Janvier 2006

Tout a un pic, ou plusieurs !
Avenir concave ou convexe ou en baisse?

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

Des textes plus longs (Strasbourg, Avignon) sont disponibles sur le site www.oilcrisis.com/laherrere

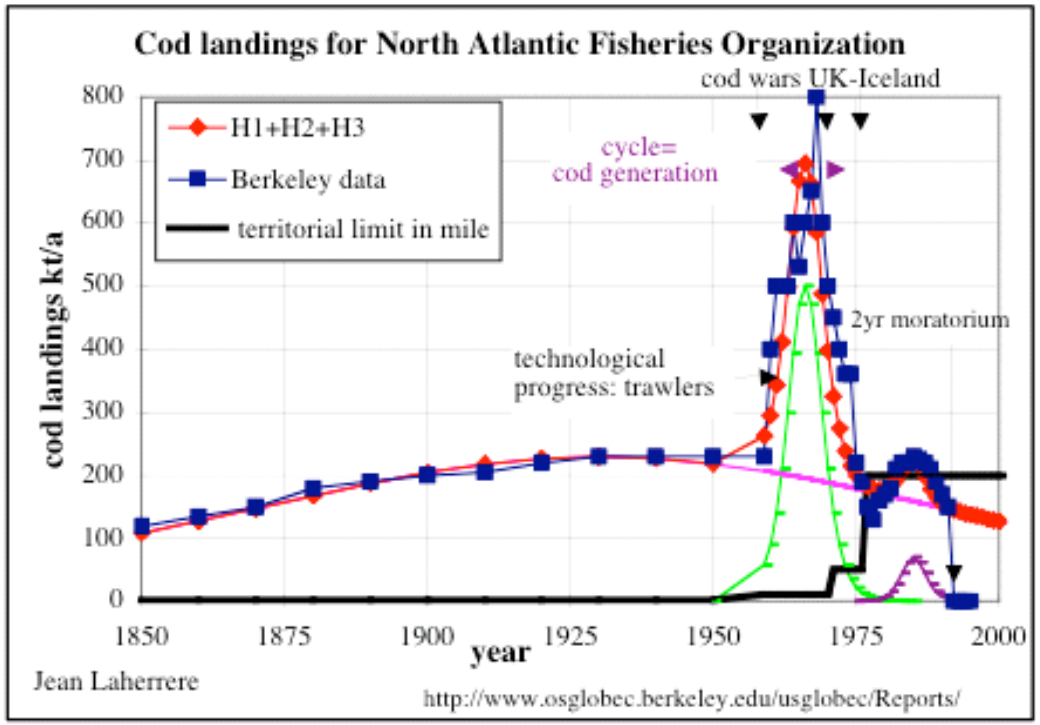
L'examen des perspectives énergétique à long terme demande non seulement d'étudier les ressources énergétiques, mais aussi les tendances démographiques, l'économie, la demande donc le comportement humain, les énergies de substitution donc les biocarburants donc l'agriculture, et les conséquences des changements climatiques.
Je vais donc couvrir un domaine large et varié en montrant de nombreux graphiques qui résument les données, une bonne partie confidentielles:
-pétrole
-gaz
-combustibles fossiles
-énergie primaire
-population
-économie
-agriculture
-climat
Mes atouts
-50 ans expérience pétrolière
-accès aux données techniques historiques et actualisées que n'ont pas l'AIE, USDOE, IFP
-traduction de toutes données en graphiques sur une longue période
-liberté de parole, car retraité et bénévole sans aucune ambition financière ou de carrière
Mes faiblesses
-vouloir trop montrer, ce qui noie l'essentiel
-manque de diplomatie

-**Faits de base de la Nature**

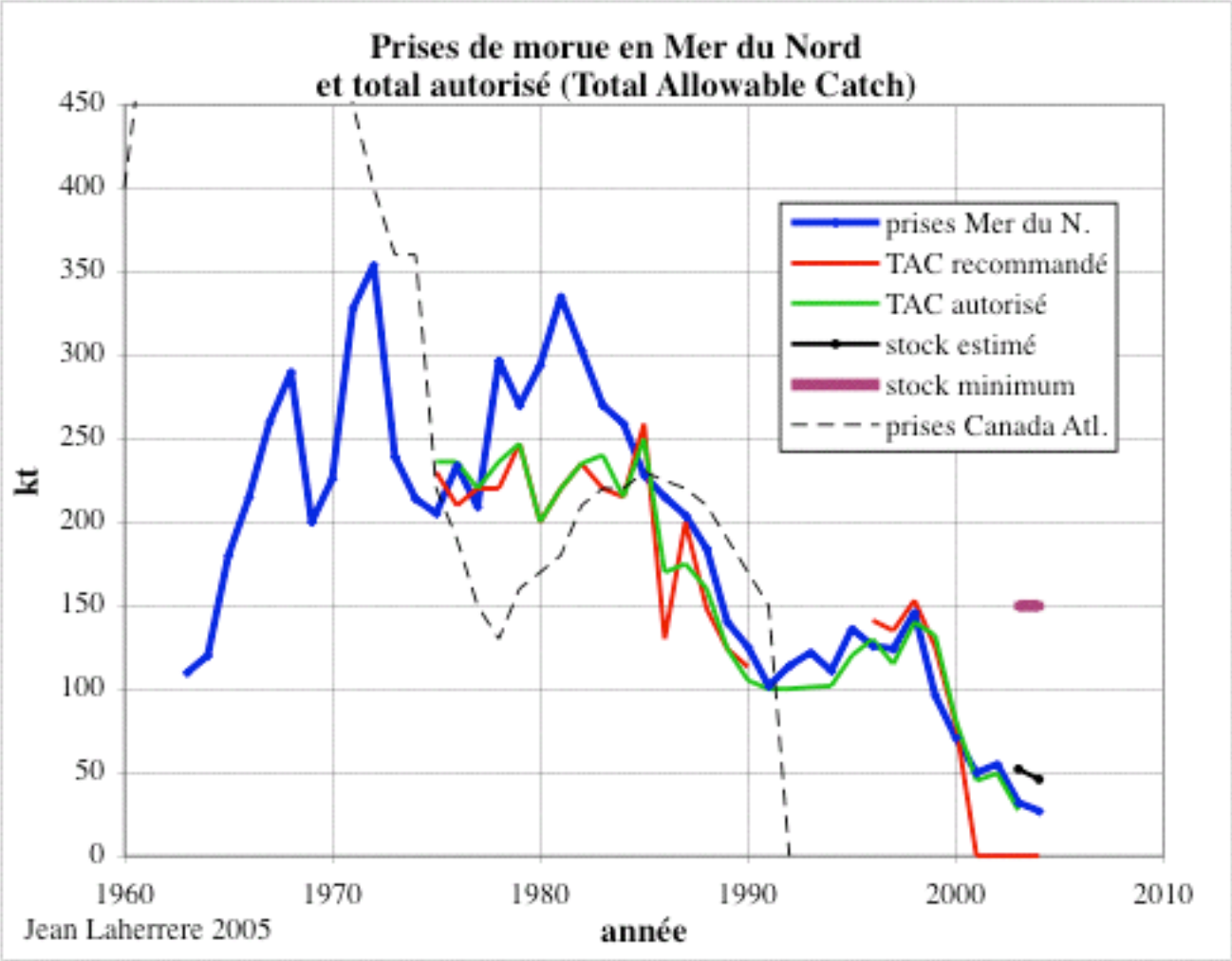
-une croissance constante n'a pas d'avenir dans un monde fini
-la croissance est le Père Noël des politiciens, qui sont jugés sur ce critère (comme les patrons!)
-tout ce qui monte redescend
-tout ce qui naît, grandit, culmine, décline et meurt: il n'y aura pas d'exception: Soleil, Terre, Homo Sapiens, civilisation
-tout phénomène naturel a donc un pic, ou plusieurs
-un cycle qui disparaît est remplacé par un nouveau cycle
-il est facile de modéliser un événement naturel avec une série de cycles
-mais il est difficile de prévoir le prochain cycle

La prise des morues en Nord Atlantique (Terre-Neuve) a permis la conquête de l'Amérique du Nord.
La technologie (chalutiers) et une mauvaise estimation des ressources ont tué la morue au Canada. Arrêt provisoire de la pêche avec moratoire de 2 ans en 1992, 40 000 pécheurs payés à attendre le retour du poisson, arrêt définitif en 2003.

Figure 1: **Prises de morue en Nord Atlantique 1850-2003**



L'expérience désastreuse du Canada n'a servi à rien ! On retrouve le même schéma avec 10 ans de décalage en Mer du Nord où la morue va aussi disparaître car on ne respecte pas le volume recommandé (zéro depuis 2001)! Le stock en 2004 est estimé à 46 000 t alors que le stock minimum est évalué à 150 000 t!
Satisfaire les pêcheurs à court terme aboutit à les sacrifier à long terme !
Figure 2: **Prises de morue en Mer du Nord 1963-2004**



Le TAC recommandé et autorisé semble varier de façon erratique! Nul ne domine le sujet !

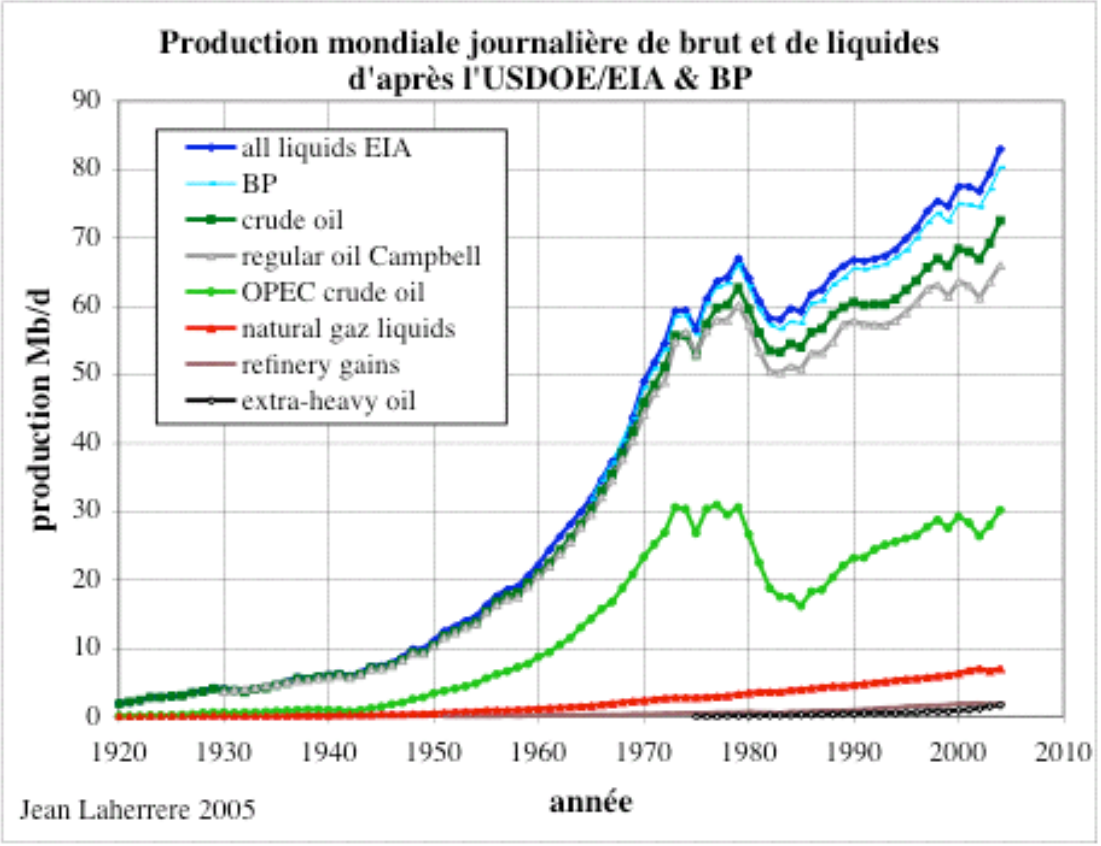
-**Définitions**

-les mots tels que: énergie, pétrole, réserves, ressources, conventionnel, raisonnable, durable, soutenable, juste, dangereux, significatif, sont **mal définis afin de permettre toutes les ambiguïtés**

En France il y a des ressources (dans le sous-sol) de charbon, mais il n'y a plus de réserves (production future) car il n'y a plus d'exploitation envisagée (projet écossais ?)!

-la production de pétrole peut être en 2004 soit 66 Mb/d (Campbell), soit 71 Mb/d (brut hors extra-lourd), soit 73 Mb/d (brut), soit 83 Mb/d (liquides), ou peut être en Mt/a

Figure 3: Production journalière de pétrole (brut ou liquides)



Il y a consensus pour ne pas avoir de consensus sur les définitions.

-**Politique et confidentialité**

Toutes les prévisions officielles: énergie (AIE, USDOE), population (NU), climat (GIEC)) sont basées sur des scénarios politiques (INED P&S 408) sans considération des réalités actuelles et du passé.

Le pétrole (le sous-sol) appartient à l'Etat dans tous les pays du monde, sauf aux US à terre où il appartient aux propriétaires du sol (62% privé, 31 % fédéral, 6% state, 0,2 % indien).

Les données de réserves par champs sont confidentielles (sauf RU, Norvège et US fédéral)

Publier des données est un acte politique et dépend de l'image que l'auteur veut donner.

Les membres de l'OPEP trichant sur les quotas donnent des informations erronées sur leurs productions. Seules les informations sur volumes transportés par les tankers fournis par une société d'espionnage sont fiables.

Une partie de la consommation de pétrole des forces militaires américaines disparaît des comptes mondiaux.

Les réserves sont prouvées aux US suivant les règles périmées de la SEC (Securities and Exchange Commission).

Les réserves sont grossièrement exagérées en ex-URSS avec la classification russe qui prend la récupération théorique maximale, tout à l'opposé des règles américaines. Divulguer les réserves de pétrole par champs est passible de 7 ans de prison!

Dans le reste du monde hors US et ex-URSS, les réserves sont **prouvées plus probables** (**2P**) suivant les règles SPE/WPC et sont proches de la valeur espérée

Dans les pays OPEP du Moyen-Orient, les réserves officielles dites «prouvées» déterminent les quotas. Elles ont augmenté de 300 Gb de 1985 à 1990, alors que les vraies découvertes n'ont été que de 10 Gb, en raison de la bagarre sur les quotas.

Les réserves publiées sont donc politiques.

Des compagnies d'espionnage (Petrologistics, IHS, Wood Mackenzie,) vendent très cher les données techniques mondiales

-**Mots politiquement incorrects**

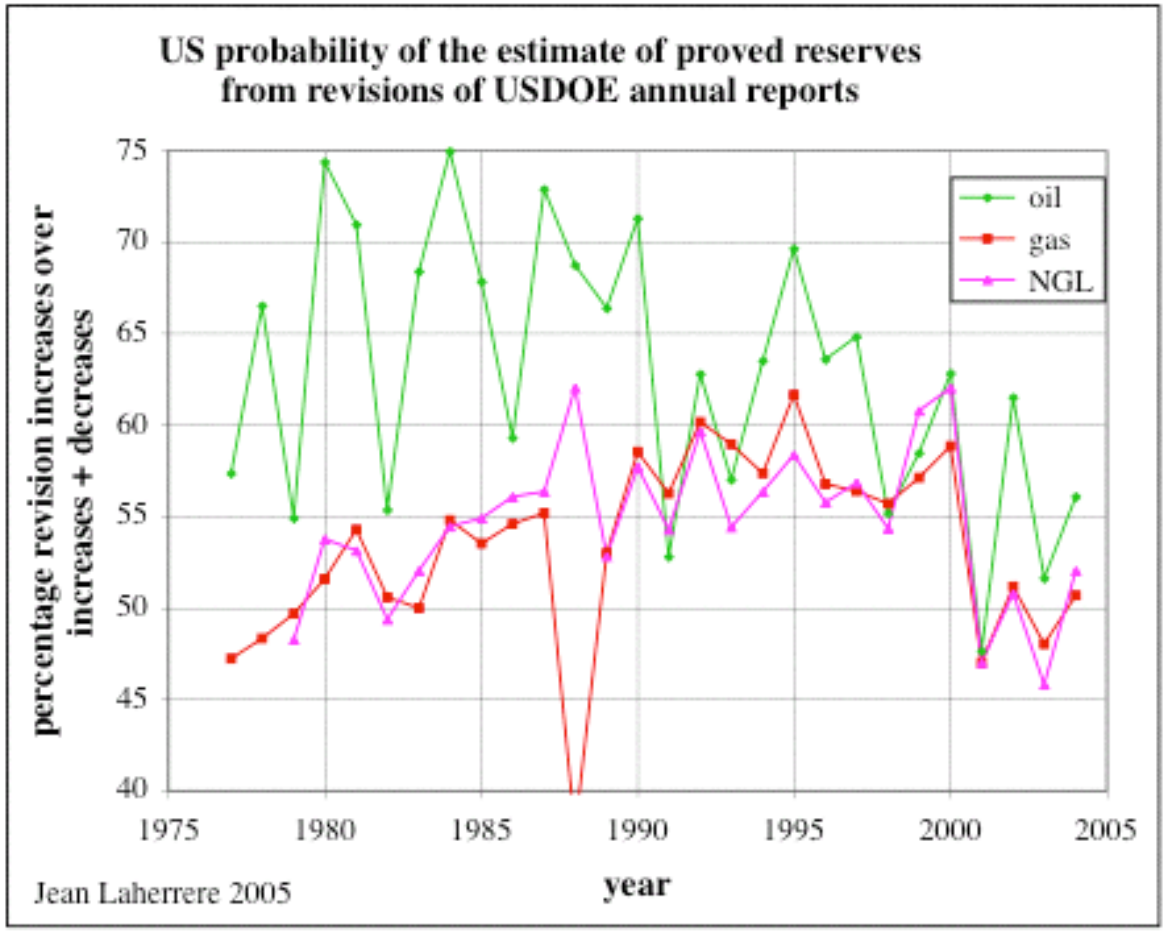
Dans notre société de consommation où tous les dirigeants sont jugés sur la croissance, les mots tels que **pic, déclin, pas de croissance, incertitude**, catastrophe prévisible, non-emploi volontaire sont politiquement incorrects.

Mais depuis le 1er septembre l'*après–pétrole* est devenu le terme à la mode introduit par de Villepin.

-**Réserves: L'incertitude est présentée comme une certitude**

Les réserves sont incertaines, mais la plupart des définitions, comme les règles de la SEC, parlent de "*certitude raisonnable*" d'existence des réserves et refusent l'approche probabiliste à cause de l'aversion au risque des banquiers et des actionnaires. Les réserves dites prouvées américaines (règles SEC) ont actuellement une probabilité de l'ordre de 50% (pétrole et gaz) et non 90% (règles SPE-WPC)

Figure 4:Probabilité des estimations des réserves dites prouvées aux US 1977-2004



Une enquête mondiale pour obtenir les réserves restantes à la fin de l'année auprès des gouvernements est publiée par Oil & Gas Journal OGJ avant la fin de l'année, c'est-à-dire avant que toute étude technique soit faite.
Fin 2004, 83 pays sur 105 n'ont pas changé leurs chiffres de réserves de pétrole par rapport à fin 2003, comme si leur production annuelle était exactement égale aux réserves ajoutées dans l'année. C'est une farce!
Mais ces données politiques sont officielles, les seules publiées, donc utilisées par les économistes comme représentant la vérité.
Toutefois les variations entre sources sont considérables pour le bilan mondial, avec des définitions différentes.
Scientifiquement on n'a pas le droit d'ajouter les réserves prouvées des champs ou des pays pour obtenir les réserves prouvées globales, le total est sous-évalué. Seules les réserves moyennes peuvent être ajoutées!

Les **réserves prouvées mondiales à fin 2004** sont données:

Organismes ou revues	pétrole Gb	gaz Tcf
BP Statistical Review	1 188,555 694 069 4	6 337,364 557 3
Oil & Gas Journal OGJ	1 277,701 992	6 040,208
World Oil WO	1 082,333 0	6 994,298 4
Cedigaz		6 358,575

Donner plus de 2 chiffres significatifs pour des données pétrolières (ou autres non-scientifiques) **montre l'incompétence des auteurs!**

Personne ne semble plus savoir ce qu'est un calcul d'erreur !

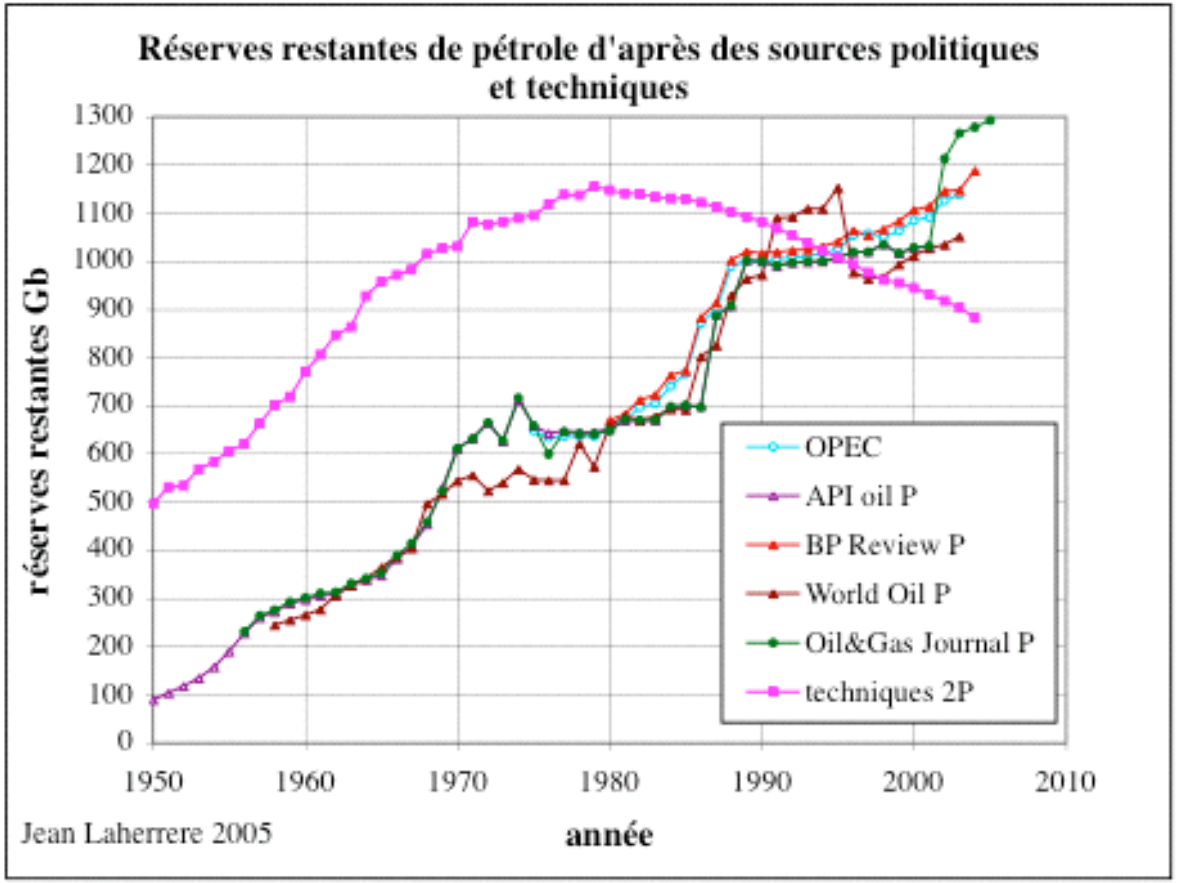
-Pétrole **-Réserves restantes**

J'ai accès à toutes les données par champ (>25 000). Je corrige ces données pour les ramener à la valeur moyenne (espérée ou 2P) à la date de découverte, et pour obtenir un ultime qui tient compte des sources différentes, soit 2000 Gb pour le brut hors extra-lourd, c'est ce que j'appelle les **données techniques**.

Les **réserves politiques** sont les réserves prouvées (P) courantes publiés par les gouvernements, donc non contestables par les organismes officiels. De 1985 à 1989 les membres de l'OPEP ont augmenté de 300 Gb!

OGJ continue à augmenter les réserves à fin 2005!

Figure 5: **Réserves restantes mondiales de pétrole conventionnel d'après des sources politiques et techniques**

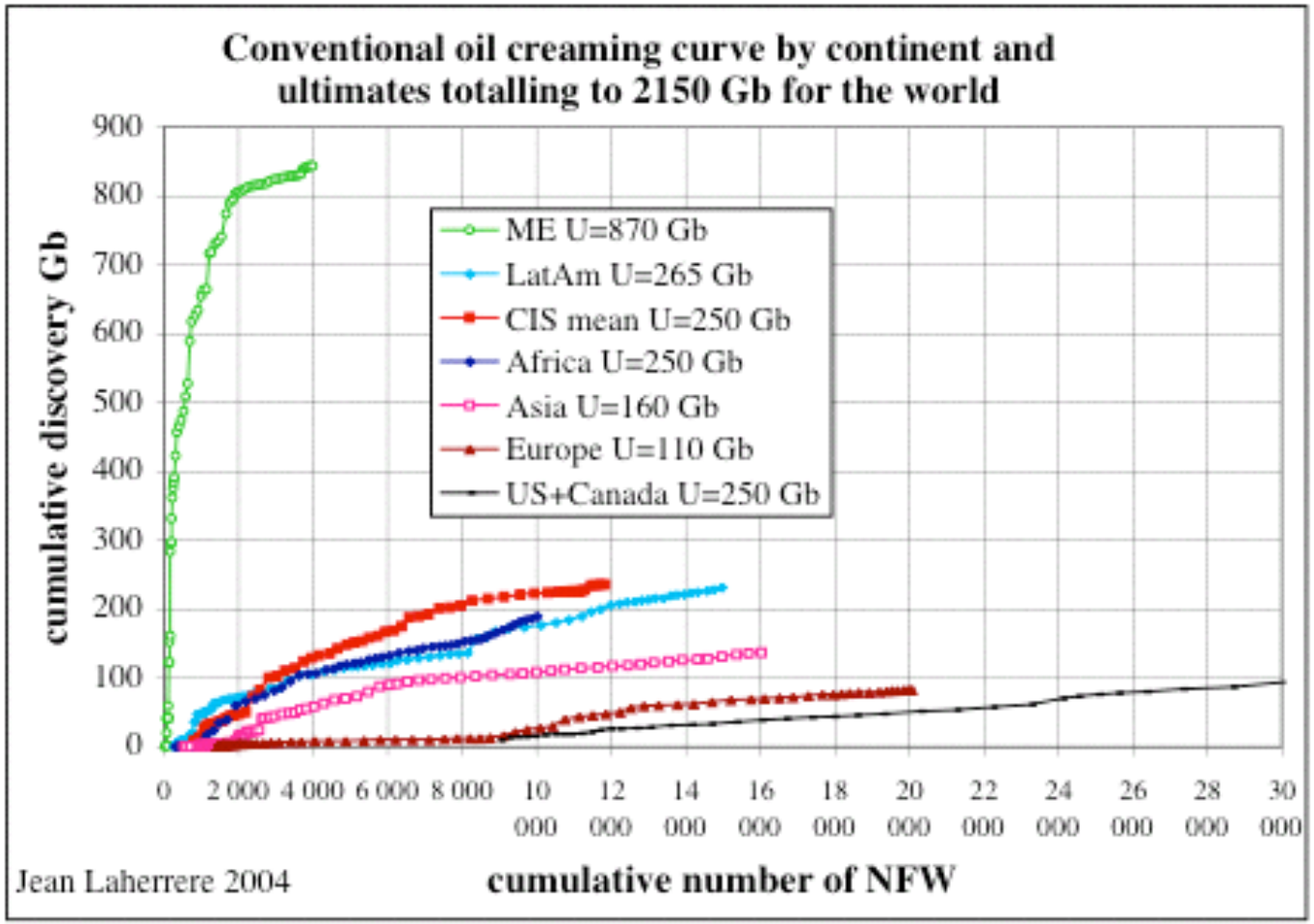


Les économistes n'ont que les données politiques: ils ne raisonnent pas faux, ils raisonnent sur des données fausses.

-**Estimation des réserves ultimes**

La courbe d'écrémage représente les découvertes techniques cumulées en fonction du nombre cumulé de puits d'exploration pure (New Field Wildcat= NFW). .

Figure 6: **Courbe d'écrémage du pétrole conventionnel par continent et ultimes**

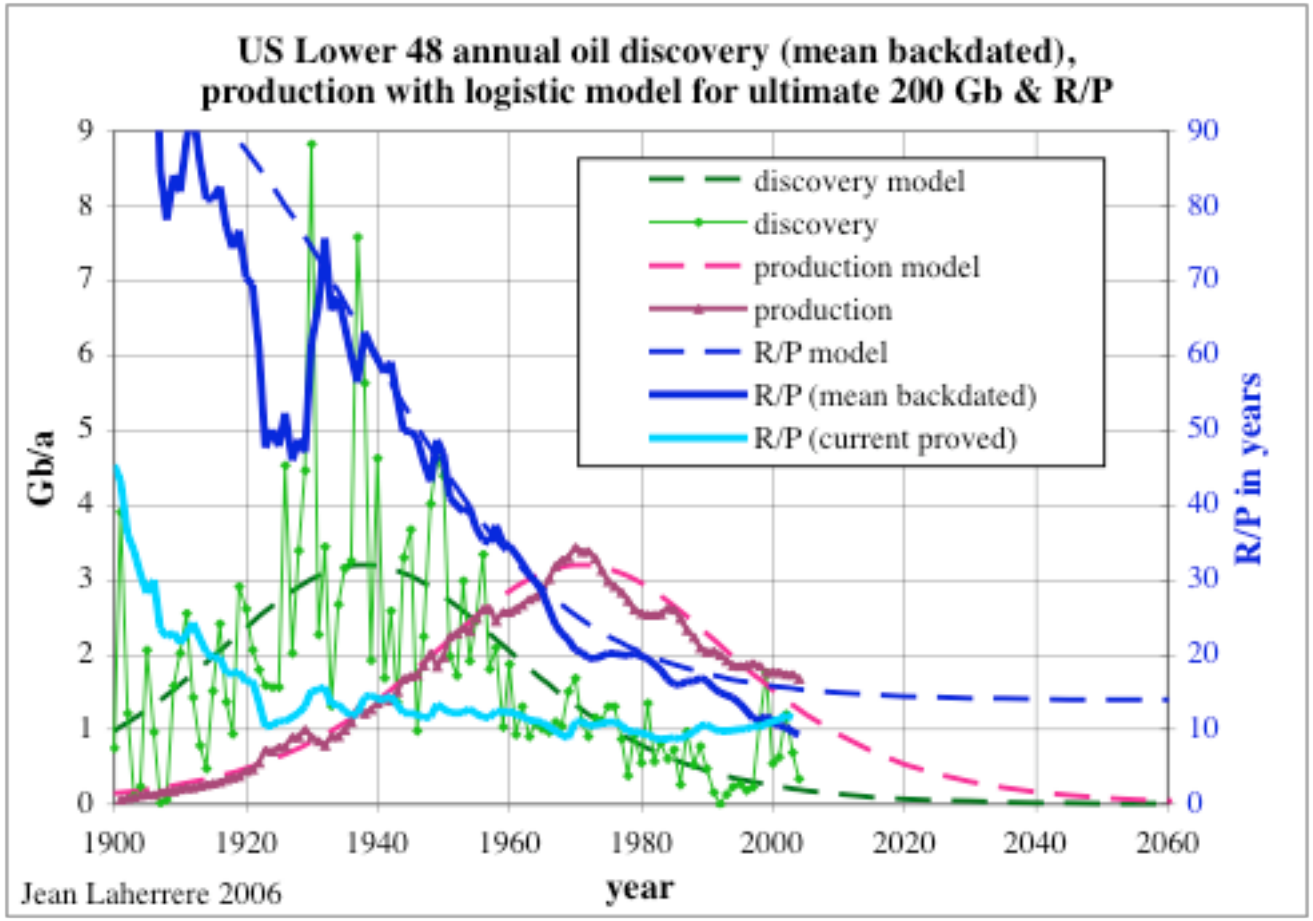


Prévisions utilisant le nombre d'années des réserves restantes en fonction de la production actuelle

Il est souvent dit qu'il reste 40 ans pour le pétrole mondial, suggérant que la production actuelle peut être maintenue à ce niveau pendant 40 ans. Les réserves prouvées américaines donnent un R/P **d'environ 10 ans depuis 80 ans,** montrant bien que ce ratio n'a aucun sens en prévision, l'avant dernier jour il y aura encore 10 ans !

De plus le R/P est totalement différent si on utilise les données techniques.

Figure 7: US Lower 48 (hors Alaska): découverte (moyenne recalée année découverte) et production annuelle de petrole avec modèle logistique (Ultime 200 Gb) et R/P, ainsi que R/P des réserves prouvées courantes



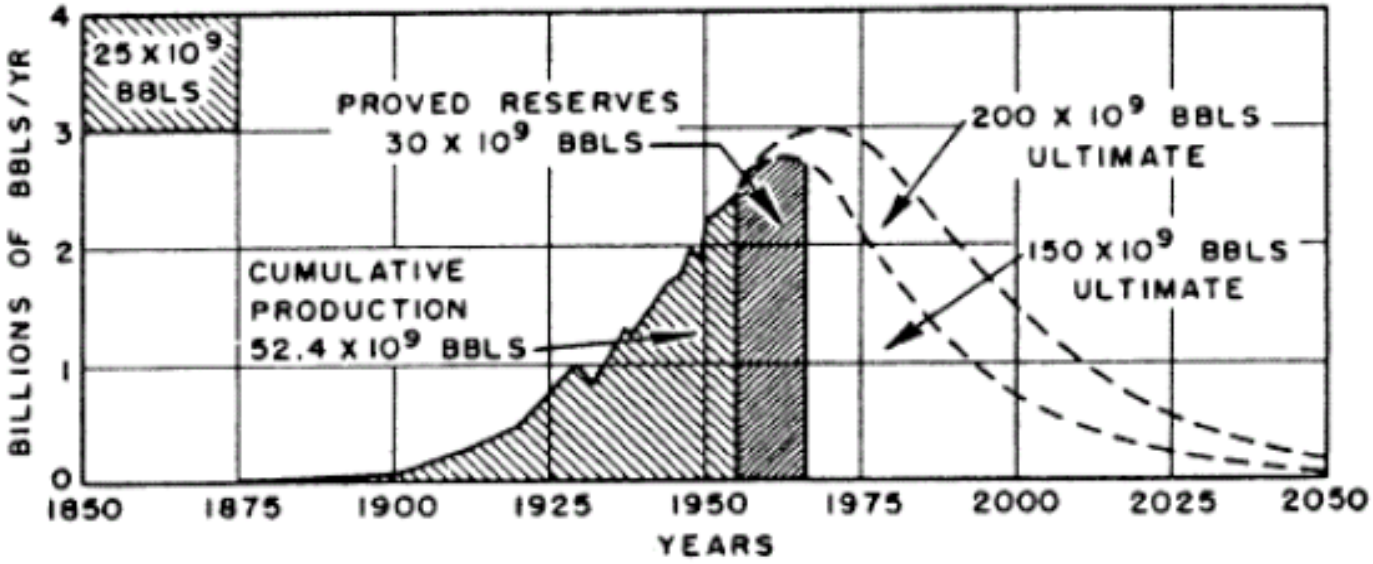
-Découvertes et productions annuelles : pic ou pics

-Pic d'Hubbert

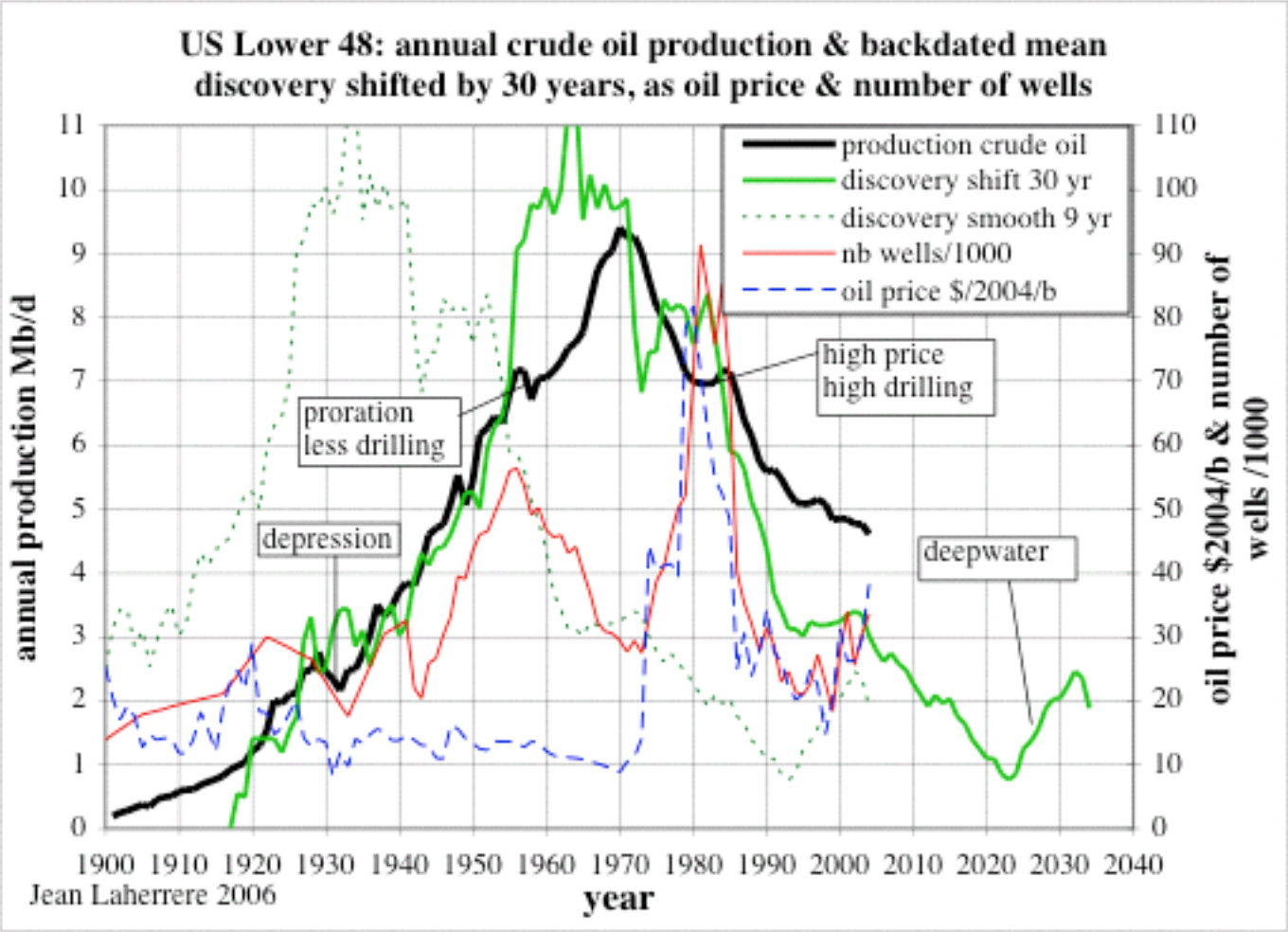
King Hubbert a prévu en 1956 le pic de pétrole aux EU (l'Alaska n'est entré qu'en 1959) pour 1970 (ultime = 200 Gb = valeur maxi enquête Delphi), mais aussi pour 1965 (ultime = 150 Gb = son estimation).

