

Production d'énergie et réchauffement climatique

Frédéric LIVET

SIMAP-ENSEEG-Grenoble

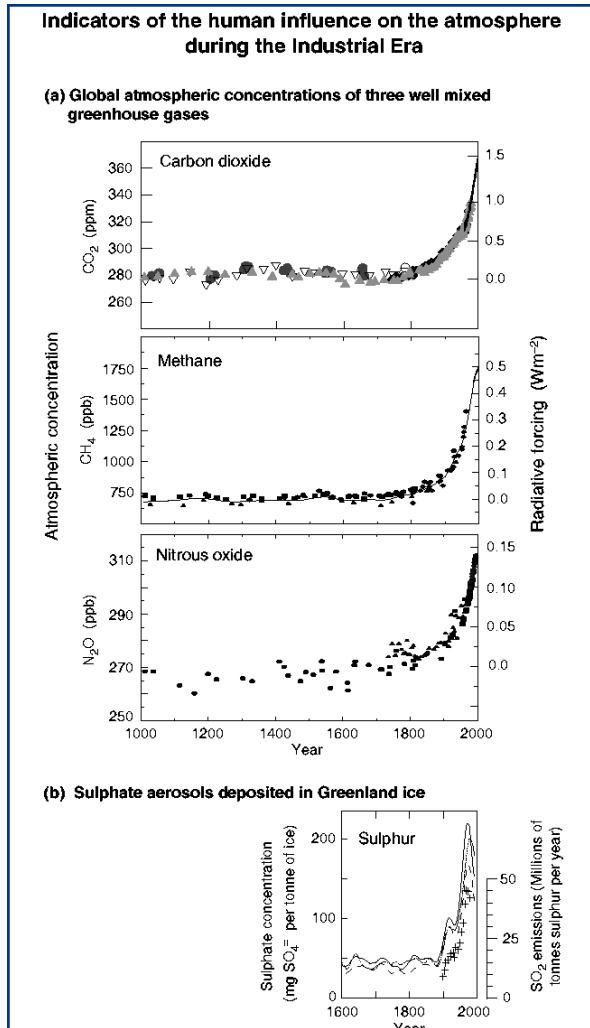
CNRS, UMR 5614, Domaine Universitaire, BP 75

38402 St Martin d'Hères Cedex, FRANCE

Plan de l'exposé

1. Le réchauffement climatique est un grand problème du 21 ème siècle
2. Faut-il réduire les consommations ou les émissions de Gaz à effet de serre?
3. La France est-elle bonne ou mauvaise: les estimations européennes.
4. Les rendements des principales machines “thermiques”
5. Le “lâchage” allemand de 1998 et le prix du gaz
6. Le pourquoi et le comment de l'évolution du prix des hydrocarbures
7. Les annonces d'une révolution dans l'électricité semblable à celle des télécoms et la dérégulation
8. La réalité de l'éolien
9. Etat du photovoltaïque et son avenir
10. Voiture électrique et “civilisation de l'hydrogène”
11. Avenir des filières proposées et politique européenne

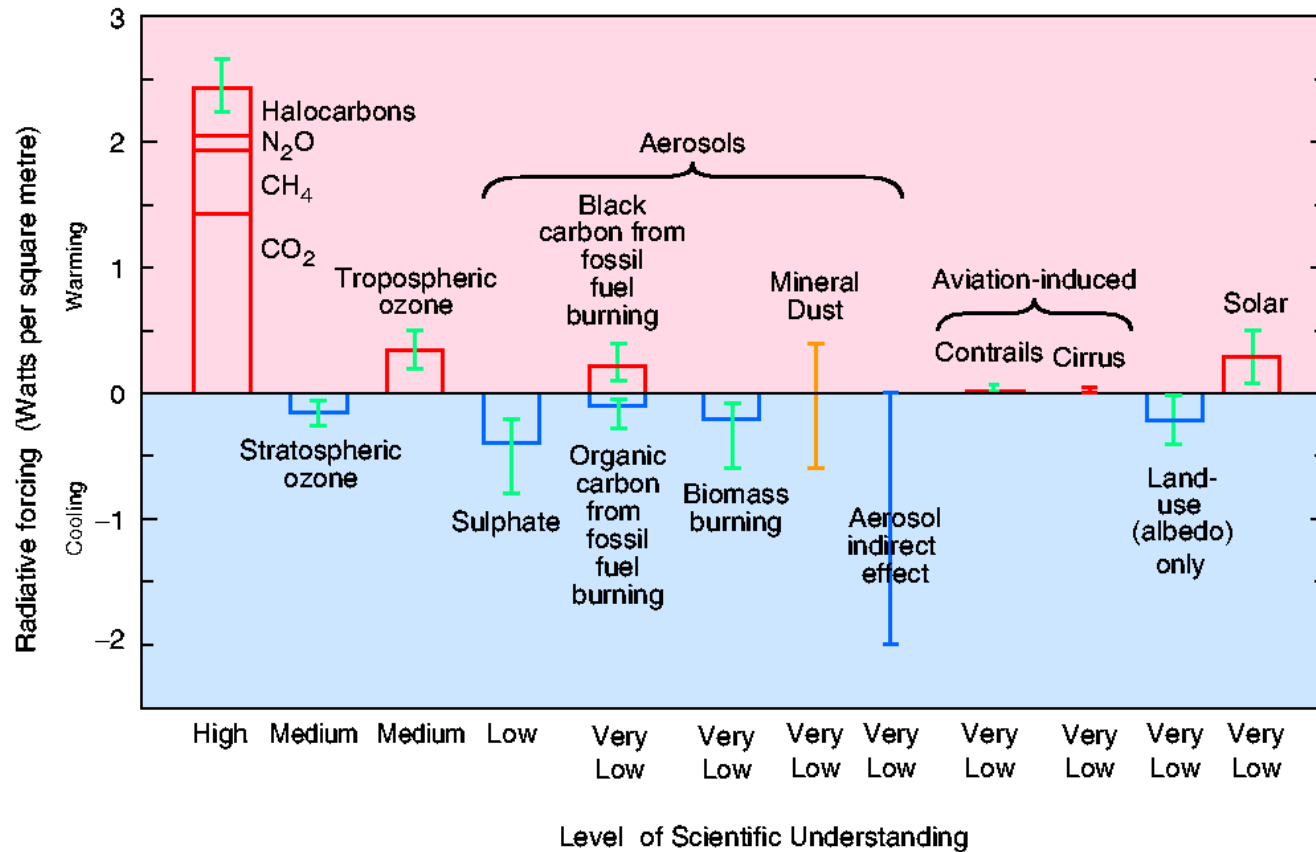
Les données du GIEC



Tous les gaz à effet de serre sont en augmentation rapide. Le plus lent à s'éliminer est le CO₂ (100 ans), le CH₄ s'élimine en 10 ans et est 26 fois plus efficace. Le CO₂ est dû au développement des sources d'énergie, le CH₄ est dû à l'agriculture et à l'utilisation du gaz naturel (fuites, mais un jour les hydrates????).

Forçage

The global mean radiative forcing of the climate system for the year 2000, relative to 1750



Contributions des divers causes au réchauffement climatique

La modélisation des températures

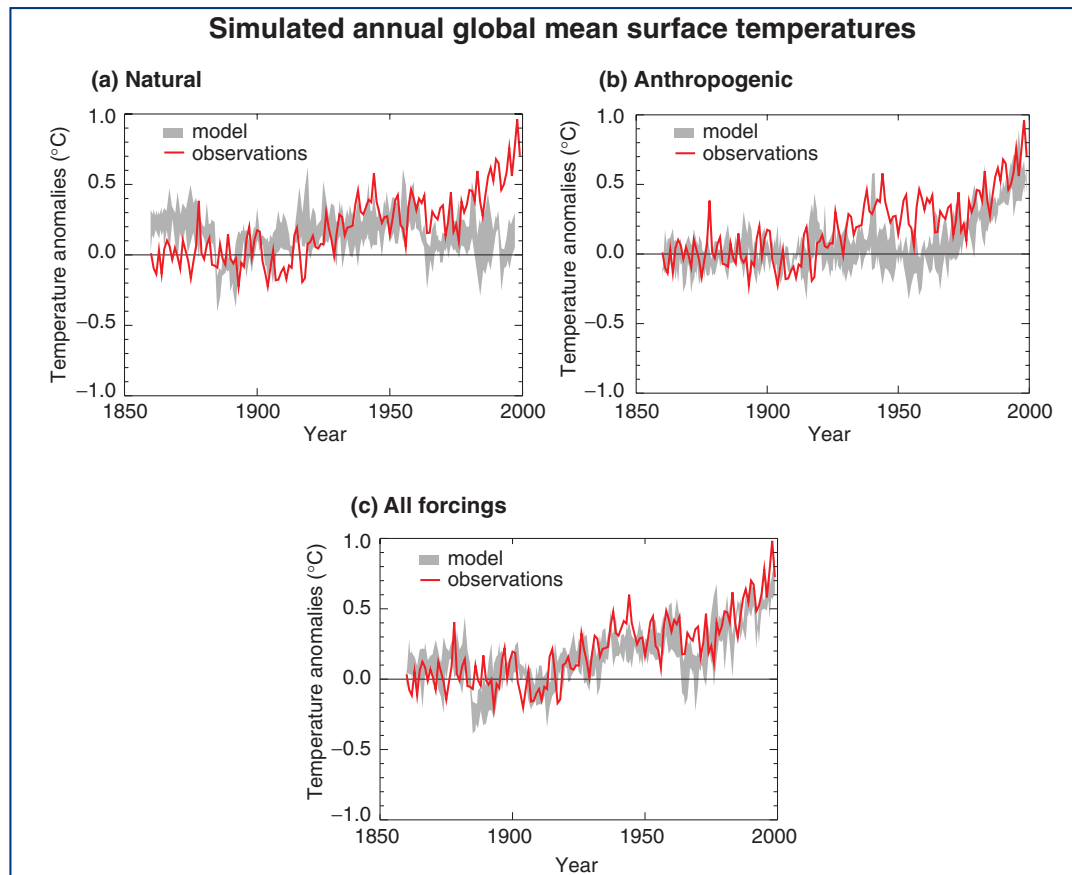


Figure 4: Simulating the Earth's temperature variations, and comparing the results to measured changes, can provide insight into the underlying causes of the major changes.

