

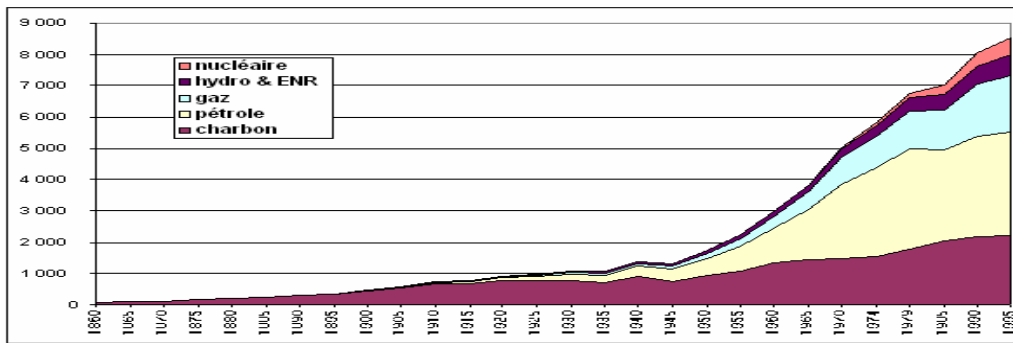
# QUELLES ÉNERGIES POUR DEMAIN ?

## II- Etat des énergies fossiles

(Jérôme Gosset, Ph.D., Ecole des Mines, Paris)

### ➤ Introduction

La courbe, impressionnante, de la croissance de la consommation mondiale d'énergie, pose immédiatement de multiples et lourdes questions concernant la durabilité d'une telle croissance.

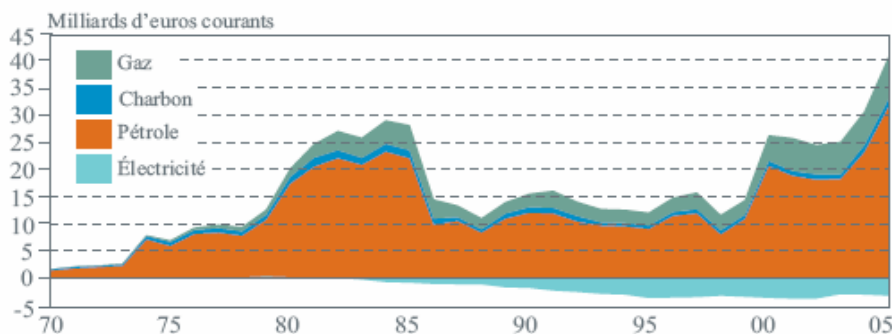


L'évolution passée de la demande d'énergie (Mtep) 1860 à 1995

A l'évidence, le sujet de l'énergie est venu au premier plan dans les débats internationaux comme dans la vie politique nationale, surtout en ce moment. A cela, trois raisons :

- l'augmentation du prix du pétrole, et ses conséquences, notamment sur le pouvoir d'achat.
- le regain des tensions internationales avec certains pays producteurs, qui fait prendre conscience du fait que la sécurité d'approvisionnement n'est jamais définitivement acquise.
- l'émergence du sujet "effet de serre", dont les implications majeures deviennent visibles et sensibles par tous, alors qu'elles commencent tout juste à être appréhendées par les pouvoirs politiques.

### ➤ **Les Coûts** *Evolution de la facture énergétique de la France*



Les enjeux sont primordiaux :

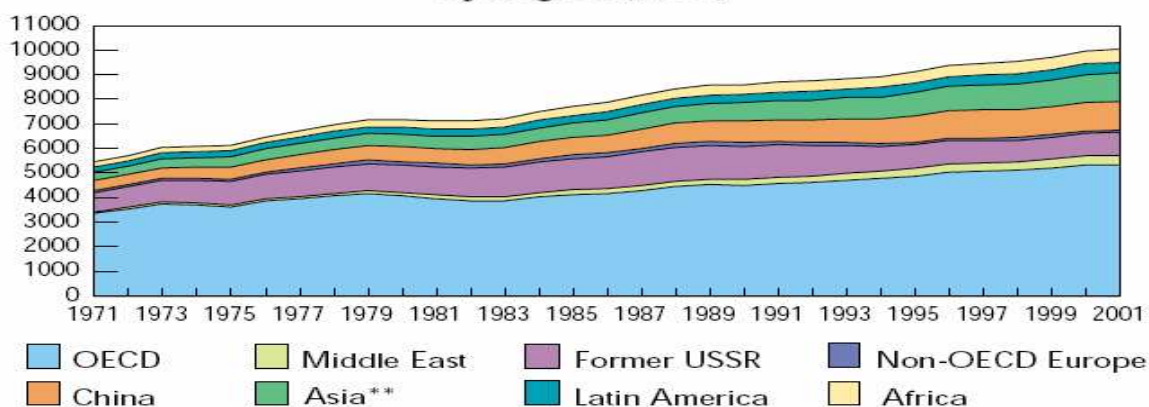
- la facture énergétique de la France en 2005 représente 2,3 % du PIB, soit 38 milliards d'Euros, ce qui est considérable par rapport aux marges de manœuvre et au nombre d'acteurs socio-économiques, dont l'État.
- la rapidité de la croissance de cette facture est fortement déstabilisante : + 35 % par rapport à 2004, elle-même à +24 % par rapport à 2003, et on attend un quasi-doublement pour l'année 2006.
- les impacts de cette croissance sont hétérogènes et lourds pour certains secteurs gros consommateurs d'énergie et certaines catégories de la population (faibles revenus, éloignement du lieu de travail).

