### Amiral Gestion, Hotel de l'Industrie, Paris le 4 decembre 2006

Texte de base dont une petite partie sera montree durant l'expose (sans ponctuation pour ne pas etre massacre par certains logiciels)

# Vers le fin du petrole?

Jean Laherrere jean.laherrere@wanadoo.fr ASPO (Association for the Study of Peak Oil & gas) & ASPO France

Paul Valery: Tout ce qui est simple est faux, mais tout ce qui ne l'est pas est inutilisable

Le temps du monde fini commence 1931.

# -Principes de la nature et de notre societe

Tout ce qui nait, croit, atteint un pic, decline et meurt. Tout est cycle, un cycle disparaît pour etre remplace par un nouveau cycle.

Tout ce qui monte doit redescendre un jour, mais ce qui redescend peut remonter!

Une croissance continue est impossible dans un monde fini.

Nous avons atteint les limites de la planete.

Mais dans notre societe de consommation la croissance est le pere Noel de demain et les dirigeants sont juges sur la croissance (PIB ou actions).

Le mot declin un terme politiquement incorrect, car contraire au vœu pieux de la croissance (dit business as usual).

Un dessin vaut mille mots et toute declaration sans donnees est a verifier.

# -Quelques rappels sur les hydrocarbures

### Historique

Les feux éternels (gaz naturel) ont été l'objet de culte à Kirkouk il y a 6 000 ans. Les Chinois ont exploité du sel, il y a 3 000 ans en découvrant du gaz (forage au bambou à 200 m) qu'ils ont utilisé pour faire sécher la saumure.

Le bitume est signalé dans la Bible (Mer Morte). Il a été utilisé dés l'Antiquité pour l'étanchéité des bateaux, comme mortier pour les maisons et les feux grégeois. Les premiers puits d'huile à la main ont été forés à Bakou en 1594 (35 m).

Les sables bitumineux (ou asphaltiques) ont été exploités à Pechelbronn dés 1735, forage à la tarière en 1835 à 35 m.

Les schistes bitumineux (ou bitumeux, ni schistes, ni bitume!) ont été exploités comme combustibles vers 1750 en Chine et en 1837 en France à Autun et en 1850 en Ecosse.

Le premier forage moderne (à câble) a eu lieu en 1848 à Bakou, en 1854 en Pologne, en 1858 au Canada et enfin en 1859 (23 m fore sur une rivière appelée Oil Creek) aux Etats-Unis (pour les Américains c'est le premier!). Le premier forage rotary date de 1902 et est encore le système utilisé.

# Génération du pétrole

-production annuelle MO (matière organique)= 23 Gt océans 0,7 Gt terre

La grande majorité de la MO est oxydée avant sédimentation.

- -MO fossile dans les sédiments = <1% MO produite cumulée sur 500 Ma
- -ressources de combustibles fossiles concentrés = 1% MO fossile
- -réserves ultimes pétrole conventionnel = 0,3 % ressources

La MO préservée dans les sédiments (roche mère  $\approx 5\%$  MO) se transforme en champs de pétrole si:

Enfouissement avec un gradient thermique ≈ 30°C/km

Génération de pétrole (fenêtre à huile 1 km-4 km),

Expulsion du pétrole de la roche mère

Migration mélangée à eau vers le réservoir (sable, calcaire, récif)

Piégeage (majorité anticlinal) avec couverture (argile, marne, sel)

Préservation du champ, mais possibilité de dégradation par les bactéries et les eaux de surface donnant des sables bitumineux (fin de cycle).

Schistes bitumineux = roches mères immatures (début de cycle), nécessitant une pyrolyse vers 600°C pour obtenir du pétrole, classés dans les charbons (lignite). Ceux ne sont ni des schistes, ni du bitume!.

### Caractéristiques des hydrocarbures (HC)

Les HC sont contenus (avec de l'eau) dans les pores des roches dites réservoirs et peuvent être produits si la roche est poreuse et perméable (pores connectés). Les paramètres essentiels du réservoir sont la porosité, la perméabilité et la saturation en eau. Un champ de pétrole est habituellement une superposition de gaz, surmontant l'huile, surmontant l'aquifère. Le pétrole est caractérisé par sa densité, sa viscosité et sa teneur en soufre, mais en fait chaque brut a une composition différente.

### Récupération

Une partie du pétrole dans les pores du réservoir d'un champ n'est pas déplaçable (problèmes de capillarite) et le taux de récupération par rapport au volume en place varie suivant les qualités du réservoir (configuration des pores) pour le pétrole de 3% (réservoir compact mais fracturé) à 85% (grande porosité et perméabilité = récif ou sable).

La moyenne du taux de récupération des champs modernes est autour de 30-50% pour le pétrole, alors qu'elle est de 70 à 80% pour le gaz.

La récupération primaire du pétrole se fait, dans des puits producteurs espacés, par expansion de l'huile et du gaz et par poussée de l'aquifère sous-jacent.

La récupération secondaire se fait en injectant dans des puits injecteurs de l'eau (plus bas) ou du gaz (plus haut). Elle est mise en place des le debut de la production en offshore.

La récupération tertiaire se fait par modification des caractères physiques de l'huile ou de l'eau (injection vapeur, solvant, ). Elle ne représente que de l'ordre de 2% de la production actuelle.

Le pétrole est dit conventionnel ou non, avec des définitions diverses. Pour certains, c'est le pétrole difficile et cher. Pour d'autres c'est un état physique particulier du pétrole sans considération économique ou technique, quand le gisement n'a pas de contact défini HC-eau.

J. Dukes (Univ Massachusetts) a estimé en 2003 que la consommation annuelle de combustibles fossiles correspond à 400 fois la production primaire végétale et animale de la planéte.

# -Production petroliere

## -Problemes de vocabulaire et de definition

**huile** = liqueur grasse inflammable d'origine vegetale, animale ou minerale

**petrole** = huile minerale naturelle

**hydrocarbures** = seulement C + H; malgre origine *eau* + *charbon* 

*oil* = huile souvent confondu avec petrole

pour 2005 la production d'huile suivant les auteurs va de 67 Mb/d pour le regular oil de Campbell, 71 Mb/d pour le brut (petrole hors extra-lourd), a 84 Mb/d pour tous liquides (*oil demand* = huile) incluant liquides de gaz naturel, petroles extra-lourds, huiles synthetiques, biocarburants, liquides de charbon et gains de raffinerie (en volume)

**Depletion** = epuisement, reduction du volume d'un champ du fait de sa production qui commence des le debut, a ne pas confondre avec **declin** de la production apres le pic

**Pic** = point haut ou point le plus haut?

**Peak oil** = huile qui a un pic (ASPO) different de oil peak = pic de l'huile

Pic par manque de demande (1979 pour le monde) ou par manque d'offre (1970 pour les US)?

## -Chiffres publies

Energie, petrole, conventionnel, nonconventionnel, lourd, raisonable, durable, dangereux ne sont quasiment pas definis par ceux qui les utilisent, car l'ambiguite est recherchee.

Publier une donnee est un acte politique et depend de l'image que l'auteur veut donner. Tout le monde ment (parfois par omission) ou triche plus ou moins:

- -les membres de l'OPEP, ne respectant pas les quotas, sur les reserves et sur les productions, car les quotas sont bases sur les reserves.
- -les compagnies pour maintenir leur action (et leurs dirigeants leur stock options): Enron, Worldcom, Xerox,
- -les gouvernements sur les chiffres du PIB, chômage, inflation, dette, immigration, population et croissance future

Les regles de la bourse americaine (SEC) imposent seulement de publier le chiffre minimum des reserves et non la valeur technique sur laquelle a ete decide le developpment du champ. Il s'agit de proteger les banquiers ou les actionnaires contre la banqueroute de la compagnie petroliere si la valeur reelle est au minimum.

Il faut faire appel a des compagnies d'espionnages = Petrologistics, IHS, Wood Mackenzie et autres, pour avoir les chiffres techniques. Cela coute tres cher!

Publier une donnee avec plus de 2 chiffres significatifs dans le domaine de l'energie montre que l'auteur est incompetent, car les donnees varient de plus ou moins 20%

Il ne faut pas confondre nombre de chiffres significatifs et precision.

Le public et les patrons n'aiment pas l'incertitude, preferant un chiffre discutable a une fourchette, reportant l'incertitude du resultat sur l'incertitude de la definition du produit!

USDOE/EIA proved reserves as end of 2005 posted 5 Oct. 2006

Oil Gb	OGJ	BP	WO	(WO Sept,2006)
World	1 292,935 5	1 201,331 538 509 4	1 119, <b>615 3</b>	1 119, <b>058 3</b>
Russia	60,000	74,436 476 05	74,4	
Norway	7,705	9,691 349	8,033	
Canada	178,7924	16,500	12,025	
China	18,25	16,038 12	16,188 5	
	0.01	DD	MIC	W C C . 2006 C . 11
Gas Tcf	OGJ	BP	WO	WO Sept,2006 Cedigaz
World	OGJ 6 124,016	6 359,172	6 2 <b>26,554 6</b>	WO Sept,2006 Cedigaz 6 215,219 6 6 380,625
			· · · -	1 .
World	6 124,016	6 359,172	6 226,554 6	6 2 <b>15,219 6</b> 6 380,625
World Russia	6 124,016 1 680,000	6 359,172 1 688,046	6 2 <b>26,554 6</b> 1 688,748 9	6 2 <b>15,219 6</b> 6 380,625 1 688,763 3

Ces estimations avec plus 10 chiffres significatifs sont ridicules, surtout qu'il est incorrect d'ajouter les reserves dites prouvees puisqu'elles sont supposees etre des minimum! Il faudrait faire un calcul probabiliste par simulation (Monte Carlo).

Mais comme la source est USDOE, BP ou AIE, ces chiffres sont considerees comme la verite indiscutable, bien que contradictoires.

### -Il y a 3 mondes:

- -economistes, ayant acces qu'aux donnees financieres ou politiques, croyant que l'argent et la technique peuvent tout faire, n'ecoutant pas les techniciens
- -patrons et politiciens, qui sont juges sur la croissance dans la societe de consommation

-techniciens ayant acces aux donnees reelles, connaissant les limites de la technique, mais peu libres de parler a l'exterieur, sauf quand a la retraite

## -Approche de l'incertitude: déterministe ou probabiliste?

L'approche probabiliste est refusée par de nombreux acteurs de l'industrie pétrolière au profit de l'approche dite déterministe, car la plupart (notamment les Texans) ne savent pas manipuler les probabilités. Chaque champ est un cas particulier et les probabilités sont subjectives. Une bonne estimation dépend de l'expérience de l'auteur et de sa motivation à s'améliorer en pratiquant le postmortem de ses estimations passées dés qu'il a les résultats.

Les banquiers et les politiques n'aiment pas l'incertitude et ne parlent que de certitude raisonnable (pour les reserves a la bourse americaine et pour l'autorisation (de la FDA) de la vente d'un nouveau produit aux US).

Au lieu de publier une large fourchette sur des estimations incertaines avec trois chiffres: minimum; valeur esperee et maximum; les auteurs choissisent le chiffre unique qui lui convient au gre de sa motivation (paraître riche ou pauvre)

### -Propriété du sous-sol

Le pétrole (le sous-sol) appartient à l'Etat dans tous les pays du monde, sauf aux US où il appartient aux propriétaires du sol (particuliers ou état) et où il y a plus de 20 000 producteurs. Les données de réserves par champs sont confidentielles dans la plupart des pays, surtout le Moyen-Orient, l'ex-URSS, la France, mais pas la Grande-Bretagne, la Norvège et le fédéral américain qui donnent le détail actualisé par champs. Les réserves de pétrole par champ sont de nouveau un secret d'Etat depuis 2000 en Russie et divulguer les réserves est punissable de 7 ans de prison. Khodorkovsky aurait pu être mis en prison uniquement pour ce délit de divulgation des chiffres de réserves de Yukos!

On ne peut comparer le nombre de puits aux US avec celui du reste du monde car il y 10 fois plus de producteurs aux US que dans le reste du monde, notamment en Arabie Saoudite ou il n'y en a qu'un. Les US ont ete surfores et le champ d'East Texas (figure 4) en est le plus bel exemple avec un puits pour 4 acres alors qu'un puits pour 40 acres aurait produit autant. Le spacing normal pour ce type de champ est un puits pour 160 acres.

Une bonne partie des champs geants de petrole sont produits actuellement par d'autres que leurs decouvreurs, suite aux nationalisations (Algerie, Libye, Venezuela, Iran, Irak), mais aussi pour raisons economiques ou politiques (Soudan Unity decouvert par Chevron, Perou Camisea decouvert par Shell, Abu Dhabi Upper Zakum decouvert par BP).

## -Confusion entre reserves et ressources

Aux US dans le domaine de la finance:

- -ressources = immédiatement disponible en espèces, comme le compte courant, l'épargne,
- -réserves = immobilier, voitures et autres propriétés qui ne peuvent être réalisés immédiatement. Au contraire pour le pétrole:
- -réserves = production future avec les techniques et l'économie actuelles
- -ressources = soit le volume contenu dans le sous-sol, soit le volume que l'on pourrait produire sans contrainte technique et économique des champs connus ou à découvrir.

La confusion est donc grande entre ces 2 termes, expliquant en partie les incompréhensions entre optimistes et pessimistes. L'autre partie est la source des données (politiques ou techniques).

Il y a encore des ressources de charbon en France puisqu'il y a des projets d'exploitation en surface qui sont refuses par les autorites locales; Puisque les Francais ne veulent plus de production locale de charbon, les reserves de charbon sont nulles.

#### -Reserves et decouvertes

Les champs de petrole et de gaz decouverts font l'objet d'estimation de leurs reserves et cette estimation varie avec le temps et la maturite de la production.

Les reserves representent la production que l'on espere recuperer dans le futur

Les ressources representent les quantites qui existent dans le sous-sol.

Les reserves ne sont qu'une faible partie des ressources.

Il ne faut pas confondre reserves et ressources comme le font beaucoup.

Il ne faut pas confondre reserves initales et reserves restantes pour une certaine annee (souvent non mentionnee).

L'estimation des reserves s'exprime par une fourchette de 3 valeurs: minimum; valeur esperee; maximum, mais souvent une seule est publiee.

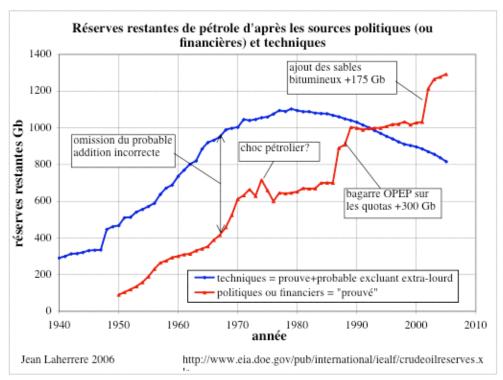
Les reserves par champ sont confidentielles dans tous les pays sauf au Royaume-Uni, Norvege et le domaine federal des US. En Russie, la divulgation des reserves de petrole est punie de 7 ans de prison!

Il y a plusieurs systemes de definition de reserves qui ne veulent qu'une valeur:

- -US toute compagnie presente a la Bourse Americaine (donc Total) est obligee (regles perimees de la SEC 1978) de publier seulement les reserves prouvees = 1P, supposees etre le **minimum** pour proteger le banquier d'une banqueroute
- -OPEP où les quotas dependent des reserves dites prouvees (pour faire vrai!), elles sont donc politiques -ex URSS = classification avec le taux theorique maximum de recuperation = prouve +probable +possible =  $3P \approx maximum$
- -Reste du monde = regles SPE/WPC 1997 = prouve + probable = 2P ≈ valeur esperee ou moyenne sur laquelle est decide le developpement du champ. La Canada a lache les US en 2002! Les compagnies internationales ont plusieurs fichiers de reserves suivant la destination!

-Reserves restantes de petrole = decouvertes cumulees moins production cumulee Reserves techniques = ma compilation de plusieurs sources (IHS + WM) pour les rendre plus homogenes et plus proche de la realite (>25 000 champs)

**Reserves politiques (et financieres)** = publication USDoE (≈ OGJ, WO, BP Review, OPEC, API) Figure 1: **Reserves mondiales conventionnelles de petrole d'apres les sources politiques et techniques** 



De 1950 a 1979 (choc petrolier) les reserves politiques dites prouvees etaient en gros la moitie des reserves techniques = valeur esperee (2P), la difference provenant de l'**omission des reserves probables** et de l'**addition incorrecte** des prouvees (la somme des minima n'est pas le minimum de la somme, car il est improbable que tous les valeurs seront au minimum). De 1985 a 1990 les membres de l'OPEP (qui se bagarrent sur les quotas bases sur les reserves) ont augmente de 300 Gb leurs reserves alors que les decouvertes sur la periode ont ete de 10 Gb

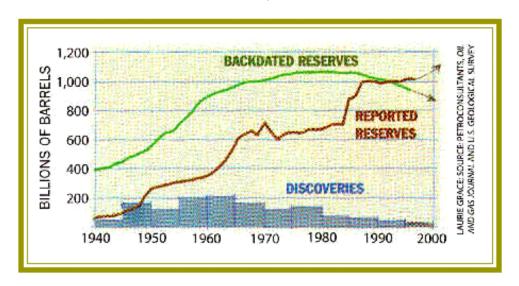
Les reserves de l'OPEP ne sont pas *certifiees* comme celles des compagnies internationales et representent plus de 80%! Kowait a ete le premier en 1986 d'augmenter ses reserves de 50% et est le premier pays maintenant (PIW) soupconne d'avoir ses reserves reelles moitie du chiffre officiel! Le Parlement du Kowait a demande un audit des reserves du pays.

Les reserves dites *prouvees* ne sont d'aucune utilite pour predire l'avenir, mais les economistes n'ont que ca!

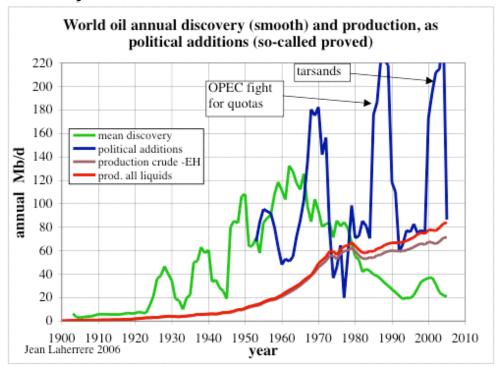
Dans la revue Pour la science de mai 1998 "La fin du petrole bon marche" qui est la traduction de la revue Scientific American "*The end of cheap oil*" Colin Campbell et moi avions sorti le graphique suivant qui prevoyait la situation actuelle, baisse des reserves techniques, augmentation des reserves politiques, mais le changement de definition (sables bitumineux) n'est apparue qu'en 2004 pour les reserves politiques

Figure 2: Reserves mondiales conventionnelles de petrole d'apres les sources politiques et techniques: graphique du Scientific American mars 1998

7



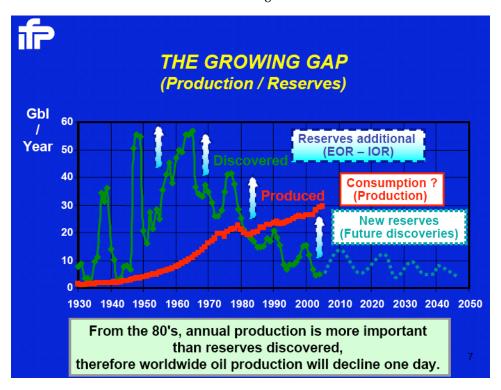
Les economistes qui ont acces uniquement aux donnees politico-financieres ne raisonnent pas faux, ils raisonnent surtout sur des donnees fausses. Depuis 1980 on decouvre beaucoup moins de petrole que l'on ne produit (actuellement 3 fois moins) alors que les donnees politiques disent le contraire Figure 3: Brut moins extra-lourd mondial: production annuelle, decouverte moyenne et additions politiques (soi-disant prouve)



Toute etude ou prevision qui utilise les reserves prouvees (courbe bleue du graphique prfecedent) doit etre rejetee comme sans valeur, car contraire a la realite (courbe verte).

IFP rejecte les reserves dites prouvees et travaille sur les reserves prouvees plus probables donnant un graphique ou la production est superieure aux decouvertes depuis 1980, ce qui fait que les reserves restantes decroissent depuis cette data. La Commission Europeenne (M.Poireau Workshop 6-7 sept 2006) a bien reconnu ce fait, deniant les augmentations depuis 1980 des reserves dites prouvees.

Figure 4: decouvertes et production mondiale d'apres l'IFP (Champlon 2006)

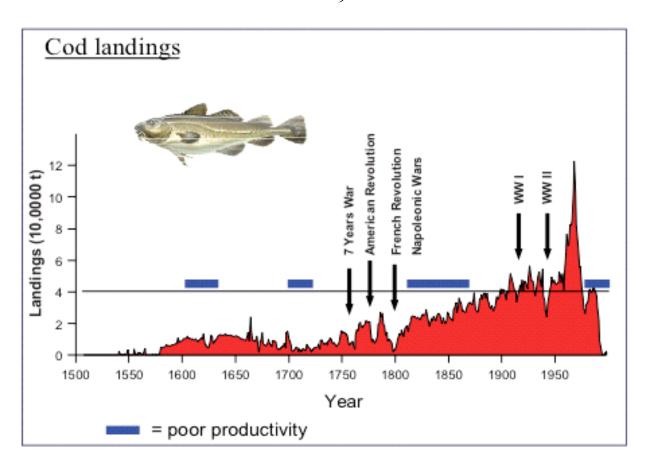


### Difficulte d'estimer les ressources

Les ressources sont ce qui existe dans la nature. Leur estimation est difficile et incertaine, devant etre exprimee par une fourchette (minimum, le plus probable, maximum).

