étaient relativement forts (plus de 3% par an), se met en place, actuellement, un second état, pour lequel la population totale sera de nouveau stable, mais avec des taux de mortalité et de naissance relativement plus faibles (2% par an, par exemple). La période actuelle correspond sensiblement « au point

d'inflexion de la courbe en S » décrivant la population en fonction du temps.

De près de 6,5 milliards actuellement [8], nous serons « demain » entre 8 et 10 milliards d'habitants. Actuellement, la population mondiale croît *chaque jour de plus de 200 000 habitants* (bilan des naissances et des décès).

## 3. Les consommations mondiales d'énergie

### 3.1. La consommation individuelle, une donnée relativement stable

Nous considérons ici les consommations d'énergie parfois qualifiées d'explicites : celles qui correspondent, d'une part, aux grands vecteurs que sont les combustibles carbonés (charbon, pétrole, gaz), le nucléaire, l'hydraulique et, d'autre part, des formes moins « massives », souvent renouvelables, comme l'énergie éolienne, l'énergie des mers et des marées, l'énergie solaire (électrique et thermique), la géothermie et certaines formes d'utilisation de la biomasse (bois, combustibles divers, biocarburants, biogaz...).

En ce qui concerne les historiques de consommations, les situations de ces deux groupes sont quelque peu différentes. Les données relatives aux grands vecteurs énergétiques sont renseignées d'une manière relative exhaustive et ceci depuis longtemps [5]. Quant aux formes moins massives, plusieurs difficultés sont à noter, lorsque l'on cherche à les consolider à l'échelle mondiale : disponibilité de données souvent dispersées, hétérogénéité et conversion parfois difficiles à maîtriser. On peut néanmoins, concernant ces formes d'énergie, faire deux remarques :

- le poids relatif des formes que nous avons qualifiées de « moins massives » reste constant par rapport à l'ensemble ; bien sûr, l'éolien « électrique » connaît un essor important, mais le « bois combustible » évolue plus lentement ;
- globalement, ce poids relatif peut être estimé à 5 à 10% de l'ensemble des consommations explicites.

Le point le plus significatif, à nos yeux, concernant ces consommations explicites d'énergie est le suivant : lorsque l'on considère la consommation annuelle d'énergie, à l'échelle mondiale, par habitant,

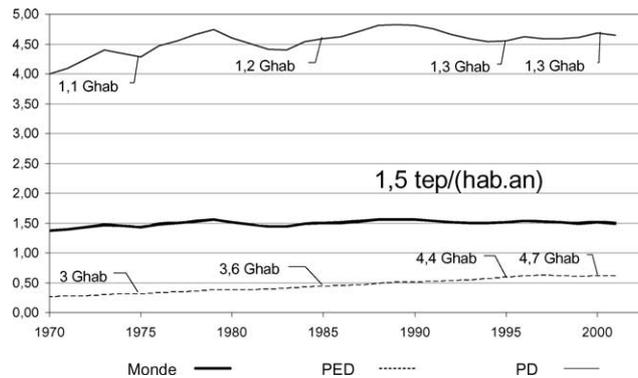


Fig. 1. Consommations individuelles d'énergies conventionnelles dans le monde, les pays en voie de développement et les pays développés. Source : BP (normes internationales) et FAO.

Fig. 1. World, developing countries and developed countries conventional individual energy consumption. Source: BP (international convention) and FAO.

on constate que, depuis une trentaine d'années, la consommation dans le Monde, par habitant et par an, correspondant aux grands vecteurs énergétiques est restée sensiblement constante, « calée » à environ 1,5 tep/(hab an) (Fig. 1).

Cette observation, qui peut surprendre, est due à la conjonction de deux effets contraires : les gros consommateurs (USA, Canada...) ne réduisent pas leur consommation, les moins développés consomment plus d'énergie, mais le poids en terme de population des « nantis », nord-américains en particulier, diminue. Les ampleurs relatives de ces deux effets sont telles qu'apparaît un effet de compensation.

### 3.2. Une prévision, à moyen terme, de l'évolution des consommations d'énergie

Ce résultat constitue en lui-même le fond d'une méthode robuste de prédiction des évolutions de consommations d'énergie.