Augmenter les réserves ultimes d'un tiers ne recule le pic que de 5 ans!

Figure 8: **Prévision d'Hubbert en 1956 pour la production = Courbe d'Hubbert 1850-2050**



Pour produire il faut avoir trouver et la courbe de production imite la courbe de découverte avec un certain décalage.
Figure 9: **Production US 48 états: pic = 1970 et découverte *moyenne* décalée de 35 ans 1900-2040**

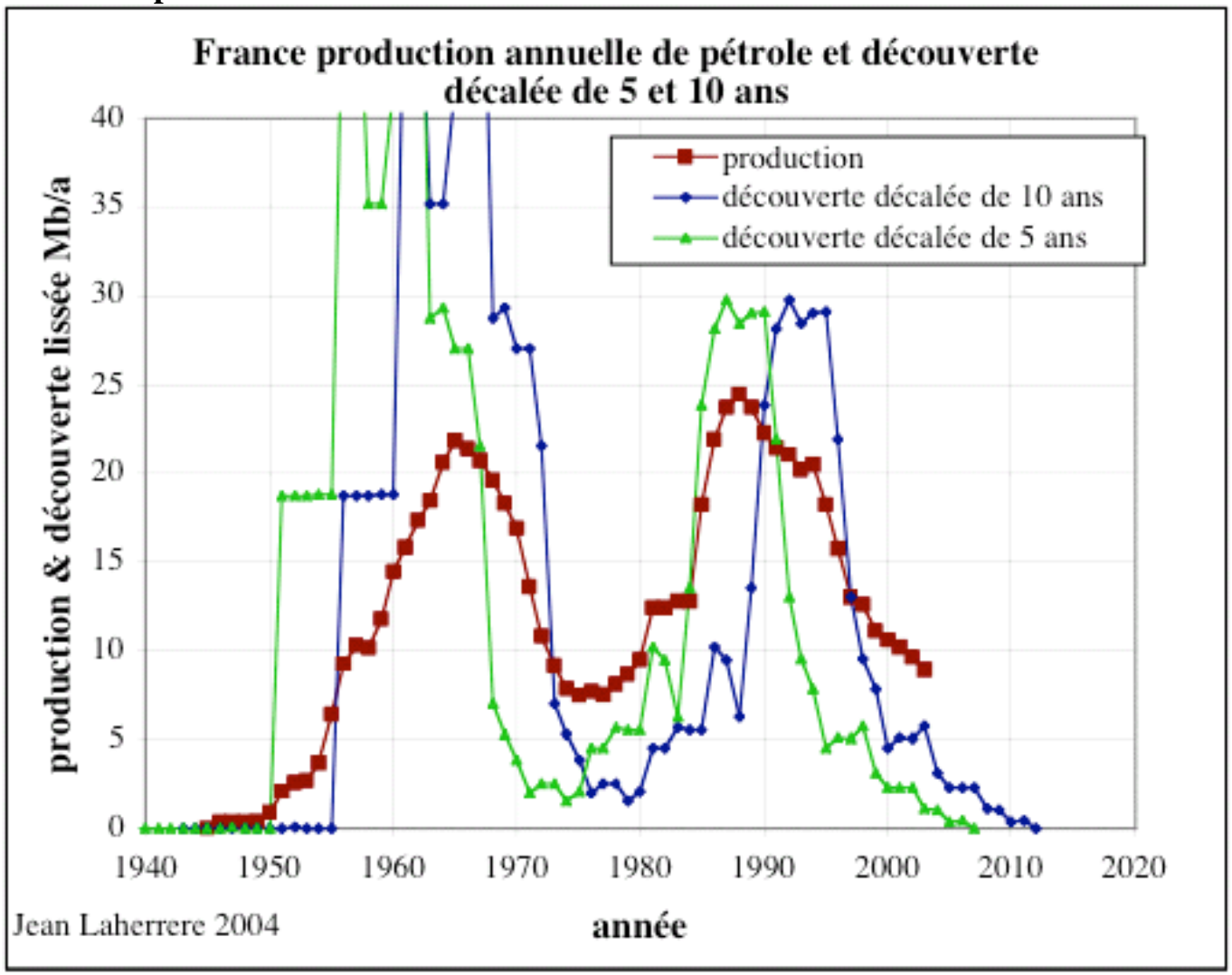


Il y a plus de 20 000 explorateurs et producteurs aux US, le grand nombre d'acteurs indépendants correspond à un mouvement brownien, d'où une addition proche de la courbe normale

-Plusieurs pics

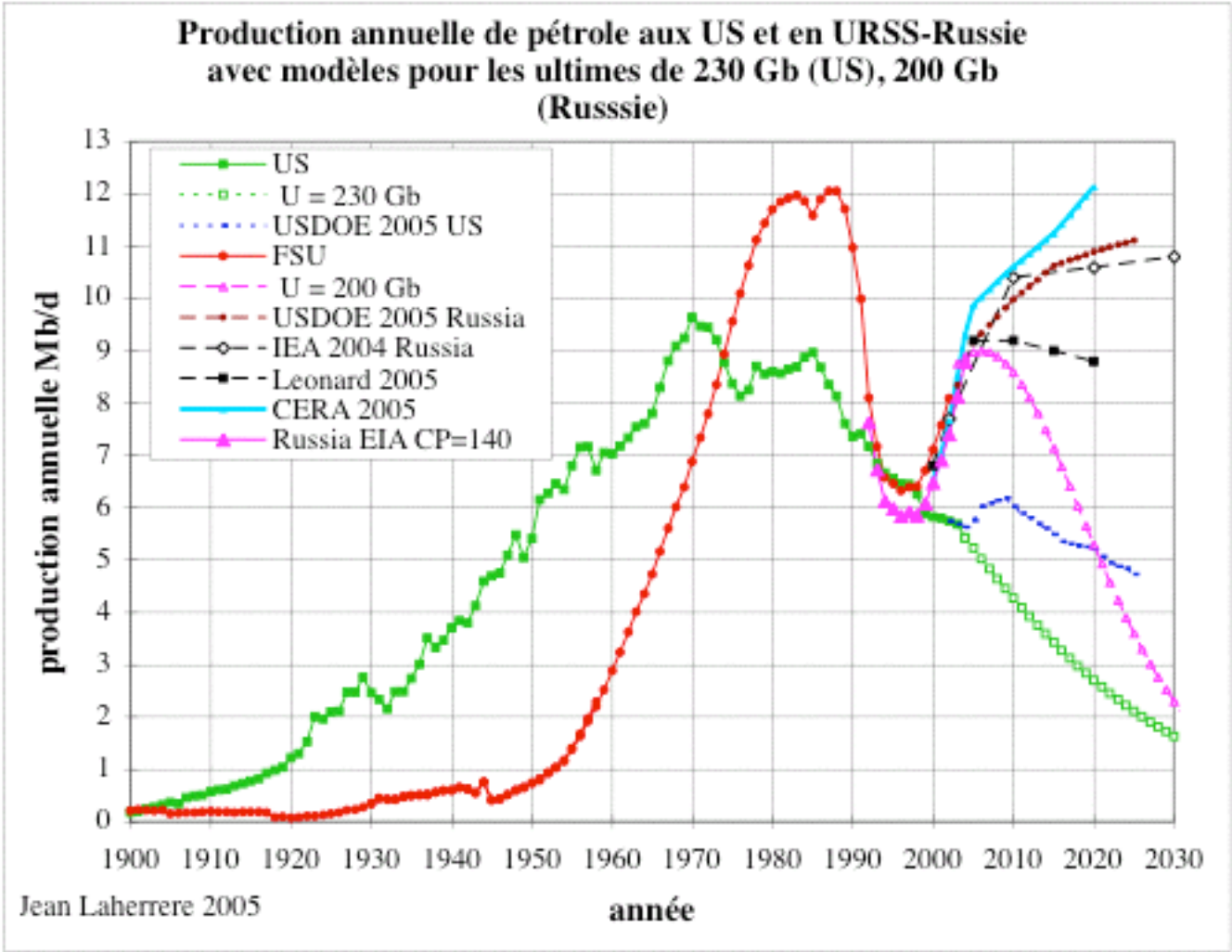
Pour les US hors Alaska il n'y a qu'un cycle, mais en France il y a deux cycles de découverte et deux cycles de production.

Figure 10: **Production de pétrole 1940-2010 en France et découverte décalée de 5 et 10 ans**



Russie

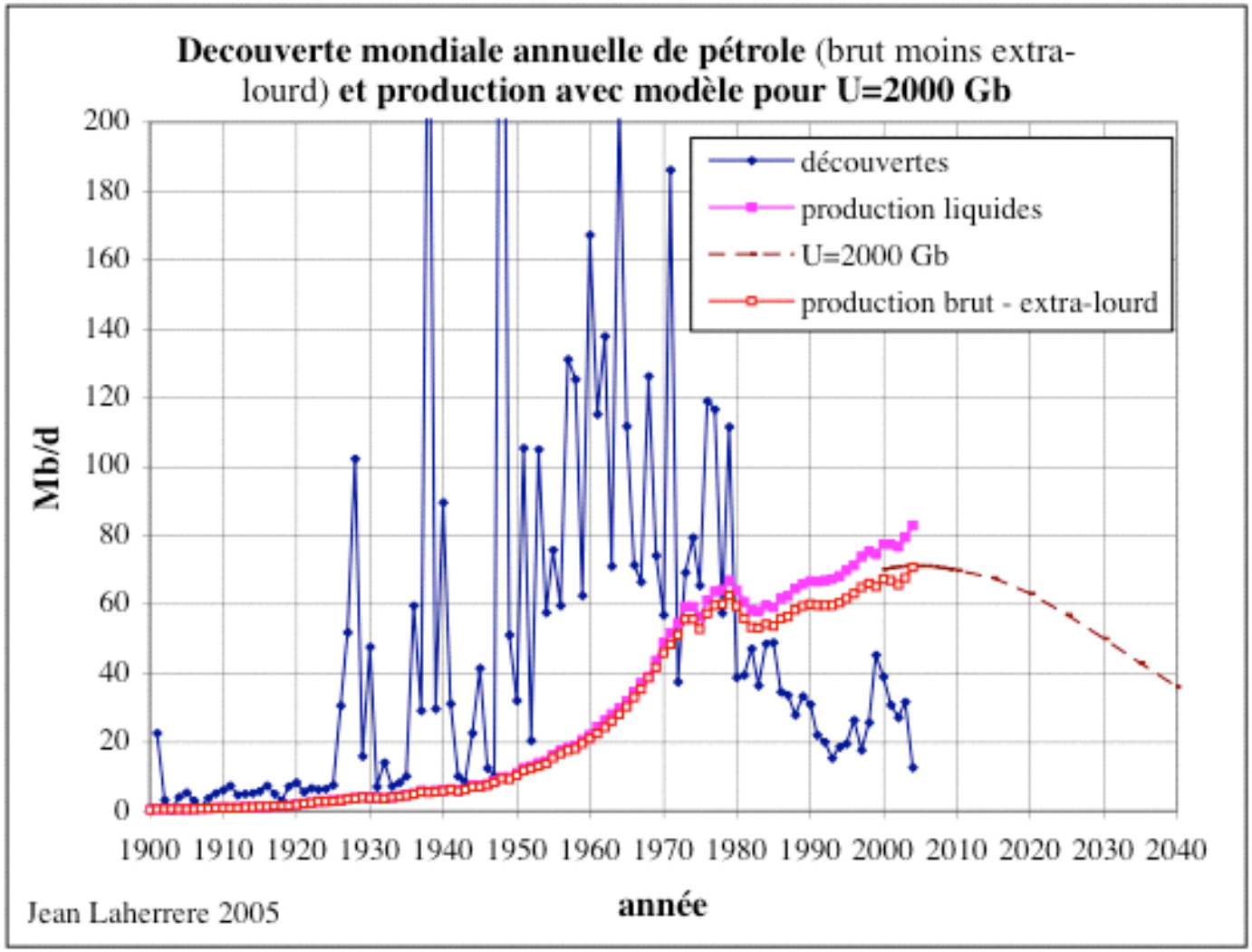
Figure 11: prévisions de production annuelle de pétrole aux US et en Russie pour des ultimes de 230 Gb et 200 Gb ainsi que celles de USDOE, CERA et Leonard (Yukos)



La production russe doit atteindre son pic sous peu et décliner, contrairement aux prévisions officielles.

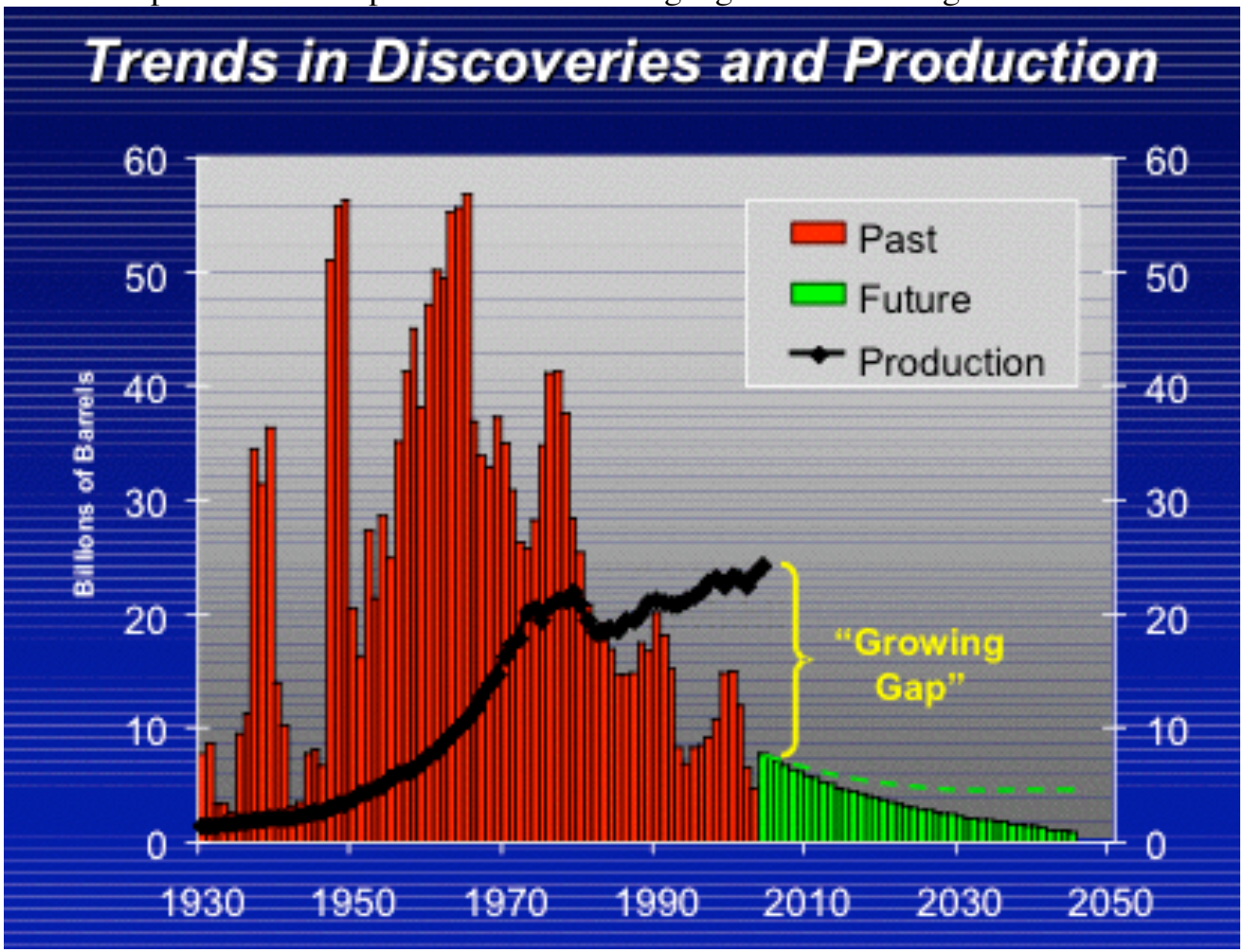
Depuis 1980, les découvertes mondiales sont très inférieures à la production, démontrant bien que les réserves restantes sont en baisse, malgré les déclarations officielles!

Figure 12: découverte et production mondiale de pétrole



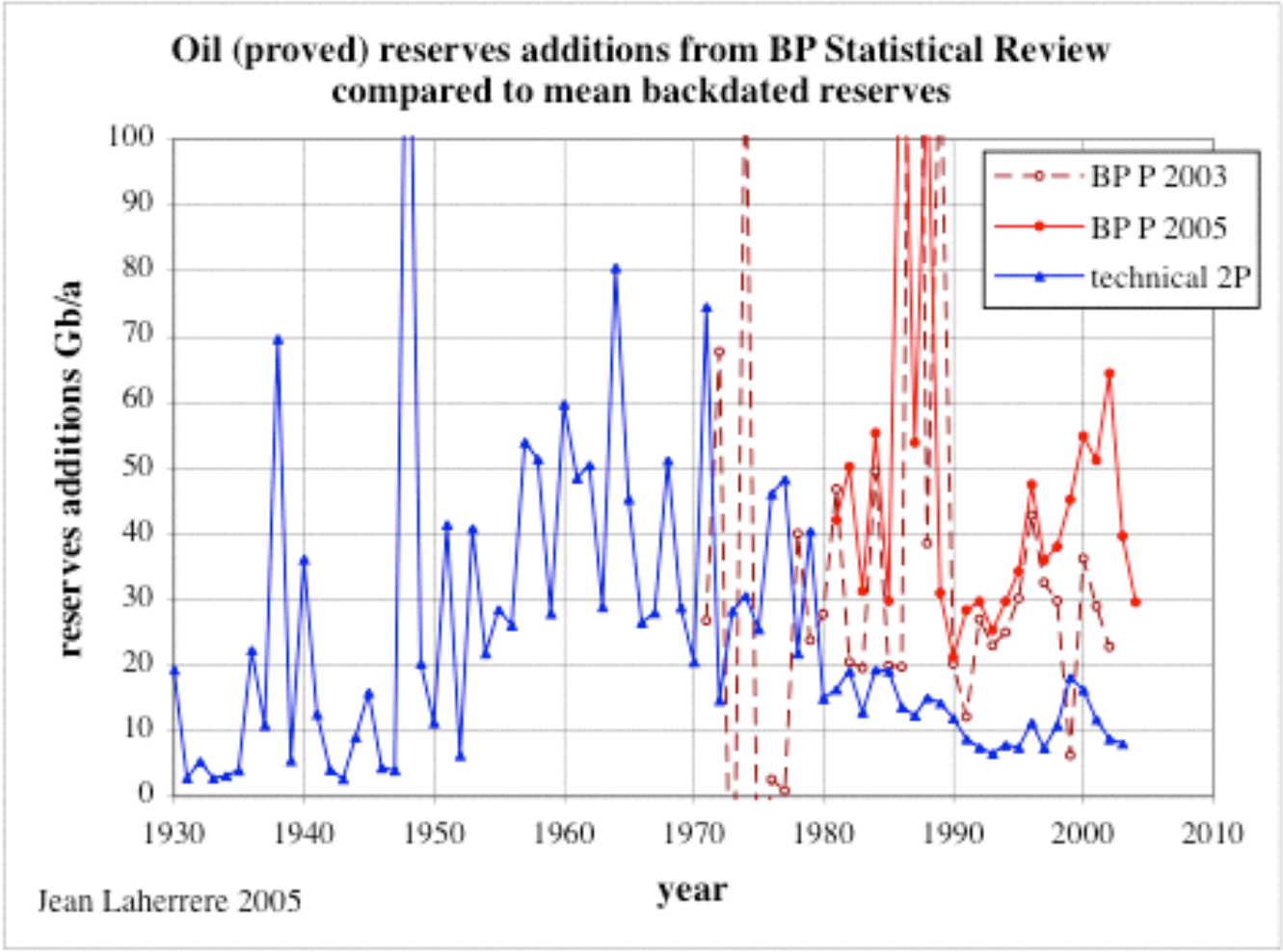
La surface sous les 2 courbes (découverte, production) doivent être identiques = ultimes

J.Schlesinger dans son témoignage el 16 Novembre 2005 devant le comité des relations étrangères du Sénat US a montré le graphique suivant qui ressemble au mien car il utilise les données techniques (moyenne ramenée à l'année de découverte)
Figure 13: Découverte et productions de pétrole dans le témoignage de J.Schlesinger devant le Sénat



Le patron de Chevron D.O'Reilly dans le site Chevron www.willyoujoinus.com dit bien que les découvertes annuelles sont maintenant très inférieures à la production et que la production de pétrole est en déclin dans 33 des 48 principaux pays producteurs.

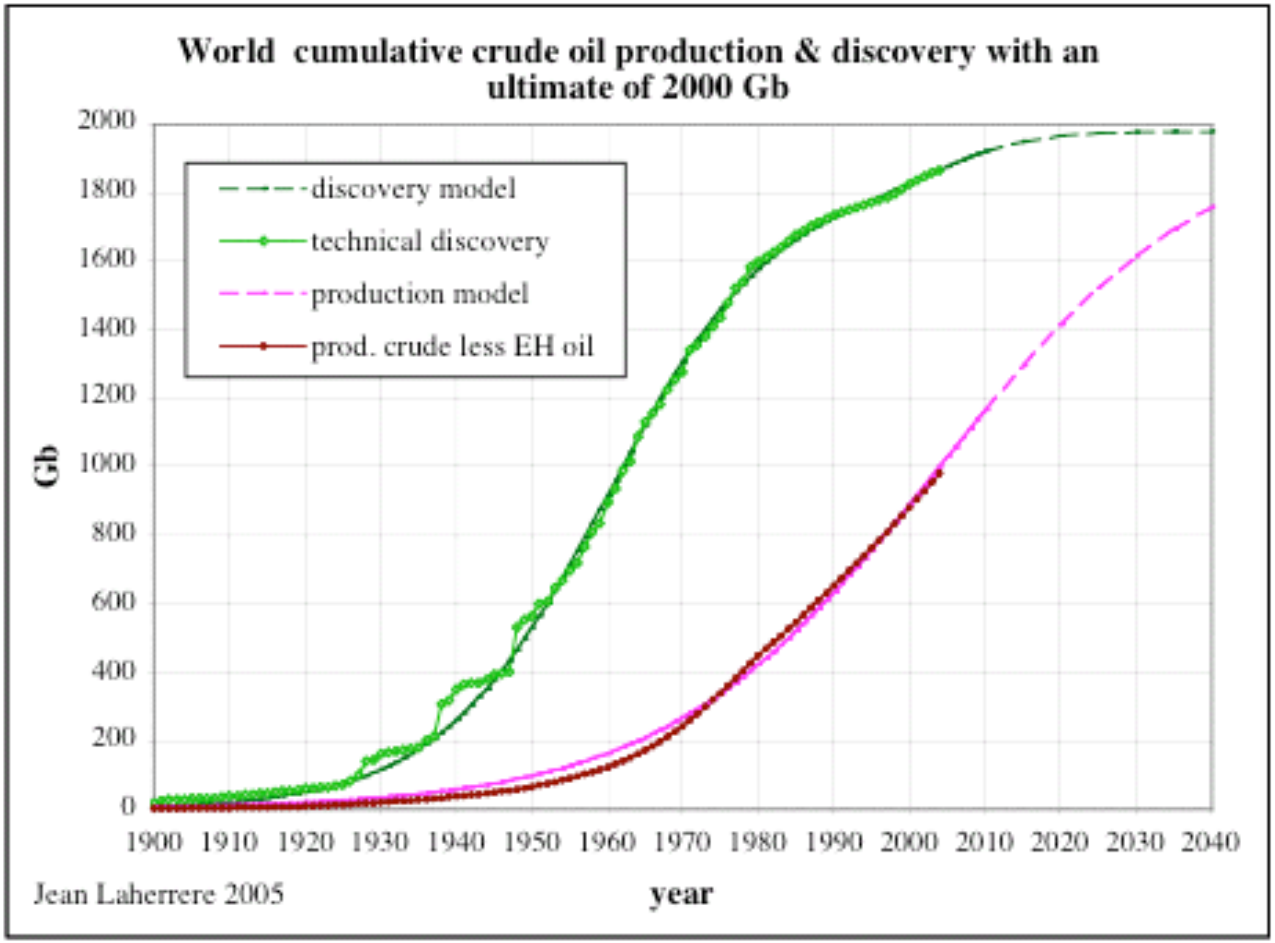
Mais les découvertes annuelles à partie des données techniques qui déclinent depuis le pic des années 1960 sont différentes des additions à partir des données politiques telles que publiées par BP Review :
Figure 14: additions des réserves de pétrole d'après BP (données politiques P) et découverte annuelle de pétrole d'après les données techniques 2P



Les données BP 2003 et 2005 ont changé car maintenant BP ajoute les sables bitumineux ;
Les données politiques donnent une image très trompeuse de la réalité

-Découvertes et productions cumulées : asymptotes = Ultimes

Figure 15: **Découvertes et productions cumulées mondiales de pétrole conventionnel avec modèles logistiques pour un ultime de 2000 Gb**

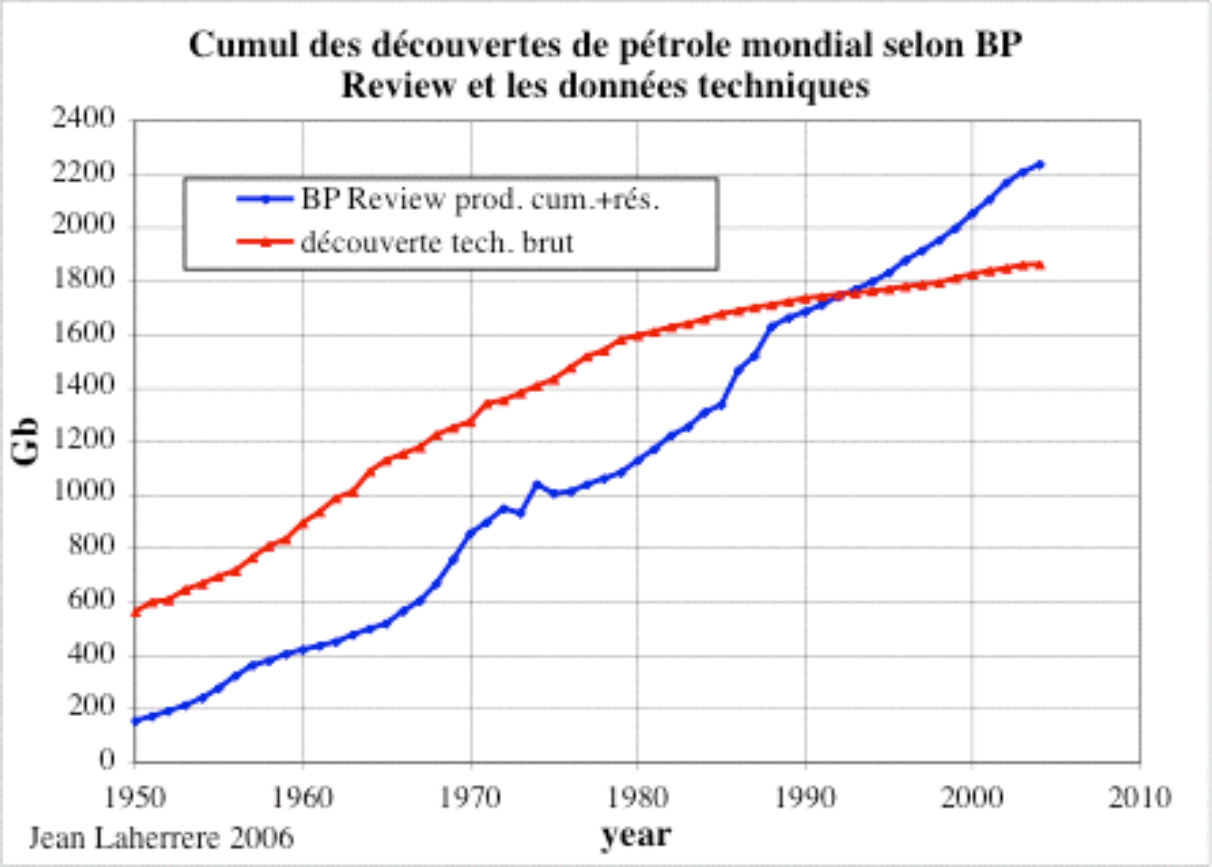


Ce qui reste à découvrir représente moins de 150 Gb, c'est-à-dire moins que l'imprécision de ce qui a été déjà découvert .

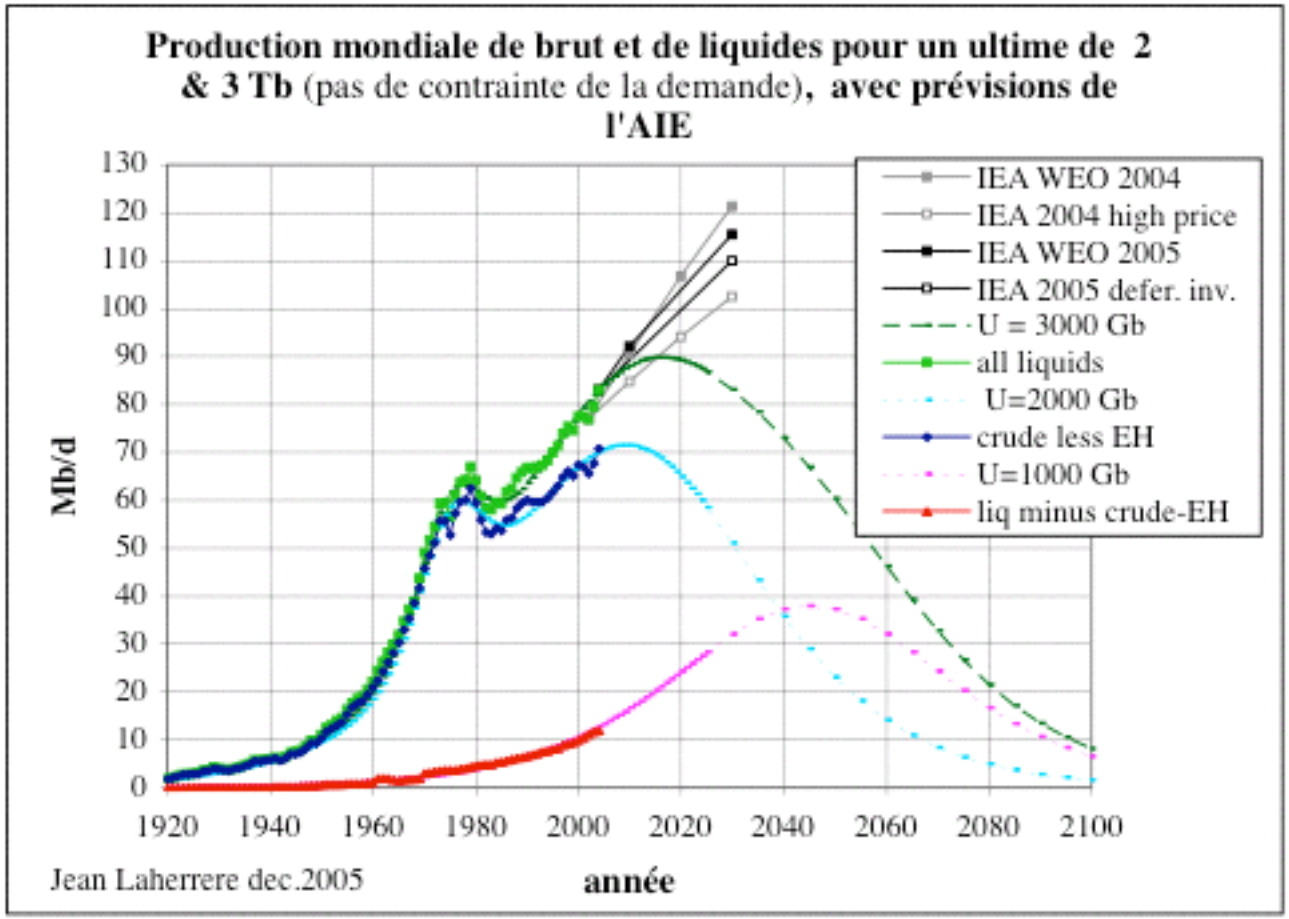
BP Statistical Review est obligé de publier les données fournis par les pays. BP a bien essaye dans les années 80 de mettre ses données pour Abu Dhabi, mais BP a été obligé de détruire sa publication pour mettre les données officielles. Mais les géologues de BP (F.Harper) publient des graphiques semblables aux miens (même source technique). Les données de BP Review des réserves restantes sont ajoutées aux productions cumulées (données BP à partir de 1965) pour donner le cumul des découvertes. La comparaison avec les données techniques est frappante. Les données politiques augmentent brusquement en 1985 avec la bagarre des quotas et continuent à augmenter, alors que depuis 1980 les données techniques montrent un net ralentissement. Les économistes qui n'ont que les données BP sont donc optimistes!

Les réserves dites prouvées sont en fait inférieures aux réserves techniques prouvées+probables!