A climate model can be used to simulate the temperature changes that occur both from natural and anthropogenic causes. The simulations represented by the band in (a) were done with only natural forcings: solar variation and volcanic activity. Those encompassed by the band in (b) were done with anthropogenic forcings: greenhouse gases and an estimate of sulphate aerosols, and those encompassed by the band in (c) were done with both natural and anthropogenic forcings included. From (b), it can be seen that inclusion of anthropogenic forcings provides a plausible explanation for a substantial part of the observed temperature changes over the past century, but the best match with observations is obtained in (c) when both natural and anthropogenic factors are included. These results show that the forcings included are sufficient to explain the observed changes, but do not exclude the possibility that other forcings may also have contributed. The bands of model results presented here are for four runs from the same model. Similar results to those in (b) are obtained with other models with anthropogenic forcing. [Based upon Chapter 12, Figure 12.7]

Quelques essais de prédiction

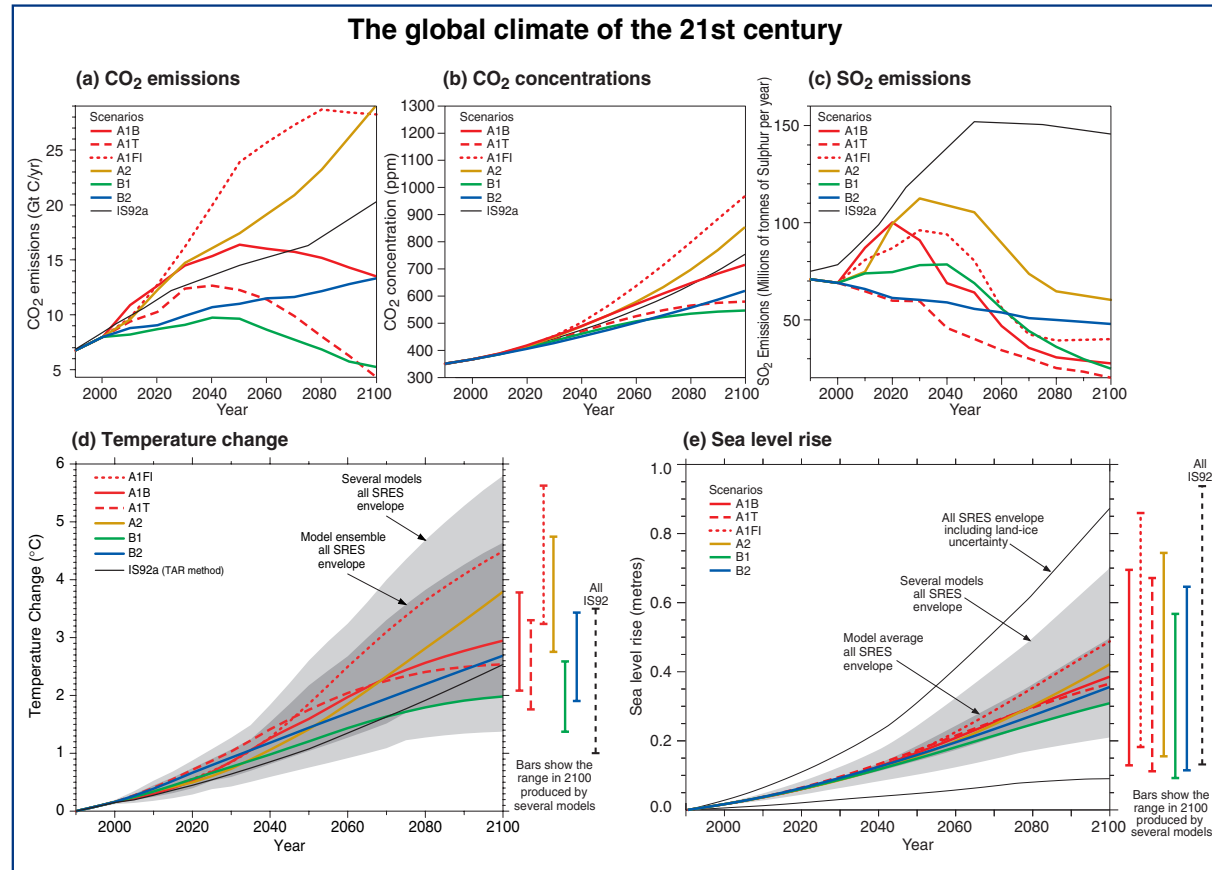


Figure 5: The global climate of the 21st century will depend on natural changes and the response of the climate system to human activities.

Climate models project the response of many climate variables – such as increases in global surface temperature and sea level – to various scenarios of greenhouse gas and other human-related emissions. (a) shows the CO₂ emissions of the six illustrative SRES scenarios, which are summarised in the box on page 18, along with IS92a for comparison purposes with the SAR. (b) shows projected CO₂ concentrations. (c) shows anthropogenic SO₂ emissions. Emissions of other gases and other aerosols were included in the model but are not shown in the figure. (d) and (e) show the projected temperature and sea level responses, respectively. The "several models all SRES envelope" in (d) and (e) shows the temperature and sea level rise, respectively, for the simple model when tuned to a number of complex models with a range of climate sensitivities. All SRES envelopes refer to the full range of 35 SRES scenarios. The "model average all SRES envelope" shows the average from these models for the range of scenarios. Note that the warming and sea level rise from these emissions would continue well beyond 2100. Also note that this range does not allow for uncertainty relating to ice dynamical changes in the West Antarctic ice sheet, nor does it account for uncertainties in projecting non-sulphate aerosols and greenhouse gas concentrations. [Based upon (a) Chapter 3, Figure 3.12, (b) Chapter 3, Figure 3.12, (c) Chapter 5, Figure 5.13, (d) Chapter 9, Figure 9.14, (e) Chapter 11, Figure 11.12, Appendix II]

Que dire?

Le catastrophisme est une erreur: il empêche de réfléchir aux solutions.

On a vu diverses formes du malthusianisme:

1. L'explosion démographique annoncée dans les années soixante
2. Les extrapolations du "Club de Rome" (les années 80-90?)
3. Les catastrophes écologiques maintenant

Pour un point de vue de scientifique, la philosophie peut se résumer à:

"...l'humanité ne se pose jamais que des problèmes qu'elle peut résoudre, car, à y regarder de plus près, il se trouvera toujours, que le problème lui-même ne surgit que là où les conditions matérielles pour le résoudre existent déjà ou du moins sont en voie de devenir."

En d'autres termes, on pourrait dire:

Il n'y a pas de problème, il n'y a que des solutions...

si l'on ne craignait de passer pour le Docteur Pangloss!

Où placer le problème?

L'énergie est nécessaire au développement économique, mais il faut diminuer les émissions de CO₂

Pour contribuer au débat sur ce problème, la SFP a organisé une conférence a Grenoble en Octobre 2000 (Journées D. Dautreppe), et cela a donné le livre "L'énergie de demain", EDP Sciences. Par ailleurs a été fondée l'association "Sauvez le Climat", qui essaie de réfléchir et d'influer sur les choix énergétiques.

Je m'inspire de cette réflexion, de celle que l'on trouve dans les livres de Jean-Marc Jancovici, et je conseille de consulter le site "manicore.com" de J. M. Jancovici.

Je veux ici montrer que le progrès scientifique et économique permettra de diminuer les émissions de CO₂ tout en couvrant les indispensables besoins énergétiques, mais les sources "renouvelables" non hydroélectriques n'y peuvent contribuer significativement. Je ne ferai pas d'énumération à la Prevert, je vais m'intéresser à l'électricité: elle est cause de 35 à 40 % des émissions de CO₂ et sa consommation en 20 ans a triplé quand la consommation générale d'énergie a seulement doublé: le développement s'accompagne de la montée du rôle de l'électricité.

Cette réflexion est nécessairement économique: PRIX, mais aussi nécessite de ne pas aller à l'encontre des connaissances scientifiques et techniques de la Physique: RENDEMENTS.

Estimation des Prix

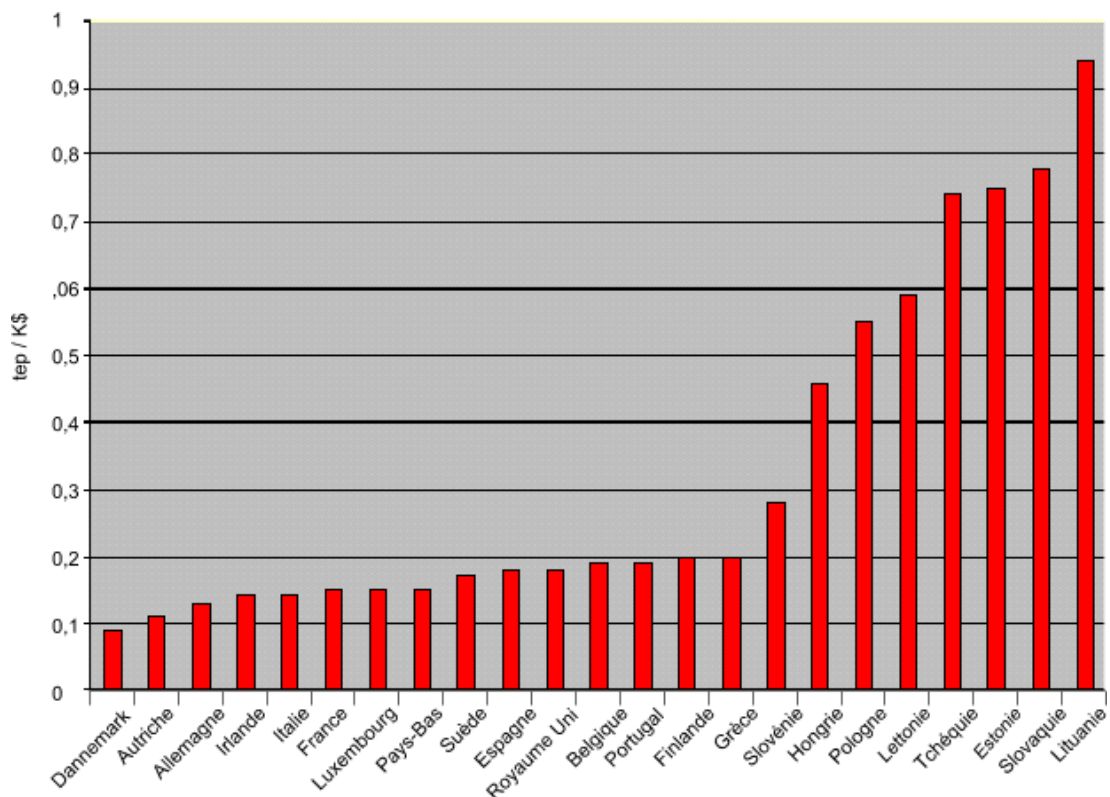
On donne ces estimations des prix de l'électricité (Ac. Techn., 2004):

ORDRE DE GRANDEUR DES COÛTS DES DIVERSES ENERGIES TENANT COMPTE DE LEURS EMISSIONS DE CO2									
	émission de fonctionnement kgC/kWh	émission de construction kgC/kWh	émission totale kgC/kWh	coût de l'émission en c€/kWh		coût de production c€/kWh	coût complet c€/kWh		
				à 20 E/tC	à 100 E/tC		si 20 E/tC	si 100 E/tC	
C H A R B O N	CYCLE CLASSIQUE	0,3	0,03	0,33	0,66	3,3	3,2 à 4	3,9/4,7	6,6/7,3
	CYCLE SUPERCRIT	0,2	0,03	0,23	0,46	2,3		3,7/4,5	5,5/6,3
O A Z	CYCLE COMBINE	0,15	0,01	0,16	0,32	1,6	2,7 à 3,5	3/3,8	4,3/5,1
	NUCLEAIRE	0	0,002	0,002	0,004	0,02	3	3	3
	HYDRAULIQUE	0	0,002	0,002	0,004	0,02	2,2 à 6 <small>(grandes centrales / microcentrales)</small>	2,2 à 6	2,2 à 6
	EOLIEN	0	0,0015 à 0,01	0,0015 à 0,01	0,003 à 0,02	0,015 à 0,1	6 à 8	6 à 8	6,2/8,1
	SOLAIRE PHOTOVOLT	0	0,03 à 0,06	0,03 à 0,06	0,06 à 0,12	0,3 à 0,6	50	~50	~50

On dira qu'en France, le nucléaire coûte 30 Euros/Mwh, et on prévoit pour l'EPR autour de 43 Euros/Mwh.