Chaque jour, pour fournir de l'énergie aux 200 000 habitants supplémentaires, il faut bien sûr, mettre en jeu un accroissement de consommation d'énergie d'environ 300 000 tonnes d'équivalent pétrole.

C'est-à-dire, pratiquement, mettre en service, chaque jour, un ensemble d'éléments produisant près de 500 MW et fonctionnant sans discontinuer. Cet ensemble, qui pourrait être qualifié de « tranche virtuelle », correspond à la mobilisation d'éléments réels, d'un type ou d'un autre, produisant, en fonctionne-

ment, environ 1000 MW, en production concentrée ou sous la forme virtuelle de sources dispersées.

Bien sûr, pour affiner ce résultat, il conviendrait de prendre en compte les problèmes de rendements thermodynamiques (par exemple, comme nous l'avons déjà évoqué, pour la combustion de pétrole en vue de la production d'électricité), les durées réelles de fonctionnement des différentes installations (par exemple, 1000 à 1500 heures/an pour une éolienne)...

## 4. Les grands vecteurs énergétiques « explicites »

### 4.1. Panorama général

À l'échelle du globe, les principales consommations explicites d'énergie correspondent aux cinq vecteurs majeurs déjà identifiés, auxquels on conviendra d'ajouter le « bois combustible » (Fig. 2), soit l'équivalent d'environ 13 500 « tranches virtuelles de 1000 MW », fonctionnant sans aucun arrêt :

- les produits fossiles carbonés : le pétrole (37%), le charbon (24%) et le gaz (22%), constituant la majorité des consommations, énergie fossile d'origine solaire ;
- l'énergie nucléaire (6%), dont la production considérée ici est celle d'électricité, dont la valeur « exergetique » unitaire est, comme nous l'avons déjà évoqué ci-dessus, supérieure à celles des trois sources précédentes [13] ;

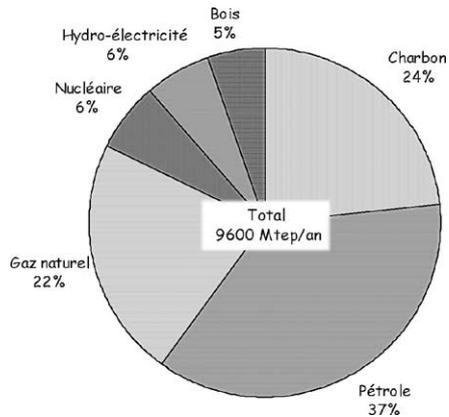


Fig. 2. Consommation d'énergie dans le monde (en 2001, soit pour une population de 6,1 Ghab).

Fig. 2. World energy consumption (in year 2001, corresponding to 6.1 Ginhab, i.e.  $6.1 \times 10^9$  inhab).

- l'électricité d'origine hydroélectrique (6%), une forme d'énergie solaire, pour laquelle la remarque précédente sur sa haute valeur exergetique s'applique également ;
- enfin, la biomasse végétale ligneuse, expression un peu précieuse pour désigner le bois. Il ne s'agit pas là de la seule forme d'énergie issue de la biomasse végétale ; nous l'évoquerons plus longuement plus avant dans cette note.

Quelques remarques complémentaires, concernant les seuls combustibles « carbonés ».

- De ces trois combustibles, le charbon est celui dont les réserves sont les plus importantes. Elles sont considérées, en effet, en y incluant la lignite, comme équivalant à environ 800 Gtep, soit plusieurs siècles de consommation au rythme actuel [18].
- Le gaz, dont les réserves mondiales sont estimées à 150 Gtep (170 MMm<sup>3</sup> environ), soit plus d'un demi-siècle de la consommation des années 2000 (les réserves ultimes seraient trois à quatre fois plus importantes), connaît depuis plusieurs années un développement régulier, favorisé, entre autres choses, par sa souplesse d'utilisation.
- Le pétrole, dont les réserves prouvées et récupérables (250 Gtep environ) ont une ampleur sensiblement comparable à celle du gaz, une quarantaine d'années environ, verra son utilisation prin-

cipale de plus en plus dévolue aux transports. Il est à noter qu'en ce qui concerne ce combustible, l'évolution des techniques de récupération joue un rôle important dans l'estimation des quantités qui sont effectivement récupérables, réévaluées pratiquement chaque année à la hausse [1].