Figure 16: **Découvertes cumulées mondiales de pétrole d'après BP Review et les données techniques**

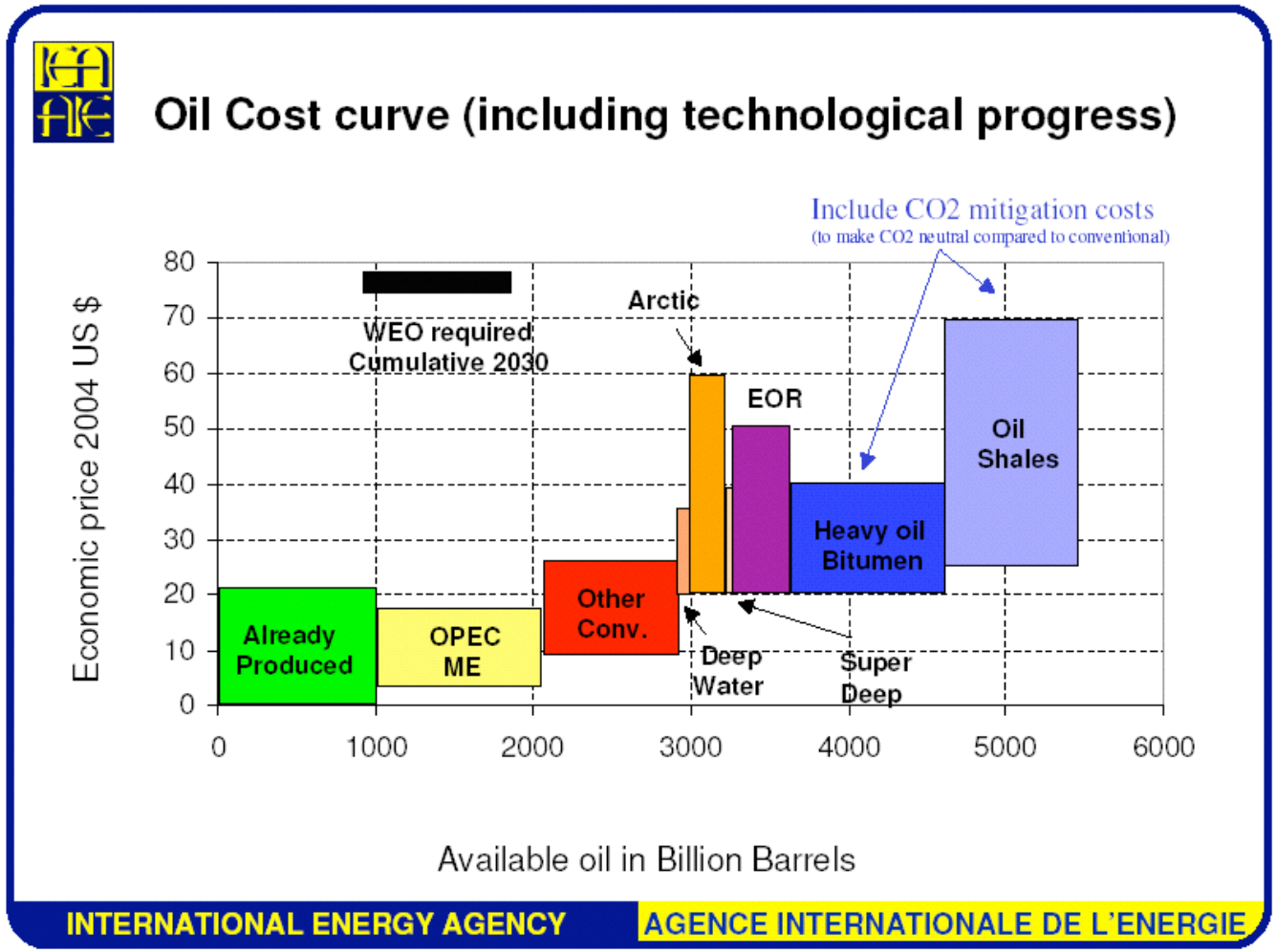


Liquides Ultimes
= 3000 Gb = 2000 Gb brut hors extra-lourd, 500 Gb extra lourd, 250 Gb liquides de gaz et 250 Gb pétrole synthétique et gains de raffinerie.
Figure 17: Découverte de pétrole et prévision de production mondiale de liquides (**sans contrainte de demande**) pour un ultime de 3 Tb avec prévisions AIE 2004 et AIE 2005

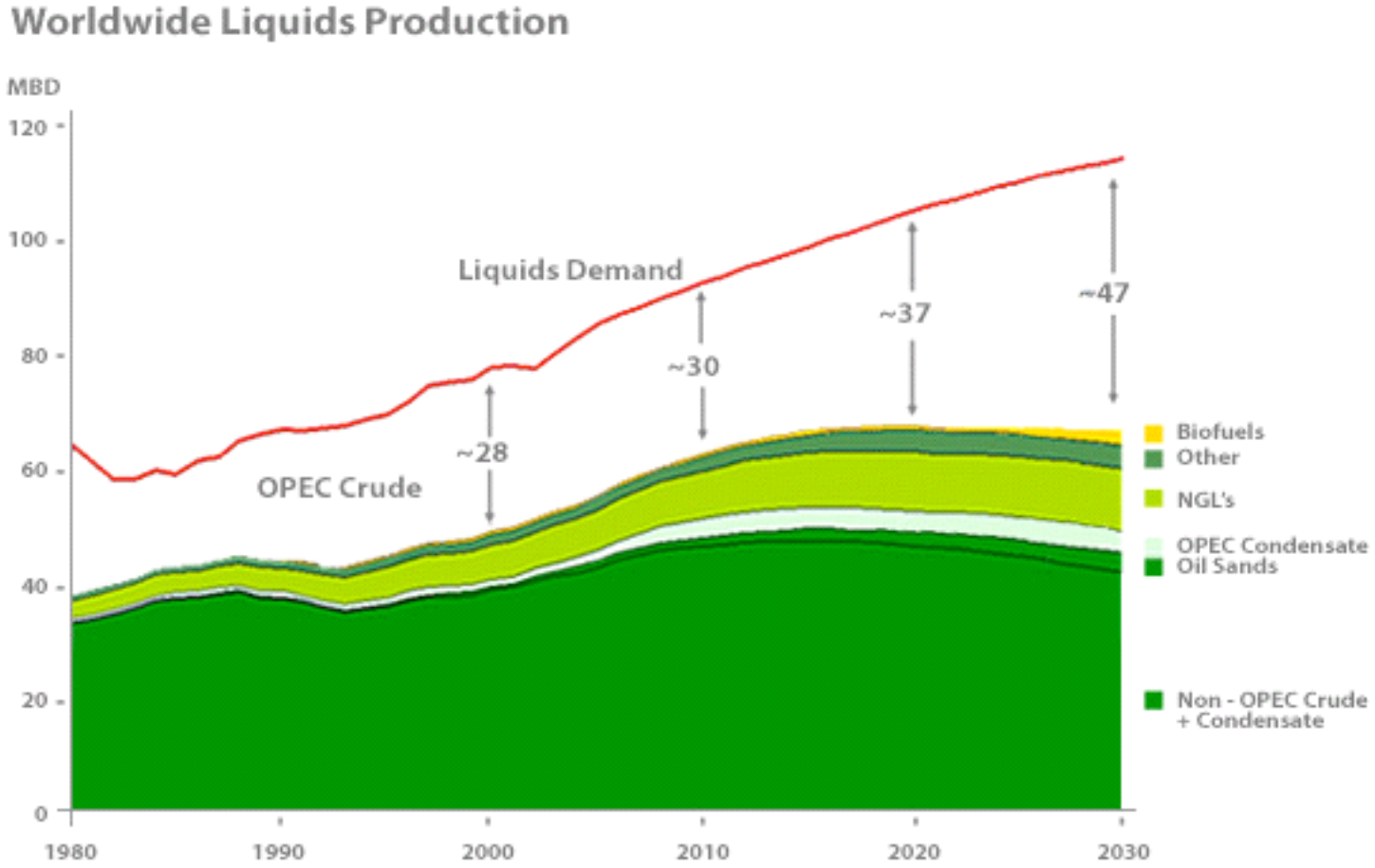


S'il y a chute de la demande (prix élevés ou dépression économique annoncée par P.Volcker) il y aura un plateau en tôle ondulée (oscillation chaotique des prix et de la demande)

L'AIE présente une estimation du pétrole disponible (?) en fonction du coût. Cette représentation est très trompeuse. Ainsi les schistes bitumineux seraient récupérables pour un coût de 30 $/b, ce qui est complètement faux.
Seul le deepwater semble vraisemblable et négligeable!
Figure 18: Estimations 2004 par l'AIE du « pétrole disponible » en fonction du coût



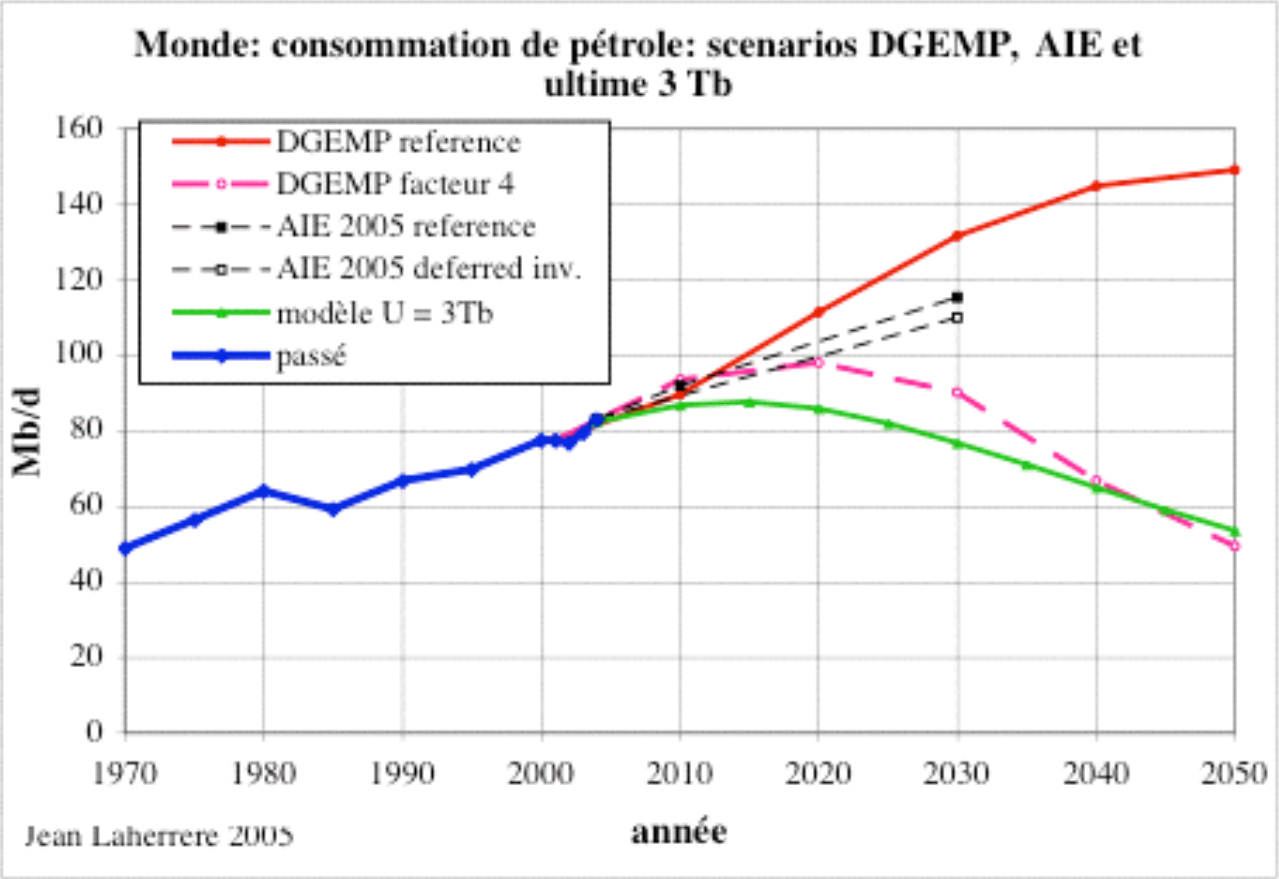
Exxon-Mobil donne ses prévisions 2005 de la production de liquides jusqu 'en 2030 avec le demande mondiale ainsi que la production du non-OPEP (+condensats OPEP), suggérant qu'en 2030 la production de brut de l'OPEP doit être 47 Mb/d (ses prévisions en 2003 donnaient 50 Mb/d), en ajoutant que cela dépendrait des investissements.
Figure 19: prévisions 2005 d'Exxon-Mobil de la production de liquides



Prévisions DGEMP pour le monde

Le scénario dit de *référence* a des hypothèses très optimistes: prix de 30 $/b en 2030, réserves de l'étude USGS, sur une croissance de 2,5%/a de 2002 à 2030, un pic de population française en 2040 mais dès 2020 pour la population active. Le 2e scénario appelé *facteur 4* a pour but de diviser les émissions de GES par 4.

Figure 20: Consommation mondiale de pétrole d'après DGEMP, AIE et prévisions de réserves ultimes de 3 Tb



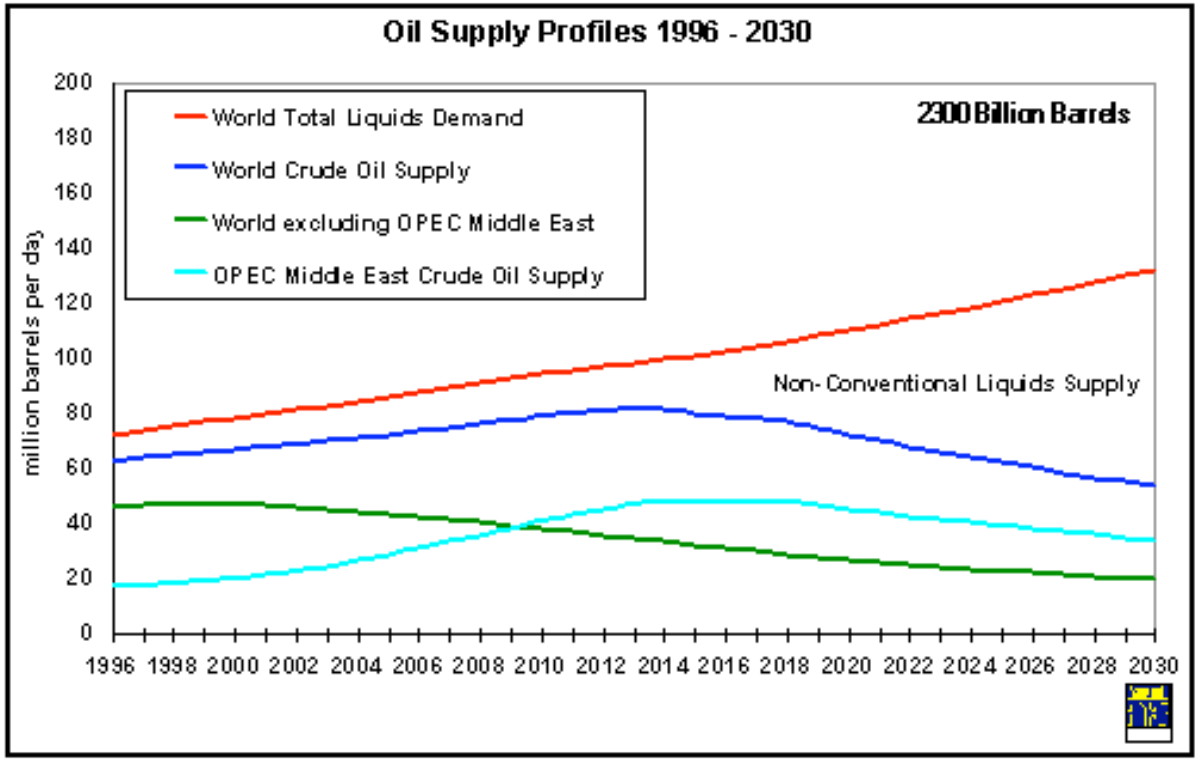
La DGEMP semble bien optimiste (ou pessimiste ?) dans sa version *référence*, très supérieure à la prévision de l'AIE, par contre sa version *facteur 4* supposée difficile à réaliser est proche de la réalité des données techniques!

-**Orientation politique ou personnelle ?**

Le même organisme (AIE) peut présenter ses prévisions de façon différente suivant que le directeur en charge de l'analyse est motivé par la technique ou la politique. Les trois graphiques suivants (World Energy Outlook = WEO) ont été conçus par trois directeurs différentiels et envoient trois messages différents.

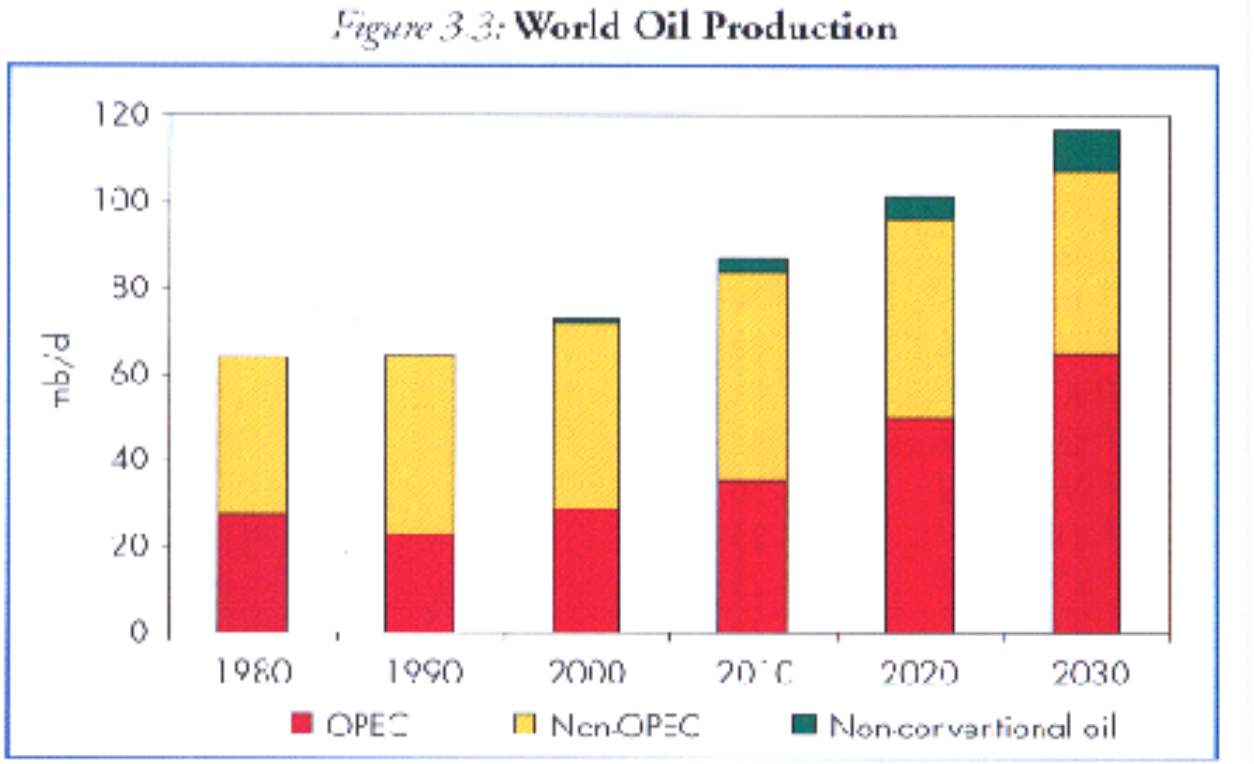
Le premier graphique, préparé par JM Bourdaire Directeur du *long-term analysis* (*IEA paper for the G8 Energy Ministers' Meeting in Moscow 31 March 1998*), montre que le pétrole conventionnel présentera un pic et la demande prévue toujours croissante pour satisfaire les désirs des gouvernements ne sera obtenue dans le texte que par un pétrole non conventionnel non spécifié, c'est à dire irréaliste

Figure 21: Prévision de production de pétrole par AIE en 1998 = JM Bourdaire



Il y a un problème.

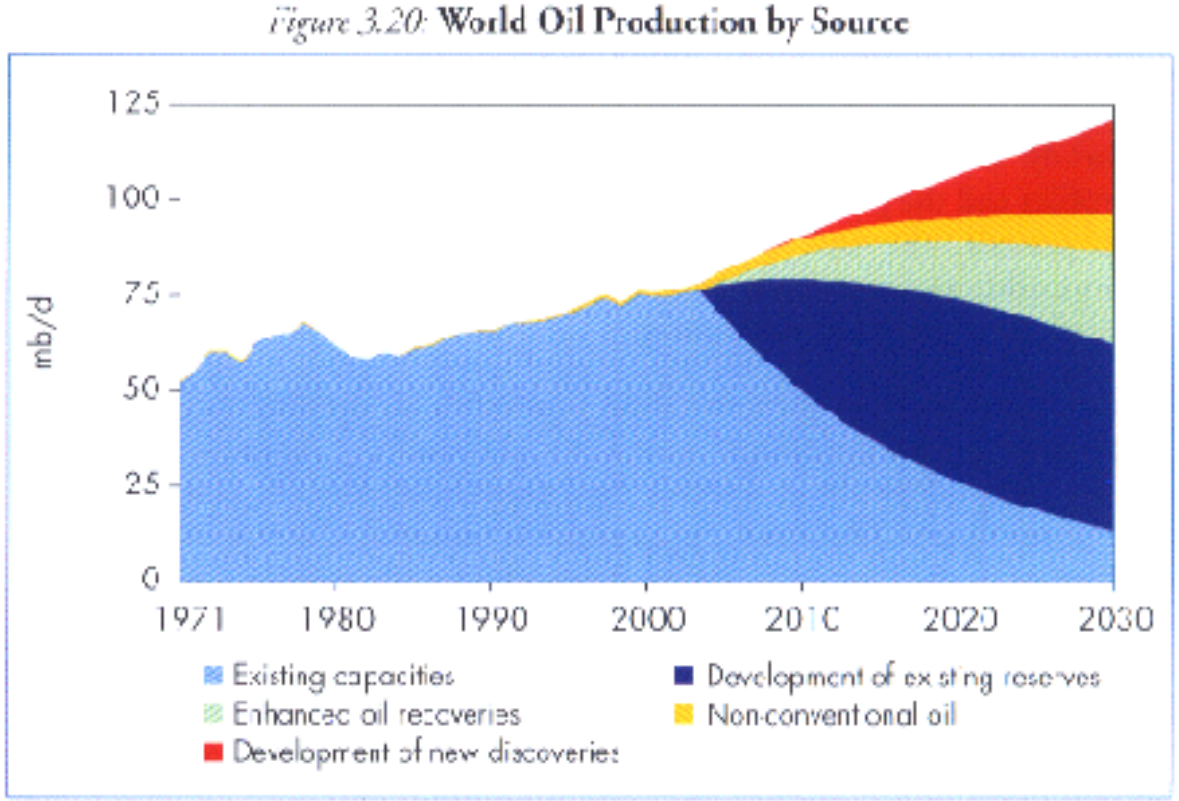
Après le départ de Jean-Marie Bourdaire, le WEO 2002 avec Olivier Appert est tout différent: il n'y a plus de pic du conventionnel et le non conventionnel est très secondaire
Figure 22: Prévision de production de pétrole par AIE en 2002 = O. Appert



Il n'y a pas de problème.

Les estimations USGS des réserves ultimes ont changé aussi radicalement quand Ch. Masters (pas de croissance des réserves «inferred») a été remplacé par T. Ahlbrandt (croissances des réserves prouvées +probables calculée avec celle des réserves prouvées US = aberration scientifique !)
Le changement d'un seul homme peut modifier profondément les messages d'un organisme officiel!

Le dernier WEO 2004 avec Fatih Birol est plus nuancé, montrant bien la déplétion des champs actuels en production, les découvertes futures sont mises au-dessus du non conventionnel, laissant une ambiguïté avec un pic possible du conventionnel. On ne voit pas pourquoi l'EOR (enhanced oil recovery) ne démarre qu'après 2005, étant insignifiant avant. Le développement des réserves existantes (c'est à dire non développées) avec 50 Mb/d en 2030 (18 Gb/a) nécessitent 200 Gb de réserves existantes non développées, ce qui est beaucoup plus que ne l'annonce IHS (90% des découvertes sont développées)
Figure 23: Prévision de production de pétrole par AIE en 2004 = F.Birol



Il peut y avoir problème.

-**Schistes bitumineux**

Les «schistes bitumineux» (oil shales) (appelés aussi bitumeux JO 18/01/1973) qui ne sont ni des schistes, ni du bitume, mais du kérogène (roche-mère du pétrole) pour la plupart immature (avant le début du cycle du pétrole), qui sont classés dans les lignites par l'USDOE. Il ne faut pas confondre les schistes bitumineux (marnes +kérogène immature) avec les sables bitumineux qui sont un mélange de sables et de bitume (pétrole dégradé extra-lourd et visqueux), représentant la fin du cycle du pétrole avant disparition.

La production des schistes a un long passé, démarrage en France en 1837 = mines des schistes d'Autun fermées en 1957

Figure 24: Production mondiale de schistes bitumineux

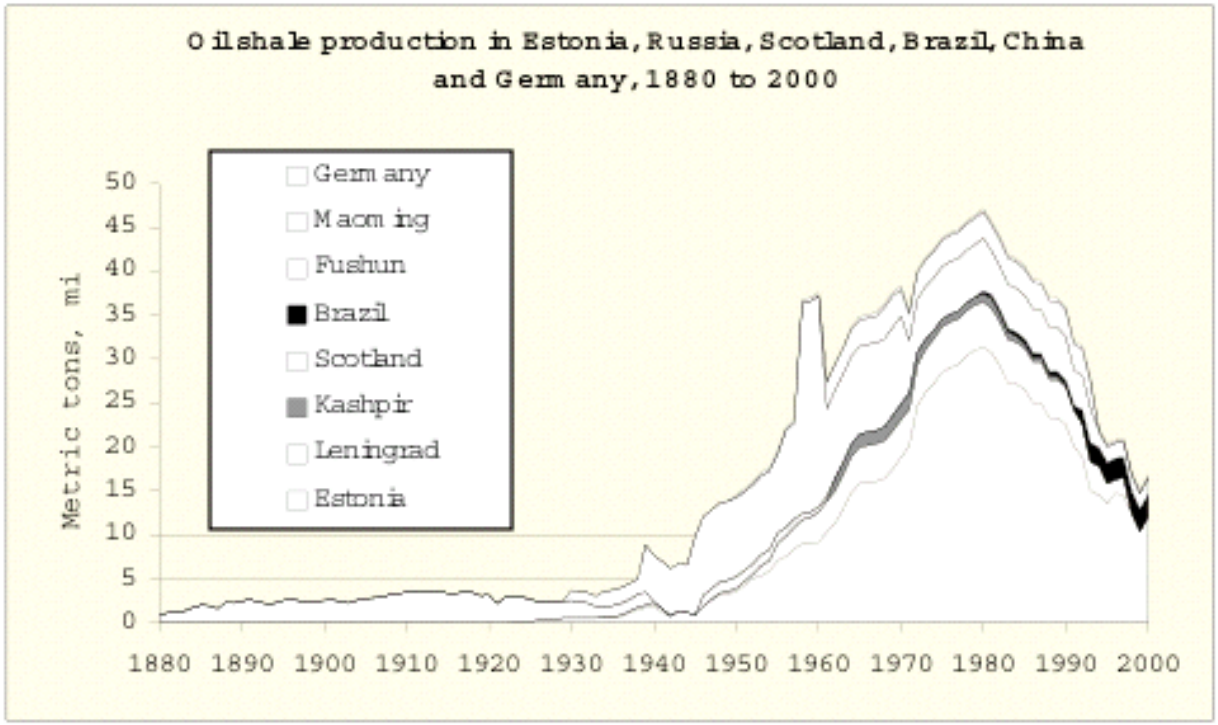
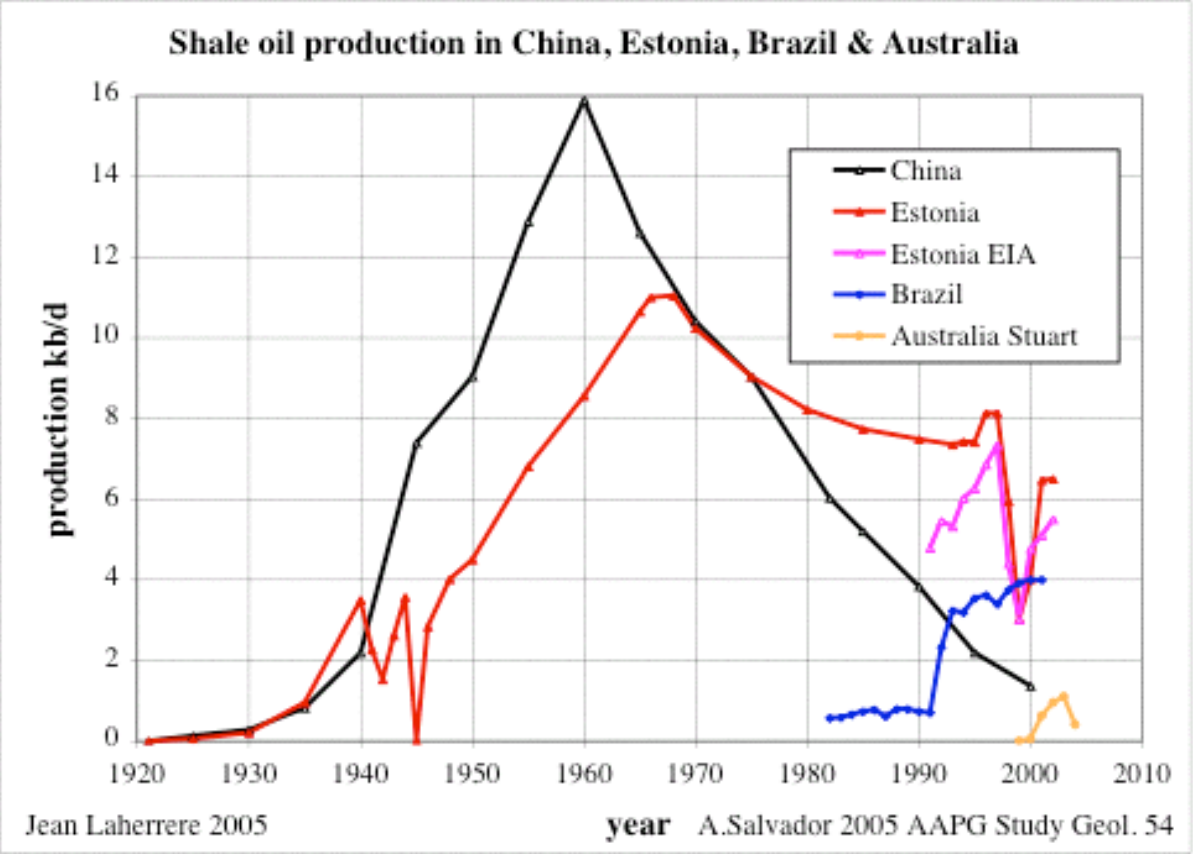


Fig. 18. Production of oil shale from selected world oil-shale deposits from 1880 to 2000

Pour entrer dans l'EU, l'Estonie a dû promettre d'arrêter sa production de schistes brûlés dans les centrales avec trop de pollution.

L'huile de schistes est produite à partir de schistes concassés et chauffés (pyrolyse) à 700°C (retorting)
Figure 25: **production d'huile de schiste**= pic en 1960

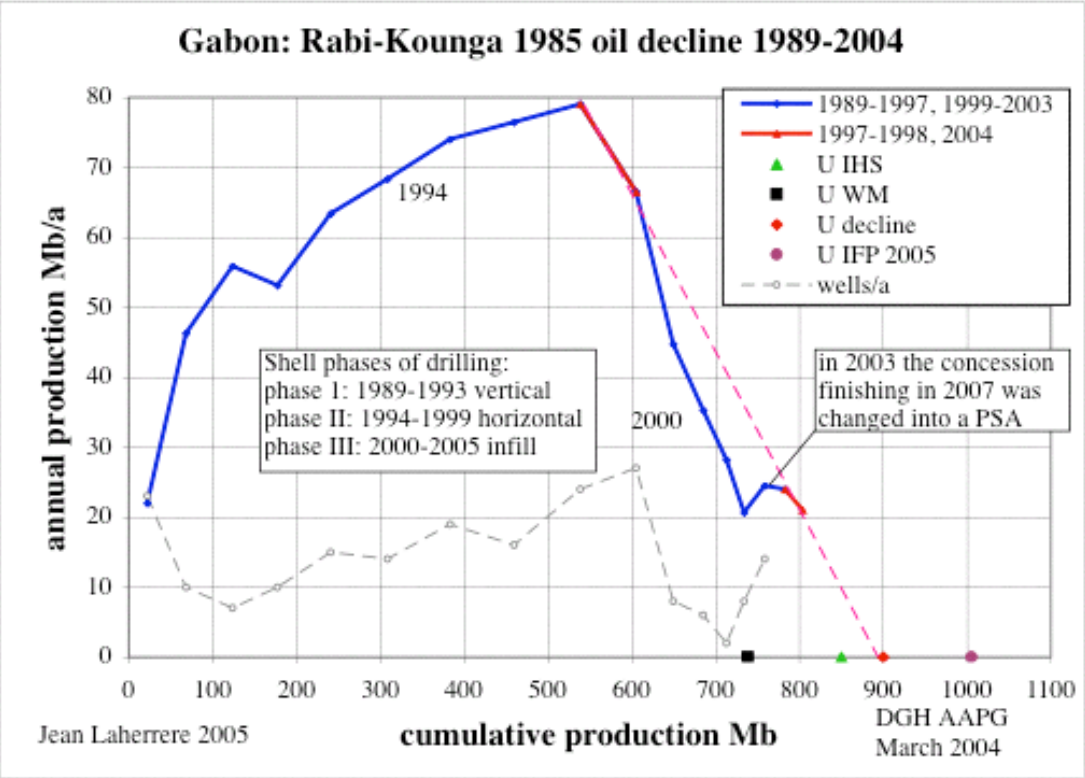


En 2002, la production d'huile de schistes était <12 kb/d = 0,015 % de la production mondiale de pétrole.
L'exploitation par mine est considérée maintenant comme impossible vue les problèmes écologiques et économiques après les échecs aux US dans les années 80 et l'échec récent en Australie avec les techniques de l'Athabasca.
Seul un pilote in-situ subsiste aux US avec Shell qui chauffe avec des résistances électriques dans des puits à l'intérieur d'un mur congelé! La production est de 10 b/d pour une note d'électricité de 2000 $/d. Shell décidera en 2012 si cet essai est à suivre par un pilote commercial. Le bilan énergétique semble difficile à être positif!
Framatome étudierait, pour les schistes, la fourniture de réacteurs nucléaires VHTR pour produire de la chaleur (800 °C) et de l'hydrogène ?

-Bonnes pratiques

Il y a quelques décennies les bonnes pratiques (*good practices*) demandaient de produire le maximum de pétrole en faisant monter le plan d'eau d'une façon lente et régulière, les prévisions à long terme étaient encouragées. Depuis que les actionnaires (surtout les plans de pensions américains) demandent une rentabilité de 15%/a, sinon ils vendent leurs actions, les dirigeants ont complètement changé de pratiques. Le court terme est devenu la règle car il faut montrer tous les trimestres que la production augmente. Les bonnes pratiques sont donc de produire le plus grand volume au plus vite, quitte à produire moins à long terme. Les plateformes offshore sont très chères en investissements et en coûts opératoires. Il faut produire vite. Ainsi le champ de Lacq a été produit en 50 ans par Elf, mais le champ de Frigg en Mer du Nord, qui est d'un volume similaire, a été produit par le même Elf en 25 ans. Le pic de Lacq a été de 3 Tcf/a, alors que le pic de Frigg a été plus du double.

La technique des puits verticaux permet de produire plus vite mais alors le déclin est beaucoup plus sévère. Ainsi les champ de Yibal en Oman et de Rabi-Kounga au Gabon ont été surproduits par Shell grâce aux puits horizontaux, diminuant les réserves ultimes espérées! Figure 26: Courbe de déclin du champ de Rabi-Kounga au Gabon par Shell :

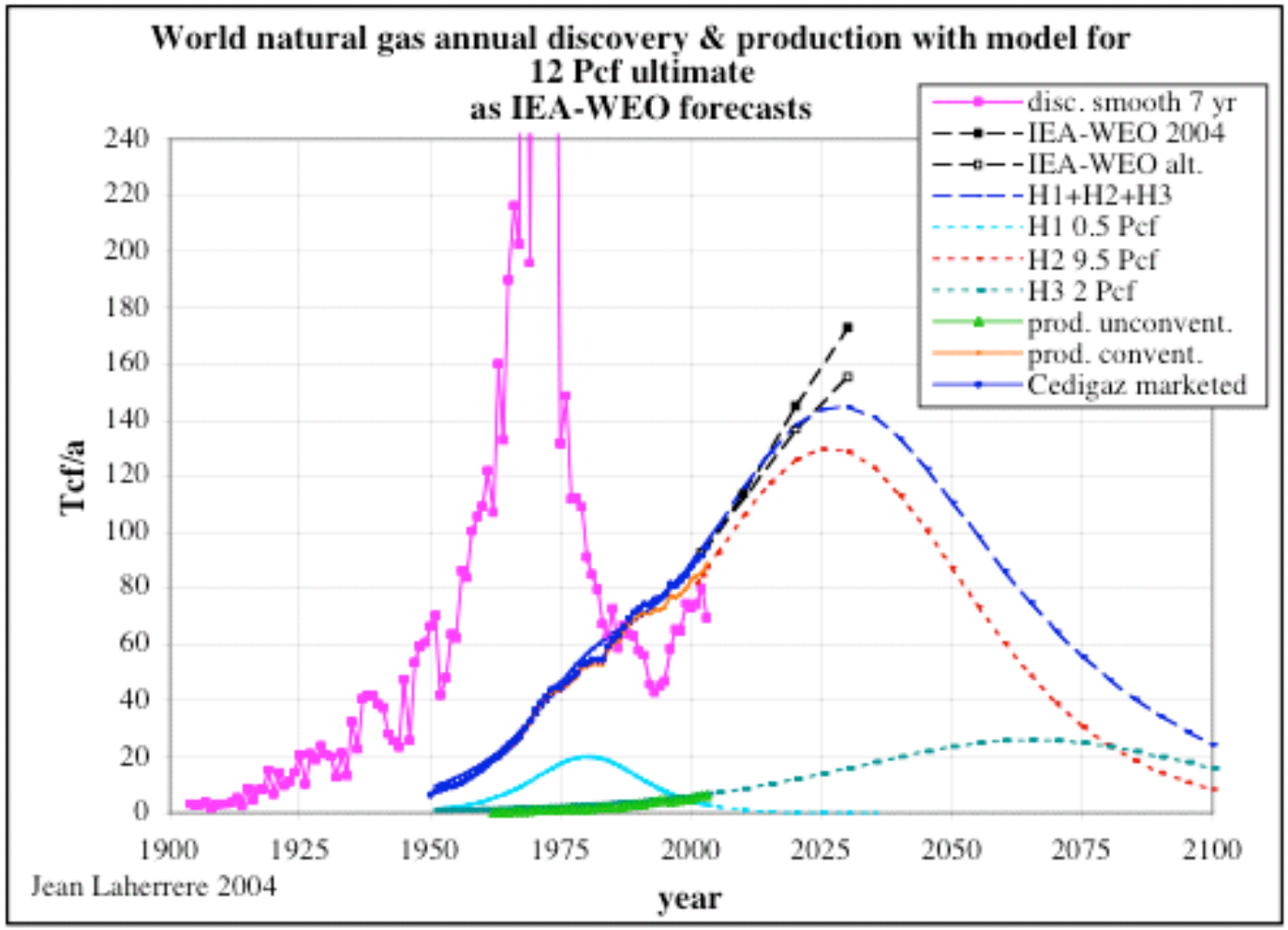


-**Gaz naturel**

Il est 7 à 10 fois plus cher de transporter le gaz que le pétrole et il y a donc 3 marches du gaz: Amérique du Nord, Europe et Asie Pacifique.