- Le débat sur l'énergie a cette caractéristique de déboucher très vite sur des questions techniques trop complexes pour la population. C'est justement parce qu'elle devient vite technique que la discussion sur l'énergie doit faire face à deux écueils opposés, qu'elle ne réussit malheureusement pas toujours à éviter :
  - des « experts » qui s'accaparent la question, souvent en désaccord les uns avec les autres, et desquels les politiques comme les citoyens ont de plus en plus tendance à se défier, vu leur double position ;
  - des positions doctrinaires, entachées d'idéologies, souvent admises par les uns ou les autres faute de pouvoir comprendre entièrement les termes techniques et politiques du débat.

D'où l'idée de présenter ici des « faits techniques », pas assez connus, méritant d'être rappelés ou expliqués, et permettant de préciser certains contextes, de quantifier certains ordres de grandeur, de dégager certains points marquants ou déformés, d'aider à voir ce qui est faisable et quand. Il a donc été évité de porter des jugements définitifs ou surtout de préconiser des solutions "clés en main", car c'est à chaque acteur du jeu énergétique, à commencer par nous les consommateurs, de tirer les conséquences de l'analyse pour ce qui le concerne.

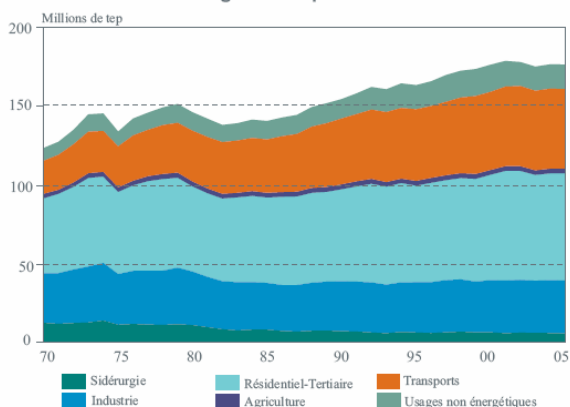
## ➤ Consommation en France et dans le Monde

Evolution from 1971 to 2001 of World Total Primary Energy Supply\* by Region (Mtoe)

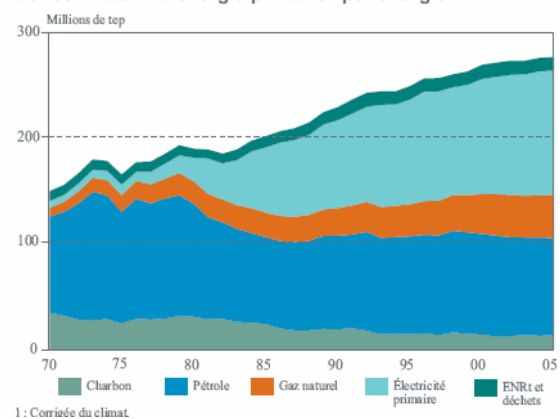


La *croissance moyenne* est de 2,35 % par an, soit 235 MTep (millions de tonnes d'équivalent-pétrole) par an, c'est quasiment la consommation annuelle d'énergie primaire en France... *un rythme effréné !*

Consommation d'énergie finale par secteur



Consommation d'énergie primaire<sup>1</sup> par énergie



Les planches ci-dessus montrent l'évolution des besoins en énergie sur les 20 dernières années en France et dans les différentes parties du monde. Les 30 pays de l'OCDE<sup>1</sup> représentent la moitié de la consommation mondiale actuellement.

- **La France suit la même tendance :** On voit sur les trente dernières années l'abandon progressif du charbon, le développement du parc nucléaire (appelé Electricité primaire), un développement lent mais continu du gaz, et surtout une importante consommation de pétrole, relativement stable même après les chocs pétroliers.