- Enfin, ne sont pas indiquées, dans les chiffres ci-dessus, les perspectives offertes par deux autres sources fossiles, d'une part les sables bitumineux (environ 54 Gtep dans le monde en réserves prouvées et 308 Gtep en réserves connues, [7] in [2]) et les schistes bitumineux (environ 76 Gtep en réserves prouvées et 286 en réserves additionnelles, [18] in [2]) et, d'autre part, éventuellement, les hydrates de gaz (675 Gtep dans le permafrost et 18 000 Gtep dans les sédiments océaniques, [15] in [2]).

#### 4.2. Les combustibles fossiles « carbonés », vecteurs incontournables à moyen terme

Dans le décor que nous avons esquissé, plusieurs points nous semblent devoir être repris : (1) la nécessité d'augmenter chaque jour les capacités de production d'énergie, (2) une certaine inertie dans les redistributions entre les différents types de vecteurs énergétiques, (3) l'importante place occupée par les combustibles fossiles « carbonés » (plus de 80%) et (4) les réserves en ces combustibles, sous toutes les formes actuellement étudiées, qui restent importantes.

Dans ce contexte, il ne fait pas de doute que le rôle des combustibles carbonés, dans les prochaines décennies, restera tout à fait important.

### 5. Les premières conséquences : effet de serre, principe d'économie et principes de précaution

#### 5.1. Principe d'économie

Une première remarque s'impose à ce stade. Quelles que soient les appréciations quantitatives sur leur ampleur, les ressources fossiles sont nécessairement limitées et un principe, que l'on pourrait qualifier de « principe d'économie », doit conduire à restreindre au maximum l'appel à ces ressources. Cette attitude est d'ailleurs tout à fait cohérente avec le souci de réduire au maximum les apports humains à l'effet de serre.

### 5.2. Une impérieuse nécessité : la réduction des émissions anthropiques

Lorsque l'on constate le rôle prédominant des combustibles fossiles « carbonés » dans les émissions anthropiques de gaz à effet de serre, une seconde remarque s'impose, complétant, d'une manière essentielle, le panorama énergétique. Participant d'un principe général, souvent qualifié de « *principe de précaution* », ou plus exactement d'un ensemble d'attitudes, de règles et de principes, elle consiste à mettre en avant, tout à la fois, les nécessaires progrès en matière de réduction des émissions de gaz carbonique (cette attitude est, de surcroît, parfaitement compatible avec le principe d'économie) et la mise en oeuvre de techniques de capture et de stockage du gaz carbonique.

Une analyse exhaustive des consommations d'énergie mobilisées pour la création de systèmes énergétiques et pour leur fonctionnement quotidien, fait très souvent apparaître le rôle de différents vecteurs énergétiques dans le processus tout entier. Ainsi, par exemple, dans un bilan écologique complet, il convient de prendre en compte qu'un barrage, une centrale nucléaire ont mobilisé des combustibles carbonés lors de la mise en oeuvre de certains matériaux, le ciment entre autres.

Ceci étant dit, en ne considérant que les seules consommations (hors le bois), les seuls responsables des émissions anthropiques de gaz carbonique dans le système « Surface Terrestre–Atmosphère » sont, par ordre d'hydrogénation croissante, le charbon, le pétrole et le gaz naturel (Fig. 3).

De plus, un autre aspect doit être pris en compte, le caractère concentré ou diffus des émissions de gaz à effet de serre, associées aux productions anthropiques (Fig. 4). Le cycle du carbone met en jeu plusieurs compartiments qui échangent les uns avec les autres :

- l'atmosphère au sein de laquelle la concentration en CO<sub>2</sub> croît régulièrement, avec des baisses relatives, saisonnières, à chaque printemps boréal [9];
- la masse des mers et océans;
- les biomasses végétales et animales, la plus importante étant constituée par les forêts;
- le sous-sol, dont la contribution la plus significative est le rôle qu'il joue en tant que pourvoyeur des combustibles fossiles.