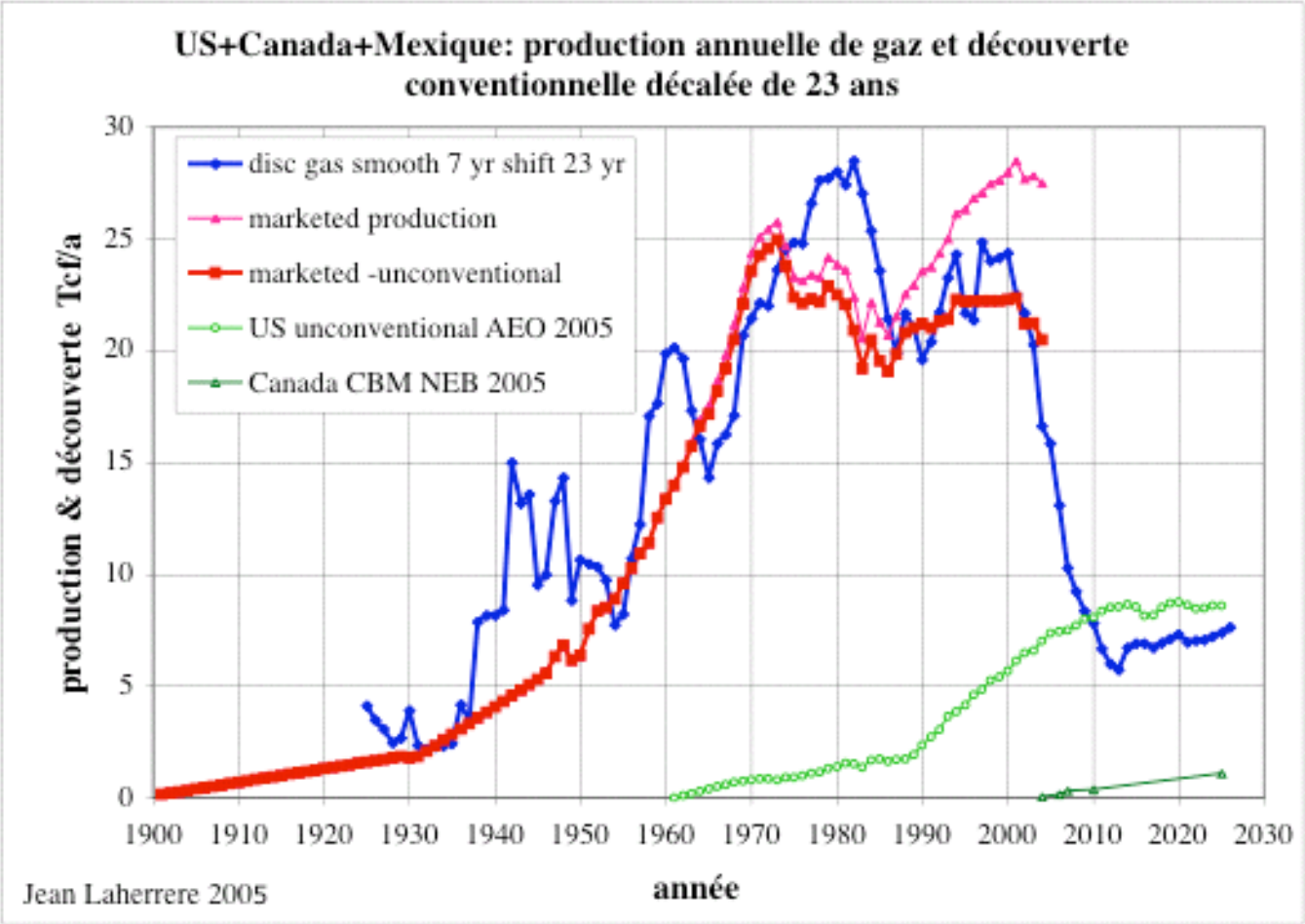
Le pic global serait vers 2030, mais localement c'est très différent

Figure 27: **Découverte et production mondiale 1900-2100 de gaz avec prévisions AIE 2004**



Mais pour le marché local d'Amérique du Nord, l'offre va s'écrouler brutalement d'ici peu, nécessitant de nombreux terminaux de gaz liquéfié. Le prix du gaz a déjà triplé aux US. Le gaz non-conventionnel doit plafonner vers 2010 aux US.

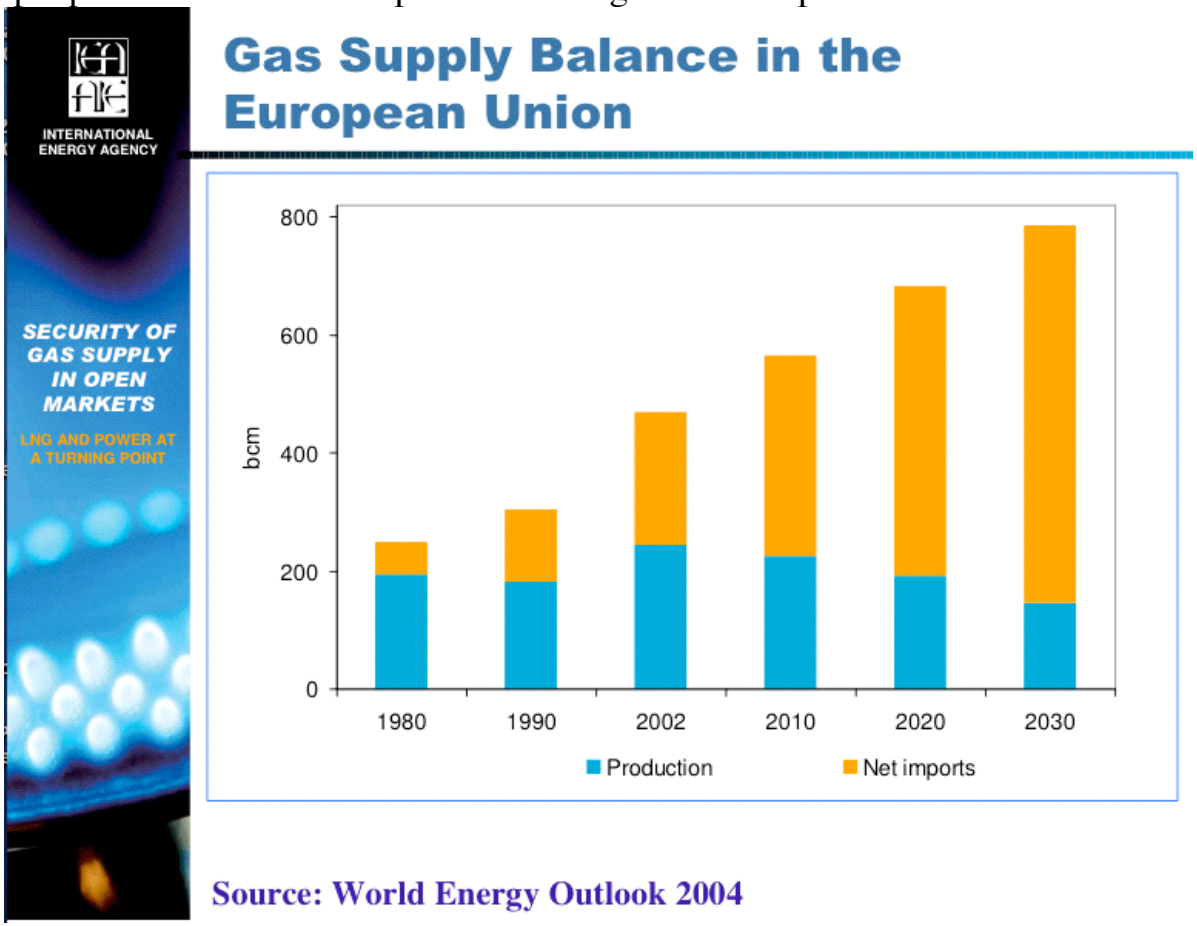
Figure 28: **Production annuelle 1900-2030 de gaz conventionnel aux US + Canada + Mexico et découverte décalée de 23 ans**



Marché gazier Europe

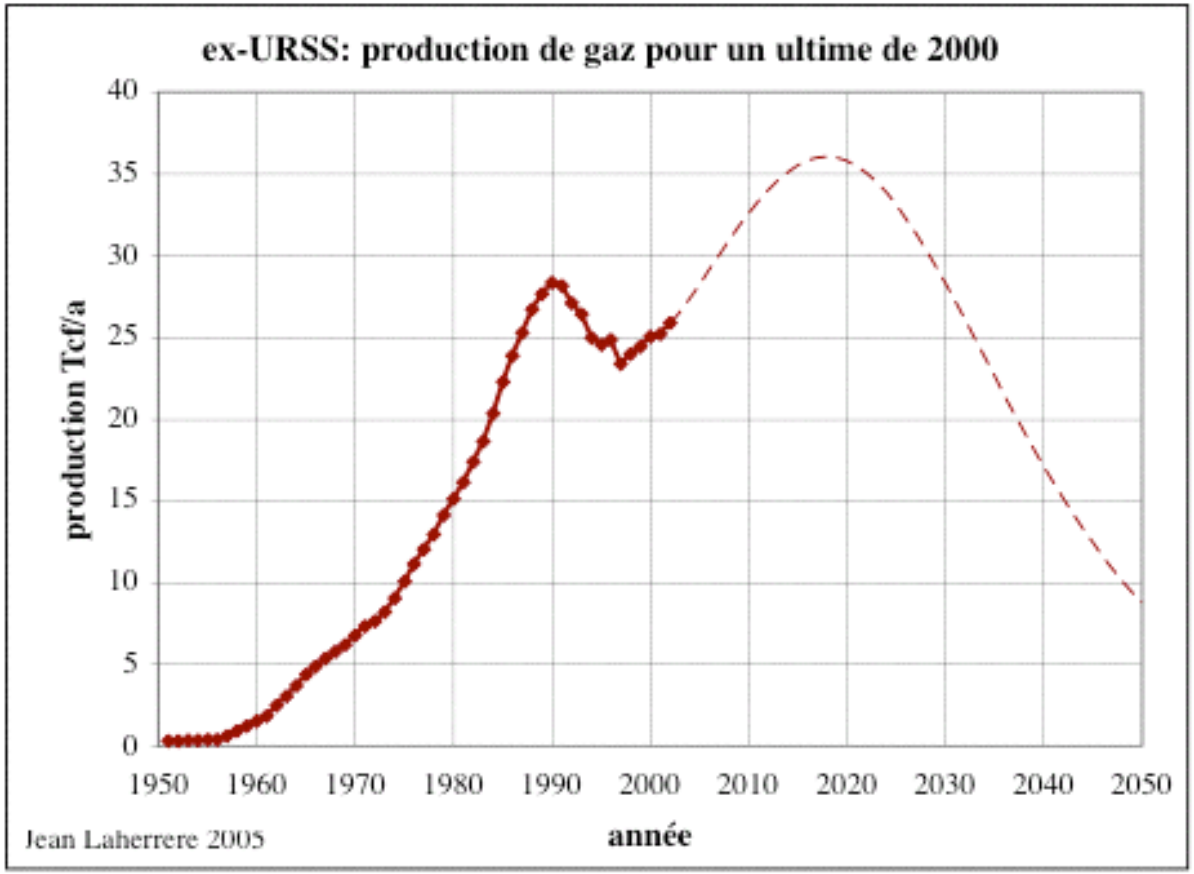
Le gaz produit par l'Europe déclinera en 2010, comme le prévoit l'AIE, et il faudra importer considérablement (liquéfié et gazoduc)

Figure 29: Europe: prévisions AIE sur la production de gaz et les importations



L'Europe compte trop sur les réserves de gaz russe (volume de production et stabilité des contrats).

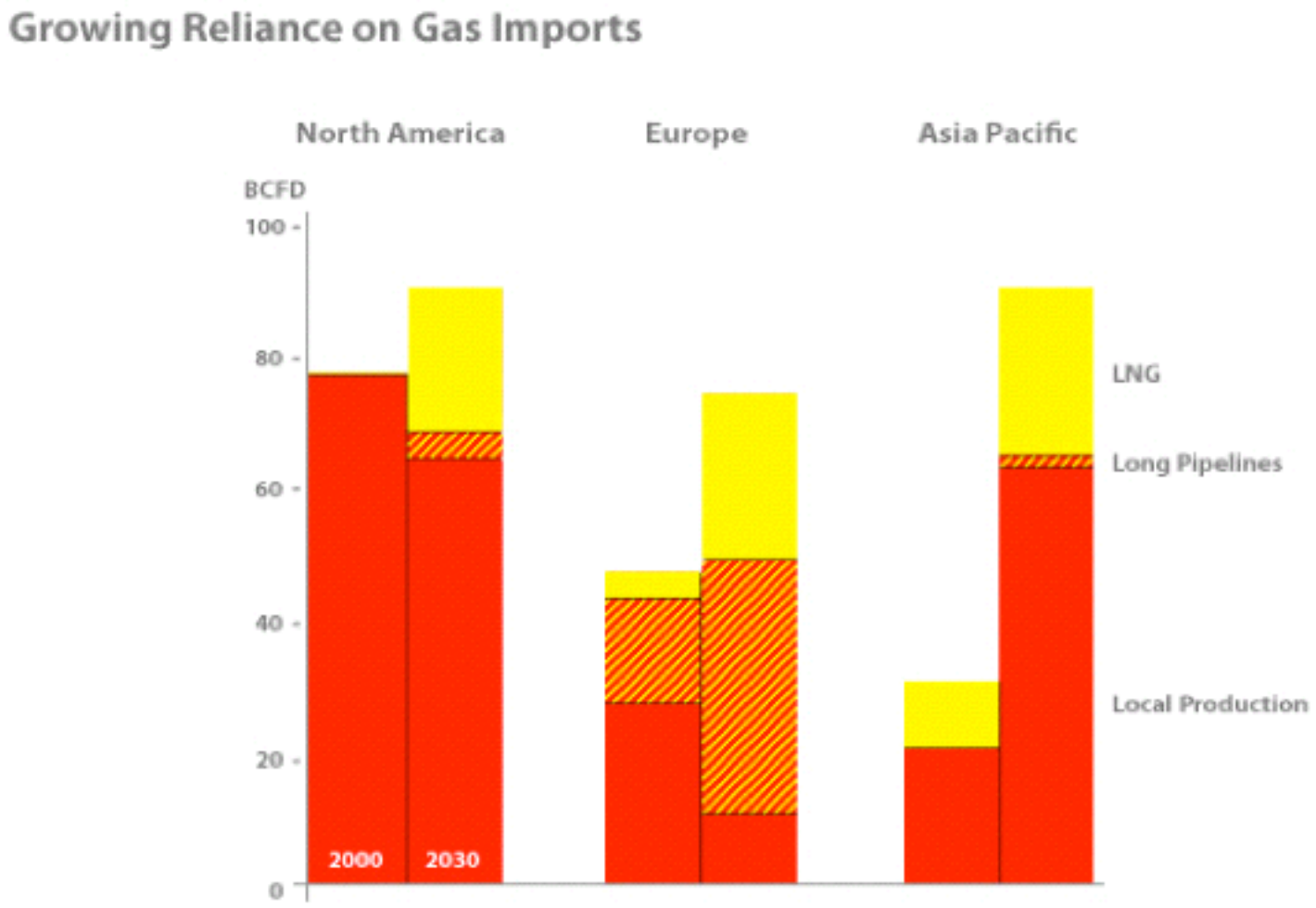
Russie: Khalimov (vice ministre du pétrole) a présenté la classification russe en 1979, mais en 1993 il l'a qualifié de *grossièrement exagérée*; et il faut corriger de 30% les données russes pour obtenir les valeurs espérées (2P).
Cedigaz a déclaré que les réserves Gazprom déclarées à 28 T.m3 ont été certifiées à seulement 18 T.m3 par De Golyer.
La courbe d'écrémage pour l'ex-URSS après une correction à des valeurs 2P suggère un ultime de 2000 Tcf
Figure 30: ex-URSS: production annuelle de gaz avec modèle pour un ultime de 2000 Tcf



Poutine voudrait devenir le patron de Gazprom (qui finance le pays), quand il quittera la présidence de la Russie!
La production de gaz ex-URSS doit atteindre son pic vers 2015 et ne pourra pas satisfaire les besoins de l'Europe.
Le champ de Shtokman (10 fois Lacq) pourrait alimenter les US!
L'Europe va manquer de gaz très vite après les US! Il va y avoir compétition entre US et Europe sur le liquéfié!

Exxon-Mobil dans ses prévisions 2005 montre l'importance des importations entre 2000 et 2030 pour l'Amérique du Nord et pour l'Europe, confirmant nos doutes

Figure 31: Prévisions Exxon-Mobil sur les besoins d'importation du gaz



-**Hydrates océaniques**

Durant le premier choc pétrolier, les hydrocarbures non conventionnels ont été recherchés et dans les années 70 et des volumes considérables de méthane étaient estimées exister dissous dans les aquifères à haute pression (35000 Tcf en Russie, 5000 Tcf dans le Golfe du Mexique (Bonham 1978). Des pilotes aux US ont malheureusement montré l'aspect non économique et polluant et l'on ne parle plus des aquifères, car ils ont été remplacés par un nouveau mythe.

Sur son site Schlumberger publie un Livre Blanc sur le gaz non conventionnel où il est écrit page 8: <<*Rough estimates of hydrates resources exceed 60 million Tcf or almost 5000 times the conventional gas resources*<< L'USGS estime 336 000 Tcf d'hydrates aux US. Ceci correspond à des rêves de certains!

Les hydrates de méthane se forme lorsque la température est basse et la pression élevée. On les a trouvés d'abord dans les pipelines et ils sont une nuisance très importante nécessitant l'utilisation soit de racloirs soit de solvants (méthanol). Ils ont été découverts par les Russes en 1964 dans le permafrost (champ de Messoyakah en Sibérie), puis dans les sédiments océaniques en 1977 quand le fond de la mer est supérieur à 600-1000 m où les conditions de pression et de température correspondent à la zone de stabilité des hydrates de méthane. De tous les forages océaniques JOIDES-OPD (il y en a eu des milliers) seulement 3 ont trouvé des hydrates massifs de plus de 15 cm. Mais si un puits au site 997 du leg 164 sur le Blake Plateau au large de la Caroline a récupéré 15 cm, un autre puits foré à 15 m de distance n'a rien retrouvé.

Les hydrates océaniques sont très dispersés et très hétérogènes en épaisseur et étendue.

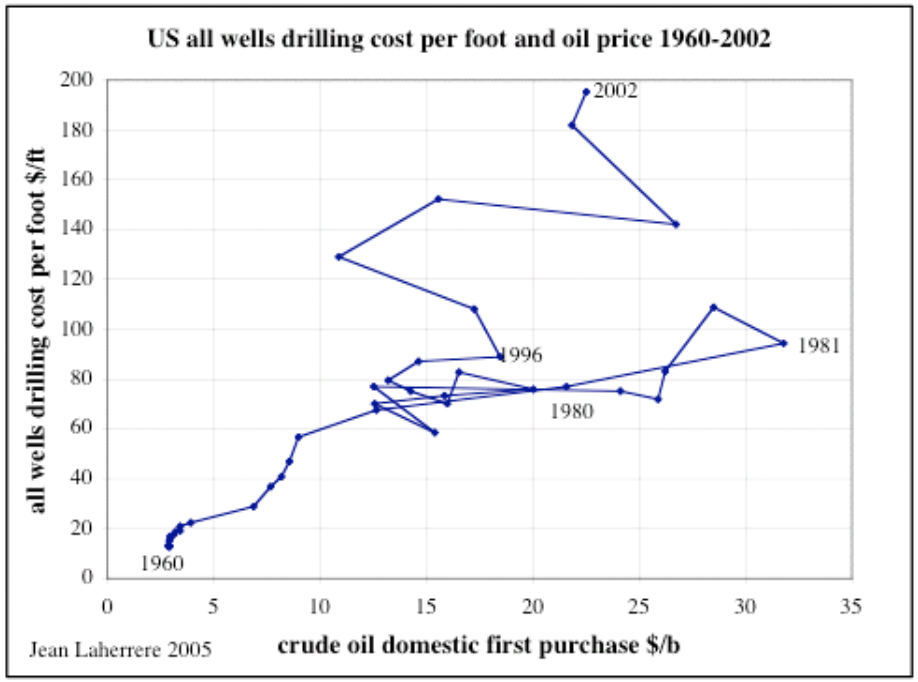
Le Japon a foré en 1999 plusieurs puits par 925 m d'eau en offshore de Nankai pour étudier les hydrates vus par sismique, mais les puits n'ont pas récupéré d'hydrates dans les carottes. Il sont donc partis carotter des hydrates dans le permafrost canadien (Mallick) connus depuis 30 ans où des essais de production avec de la vapeur a produit 1500 m3/d (volume considéré comme sec dans un puits d'exploration frontière). En 2004 ils sont revenus forer plus de 30 puits à Nankai mais les résultats ne sont toujours pas publiés. Les pétroliers ont forés dans le Golfe du Mexique en 2004 pour étudier les hydrates (nuisance en forage) et ils ont en peu trouvé. Le forage Hot Ice 1 foré en 2004 dans le permafrost du North Slope Alaska n'a pas trouvé d'hydrates.

Les hydrates de méthane océaniques sont donc **trop dispersés** (comme les feux follets qui sont du méthane ou les gaz des ruminants, des rizières et des termites) pour pouvoir espérer un jour obtenir une production économique et leurs réserves peuvent donc être considérées comme nulles.

Des études scientifiques ont montré cependant le **potentiel d'un transport économique du gaz naturel**, non pas sous forme liquéfiée à très basse température, mais **sous forme d'hydrate** à température proche de 0°C.

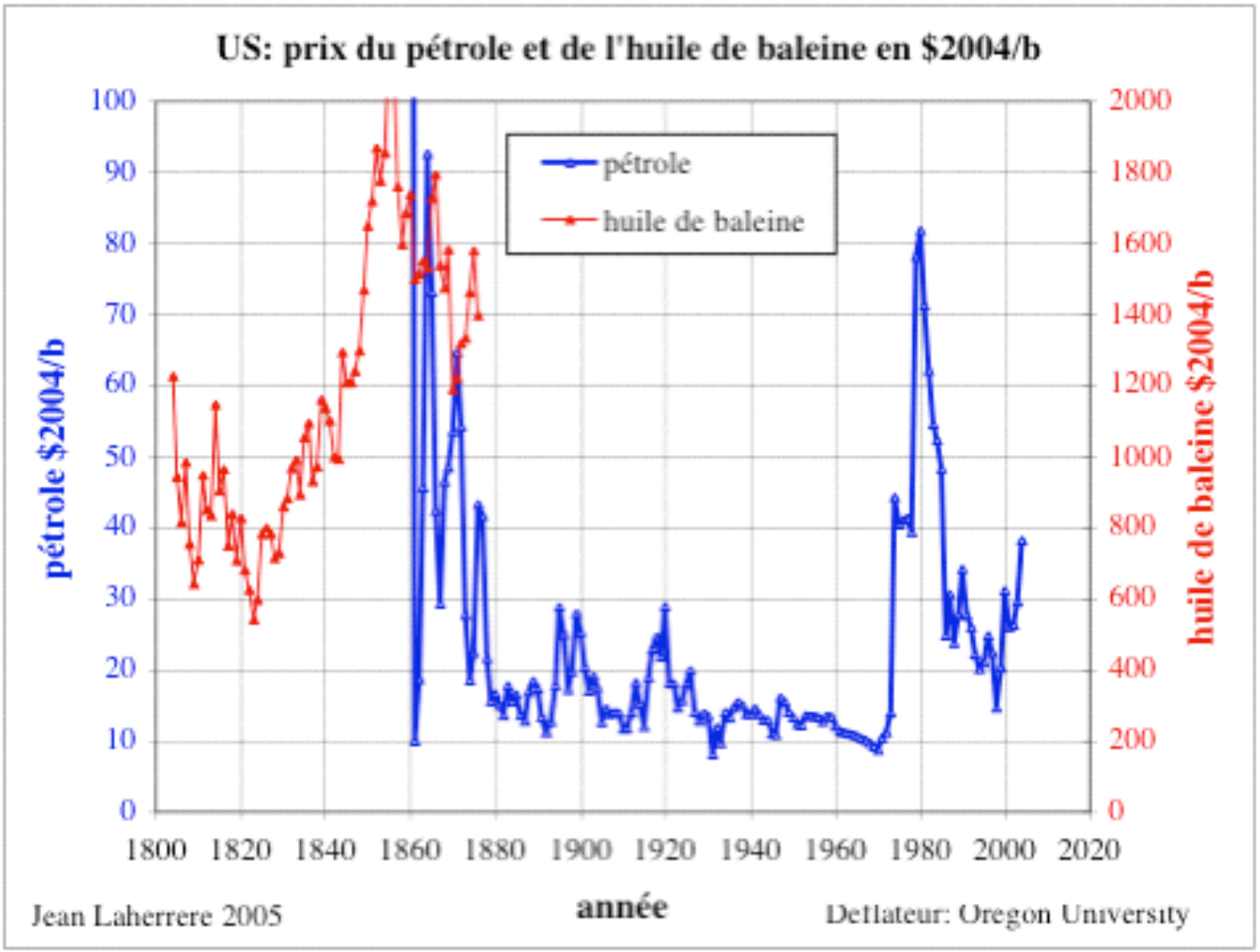
-Coût du pétrole et du gaz

Les analystes financiers aiment bien calculer le coût en $/b pour comparer les compagnies, mais ce coût est très artificiel.
Le seul coût qui compte est le point neutre par compagnie, c'est le prix qui rend les projets négatifs. Le point neutre actuel est de 25 $/b pour Shell (il était 21 $/b, il y a 2 ans) et de 21 $/b pour Total (il était de 17 $/b, il y a peu).
Certains parlent d'un coût de 1 $/b pour le pétrole saoudien. L'Arabie Saoudite est possédée par la famille de Saud qui a pour principale activité la vente du pétrole. Le budget du pays est négatif quand le pétrole est à moins de 20 $/b. Le coût du pétrole saoudien est donc de 20 $/b. Le budget du Kowait est négatif à moins de 25 $/b.
Le seul coût qui est vrai est le coût de développement par baril par jour de capacité maximum, car le développement est fait en un an ou deux avec un coût connu et une capacité maximum connue. Il est de l'ordre de 1000 $/b/d à terre, de 5000 $/b/d en mer, de 10 000 $/b/d en offshore profond, de 30 000 à 40 000 $/b/d pour les sables bitumineux et les huiles extra-lourdes et de 50 000 $/b/d pour le GTL (gas-to-liquid où la conversion est de 60% d'où 1 bep = 10 kcf) et le CTL (coal-to-liquid).
Les économistes ne parlent que du coût et du prix, mais il faut regarder l'énergie investie par rapport à l'énergie produite (EROEI= energy returned on energy invested). Le coût des opérations d'exploration et de forage est très lié au prix du brut.
Figure 32: **coût du pied foré aux US en fonction du prix du brut 1960-2002**



Prix du brut

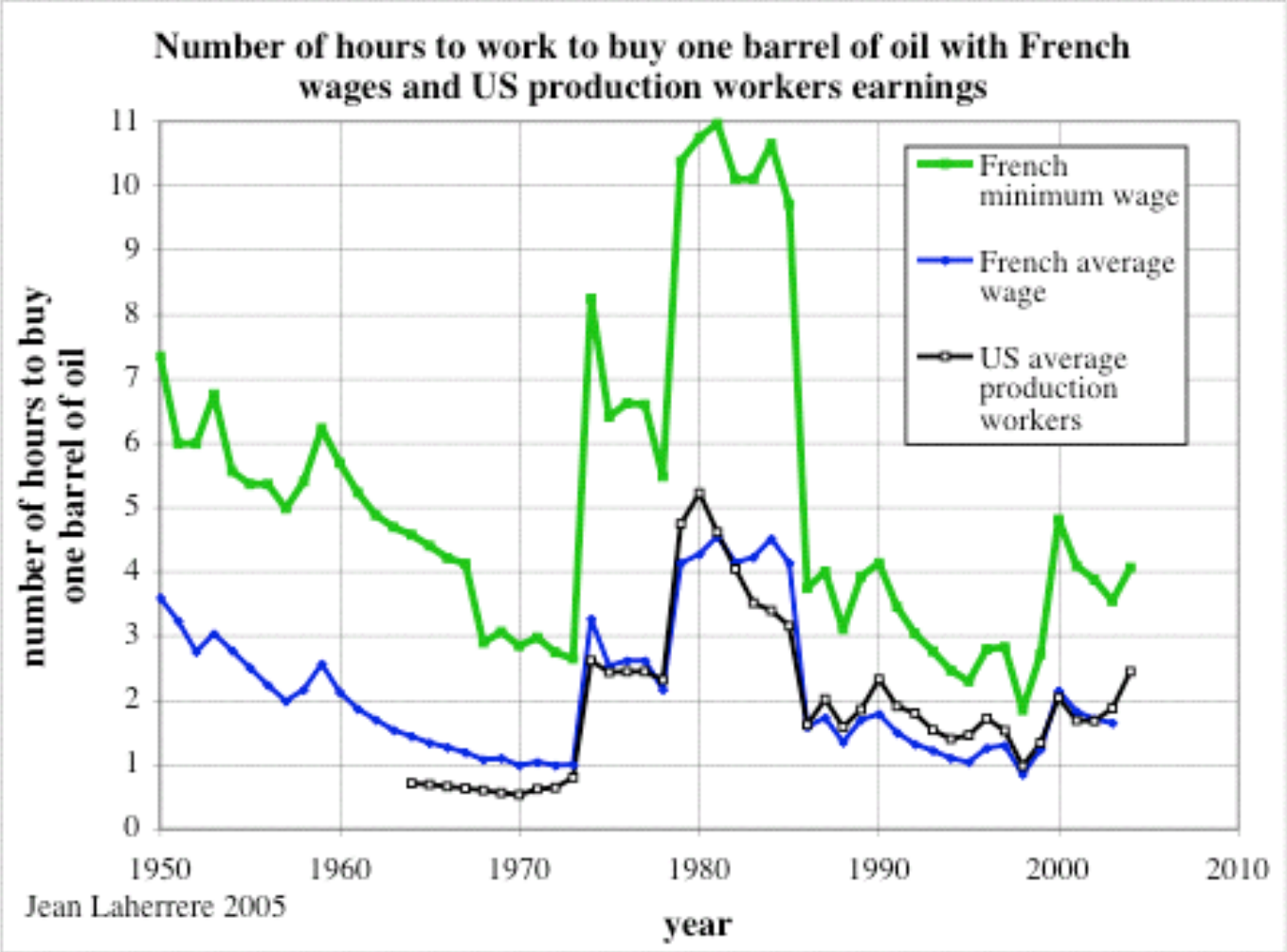
Figure 33: Prix l'huile de baleine et du pétrole en $ d'aujourd'hui 1800-2004



Le pétrole était bien plus cher que maintenant en 1980 et 1860, alors que l'**huile de baleine valait 2000 $2004/b en 1855** !

Il fallait travailler 7 heures au SMIC en 1950 pour se payer un baril de pétrole, 3 heures en 1973, 11 heures en 1981, 2 heures en 1998 et 4 heures en 2004

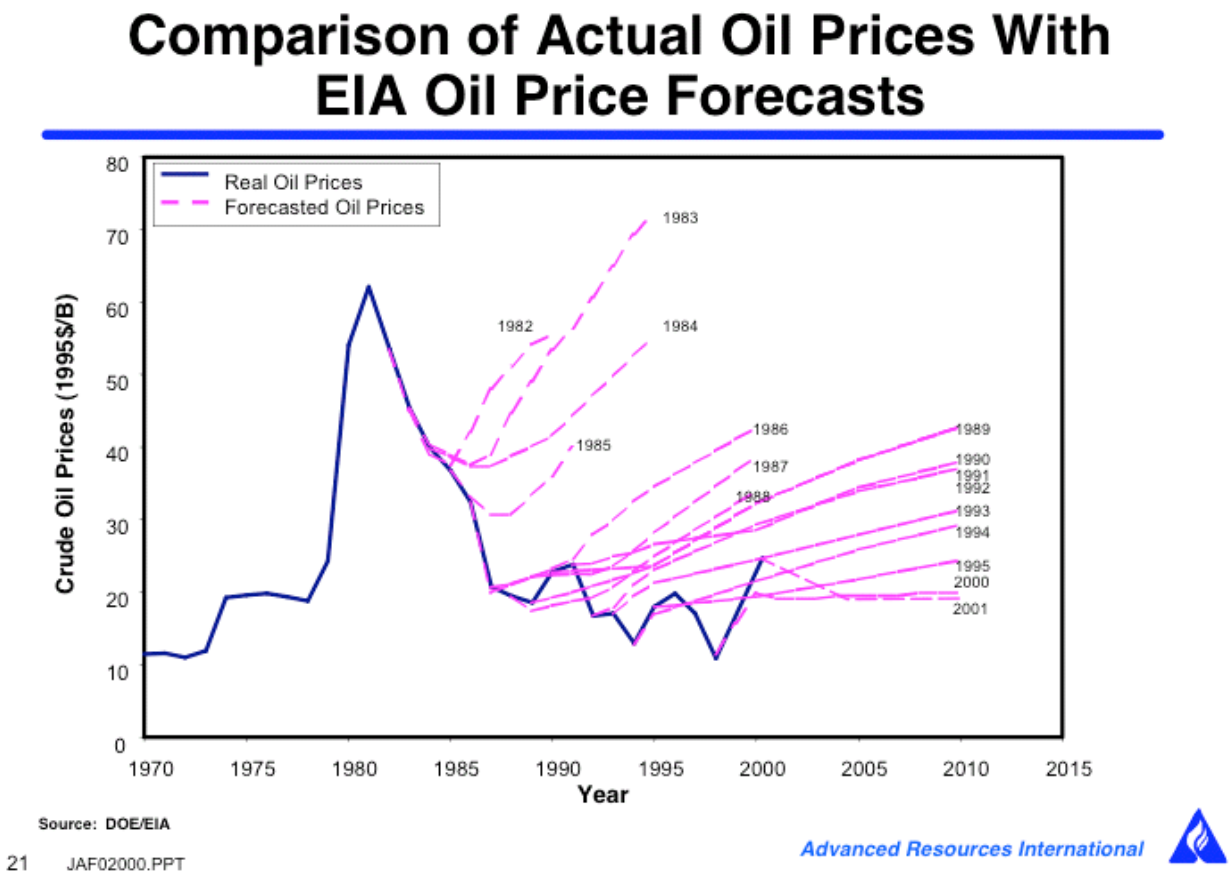
Figure 34: **Nombres d'heures qu'il faut travailler pour s'acheter un baril de pétrole**



Il est surprenant de constater que le nombre d'heures travaillés est identique aux US et en France mais au US on travaille 2000 heures par an, alors qu'en France on travaille seulement 1600 heures !

Actuellement il faudrait que le baril soit à 100 $ pour travailler autant qu'en 1981

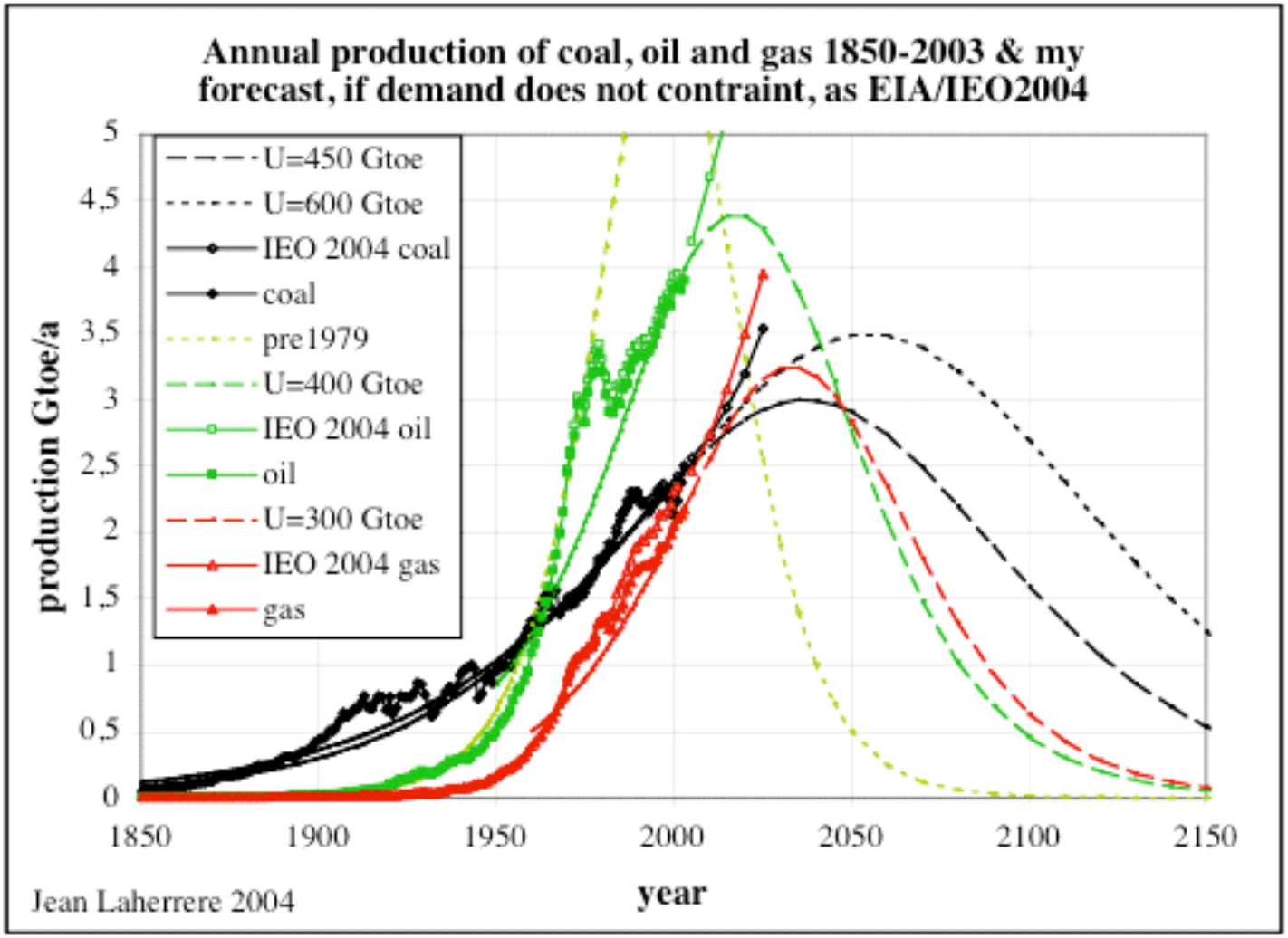
-Prévisions du prix du pétrole:
Je me refuse à faire des prévisions sur les prix (sauf pour une fourchette 20-100 $/b), car ils sont trop irrationnels.
Figure 35: **Prévisions USDOE du prix du pétrole 1982-2001 comparées à la réalité 1970-2010**



Les prévisions du prix du pétrole sont toujours fausses. USDOE et AIE prédisent 25 $/b en 2030!
L'OPEP vient de changer sa cible, passant de 25 $/b à 50 $/b, ayant constaté que, malgré leurs craintes, ce prix ne fait pas baisser la demande, ni augmenter la production des renouvelables, ni fléchir l'économie américaine où ils ont leurs économies.
Bauquis (2004) souhaite un nouveau choc pétrolier avec 100 $/b en 2020 pour permettre aux renouvelables et aux économies d'énergie de résoudre le déficit en énergie qui arrivera en 2050.