Position de la France?

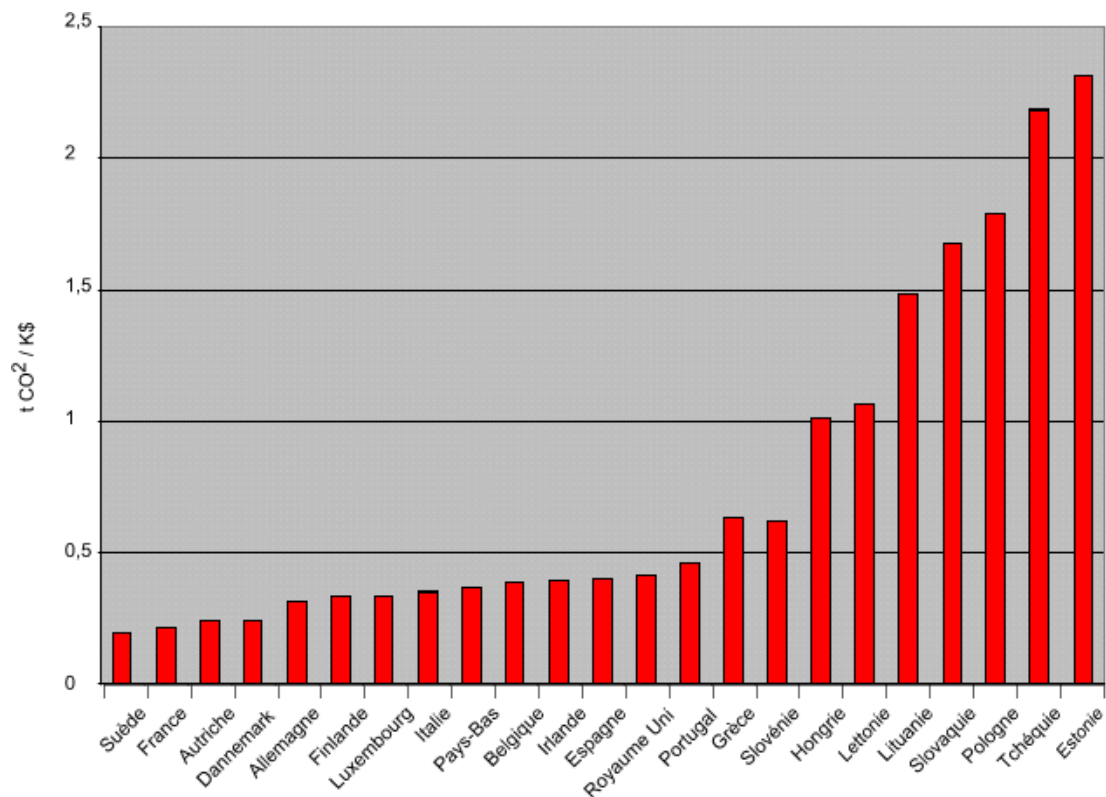
Il y a plusieurs manières de présenter le problème:



Ici, on montre l'énergie consommée par K\$ de PIB dans les divers pays européens. Le Danemark est en tête! C'est le pays fétiche des antinucléaires (20 % d'électricité éolienne), c'est ce point qui a été mis en avant par la Commission Européenne.

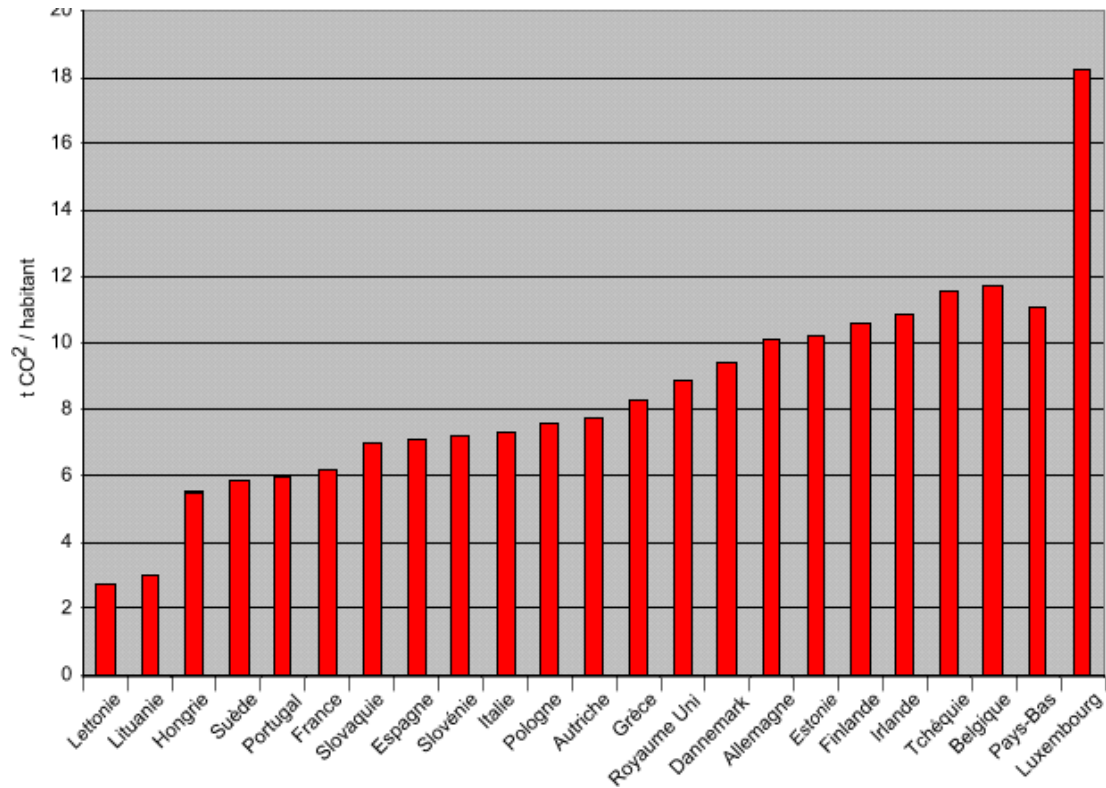
Position de la France?

Autre présentation (de <http://Sauvonsleclimat.com>)



Maintenant, on peut comparer les émissions de CO₂ par K\$ de PIB en Europe: la Suède est en tête (50-50 nucléaire-hydraulique), avant la France!

Emission CO₂ par habitant



En Europe, les pays “vertueux” (France, Suède) s’opposent aux pays “non vertueux” (Danemark, Allemagne, Pays-Bas). Le Luxembourg se hisse aux niveaux des USA (20t/habitant, cad 5.5 tonnes de Carbone).

Les rendements thermodynamiques

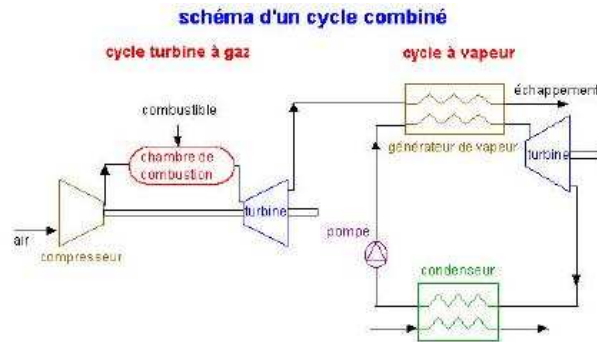
L'équivalence entre les diverses énergies est trompeuse: souvent, l'énergie chimique ou calorifique est utilisée pour créer de l'énergie mécanique ou électrique. Cela fait que si on compare l'énergie du charbon avec celle de l'électricité, on oublie que la conversion se fait toujours avec un rendement. Cela fait chûter la contribution du nucléaire à l'énergie en France de 41% à 16-17%:

1. Centrale a charbon: rendement 45% (mais était de 27% dans les centrales au lignite de RDA, et de 7% dans les locomotives à vapeur)
2. Diesel: rendement de 32% dans une voiture au régime optimum, et supérieur à 40% dans les grands diesels.
3. Fuel: même que charbon
4. Nucléaire: vers 34%, on prévoit 36% dans l'EPR.
5. Centrales à cycle hybride: on atteint 60%

Ces derniers 30 ans, on a fait de gros progrès dans le rendement des machines thermiques. Les centrales nucléaires sont limitées par la température: difficile de monter plus haut dans les PWR (320 C, mais 560 C avec Superphenix), et il y a des pertes dans les échangeurs.

Les centrales à turbine à Gaz

Première révolution annoncée: les turbines à gaz, fonctionnant au gaz (on peut utiliser du kerosène, mais pas du fuel lourd).



Le rendement R d'une telle turbine est généralement relié au taux de compression ρ :
 $R = 1 - \rho^{(1-\gamma)/\gamma}$. Ce rendement s'améliore surtout si la température des gaz à l'entrée de la turbine est haute. Dans le cas du moteur (Siemens) ci-dessus, la température est donnée à 1500 C. La compression est de l'ordre de 20 avec 10-12 étages de turbine. Si $\gamma = 1.4$, on calcule à l'entrée de la chambre de combustion: $T = 300\rho^{(\gamma-1)/\gamma} \simeq 700$ K! Après décompression, les gaz passent de 1750 K à 750K, cad 480 C, et on alimente ensuite une turbine à vapeur:

Rendement 60% pour une puissance installée de 400 MW. Permet de "petites centrales" (1000 MW pour un PWR). Permet des démarrages presque instantanés.

La Victoire des anti-nucléaires

En 1998, une coalition “rouge-verte” arrive au pouvoir en Allemagne et impose une “Sortie du Nucléaire”. C’est la référence des tous les anti-nucléaires.

On peut essayer de comprendre l’origine “matérielle” de cette décision politique:

"les hommes font l'histoire mais ils ne savent pas l'histoire qu'ils font"

Il faut chercher dans l’économie la base du “lâchage” (lâchage dont l’industrie française ne s’est pas encore remise) allemand, alors que Siemens et Framatome préparaient l’EPR.

-C’est d’abord le bas prix du gaz, combiné avec les progrès des centrales au gaz décrites précédemment qui explique que le patronat allemand ait accepté cela.