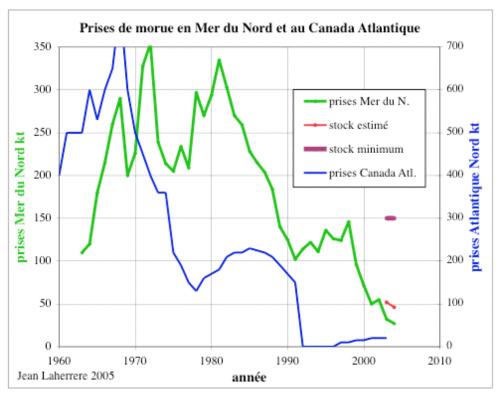
La morue a permis a l'Europe de se nourrir pendant des siecles et de decouvrir l'Amerique, les prises de morue ont lentement augmentes (sauf pendant les guerres), mais la technologie est arrive avec les chalutiers, puis les usines flottantes en 1965, les prises se sont emballes jusqu'en 1968, suivi d'un ecroulement aussi spectaculaire et en 1975, institution de **quotas bases sur l'estimation des ressources**. Les biologistes ont donne une fourchette large des ressources de morue au Canada, mais les quotas ont ete basees sur la valeur maximlum et au lieu de pecher 20% des ressources pour preserver l'espece, les prises ont ete de 60% et il y a eu ecroulement. De nouveau arret provisoire en 1992 pour 2 ans avec 40 000 pecheurs payes a ne rien faire. Apres 10 ans d'arret provisoire, la morue a ete en 2002 declaree disparue de l'Atlantique Nord.

Figure 5: Prises des morues en Nord Atlantique (les Grands Bancs) au Canada 1500-2000 (G. Rose 2003)



La morue de la Mer du Nord suit le meme chemin avec un retard de 15 ans. Les ressources minimum pour la survie de l'espece sont estimees a 300 kt alors que les ressources reelles sont du tiers, la peche devrait etre interdite, mais elle ne l'est pas pour des raisons politiques!.

Figure 6: Prises de morue en Mer du Nord et comparaison avec le Canada 1960-2004



L'experience malheureuse du Canada n'a servi a rien.

Les pecheurs, qui ne respectent pas les quotas ou qui les font augmenter, sont en train de tuer la peche en mer. L'aquaculture ne semble pas pouvoir la remplacer puisque la nourriture est du poisson moins noble.

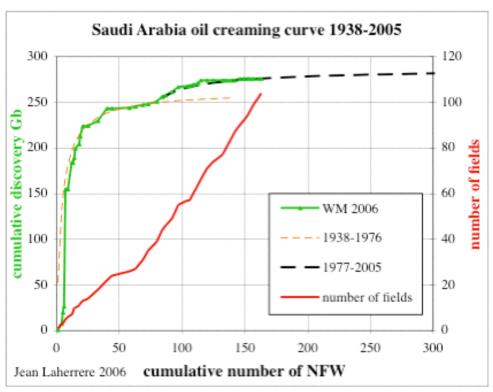
### -Mythes qui ont la vie dure et qui sont contraires aux faits

Pour empecher de parler de declin, tous les moyens sont bons, et les mythes abondent, mais ils sont faux

### -Mythe 1: Le Moyen-Orient peu explore

L'Arabie Saoudite a decouvert 90% de son petrole de 1935 a 1968 en forant 40 puits d'exploration (New Field Wildcats = NFW) decouvrant 20 champs, les 10% restant l'ont ete ensuite de 1968 a 2005 avec 120 NFW decouvrant 80 champs.Les 20 premiers NFW ont decouvert 80% et les 20 derniers NFW 1%!

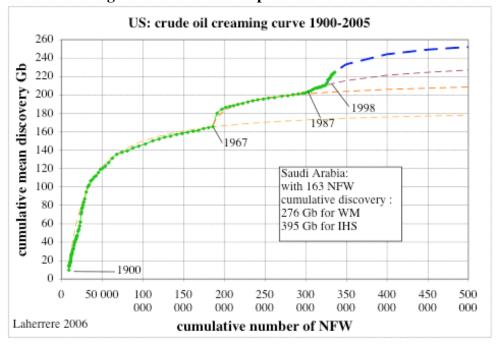
Figure 7: courbe d'ecremage des decouvertes de petrole en Arabie Saoudite d'apres WM (Wood Mackenzie)



L'Arabie Saoudite n'est pas sous exploree, ainsi que tout le Moyen-Orient, certaines regions a faible potentiel sont moins forees.

Les decouvertes 2P en Arabie Saoudite sont 276 Gb pour WM (et 395 Gb pour IHS qui s'aligne sur les donnees politiques) avec seulement 163 puits d'explo et 104 champs, alors que les US n'ont decouvert que 225 Gb avec 335 000 puits d'explo et plus de 30 000 champs! Ce n'est pas le nombre de NFW qui importe mais la maturite de l'exploration, a savoir ce qui reste a decouvrir. La courbe d'ecremage des US montre plusieurs cycles (le dernier etant l'offshore profond), mais la courbe est proche de l'ultime, montrant que dans les 2 pays l'exploration est mature, mais elle l'est plus en Arabie

Figure 8: courbe d'ecremage des decouvertes de petrole aux US



# -Mythe 2: le taux de recuperation des champs de petrole est en moyenne de 35%, en Mer du Nord on recupere 50%, on peut donc augmenter les reserves de moitie

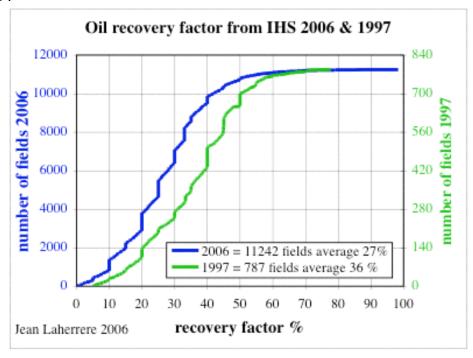
Claude Allegre a ecrit en 1996 dans Le Point cette enormite: :"Aujourd'hui, on extrait en moyenne 20 % ou 30 % du pétrole. Avec l'imagerie sismique, on peut espérer, demain, extraire 80 % à 90 % d'un gisement" Il confondait taux de recuperation et taux de succes.

Le taux de recuperation est le pourcentage des reserves initiales par rapport au volume en place. Mais le volume en place est connu simplement grace aux puits (epaisseur, porosite, saturation) et a la sismique (structure donnant la surface). Mais les puits sont ponctuels et la sismique imprecise, le volume en placve est donc incertain. Les reserves sont aussi incertaines mais grace a la production et aux mesures de pression son estimation s'ameliore avec la production et elles sont parfaitement connues quand la production du champ s'arrete, alors que le volume en place est toujours incertain. Ainsi le PDG de Statoil a declare dans le magazine World Oil de Decembre 2005 que le volume en place de Statfjord (le plus gros de la mer du Nord) etait de 8 Gb, alors qu'en decembre 2004 il annoncait 6 Gb. Ce chiffre rond en dit long sur la precicion de l'estimation et sa variation encore plus. En fait le taux de recuperation depend essentiellement de la geologie du reservoir et varie de 3% pour un reservoir compact fracture a 85 % pour un reservoir tres poreux et permeable. Il n'est indique que pour donner un ordre de grandeur dans les rapports officiels, car les etudes de developpement se font par des modeles (comportant des millions de cellules) qui simulent directement la production d'un champ, et la production cumulee a la fin du champ representant les reserves, sans faire appel au volume en place, ni au taux de recuperation.

Les taux sont donnes souvent par des chiffres ronds 30, 40, 50 ou 33,33 %, montrant bien que c'est "au pif".

La moyenne en 2006 de pres de 12 000 champs (monde hors US) est de 27%, en 1997 la moyenne de seulement 800 champs etait de 36%, on ne peut pas dire que la moyenne a augmente, ni diminuer car le nombre de champs est tres different.

Figure 9: monde hors US: nombre de champs en fonction du taux de recuperation de l'huile en 2006 et 1997



La technologie ne peut pas transformer un reservoir compact en un reservoir poreux. La technologie ne peut changer la geologie du reservoir des champs conventionnels ou l'on agit seulement sur la pression par injection d'eau ou de gaz.

Par contre, pour les petroles nonconventionnels, ou l'on agit sur les proprietes des fluides, la technologie augmente le taux de recuperation, ainsi l'huile extra-lourde de l'Orenoque est exploitee par Sincor 1 en production froide et le taux est de 8%, mais en utilisant de la vapeur avec Sincor II le taux devrait monter a 25% (et les investissements et couts operatoires).

### -Mythe 3: il y a croissance des reserves grace a la technologie

Il y a croissance des reserves prouvees qui sont politiques et sous-estimees, mais il n'y a pas de croissance globale des reserves dites 2P: prouvees +probable, car les reserves dites esperees ne doivent pas croitre statistiquement: les estimations des champs peuvent varier en plus ou en moins mais la somme doit rester constante, sinon l'estimateur doit corriger sa facon de calculer.

# Une croissance veritable des reserves par la technologie doit se voir sur la courbe de declin de la production annuelle en fonction de la production cumulee

Le plus gros champ des US hors Alaska, East Texas, a vu ses reserves augmenter de 5,4 Gb a 6 Gb avec l'apport de l'injection d'eau de 1972 a 1992 avec plus de 30 000 puits fores (10 fois plus que necessaire par suite du grand nombre d'operateurs > 1700), il y avait donc veritablement croissance, mais depuis 1992 il a eu doublement du declin, passant de 5 a 10 %/a. Le champ est pratiquement epuise et l'ultime est revenu a 5,4 Gb. L'augmentation des reserves a ete provisoire et s'est transformee en diminution. La technologie permet de produire plus vite les champs conventionnels mais pas plus et parfois moins.

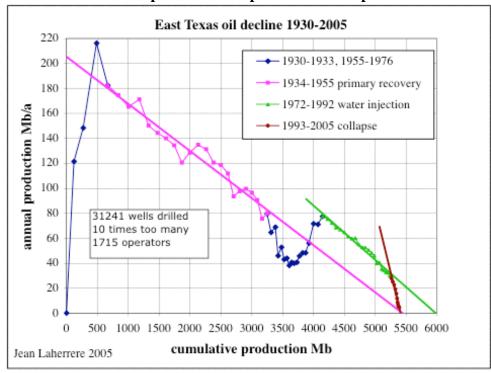
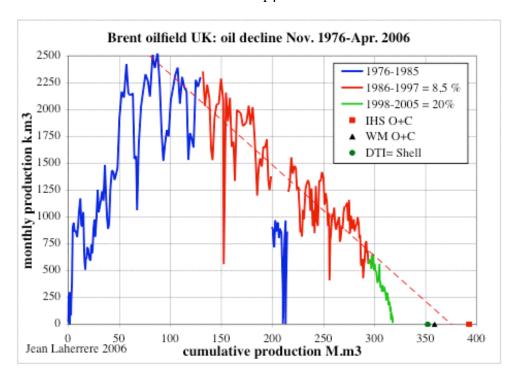


Figure 10: courbe de declin de la production de petrole du champ East Texas 1930-2005

L'un des plus gros champ anglais Brent (brut de reference en mer du Nord = marqueur) a vu aussi sa production s'effondrer en 1998 (comme East Texas) passant d'un declin de plus de 8%/a de 1986 a 1997 a pres de 20%/a de 1998 a 2005. Il est pratiquement epuise n'etant plus qu'un champ de gaz (il va falloir changer de brut de reference!)

Figure 11: courbe de declin de la production de petrole du champ de Brent RU 1976-2005

14



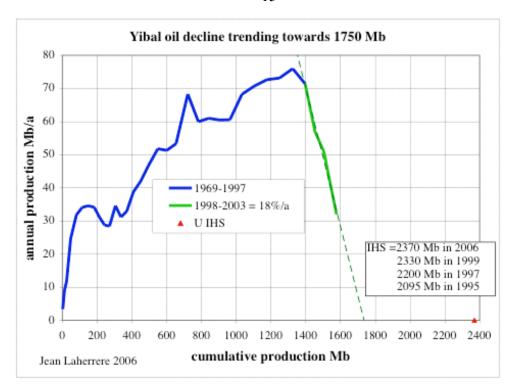
Autrefois les compagnies internationales faisaient du long-terme, mais depuis qu'elles sont possedees en majorite par les fonds de pension americains, elles ne font que du court-terme et le but est le profit immediat.

Les puits horizontaux (avec plusieurs branches) permettent de produire plus vite, d'ou profit immediat, mais souvent au detriment de la recuperation finale.

Yibal (le plus gros champ Oman qui n'est pas dans l'OPEP) opere par Shell a ete pousse a fond grace aux puits horizontaux pour produite plus vite mais le declin est tres rapide et l'ultime moindre (1750 Mb) qu'espere (2370 Mb)

Figure 12: courbe de declin de la production de petrole du champ d'Yibal Oman 1969-2003

15



Mauvaise pratique de production trop poussee = declin fort (18%) et diminution des reserves calculees

Il y a de nombreux exemples de revision negative des reserves surtout a la fin de la production quand la production s'effondre, alors qu'il y a peu d'exemples de revision positive qui se voit sur le changement du declin du champ. Les cas de revision positive sont tous dus a des conditions geologiques exceptionnelles: Ekofisk mer du Nord: reservoir de craie qui s'est effrondre lors de la production amenant une subsidence du fond dela mer de plus de 8 m; Eugene Island 330 Golfe du Mexique communication du reservoir avec la source mere grace a une faille majeure.

En resume la croissance des reserves a existe aux US a cause de regles perimees (SEC 1978) basees sur les techniques des annees 1960, mais elle n'existe plus puisque actuellement les revisions des reserves prouvees publies par l'USDOE sont autant positives que negatives. La croissance des reserves americaines est donc due a une mauvaise pratique a savoir des regles obsoletes.

L'etude USGS (US Geological Survey) 2000 sur des données a fin 1995 a voulu appliquer au reste du monde qui publie des reserves 2P la courbe de croissance des reserves 1P des vieux champs a terre. C'est non scientifique, c'est comme comparer la temperature de Paris a celle de New York sans se preoccuper que l'une est en Celsius et l'autre en Fahrenheit!

Il n'y a pas de croissance globale des reserves 2P, car la valeur esperee doit statistiquement rester la meme. Il y a de nombreux champs ou les reserves diminuent en fin de production et il y a quelques exceptions ou les reserves augmentent. On peut donc estimer que la croissance globale des reserves techniques sera nulle. Elle sera meme vraisemblablement negative.

# -Presentations "optimistes" ou "modifiées" sur l'apport de la technologie

Les souhaits sont presentees comme le scenario le plus probable et les previsions les plus probables comme le scenario minimum

European Network for Research in Geo-Energy regroupe les centres de recherche en Europe. ENeRG newsletter Feb 1998 "North Sea oil and gas production outlook- a major challenge" pretendait que la production de la Mer du Nord serait retarde de 10 ans

Figure 13: Scenarios en 1998 de production en Mer du Nord IFP

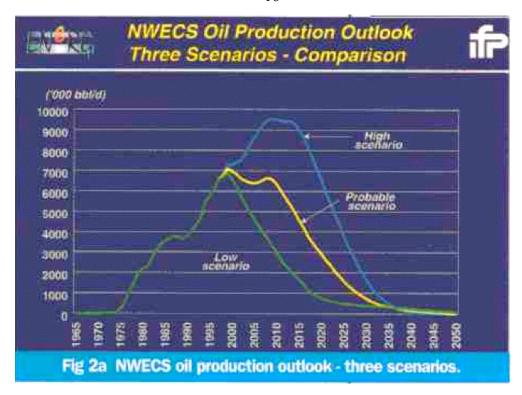
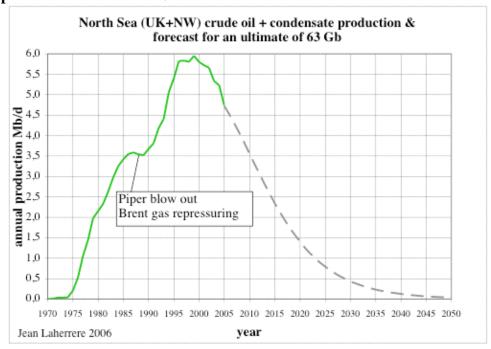


Figure 14: production en Mer du Nord fin 2005



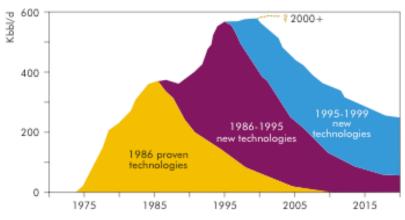
Le scenario dit probable en 1998 s'est revele etre du reve et la realite en 2006 est le scenario dit bas

La croissance des reserves due a la technologie est justifiee surtout par des references exterieures. Exxon-Mobil 2006 cite USGS 2000 (etude a fin 1995 vieille de 10 ans!); Shell en 2002 cite ENeRG (1999); IFP en 2005 cite Wood Mac!

L'AIE justifie l'apport de la technologie en reproduisant en mai 2005 un vieux graphique de l'*European Network for Research in Geo-Energy* repris par Shell en 2002

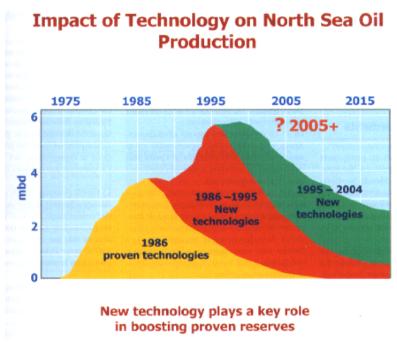
Figure 15: **AIE mai 2005: Impact de la technologie** sur la production en Mer du Nord document 1999 avec echelle **fausse** (pic 0,6 Mb/d)

Figure 1.20 • Impact of technology on production from the North Sea, in thousand barrels per day



Source: European Network for Research in Geo-Energy - ENeRG - courtesy of Shell.

En octobre 2005, L'AIE represente ce meme graphique mais avec des chiffres "modifies" Figure 16: **AIE oct 2005: Impact de la technologie** sur la production en Mer du Nord avec echelle correcte et chiffres *modifies* 2004 au lieu de 1999, 2005+ au lieu 2000+



Le creux de production de 1988 n'est pas du a une ancienne technologie qui est remplacee par une technologie plus performante, mais notamment par l'explosion de la plateforme Piper (160 morts) et l'arret de Brent pour transformation en champ de gaz

La justification par l'AIE en 2005 de l'impact de la technologie est basee sur un graphique de 1999 trafiqué! S'ils ne trouvent pas mieux, c'est que les justifications de l'apport de la technologie ne sont pas evidentes! C'est du « Tout va tres bien Madame la Marquise! » la technologie est le pere Noel

# -Mythe 4: les reserves sont de 40 ans (R/P) pour le petrole, 60 ans pour le gaz, 250 ans pour le charbon:

Les chiffres a partir des reserves prouvees de BP Review sont petrole 41 ans, gaz 65 ans, charbon 155 ans.

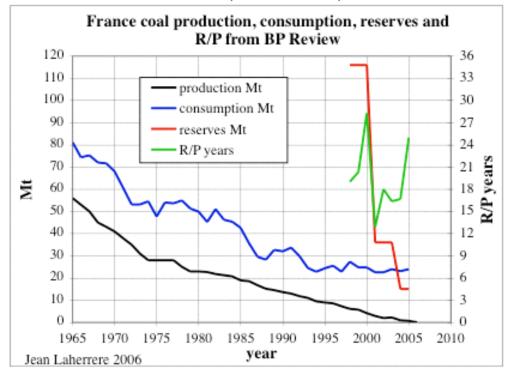
Ce chiffre ne tient pas compte de l'augmentation future de la production vantee par les auteurs de ces publications, de plus la production de petrole ne peut rester constante pendant 40 ans et s'ecrouler a zero la 41° annee!

De nouveau «Tout va tres bien Madame la Marquise », mais la realite n'est pas aussi brillante! En France les reserves de charbon et le R/P sont d'apres BP Review

	Reserves Mt	R/P ans
2000	116	32
2001	36	15
2002	36	17
2003	36	16
2004	15	17
2005	15	25

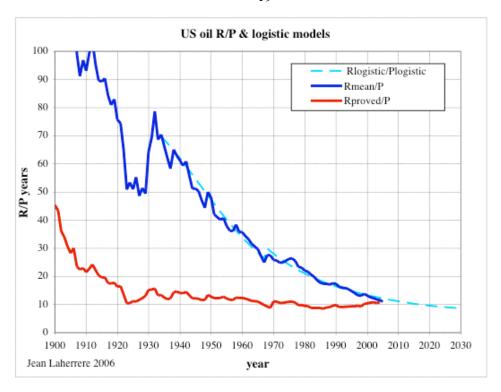
Il y a actuellement des ressources de charbon en France mais plus de mines en production, donc plus de reserves (ce que l'on espere produire)! Des Ecossais veulent produire en surface du charbon dans l'Aveyron, ils ont les autorisations mais les locaux s'y opposent et tout est bloque. Les Francais ne veulent plus produire de charbon!