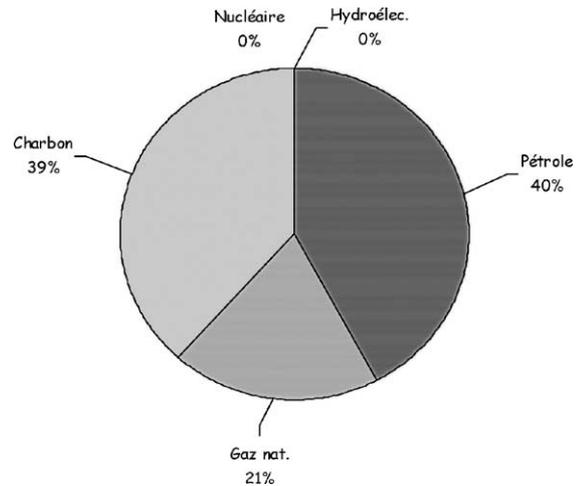


Fig. 3. Origine des émissions des 7,3 Gt de carbone provenant, par année, des combustibles fossiles, soit en CO<sub>2</sub>  $(44/12) \times 7,3 \approx 20$  Gt/an.

Fig. 3. Sources of annual 7.3 Gt of carbon emissions from fossil fuels, or in CO<sub>2</sub> equivalent  $(44/12) \times 7.3 \approx 20$  Gt/yr.

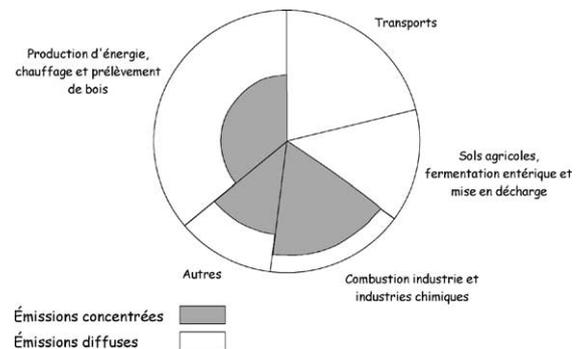


Fig. 4. Répartition du CO<sub>2</sub> entre émissions concentrées et émissions diffuses.

Fig. 4. CO<sub>2</sub> distribution between concentrated and diffuse sources.

### 5.3. Les différentes voies de contrôle de l'effet de serre

Dans ce contexte, pour tenter de mieux contrôler l'influence des consommations d'énergie, sur la répartition des stocks de carbone dans le système « surface terrestre–atmosphère » [4], on envisage maintenant le recours à des systèmes du piégeage de gaz carbonique, différents selon qu'il s'agit de piégeage de carbone correspondant à des sources concentrées (centrales, ...) ou à des sources diffuses (moyens de transports...).

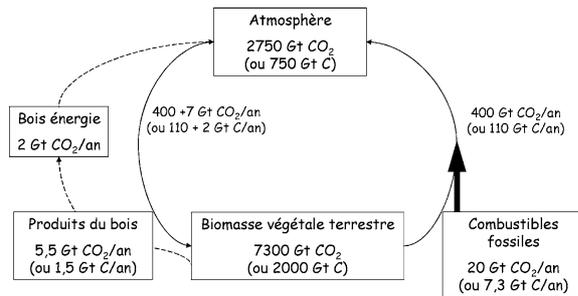


Fig. 5. Cycle du carbone dans trois compartiments du système « STA » (le système complet comprend aussi les océans).

Fig. 5. Carbon cycle in three compartments of the 'ESA' system (the whole system includes also the oceans).

Parmi les méthodes explorées actuellement, on compte [10,11] :

- les stockages *géologiques* : gisements de pétrole, de gaz déplétés, veines de charbon, aquifères salins... ;
- le stockage dans les océans : injection en profondeur, forçage du stockage « naturel » (planc-ton... ) ;
- le stockage *biologique terrestre* : changement d'allocation des sols, afforestation, reforestation, produits du bois, bien adapté à la séquestration du carbone associé aux émissions diffuses.

Le rôle du bois, ou de tous autres produits ligno-cellulosiques, est en fait double. D'une part, les écosystèmes forestiers sont, a priori, les plus adaptés à la capture et au stockage du carbone diffus [17]. D'autre part, l'utilisation aussi étendue que possible du « bois combustible » contribue à stabiliser le recours aux combustibles fossiles carbonés (Fig. 5) [16].