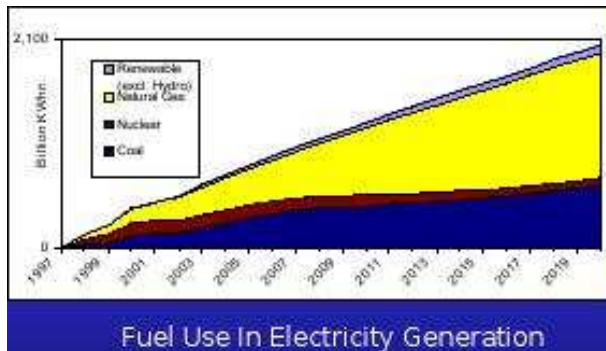
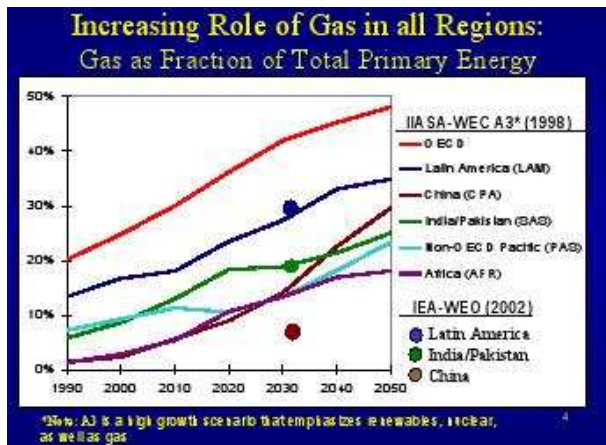
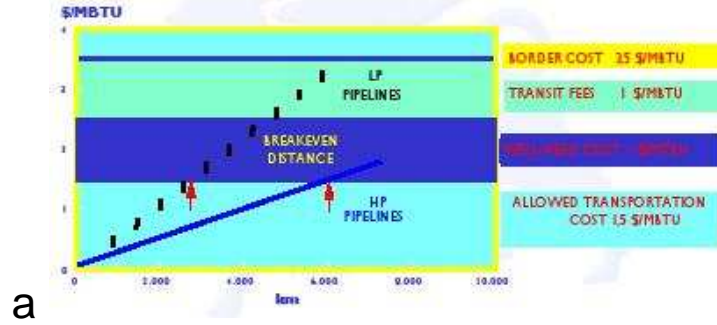
-Une autre raison est que l’on a cru à une mutation du marché de l’électricité de la même ampleur que celui des Telecom et d’internet.

Cela a abouti à une “Grande alliance” entre les économistes libéraux et les écologistes opposés à la grande industrie, qui est symbolisé par la Commission Barosso:

-Les premiers voyaient là l’occasion de bonnes affaires,

-Les seconds voulaient une société décentralisée où on pourrait alimenter son village avec une petite éolienne ou une centrale solaire.

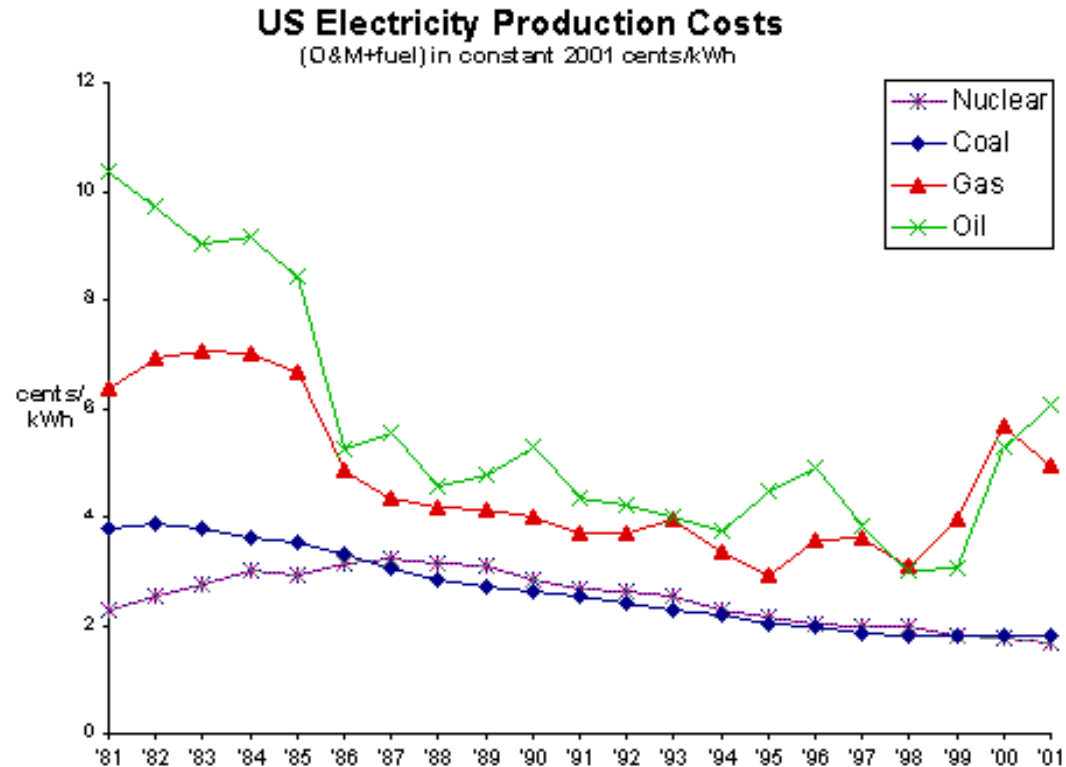
Le prix du Gaz



Les calculs de ENI (2002) montrent que même de très loin, le gaz coûte moins de 3.5\$ par GJ. En gaz liquéfié, le transport fait aussi de l'ordre de 2.5\$ par GJ (ou MBTU). Si le producteur se contente de 1\$, on dépense $6 \times 3.5 \simeq 20$ \$ par MWh électrique. Comme les frais d'investissement sont de l'ordre de 6-8 \$/MWh dans ces centrales, le nucléaire n'a aucune chance! Donc tous les pronostiqueurs parient sur le gaz. De plus, il émet 2.2 fois moins de CO_2 que le charbon. La moitié de l'énergie primaire de l'OCDE serait du gaz en 2050. En jaune, les prévisions de 2000 pour l'Europe: 60 % d'électricité produite avec du gaz!

Evolution des Prix

Les coûts de production de l'électricité sont estimés à l'époque aux USA:



Cela n'incorpore pas les coûts d'investissement, qui doublent (au moins) le prix du nucléaire.

Le marché du gaz se mondialise parce que le prix du transport du gaz liquéfié est raisonnable et que ce transport augmente.

Envolée des prix

Depuis 2002, on observe, dans l'exemple du marché à terme des USA une évolution du prix du gaz à la source qu'il nous faut expliquer:

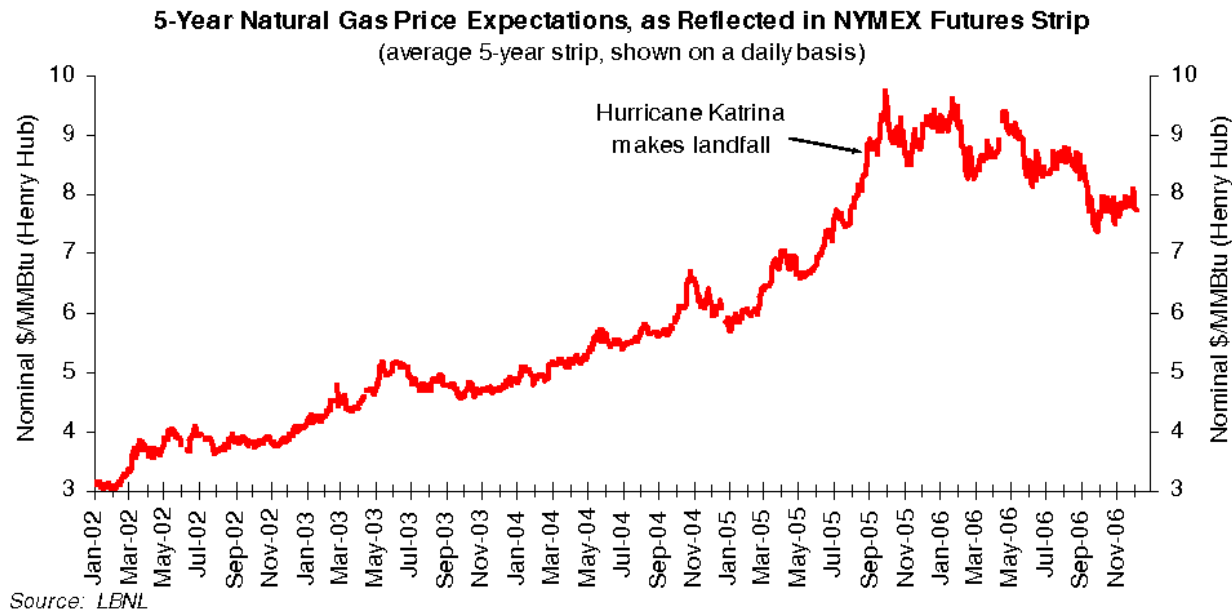


Figure 2: Increase in Average NYMEX Natural Gas Futures Strip Over Time

Les mêmes évolutions, encore plus importantes ont été observées sur le marché (lui aussi complètement dérégulé) de Londres. Dans ce dernier, on est monté à près de 20\$, principalement parce qu'aucun stockage n'a été prévu et que le gaz anglais est en voie d'épuisement. Il a néanmoins permis le développement de la City!

Pourquoi?

Ce sont bien évidemment les évolutions du marché. Si le gaz est substitué au pétrole pour faire de l'électricité ou pour le chauffage, il entre avec lui en concurrence, et son prix va s'établir au niveau du pétrole-si celui-ci est plus cher (en fait un peu plus bas car il ne remplace pas partout le pétrole et il reste plus cher à transporter). Quant au pétrole, on ne va pas rappeler son envolée. Reste à l'expliquer. Je pense que si diverses sources

d'énergie (ou autre denrée avec des coûts d'extraction variables) se font concurrence sur le marché, le prix de vente s'établit au prix de production le plus élevé (sinon, allez voir ailleurs!). Dans le cas du pétrole, c'est la mise en exploitation de pétroles de plus en plus chers qui est la cause de l'augmentation. En particulier les sables de l'Alberta:

En Alberta, on a investi 30 G\$ de 1996 à 2005 et on compte y investir encore 60 G\$ avant 2020. La production augmenterait de 1 à 5 Mbl/jour (de 50 à 200 Mt/an). On estime que ce pétrole coûte au moins 30 \$/bl, et il y a eu un débat au Canada il y a 10 ans pour savoir si ça serait jamais rentable (il faut traiter 2t de schistes pour un barril, ie 150Kg de pétrole...)!

Concrètement, cela conduit à une très importante rente foncière différentielle dont les pays producteurs veulent s'emparer. D'où les (légitimes) (re)nationalisations, que ce soit en Colombie ou en Russie (Youkos).

Un article canadien

Le Canada envisage d'utiliser l'énergie nucléaire pour chauffer les schistes bitumineux: "Depuis l'augmentation du prix du pétrole, l'exploitation des sables bitumineux de l'Alberta est rentable. Le Canada a connu, grâce à cette richesse, une croissance économique importante. La riche Alberta est devenue un moteur important de l'économie Canadienne. Cependant l'exploitation de cette richesse est responsable en grande partie de l'augmentation des gaz à effet de serre du pays. Que devons nous donc faire ? Continuer la politique de l'autruche en se mettant la tête dans le sable et nier le réchauffement climatique ? Avouer publiquement que l'on ne respectera pas Kyoto et l'assumer ? Arrêter l'exploitation des sables bitumineux avec les conséquences importantes pour l'économie du pays ? Ou bien faire preuve d'audace et de courage politique et envisager l'utilisation du nucléaire comme source d'énergie. Mais c'est quoi les sables bitumineux au juste ? Du sable mélangé à un Bitume épais. Pour extraire le produit pétrolier, il faut chauffer le sable avec de la vapeur pour liquéfier le bitume. Voilà le grand problème. Comment produire cette vapeur ? Pour le moment, le gaz naturel est utilisé pour faire bouillir l'eau nécessaire. Donc, une production importante de gaz à effet de serre. En fait, 80 Kg de GES est généré pour la production de chaque baril de pétrole. 80 Kg ce n'est pas rien, c'est même beaucoup. On produit donc du gaz à effet de serre pour extraire du pétrole. Et le nucléaire dans tout ça ?..."