Figure 17: Production de charbon en France, consommation, reserves et R/P



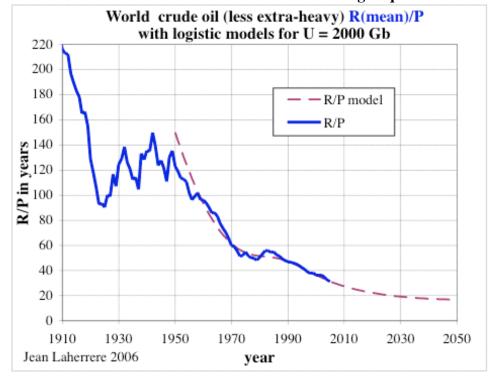
Aux US le R/P des reserves dites prouvees de petrole est d'environ 10 ans depuis 80 ans, le R/P ne veut rien dire pour predire le futur, il est surtout utilise pour calculer les reserves pour les banquiers! Figure 18: R/P pour le petrole aux US pour les reserves prouvees et pour les reserves moyennes avec modeles logistiques1900-2030

19



Pour le monde le R/P (brut moins extra-lourd) decroit de 140 ans en 1950 a 35 ans (perdant 100 ans en 50 ans!) tendant vers une asymptote a 20 ans

Figure 19: R/P mondial brut moins extra-lourd avec modeles logistiques1910-2030



R/P est un tres mauvais indicateur, mais il est utilise par tous.

C'est simple donc c'est faux comme le dit Paul Valery

-Mythe 5: les couts diminuent avec la technologie

En realite les couts de forage varient avec le prix du brut. Aux US le cout du pied fore a varie de 1960 a 1997 avec le prix du brut suivant une loi grossiement lineaire (en avant et en arrière) et le cout en 1977 est equivalent a celui de 1997 ainsi que le prix du brut. Les progres techniques ont permis d'aller forer plus profond et dans des zones plus difficiles. Depuis 1997 le cout du pied fore a augmente fortement a cause des forages en mer profonde

US real drilling cost per foot versus oil price 1960-2004

250

200

200

1999

150

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1997

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

1998

Figure 20: cout du forage aux US 1960-2004 en fonction du prix du brut en \$2000

Les couts de forage sont en train d'exploser, la journee d'un appareil de forage en offshore profond est passe a 500 000 \$/d (il faut ajouter les consommables) et le puits a plus de 100 M\$. Les couts de developpement ont doubles pour Kashagan avec 30 G\$ (pour 1 Mb/d ?) et Sakhaline II avec 20 G\$.

## -Mythe 6: l'augmentation du taux de succes amene plus de decouvertes

Le graphique 6 en Arabie Saoudite montre aussi que le **mythe de l'augmentation du taux de succes grace aux nouvelles technologies qui va amener plus de reserves** est errone, car la taille des decouvertes diminue considerablement plus. De 1935 a 1968 40 NFW ont decouvert 22 champs (taux de succes de 55%) representant 90% des decouvertes actuelles, alors que les 40 derniers NFW de 1992 a 2005 ont decouvert 32 champs (taux de succes de 80%) representant seulement 2% des decouvertes actuelles.

On a meme l'effet contraire, car les explorateurs juges au taux de succes ne veulent plus prendre trop de risque et preferent forer un petit prospect sur qu'un grand prospect peu sur.

## -Mythe 7: les decouvertes augmentent quand le prix augmente

Les decouvertes de petrole et de gaz ont culmine en autour de 1965 alors que le prix du petrole etait bas et elles sont chutees avec les chocs petroliers car on a alors fore tous les projets mediocres qui avaient ete rejetes dans le passe. Par contre la production a chute par baisse car les consommateurs etaient convaincus en 1980 que les prix allaient tripler, ils ont donc economise l'energie.

21

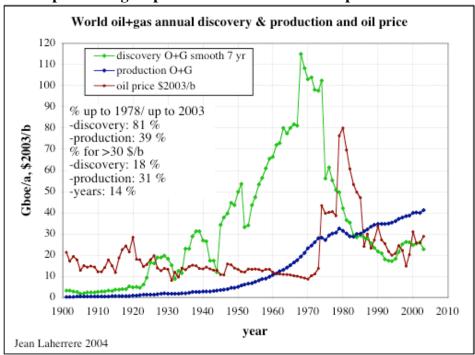
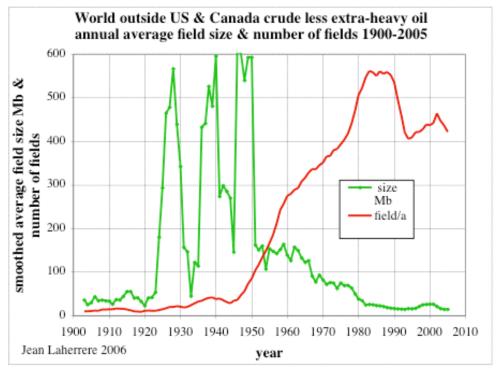


Figure 21: Monde: petrole et gaz: production & decouverte et prix du brut

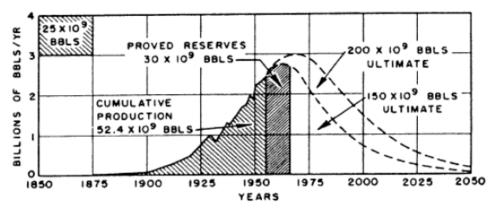
Le volume des decouvertes s'ecroule des le choc petrolier de 1973 mais la taille moyenne des decouvertes de petrole s'est ecroule en 1950, car tous les principaux geants ont ete decouverts avant (a part North Dome Qatar/Iran en 1971). Pour le monde hors US et Canada la taille moyenne etait 1000 Mbep de 1925 a 1950, de 500 Mbep (geants) de 1950 a 19780 et depuis 1980 inferieure a 100 Mbep. Figure 22: **Monde hors US + Canada: taille moyenne des champs de brut et nombre de champs** 1900-2005



# -Prevision de production future

King Hubbert geophysicien de Shell et USGS a predit en 1956 que la production de petrole des US (hors Alaska qui a rejoint en 1959) aurait son pic en 1965 (ultime 150 Gb = son estimation) ou en 1970 (ultime 200 Gb = maximum d'une enquete Delphi)

Figure 23: prevision de King Hubbert en 1956 de la production petroliere des US (hors Alaska)

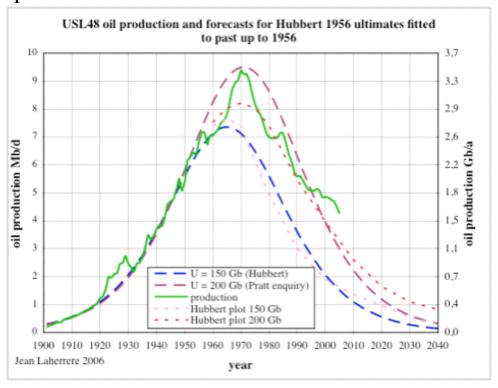


La production a bien eu son pic en 1970 et la courbe de production suit bien la courbe des decouvertes (moyennes ramenees a la date de decouverte) avec 32 ans de retard.

Hubbert a bien predit la date du pic des US hors Alaska (qui n'a joint les US qu'en 1959) car il a fait confiance a l'estimation de l'ultime de 200 Gb qui est le resultat d'une enquete aupres de tous les experts par le meilleur explorateur du moment Wallace Pratt, tres eloigne du total des decouvertes prouvees qui etait de 80 Gb.

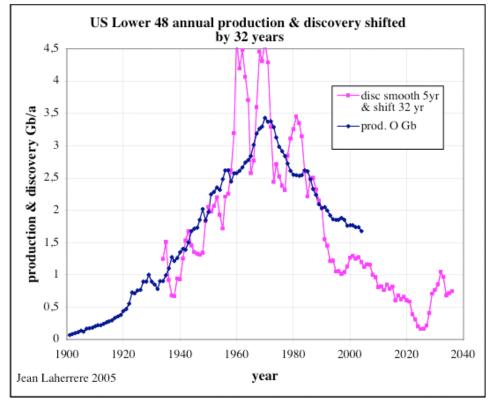
La courbe d'Hubbbert 1956 est dessinee a la main et ce n'est que plus tard qu'il a choisi une equation (derive de la fonction logisitique qui donne un trace different

Figure 24: production US hors Alaska 1900-2005 avec prevision en 1956 par Hubbert et derives logistiques pour ultimes de 150 et 200 Gb



La symetrie de la courbe actuelle peut s'expliquer par la loi des grands nombres car il y a de nombreux bassins petroliers, plus de 40 000 champs et plus de 22 000 producteurs, qui agissent en ordre disperse, sauf quand il y a proration 1960 ou prix eleve 1980

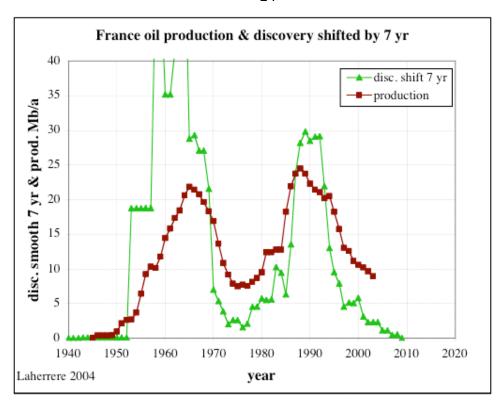
Figure 25: US hors Alaska: production annuelle de petrole et decouverte *moyenne* decalee de 32 ans 1900-2040



Mais dans les autres pays avec un nombre restreint de bassins et de compagnies, les courbes de decouverte et de production montrent plusieurs cycles, notamment la France, mais les cycles sont, en gros, symetriques (?)

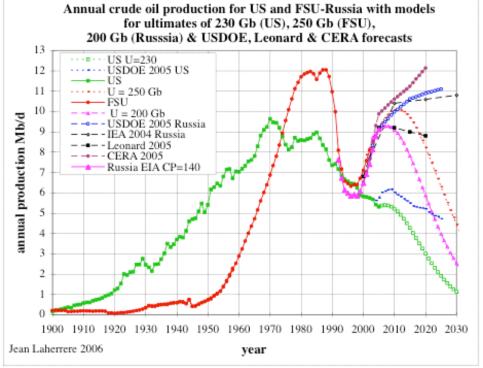
Figure 26: France: production annuelle de petrole et decouverte decalee avec 2 cycles

24



La Russie a eu un pic en 1988 et va avoir un pic mineur tres prochainement, bien que les previsions officielles occcidentales sont evidemment tres optimistes

Figure 27: Production des US, ex-URSS et Russie et diverses previsions 1900-2030



Les Russes viennetn d'annoncer que la production d'octobre etait inferieure a celle d'aout et qu'il y a de nombreux incidents sur les oleoducs qui ont plus de 30 ans (comme celui d'Alaska qui fuit)

### -Estimation de l'ultime

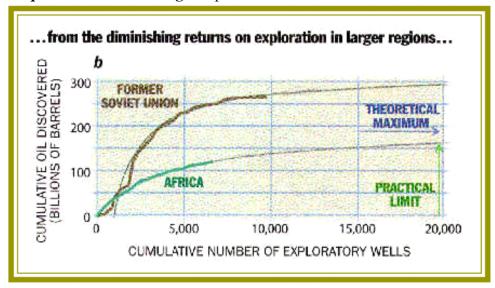
Hubbert avait raison pour le pic petrole US en 1970, car son deuxieme ultime a 200 Gb (enquete Delphi) etait proche de la realite pour les US hors Alaska.

On peut obtenir l'ultime en extrapolant la courbe de croissance de la production annuelle (ou des decouvertes) en fonction de la production cumulee. Si la courbe est lineaire cela veut dire qu'elle etre proche de la derive de la courbe logistique (dite courbe en S enonce par Verlhust pour les courbes de population). En fait le trace est souvent compose de plusieurs elements lineaires. L'extrapolation du dernier segment donne un ordre de grandeur de l'ultime. Mais la production passee ne tient pas compte des decouvertes non developpees et des decouvertes a venir.

Il est preferable d'estimer les ultimes a partir des courbes d'ecremage, a savoir la courbe des decouvertes cumulees en fonction du nombre cumule de puits d'exploration pure (New Field Wildcat NFW).

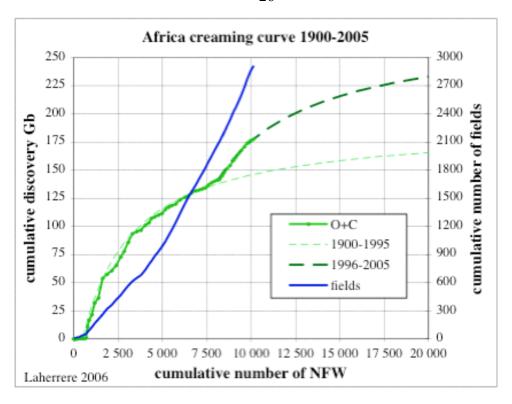
La courbe d'ecremage de l'Afrique n'avait qu'un cycle quand je l'ai trace il y a plus de 10 ans :

Figure 28: Afrique: courbe d'ecremage du petrole: Scientific American 1998



maintenant il y a un deuxieme cycle (mer profonde et Sahara), cycle qui ne se voit pas sur le nombre de champs decouverts. Tout l'art du geologue est de prevoir un nouveau cycle. Au Moyen Orient il ne peut y avoir de nouveau cycle mer profonde puisqu'il n'y en a pas.

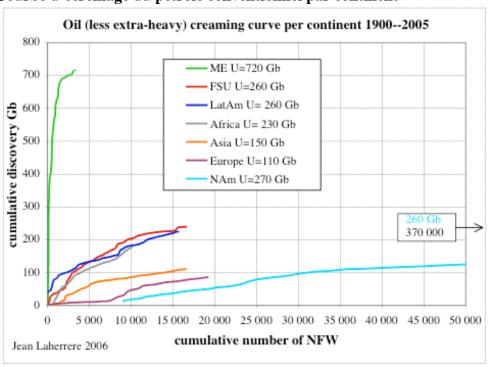
Figure 29: **Afrique: courbe d'ecremage** du petrole 1900-2005 facilement modelisee avec 2 hyperboles



La courbe d'ecremage par continent montre l'inegalite de la distribution dans la Nature. Le Moyen Orient a decouvert 850 Gb avec 4 000 NFW alors que l'Europe n'a decouvert que 80 Gb avec pres de 20 000 NFW (10 fois moins avec 5 fois plus de puits, soit 50 fois moins par puits).

Le monde est de par nature inegalitaire a la ligne d'arrivee! 99% de la matiere du systeme solaire est du plasma: etre solide est tres inegalitaire! Nous avons tous ete concus avec 300 millions au depart et un seul spermatozoide a l'arrivee!

Figure 30: Courbe d'ecremage du petrole conventionnel par continent



Mes nouvelles donnees a fin 2005 me conduisent a prendre un ultime de 2000 Gb pour le brut moins extra-lourd, abandonnant l'appellation conventionnel qui est ambigue (mon ultime en 2005 etait de 2150 Gb).

Les courbes d'ecremage sont rarement utilisées car peu ont les données détaillées et completes par pays des puits d'exploration.

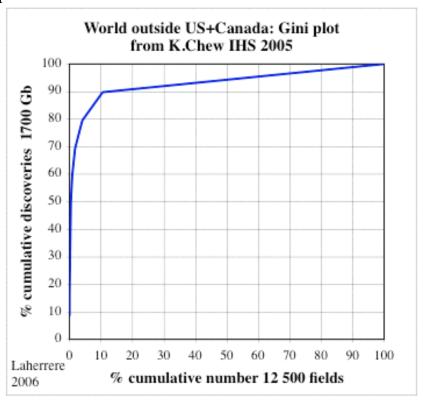
### -Distribution des champs: 80-5 ou 90-10

L'inegalite regne dans la Nature. Nous avons tous ete crees par un spermatozoide qui est arrive premier d'une masse de plus de 200 millions. Etre solide dans le systeme solaire est rare puisque plus de 99% de la masse est du plasma. L'economiste suisse Pareto avait enonce il y a 100 ans que la distribution de la richesse suivait une distribution 80-20: 80% de la richesse est possedee par 20% de la population. Ce principe (ou loi) de Pareto se retrouve dans de nombreux domaines et correspond a une distribution fractale mineaire (ou loi de puissance), bien qu'une fractale parabolique corresponde mieux a la nature courbe de la plupart des distributions de la nature.

Le 80-20 se retrouve dans les subventions des agriculteurs ou les depenses de sante. La meilleur representation est le graphique de Gini. Le pourcentage des volumes decouverts cumulees en fonction du pourcenage du nombre de champs cumule permet de definir un indice d'inegalite.

Ce graphique pour le monde hors US et Canada d'apres les donnees IHS (Chew 2005 12 500 champs et 1700 Gb) montre que 80% des decouvertes sont concentres dans seulement 5 % des champs (et 90% dans 10%). Pour le monde c'est pire etant donne le tres grand nombre de champs americains de tres petite taille!

Figure 31: graphique de Gini de distribution des champs de petrole dans le monde hors US+Canada d'apres IHS 2005

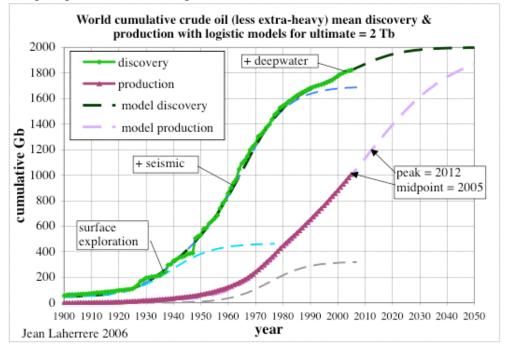


La distribution des champs de petrole est essentiellement inegalitaire!

### -Modelisation de la production future

La production est modelisee en tracant plusieurs courbes qui representent juqu'a la fin de la production l'ultime le plus proches, qui sont le plus proches du passe et qui se raccordent a l'annee 2005 en valeur et en pente. Ceci donne une idee de ce que peut representer l'offre. Mais evidemment s'il y a contrainte par la demande ou les investissements ou politiques, le pic va se transformer en **plateau en tole ondulee**. Pour le brut mondial moins l'extra-lourd (Athabasca et Orenoque) 3 cycles de decouvertes (exploration de surface jusqu'en 1930, puis sismique, enfin mer profonde) et 2 cycles de production (pre-choc et apres-choc).

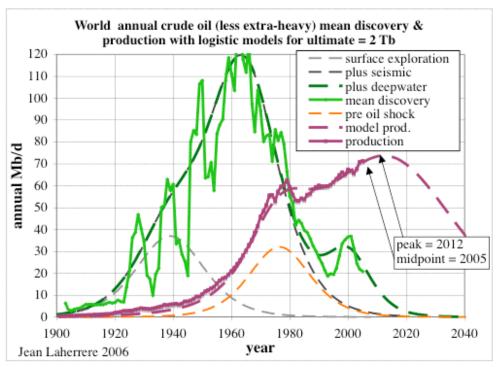
Figure 32: **Monde: brut moins extra-lourd**: decouvertes moyennes **cumulees** et production cumulee avec modeles logistiques (courbe en S) pour U = 2000 Gb = 2 Tb



Les decouvertes cumulees depassent 1800 Gb laissant moins de 200 Gb a decouvrir, ce qui est moindre que la precision de l'ultime pris avec un seul chiffre significatif pour bien montrer son imprecision. L'estimation du rapport USGS 2000 de 700 Gb restant a decouvrir base sur des hypotheses grossieres a ete delaisse par les compagnies qui ne s sont pas precipites dans East Greenaland qui ete en tete avec 47 Gb a decouvrir. Un rapport WM vient d'estimer que l'Arctic incluant la partie russe avait beaucoup moins de petrole (65 Gb) a decouvrir qu'espere.

Les memes valeurs en annuel montrent bien le pic de decouvertes dans les annees 1960, le pic de production vers 2012. Comme il y a plusieurs cycles le pic de production ne coincide pas avec le point milieu qui est en 2005

Figure 33: **Monde: brut moins extra-lourd**: decouvertes et production **annuelles** avec modeles logistiques pour U = 2000 Gb = 2 T (sans contrainte de la demande ou des investissements)



Avec plusieurs cycles, le pic du brut serait en 2012 alors que le point milieu est 2005!