## 6. En guise de conclusion : quelques éléments essentiels de toute politique énergétique

Pour banales que puissent sembler parfois certaines d'entre elles, quelques appréciations doivent être formalisées à ce stade. L'estimation robuste qui a été faite montre bien l'ampleur des enjeux énergétiques actuels. Il convient de noter, d'ailleurs, que même à une échelle géographique plus réduite, concernant un pays avancé, on retrouve les mêmes sensibilités : le rapport du Comité des Sages, publié récemment [6]

dans le cadre du *Débat national sur l'énergie*, souligne lorsqu'il évoque la situation française, bien des points que nous évoquons ou développons ici. Ainsi, par exemple, en matière d'énergie, il ne s'agit pas d'imaginer la substitution définitive des formes d'énergie les plus polluantes par telle ou telle autre plus neutre vis-à-vis de l'environnement, mais plutôt d'agir ponctuellement sur tous les plans possibles. Il est d'ailleurs important de noter que, dans le domaine des productions d'énergie, les temps d'amortissement des installations sont souvent très grands, qu'il s'agisse d'une centrale de tout type, d'un réseau de puits de production, d'un gazoduc... ou d'un terminal pétrolier. Les évolutions sont donc toujours très progressives (Fig. 6). Cette inertie ne doit, en aucun cas, justifier une quelconque inaction.

En effet, aux échelles locales, ou opérationnelles, toute une palette d'actions doit être mise en oeuvre :

- *économies* d'énergie de tous types, augmentation des rendements sur l'ensemble des chaînes énergétiques ;
- développement de *toutes formes* de production d'énergie, en particulier d'énergies renouvelables [3] ;
- et mise en place de systèmes de *capture et stockage* de carbone.

C'est bien dans toutes ces perspectives que l'on retrouve, par exemple, des approches telles que l'écologie industrielle, les analyses des cycles de vie... .

Aux échelles supérieures, c'est-à-dire régionales et continentales, ces actions se regroupent sous deux classes de principes, déjà évoqués : les principes d'économie et de précaution, constituant la base de toute démarche de développement durable.

Enfin, le système « surface terrestre-atmosphère » est fini et ne pourra être acceptable dans l'avenir que grâce à une progression vers une meilleure homogénéité, c'est-à-dire vers une nouvelle répartition des ressources, énergie et eau, en particulier, et une meilleure gestion des autres flux de matière, les déchets notamment. Ces toutes dernières remarques, qui se situent bien dans une certaine vision, un monde plus acceptable pour tous, ont, sans aucun doute, une portée plus vaste que le seul horizon, à court et moyen termes, que nous avons évoqué ici et gardent tout leur sens même lorsqu'on envisage, sur le long terme, une redistri-