Les prévisions de prix

Les prévisions de prix des divers marchés sont une source de ridicule qui n'a jamais tué un économiste:

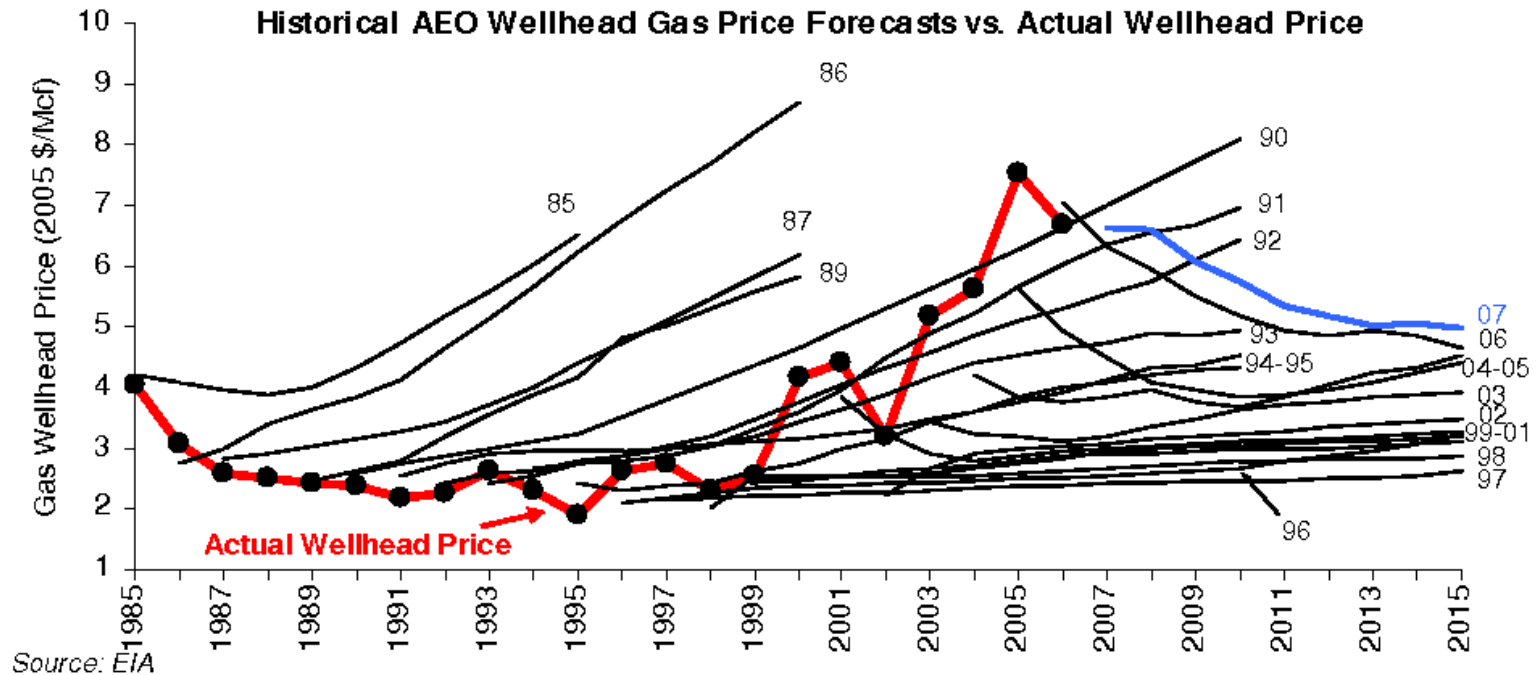


Figure 5: Historical AEO Wellhead Gas Price Forecasts vs. Actual Wellhead Price

On voit qu'un écart d'un facteur 5 n'est pas rare entre les prévisions et la réalité (unités: Mcf=28 m³=1.031 MBtu=1.08 GJ).

Quid de la révolution annoncée?

L'autre raison avancée pour déréglementer l'énergie était l'introduction de nouvelles technologies permettant une production "décentralisée" de l'électricité.

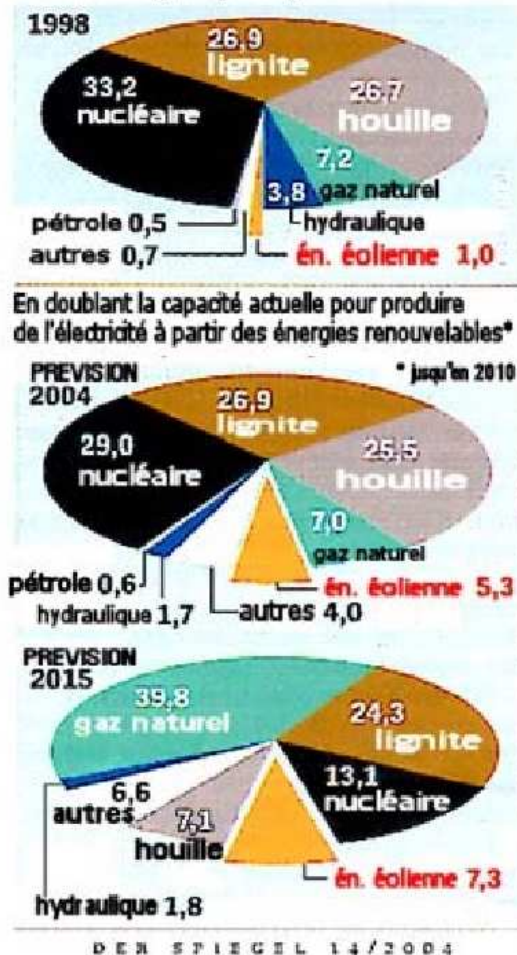
C'est une transposition du modèle Internet

1. Les turbines à gaz de grande taille décrites ci-dessus, qui permettent des centrales produisant quatre fois moins d'électricité que l'EPR
2. Les centrales à cycle combiné pour alimenter une petite ville: on utilise des turbines de petite puissance, avec des rendements bien plus faibles (20-25%), mais on récupère la chaleur pour chauffage. On annonce alors le rendement-illusoire car il ne s'agit pas d'un rendement thermodynamique- de 85%. En fait, le vrai rendement est de 20-25% pour l'énergie mécanique.
3. Les microcentrales: peu reste à équiper en Europe, et on rend malheureux les pêcheurs avec des hachoirs à poissons.
4. L'éolien et le photovoltaïque, que je discute maintenant.

Les projets allemands

DE GRANDS OBJECTIFS

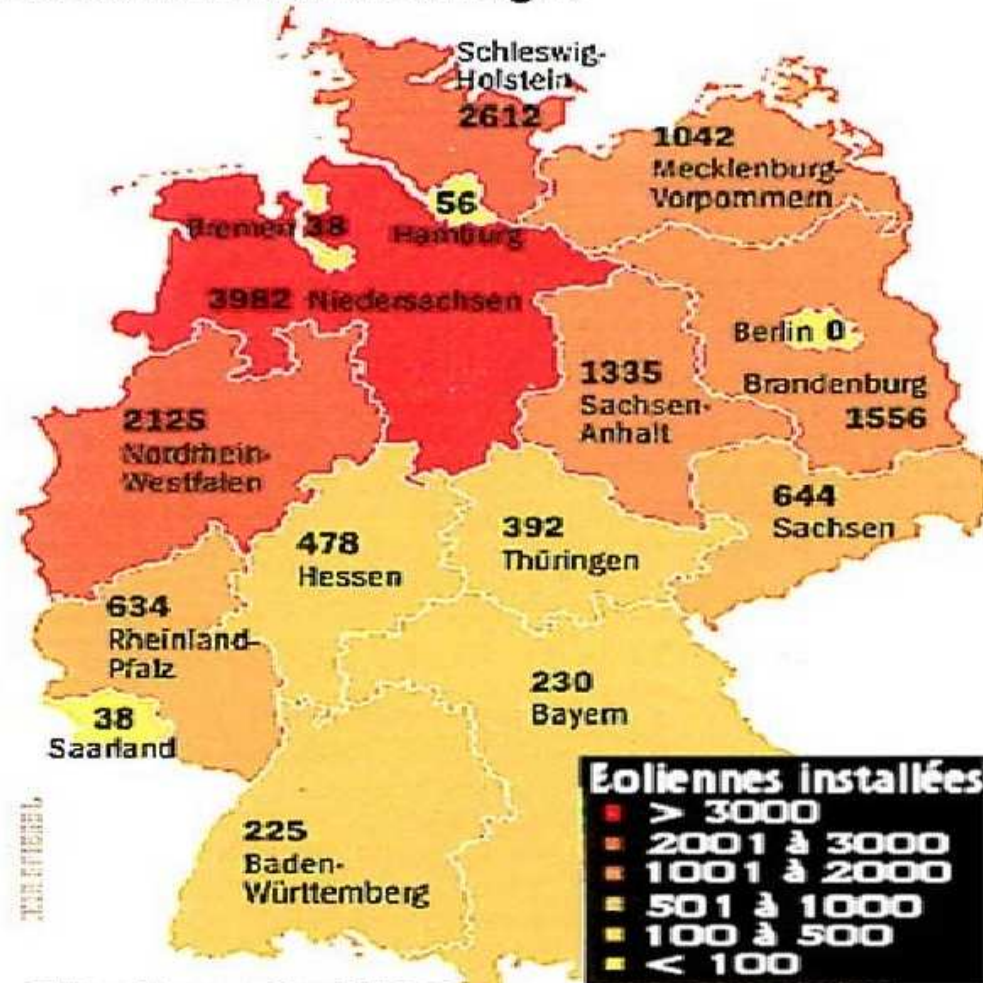
Part de la production électrique nette en Allemagne (en %)



Les projets allemands sont clairement orientés gaz naturel avec de 5 à 7% d'éolien. La disparition de la houille traditionnelle est due à la fermeture des mines, qui étaient subventionnées. Le lignite est exploité à ciel ouvert. Avec l'augmentation du prix du gaz, les Allemands sont en train de se tourner vers le lignite! Pendant cela, Schröder, qui a arrêté le nucléaire pantoufle dans la société qui construit le nouveau gazoduc qui amène le gaz russe!