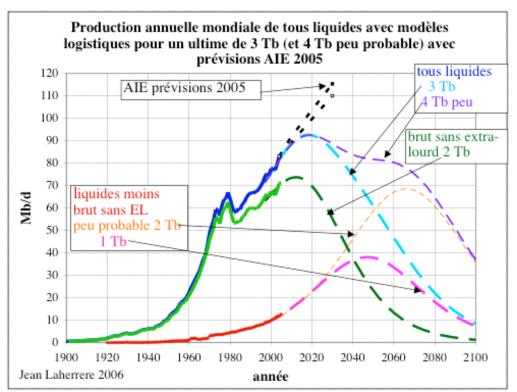
Mais la demande d'huile est publiee pour tous les liquides et les previsions d'offre doivent etre estimees pour la satisfaire et comprendre tous les liquides meme les biocarburants BTL et les liquides de charbon

L'ultime tous liquides est estime a 3000 Gb = 3 Tb etant la somme de

-brut moins extra-lourd	2000 Gb
-extra-lourd	500 Gb
-liquides de gaz naturel et GTL	250 Gb
-petrole synthetique (BTL, CTL) et gains de raffinerie	250 Gb

Le brut moins extra-lourd (petrole facile) est deja modelise dans le graphique precedent avec 2 Tb et le complement (petrole difficile) pour arriver a tous liquides est modelise avec une courbe d'Hubbert pour un ultime de 1 Tb avec un pic vers 2050, donnant un pic global vers 2015 a un peu plus de 90 Mb/d (theorique sans contrainte possible de la demande et des investisements). En doublant le volume du petrole difficile a 2 Tb, mais en l'adjustant pour avoir la meme pente en 2005, son pic est vers 2075 et le pic global n'est pas change seul la pente est moins forte. La production en 2050 est de 60 Mb/d pour U= 3 Tb et 80 Mb/d pour U= 4 Tb.

Le petrole non conventionnel ne changera pas la date du pic, seulement la pente du declin. Figure 34: production mondiale de tous liquides 1900-2100 (sans constrainte de la demande et des investissements) pour les ultimes de 3 Tb & 4 Tb (peu probable)



L'huile chere (rouge) ne change pas le pic mais la pente du declin

## -Plateau ondule plutot que pic a cause des contraintes

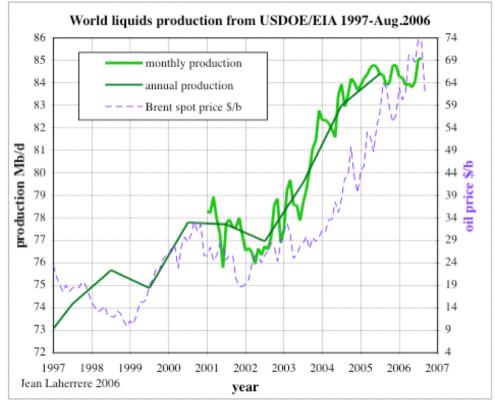
Le pic du graphique precedent est ce que peut offrir l'offre sans tenir compte des nombreuses contraintes qui sont

- -demande car on ne peut pas produire durablement plus que la demande qui ralentit avec les prix eleves -economie; si on fait confiance a la prevision 2004 de Paul Volcker qu'il y a 75 % chances d'une crise economique dans les 5 ans a venir, le demande devrait baisser sous peu. La bulle immobiliere americaine qui a permis l'augmentation de la consommation est en train d'eclater. A long terme le deficits colossaux des US et des Europeens ne seront resorbes que par l'inflation importante d'une depression. Il faudra donc bien qu'elle vienne!
- -investissements, car les nouveaux projets ont vus leur couts doubler (Sakhaline, Kashagan, Athabasca) a la suite de l'augmentation du brut et des matieres premieres, il y a aussi le principe de MacNamara ou les couts et les delais initiaux sont multiplmies par 3 (car on affiche au depart les estimations minimum), de plus les previsions officelles du prix du brut sont pour une baisse dans quelques annees (voir graphique 65) pour etre en 2030 a 50 \$2004/b pour l'USDOE eta 65 \$2005/b pour l'AIE 2006 -manque de main d'oeuvre qualifie aussi bien pour le forage que pour le developpement: sables bitumineux de l'Athabasca, Total a reconnu que ses projets y ont trois ans de retard -erreurs humaines ou de direction: dans les gros projets les erreurs coutent tres cher en argent et en temps et les exemples sont nombreux: explosion sonde NASA 1999 Mars Climate Orbitor a cause des
- unites, explosion Ariane 5 logiciels incompatibles, retard Airbus 380 (6 G€) logiciels de cablage incompatibles, deterioration de la plateforme BP Thunder Horse ballasts non fermes (2 ans de retard) –politique: de nombreux contrats sont denonces par les nouv eaux gouvernements (Venezuela, Bolivie,
- Tchad, Russie) rendant les investisseurs frileux,
- -social: greves, vol de brut, rancon: Nigeria
- -terrorisme: de nombreux troubles qui ne s'ameliorent pas: Iraq,
- -climatique: les cyclones Katrina et Rita en 2005 et rien en 2006!
- -corrosion des oleoducs (et gazoducs) qui ont plus de 30 ans: Russie, Alaska

Il y aura probablement, non un pic, mais un **plateau en tole ondule** commencant plus tot avec des prix chaotiques. Le ralentissement de la production et la recente chute brutale de 25% des prix du brut laisse penser que le plateau est en train de commencer!

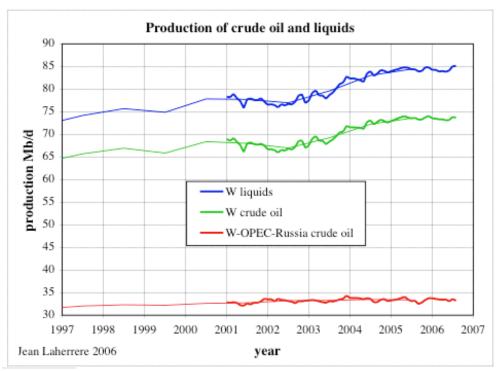
La production tous liquides plafonne depuis 2005 a moins de 85 Mb/d.

Figure 35: production mondiale de tous liquides d'apres USDOE/EIA 1997-aout 2006



La correlation production et prix du brut de 1998 a 2006 est interessante, la production baisse apres la baisse du prix, montrant bien que l'OPEP a bien fonctionne ou que le resultat est independent de son action!

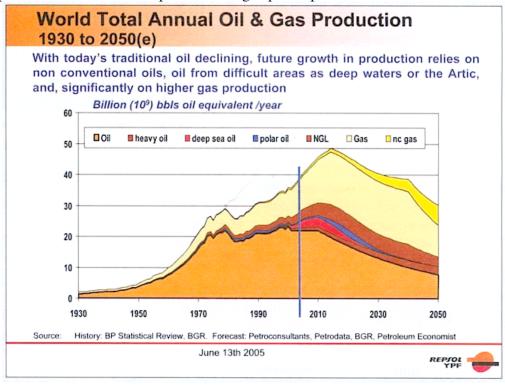
Si la production de liquides plafonnent depuis le debut de 2005, la production mondiale hors OPEP et hors Russie plafonne depuis 2002 a 33 Mb/d avec un pic en decembre 2003 a 34,3 Mb/d Figure 36: **production de liquides et de brut 1997-aout 2006** 



Sommes-nous entre dans le palteau ondule? Nul ne ne peut le dire il faut attendre encore quelques annees pour en etre sur.

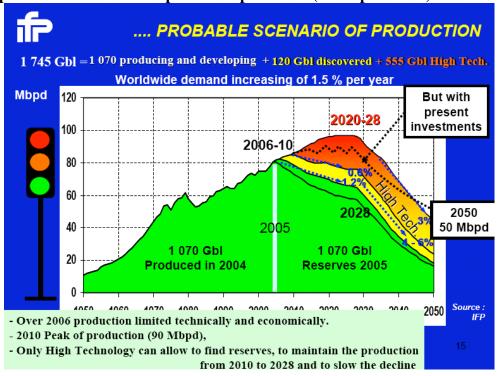
# -Autres previsons de production mondiale de petrole -previsions d'apres les reserves

La compagnier espagnole Repsol prevoit un pic de petrole entre 2010 et 2015 Figure 37: **production** mondiale de petrole et de gaz par Repsol



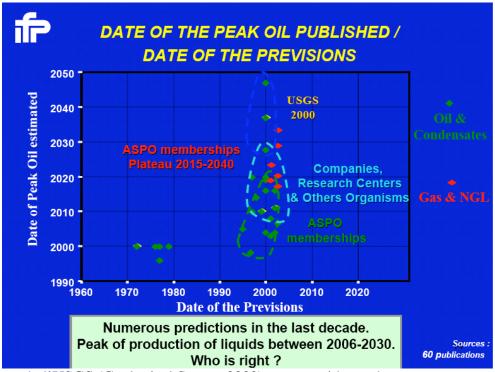
L'IFP (Champlon 2006) prevoit un pic de petrole en 2006-2010 sauf si une haute technologie maintient la production de 2010 a 2028, mais le declin est superieur a celui des previsions precedentes..

Figure 38: production mondiale de petrole d'apres l'IFP (Champlon 2006)



L'IFP a rassemble les dates de pic et montre que les previsions par les membres d'ASPO (ellipse en vert) recouvrent un bonne part des previsions des compagnies et centres de recherche (ellipse en bleu clair). Le barycentre de ces 2 ellipses se situe vers 2015 qui correspond a mon pic, mais j'ajoute que ceci suppose qu'il n'y a pas de contrainte de la demande ou des investissements ou politiques. La realite sera un plateau ondule qui demarrera plus tot.

Figure 39: date du pic de petrole d'apres l'IFP (Champlon 2006)



Les previsions de l'USGS (Geological Survey 2000) sont considerees hors normes avec 2040!

Le dernier rapport CERA (nov.2006) nie la theorie du peak oil, ce qui revient a dire que les ressources sont infinies puisqu'il ne peut pas avoir de pic, mais il donne la production des US avec son pic de 1970 et un declin qui decline vers le zero, ainsi qu'une courbe de production mondiale presentant un plateau ondule vers 2040 a 130 Mb/d avec un ultime de 4 821 Gb (quelle precision!) dont 704 (et non 700) Gb pour les schistes bitumineux (voir plus loin)! Cette estimation est basee sur celles de l'USGS 2000 qui sont a fin 1995, plus de dix ans d'age et reconnue par les vrais explorateurs comme peu realistes. CERA attaque les previsions d'ASPO-Campbell comme etant une theorie erronee avec son ultime de 2,4 Gb, mais sa courbe est similaire avec un ultime double. CERA, qui nie la theorie du peak oil, presente donc une courbe avec peak oil qu'il appelle plateau ondule! Cela ressemble a une plaisanterie de jouer sur les mots pour descendre des travaux basees sur plus de donnees? CERA fait de la politique et non de la science.!

De Margerie et Mandil ont dit que les 115 Mb/d predits ne seront pas atteints. F.Harper(BP exploration) a predit (Nov. 2004) un pic de l'huile entre 2010-2020 pour un ultime de 2,4 Tb

Al-Husseini (VP Aramco E&P a la retraite) juge les previsions de l'AIE trop elevees, aussi bien pour le MO, mais aussi Russie et le reste de Non-OPEC.

### -previsions d'apres les projets petroliers en cours

C.Skrebowki, editeur du Petroleum Review, magazine de l'Energy Institute a Londres, a recense tous les projets petroliers importants qui seront ajoutes a la production actuelle pour la decennie a venir. Ces megaprojets sont bien connus, faisant l'objet d'appel d'offre sur les capacites maximum et la date de demarrage (souvent optimiste). Skrebowski suppose tres justement que les dates vont glisser (Total annonce 3 ans de retard sur ses projets de sables bitumineux et BP 2 ans pour sa plateforme profonde Thunder Horse (1 G\$). CERA qui a fait la meme etude ne prevoit aucun glissement aisni qu'un faible declin des productions actuelles et obtient des valeurs beaucoup plus optimiste. Skrebowski apres plusieurs revisions, estime que le pic se produira en 2010-2011 a 92- 94 Mb/d. Ce resultat en dehors

des estimations des ultimes est beaucoup plus fiable que les estimations a partir des reserves, s'il se situe dans la periode des megaprojets, ce qui est le cas, puisque toutes les productions de 2010 soivent etre des projets annoncees a ce jour.

# -Schistes bitumineux (oil shales) ou bitumeux

Encore un terme mensonger, ce ne sont ni des schistes (souvent roches metamorphiques) ni du bitume, mais des marnes contenant du kerogene (matiere organique qui est la roche mere) immature. Ils sont d'ailleurs classes dans les lignites et sont utilises dans les centrales thermique ou les cimenteries comme le sont les charbons. L'Estonie a la plus forte production mais pour etre dans l'EU doit la fermer par trop polluante. On peut effectuer la pyrolise de ces roches en les chauffant a plus de 500 °C. La premiere production de schistes bitumineux (Laherrere 2005 Oil shale review) a eu lieu en France avec les schistes d'Autun en 1837; exploitation qui a ete ferme en 1957. Toutes les pilotes de production d'huile a partir des schistes venant de mines de surface ont ete un echec pratiquement partout dans le monde (sauf au Bresil) et recemment en Australie. Il existe un pilote in situ par Shell aux US qui chauffe electriquement pendant plusieurs annees des puits tres rapproches pour produire en tout 10 b/d, tout en congelant les roches autour pour empecher l'eau de venir. Shell doit decider en 2012 de la construction d'un pilote commercial. Les schistes bitumineux se trouvent surtout aux US avec un volume annonce de 2 Tb. Le bilan energetique d'un tel procede doit etre negatif quelque soit le prix du brut. Il est vraisemblable que les schistes resteront (comme les hydrates oceaniques) des ressources et jamais des reserves. Les schistes bitumineux sont tres souvent confondus par certains soidisants experts avec les sables bitumineux, les schistes sont du petrole non encore genere alors que les sables sont du petrole degrade.

-Messages differents de l'AIE 1998; 2000; 2002: pour les previsions de petrole a 2030 Le changement a l'AIE du directeur des analyses a long-terme aboutit a des messages tres differents: Figure 40: AIE 1998: previsions Jean-Marie Bourdaire: il est impossible de satisfaire la demande

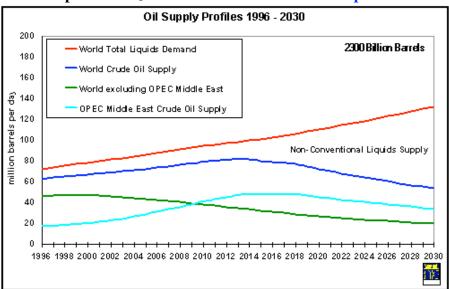


Figure 41: AIE 2002: previsions Olivier Appert: il n'y a pas de probleme pour satisfaire la demande

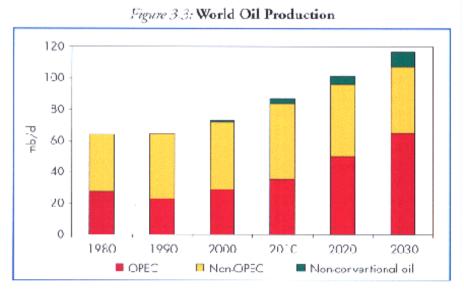


Figure 42: AIE 2004: previsions Fatih Birol: beaucoup de conditions pour satisfaire la demande

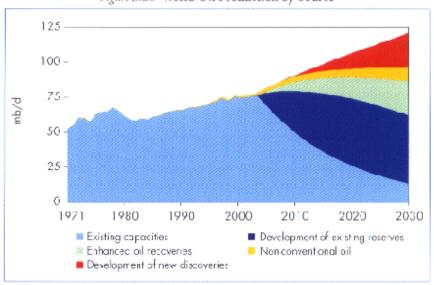
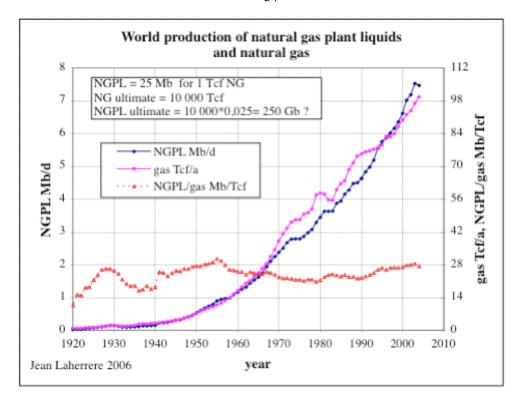


Figure 3.20: World Oil Production by Source

### -Gaz

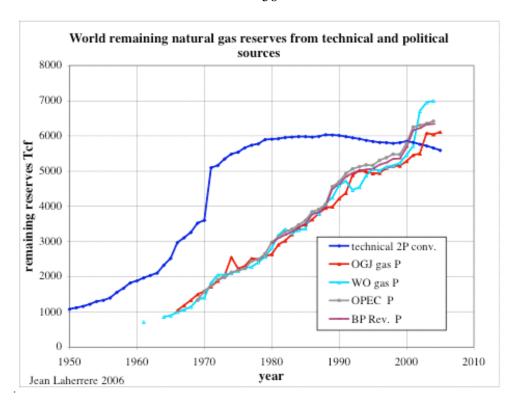
Le gaz peut etre un subsitut du petrole, de plus les liquides de gaz naturel (associe ou non a des gisements de petrole) representent 7 Mb/d soit 10% du brut mondial. Il y a une bonne correlation entre la production des liquides de gaz (NGPL) et la production du gaz avec une moyenne de 25 Mb par Tcf Figure 43: **production mondiale de liquides de gaz et de gaz 1920-2005** 



En outre le gaz peut etre transforme en liquides (gas to liquids = GTL) par des procedees onereux mais qui commencent a faire l'objet d'installations importantes la ou le gaz est tes abondant (Qatar).

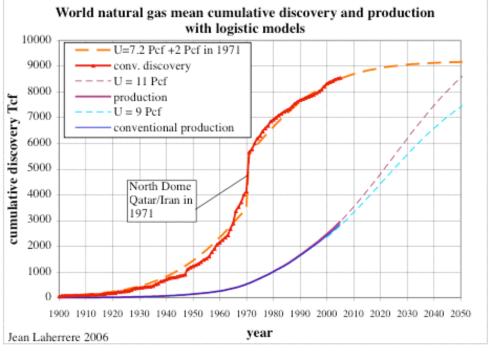
Les reserves restantes de gaz publiees comme prouvees (?) par les compagnies nationales montre la meme divergence avec les reserves techniques que pour le petrole. Le probleme est que les bases de donnees techniques sont plus ecartees que pour le petrole car WM ne prend en compte que les donnees commerciales, alors qu'IHS prend toute decouverte geologique, incluant beaucoup de ce qui est appele "stranded gas". Les donnees techniques plafonnent depuis 1980 et commencent a decliner legerement depuis 1990

Figure 44: reserves restantes mondiales de gaz suivant differentes sources



Les decouvertes cumulees mondiales sont modellisees avec une courbe logisitique mais le plus grand champ (North Dome decouvert en 1971 avec North Field au Qatar et South pars en Iran (fore en 1991) represente pres de 15% de l'ultime (Ghawar ne represente que 6% de l'ultime petrole) etr perturbe le modele, aussi il est pris en dehors du modele.

Figure 45: Decouvertes mondiales cumulees de gaz et production avec modeles logistiques



L'ultime pour le gaz avait ete estime il y a 10 ans (Laherrere, Perrodon, Campbell 1996) a 10 000 Tcf (10 Pcf) ppour le conventionnel et a 12 Pcf en incluant le non-conventionnel (CBM, reservoirs compacts et gas shale). Nous gardons ces valeurs arrondies qui sont confirmees sans pouvoir etre

mieux detaillees, toutefois si la gazeification du charbon devient commercial in situ (probleme de sequestratuion du CO2), l'ultime pourrait etre augmente, mais cela ne changerait pas le pic, seulement le declin (comme pour le petrole).

La production mondiale de gaz culminera vers 2030 a 140 Tcf/a alors que l'USDOE/EIA 2006 prevoit pour 2030 182 Tcf/a (toujours croissant), mais l'AIE 2005 a decru la valeur en 2030 a 165 Tcf/a pour le cas reference et 153 Tcf/a pour le cas des investissements differes.

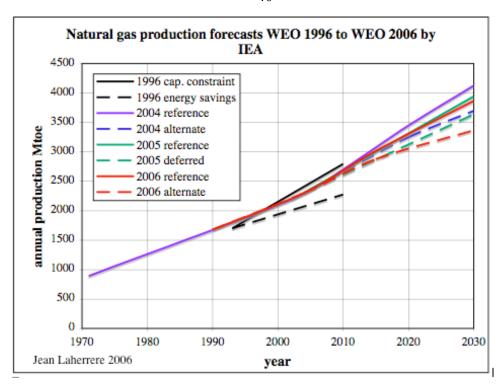
World natural gas annual production with model for 12 Pcf ultimate as IEA-WEO & EIA-IEO forecasts EIA/IEO 2006 -- IEA-WEO 2004 - - IEA-WEO alt. 180 IEA WEO 2005 H1 0.5 Pcf 160 ·H2 9.5 Pcf prod. convent. 140 H3 2 Pcf production Tcf/a H1+H2+H3 120 unconvent, prod. Cedigaz marketed 100 80 60 40 20 1950 1975 2000 2025 2050 2075 2100 Jean Laherrere 2006 year

Figure 46: Decouverte annuelle de gaz mondial et production 1950-2100

Le nouveau rapport de l'AIE WEO 2006 prevoit 162 Tcf/a en 2030 pour le cas reference considere maintenant comme le scenario *Business as usual* **a ne pas suivre** et seulement 141 Tcf/a (notre prevision) dans le cas **prefere dit alternatif** (recours aux renouvelables et economie). Les previsions ne sont plus lineaires car la croissance annuelle du cas alternatif est de 2,3 %/a pour 2004-2015 et seulement 1,1 %/a pour 2015-2030, suggerant l'approche d'un pic.