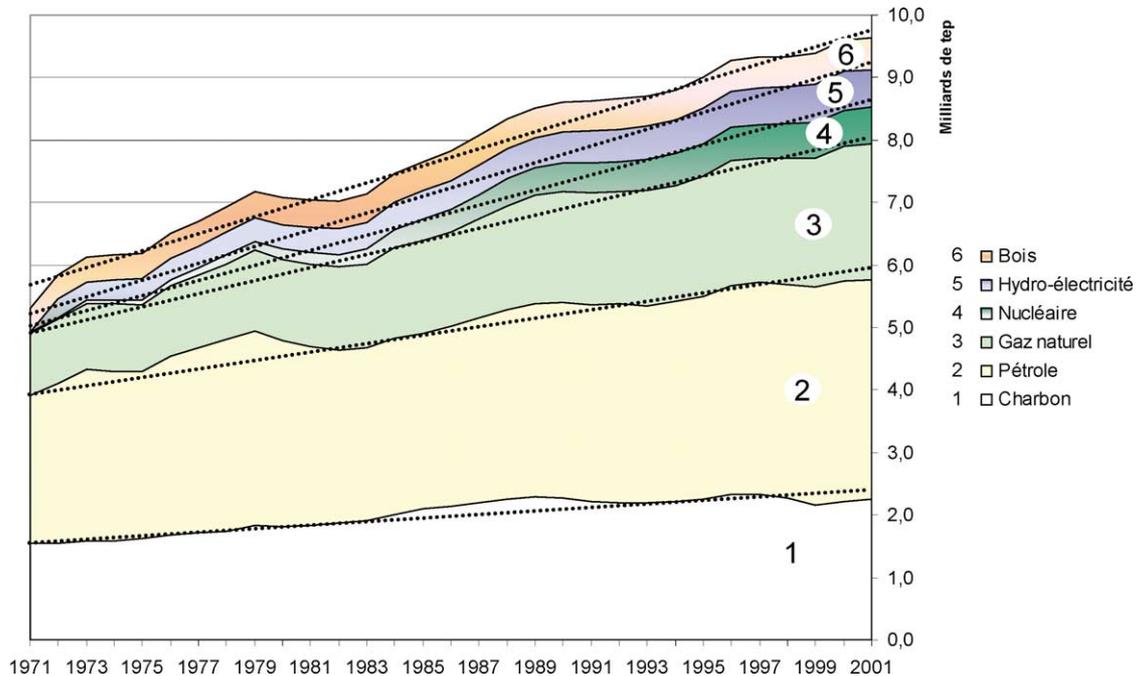


Fig. 6. Évolution des principales consommations explicites mondiales.

Fig. 6. World main explicit consumptions evolution.

bution importante des vecteurs actuels de production d'énergie, voire des formes nouvelles qui pourraient émerger.

## Références

- [1] N. Alazard, L. Montadert, Ressources pétrolières pour le XXI<sup>e</sup> siècle : quel avenir ?, *Rev. IFP* 48 (1993) 69–82.
- [2] B. Alpern, M.J. Lemos de Sousa, Documented international enquiry on solid sedimentary fossil fuels; coal: definitions, classifications, reserves-resources, and energy potential, *Coal Geol.* 50 (2002) 3–41.
- [3] J.-L. Bal, B. Chabot, Les énergies renouvelables. État de l'art et perspectives de développement, *C. R. Geoscience* 333 (2001) 827–834.
- [4] J.-F. Bonnet, M. Combarous, Conversion du rayonnement solaire dans la production de biomasse végétale et animale. Une vision schématique des flux d'énergie, *Entropie* 233 (2001) 3–11.
- [5] BP, BP Statistical Review of World Energy, June 2003.
- [6] P. Castillon, M. Lesggy, E. Morin, Rapport du Comité des Sages, Débat national sur les énergies, 12 septembre 2003.
- [7] Commissariat général du Plan, Énergie 2010–2020, 1998.
- [8] FAO, page d'accueil de la FAO, <http://www.fao.org>.
- [9] S. Ferrarese, A. Longhetto, C. Cassardo, F. Apadula, D. Bertoni, C. Giraud, A. Gotti, A study of seasonal and yearly modulation of carbon dioxide sources and sinks, with a particular attention to the Boreal Atlantic Ocean, *Atmos. Environ.* 36 (2002) 5517–5526.
- [10] P. Jean-Baptiste, Potentiel des méthodes de séparation et stockage du CO<sub>2</sub>, in : Colloque Interacadémique Académie des sciences, Académie d'agriculture de France et Académie des technologies, 16–18 septembre 2002.
- [11] P. Jean-Baptiste, R. Ducroux, Potentiel des méthodes de séparation et stockage du CO<sub>2</sub> dans la lutte contre l'effet de serre, *C. R. Geoscience* 335 (2003) 611–625.
- [12] H. Léridon, Certitudes et Incertitudes de la prévision démographique, *C. R. Geoscience* 335 (2003) 627–635.
- [13] J.-M. Loiseaux, S. David, D. Heuer, A. Nuttin, La filière thorium, une option intéressante pour le nucléaire du futur, *C. R. Physique* 3 (2002) 1023–1034.
- [14] W. Lutz, W. Sanderson, S. Scherbov, The end of the world population growth, *Nature* 412 (2001) 543–545.
- [15] G.J. McDonald, The future of methane as an energy source, *Annu. Rev. Energy* 15 (1990) 53–83.
- [16] A. Prieur, M. Combarous, Forêts et cycles de vie : aspects énergétiques, produits, carbone stocké, in : Congrès forestier mondial, Québec, 21–28 septembre 2003.
- [17] A. Prieur, E. Rauch, Carbon sequestration in forest ecosystems and gas industry: sustainable development and clean energy production from fossil fuel, in : 22<sup>e</sup> Congrès mondial du gaz, Tokyo, 1–5 juin 2003.
- [18] WEC, World Energy Council, Survey of Energy Resources 1998 World Energy Council, London, 1998.