-Production des combustibles fossiles

Figure 36: Production mondiale 1850-2150 de charbon, pétrole et gaz avec modèles d'Hubbert (sans contrainte de la demande) pour des **ultimes de: 400 Gt pétrole, 300 Gtep gaz, 450 & 600 Gtep charbon** et prévisions USDOE 2004

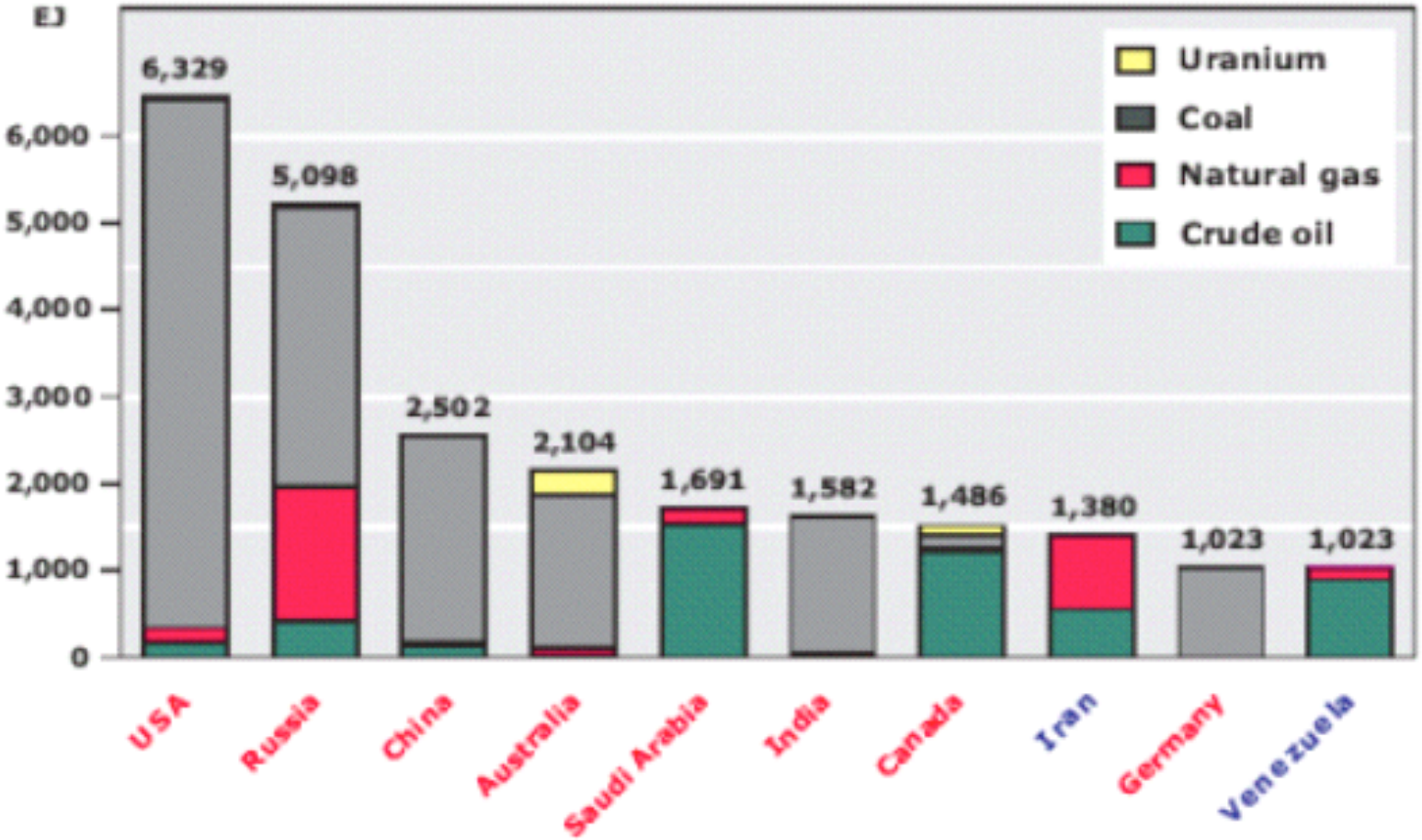


Les prévisions USDOE et AIE sont toujours des croissances linéaires! Ces organismes officiels sont incapables de faire des prévisions globales qui vont jusqu'à l'épuisement des réserves connues !

-Ressources Combustibles fossiles et uranium

BGR (Bureau de Géosciences en Allemagne) est le seul organisme à réaliser un inventaire complet des ressources.

Figure 37: **Réserves restantes de combustibles fossiles et uranium en 2001 pour les 10 pays les plus riches** d'après le BGR



-Evaluation des Ressources

Les réserves restantes ont été estimées en 1997 et 2001 par le BGR en Gtep

BGR- Germany	**reserves**		**resources**	
estimate year	**1997**	**2001**	**1997**	**2001**
conventional oil	151	152	76	84
non-conventional oil	134	66	574	250
conventional natural gas	116	122	172	165
non-conventional gas	2	2	2458	1163
hard coal	341	423	3519	2486
soft brown coal	50	47	763	292
uranium	24	15	179	174
thorium	22	22	23	23

Diminution importante du non-conventionnel de 1997 à 2001

Le BGR est le seul organisme mondial qui fait une étude sérieuse des ressources mondiales.

Le CME (WEC) ne fait que la compilation des études nationales qui sont trop hétérogènes pour faire l'addition!

-**Ressources et production d'uranium**

Le coût du combustible dans l'électricité nucléaire est de l'ordre de 10%, donc un coût élevé peut être toléré. Contrairement au pétrole (oil is liquid) ou la concentration est 100% ou rien, les accumulations d'uranium ont une concentration variant de 0,003 ppm pour l'eau de mer, 4 ppm dans le granite, 1000 ppm pour les gisements pauvres (0,1% U) à 20 000 ppm dans les gisements riches (2% U).

Les ressources sont de 4 Gt dans les océans, 20 Mt dans les gisements non-conventionnel (dont phosphates), 15 Mt de réserves ultimes conventionnel.

Les réserves « connues» sont (AIEE 2003) de 3,5 Mt réparties en %, ainsi que les production 2004

	% réserves	% production
Australie	30	22
Kazakhstan	17	9
Canada	12	29
Afrique du Sud	8	2
Namibie	6	8
Brésil	4	1
Russie	4	8
US	3	2
Uzbekistan	3	5

Les réacteurs actuels n'utilisent que l'U 235 fissible qui ne représente que 0,7% de l'U (99,3 % U 238)

Les réacteurs à neutrons rapides ou les réacteurs hybrides permettraient d'utiliser tout l'uranium ainsi que le thorium plus abondant que l'uranium, changeant complètement le rapport R/P

Il est important de savoir le plus tôt possible quelles sont les possibilités des réacteurs de la 4e génération pour faire sauter le verrou actuel de ressources limitées

-Alternative au pétrole

-Hydrogène

Certains (dont Bush, Rifkin, Yamani) pensent que l'hydrogène va remplacer le pétrole.
Si la pierre taillée a été remplacée par une meilleure alternative à savoir le fer et le bronze (et non par manque de silex), il semble qu'il n'y a pas d'alternative en volume suffisant pour remplacer le pétrole surtout dans les transports. L'hydrogène n'est pas une énergie, mais un vecteur comme l'électricité et doit être fabriqué (actuellement surtout à partir du gaz).
L'hydrogène a un passé industriel qui montre sa mauvaise performance dans les transports puisque la première voiture a moteur à combustion interne a fonctionné avec de l'hydrogène en 1805 (Isaac de Rivaz). L'hydrogène est fabriqué en quantité importante (un sixième du gaz naturel en volume) surtout pour les engrais (50%) et les raffineries (alléger les lourds faisant en sorte du GTL gas to liquid). L'hydrogène présente trop de problèmes non résolus de stockage et de transport pour être utilisé directement dans les voitures.

-Biomasse

L'éthanol à partir du mais a une énergie nette négative (Pimentel, Patzek 2004) ou faible d'après l'USDA. Il ne faut pas espérer trop des biocarburants quand on supprimera les subventions. Pourtant en 1925 Henri Ford prétendait que le combustible du futur était l'éthanol surtout en provenance de la biomasse "*There's enough alcohol in one year's yield of an acre of potatoes to drive the machinery necessary to cultivate the fields for a hundred years*" (Kovarik 1998). C'était aussi le carburant du futur pour Charles Kettering le patron de General Motors. Mais le pétrole a balayé l'alcool aux US. Le Brésil a poussé l'alcool à base de cannes à sucre avec un succès mitigé dans les années 80, mais qui est reparti en flèche avec les voitures flex.
Nous verrons plus loin que l'agriculture plafonne et ne pourra pas alimenter a la fois les hommes et aussi leurs réservoirs de voitures.

-Pétrole synthétique

Le pétrole est la source d'énergie la plus pratique et la plus concentré, d'où son succès dans les transports.
La seule alternative du pétrole semble donc être le pétrole synthétique (à partir de la biomasse, du gaz (GTL), du charbon (CTL) et de l'hydrogène des réacteurs nucléaires à haute température que l'on carbonise (Bauquis 1999, 2004), pourquoi pas à partir du CO2 que l'on veut séquestrer (Schwob 2005). De plus un pétrole synthétique ne demande aucun investissement de distribution.
Le thème de décarbonisation de l'énergie est une mauvaise direction. Notre alimentation est principalement constituée d'hydrates de carbone. La Nature est basée sur le carbone et l'eau.

-Energie primaire

-quelques chiffres d'énergie en Mtep

	date	énergie Mtep
volcan Tambora	1815	20 000
volcan Krakatoa	1883	24
volcan St Helene	1980	20
bombe Hiroshima	1945	0,003
production mondiale pétrole	2003	3 700
énergie primaire mondiale	2003	10 000

-la production énergétique n'inclut la plupart du temps que les énergies commerciales, alors que de nombreux pays dépendent beaucoup des énergies non-commerciales (difficiles à quantifier): bois, bouse de vache comme combustible et des animaux de trait pour le transport et l'agriculture. Les sociétés préhistoriques sont estimées avoir utilisé 0,3 tep par individu à comparer au 0,5 tep/hab pour l'Inde et 1,7 tep/hab pour le monde actuel.
En 1800 l'énergie primaire est estimée par Enerdata à 0,3 Gtep (biomasse 0,3 et charbon 0,007) alors que la population était de 1 G, soit donc 0,3 tep par habitant comme durant la préhistoire! Où est le progrès ? ou plutôt où sont les données fiables !

-Problème d'équivalence énergétique

Chaque énergie est convertie dans la même unité (Joule (PJ ou EJ) ou tonne équivalente pétrole = 42 GJ) et l'équivalence pour l'électricité nécessite une hypothèse sur le rendement de la production.
Le problème est que la **chaleur** (qui est mesurée aussi en Joule, puisque la calorie n'existe plus en théorie) **est, soit un but, soit une nuisance à éliminer**.
L'énergie d'une centrale à la sortie, donnée en kWh (soit des joules puisque la définition d'un watt est un joule par seconde), qui a un rendement de 33%, nécessite donc à l'entrée 3 fois plus de joules équivalent du pétrole. L'équivalence prise pour référence est celle de l'AIE, mais les hypothèses de rendement à savoir 33% pour nucléaire, 10% pour géothermie sont très discutables, le rendement de beaucoup de centrales est meilleur que 33%, Total prend 40% dans ses équivalences. Mais ces hypothèses discutables ne sont pas discutées car le consensus est si difficile à obtenir qu'il est préférable de ne pas discuter.

Ainsi avant 2000 la France avait ses propres critères, mais en 2001 l'Observatoire de l'Energie s'est aligné sur les conventions de l'AIE. Le changement a été spectaculaire, principalement pour l'énergie finale où le total a diminué de 232 Mtep à 175 Mtep et où le pourcentage du pétrole est passe de 40 % à 51%.
La presse a parlé de manipulation alors que c'est simplement une homogénéisation de conventions discutables

Consommation d'énergie primaire en 2001 (corrigée du climat)

	Nouvelle méthode		Ancienne méthode	
	Mtep	%	Mtep	%
Charbon	11,9	4,4	11,9	4,6
Pétrole	96,5	35,9	99,0	38.5
Gaz	37,2	13,8	37,2	14,5
Nucléaire	104,4	38,8	79,1	30,8
Hydraulique, éolien, photo volt.	6,8	2,5 .	17,7	6,9
Autres énergies renouvelables	12,2	4,5	12,1	4,7
Total	269,0	100	257,1	100

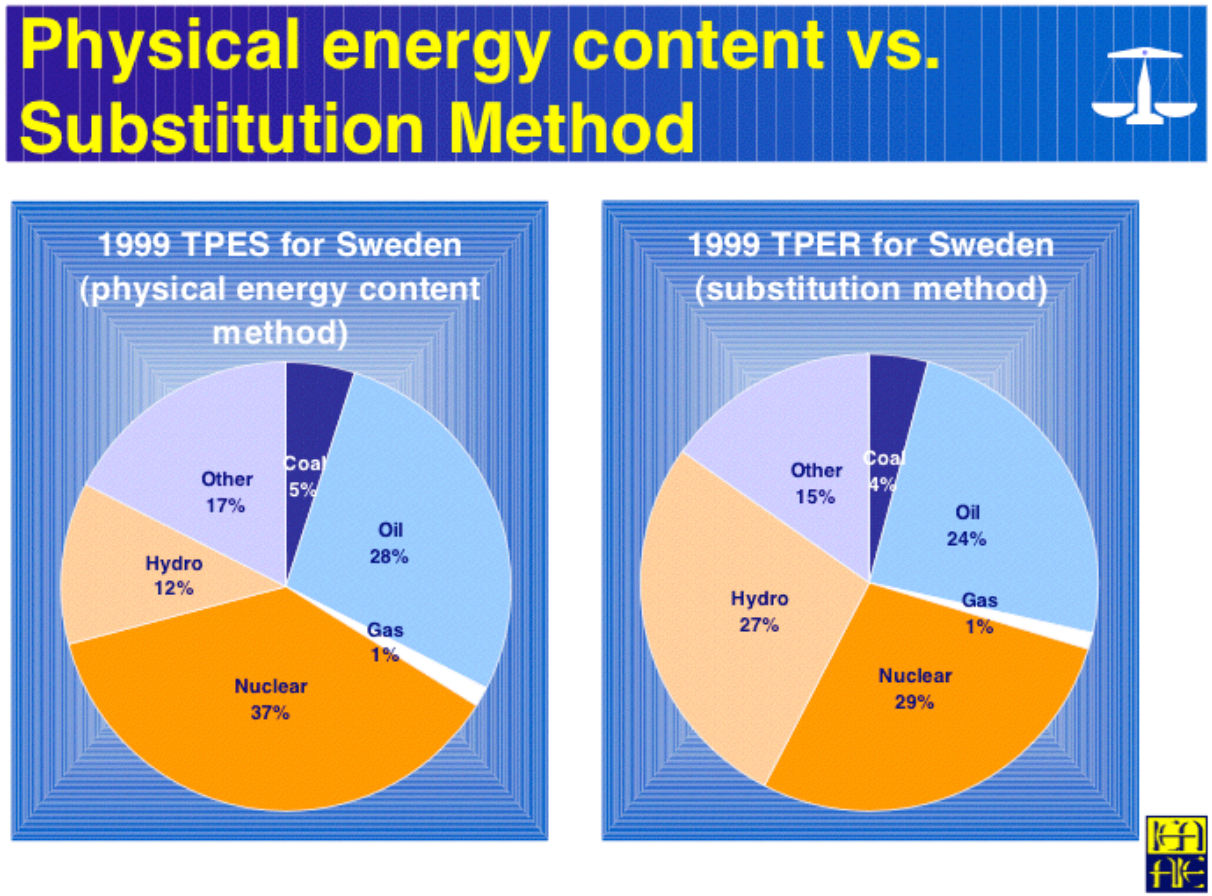
Consommation d'énergie finale en 2001 (corrigée du climat)

	Nouvelle méthode		Ancienne méthode	
	Mtep	%	Mtep	%
Charbon	6,8	3,9	6,8	2,9
Pétrole	89,9	51,3	92,4	39,8
Gaz	33,4	19,0	33,3	14,4
Electricité	34,4	19,6	88,9	38,3
Energies renouvelables thermiques	10,7	6,1	10,7	4,6
Total	175,1	100	232,1	100
dont non énergétique	16,6	9,5	16,7	7,2

malgré des différences considérables de plus de 50% on continue à mettre des décimales!

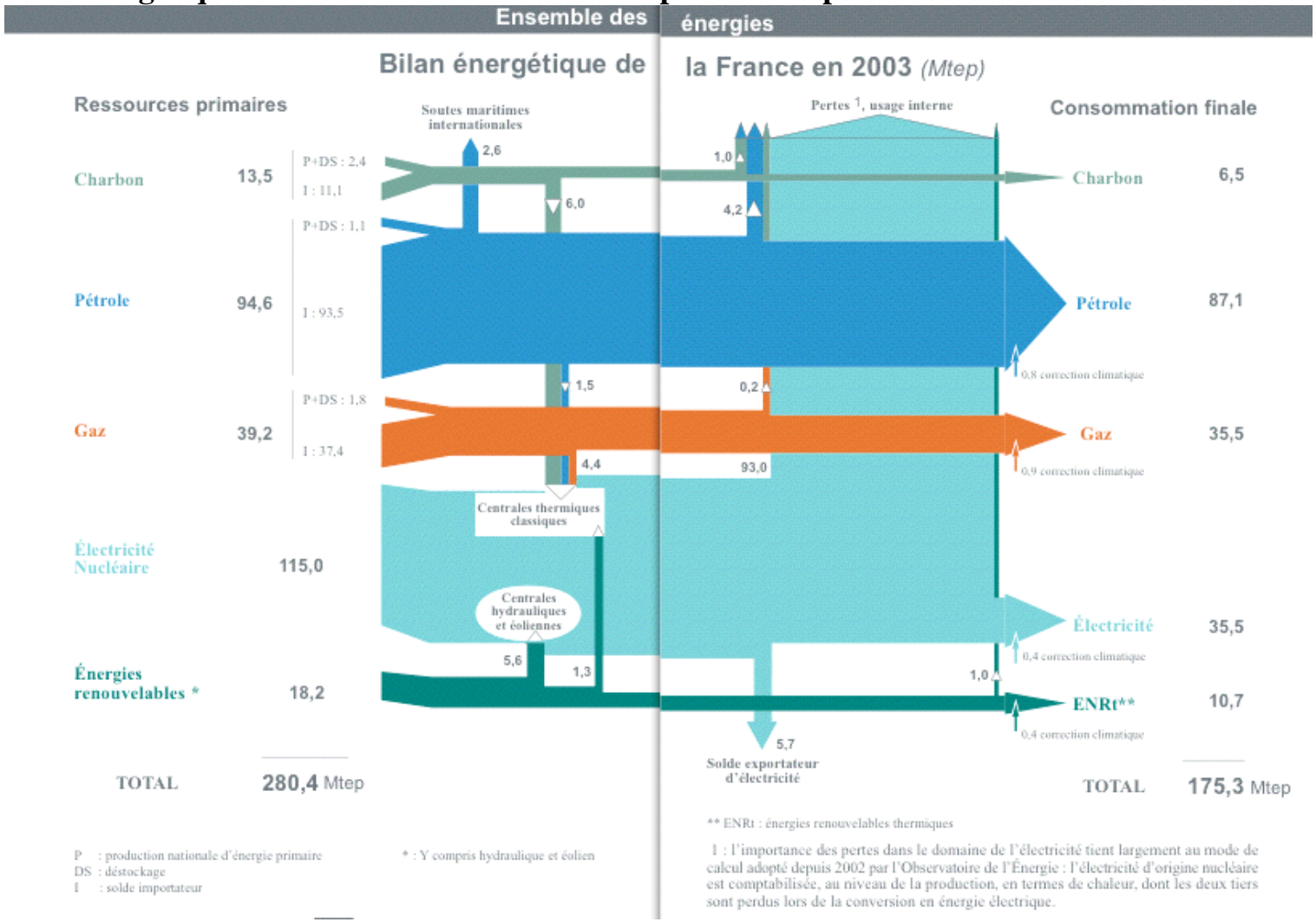
Treaton (2001) a comparé pour la Suède la méthode de substitution (énergie nécessaire dans une centrale thermique) et la méthode du contenu énergétique (énergie primaire de chaque source, nucléaire 33%, géothermie 10%, solaire, éolien 100 %)). La différence est aussi importante, le nucléaire passe de 37% à 29%.

Figure 38: Pourcentage d'énergie primaire en Suède suivant le modèle de contenu d'énergie physique et modèle de substitution



-**Energie primaire**

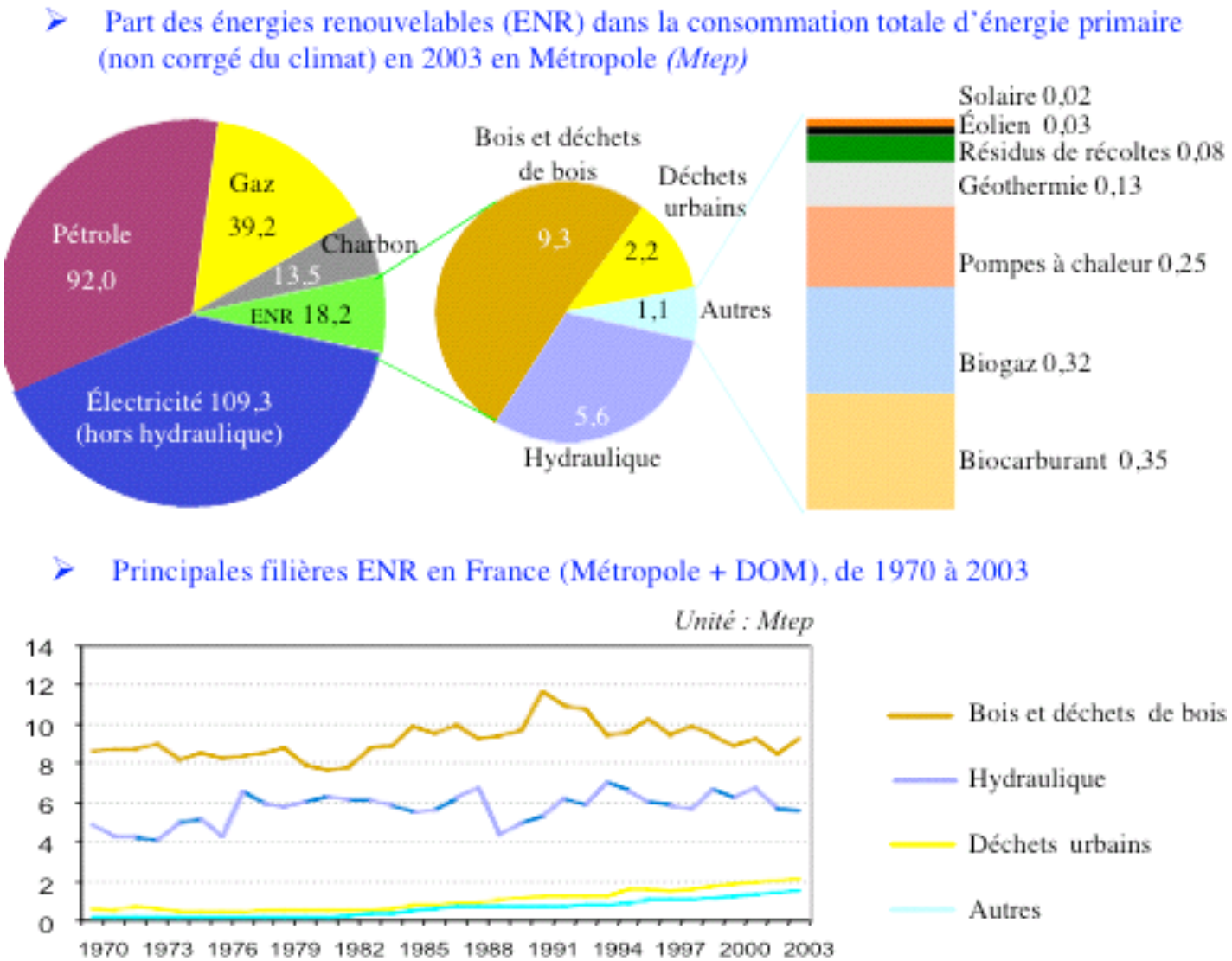
Figure 39: **flux énergétique en France en 2003 de 280 Mtep à 175 Mtep**



il est écrit en très petits caractères: 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”

-**Energies renouvelables en France: ENR ou EnR**

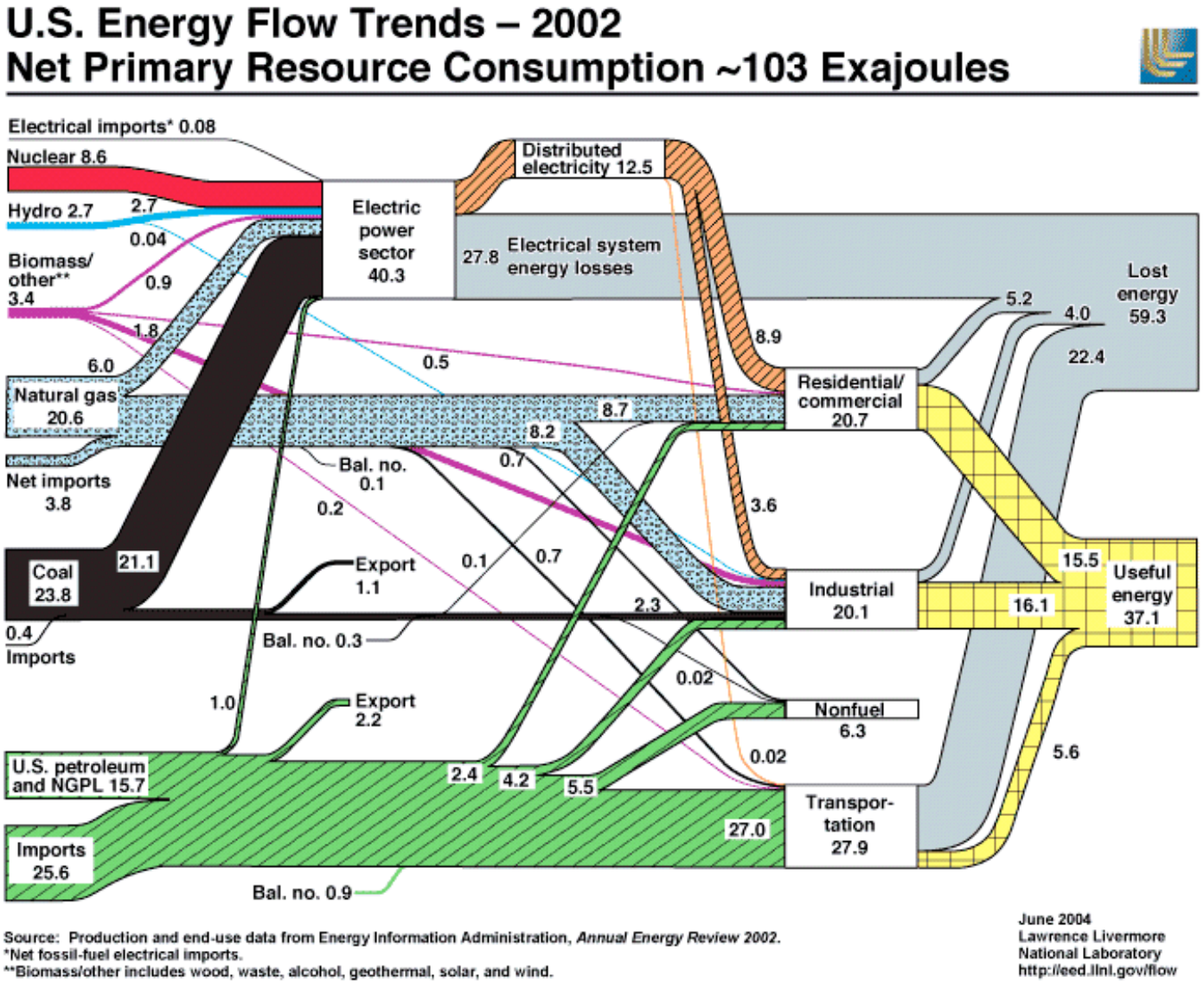
Figure 40: **Energie primaire en France avec détail du renouvelable d'après la DGEMP**



Le renouvelable *autres* reste négligeable par rapport aux bois, déchets et hydraulique.

Le graphique du flux de l'énergie aux EU montre la complexité de la consommation et la perte à la sortie: 62 % en moyenne, mais 80 % pour le transport et 70% pour la génération d'électricité. **Le potentiel d'économie est grand**!

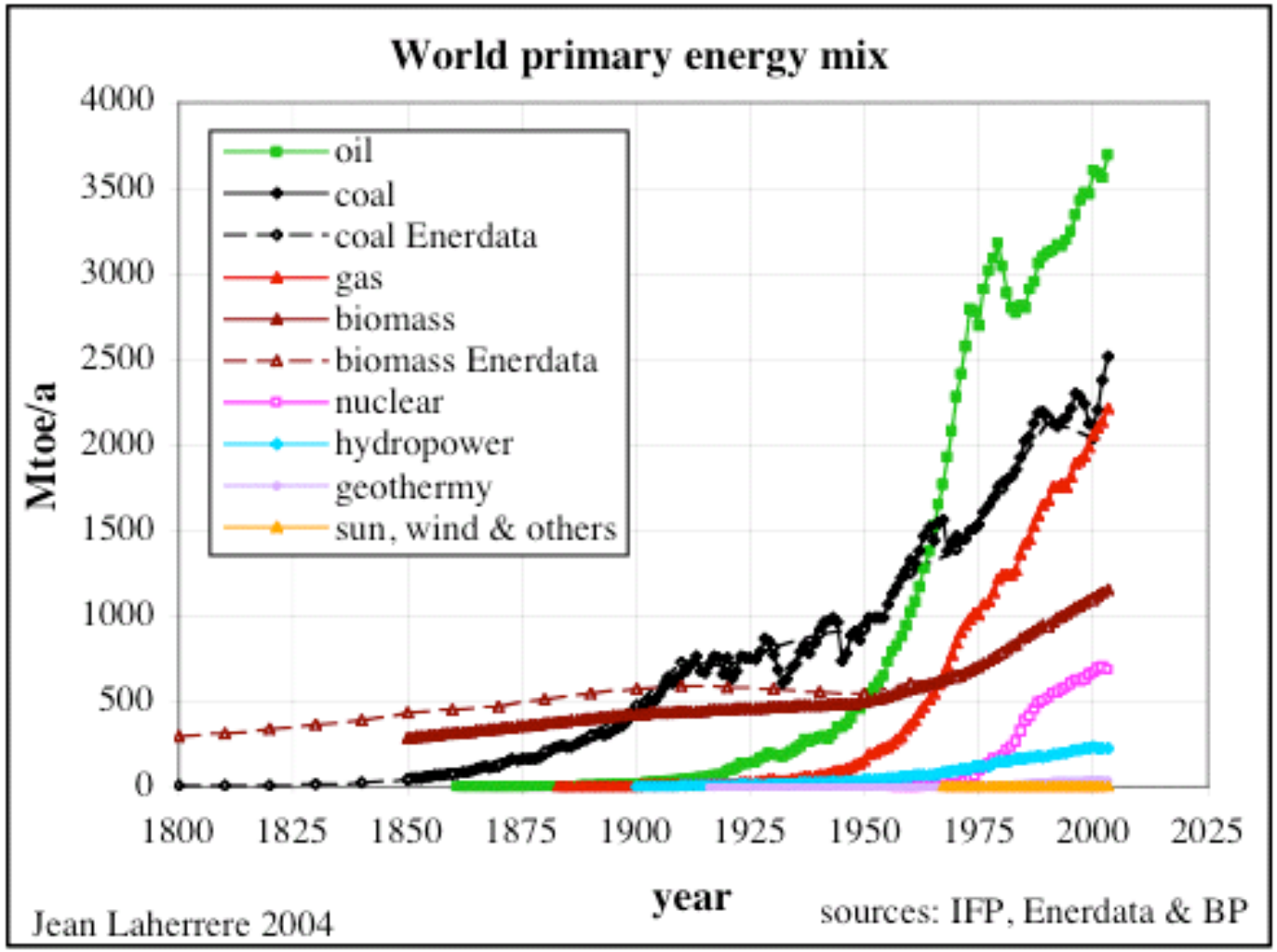
Figure 41: Flux de l'énergie primaire aux US 2002



-**Energie mondiale**

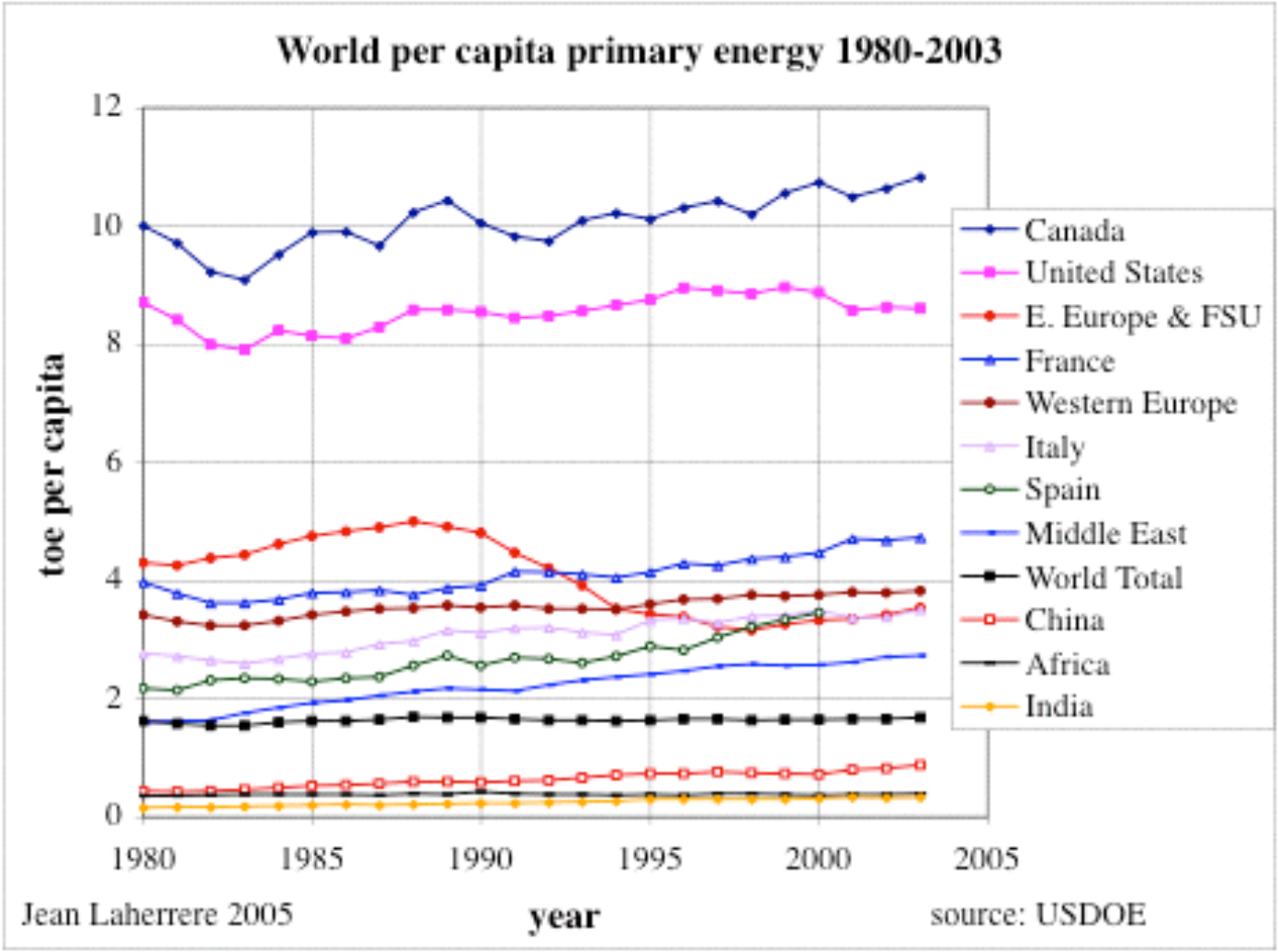
Les énergies non-commerciales sont mal mesurées et mal prises en compte.