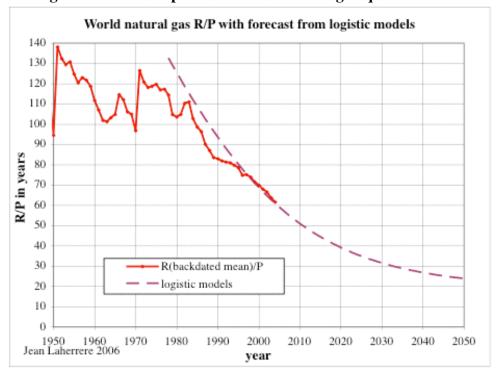
L'evolution des scenarios de l'AIE depuis 1996 montre une baisse notable des previsions, se rapprochant enfin des notres.

Figure 47: Previsions de production annuelle de gaz par l'AIE depuis 1996



Le R(valeur esperee)/P a decru de 140 ans en 1950 a 60 ans en 2005 et tend vers une asymptote de 20 ans (comme pour le petrole)

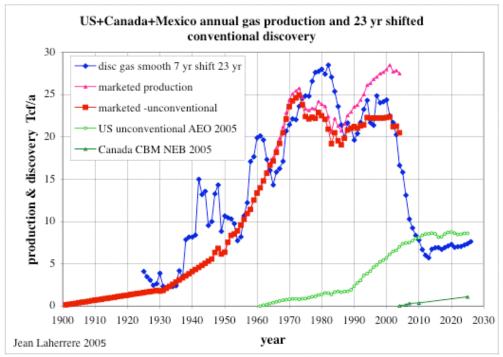
Figure 48: R/P du gaz mondial avec previsions de modeles logistiques 1950-2050



Pour le gaz, le pic mondial se situe en 2030, rendant les projets de remplacer le petrole par le GTL (tres cher) hypothetiques. Mais comme le gaz coute 10 fois plus cher a transporter que le petrole il y avait 3 marches de gaz: Amerique du Nord, Europe et Asie Pacifique, maintenant 4 avec l'Amerique du Sud. La penurie du gaz va se produire en Amerique du Nord plus tot que celle du petrole et les projets de

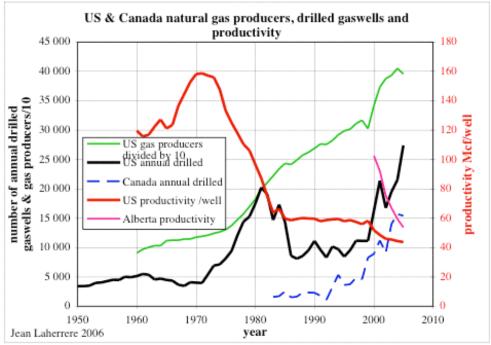
terminals de gaz liquefie fleurissent. La production du gaz conventionnel en Amerique du Nord va decliner brutalement si on compare la courbe de production avec celle des decouvertes decalee de 23 ans.

Figure 49: US + Canada + Mexico:production de gaz conventionnel et decouverte decalee de 23 ans: 1900-2030



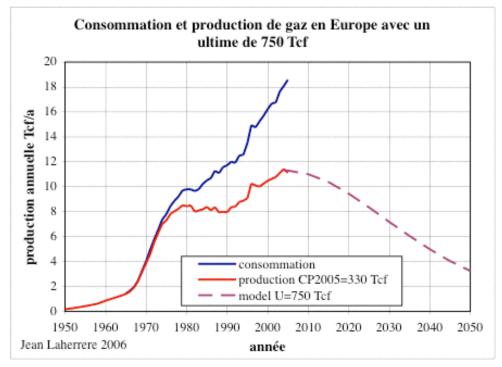
Les US sont obliges de multiplier les forages pour compenser le declin de la production par puits qui s'accelere divise par 3 depuis 1970 aux US et par 2 au Canada depuis 2000

Figure 50: US & Canada: nombre de puits producteurs de gaz, de puits fores par an et productivite par puits 1950-2005

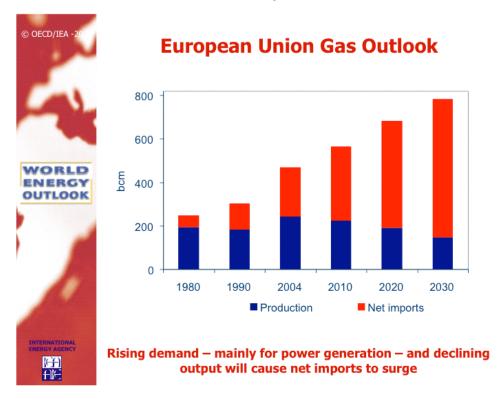


La production de gaz en Europe est au pic et l'Europe compte trop sur le gaz russe qui est surevalue sans compter les problemes d'investissements de Gazprom et les projets de Poutine qui veut prendre en 2008 la direction de Gazprom, ce qui explique les manoeuvres de Gazprom pour s'associer avec Sonatrach pour creer un OGEP. L'Europe va souffrir tres vite de penurie de gaz et de prix eleve. L'Europe consomme 8 Tcf par an de plus qu'elle ne produit.

Figure 51: Europe: consommation et production annuelle de gaz pour un ultime de 750Tcf: 1930-2050

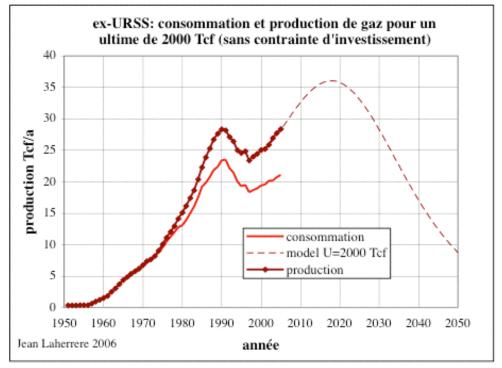


La production de gaz de l'Europe est en train de culminer d'apres l'AIE et sa demande est supposee etre satisfaite par les importations notamment russes et algeriennes qui devraient augmenter de maintenant a 2020 de 300 G.m3 ou 10 Tcf. Mais la Norvege veut exporter du gaz vers les US Figure 52: **Offre et demande de gaz de l'Union Europeenn**e d'apres AIE



Mais l'Europe compte trop sur le gaz russe, qui est surestime (classification russe prend la recuperation theorique maximum).

Figure 53: **ex-URSS: consommation et production annuelle de gaz** avec un ultime de 200 Tcf **et sans contrainte d'investissement** 1950-2030



La production russe va culminer dans quelques annees (s'il n'y a pas de contrainte d'investissements mais Gazprom est la vache a lait de la Russie et n'investit pas assez), augmentant seulement en 2020 de 7 Tcf (l'Europe a besoin de plus de 10 Tcf en plus) et ne pourra pas satisfaire les besoins de l'Europe et

de l'Asie en 2020 et ensuite ce sera la debacle!. De plus Poutine vient (Financial Time 10 sept. 2006) de declarer que leurs exportations vers l'Asie vont augmenter pour atteindre 30% pour le petrole et le gaz. Mais le gaz etait gaspille, considere comme inepuisable, Moscou est chauffe au gaz sans compteur car le chauffage est compris dans la location. Les grands gisements (>100 Tcf = 15 fois Lacq) d'Yamal (Bovanenkovo 1971) et en mer de Barentz (Shtokman 1988) ne sont pas encore developpes et Shtokman est prevu alimenter les US..

Gazprom commence des alliances avec Sonatrach pour controler les prix sur l'Europe, cherchant le maximum a court terme. Kiriyenko, ancien premier ministre et patron de l'agence nucleaire russe, vient de declarer qu'il faut accelerer le nucleaire car la Russie aura epuise ses reserves de charbon et de gaz naturel dans 50 ans.

Il y a encore dans le monde du gaz qui est torche car trop loin des centres de consommation, et il y a beaucoup de gaz non conventionnel avec les CBM (coalbed methane) ou gaz de charbon, mais surtout du gaz dans les reservoirs compacts (gas shales) qui sont produits aux US. Par contre il y a des volumes tres importants de gaz dissous dans les aquiferes a geopression, mais les essais de production ont montre trop de problemes et ils sont maintenant completement delaisses. Certains parlent des hydrates de methane oceaniques representant plus que tous les combustibles fossiles, mais les estimations ont ete divises par 100 et les hydrates sont trop disperses pour avoir une production commerciale. Encore un mythe! Comme d'ailleurs la disparition de bateaux et d'avions dans le mystere du Triangle des Bermudes a ete attribue a l'eruption de methane a partir des hydrates!

#### -Charbon

Au cours des temps géologiques, moins de 1 % de la matière organique (biomasse) a été enfouie dans le sol, ou a sédimenté au fond des lacs et des océans. Elle s'est ensuite transformée en kérogène, puis en combustibles fossiles : pétrole, gaz naturel ou charbon.

Les reserves de charbon sont estimees d'une facon heterogene par les pays et il est difficle d'avoir une evaluation mondiale. En effet la qualite des charbons est tres varaiable suivant sa "cuisson" allant de la tourbe (<50% de carbone et 12 GJ/t) a l'anthracite (93-97 % de carbone et 34 GJ/t). Il faut donc convertir les volumes et tonnages en energie equivalente (souvent la tonne equivalent petrole). Il n'y a pas de consensus sur les definitions et les methodes d'estimation. Les definitions des NU sont ambigus et non suivies. De plus il n'y a pas d'organisme d'espionnage qui rassemble les donnees en essayant de les rendre homogene. Le CME publie les reserves par pays sans faire le bilan global. Il y a confusion suivant les motivations entre reserve et ressources: voir graphique 17 sur la production et reserves de charbon en France.

Le BGR ne prend en reserves que le charbon a moins de 1500 metres de profondeur a terre, considerant que le charbon profond et en mer a un bilan ernegique negatif, ce n'est pas une question de prix, mais d'energie investie en comparaison avec l'energie recuperee.

Le charbon est tres polluant, ayant dans ses fummees de nombreux produits toxiques dont de l'uranium et il est dit qu'un Americain recoit plus de radiations pres d'une centrale a charbon que pres d'une centrale nucleaire (McBride et al 1978). Il y a depuis des decennies en Chine des mines de charbon en feu qui brulent 120 Mt/a emettant 2 a 3 % du CO2 mondial! En Australie la "Burning Mountain" est du charbon qui brule depuis plus de 5000 ans.

Plus loin les previsions de prodcution de charbon, en prenant les estimations de reserves du Bureau de Geosciences en Allemagne BGR, est pour un pic (sans contrainte autre que l'offre) vers 2050.

#### -Inventaire des Ressources en energie d'apres les BGR= Bureau de Geosciences en Allemagne

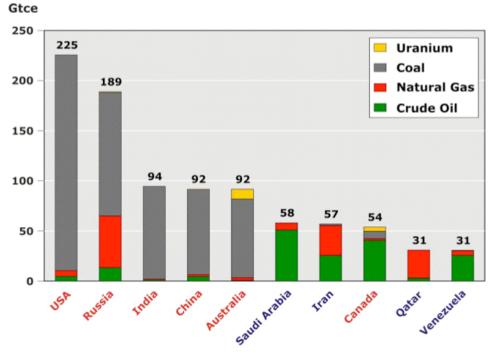
Le Bureau de Geosciences en Allemagne BGR est le seul organisme qui fasse regulierement un inventaire complet et homogene des ressouces de la planete. Le Conseil Mondial de l'Energie ne fait que rassembler les estimations nationales qui sont tres heterogenes, mais ne fait pas le total mondial

Reserves restantes & ressources a l'annee d'estimation en Gtep d'apres le BGR

BGR- Germany		reserves		-	resources	
estimate year Gtoe	<b>1997</b>	2001	2004	<b>1997</b>	2001	2004
conventional oil	151	152	160	76	84	82
non-conventional oil	134	66	66	574	250	250
conventional natural gas	116	122	134	172	165	157
non-conventional gas	2	2	2	2458	1538	1538
hard coal	341	423	450	3519	2486	2299
soft brown coal	50	47	47	763	292	213
uranium	24	15	17	179	174	174
thorium	22	22	22	23	23	23

Le classement des 10 premiers pays en combustibles fossiles est donne dans le graphique suivant. On voit l'importance du charbon pour les 5 premiers pays les plus riches en combustibles fossiles, car l'Arabie Saoudite est un petit sixieme apres l'Australie!

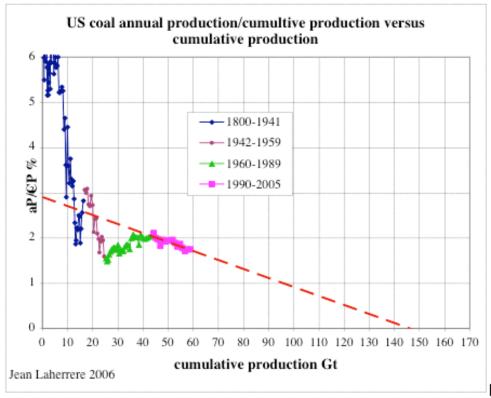
Figure 54: BGR: Reserves restantes de combustibles fossiles en 2004 pour les pays les plus dotes en Gtec



Les US sont le Moyen-Orient du charbon! Mais Gregson Vaux (2003) estimait que les reserves US de charbon sont de 33 ans (utilisant un modele trop simple et triplant les productions en 33 ans = 4%/a!) contre 250 ans pour les estimations officielles (240 ans pour BP Review).

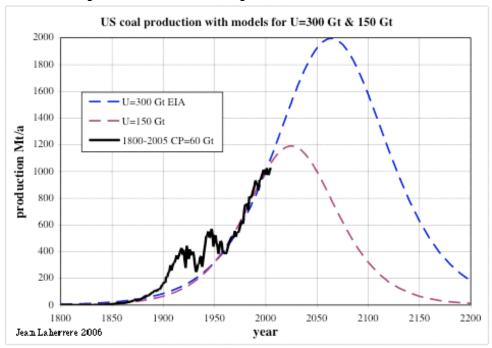
En prenant l'estimation de reserves de l'USDOE de 245 Gt (280 Gt BGR) plus la production cumulee de 58 Gt on obtient un ultime de 300 Gt, mais le pourcentage de la production annuelle sur production cumulee montre une extrapolation depuis 1990 en fonction de la production cumulee qui tend vers un ulltime possible a 150 Gt. Cette estimation est tres imprecise car la courbe decroit depuis 1942 puis croit en 1960 et decroit depuis 1990.

Figure 55: charbon US: pourcentage production annuelle sur production cumulee versus production cumulee 1800-2005



La production de charbon americaine depuis 1800 a 2005 (1 Gt en 2005) est donc modelisee avec les deux ultimes 150 Gt et 300 Gt, donnant un pic en 2025 a 1,2 Gt/a et en 2065 a 2 Gt/a.

Figure 56: charbon US: production 1800-2200 pour ultimes de 150 Gt et 300 Gt

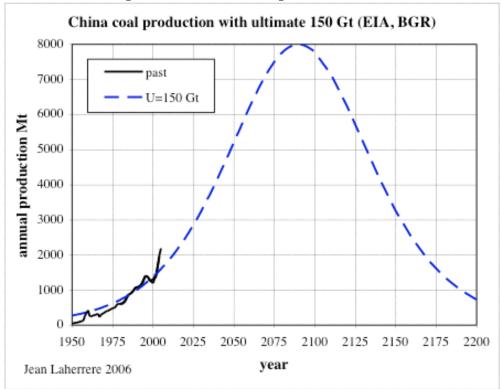


La production de charbon devraitt donc culminer entre 2025 et 2065 s'il n'y a pas de contraintes en dehors des reserves. Les US prevoyent de construire 150 centrales a charbon 100 GW 140 G\$) en addition des 1500 existantes (50% vieilles de >35 ans) qui fournissent la moitie de l'electricite du pays (nucleaire 20%, gaz 18%, hydraulique 7%). Mais les mines de charbon ont du mal a s'etendre car les conditions devient plus difficiles et les pressions augmentent pour reduire le CO2 aux US.

La Chine a des reserves estimees a 115 Gt par BGR et EIA avec une production cumulee jusqu'en 2005 a 39 Gb, soit un ultime de 150 Gt environ.

La production devrait atteindre un pic de 5 Gt/a (2 Gt/a en 2005) en 2060 s'il n'y a pas de contraintes autres que l'offre, ce qui est improbable. Le pic sera un plateau ondule

Figure 57: charbon en Chine: production 1960-2140 pour ultime de 150 Gt



La Chine ajouterait une centrale a charbon par semaine (?). Mais la production aura du mal a suivre. En 1990 une bonne partie des mines locales ont ete fermees car tres dangereuses. Le nombre de tues dans les mines est de l'ordre de 6000 morts par an depuis longtemps. En plus la Chine est en train de construire des usines pour CTL (coal to liquid) pour satisfaire ses besoins en huile. En 2004 les centrales elctriques au charbon ont manque de combustible a cause des liaisons ferroviaires insuffisantes, ce qui a cause l'augmentation massive de consommation de petrole car les usines se sont equipes de groupes electrogenes pour pouvoir produire les produits chinois vendus dans le monde entier. La Chine a besoin de son charbon mais n'a pas reussi a mettre en place les equipements necessaires pour une production satisfaisant ses besoins futurs.

Dans l'inventaire BGR, les Russes arrivent en second (>500 ans de charbon pour BP Review) mais Kiriyenko (ex-premier ministre et patron agence nucleaire russe) vient de declarer que leurs reserves de charbon et de gaz seraient epuisees dans 50 ans!

La comparaison des productions passees pour Chine, US, FSU et Russie montre que les croissances sont fort differentes. Les previsions doivent se contenter de l'estimation incertaine des reserves et ressources et sont donc peu fiables.

Coal production: China, US, FSU, Russia & India 2500 2000 annual production Mt/a China US FSU 1500 Russia India 1000 500 1850 1870 1890 1910 1930 1950 1970 1990 2010 year

Figure 58: production de charbon en Chine, US, ex-URSS, Russie et Inde

Pour terminer cette inventaire sur le charbon: que va faire l'Arabie Saoudite quand la production de petrole declinera fortement avec une population croissante, sans ressources de charbon, ni de nucleaire? L'Arabie Saoudite consomme 25 Mb/d d'eau provenant d'usines de dessalement et c'est pour cela qu'ils ont ouvert l'exploration du gaz a Shell et Total (le potentiel a decouvrir de petrole est faible). On comprend pourquoi on lit maintenant que l'Arabie Saoudite veut des centrales nucleaires.

#### -Uranium et thorium

Jean Laherrere 2006

L'uranium est le combustible des usines nucleaires et seul l'U235 qui ne fait que 0,7% du mineral est fissible, le reste soit l'U238 (une tres faible partie dite fertile est transformee en plutonium) est considere comme un dechet. Le thorium est plus abondant que l'uranium mais non fissible n'est pas encore utilise dans les reacteurs actuels. Il faut faire appel a une nouvelle generation de reacteurs pour avoir acces a ses reserves. Alors les reserves sont multiplies par un facteur 60. Il y a des reserves abondantes d'uranium dans les phosphates mais les problemes d'environnement sont immenses et aussi un volume gigantesque d'uranium dissous dans l'eau de mer (ainsi que d'or). Les Japonais ont reussi a concentrer une livre d'uranium en draguant la mer avec des filtres speciaux mais ce n'est qu'une experience scientifique.

L'uranium a ete forme il y a 6 Ga avant la formation de la Terre et se trouve dans de nombreuses roches eruptives, metamorphiques ou sedimentaires. C'est donc un combustible fossile mais il est souvent exclus du terme combustibles fossiles qui recouvrent alors seulement le charbon, petrole et gaz. Ce que nous avons fait dans nos previsions qui suivent car les previsions de production d'electricite nucleaire sont trop incertaines pour de nombreuses raisons. De plus il y a de gros problemes dans la conversion en unite d'energie equivalente (le joule ou la tep= 42 MJ), suivant les rendements des autres energies. La France a change ses conventions en 2001 pour s'aligner sur l'AIE faisant passer la part du nucleaire en energie primaire de 31 % a 39 % (voir NB figure 63) et celle de l'hydraulique, eolien et photovoltaique de 2,5% a 6,9 %! Le rendement d'une centrale nucleaire est prise a 33% alors que Total prend 40% et le CME 38,6 %!