L'éolien en Allemagne

Les éoliennes en Allemagne



Situation : fin 2003

Source :Dewi

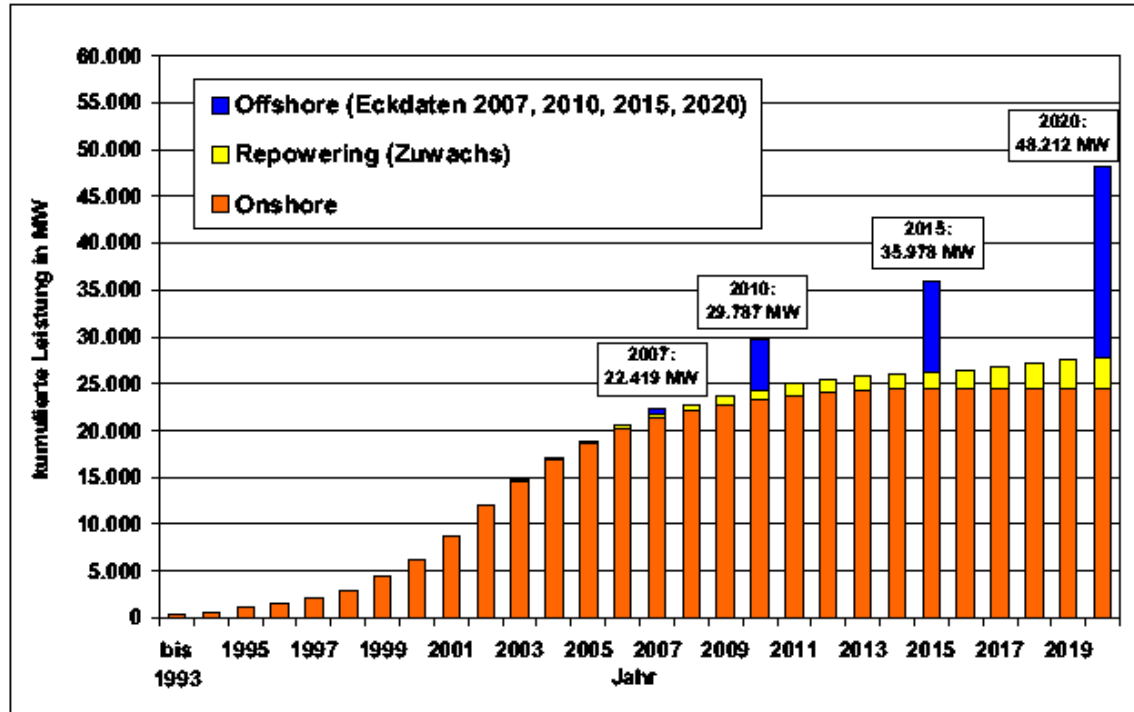
Ce que ça donne

Paysage de plaine côtière d'Allemagne du Nord avec éoliennes.



Les prévisions d'installations

Abbildung 2-21: Prognose der Windenergieentwicklung in Deutschland an Land und Offshore bis 2020 (kumuliert) – Szenario „Beschluss dena-Fachbeirat“

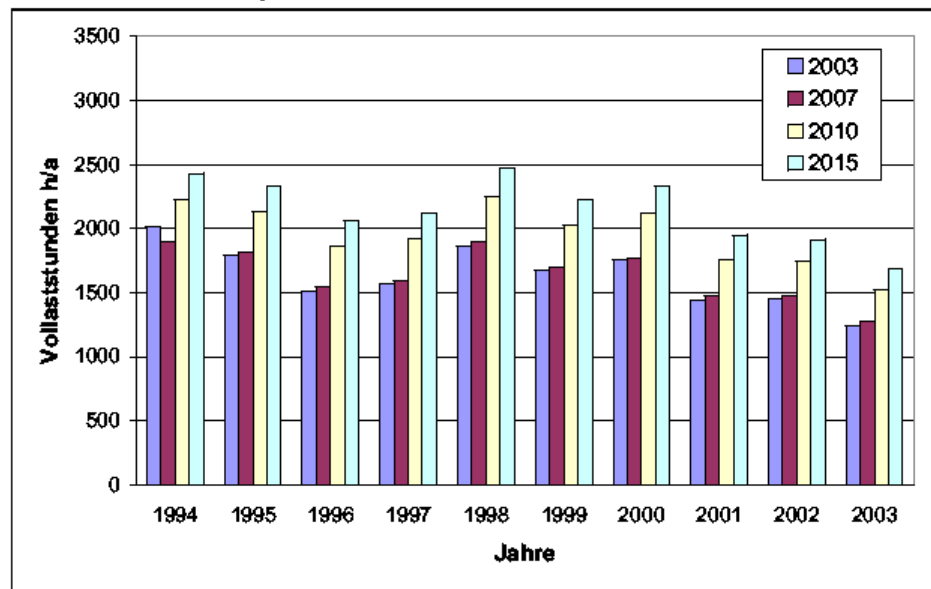


Pour l'année 2006, on peut tabler sur 18 Gw installés et 30 TWh produits: 5% de l'électricité allemande est produite de cette manière. Les projets "offshore" (en bleu) sont probablement suspendus à un tarif d'achat plus élevé.

Facteur de charge de l'éolien allemand

On a estimé (DENA) le nombre d'heures de fonctionnement effectif du parc éolien allemand en fonction des conditions météorologiques des diverses années passées. Cela pour les éoliennes construites jusqu'en 2007 (on shore) et après où il y aurait une contribution des éoliennes off shore, considérées comme ayant un meilleur facteur de charge. Le facteur de charge s'obtient en divisant par le nombre d'heures par an (8767). On voit que la moyenne s'établit autour de $1700/8800 \simeq 19\%$. C'est beaucoup plus bas que les chiffres généralement annoncés (de 20 à 32%).

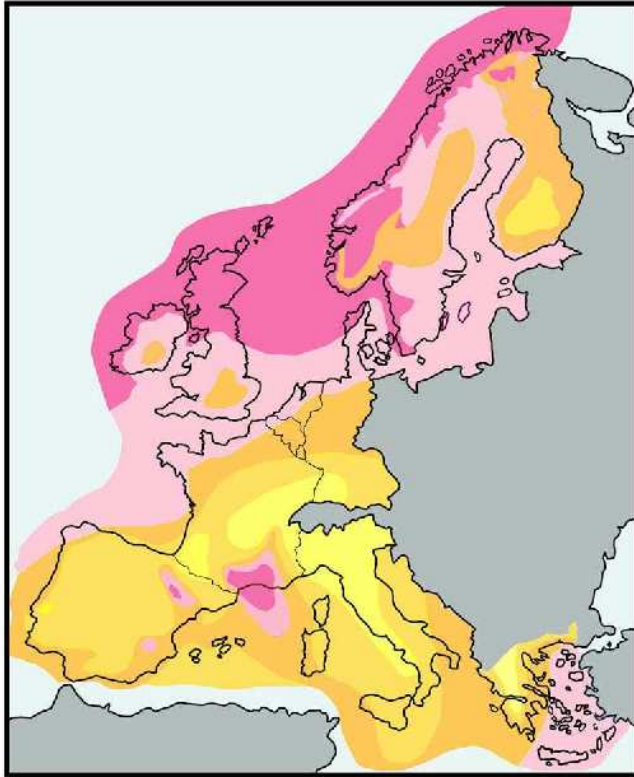
Abbildung 11-2: Entwicklung der jährlichen Volllaststunden in Abhängigkeit des Windjahres von 2003 bis 2015



Quelle: ISET (2005)

Gisement éolien en Europe

GISEMENT EOLIEN EN FRANCE ET EN EUROPE



Ressources éoliennes à 50 (45) m au-dessus du terrain

Terrains avec obstacles		Terrains dégagés	
m/s	W/m ²	m/s	W/m ²
> 6.0	> 250	> 7.5	> 500
5.0-6.0	150-250	6.5-7.5	300-500
4.5-5.0	100-150	5.5-6.5	200-300
3.5-4.5	50-100	4.5-5.5	100-200
< 3.5	< 50	< 4.5	< 100

Les régions très ventées en Europe (UE) sont le Danemark et le Nord de la Grande Bretagne. Si on exclut la côte méditerranéenne, la France n'est pas mieux lotie que l'Allemagne ou l'Espagne. On peut donc attendre les mêmes performances si on développe l'éolien de manière intensive. Pour le "off shore", nous n'avons pas le plateau continental de la mer du Nord. Et les Allemands comme E-ON demandent à relever le prix vers 130 Euros/MWh pour le off-shore, car c'est plus difficile.

Et la France?

La France est dite “en retard” sur l'éolien. Je discute brièvement des projets et du prix de l'éolien (voir site Sauvonsleclimat.org):

1. Une éolienne de grande taille fournit de l'ordre de 2 Mw crête.
2. Le prix d'investissement est de l'ordre de 1.3 Euros/watt
3. Ce prix a cessé de décroître, la technique est au point.
4. Une éolienne est censée fonctionner 15 ans.
5. Le tarif d'achat, compte tenu des derniers décrets est de 84 Euros 2006 par MWh.
6. Si on installe 5% de la consommation française d'électricité en éolien, ça fait 25 TWh
7. Dans ce cas là, je doute que le facteur de charge soit supérieur à 20%. Il faut donc 15 Gw de puissance, cad 7500 grandes éoliennes (75-100 m de haut).
8. Le prix d'investissement est de 20 Geuros.
9. 70 % de cette somme fortement subventionnée servira à aider l'emploi en Allemagne.
10. L'entretien et le fonctionnement sont mal connus (5, ou 8 % du prix par an??).
11. La production de ces éoliennes (375 Twh sur 15 ans) rapportera 32 GEuros aux producteurs et le surcoût sera répercuté sur les consommateurs (au titre “énergies renouvelables”): de l'ordre de 20 GEuros.

L'éolien ne se justifie pas en France

L'éolien est considéré par l'ADEME et par les opposants au nucléaire comme une arme de guerre contre le développement du nucléaire.

Or, il ne supprimera pas un gramme de CO₂ en France, et, s'il se développe, il faudra plus de centrales à flamme pour répondre aux imprévisibles sautes de vent. Nous allons de plus subventionner l'emploi en Allemagne.

Cela cache le développement simultané de centrales à flamme (4 GW en cours d'installation par EDF) alors que la construction de nouvelles centrales nucléaires empêcherait la France d'augmenter ses émissions de CO₂.

Ce moyen ne peut rester que marginal et entretient des illusions dans la population quant à l'avenir.

Le photovoltaïque

Le photovoltaïque est largement utilisé sur des sites isolés, si on n'a pas de distribution d'électricité. Mais il coûte aujourd'hui à peu près dix fois plus que l'énergie électrique de référence en France: 30-40 Euros pour le nucléaire. Il y a un gros programme subventionné en Allemagne. On construit des maisons avec des cellules solaires. Cela a abouti à faire remonter le prix des cellules, car cette technique était jusque là un sous produit de l'industrie des semi-conducteurs. Cela est inquiétant quant aux baisses de prix que l'on annonçait: on parlait d'une baisse d'un facteur deux sur dix ans, mais si cette baisse disparaît lorsque une production spécifique est développée... En Allemagne, il y a de l'ordre du Gw crête installé (0.8 TWh annuels?)

Si on veut énumérer à la Prévert..