<sup>1</sup> Allemagne, Australie, Autriche, Belgique, Canada, Corée, Danemark, Espagne, Etats-Unis, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Islande, Irlande, Italie, Japon, Luxembourg, Mexique, Norvège, Nouvelle-Zélande, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Slovaque, République Tchèque, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Turquie.

Si on regarde par secteur, on voit que les deux plus gros postes sont *les transports et les bâtiments* c'est-à-dire des domaines qui concernent absolument *tout le monde*. L'industrie ne pèse finalement pas si lourd, car il faut savoir que sur la même période, le PIB a été multiplié environ par deux, ce qui signifie que nous utilisons deux fois moins d'énergie aujourd'hui pour produire une même quantité de richesses : de très gros progrès en efficacité ont été faits.

Il en va de même pour le bâtiment car les surfaces construites bien isolées, ont augmenté considérablement sur la période en France. Ainsi, si l'on veut faire des économies, ce n'est pas sur l'agriculture qu'on va agir, ni sur l'industrie le gain ne sera pas énorme, c'est surtout sur *le transport* qu'il faudra insister.

## ➤ Production dans le Monde

Regardons du côté de la production mondiale, à partir de quelles sources sont produites ces quantités phénoménales d'énergie.

### ❖ Production par énergies fossiles

Le premier constat à faire est que l'humanité utilise principalement des ressources fossiles : c'est-à-dire que nous brûlons du gaz, du pétrole, du charbon qui sont des matières organiques issues de la flore et de la faune de la préhistoire, stockées dans le sol. C'est un peu de l'énergie solaire fossilisée. Elle représente 70 % de notre production mondiale. *Le nucléaire*, si important en France dans notre bilan, reste très modique encore aujourd'hui au niveau mondial. Les autres sont la combustion de bois, de la tourbe, des déchets. Ne parlons pas de l'hydraulique et encore moins des énergies renouvelables ... goutte d'eau dans la mer.

### ❖ Production électrique

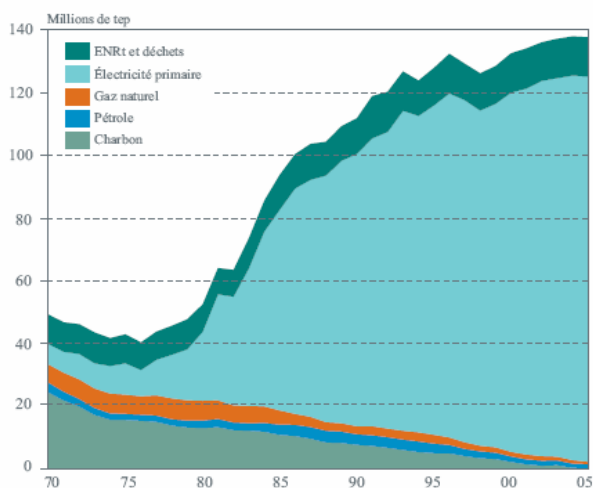
Vu le contexte Français, il est intéressant de faire un point détaillé sur l'électricité dans le monde. On constate que l'hydraulique est très stable, que le nucléaire se développe mais reste encore marginal ailleurs pour des raisons de sécurité et de technologie. La production d'électricité se fait surtout grâce à des centrales thermiques (à gaz, charbon ou pétrole). Contrairement à l'image que nous avons en France de la production d'électricité, il faut savoir que dans le monde c'est surtout *le charbon* et en second *le gaz* qui servent à produire du courant. Pour nous Français le charbon est abandonné, mais pas pour le reste du monde, en particulier la Chine et les USA où on compte énormément dessus pour assurer les besoins présents et futurs. On comprend maintenant pourquoi les recommandations sur le "renouvelable", utilisées par les pro-éoliens et exprimés en pourcentage, ne cadrent pas avec notre pays.

## ➤ Production Primaire en France

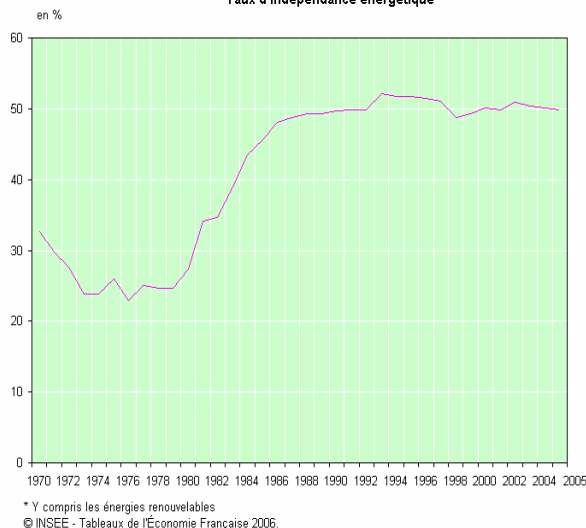
Cette précision étant faite au niveau mondial, regardons maintenant la production d'énergie en France.