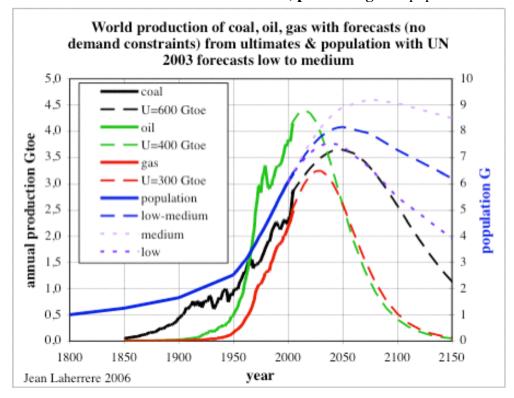
Les reserves dites prouvees d'uranium sont de l'ordre de 4 Mt mais les reserves esperees seraient de 15 Mt (le cout du combustible ne represente que 15% du cout total et l'uranium cher est assez abondant), ce qui permet seulement d'alimenter les reacteurs actuels jusqu'en 2035 (Rogeaux Club de Nice 2005) sans penurie d'energie si la demande augmente de 1.5%/a. Il faut donc tres vite rendre les reacteurs de la 4e generation operationnels pour avant 2035.

#### -Previsions des combustibles fossiles: charbon, petrole, gaz

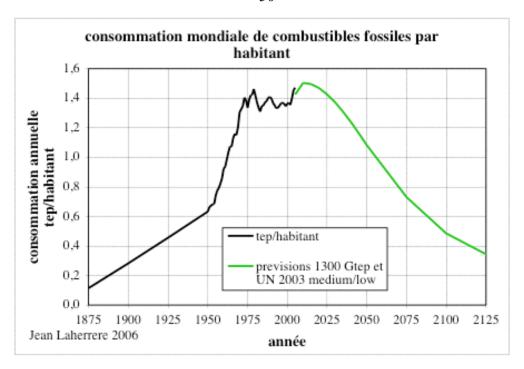
La production de combustibles fossiles peut etre modelisee (sauf contrainte de la demande) avec les ultimes suivants, donnant les pics de production

-huile	400 Gtep	2015
-gaz	300 Gtep	2030
-charbon	600 Gtep	2050

Figure 59: Production mondiale annuelle de charbon, petrole et gaz & population 1800-2200



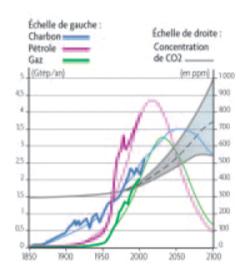
La production mondiale (=consommation) de combustibles fossiles(charbon, petrole et gaz) par habitant (hypothese NU medium/low) montre que la consommation sera de 1,4 tep/hab de 1975 a 2025 ensuite chute en 2050 a 1 tep et en 2100 a 0,5 tep. Il faudra donc des 2025 des energies renouvelables et du nucleaire en quantite importante, les investissements doivent se preparer des maintenant Figure 60: **consommation mondiale annuelle de combustibles fossiles par habitant** 



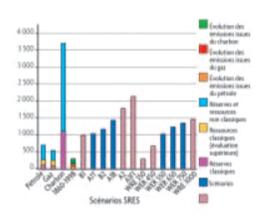
A-T. Mocilnikar (delegue interministeriel au developpement durable) «**Charbon propre mythe ou realite?** » 2006, a mis cote a cote un graphique de Varet (BRGM-Futurible 2005) inspire de mon graphique precedent et un graphique du GIEC.

Figure 61: Graphique Mocilnikar 2006 avec courbes Varet et hypotheses du GIEC

Pétrole, gaz naturel & charbon & pic de pétrole en fonction des émissions de CO<sub>2</sub>



Carbone dans les réserves et ressources de pétrole, de gaz et de charbon par rapport aux émissions historiques de carbone des combustibles fossiles (1860-1998), et aux émissions de carbone cumulées d'une série de scénarios SRES et de scénarios de stabilisation TAR jusqu'en 2100.



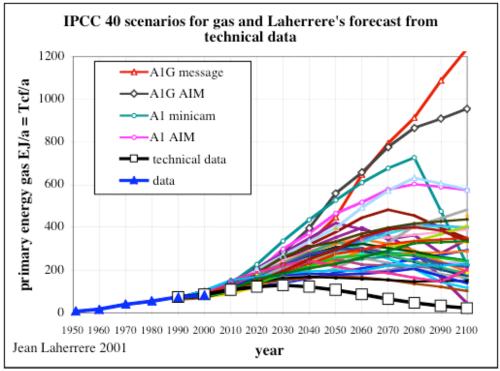
Source : Jacques Varet, La Géothermie. Orléans : BRGM (coll. Enjeu des géosciences), 2004 .Source : IPCC

Le graphique Varet (qui reproduit mon graphique previsions des combustibles fossiles qui a un ultime de 1300 Gtep pour les combustibles fossiles avec une production cumule a 2004 de 325 Gtep soit un ultime restant de 975 Gep ou 1500 Gtc. Les reserves et resources (maximum qui est hautement

improbale 5%?) du graphique GIEC totalisent 1300 Gtc pour les reserves conventionnelles, 300 Gtc pour les ressources conventionnelles et 3400 Gtc pour les reserves et ressources non conventionnells, soit un total de 5000 Gtc, soit plus de 3 fois ce que montre le graphique de Varet! Dire (mars 2006) que ce n'est pas la limite des reserves fossiles qui va permettre la stabilisation des concentrations de CO2 semble en contradiction avec le graphique de Varet.

Les 40 scenarios (SRES concus par IIASA) ) du GIEC sont irrealistes compares aux donnees techniques, ce que j'ai montre au workshop de IIASA en 2001

Figure 62: IIASA scenarios (rapport GIEC2001) de la consommation de gaz compares aux donnees techniques



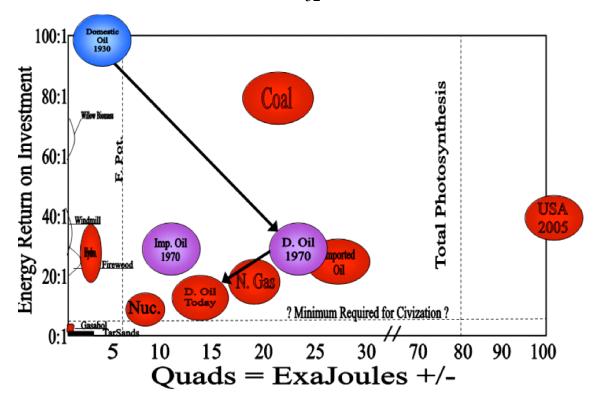
Le prochain raport GIEC 2007 utilise les memes scenarios energetiques irrealistes de 2001 et va donc donner les memes resultats, puisqu'un modele ne peut transformer de mauvaises hypotheses en resultats valables! **GIGO = garbage in, garbage out.** Le rapport de Stern qui vient de sortir en Angleterre ne mentionne meme pas ses scenarios! De plus Stern reprend une declaration du GIEC qui dit que le rechauffement global depuis 50 ans (en ajoutant au moins) est du en majorite a l'activite humaine, mais le rechauffement global n'est que depuis 30 ans, car de 1945 a 1975 il y a eu refroidissement!

Il est malheureux de voir le GIEC ignorer les realites industrielles et les declarations des geologues qui etudient les effets des changements climatiques sur des centaines de millions d'annees = lithologie des affleurements!

## -Rendement energetique = rapport de l'energie recuperee sur l'energie investie (EROI)

Il est important que le bilan energetique complet d'une production soit positif a savoir qu'il ne faut pas investir plus d'energie que l'on recupere ou que le rapport soit superieur a 1. Mais ce calcul est tres difficile (combien d'energie est depensee pour construire un ordinateur ou un bulldozer?) et peu l'ont fait scientifiquement (Odum, Cleveland, Hall). Les chiffres sont anciens, pour le petrole US le rapport etait de 100/1 au pic des decouvertes en 1930 et de 15/1 pour les annees 1990.

Figure 63: Bilan energetique d'apres C.Hall ASPO 2006 (voir site ASPO Italy)



Les sables bitumineux sont estimes avoir un rapport inferieur a 1, ce qui semble douteux, car la production a ete sans suvention depuis 40 ans!

Pour l'ethanol a partir du mais aux US les universitaires Pimentel et Patzek estiment un rapport de 0,7/1 alors que l'USDA un rapport 1,3/1.

Le rapport Bilans energetiques et gaz a effet de serre des filieres de production de biocarburants en France ADEME/DIREM sept 2002 Ecobilan/PricewaterhouseCoopers

La teneur moyenne globale PCI des biocarburants dans les carburants a été, pour la même année, de 0,83 %.

#### D'un point de vue énergétique,

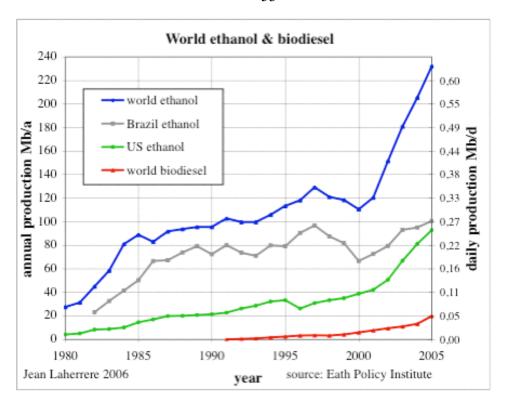
- Le rendement énergétique défini comme le rapport entre l'énergie restituée sur l'énergie non renouvelable mobilisée) pour les filières de production d'éthanol de blé et betterave est de 2 à comparer avec le rendement pour la filière essence de 0,87.
- Le rendement énergétique des filières **ETBE** de blé et betterave est voisin de 1 contre un rendement de la filière MTBE de 0,76.
- Enfin, la filière **EMHV** présente un fort rendement énergétique proche de 3, à comparer avec le rendement du gazole de 0,9.

Cette etude est tres incomplete et ne couvre qu'un domaine restreint. Elle arrive a des resultats aberrants, disant que l'essence et gazole ont un bilan negatif alors que le biocarburant a un bilan positif, cela vient a dire que les petroliers devraient etre en faillite et que les biocarburants n'ont pas besoin de detaxations et de subventions! C'est le monde a l'envers. Le bilan doit etre fait du puits a la roue (well to wheel)

#### -Production mondiale de biocarburants

Les biocarburants qui sont comptes dans la production tous liquides (oil demand) ne font que 0,7 Mb/d en 2005, soit moins de 1%. Le biodiesel fait moins d'un dixieme du bioethanol!

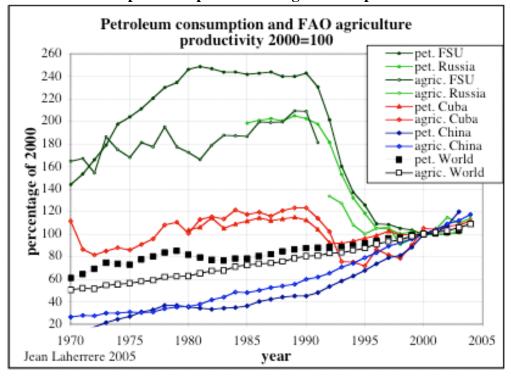
Figure 64: Production mondiale de biocarburants 1980-2005



Th. Breton 22 mai 2006: Mon objectif est simple: je veux que d'ici la fin de la décennie, le marché offre des voitures qui puissent rouler indifféremment avec du pétrole ou avec un biocarburant presque pur. Mais plus encore que le consommateur, c'est la France que nous devons préparer à l'après pétrole.

La productivite de l'agriculture varie avec la consommation de petrole (tracteurs, engrais et pesticide). L'agriculture transforme le petrole en nourrriture!

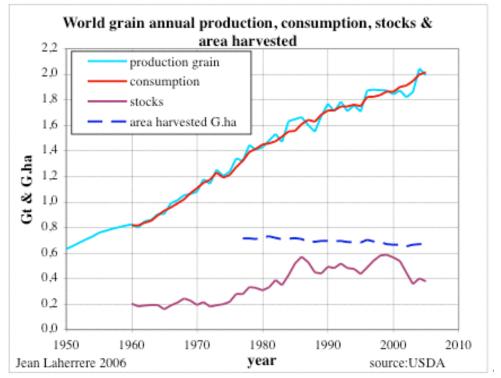
Figure 65: Consommation de pétrole et productivité agricole d'après FAO 1970-2004



# Quand le prix du pétrole augmente, il faut augmenter le prix des produits agricoles, c'est aux consommateurs de payer et non aux contribuables.

Depuis 1985 la production mondiale de grain croit moindre que la consommation et la population, la surface des cereales diminue et les stocks baissent. Canada's National Union of Farmers: "les stocks mondiaux de grain sont au niveau le plus bas depuis 30 ans".

Figure 66: production mondiale de grain, consommation et stocks 1950-2005



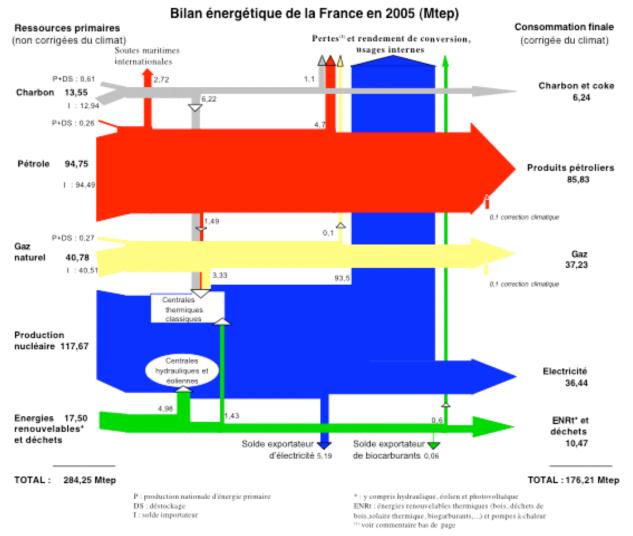
L'agriculture ne peut, dans le futur, nourrir le monde et remplir les reservoirs des voitures!

#### -Energie primaire

Le flux energetique en France montre pour 2005 que de l'energie primaire (284 Mtrep) se reduit en passant a l'energie finale (176 Mtep) les pertes (fleches vers le haut) sont tres importantes par suite des rendements de conversion. Les equivalences energetiques (la chaleur est un but mais aussi une nuisance) pour ramener aun bilan energtique depend des conventions pour l'electricite. Un MWh peut varier de 0,086 tep (centrale thermique) a 0,86 tep (geothermie) en passant pas 0,2606 tep (nucleaire)! En 2001 l'Observatoire de l'Energie a change ses conventions pour se ramener aux conventions de l'AIE et le pourcentage du petrole en energie finale est passe de 39,8 % a 51,3 % (notez le nombre de chiffres significatifs!) et le renouvelable de 4,6 % a 6,1 %

Le flux; d'energie entre energie primaire et energie finale montre que les pertes (fleches vers le haut sont importantes)

Figure 67: flux d'energie en France en 2005 de primaire 284 Mtep a finale 176 Mtep



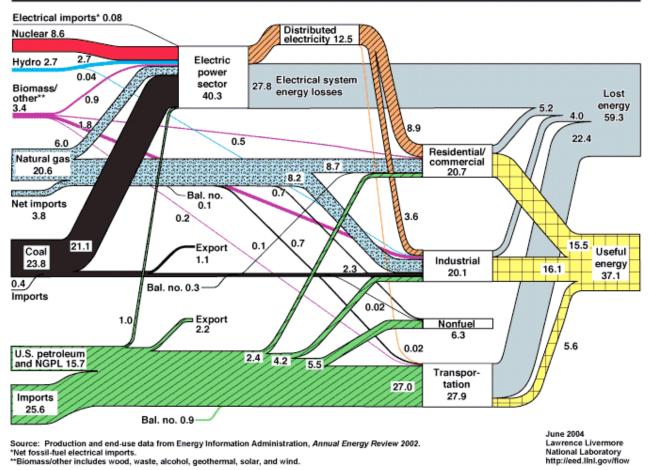
il est écrit: Pertes 1: "l'importance des pertes dans le domaine de l'énergie tient largement au mode de calcul adopté depuis 2002 par l'Observatoire de l'Energie: l'électricité d'origine nucléaire est comptabilisée, au niveau de la production, en termes de chaleur, dont les deux tiers sont perdus lors de la conversion en énergie électrique"

Pour les US les pertes sont encore plus grandes notamment pour le petrole dans le transport avec 27,9 a l'entrée et seulement 5,6 utilise)

Figure 68: Flux d'energie aux US en 2002: 61% de l'energie est perdu!

# U.S. Energy Flow Trends – 2002 Net Primary Resource Consumption ~103 Exajoules

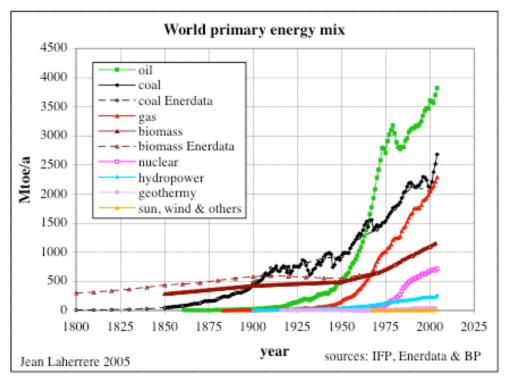




L'energie primaire mondiale a un historique difficle a obtenir car peu de sources et contradictoires avant 1950. L'energie non-commerciale est rarement comptee or elle est majoritaire dans certains pays. Le graphique suivant indique qu'a part la biomasse le monde n'avait pas d'autre energie avant 1850, mais un Grec de l'antiquité possédait en moyenne cinq esclaves, alors du'un ménage moderne avec un compteur électrique de 6 kW possède l'équivalent énergétique de 36 esclaves.

On comptabilise l'energie de la voiture pour se deplacer avec un moteur qui est exprime en chevalvapeur, mais si on y va a pied ou a cheval (son travail par heure est proche de 1 kWh), rien n'est comptabilise: mais la nourriture est de aussi de l'energie!

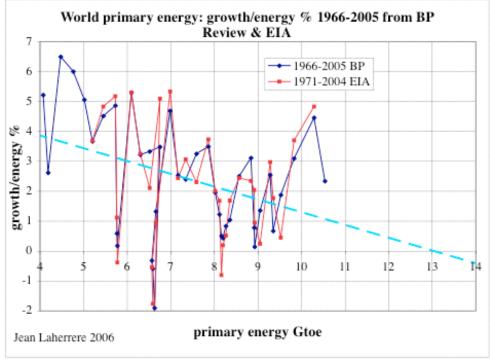
Figure 69: Energie primaire mondiale1850-2004



Le charbon dans les dernieres annees croit plus vite que l'huile ou le gaz

L'energie primaire mondiale tends vers une asympotote a 14 Gtep d'apres l'extrapolation de 1950 a 2002; les annees 2003-2004 seront-elles exceptionelles?

Figure 70: **Energie primaire mondiale 1966-2005**: extrapolation lineaire de la croissance en fonction de l'energie donnant un ultime possible d'environ 14 Gtep



Le modele tendant vers une asymptote a 14 Gtep se situe entre les 2 scenarios DGEMP reference et facteur 4. En definitive le scenario facteur 4 qui semble utopique a certains nous sera peut-etre impose par la Nature

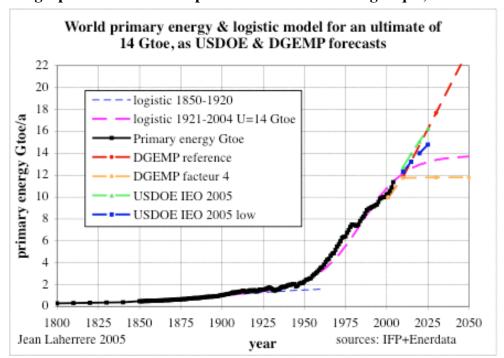


Figure 71: Energie primaire mondiale: previsions d'un modele logistique, USDoE & DGEMP

Le scenario DGEMP facteur 4, qui semble utopique, pourrait bien etre impose par la Nature

Le rapport 2003 du Conseil Mondial de l'Energie montrait les 2 possibilites en insistant sur le fait que la concavite a change de puis le choc petrolier

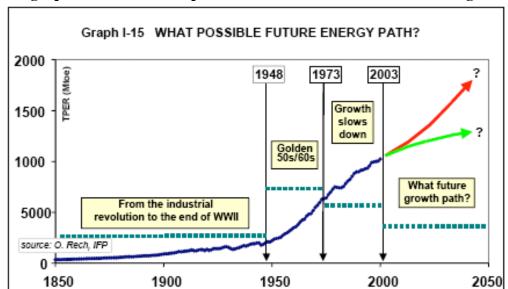


Figure 72: Energie primaire mondiale: previsions du Conseil Mondial de l'Energie 2003

Il est evident que pour satisfaire les besoins de l'humanite qui dans sa majorite manque d'energie alors qu'une minorite ma gaspille, il vaudra faire appel a toutes les energies sans aucun a priori ideologique. Toutes les energies sont dangereuses, notamment le gaz.