Figure 42: **Energie primaire mondiale 1800-2003**



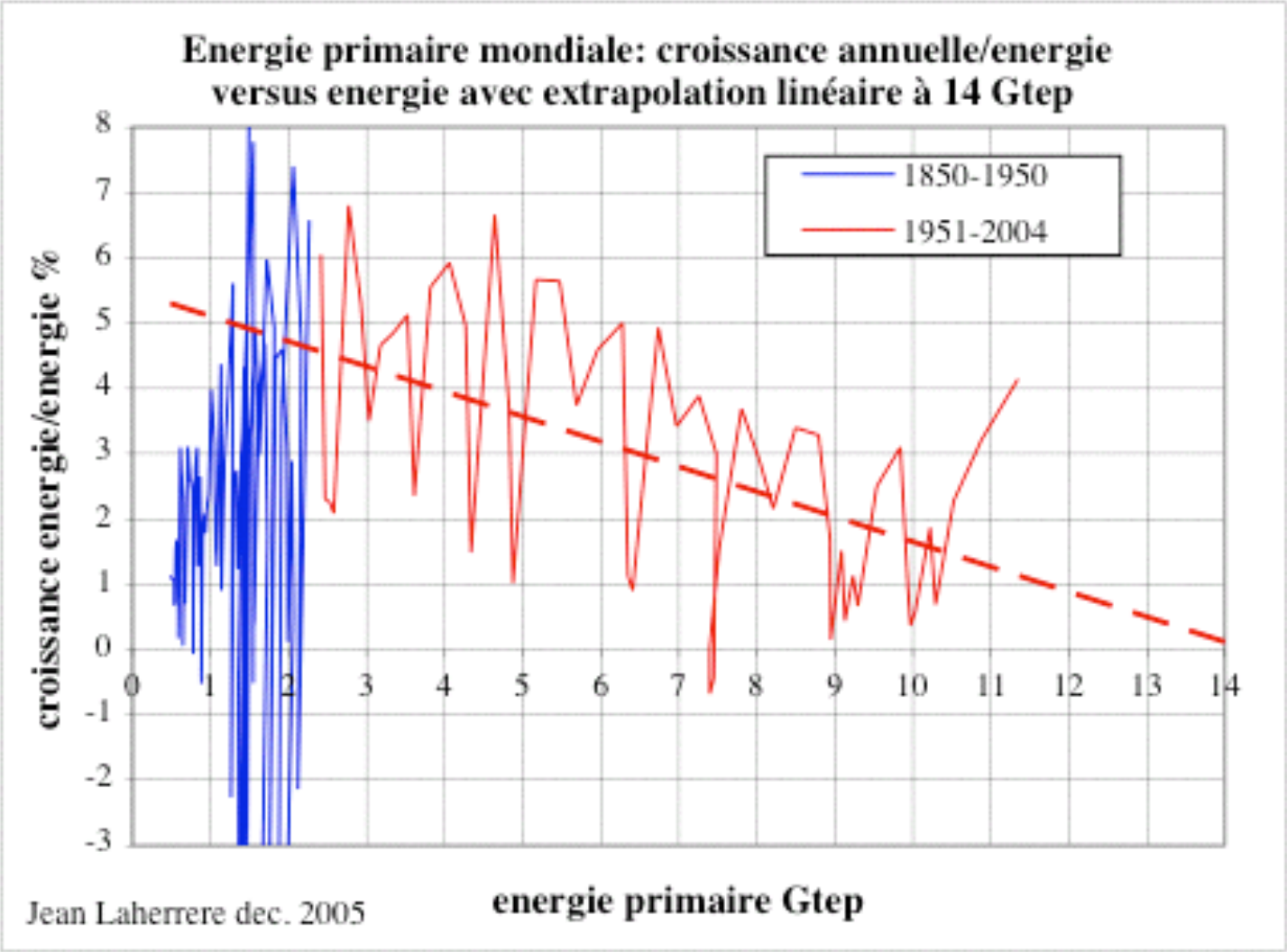
Les équivalences sont arbitraires et discutables mais une fois adoptées personne ne veut les changer !

Figure 43: **Energie primaire par habitant et par pays 1980-2003**



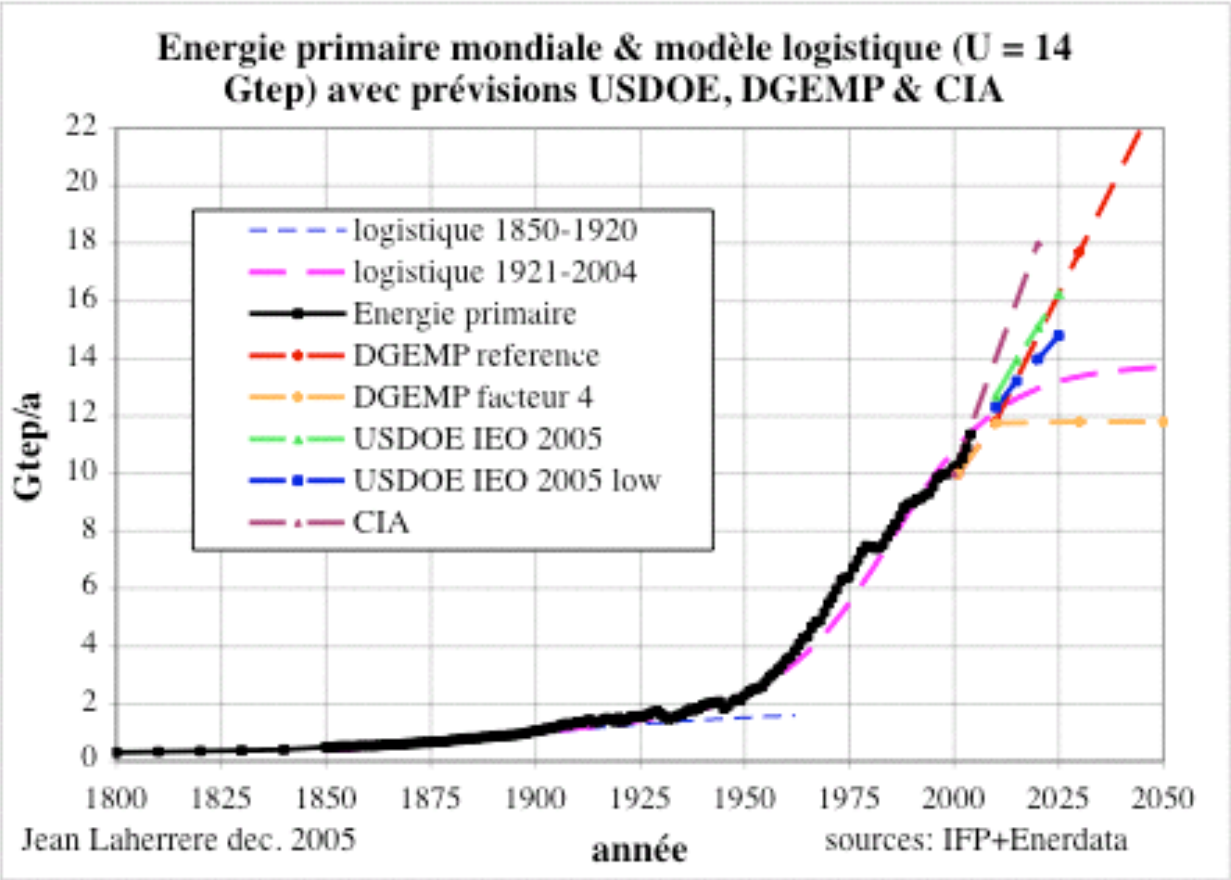
L'Indien était plus mal loti que l'Africain !

Figure 44: **Energie primaire mondiale : croissance annuelle/énergie versus énergie donnant un ultime à 14 Gtep**



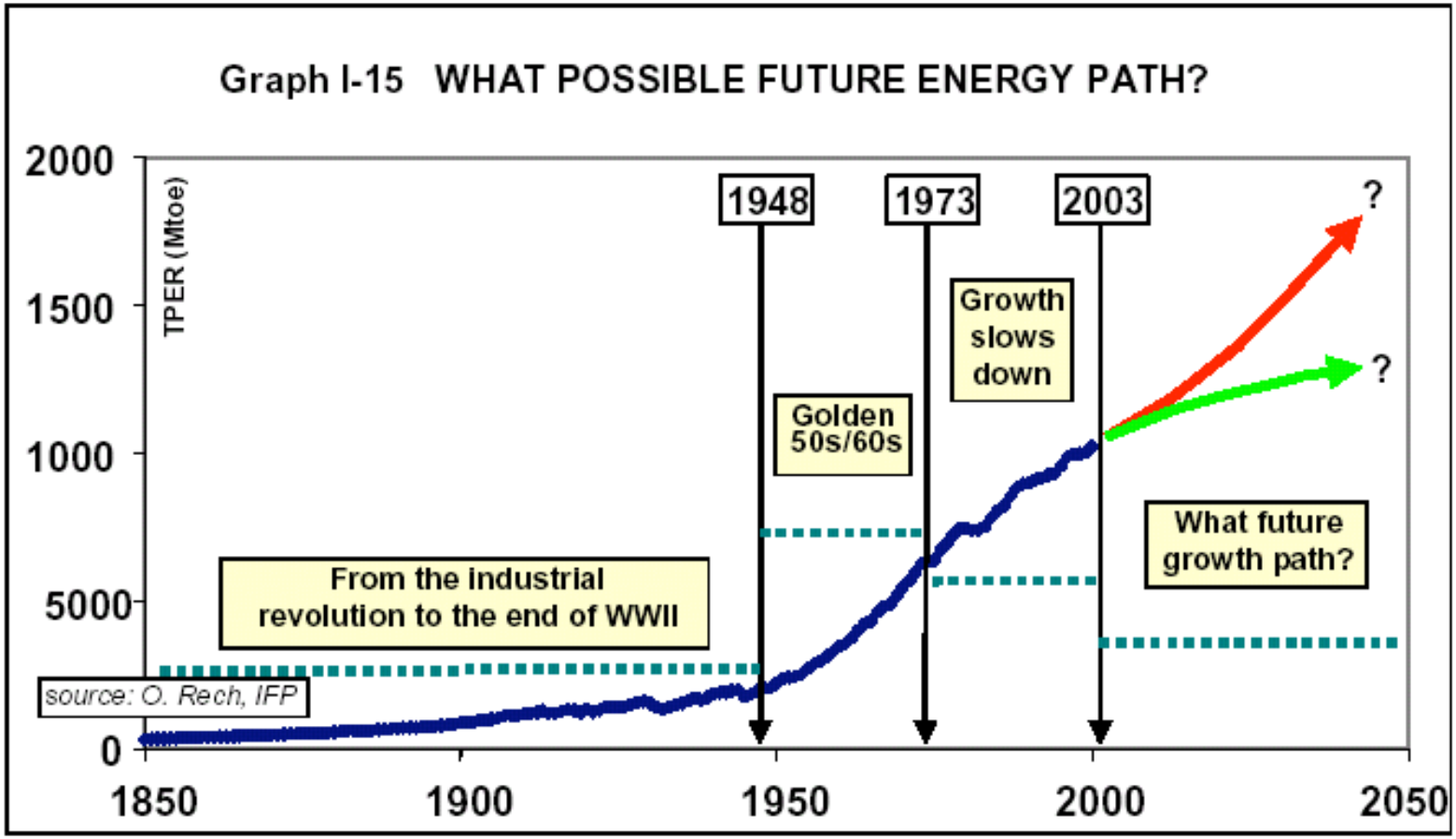
L'énergie primaire tend donc depuis 1950 vers une asymptote à 14 Gtep, les années 2003-2004 semblent hors norme avec la bulle chinoise!

Figure 45: **Energie primaire mondiale 1800-2050 avec modèle logistique U=14 Gtep et les prévisions DGEMP, USDOE et CIA**



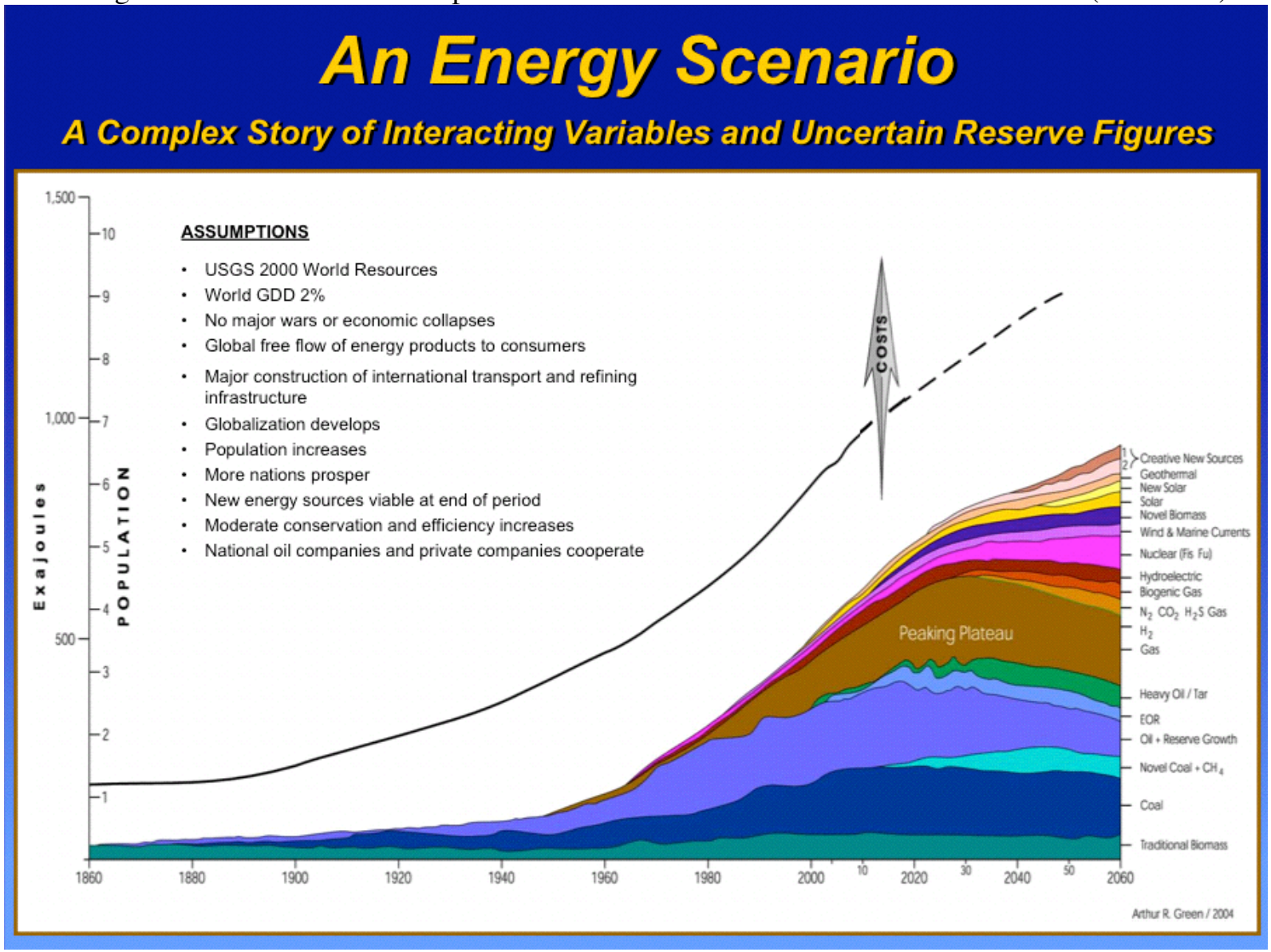
Le scénario DGEMP *facteur 4* semble plafonner trop rapidement, mais est plus réaliste que le scénario *référence*.
Les scénarios CIA prévoient 18 Gtep en 2020, ce qui semble croire au Pére Noël!

Figure 46: **Prévision 2003 du Conseil Mondial de l'Energie pour l'énergie primaire 1850-2050**



JM Bourdaire a montré le changement de concavité de l'énergie primaire après les 30 Glorieuses. Le schéma rouge correspond aux vœux des gouvernements qui pensent que la croissance «*is for ever*»

Figure 47: Energie mondiale 1860-2060 d'après A. Green Chief Geoscientist Exxon-Mobil 2004 (en retraite)



Avec une hypothèse de croissance du PIB à 2%/a, Green prévoit cependant un net changement de concavité de l'énergie primaire vers 2025. Ses hypothèses sont optimistes, mais pétrole, gaz et charbon ont un pic avant 2050!

Exxon-Mobil dans ses prévisions 2005 s'arrête à 2030, évitant comme l'AIE de représenter les pics en les reportant à plus tard. Mais Chevron est beaucoup moins optimiste sur son site www.willyoujoinus.com

Figure 48 : Prévisions Exxon-Mobil

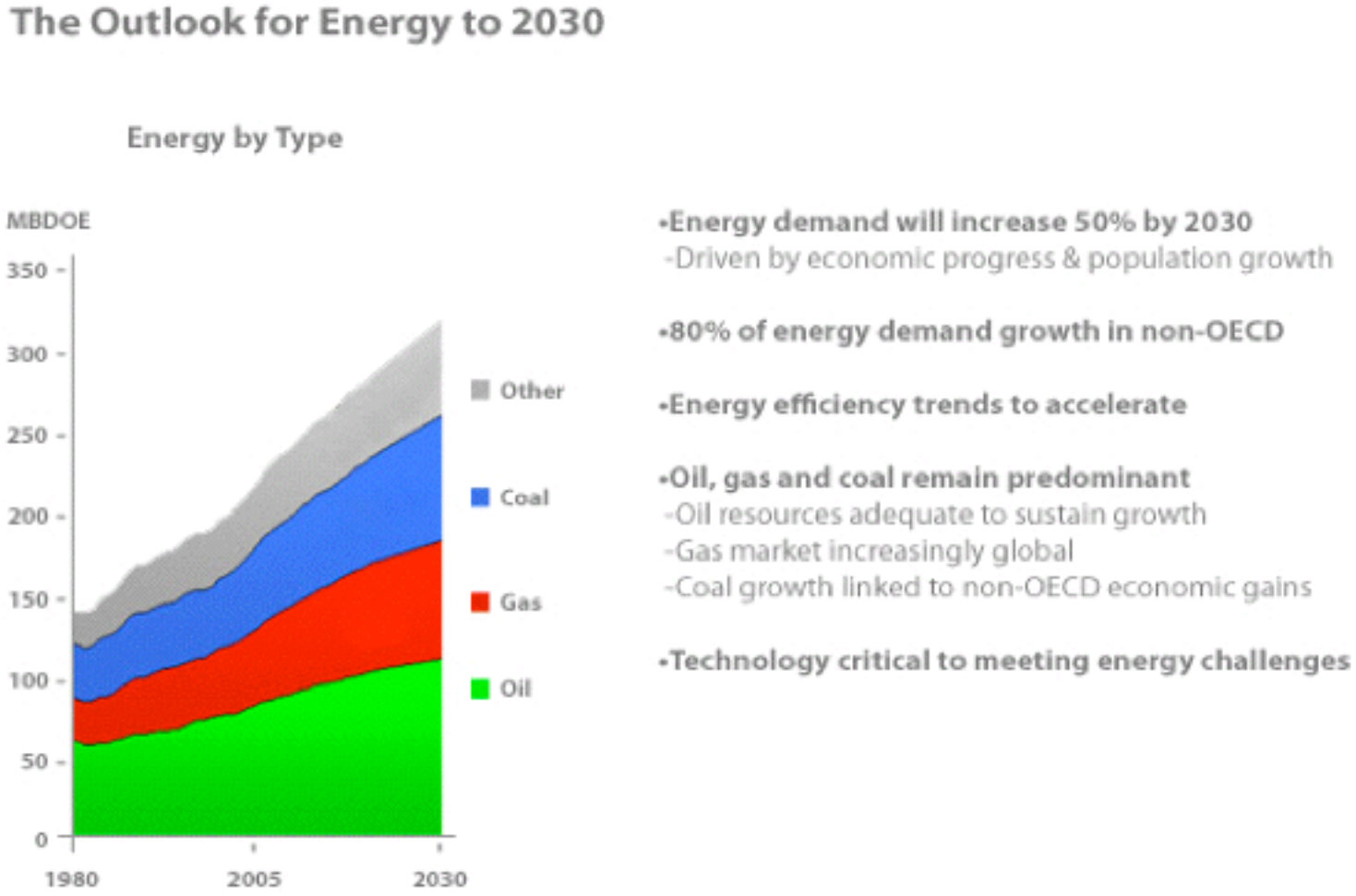
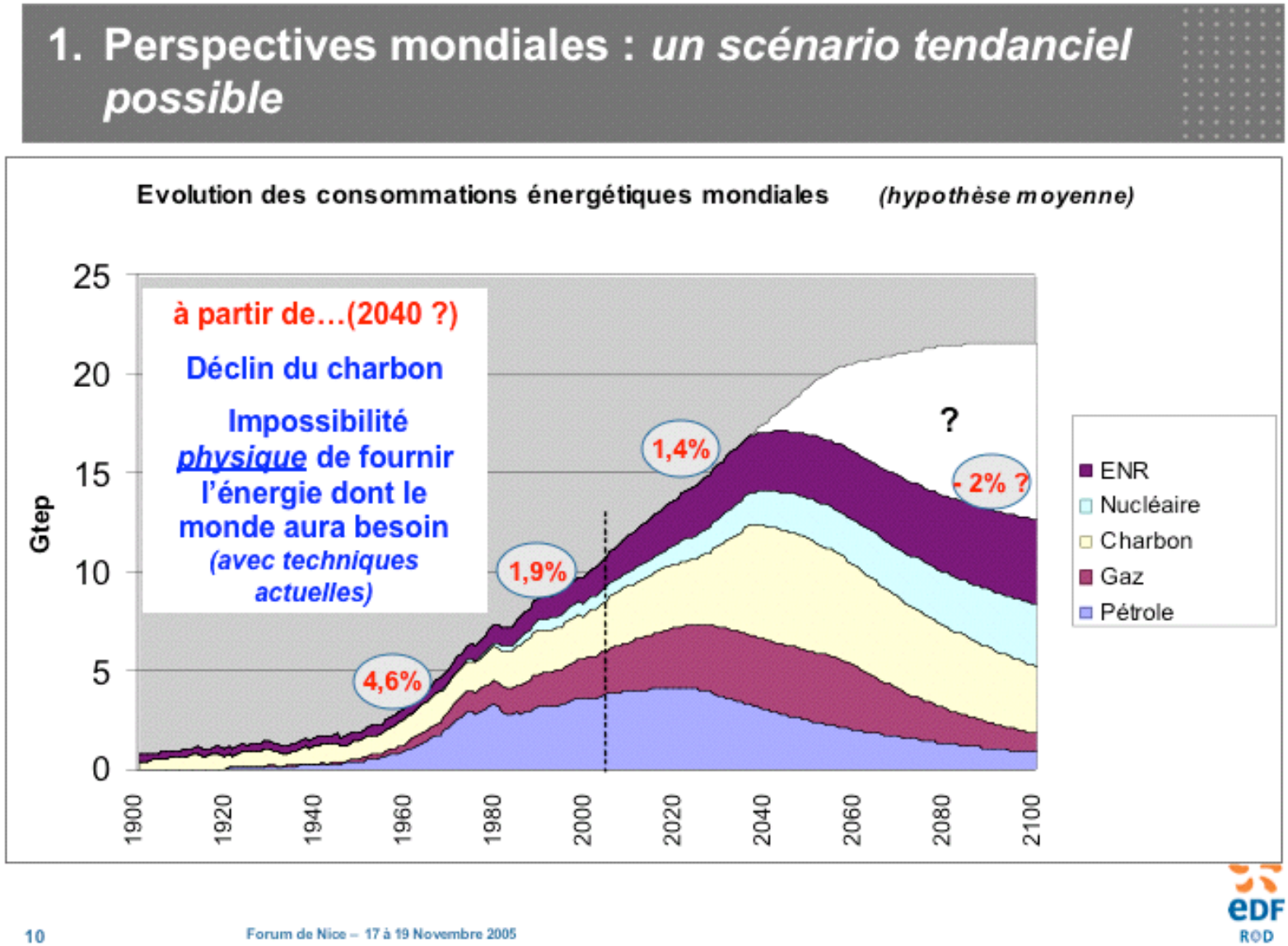


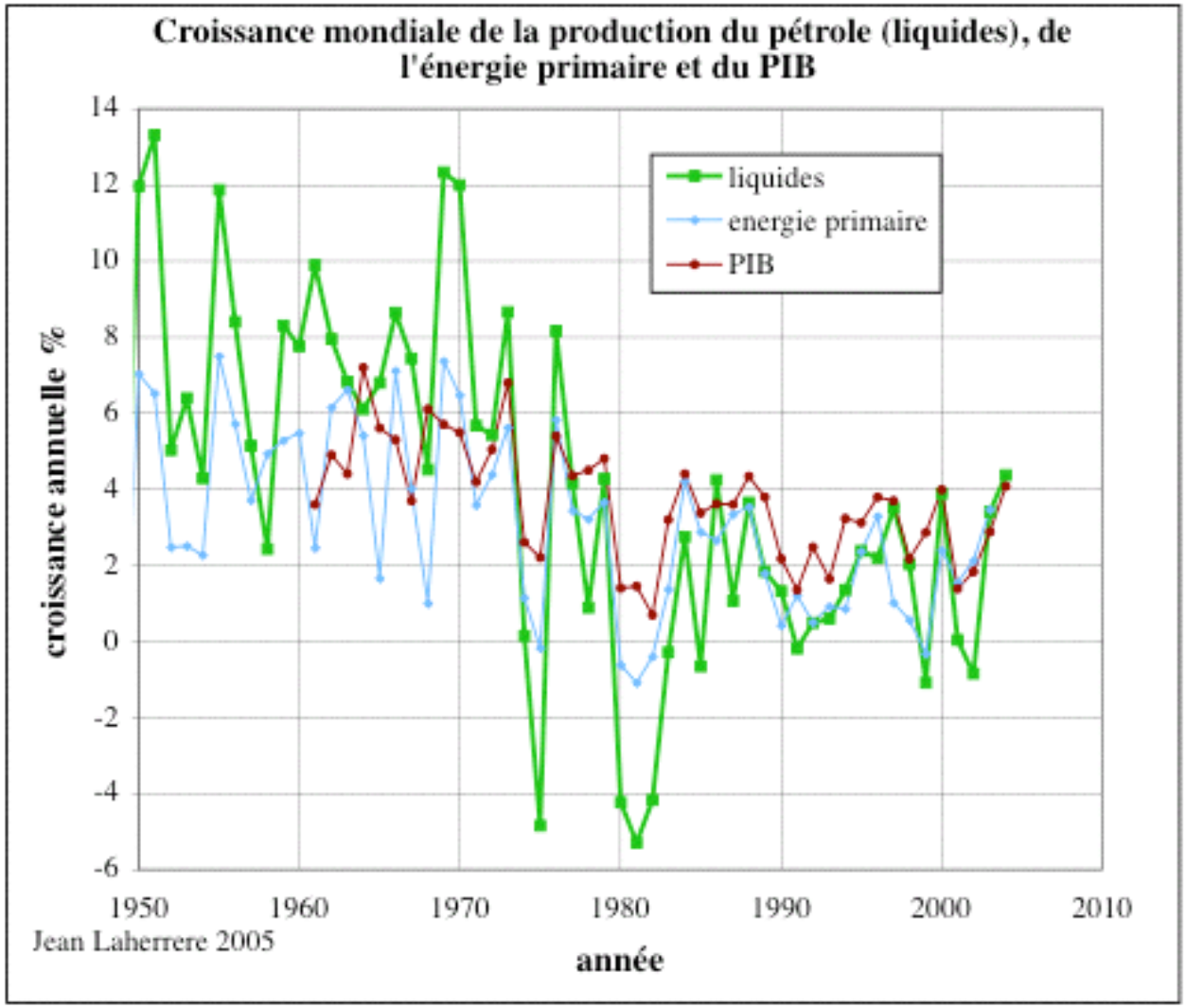
Figure 49: Energie mondiale 1860-2060 d'après Rogeaux EDF au Club de Nice 2005 réserves uranium de 15 Mt (techniques actuelles)



On aboutit à une impossibilité en 2035 si une croissance à 1,4 %/a donne 17 Gtep en 2035 (ma prévision = 14 Gtep)

-**PIB et demande pétrolière**

Figure 50: **croissance mondiale 1950-2004 du PIB et de la demande en liquides**:



La bonne corrélation croissance PIB-énergie primaire conduit à penser que le PIB pourrait décroître avec l'énergie primaire. Le coût de l'énergie sur les 40 dernières années a été de 5% du PIB mondial, alors que les experts reconnaissent que la contribution de l'énergie dans le PIB est de 50%. **L'énergie est donc largement sous-évaluée**.

-Economie

-Bilan énergétique ou énergie nette

L'extraction d'une matière première dépend principalement du prix que le consommateur est prêt à payer. L'extraction d'une énergie est différente, car il ne faut pas que l'énergie investie ne soit pas supérieure à l'énergie délivrée. Le charbon demande plus d'énergie qu'il n'en représente si on va le chercher dans des mines à 4000 m de profondeur, par contre on peut aller chercher de l'or à cette profondeur si son prix est assez élevé.

Le bilan énergétique doit tout comprendre et aller de la source à la roue (well to wheel). Pour l'éthanol à partir du maïs aux US, l'énergie investie est supérieure à l'énergie produite d'après Pimentel & Patzek (2005), d'où un bilan négatif alors que pour d'autres (USDA) le bilan est positif. Le bilan de l'alcool à partir de la canne à sucre qui ne demande ni engrais ni irrigation avec une main d'œuvre bon marché est bon au Brésil. L'IFP estime que le coût des biocarburants en France est de 100 $/b.

L'intervention de subventions et des taxes fausse le jeu.

Pour se chauffer en France, il coûte deux fois moins cher de brûler du blé que de brûler du fioul!

En France, la production de biodiesel est souhaitable, mais pas plus d'éthanol, car les raffineries, produisant déjà trop d'essence, devraient alors exporter aussi l'éthanol, non compétitif avec l'éthanol brésilien.

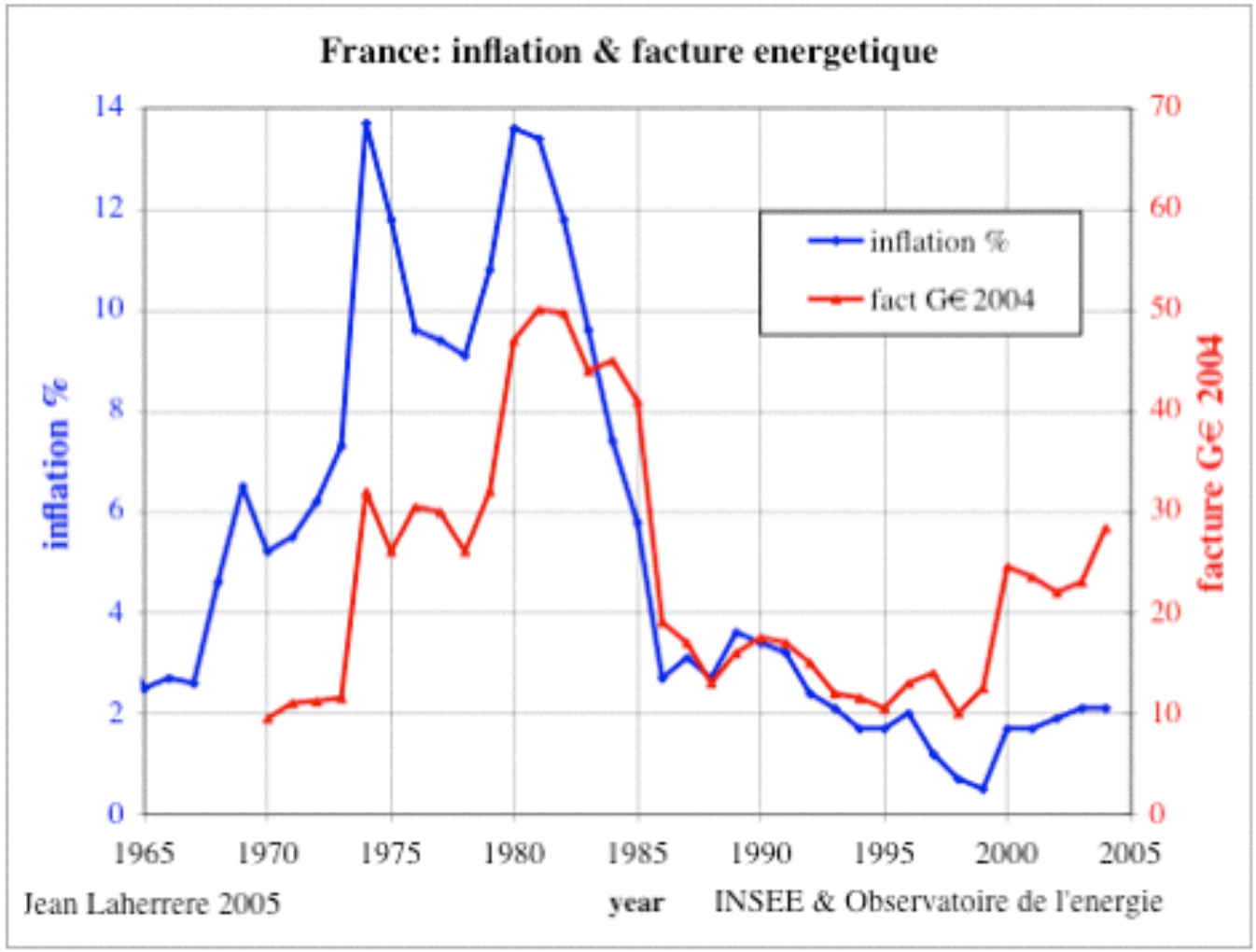
-Intensité énergétique

Le PIB étant manipulé, le rapport de la production d'énergie par dollar du PIB est un mauvais indicateur mais très prisé des économistes car ils n'ont que ça !