Abbildung 2-24: Prognose der installierten Bruttoleistung sonstiger regenerativer Energien (ohne Windenergie) bis 2020 – orientiert am Szenario „Naturschutz Plus I“ in [DLR/IFEU/WI (2004)]

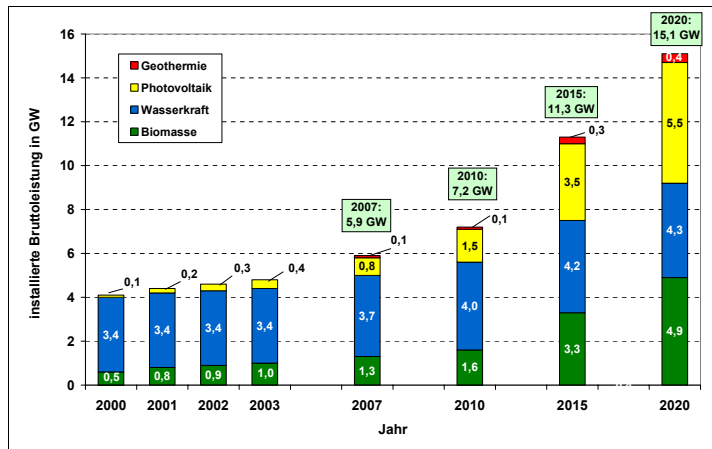
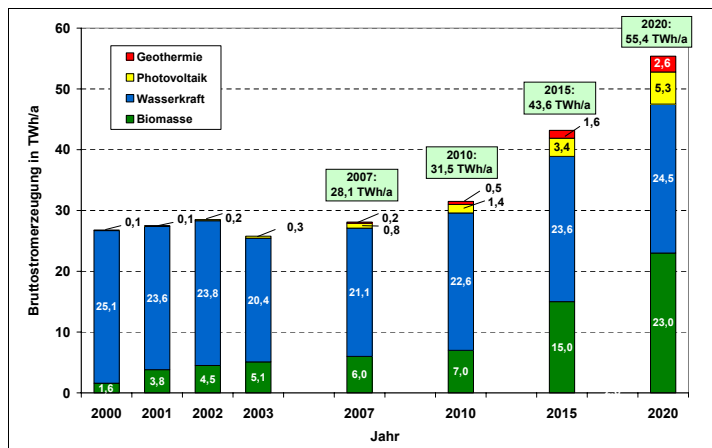


Abbildung 2-25: Prognose der Bruttostromerzeugung sonstiger regenerativer Energien (ohne Windenergie) bis 2020 – orientiert am Szenario „Naturschutz Plus I“ in [DLR/IFEU/WI (2004)]

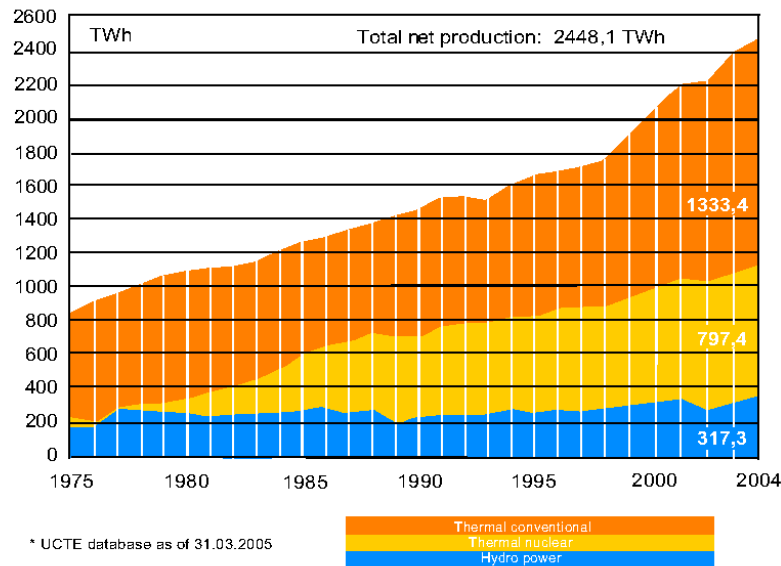


Il y a plein de projets en Allemagne et ailleurs, en particulier les carburants “verts”, mais tout cela me paraît bien marginal. Retenons que 5.5 Gw de photovoltaïque donnent 5.3 TWh d’électricité (en jaune).

Comment la Commission réagit



Net production history from 1975 to 2004



Le “Livre Vert” de la Commission Européenne a fait l’objet d’une critique dans un papier de Nife-necker qu’on trouve sur le site "<http://sauvonsleclimat.org>". On peut dire que les objectifs de “renouvelables” ne seront pas atteints (21% en 2010 pour la France, qui n’a que les 13% d’hydraulique), mais de plus que cet objectif est inefficace du point de vue du CO₂.

On voit sur la figure la rapide augmentation des carburants émetteurs de CO₂ (en orange) pour l’électricité européenne depuis 1998. En fait, la Commission est une alliance curieuse des idées de Greenpeace et de volonté de dérégulation. Mais comment diminuer les émissions sans une forte augmentation de la contribution nucléaire (en jaune)? Et cela nécessite des entreprises de grande taille!

Quid de la dérégulation du marché?

Syrota, président de la CRE à Commission de l'AN (21 Mars 2006):

"Cette ouverture la concurrence se passe, toutefois, dans un contexte défavorable à l'exercice de la concurrence, et, ce, pour quatre raisons.

-Tout d'abord, expliquer l'intérêt de l'ouverture des marchés à la concurrence quand les prix des matières premières et de l'énergie flambent est une mission difficile, sinon impossible. Contrairement ce que certains prétendent, l'augmentation des prix de l'énergie n'est absolument pas liée à l'ouverture des marchés à la concurrence. En effet, il n'y a pas de corrélation directe entre la concurrence et l'augmentation des prix de gros de l'électricité sur les marchés français, britanniques ou allemands, ouverts respectivement en 2000, 1990 et 1998. Il apparaît, par contre, une corrélation claire entre les prix de gros de l'électricité et ceux du gaz, eux-mêmes corrélés à ceux du pétrole.

Les tendances haussières des prix de l'électricité, depuis 2004: + 70 % en France, + 65 % en Allemagne, + 73 % en Grande Bretagne, sont dues à différents facteurs:

SUITE...

“des tensions progressives sur l'équilibre offre/demande en France, compte tenu de la quasi-stabilité de l'offre et de la hausse annuelle de la consommation, de l'ordre de 2 % ; le manque de transparence pour les fournisseurs alternatifs de la disponibilité du parc de production et, ainsi, des conditions de l'équilibre offre/demande;

la valorisation des émissions de CO₂, qui augmente les coûts de production des filières émettrices de CO₂ : fuel, gaz, charbon. Ces tendances haussières se doublent d'une

harmonisation des prix sur certains marchés régionaux (France/Allemagne notamment), qui résulte des possibilités d'importer et d'exporter de l'électricité en fonction des différences de prix avec les pays voisins.”

Tout simplement: un marché ouvert avec des prix de revient différents et aucune réserve permettant d'arrêter les moyens de production trop coûteux va s'aligner sur les prix les plus élevés.. Résultat: on se dépêche de construire des installations à flamme pour répondre au marché. Arrêtons là.

Pour résumer



Une petite caricature de Pancho
parue dans "Le Monde" du 12
Janvier 2007

Étendre les applications de l'électricité

Il y a deux domaines où, outre les nécessaires économies, on peut développer l'usage de l'électricité propre-cad sans émissions de CO₂:

-Le domestique, par généralisation des pompes à chaleur qui se transforment facilement en installations de climatisation de haut rendement, outre bien sûr l'amélioration des isolations et les chauffe-eau solaires...

-Le transport, en particulier par l'automobile électrique. On peut s'appuyer sur le très important développement des batteries au Lithium.

Les Voitures Electriques (VE)

Une voiture de taille raisonnable consomme 100 Wh/km vers 100 km/heure. On peut étudier ce que peuvent fournir les batteries:

«SYSTEMES » BATTERIE

↑ Energie	kWh
↑ Poids	kg
↑ Autonomie	km/cycle
↑ Prix	k.€
	€/km (1)

Plomb	Ni-Cd	Ni-MH	Li-Po
11	12	18	28
458	246	303	245
67	87	118	200
2	6	6,5	6
0,08	0,02	0,03	0,02

Batterie d'encombrement réduit (# 180 litres)
pouvant se loger dans un véhicule de 800 kg (2)

On trouve un excellent résumé à:

http://www.sauvonsleclimat.org/lect_opinions.php?numdoc_choisi=2

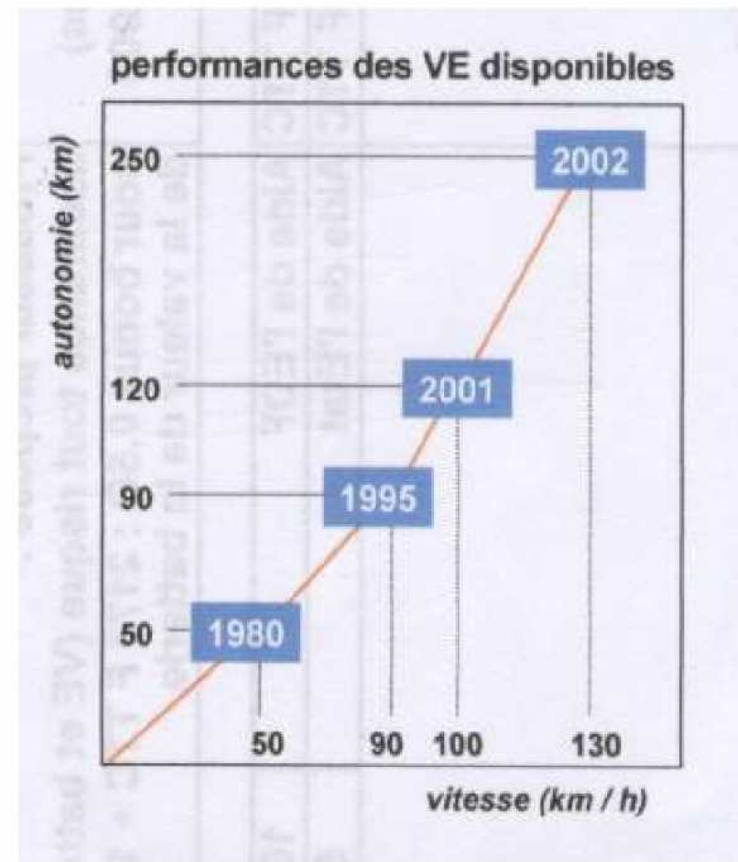
Progrès des VE

SECTION PERFORMANCES

Les progrès accomplis depuis 10 ans

Une autonomie multipliée par 5 et une vitesse par 3 rendent désormais le VE compatible avec les besoins réels des automobilistes :

- ① Une moyenne de 5 trajets / jour représentant 1 heure de conduite et moins de 40 km de distance.
- ① Un total maximum de 80 km de déplacements / jour pour 90 % des particuliers.
- ① Un déplacement moyen de 100 à 150 km/jour.



Peut-on développer la VE en grand?

1. Les voitures en France sont 30 millions
2. Elle consomment 7 litres/100 km (8 en Allemagne et Angleterre)
3. Une voiture roule en moyenne 14000 Km par an
4. Ca nous fait 30 Mt de pétrole
5. Ca nous fait (à 100 Wh/km) 42 Twh d'électricité
6. Avec les pertes en ligne.. il faut sans doute 60 Twh de production électrique, soit 14% de notre consommation.
7. En mettant 20 ans à obtenir la substitution, cela fait une augmentation annuelle de 0.7% de notre consommation électrique.
8. On économise 35% de notre consommation de pétrole.
9. Ce pétrole représente 300 TWh parce qu'une voiture électrique n'a pas les pertes d'une voiture essence (freinage, mauvais rendements à froid ou à basse vitesse). C'est pour cela qu'il peut être trompeur de comparer l'énergie électrique à l'énergie chimique...