Sur la figure de gauche ci-dessous, on observera la fin de l'exploitation des gisements miniers Français. On voit qu'on ne produit presque pas de pétrole. On voit la production de gaz du gisement de Lacq qui s'épuise progressivement. On voit surtout le déploiement du parc nucléaire. Enfin, les "renouvelables" du XXe siècle, restent stables (hydraulique et bois).

Production d'énergie primaire par énergie



Taux d'indépendance énergétique\*



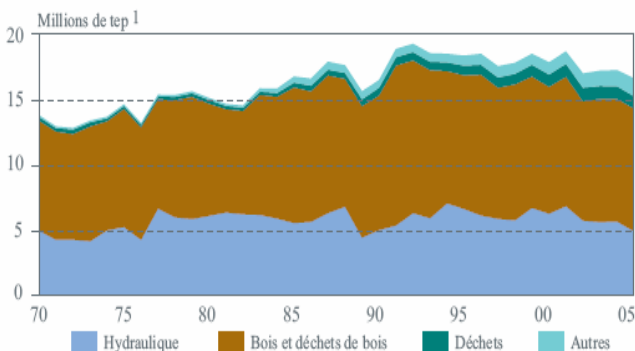
La courbe de droite montre notre taux d'indépendance énergétique, c'est-à-dire la part d'énergie consommée en France qui est produite en France. Elle reflète l'effort fait dans le nucléaire. Si nos anciens n'avaient pas développé le nucléaire, nous serions en fâcheuse position. Toute notre électricité serait produite avec du charbon ou du gaz, que nous devrions importer, aggravant ainsi notre facture énergétique, et notre émission de GES.

Les anti-nucléaires diront que ceci n'est pas vrai parce que si on avait développé les EnR et les économies d'énergie autant que le nucléaire, nous n'aurions pas besoin d'importer du pétrole ou du gaz. Ce qu'il faut bien comprendre, c'est que cela était impossible à l'époque, dans la mesure où les énergies qui commencent à se développer aujourd'hui reposent sur des technologies qui n'étaient pas envisageables dans les années 50, ni même encore il y a quelques années : fibres de carbone pour éolienne, silicium pour panneau solaire, électronique de puissance pour les générateurs, les logiciels pour contrôler et piloter tout cela. En fait, les seules Energies Renouvelables (EnR) disponibles à l'époque (hydraulique et bois) ont été largement exploitées. Quant aux transports individuels, ils ne savent toujours pas utiliser ces énergies.

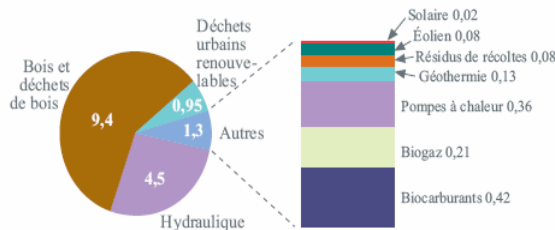
## ➤ Production d'énergies renouvelables (EnR) en France

Regardons de plus près les EnR en France. Le bois et l'hydraulique dominant. On voit émerger les déchets : plus le résultat de la politique de fermeture des décharges qu'une politique énergétique. On voit émerger aussi les EnR, mais cela reste très marginal.

Production totale d'énergies renouvelables



Production d'énergies renouvelables (ENR) par filière en 2005 (Mtep)



### ❖ en conclusion

De ces nombreuses informations et graphiques, il faut retenir que :

- 1) notre niveau de vie est très lié à l'énergie (frigo, télé, auto, clim, four, lave linge, téléphone ...)
- 2) personne n'a envie que ce niveau de vie baisse.

Les questions qui se posent évidemment sont :

- 1) Cela pourra-t-il durer ?
- 2) Avons-nous les réserves suffisantes ?
- 3) Comment va évoluer la consommation d'énergie dans le futur, va-t-elle continuer à augmenter fortement ?

## ➤ Ressources fossiles

Commençons par analyser les disponibilités des ressources.