-Impact du prix du pétrole sur l'économie nationale

La facture énergétique en France a beaucoup baissé en 1986 grâce au nucléaire et l'inflation corrèle avec elle, la facture étant à la hausse depuis 2000 l'inflation devrait continuer à suivre,

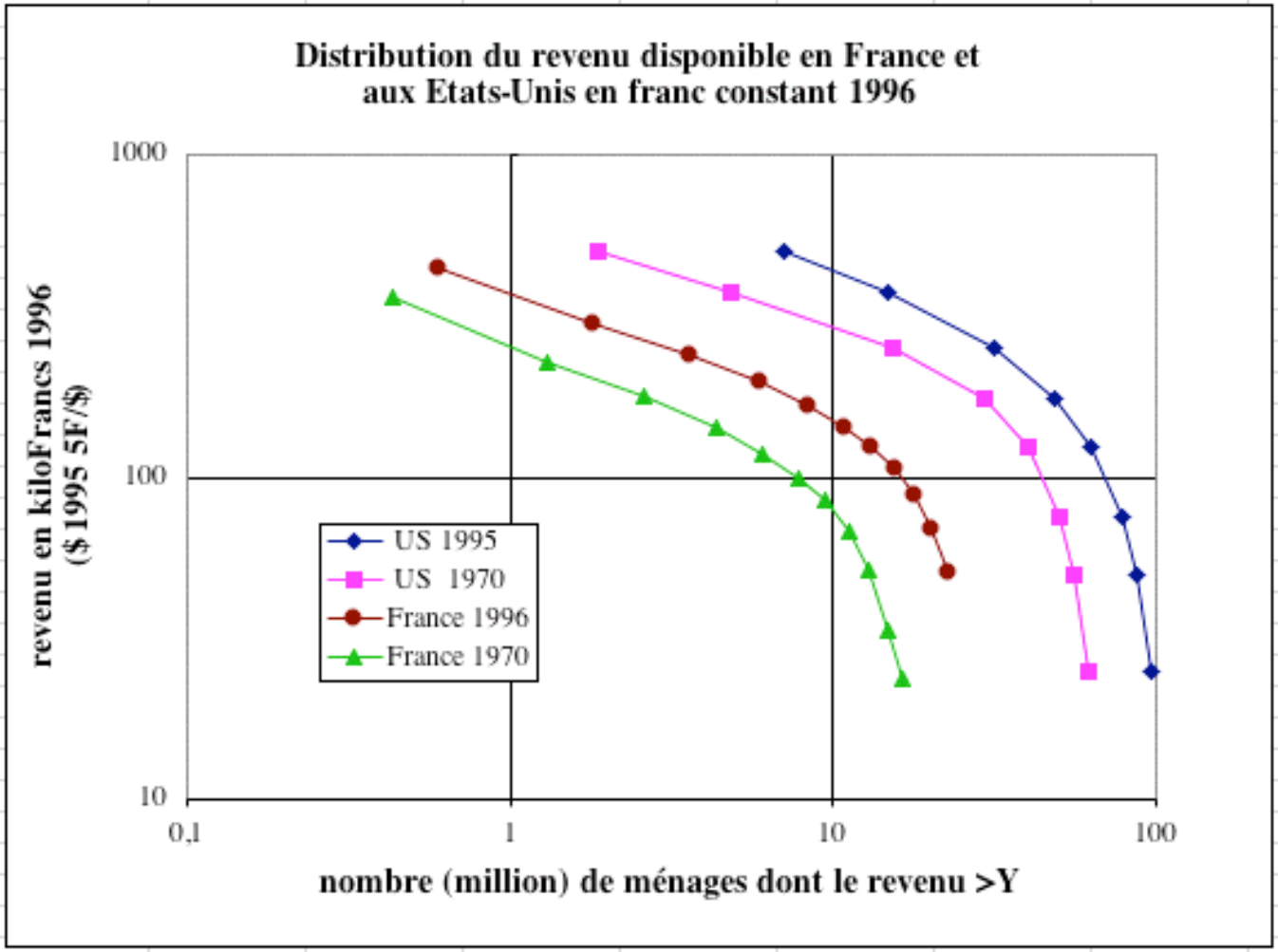
Figure 51: France: facture énergétique et inflation



-Revenu et nombre de ménages

Dans une présentation fractale (taille-rang log-log) du revenu en fonction du nombre de ménages, le parallélisme dans le temps entre les US et la France est remarquable, si la France avait autant de ménages que les EU, nos riches seraient aussi riches

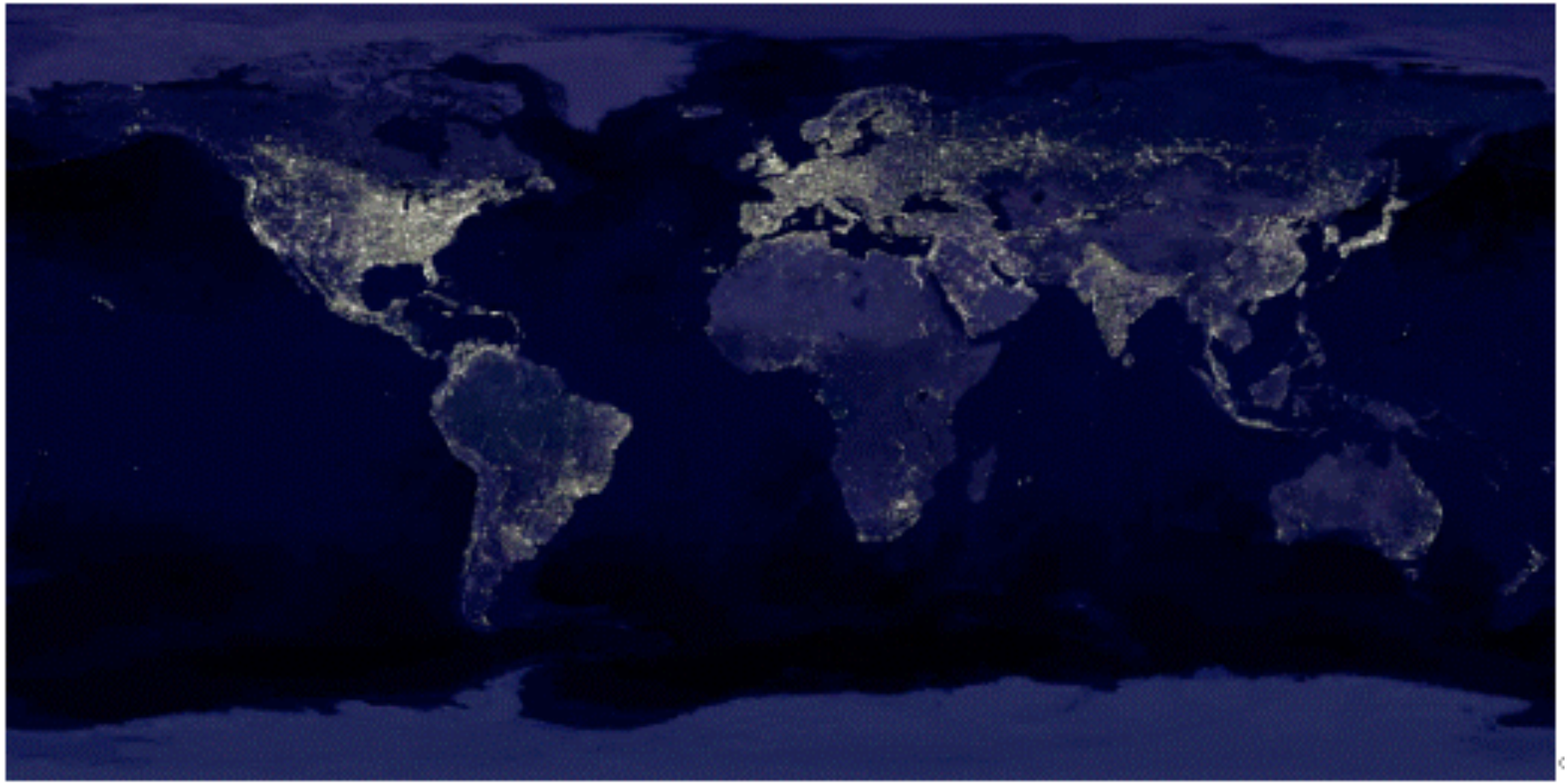
Figure 52: revenus en France et aux Etats-Unis en Franc 1996



-**Intensité lumineuse et revenus**

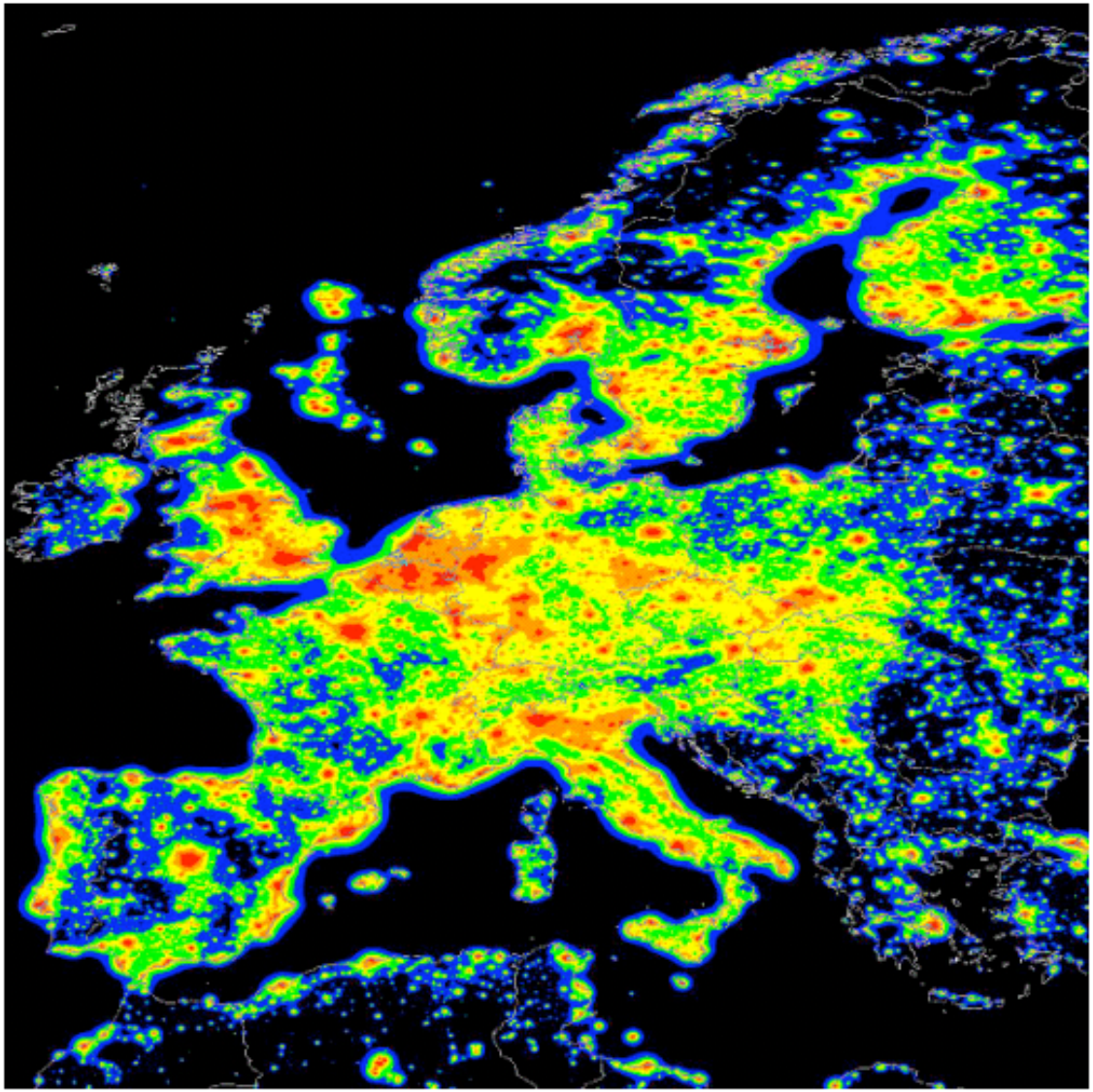
Il est intéressant de regarder l'intensité lumineuse la nuit sur les photos satellites du monde

Figure 53: vue de satellite de nuit du monde



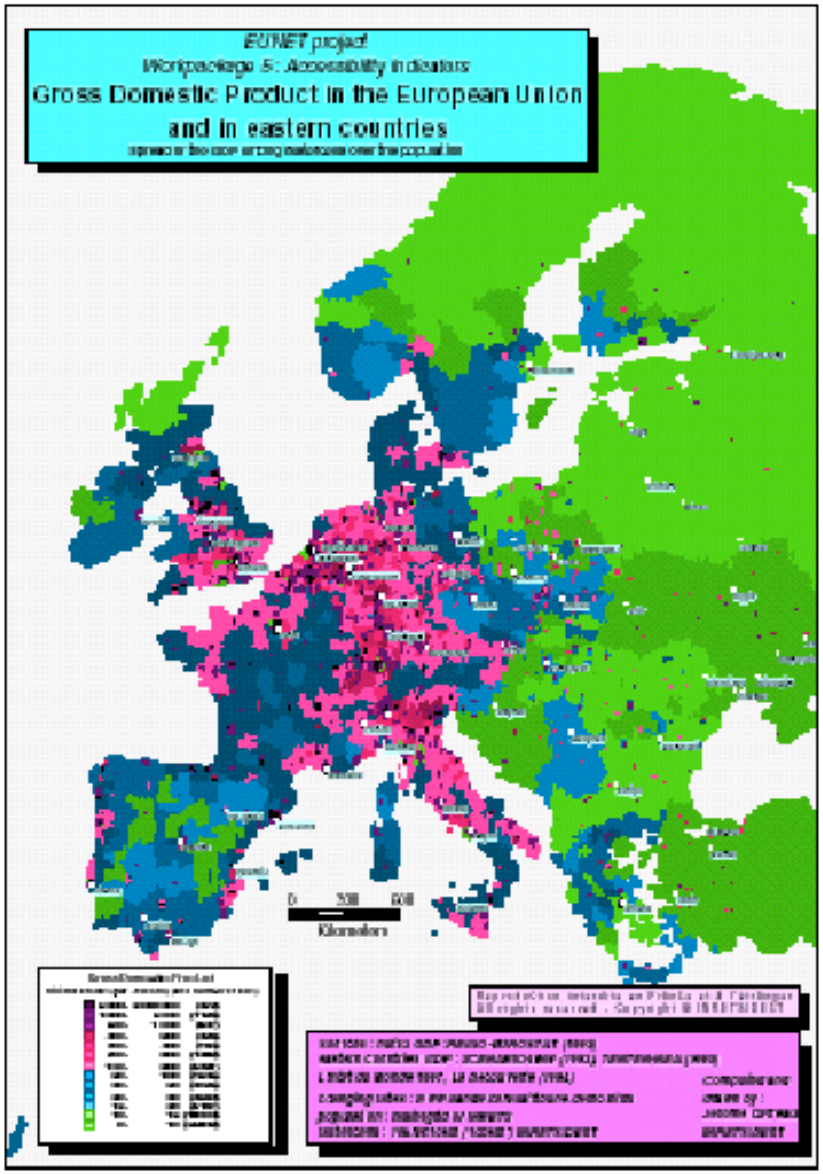
L'Ouest américain est encore vide en comparaison de l'Est !

L'Europe a des pôles de lumière liés à la population, l'industrie et le tourisme.
C'est un gaspillage considérable d'énergie d'éclairer le ciel plus que la terre!
Figure 54: vue de l'Europe



On voit les champs de la Mer du Nord et les endroits dépeuplés en France et en Espagne

Cette carte de luminosité la nuit est proche de celle du PIB par kilomètre carré en Europe
Figure 55: Carte de l'Europe d'après le PIB/km2

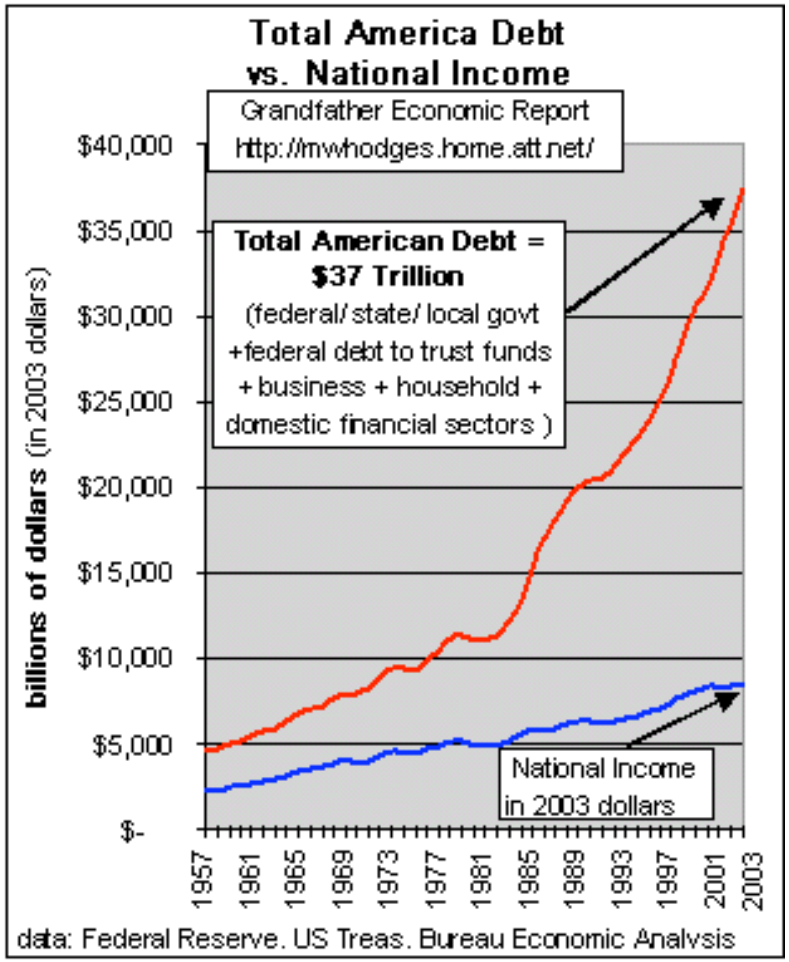


-Economie des Etats-Unis: est-elle durable?

D'après Grandfather Economic Report:

La dette totale des US est bien supérieure au revenu national

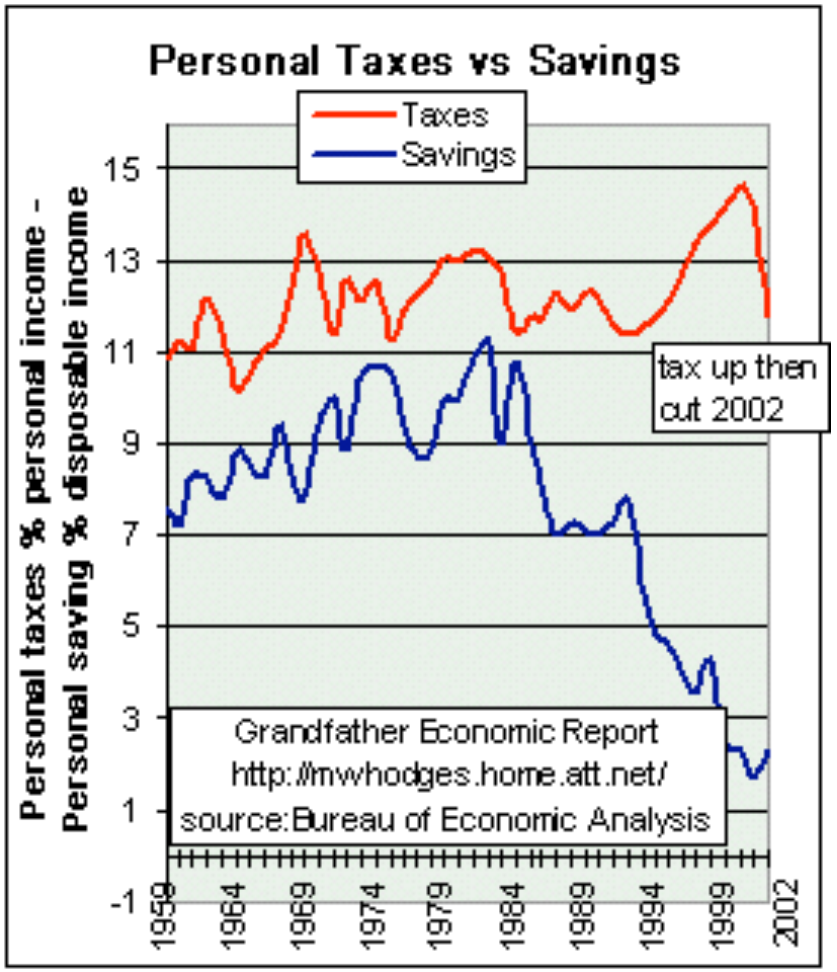
Figure 56: Dette américaine et revenu national



Quand se produira le pic de la dette? Les US ont depuis 50 ans relevé 70 fois le plafond légal de la dette. Ce plafond est passé de 4,9 G$ en 1996 à 8,2 G$ en Nov 2004 et il doit l'être de nouveau!

Il y a 50 ans on disait que ce qui est bon pour General Motors est bon pour les US, quid maintenant que GM est proche de la faillite?

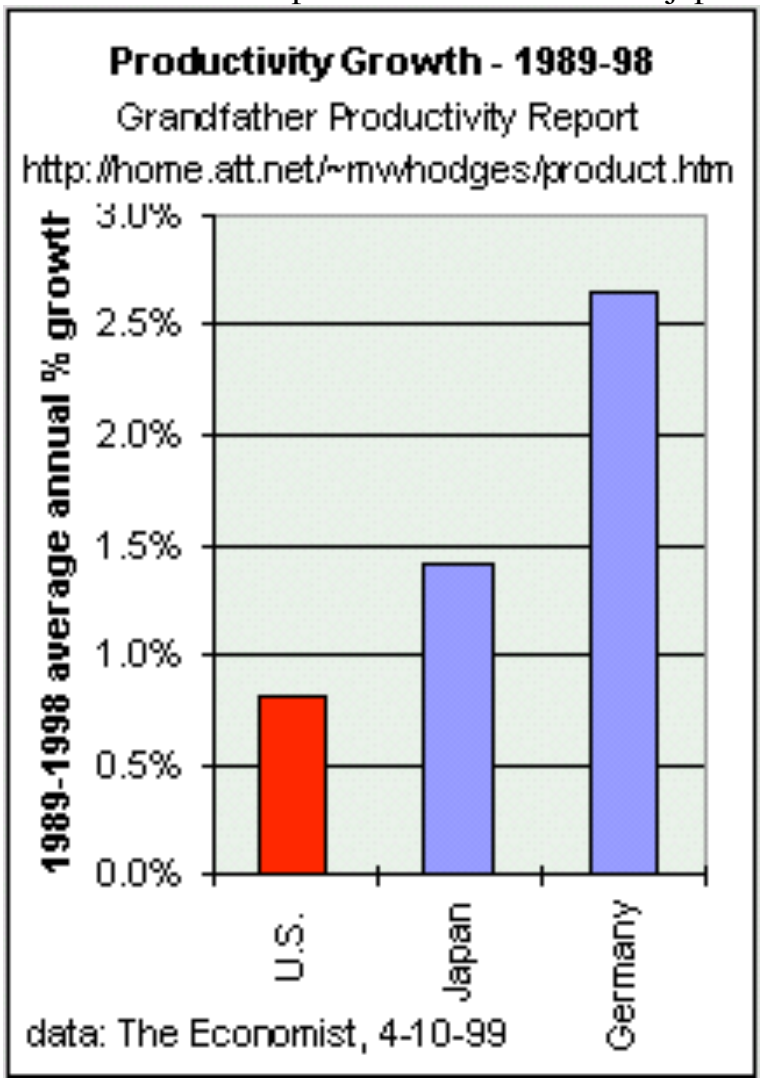
Figure 57: Epargne américaine et taxation



Les US empruntent 80% de l'épargne mondiale pour satisfaire leur consommation sans retenue. Que font-ils faire quand ils seront à 100 % ?

Après le 11 Septembre Bush a incité les Américains à consommer et a indiqué que le mode de vie américain n'était pas négociable. Katrina est arrivé et on ne négocie pas avec la Nature. Bush incite maintenant aux économies d'énergie et les témoignages sur le *peak oi*l défilent devant le Sénat.

La productivité américaine est inférieure à l'allemande et à la japonaise
Figure 58: productivité américaine comparée a l'allemande et la japonaise



Quelques chiffres en pourcentage mondial

-US 2000

population	5%
production pétrole	11%
consommation pétrole	26%
consommation énergie	25 %
consommation énergie par habitant	460 %
immigration	30 %
voitures	40 %
dépenses militaires	>50 %
dollar dans commerce	60 %
hommes de loi	70 %

-**Arabie Saoudite 2000**

population	0,3%
production pétrole	12%
consommation pétrole	1,7%
consommation énergie	1,2 %

-PIB

Le PIB ne représente pas la richesse d'un pays, mais ses dépenses. Plus il y a d'accidents, d'épidémies, de tempêtes, plus le PIB augmente. Le PIB est manipulé avec divers déflateurs, en particulier le **facteur hédonique** aux EU où ils ajoutent des centaines de G$ pour l'informatique (on double les dépenses si la mémoire a doublé).

Il y a plusieurs index pour mesurer le progrès ou le bonheur d'un pays

Figure 59: **PIB aux US et le Genuine Progress Indicator** d'après Redefining Progress = pic en 1977

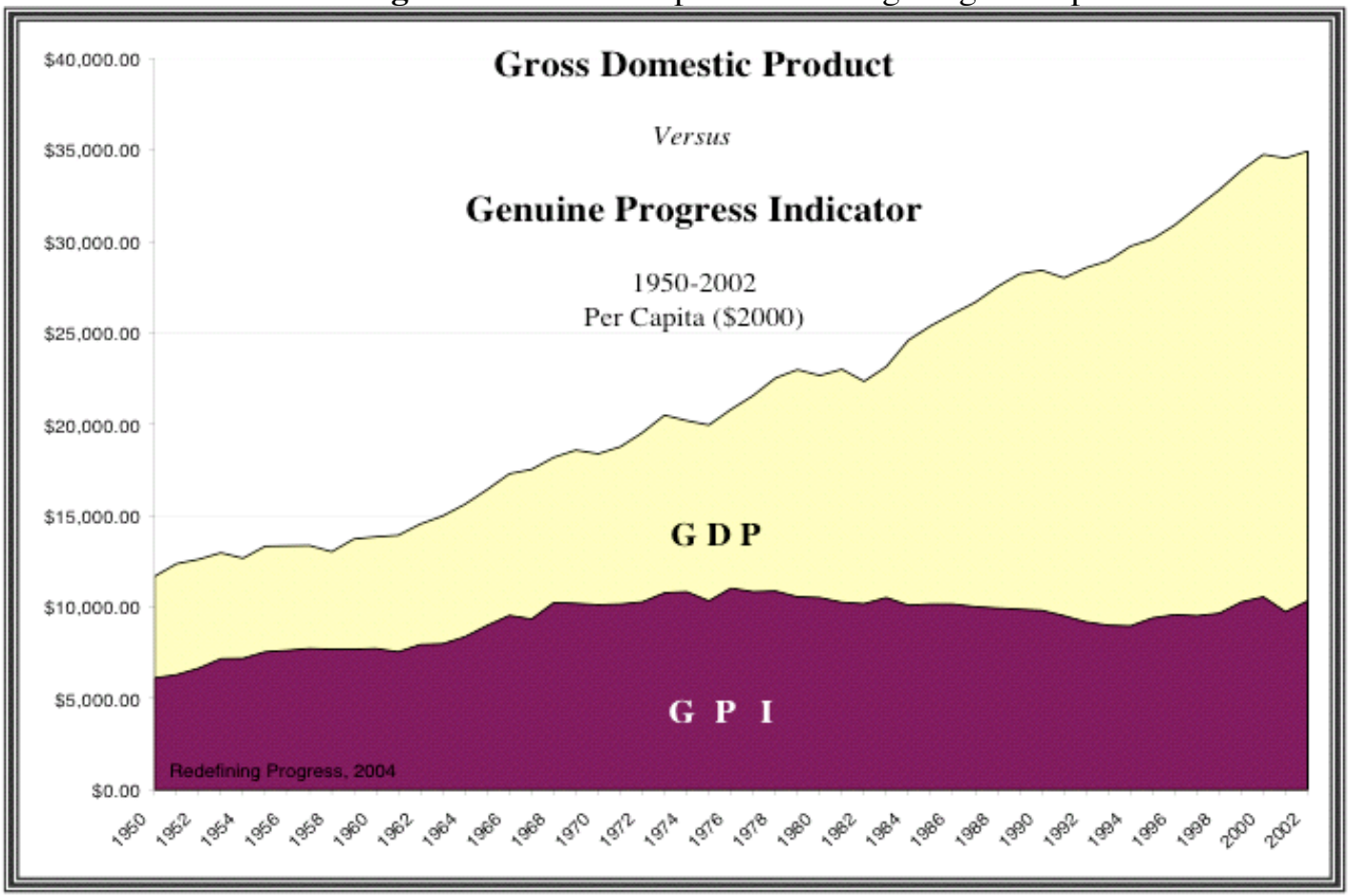


Figure 60: **Revenu et bonheur** aux US d'après R. Layard London School of Economics: pic en 1956

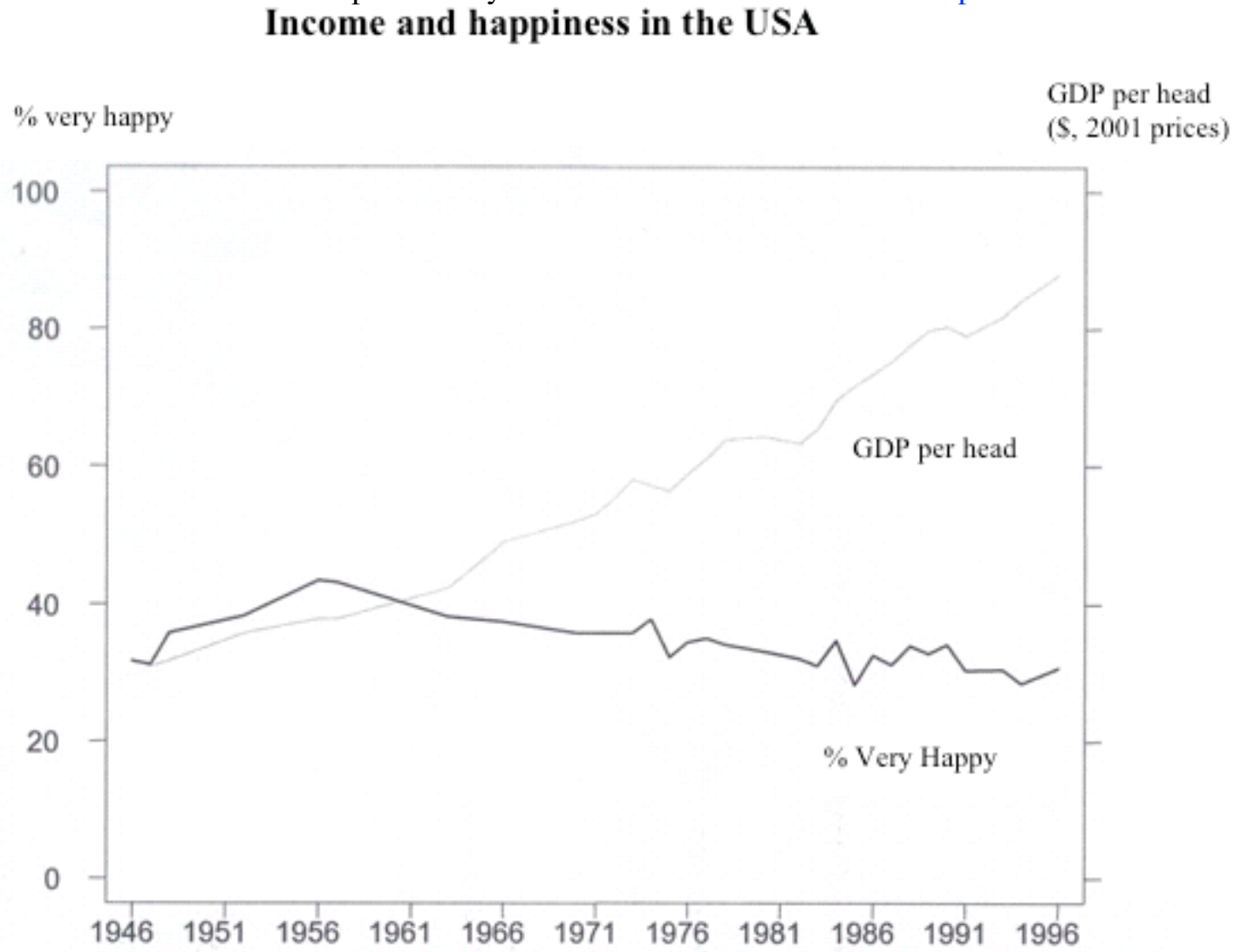
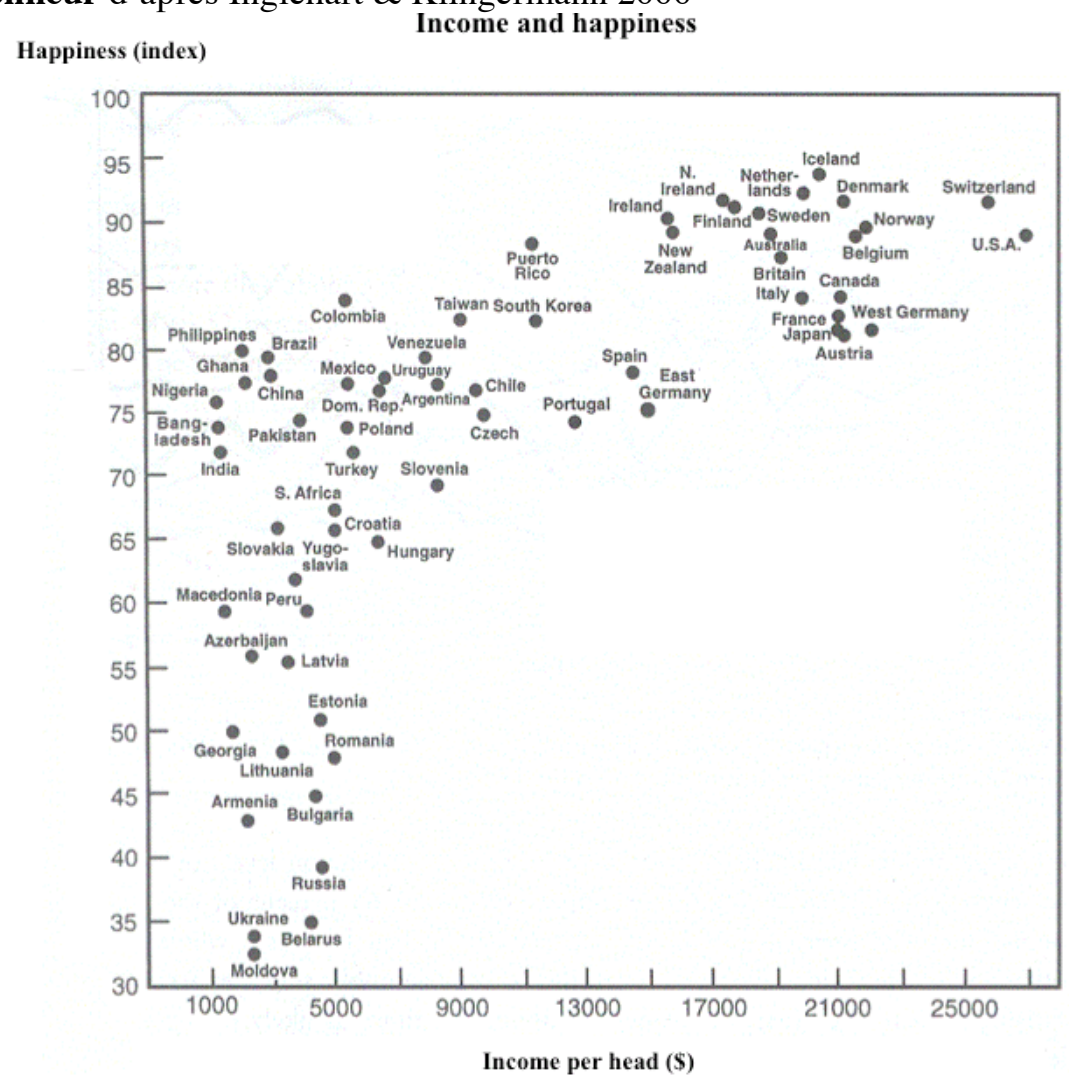


Figure 61: **Revenu et bonheur** d'après Inglehart & Klingermann 2000



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

Premier Irlande, dernier Moldavie

-New Scientist (2003):
pays les plus heureux = Nigeria, Mexique et Venezuela et les moins heureux = Russie, Arménie et Roumanie.
-University Erasmus Rotterdam = Eurobarometer
Classement de l'index du bonheur = Comment la population juge leur vie dans une échelle de 0 à 10

premiers		**derniers**	
Colombia	8,1	Bulgaria	4,5
Denmark	8	Russia	4,4
Malta	8	Belarus	4,3
Switzerland	8	Pakistan	4,3
Iceland	7,8	Georgia	4,1
Ireland	7,8	Armenia	3,7
Ghana	7,7	Ukraine	3,6
Canada	7,6	Moldova	3,5
Guatemala	7,6	Zimbabwe	3,3
Luxembourg	7,6	**Tanzania**	3,2
USA	7,4		
France	6,6		
Nigeria	6,5		

Le bonheur est difficile à mesurer!

Augmenter les revenus du tiers monde semble l'objectif des pays producteurs pour avoir plus de consommateurs capables d'acheter des objets inutiles (comme du Coka ou du lait en poudre pour allaiter les nourrisons)!