Quid de l'hydrogène et de la PAC

Il y a un grand engouement pour “la civilisations de l'hydrogène”, et une réflexion sérieuse ne confirme pas cet engouement. Dans le cas des voitures, on veut combiner Hydrogène et Pile à combustible (PAC). Il y a deux problèmes qui rendent l'hydrogène peu intéressant:

1. Des problèmes de coût: Les PAC ont un prix qui ne diminue plus guère, malgré des recherches très actives, en particulier on n'arrive pas depuis 10 ans à diminuer la quantité de Platine nécessaire. En outre, toute la chaîne, du réservoir haute pression à la production d'hydrogène est très couteuse. La PAC coûte de l'ordre de 3 K\$/Kw et une voiture est largement au dessus de 100 K\$. En outre les PAC vieillissent très mal.
2. Le rendement (c'est là qu'intervient la Physique) n'est pas bon. On ne sait pas électrolyser avec une efficacité meilleure que 70%, il faut s'attendre à perdre 20% de l'énergie en compression du gaz, et les PAC ne semblent pas avoir un rendement en fonctionnement meilleur que 40%. Ca veut dire que l'électricité arriverait aux roues avec moins de 20%. Les pertes sont trop importantes.

Lire la discussion: http://www.sauvonsleclimat.org/lect_opinions.php?num_doc_choisi=5

Le site: www.efcf.com/reports/ est fait par de très bons spécialistes de la PAC.

Les axes de l'Europe

1. La Commission actuelle privilégie les énergies renouvelables, en entretenant un objectif dont l'influence ne peut être que marginale sur les gaz à effet de serre (GES).
2. Tous les programmes du 7^{ème} PECRD ("Coopération Priorité 5 Energie") semblent orientés renouvelable-hydrogène et n'a aucun programme orienté vers les batteries et les VE!
3. La partie nucléaire des programmes est essentiellement tournée vers ITER, dont les applications sont un peu aléatoires.
4. Confrontée au problème de l'augmentation du prix de l'énergie, elle veut encore déréguler (visé en particulier: EDF), alors qu'il semble évident que ce secteur a besoin d'investissements lourds.

Il me semble tout à fait contradictoire de privilégier le Marché et de reprocher ensuite aux producteurs d'essayer d'obtenir le meilleur prix: sinon, il n'y aura que EDF et son nucléaire sur le marché Français!

Avenir du Nucléaire

Si on veut vraiment réduire l'effet de serre, il faut développer l'utilisation de l'énergie nucléaire. Cela pose un certain nombre de problèmes:

1. Il y a 400 réacteurs en service dans le monde
2. il faut 200 t d'Uranium naturel pour alimenter l'EPR dans l'année
3. Gros investissements, donc grandes entreprises, 3.3 GEuros pour le premier EPR (cela se réduira par effet de série)
4. l'EPR (1600MW) produit 10 TWh dans l'année
5. Il y a un important programme en Asie (Japon, Inde, Chine)
6. La production d'Uranium est déjà insuffisante
7. Les prix ont grimpé en 5 ans de 15 à 150 \$/Kg de U_3O_8 ("yellow cake")
8. Quid des ressources?

La consommation d'Uranium

D'abord, comme la consommation est restée faible pendant 20 ans et qu'on a utilisé les ressources stratégiques, notamment après la guerre froide, on en a peu cherché et il a fallu fermer des mines (ex. Namibie)

Figure 1. Dépenses de prospection à l'échelle mondiale et prix de l'uranium sur le marché (1970-2003)

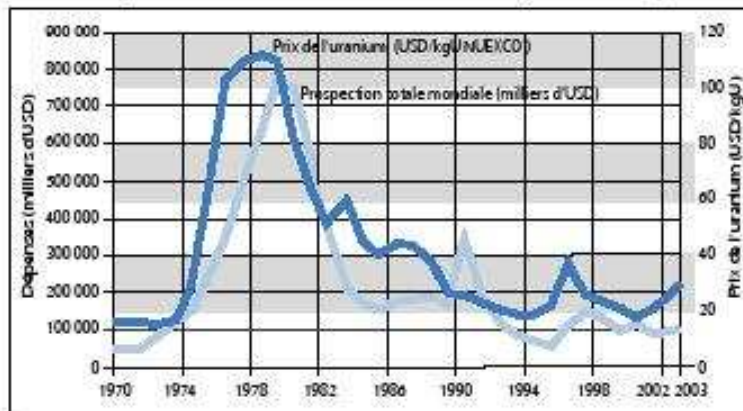
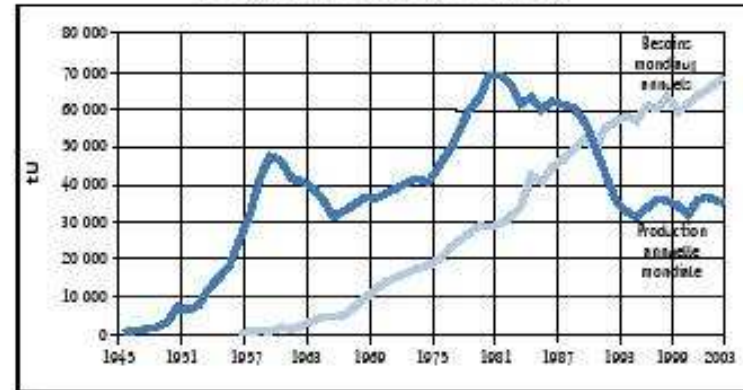


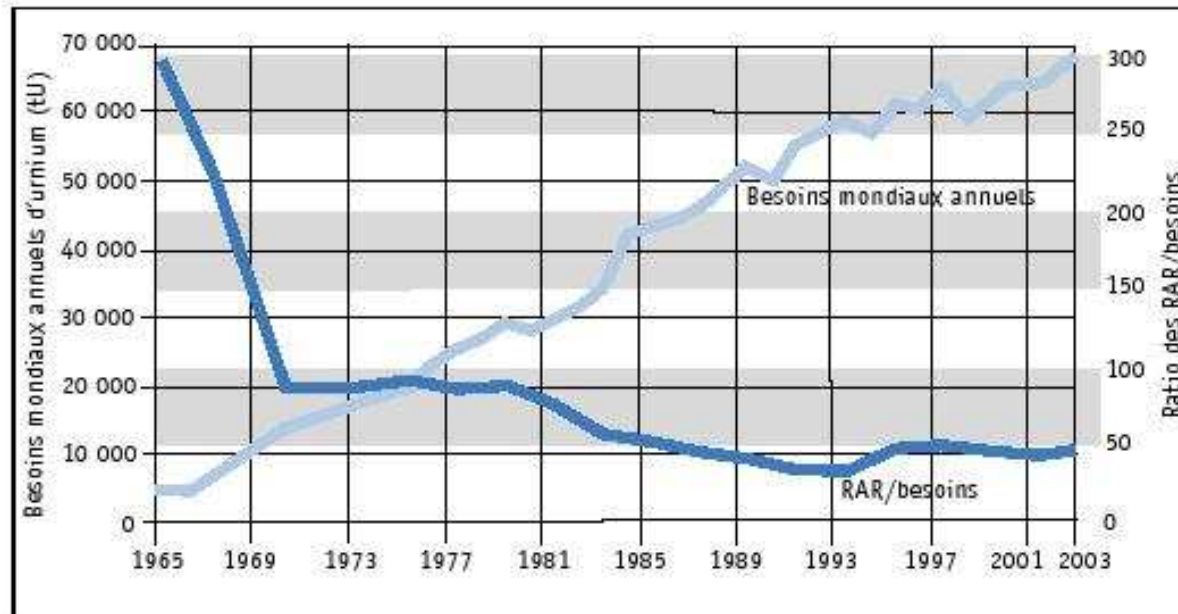
Figure 2. Production annuelle d'uranium et besoins liés aux réacteurs (1945-2003)



C'est le même problème qu'avec le pétrole: comment peut-on prévoir ce que va nous donner la main divine du marché?

Les ressources d'Uranium

Figure 3. Ratio des besoins annuels liés aux réacteurs et des ressources raisonnablement assurées (< 130 USD/kgU)



Les ressources raisonnables en Uranium

Les ressources à moins de 200 \$ le kilo sont estimées entre 10-20 Mtonnes. Cela permet de faire fonctionner 1000 à 1500 réacteurs pendant 50 ans (web.mit.edu/nuclearpower/). Tous les calculs IEA (International Energy Agency) et US sont posés pour un développement limité de l'énergie nucléaire. Dans ce cas, le retraitement des déchets est peu intéressant et la recherche de surgénérateurs est lointaine. Le Plutonium fait très peur, bien que les menaces de prolifération viennent plutôt de la séparation de l'Uranium par centrifugation et que les centrales surgénératrices soient à cycle "fermé". Le site de stockage de Yucca Mountain aux USA semble dimensionné pour un faible développement du nucléaire. Cependant, si on entend étendre le développement de l'énergie nucléaire, il faut prévoir 5000 réacteurs en 2050. Cela diminuerait de près d'un facteur deux les quantités de CO₂ envoyées dans l'atmosphère. Dans ce cas là il faut accélérer le développement des surgénérateurs, et il serait important que l'Europe y réoriente ses investissements. Le point de vue américain est particulièrement défendu dans le livre de Charpak, que Garwin a visiblement écrit sur ce point. Il désapprouve la politique française de retraitement, destinée en ce moment à la production de combustible "MOX", et il dit que celui-ci ne peut être rentable qu'à partir de 50-100 \$/Kg. Comme on est à 130-150 \$, c'est une première évidence que la France a de bonnes raisons de s'être entêtée. Probablement, le programme "Superphenix" a été lancé trop tôt, mais on s'apercevra peut-être que ce fut une erreur de l'avoir arrêté si brutalement...

Une politique raisonnée

Contrairement à ce qu'on croit, les connaissances scientifiques permettent de donner des axes à partir de ce qu'on sait. Il faut en convaincre le public. Je donne donc mes conclusions

1. Les éoliennes n'ont aucun intérêt, au moins en France
2. Le photovoltaïque et l'hydrogène ne connaîtront pas de percée avant trente ans.
3. Dans l'immédiat, il faut combattre le développement des centrales à gaz que EDF dérégulée va construire de préférence à des centrales nucléaires.
4. Une taxe carbone doit être instituée et utilisée pour ce qui suit.
5. Il faut faire un gros effort pour développer la voiture électrique, car nous avons l'atout de faire une électricité "propre". Sinon dans dix ans nous achèterons au supermarché des voitures électriques "made in China".
6. Il faut que le marché du résidentiel supprime les combustibles émettant des GES en améliorant les isolations, avec le chauffage solaire, les puits canadiens, les pompes à chaleur...
7. Le programme de génération IV doit se focaliser à 80% sur le RNR Sodium.
8. Il faut repenser la politique européenne de l'énergie, sinon c'est le charbon et surtout le lignite qui va se développer.