Les données récentes annoncent actuellement des réserves prouvées voisines de 40 ans de consommation pour le pétrole et 60 ans pour le gaz, aux rythmes actuels de consommation. De grands organismes (USGS, etc...) estiment que les réserves de pétrole conventionnel restant à découvrir sont d'un montant équivalent à 20 ou 30 années supplémentaires de consommation. Enfin, des pétroles considérés il y a peu comme non conventionnels, non rentables, (huiles lourdes, sables asphaltiques, etc...) offrent un potentiel nouveau non négligeable, voisin des ressources de pétrole conventionnel restantes (cf. ci-dessous). Des ressources non conventionnelles de gaz (réservoirs compacts à gaz, gaz de houille, etc.) offrent également un intérêt croissant, sans pour autant faire changer l'ordre de grandeur total des hydrocarbures liquides. *Donc, il n'y aura pas de rupture d'approvisionnement en pétrole.* Par contre il y aura des tensions très fortes sur les prix de vente et de revient, donc des instabilités géopolitiques et économiques.

## ➤ La Dépendance Energétique

### ❖ Pétrole

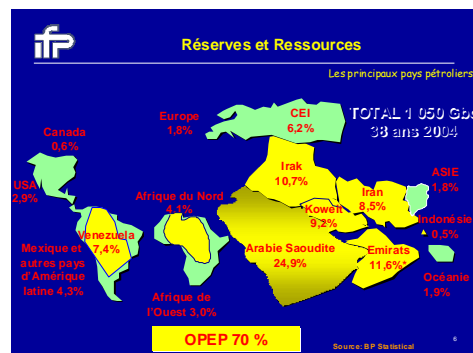
Les réserves pétrolières classiques ne sont pas réparties de façon uniforme dans le monde. Il faut prendre conscience de l'anomalie géologique du Moyen-Orient, comme le montre le graphique qui suit, où la surface de chaque pays est proportionnelle à ses réserves. Notre dépendance pétrolière vis-à-vis de zones politiquement instables va inéluctablement s'accroître. Ce tableau peu optimiste pousse aussi à promouvoir des mesures plus ambitieuses qu'à l'heure actuelle sur les économies d'énergie : plus qu'un impératif écologique, c'est une importante précaution géopolitique. Cette analyse est aussi l'occasion d'insister sur la nécessité d'une politique pétrolière active, au niveau français et européen : quels que soient nos résultats dans la nécessaire maîtrise de l'énergie, le pétrole restera longtemps irremplaçable pour un certain nombre d'usages.

### ❖ Gaz

Pour le gaz, la situation est assez similaire, sauf qu'il y a deux gros acteurs au lieu d'un : la Russie et le Moyen Orient. Les tensions qu'a connu l'Europe sur ses approvisionnements gaziers ont mis à jour les dangers d'une dépendance excessive à l'égard d'une seule région : 44% des importations en Europe proviennent de Russie, les plus gros clients étant l'Allemagne et l'Italie. La dépendance au gaz russe devient une question géopolitique majeure.

### ❖ Charbon

La Chine et les USA bâtissent leur politique autour du charbon car les réserves y sont très importantes : plus de 200 ans de réserves. C'est aussi le cas pour certains pays d'Europe comme l'Allemagne ou la Pologne. Le charbon se transporte mal, par contre des techniques de récupération du CO<sub>2</sub> vont voir le jour, mais à quel prix ?



## ❖ Uranium

Les ressources minières d'uranium à moins de 130 \$/kg, prix raisonnable, sont estimées par l'OCDE à 4 MT environ. Elles sont géographiquement mieux réparties que le pétrole et le gaz. Avec une consommation d'environ 60 000 T/an d'uranium naturel, le parc dispose de 60 ans environ de réserves conventionnelles. L'uranium a été peu prospecté, il est donc fort probable que les réserves soient sous-estimées. Par ailleurs, environ seulement 1 % de l'uranium naturel est consommé dans les réacteurs actuels à eau sous pression. Des évolutions des filières vers l'isogénération voire la surgénération peuvent avoir un impact majeur sur la durée de vie des réserves, en les multipliant par un facteur pouvant atteindre 100. Par ailleurs, ces techniques laissent envisager un abaissement des déchets voire une réutilisation de ceux déjà stockés.

L'uranium est relativement bien réparti à la surface du globe. En revanche la compétition pour l'accès à cette ressource risque de s'exacerber pour plusieurs raisons :

- développement de la demande mondiale, en particulier chinoise
- limitation des capacités d'enrichissement
- difficulté géopolitique ou mouvements sociaux internes aux pays producteurs
- risques de dérives vers une utilisation militaire.

Bien que la situation soit moins tendue actuellement que pour le pétrole et bientôt le gaz, et qu'à priori la négociation sera plus facile, l'accès aux ressources en uranium nécessite une politique extérieure active.