Mais il faut de mefier des grandes declarations et des voeux pieux. L'hydrogene a un lourd passe (premier moteur a combustion interne en 1805) et n'est qu'un vecteur comme l'electricite. L'hydrogene est handicappe par sa difficulte a etre stocke pour le transport (comme l'electricite). L'eolien et le PV

ne peuvent guere depasser 20% de la fourniture d'electricite, sinon ils ont besoin de centrales de complement (thermiques). Les biocarburants sont limtes par la production agricole qui plafonne et qui depends des hydrocarbures. **Il faut donc en premier lieu s'attaquer aux economies d'energie**. L'obesite est un fleau plus grand que la famine et 25% de la nourriture est jete en France (50 % e aux US). Pour cela il faudra un jour changer de mode de vie. Vivre localement et avoir d'autres buts que les vacances en Thailande.

Le rapport GIEC (groupement intergouvernemental sur l'étude du climat) 2001 est base sur 40 scenarios energetiques (SRES) qui sont des vœux pieux concus par IIASA qui ignore le passe et les realites industrielles. Les scenarios d'energie primaire du GIEC sont compares avec les scenarios DGEMP et les previsions techniques

Energie primaire mondiale avec previsions DGEMP 2005, scénarios GIEC 2001 & 2007 et modéle logistique 3000 71,3 - - A1G MESSAGE - - B1 MINICAM 2500 - - - B1 IMAGE DGEMP reference énergie primaire EJ 2000 modèle logistique DGEMP facteur 4 1500 passé 1000 500 0 -0.11975 2025 1950 2000 2050 2075 2100 Jean Laherrere 2005 année

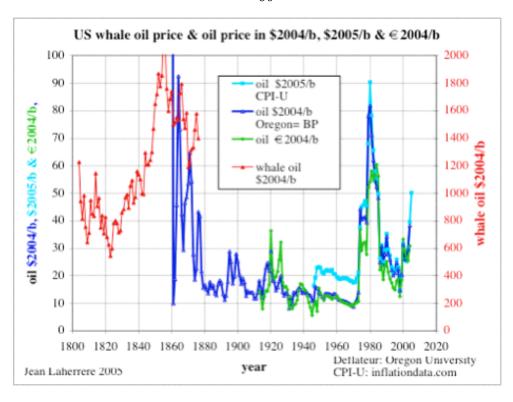
Figure 73: Energie primaire mondiale: 40 scenarios du GIEC 2001 & 2007 avec DGEMP

Prevoir en 2100 une energie primaire 6 fois celle de 2005 semble bien utopique en face des ressources et des reticences sur le nucleaire.

#### -Prix

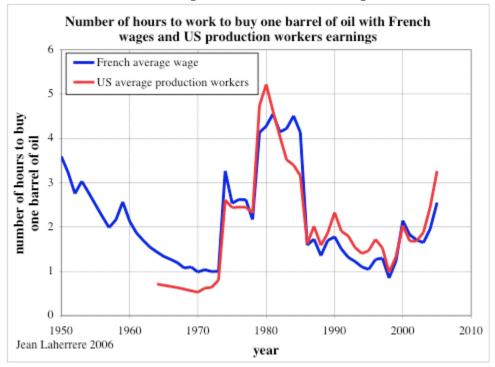
Le prix de l'huile de baleine en dollar d'aujoud'hui etait de 2000 \$/b en 1845, le prix du brut a 100 \$/b en 1860, 10 \$/b en 1970, 90 \$/b en 1980

Figure 74: prix de l'huile de baleine et du brut en dollar et euro 2004 1860-2004



Il est preferable de comparer le nombre d'heures qu'il faut travailler pour acheter un baril de petrole (sans taxe) en France et aux US. Il est surprenant de voir que c'est tres comparable entre Français et Americains, mais l'Americain peut s'acheter plus de barils car il travaille 2000 heures alors que le Français travaille moins de 1600 heures

Figure 75: Nombre d'heures de travail pour acheter un baril de petrole 1950-2005



#### -Cas de la France

-Prix du gazole (diesel) et de l'essence

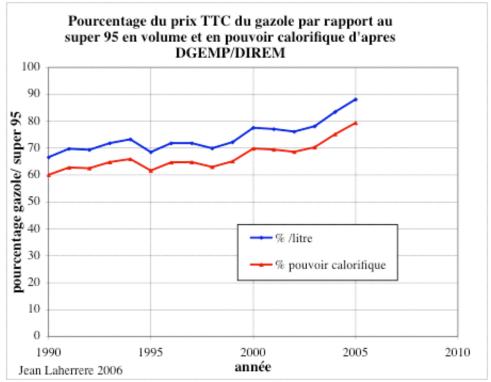
Le gazole est plus de 10% plus calorifique que l'Euro-super

	Pouvoir calorifique MJ/l	defiscalisation €/l
Euro-super	32,4	
Ethanol	21,3	0,33
ETBE	26,9	0,33
MTBE	26,3	
<b>EMHV</b>	33	0,25
Gazole	36	

Les enjeux des biocarburants en France. DGEMP- DIREM/DIDEME.

Le gazole est vendu au litre 10% moins cher que l'essence, alors qu'il devrait etre vendu 20% plus cher pour egaler le pouvoir calorifique obtenu dans les raffineries françaises qui sont obliges d'exporter a bas prix l'essence excedentaire et d'importer du gazole.

Figure 76: Pourcentage du prix du gazole par rapport au super 95 en volume et pouvoir calorifique



Mais on vient de loin, en 1990 le gazole etait 40% moins cher, les routiers ayant un grand pouvoir de nuisance pour empecher que l'egalite des taxes regne!

Ce n'est pas le cas en Suisse ou le gazole est vendu plus cher que l'essence! On peut esperer que l'egalite sera realisee avant 2010

Le prix de l'essence en euro 2005 est aujoud'hui inferieur au prix de 1985, mais celui du gazole est equivalent. Le bulletin *Reperes* de l'**Observatoire de l'Energie** (DGEMP) donne de tres nombreux graphiques qui sont tres instructifs.

Figure 77: Prix du litre des carburants a la pompe 1970-2005 en €2005 DGEMP

# Prix au litre des carburants à la pompe

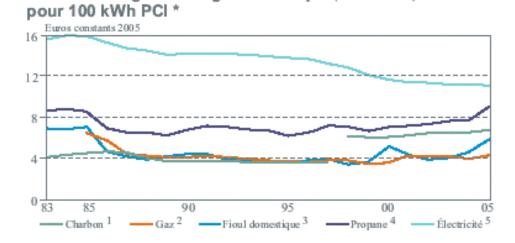


Sources : Observatoire de l'Énergie, DIREM.

#### -prix de l'energie

Le prix de l'energie en France a usage domestique montre qu'en 2005 l'electricite (bleu pale) est a 11 (€/100 kWh), le charbon a 7, le fioul a 6 et le gaz a 4, mais l'electricite baisse en euro constant alors que les autres energies augmentent

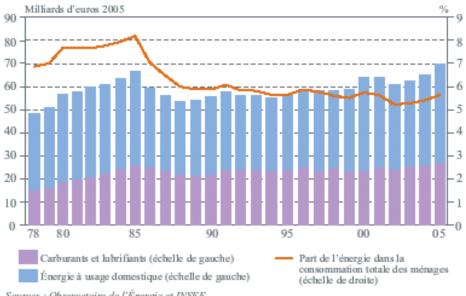
Figure 78: France: Prix des energies a usage domestique pour 100 kWh *DGEMP*Prix des énergies à usage domestique (TVA incluse)



Le pourcentage de l'energie dans la consommation des menages ne represente que moins de 6% en 2005 alors qu'il etait de 8% en 1985

Figure 79: France: Consommation d'energie en euros et part des menages en % DGEMP

# Consommation d'énergie et part dans la consommation totale des ménages

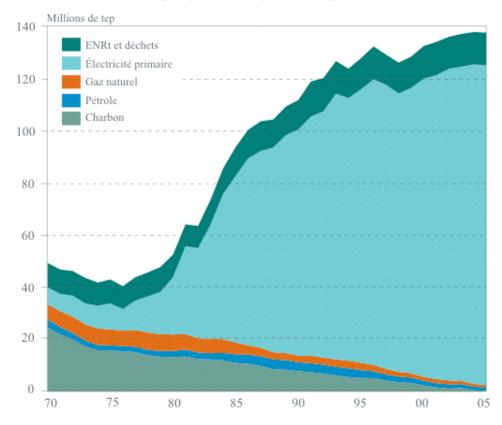


#### Sources : Observatoire de l'Énergie et INSEE.

#### -production d'energie

La production d'energie primaire a fortement augmente depuis le choc petrolier grace a l'electricite Figure 80: France: production d'energie primaire par energie DGEMP

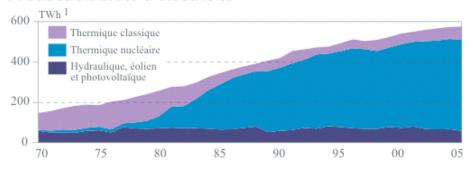
# Production d'énergie primaire par énergie



Cette electricite est principalement d'origine nucleaire

Figure 81: France: production d'electricite DGEMP

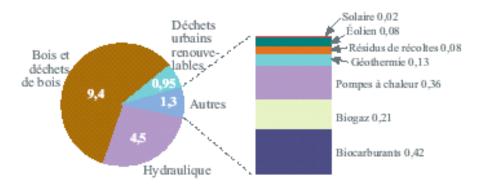
#### Production brute d'électricité



Les energies renouvelables en 2005 ne representent que 12.5 Mtep sur une consommation d'energie primaire de 276,5 Mtep soit 4,5 %.et la production de ces energies est surtout constitue du bois qui represente deux fois plus que l'hydraulique, le solaire et l'eolien etant insignifiants!

Figure 82: France: production d'energies renouvelables DGEMP

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



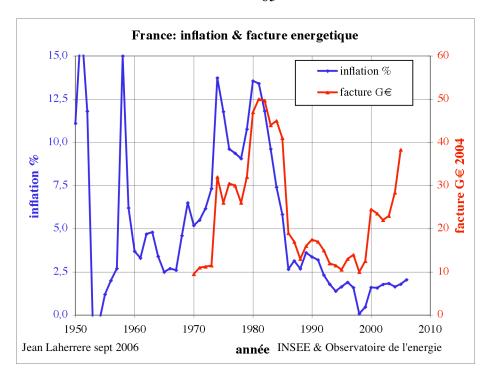
# -Facture energetique et inflation

La facture energetique de la France est de 38 G€ pour 2005 soit 2,3% du PIB (5% en 1981), de l'ordre des depenses de telephone +Internet des Francais et de l'interet seul de la dette publique. On peut se passer de telephone mais pas d'energie!

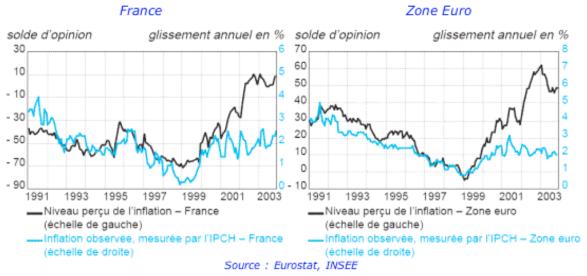
Aux US l'inflation dit de base est hors energie et alimentation comme si le consommateur americain pouvait vivre sans energie et nourriture!

En France l'inflation suit le prix de la facture energetique jusqu'en 1999.

Figure 83: France: inflation et facture energetique

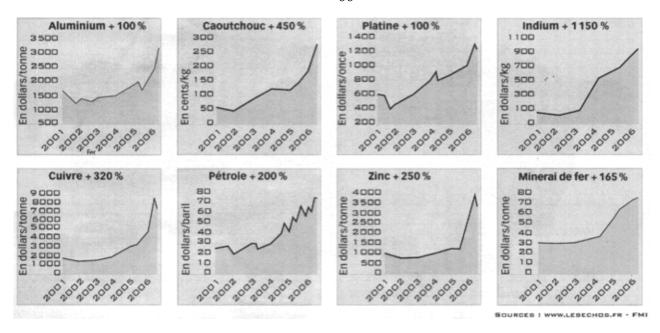


Mais depuis 2000 l'inflation tarde a suivre la facture energetique. Il s'avere que l'inflation officielle est en retard sur l'inflation percue par le consommateur depuis 2000. L'inflation *reelle* suivrait donc mieux la facture energetique qui est passe de 10 a 40 G€ en 6 ans. L'augmentation de l'inflation est attribuee au passage de l'euro alors qu'elle est due a l'augmentation du petrole depuis le creux de 1999. Figure 84: France et Zone Euro: inflation declaree et inflation percue (site inflation.free.fr)



L'inflation officielle doit se baser sur un panier avec des produits chinois qui baissent! En faut l'augmentation des prix n'est pas due qu'a l'augmentation du petrole mais aussi des autres matieres premieres. Le caoutchouc a augmente de +450% depuis 2001, le cuivre de +320 %! Figure 85: Monde: augmentation du prix des matieres premieres 2001-2006 (Science et Vie sept.2006)

66

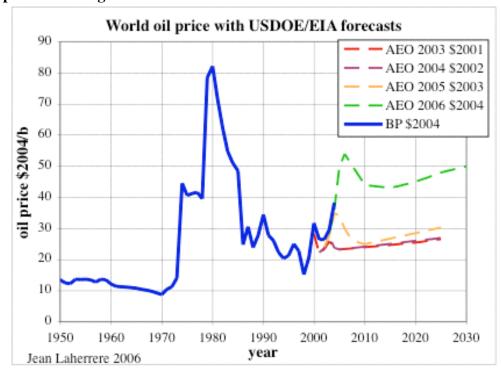


## -Previsions de prix

Toutes les previsions du prix de brut de l'USDOE ont ete fausses depuis 1980. Les previsions 2003, 2004, 2005 etaient a moins de 30\$/b en 2025, celle de 2006 est de 50 \$/b en 2030!

Le grand changement est que la nouvelle cible de l'OPEP est passe de 25 \$/b a 50 \$/b, mais l'OPEP a perdu son pouvoir d'influencer les prix n'ayant plus vraiment de capacite excedentaire. Mais ils peuvent reduire en esperant que la reduction en volume sera plus que compense par l'augmentation du prix. Ils viennent de decider de reduire leur production sans trop faire baisser les prix mais cela prend du temps car chacun attend que le voisin reduise le premier.

Figure 86: previsions long-terme USDOE AEO 2003-2006



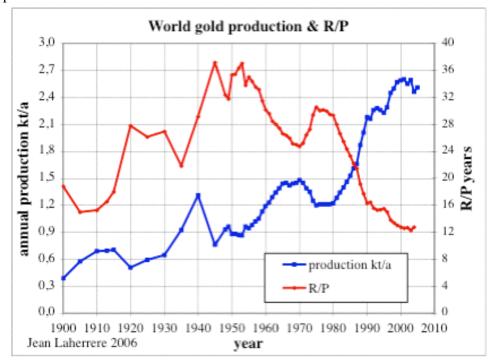
Les previsions officelles supposent que l'OPEC augmentera ses productions et que les prix baisseront, c'est admettre que l'OPEC ferait la stupidite de trop produire (donc d'investir) pour satisfaire l'Occident a leur desavantage: ils ne sont pas si betes! La principale preoccupation de l'OPEC (surtout l'Arabie Saoudite) etait que l'augmentation du prix ne tue pas l'economie americaine ou ils avaient passe leurs argent. Ils ont abandonne leur cible de 25 \$/b seulement apres avoir vu que 50 \$/b ne freinait pas l'economie americaine. Leur cible est maintenant 60 \$/b.

Seule un depression mondiale les feront changer. Les precvisions AIE et USDOE pour le prix du brut ne sont envisables que s'il y a une crise economique majeure.

#### -Pic de production de l'or

L'or est extrait depuis plus de 4000 ans mais il semble que le pic de production (Watson 2006) ait ete atteint en 2000, avec une production cumulee pas loin de la moitie de l'ultime (estimation USGS d'un ultime de 240 000 t avec deja produit 150 000 t). La production decline alors que le prix de l'or est le plus haut depuis 20 ans!

Figure 87: production mondiale d'or 1900-2005



La societe de consommation a vraiment atteint les limites de la planete!

#### -Solutions?

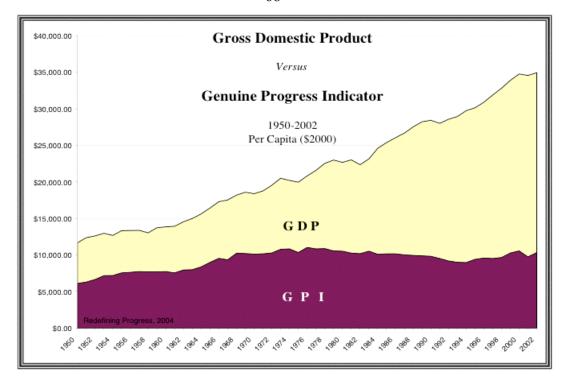
#### -PIB (consommation) et bonheur

Le PIB represente les depenses manipulees (facteur hedonique) et non la richesse d'un pays. Plus il y a de catastrophes, de sida, d'accidents, de guerres, plus le PIB augmente.

L'intensite energetique en tep/\$ PIB a peu de valeur car le PIB est manipule (facteur hedonique).

Il y a de nombreux indicateurs de bonheur ou de progres. Aux US l'indicateur authentique de progres (GPI) a eu son pic en 1977

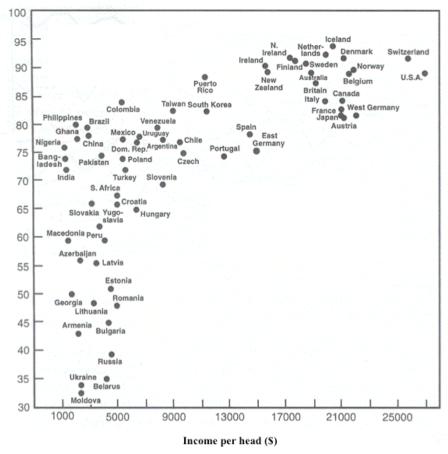
Figure 88: US: PIB et Genuine Progress Indicator d'apres Redefining Progress 1960-2002



La correlation entre PIB et bonheur ne se voit pas sur le graphique suivant Figure 89: **revenu et bonheur** d'apres Inglehart & Klingermann 2000

#### Income and happiness

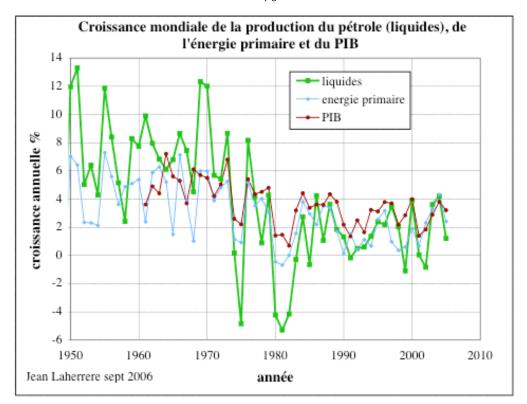




Source: Inglehart and Klingemann (2000), Figure 7.2 and Table 7.1. Latest year (all in 1990s).

# -Economie d'energie

La croissance du PIB (depenses et non richesses d'un pays) correle assez bien avec la croissance de la production de petrole et d'energie primaire. Que va faire le PIB apres le pic du petrole? Figure 90: monde: croissance de la production de petrole, de l'energie primaire et du PIB



Le **cout de l'energie** sur les 40 dernieres annees a ete de l'ordre de **5% du PIB** mondial (<6ù d'un menage en France en 2005) alors que les experts (Kummel, Ayres) estiment que la **contribution de l'energie** dans le PIB est de **50%** 

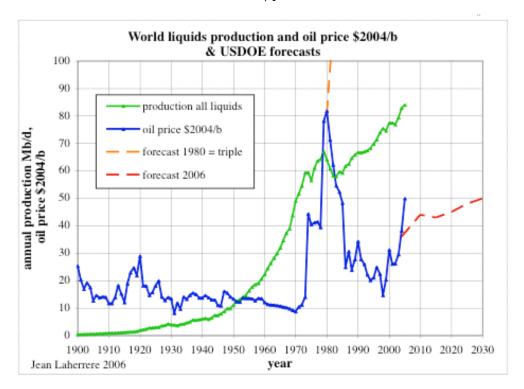
#### L'energie est largement sousevaluee.

Le petrole hors taxe est moins cher que l'eau minerale! Si on ne peut augmenter le prix de l'energie il faut augmenter les taxes sur l'energie et diminuer la TVA sur les autres produits! Mais cela ne peut se faire qu'au niveau europeen, c'est a dire quasi impossible.

#### -Baisse de la demande devant les prix ou la perception de prix futurs

L'analyse du passe montre que la demande mondiale de petrole a flechi en 1980, non pas parce que les prix etaient hauts mais parce que tout le monde sans exception etait convaincu que les prix allaient tripler dans la decennie. La demande a baisse grace aux economies d'energie (voiture compacte aux US, energie nucleaire en France), mais les previsions ont ete completement balayes apres le contrechoc de 1986, il y a eu le creux de 1999 avec 10 \$/b par suite d'une mauvaise interpretation des missing barrils de l'AIE. Le previsions de l'USDOE 2006 sont de 50 \$2004/b en 2030, pourquoi alors faire des economies aujourd'hui a 60 \$/b, si le prix va baisser a long-terme?