### ➤ Scénario(s) d'évolution française et mondiale

Si l'on regarde maintenant les scénarii d'évolution « business as usual » (BAU), c'est-à-dire en prolongeant les tendances, pratiques, comportements, technologies usuelles, sans rupture forte dans les politiques, on voit que la forte croissance de la consommation et des émissions de CO<sub>2</sub> va continuer aussi bien en France que pour tous les pays du monde. On ne pourra pas suivre : en Europe aujourd'hui, on n'arrive pas à investir dans de nouveaux moyens de production et surtout de gestion de l'électricité, alors que notre croissance économique est faible. Il y a eu un grand "black-out" en Allemagne en décembre 2006, si cela continue on va droit vers d'autres bien plus importants.

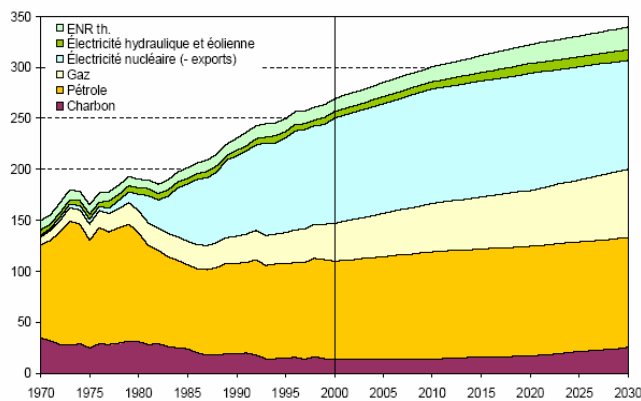


Figure 8 : Consommation totale d'énergie primaire du scénario tendanciel DGEMP-OE (2004) (en Mtep)

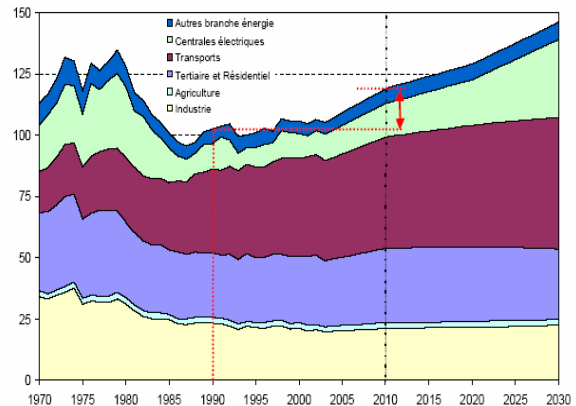
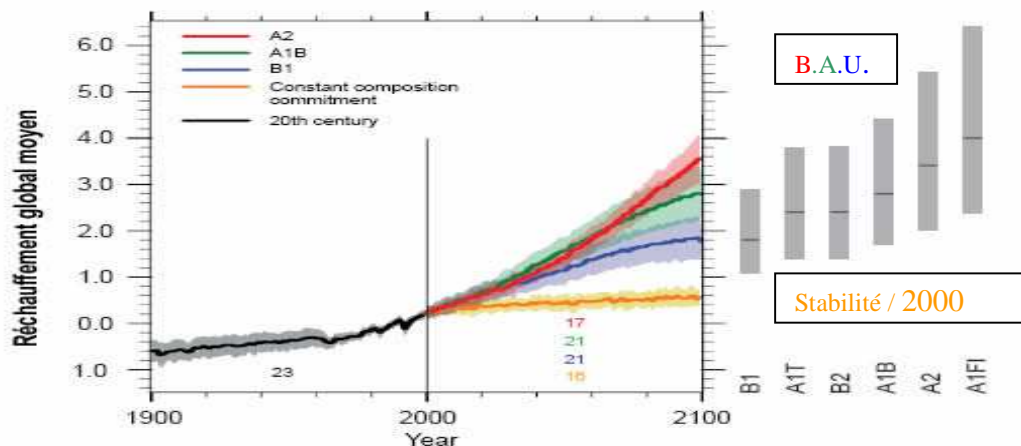


Figure 11 : Estimation des émissions de CO<sub>2</sub> dues à l'usage de l'énergie, par secteur (en Mt de carbone).

Source: GIEC



## ❖ en conclusion

Il n'y a que deux façons d'éviter la catastrophe : limiter la consommation autant que possible et produire de l'énergie autrement, en utilisant moins de ressources fossiles *et* en émettant moins de CO<sub>2</sub>. Quand on parle de limiter la consommation, on peut distinguer deux approches : l'efficacité (conception) et la sobriété (consommation) afin que pour un même service on puisse utiliser moins d'énergie.

## ➤ Notion de Facteur 4

*Quelle ampleur de changement est nécessaire ?* Vous entendrez peut-être parler du *facteur 4* : réduire deux fois par deux nos émissions de CO<sub>2</sub>. Si les pays en développement ne se développaient pas, on stabilise la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, mais ils ont droit comme nous à un niveau de vie plus élevée, donc *encore un facteur deux* pour leur laisser de la marge pour se développer. *C'est un changement radical et profond de la société ! Est-ce possible ?*

La restriction sélective, associée aux conditions de travail très différentes, rendent les producteurs occidentaux non compétitifs et donc menacés économiquement par les pays émergents : Des conflits pourraient naître.

### ❖ Potentiel renouvelable

Première question : C'est l'ampleur prévue des problèmes géopolitiques ou d'effet de serre liés aux énergies fossiles qui poussent tous les pays dont l'Europe vers les énergies renouvelables. Mais les ressources renouvelables sont-elles suffisantes ? Les ressources sont gigantesques : ouf ! C'est un bon point. On ne pourra certainement récupérer qu'une toute petite partie mais même 0,001 % suffiraient à couvrir la consommation mondiale. En plus, on n'a pas besoin de couvrir 100 % de nos besoins par du renouvelable. Notons que si ces ressources sont aussi gratuites que le pétrole ou le gaz, comme pour eux, leur récupération ne l'est pas, il faut financer les moyens, les appareils, les lignes de transport, assurer la maintenance, etc...

### ❖ Potentiel Economies

S'il est à peu près évident que, quelle que soit l'application visée, **les meilleures solutions géopolitiques et environnementales, sont les économies d'énergies**, il est nécessaire de mieux cerner le gisement qu'elles constituent. Même question : le gisement d'économies est-il à la hauteur des enjeux ? La réponse est oui !

### ❖ Bâtiments

Quelques données mal connues en préambule :

- 1°C de moins en température de chauffage, c'est 7 % de moins sur la facture de chauffage ;
- si on choisissait tous les matériels « blancs » et « bruns » les plus performants actuellement, et si on n'utilisait pas la "mise en veille", on économiserait plus de 30 % de la consommation de ces matériels.

*Parc existant* : la consommation moyenne actuelle totale des bâtiments est de 400 kWh/m<sup>2</sup> en énergie primaire dont 2/3 pour le chauffage. Aujourd'hui, une bonne rénovation permet de passer à 200 kWh/m<sup>2</sup>.

*Bâtiments neufs* : on sait faire aujourd'hui des bâtiments qui consomment moins de 50 kWh/m<sup>2</sup> (chauffage et eau chaude) ce qui correspond à l'objectif que l'on souhaite atteindre pour l'ensemble du parc avec le facteur 4 (100 kWh/m<sup>2</sup> en consommation totale). L'isolation thermique est d'autant plus critique qu'avec le réchauffement généralisé, on se met maintenant à produire du froid en été ... un cercle vicieux !

### ❖ Eclairage

Au niveau mondial, l'éclairage consomme actuellement plus d'électricité que celle produite par l'énergie nucléaire ou hydraulique et donc entraîne des émissions de CO<sub>2</sub> dans le monde équivalentes à 70 % des voitures. Les Américains sont les principaux consommateurs.

L'énergie utilisée pour l'éclairage dans le monde pourrait être de 80 % supérieure en 2030 si aucune mesure n'est prise pour ralentir la tendance. Ne comptons pas trop sur les marchands d'énergies pour cela. Cependant, si nous utilisons simplement mieux les technologies et techniques d'éclairage à faible consommation d'énergie, la demande au niveau mondial ne sera pas nécessairement plus importante en 2030. Le potentiel d'économies d'énergie tout simplement gigantesque, peut être réalisé avec des technologies qui non seulement sont déjà disponibles sur le marché, mais en plus sont rentables sur le plan économique (batteries à rechargement solaire par exemple). Adopter de telles mesures permettrait de réaliser des économies de plus de 16 gigaTonnes d'émissions de CO<sub>2</sub> d'ici 2030 et 2 600 milliards de dollars grâce à la réduction de la consommation énergétique et des coûts de maintenance.



### ❖ Technologie Transport

On obtient de bons résultats en plafonnant la puissance des véhicules à des niveaux correspondants aux vitesses maximales autorisées en Europe, ce qui permet aussi l'allègement des voitures. En effet, pour un même service urbain, une automobile de puissance calée sur les limitations de vitesse européennes permet de gagner 50 % de consommation par rapport à une voiture supposée pouvoir atteindre 220km/h. On ne peut pas envisager de réduire les émissions des transports au niveau souhaitable sans revoir l'organisation des systèmes de production, de consommation et d'aménagement du territoire. Il est donc urgent d'adapter les investissements à ces perspectives (ex:le rail)

### ❖ Urbanisme

Les déplacements en automobiles et camions induits par l'organisation d'*hypermarchés de périphérie* conduisent à dépenser *60 fois plus* de carburant qu'une organisation de type grossiste plus petit commerce ou supérette de centre-ville. Ce rapport se réduit à 15 entre l'hypermarché et le e-commerce (commande par Internet) d'où l'intérêt de développer les livraisons.