Figure 91: Production = consommation mondiale de liquides et prix du brut en \$2004/b



Bien sur, le prix eleve va faire baisser la croissance de la consommation. Mais le consommateur ne fera vraiment des economies importantes que quand il decidera que le mode de vie doit etre change. Pour cela il faudra, soit des pannes repetees d'electricite ou des rationnements de petrole et de gaz, soit que le consommateur sera convaincu comme en 1980 que le prix de l'energie va doubler ou tripler, ce qui le ramenerait a son prix veritable. Ce ne sont pas les protocoles ou les decrets qui vont le decider. Des prix chaotiques comme actuellement est le pire scenario.

Il faut donc un choc ou une information quasi-unanime qu'il va y avoir penurie de l'offre du petrole et du gaz, ce qui n'est pas le cas, puisque que les dirigeants nient le declin.

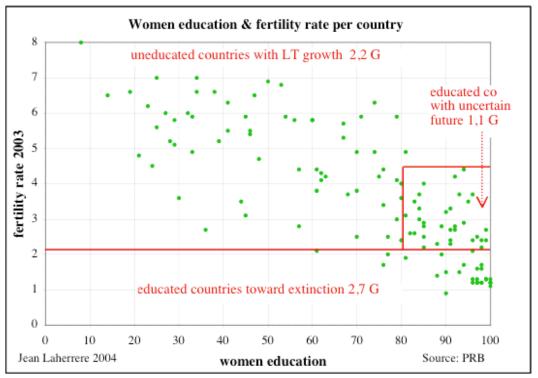
Une crise economique qui ferait baisser le demande peut fausser le message de la limitation des ressources, et conduirait a un situation chaotique et un plateau ondule de production d'huile ou chacun (pessimiste et optimiste) chanterait victoire pour etre dementi peu apres.

#### -Prevision sur la population

L'energie doit etrre etudiee en terme de consommation par habitant et il faut donc inclure les etudes sur la population.

Toute prevision sur la population est basee sur le taux de fecondite. Ce taux en 2003 montre une relation evidente avec le taux d'education des femmes (pourcentage de filles de 15 ans a l'ecole) Pres de la moitie de la population mondiale a un taux de fecondite inferieur a 2,1 enfant par femme (taux de remplacement) se trouvant dans les pays eduques. Un millard se trouve dans des pays eduques un peu en dessus du taux de remplacement et deux milliards sont tres au dessus du taux de remplacement etant nettemet peu eduques. On peut donc predire que les pays ou les femmes sont eduques vont vers l'extinction.

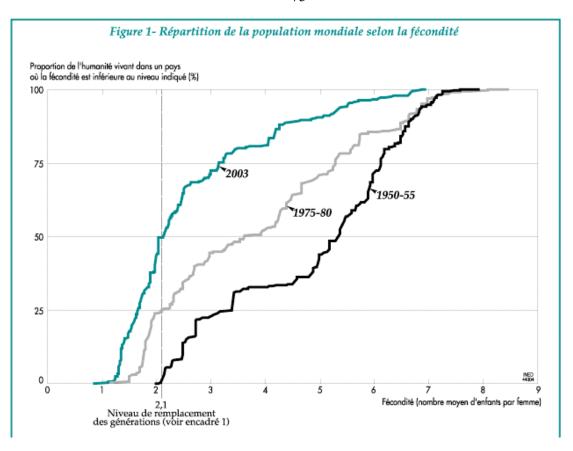
Figure 92: relation entre taux de fecondite et education des femmes en 2003



**Il y a deux mondes:** -pays < 2 enfant/femme allant vers l'extinction -pays > 5 enfant/femme avec une croissance a long-terme

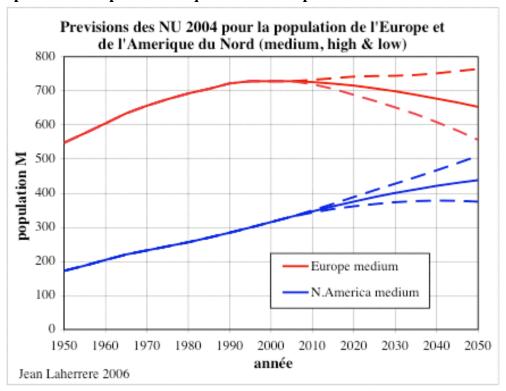
Le graphique de l'INED 2004 (P&S 405) montre l'evolution tres rapide du pourcentage de la population mondiale en fonction du taux de fecondite. La moitie du monde en 2000 est sous le taux de remplacement, alors qu'il n'y en avait que 25% en 1975 et presque zero (exception Luxembourg, Autriche, Estonie et Lettonie) en 1950!

Figure 93: Evolution 1950-1975-2003 du pourcentage de la population mondiale (axe Y) en fonction du taux de fecondite (axe X) d'apres l'INED



Dans les 50 prochaines annees l'Europe va perdre 100 millions d'habitants et l'Amerique du Nord va gagner 100 millions ; ceux sont deux mondes a futur oppose

Figure 94: Population Europe & Amerique du Nord d'apres les NU 2004



Il est difficile de concilier les politiques de l'Europe et de l'Amerique du Nord avec des futurs demographiques aussi divergents.

Ou veut-on aller et ou peut-on aller?

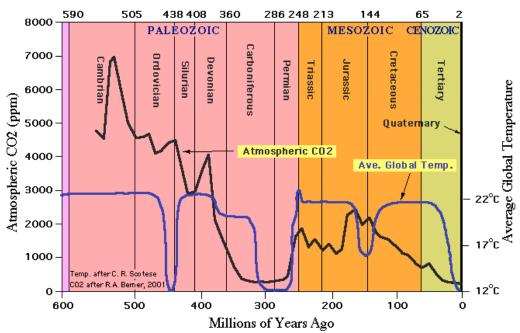
Les problemes demographiques sont aussi preoccupants que les problemes de ressources !

#### -Rechauffement climatique

Oui, il y a actuellement rechauffement climatique depuis 1890, fin du petit age glaciaire qui a sevi depuis 1350 apres une periode medievale chaude.

Le climat a toujours change depuis la creation de la terre et les couches geologiques (strates) en sont la preuve. La temperature et le CO2 ont ete la majorite du temps superieurs aux valeurs actuelles. Sur les 600 millions d'annees un climat chaud a regne 80% du temps, mais sur le dernier million seulement 30%.

Figure 95: **temperature de la Terre pour les derniers 600 Ma** d'apres Gerhard 2004 Global Temperature and Atmospheric CO2 over Geologic Time

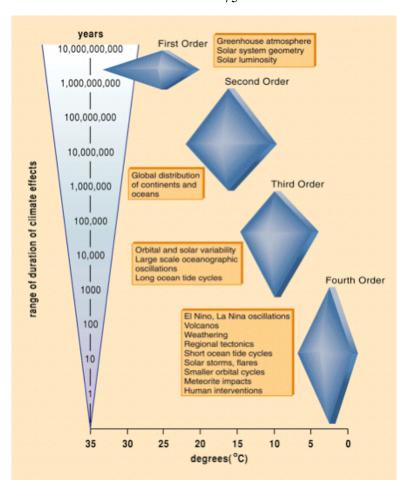


**Late Carboniferous** to **Early Permian** time (315 mya -- 270 mya) is the only time period in the last 600 million years when **both** atmospheric **CO2** and **temperatures** were as low as they are today (**Quaternary Period**).

La geologie est plus importante que le CO2 car il y a glaciation actuellement (et il y a 300 Ma et 450 Ma) quand avec la derive des continents il y a presence de continents aux poles ou autour. Au Cretace il y a 100 Ma, il n'y avait pas de glace aux poles. Mais les conditions de 300 Ma etaient identiques a l'actuel et la planete a evolue avec augmentation de temperature et de CO2 sans que cela puisse etre considere comme catastrophique pour la flore et la faune.

Gerhard (2006 <u>www.kansasenergy.org</u>) estime que les activite humaines ne sont que du 4<sup>e</sup> ordre dans le changement climatique

Figure 96: ordres des causes des variations de temperature Gerhard 2006

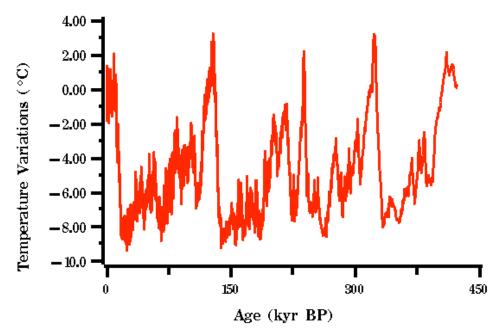


Milankovitch avait vu en 1924 que le climat change suivant les cycles astronomiques de la Terre autour du Soleil, qui sont environ 20 000, 40 000 and 100 000 ans. La mesure dans les carottes de Vostok dans l'Antarctique a montre que la temperature et le CO2 varient ensemble et que c'est la temperature qui mene la danse, le CO2 suit avec un retard de 800 ans ( $\approx$  cycle des oceans). Quand la temperature augmente; les oceans absorbent moins le CO2, qui augmente donc avec retard.

Figure 97: temperatures d'apres les glaces de Vostok depuis 420 000 ans

76

Historical Isotopic Temperature Record from the Vostok Ice Core



Variation with time of the Vostok isotope temperature record as a difference from the modern surface temperature value of  $-55.5~^{\circ}\mathrm{C}$ .

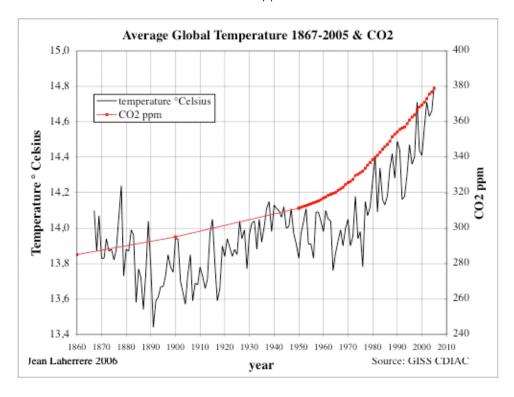
Source: Petit et al.

Nous sommes dans un stade de rechauffement global, mais nous sortons d'une periode froide qui est le **Petit Age Glaciaire** 1350-1850 qui a eu epidemies et guerres.

Mais en 1975 on parlait de refroidissement global car les temperatures ont baisse de 1945 a 1975, alors que le CO2 augmentait. Il y a mille ans a eu lieu la **Periode Chaude Medievale** (construction des cathedrales et Groenland vert), aussi chaude ou plus que maintenant. Le rapport GIEC nie cette periode medievale avec son graphique en crosse de hockey (a partir des cernes des arbres), de facon a faire du catastrophisme climatique. Cela amene des budgets de recherche!

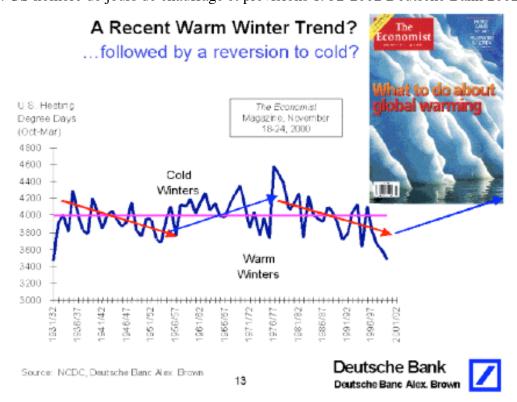
Figure 99: temperature & CO2 1867-2005

77



Les donnees des mesures aux US du nombre de jour ou il faut climatiser (cooling days) ou chauffer (heating days) montrent des cycles depuis 1930

Figure 100: US nombre de jours de chauffage et previsions 1932-2002 Deutsche Bank 2002



Les jours ou il faut refroidir (ou le contraire des jours ou il faut chauffer) ne correlent pas avec l'augmentation de CO2 sur la periode 1949-2005

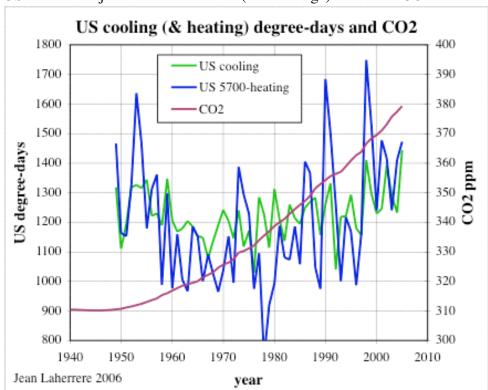
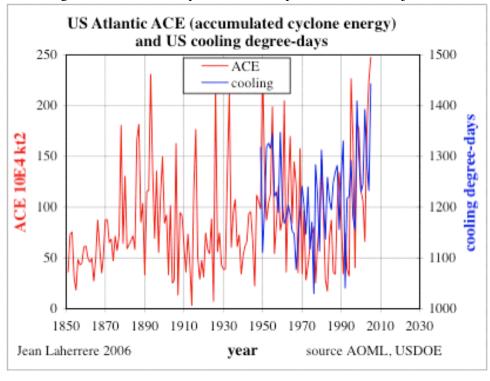


Figure 101: US nombre de jours de climatisation (& chauffage) et taux de CO2 1949-2005

De meme l'activite des tempetes dans l'Atlantique mesuree (vitesse du vent et duree) par un index ACE = energie accumulee des cyclones (1850-2005) correle bien avec les jours ou il faut refroidir aux US, mais pas avec le CO2.

L'energie des tempetes est cyclique aux US et le pic actuel est semblable a celui de 1890. Figure 102: US: energie accumulee des cyclones atlantiques et nombre de jours de climatisation



Les medias parlent du cyclone Katrina (1600 morts) comme la preuve d'une augmentation recente, mais en terme de mortalite dans l'Atlantique ce cyclone n'arrive qu'en 28 e position! Les cyclones les plus devastateurs dans l'Atlantique ont ete:

Annee	nom	nombre de morts
1780		22 000
1998	Mitch	11 000 -18 000
1900	Galveston	6 000 - 12 000
1974	Fifi	$8\ 000 - 10\ 000$
1930		2 000 - 8 000

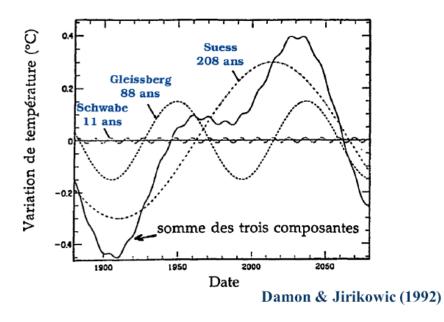
Les données montrent que le phenomeme cyclone est cyclique. Et au vue de ce graphique on comprend pourquoi en 2006 les cyclones ont ete tres discrets au contraire de 2005!

Le rechauffement actuel n'est pas que la montee du CO2 mais aussi l'activite solaire. Le Petit Age Glaciaire a coincide avec les taches solaires = minimum de Mander.

L'activite solaire a plusieurs cycles et la modelisation (Nesme-Ribes E., Thuillier G. 2000 "Histoire solaire et climatique" editions Belin-Pour la science) montre que le creux solaire explique le creux de temperature de 1940-1970. Depuis 1980 l'effet du soleil serait une augmentation de la température qui durerait jusqu'en 2030, suivie d'une diminution importante  $(? = 0.6^{\circ}\text{C})$  ensuite.

Figure 103: Effet du soleil sur le climat d'apres Nesme-Ribes & Thuillier 2000 : Histoire solaire et climatique

# Climate and Solar Cycles Possible Effect



On ne peut pas plus stabiliser le climat que d'empêcher les plaques tectoniques de bouger et de provoquer des tremblements de terre. Tout bouge, tout évolue. Nous allons vers une nouvelle glaciation!

Il est difficile de faire la part du naturel et de l'humain dans le rechauffement actuel et aucun scientifique serieux ne pense pouvoir prevoir ce qui va se passer dans 50 ans, car les modeles sont loin d'etre au point et la Nature peut se manifester d'une facon imprvue. Aurait-on predit en 1945, alors que le CO2 augmentait, que la temperature allait baisser pendant 30 ans (les Trente Glorieuses), ce qui est maintenant expliquee par certains par les aerosols. Le principal gaz effet de serre est la vapeur et non

le CO2. Les nuages bas refroidissent et les nuages hauts rechauffent. Qui peut prevoir les nuages (bas et haut) du futur?

Le CO2 est le mauvais ennemi, la sequestration ou la taxation n'est pas la solution.

Ce qu'il faut attaquer c'est le gaspillage de l'energie (nourriture compris) et c'est au consommateur de reagir et de changer de comportement, non seulement par des protocoles ou des taxes.

#### -Conclusions

Tout ce qui monte redescendra un jour. Ce qui descend peut remonter un jour.

Les reserves publiees petrolieres sont politiques ou financieres, tres loin de la realite. Les donnees techniques sont confidentielles.

Donner plus de 2 chiffres significatifs montre que l'auteur est incompetent.

Beaucoup de pays trichent sur les donnees, car publier des donnees est un acte politique et depend de l'image que l'auteur veut donner. Les termes ne sont pas definis de facon a faciliter l'ambiguite.

Les previsions officielles ne sont pas des previsions, mais des scenarios de souhaits pour satisfaire la croissance, qui est le moteur de la societe de consommation. Ces previsions ne tiennent pas compte des realites industrielles, physiques et geologiques.

Dans la societe de consommation ou la croissance est le gage du bonheur et de la reussite des politiciens et des patrons, le mot declin est un terme politiquement incorrect.

La croissance continue est impossible dans un monde fini.

Le court-terme est privilegie au detriment du long terme. notamment avec les nouveaux actionnaires (fonds de pension),

Il y a de nombreux mythes entretenus pour dissimuler le declin ineluctable, qui sont tous errones:

Il ne faut pas confondre reserves et ressources, ce que font la plupart des economistes.

Les economistes n'ont acces qu'aux donnees politiques raisonnent donc sur des chiffres faux et pensent que l'argent et la technologie peuvent resoudre tous les problemes.

La technologie ne peut changer la geologie des ressources. La technologie permet de produire moins cher et plus vite le petrole bon marche. Mais la technologie permet de transformer certaines ressources non-conventionnelle en reserves.

La production de petrole est poussee au maximum grace a la technologie (forages multidrain) pour satisfaire le court terme au detriment du long terme.

Aux US, les decouvertes de petrole ont eu leur pic en 1930 et la production en 1970. Dans le monde les decouvertes ont eu leur pic en 1960 et la production (brut moins extra-lourd) dans les annees a venir.

1 Tb (terabaril = mille milliards de barils) d'huile facile a ete produit, il en reste encore 1 Tb, plus 1 Tb d'huile difficile.

Le pic de l'huile (tous liquides) serait vers 2010-2020, mais plutot un **plateau ondulé** avec des prix chaotiques si crise economique, qui est probable. Si on double les reserves de petrole difficile, cela ne changera pas le pic, mais la pente du declin.

#### Ce n'est donc pas la fin du petrole mais bientot le debut du declin du petrole.

Le pic global de production de gaz arrivera apres celui de l'huile, mais localement (Amerique du Nord et Europe) la penurie de gaz se fera sentir bien avant la penurie d'huile.

L'inventaire des reserves de charbon est peu fiable (probleme d'energie nette) et a faire serieusement. Le pic arriverait vers 2050.

Le pic de production des combustibles fossiles arrivera vers 2030. Il est temps de prevoir les alternatives. Le nucleaire ne pourra remedier au declin des combustibles fossiles qu'avec les surgenerateurs qui arriveraient qu'en 2040! La generation IV ne doit pas tarder.

L'agriculture a atteint ses limites et ne pourra pas dans le futur nourrir les hommes et remplir les reservoirs des voitures. Le solaire et le vent sont intermittents et ne peuvent pretendre remplacer en totalite les combustibles fossiles.

L'extrapolation de l'energie primaire depuis le choc petrolier conduit a un ralentissement de la croissance allant vers une asymptote vers 15 Gtep, alors que les previsions de la DGEMP sont de 23 Gtep pour 2050 (10 Gtep actuellement).

Ce ralentissement n'est absolument pas envisage dans les scenarios energetiques qui sont la base des conclusion du GIEC 2001 sur le changement climatique. Ces memes scenarios irrealistes sont encore utilises pour le rapport 2007 qui arrivera donc aux memes conclusions erronees.

L'energie est sousevaluee, ne faisant que 5% du PIB, tout en contribuant a 50% dans ce PIB. Les indicateurs (PIB, inflation, reserves prouvees, R/P) sont manipules et en plus masquent le futur. Des prix plus eleves (realistes!) de l'energie est la seule solution pour faire des economies et pousser les energies renouvelables.

Le consomateur americain consomme deux fois plus d'energie que le consommateur europeen pour un niveau de vie comparable car l'energie est plus taxee en Europe. Les taxes ont donc du bon! La meilleure solution est d'economiser l'energie, pour ne pas laisser a nos petits enfants que des dettes et une terre epuisee et polluee.

Il faut changer de mode de vie avant que la Nature ne nous l'impose.

Saint-Exupery: "Nous n'heritons pas de la Terre de nos ancetres, nous l'empruntons a nos enfants"

Davantage de graphiques et de papiers sont sur le site www.oilcrisis.com/laherrere, ainsi que www.aspofrance.org (allez a documents)