## ❖ Comportement

Le gain d'émissions de CO<sub>2</sub> séparant l'avion du TGV en trajet national est un *facteur 60*, et entre la voiture et le TGV un *facteur 35*.

## ❖ Industrie

L'optimisation thermique des procédés industriels aboutit à des gains de *facteur 2 à 3* là où 15 à 20% étaient envisagés il y a peu.

### ➤ Pour conclure le chapitre :

*Stabiliser les émissions mondiales de GES avant 2030 est possible*, à condition de ruptures technologiques et d'efforts publics massifs. Quand on regarde les rapports internationaux, on reste frappé par **la timidité** avec laquelle s'amorce notre capacité à relever le défi : se serrer la ceinture n'est pas démagogique.

Considérons ce qui paraît technologiquement acquis, technologiquement sûr (99% de chances d'y parvenir) et technologiquement possible. Comment les choses peuvent-elles se résumer ? Le tableau suivant présente les différentes possibilités d'action, immédiates ou dépendantes d'investissements, avec leurs conséquences sur la réduction de la production de CO<sub>2</sub>. Ces efforts sont possibles et auraient un effet bénéfique sur le réchauffement de la planète.

ACTIONS POSSIBLES	Baisse CO <sub>2</sub>
<i>Economies directes</i>	
Diminution de la consommation des pays développés	6%
Amélioration et renouvellement des véhicules	4%
Utilisation du GNP (gaz naturel) pour les bus et camions	2%
Développements des biocarburants	6%
Si les 12 plus grands pays avaient une production d'électricité à 70% de nucléaire	21%
Solaire	6%
Éolien	6%
<i>Economies nécessitant des investissements</i>	
Véhicules hybrides	3%
Aviation	3%
Séquestration CO <sub>2</sub> (Houille)	6%
Réacteur nucléaire plus performant	6%
<b>Soit une capacité totale de réduction des émissions de CO<sub>2</sub></b>	<b>69%</b>

Si les données précédentes s'avèrent bien pertinentes, que peut-on déduire de tout cela ?

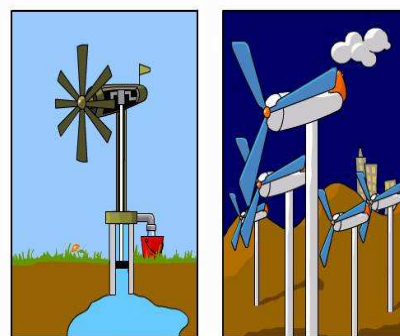
1/ Que l'humanité peut très bien nourrir l'espérance de stabiliser à long terme les émissions de GES au niveau qu'elles auraient atteint aux alentours de 2025-2030.

2/ Que cette stabilisation a un coût, mais qu'il est finalement assez modéré, de l'ordre de 15% de la facture énergétique mondiale. Encore ne prend-on pas en compte les retombées économiques induites par le développement de filières industrielles nouvelles bien gérées (énergies renouvelables, etc). Une étude économique conduite par des consultants et des universités internationales et indépendantes serait susceptible de valider ou non le coût d'une telle stabilisation.

3/ Que le double développement du nucléaire et des énergies renouvelables est une nécessité. Le nucléaire risque aussi d'être stratégique par la stabilisation des prix du kWh qu'il est susceptible de garantir, cette possibilité restant à confirmer en situation de marché libéralisé où l'introduction de nouvelles capacités de production n'est pas fluide. La biomasse pourra avoir le même rôle stratégique sur les prix des carburants si des quantités significatives de carburants sont produites.

L'effort à faire est gigantesque et sera probablement douloureux. Il donnera lieu à d'intenses discussions, et même à des bras de fer internationaux. Les économies ne suffiront pas, ni le développement de moyens nouveaux de production, il faudra les deux.

Ce propos n'est donc pas de vous déprimer, au contraire, il est de vous mobiliser et de vous faire prendre conscience que les projets qui arrivent près de chez nous ne sortent pas du chapeau. Ils sont simplement le début des questions difficiles, posées à chaque citoyen sur le compromis qu'il souhaite sur l'énergie. Cela ne fait que commencer, et les questions sont bien concrètes : quel changement de paysage et d'environnement urbain (éoliennes, panneaux solaires, centrales, forages ...) êtes vous prêts à accepter, ou négocier contre quels changements dans vos consommations d'énergie ?



Ne pas confondre ...