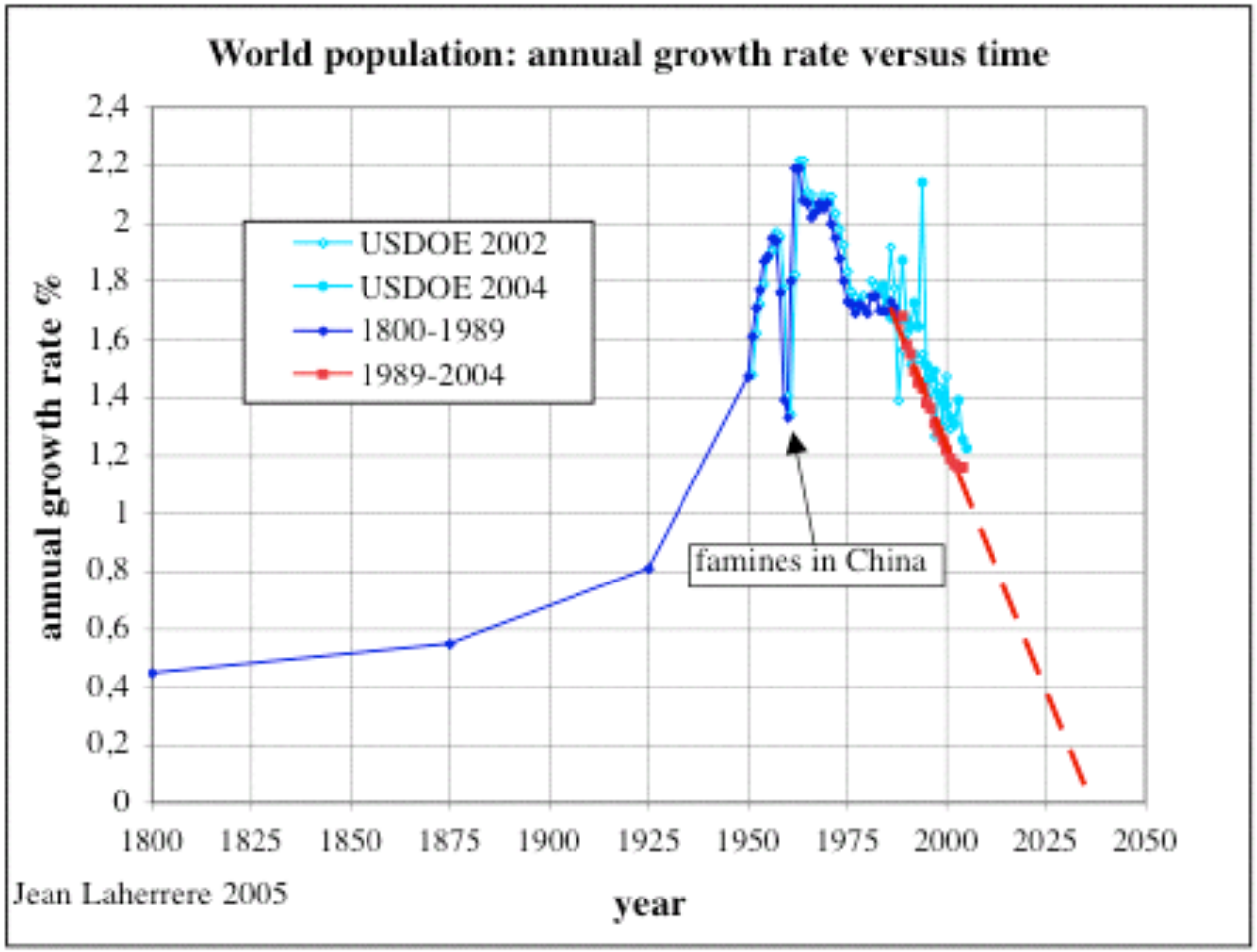
-Population

Le chiffre de la population est une donnée très incertaine (10-30 %), car c'est un chiffre politique d'où manipulé

En 1990 les Nations Unis avaient prédit que l'augmentation annuelle globale culminerait en 1998, alors qu'en fait, elle avait déjà culminé en 1988

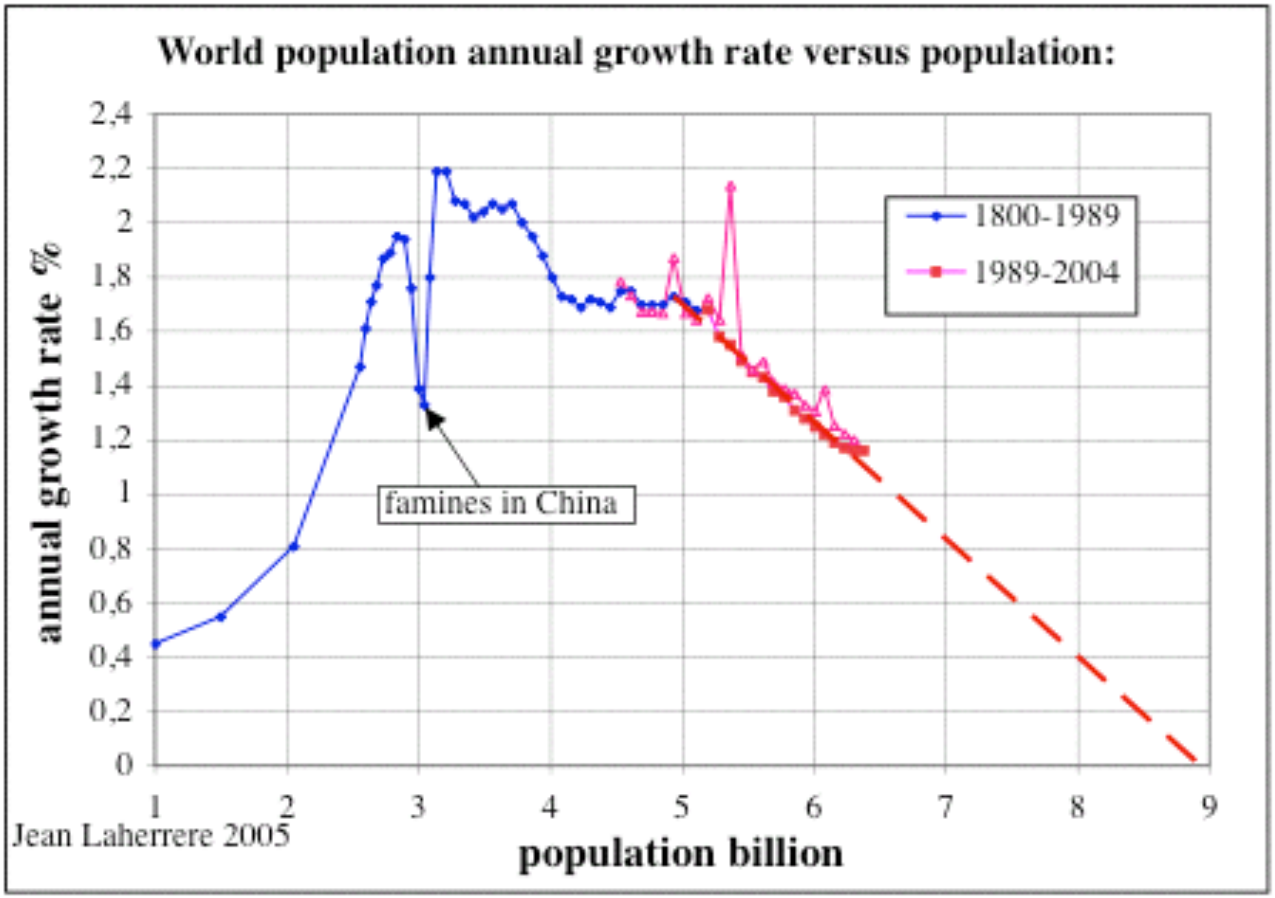
On peut extrapoler le passé récent pour essayer d'estimer la date et le niveau de pic de population.

Figure 62: taux d'augmentation de la population mondiale et extrapolation linéaire depuis 1989 conduit à un pic en 2040



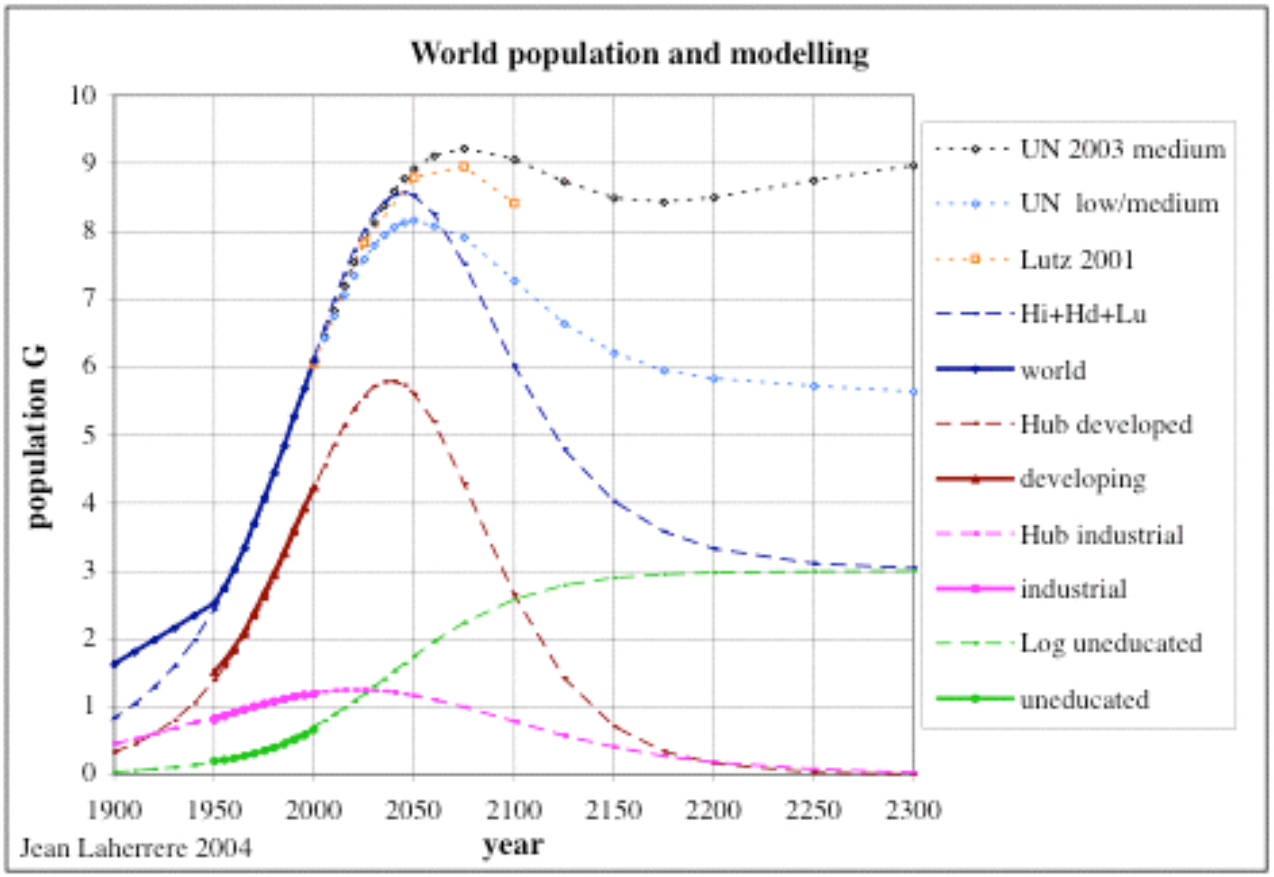
Mais si le taux est extrapolé en fonction de la population, on obtient un pic à 9 milliards, si la tendance actuelle continue (quid de la fertilité et du SIDA?)

Figure 63: taux de croissance de la population mondiale en fonction de la population mondiale avec une extrapolation linéaire depuis 1989

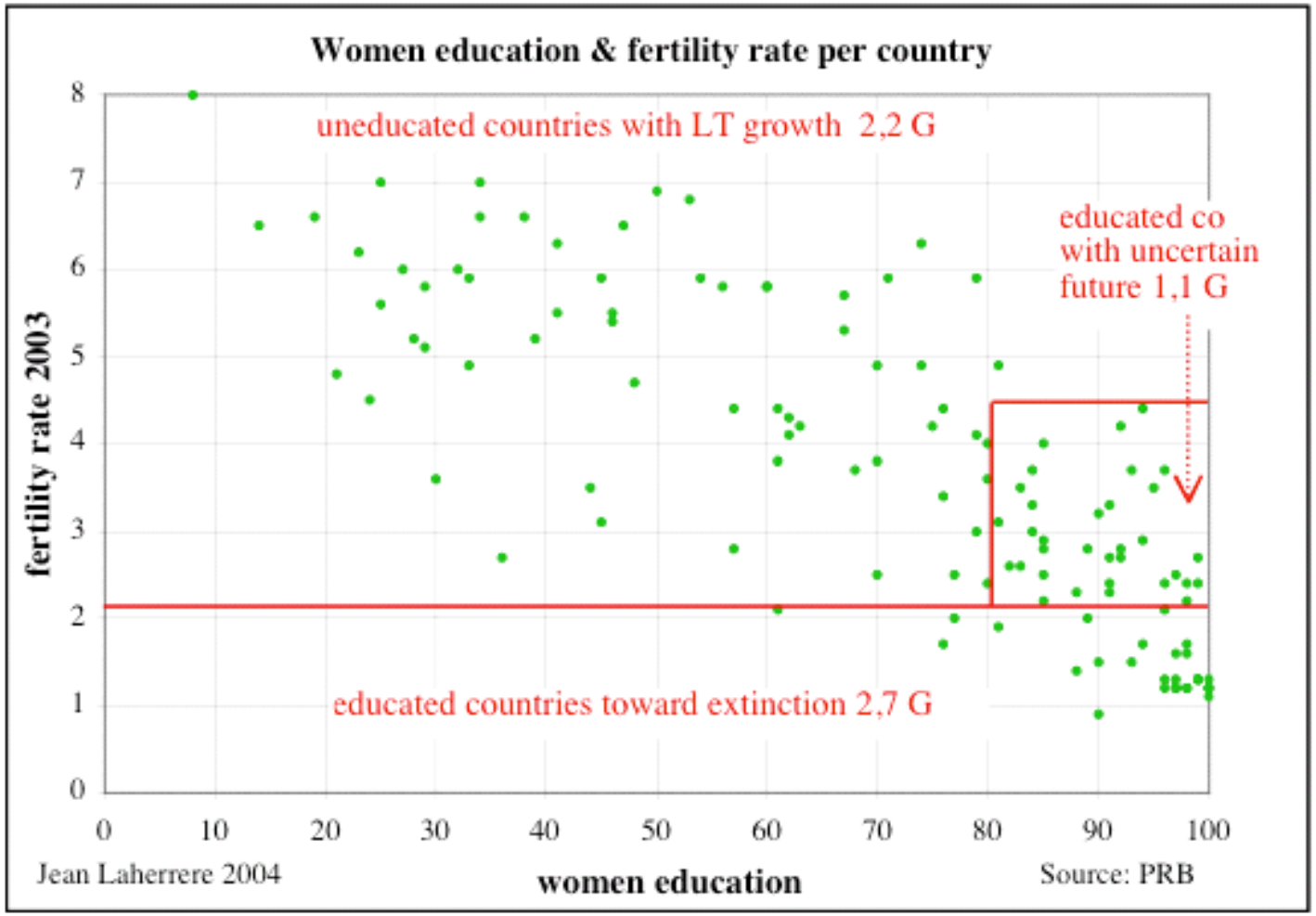


Bourgeois-Pichat, directeur de l'INED en 1988, a modélisé la population mondiale avec deux distributions (industrialisés et le reste du monde) en forme de cloche, il est préférable de le faire avec trois distributions (industriel, développé en dérivé de la logistique et non-éduqué en logistique) donnant un pic en 2040 à 8,6 et de le comparer aux prévisions des NU (low-medium pic en 2050 à 8,2).

Figure 64: prévision de la population mondiale 1900-2300 d'après NU 2003

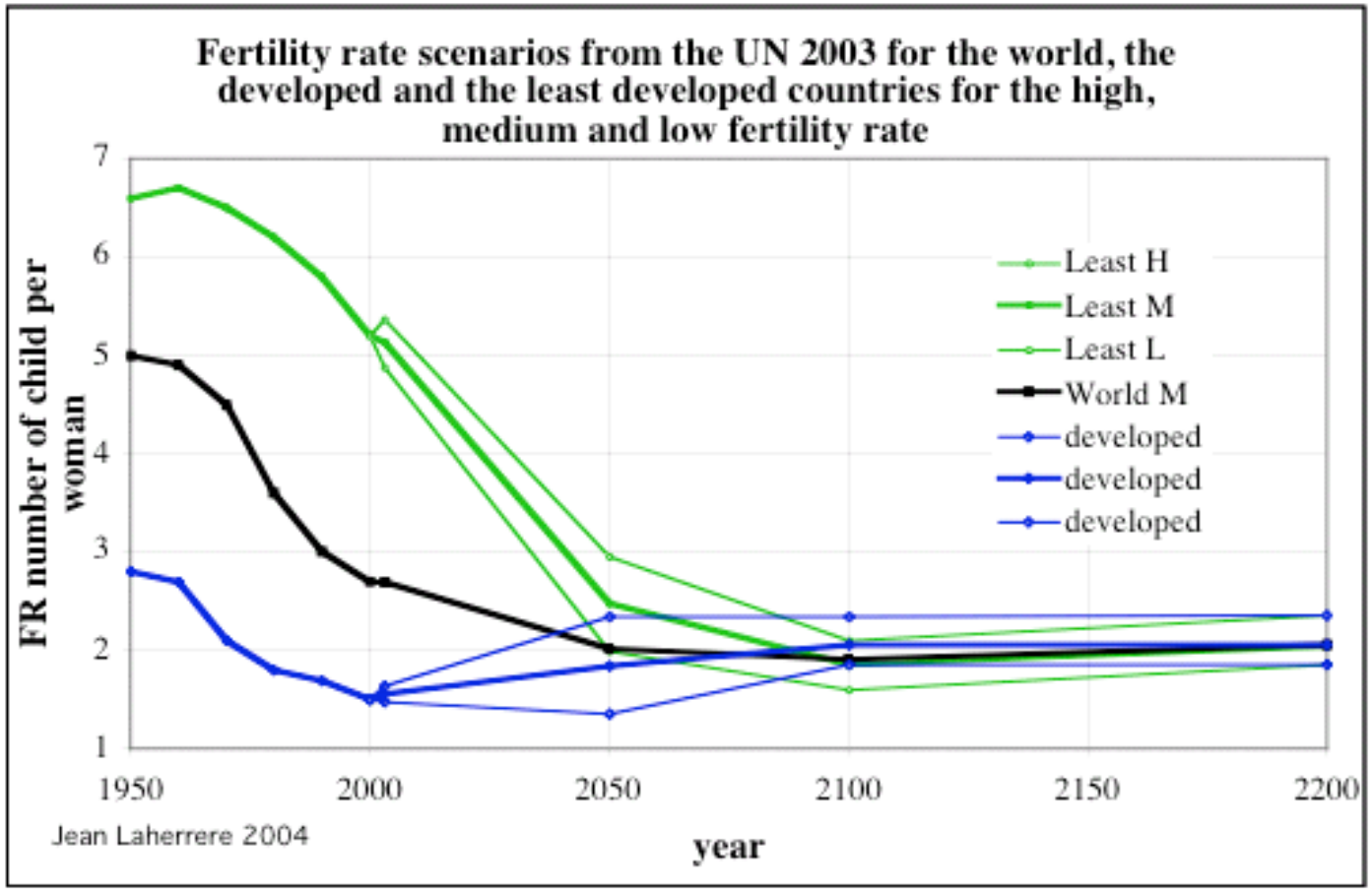


Toutes les prévisions de population sont basées sur le taux de fécondité.
Figure 65: relation entre taux de fécondité et éducation des femmes



Les prévisions des NU 2003 sont uniquement des cibles politiques (INED Heran 2005) ou l'on voit en 2100 le taux de fécondité des pays les plus développés être supérieur à celui des pays les moins développés! Ces prévisions sont peu crédibles

Figure 66: scénarios 2003 des NU sur le taux de fécondité



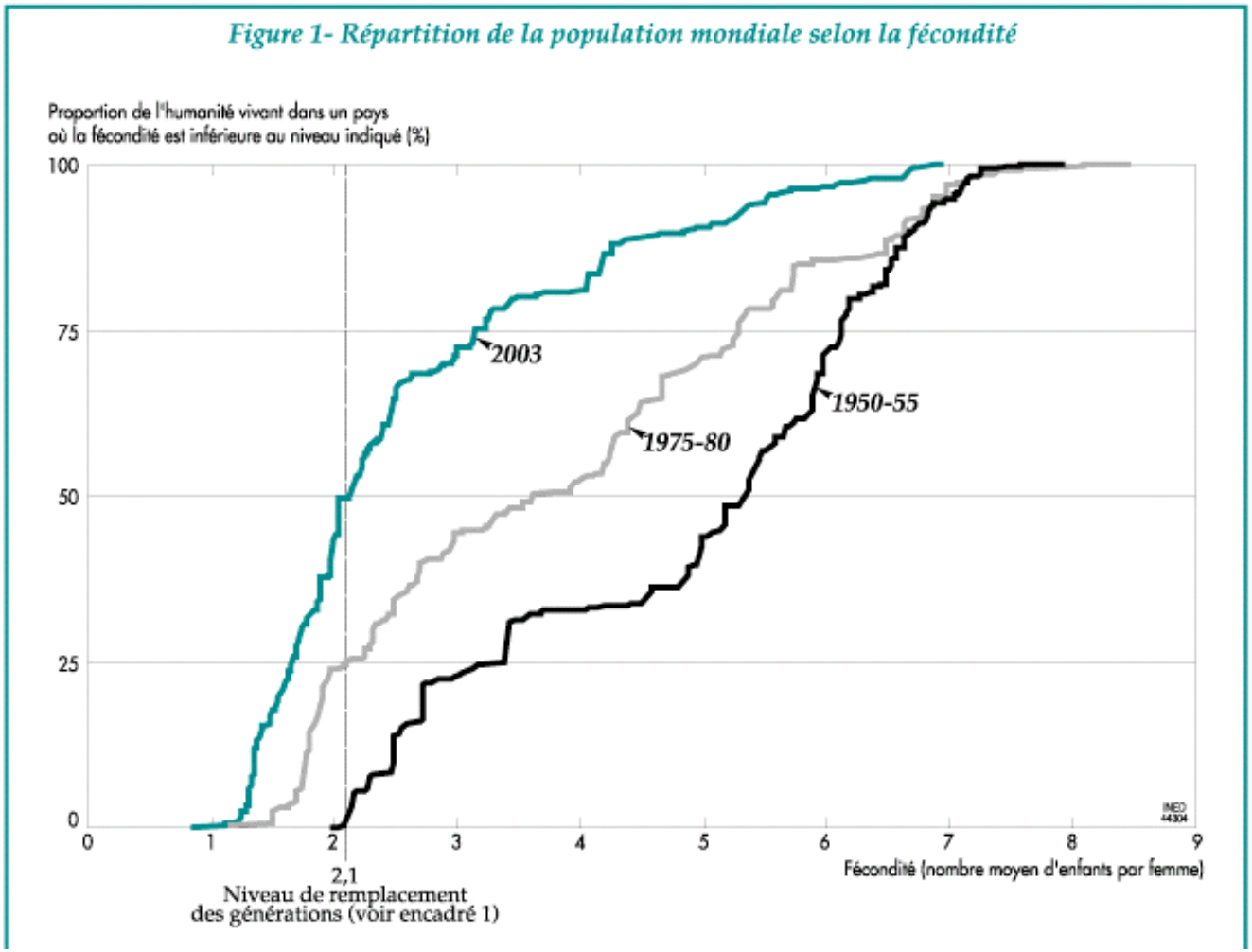
Mais le taux de fécondité a chuté très vite dans les pays éduqués et peu dans les pays non-eduqués où il ne baisse pas et reste au-dessus de 7 enfants par femme (Niger 8, Guinée-Bissau et Mali 7,1, Somalie 7)

Il y a deux mondes:

-les pays avec moins de 2 enfants par femme allant vers l'extinction complète

-les pays avec plus de 5 enfants par femme avec une croissance importante à long terme

Figure 67: Evolution du taux de fécondité en pourcentage de la population mondiale INED 2004



-**Déclin de la population en Europe, mais augmentation aux US**

La dernière prévision 2004 des Nations Unies montre qu'en 2050 l'Europe aura perdu 100 millions d'habitants, alors que l'Amérique du Nord aura augmenté d'autant. Il y a deux mondes et deux futurs!

Figure 68: **Prévisions UN 2004 de la population en Europe et Amérique du Nord 1950-2050**

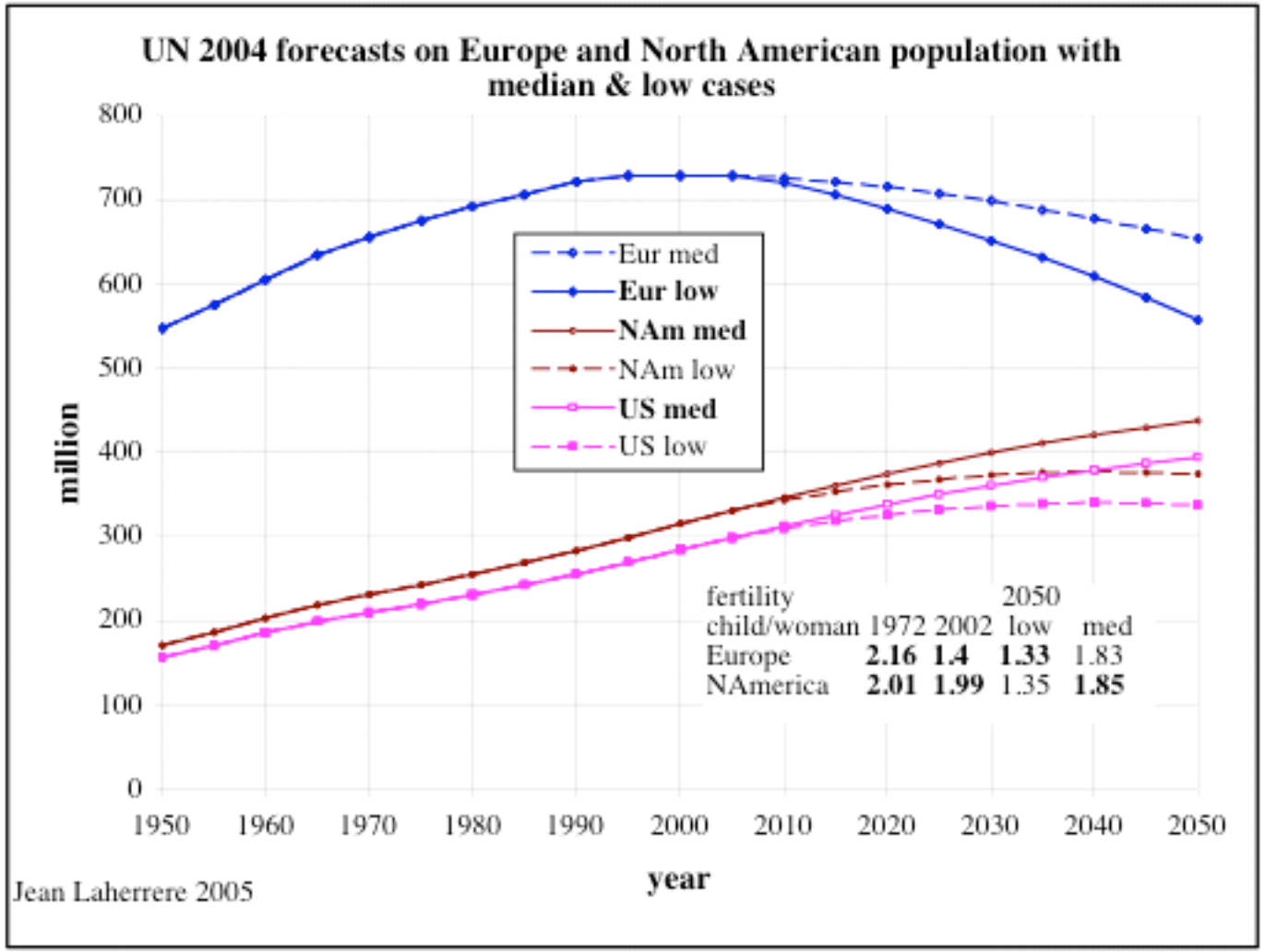
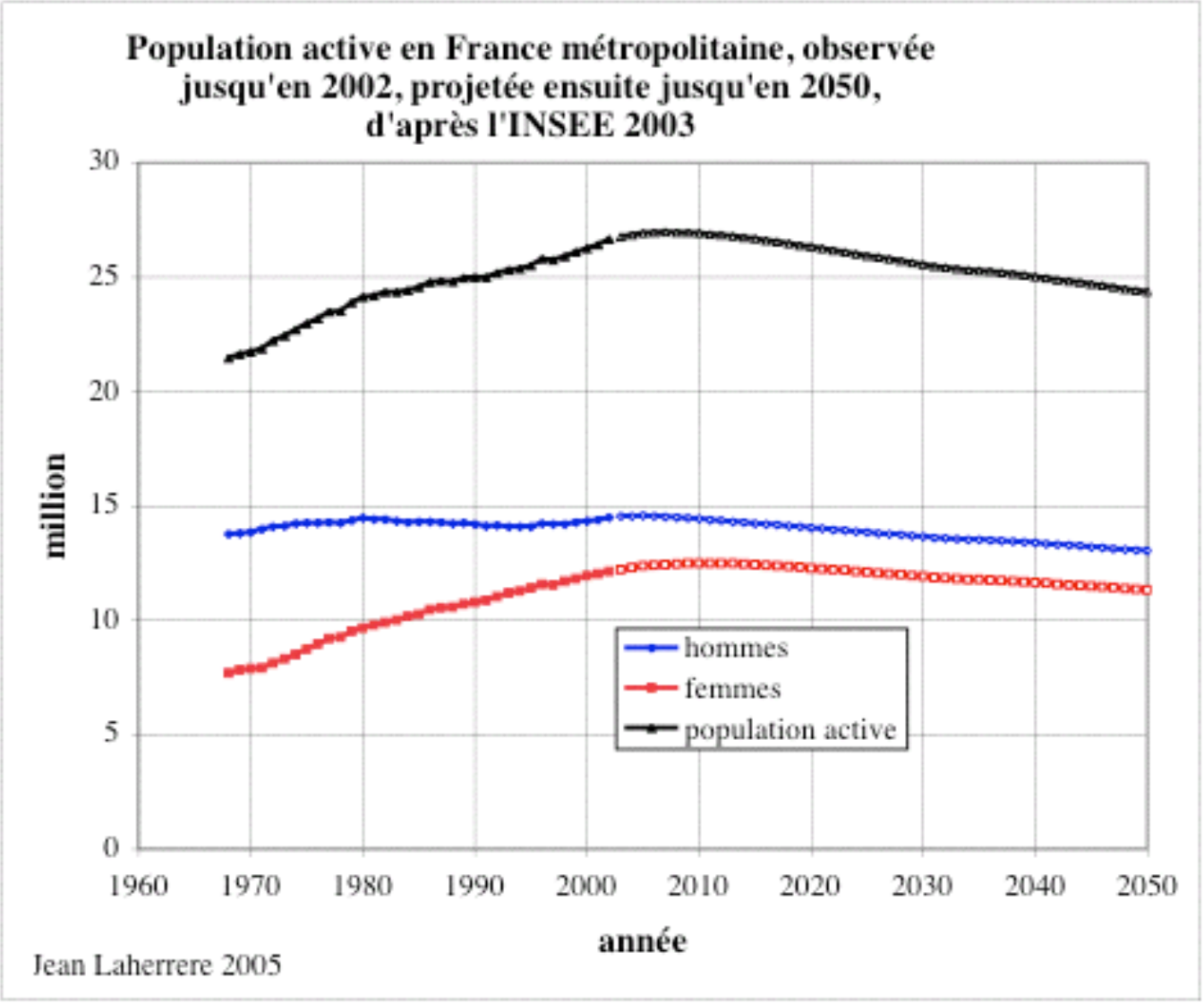
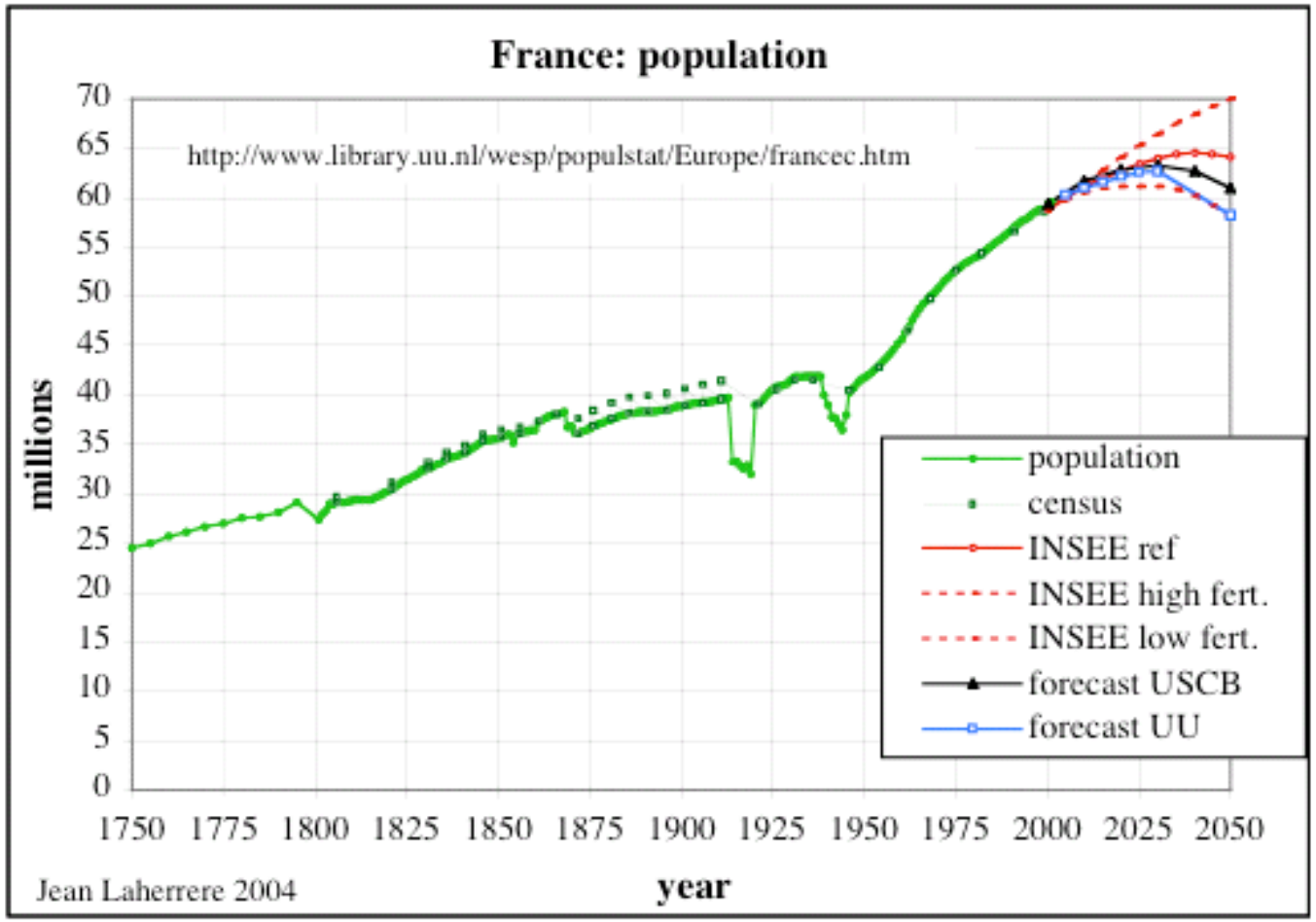


Figure 69: **Population active en France**



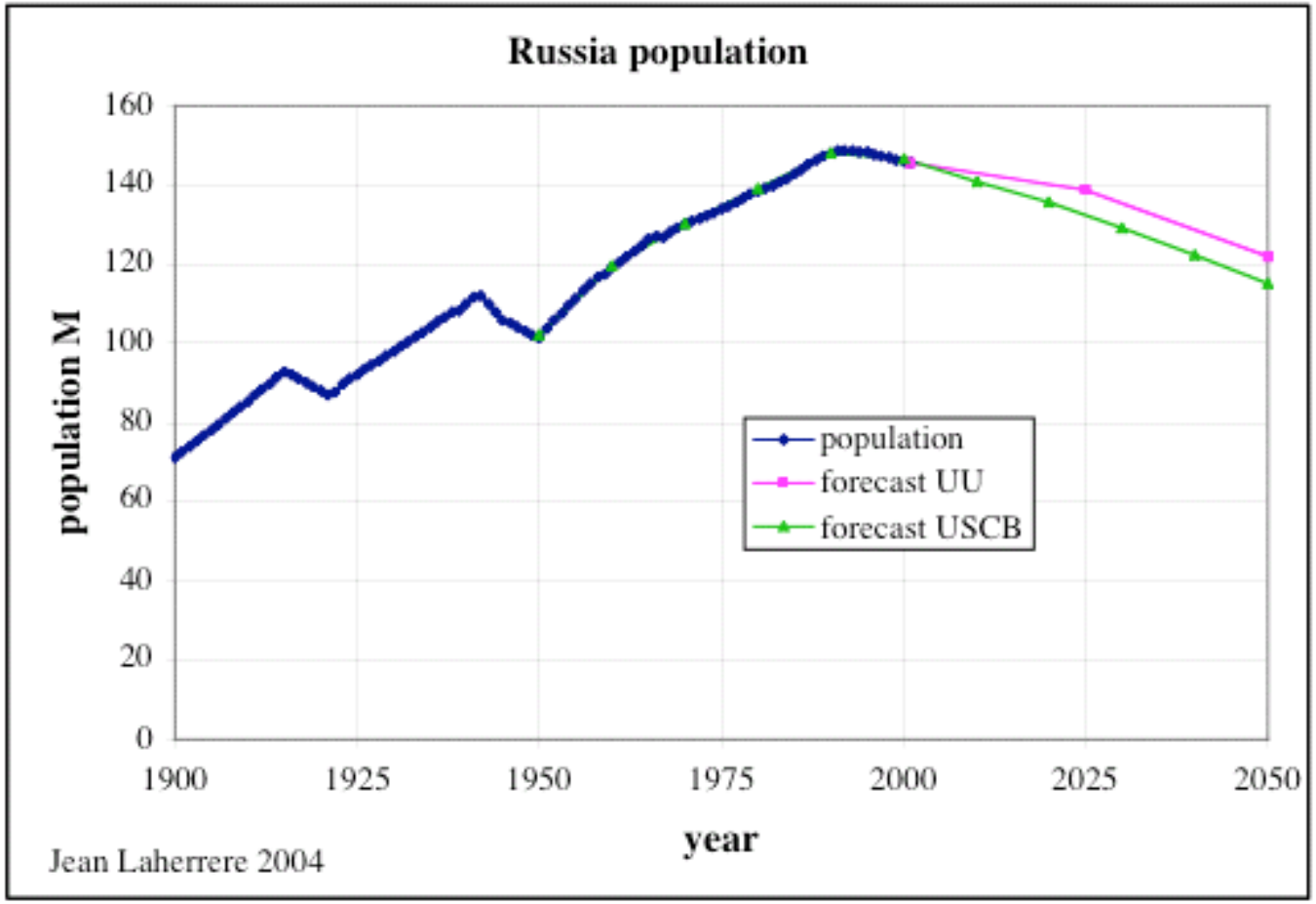
Les actifs plafonnent en 2006, les dépenses de l'Etat augmentent et l'on prévoit en 2006 une croissance de 2,25%! On va continuer à s'endetter (actuel 2 T€), jusqu'à quand?

La population de la France doit plafonner dans la prochaine décennie autour de 65 millions.
Figure 70: **population de la France**



La Russie est en déclin depuis 1990 et va perdre une trentaine de millions en 2050, elle ne peut plus faire trop peur!

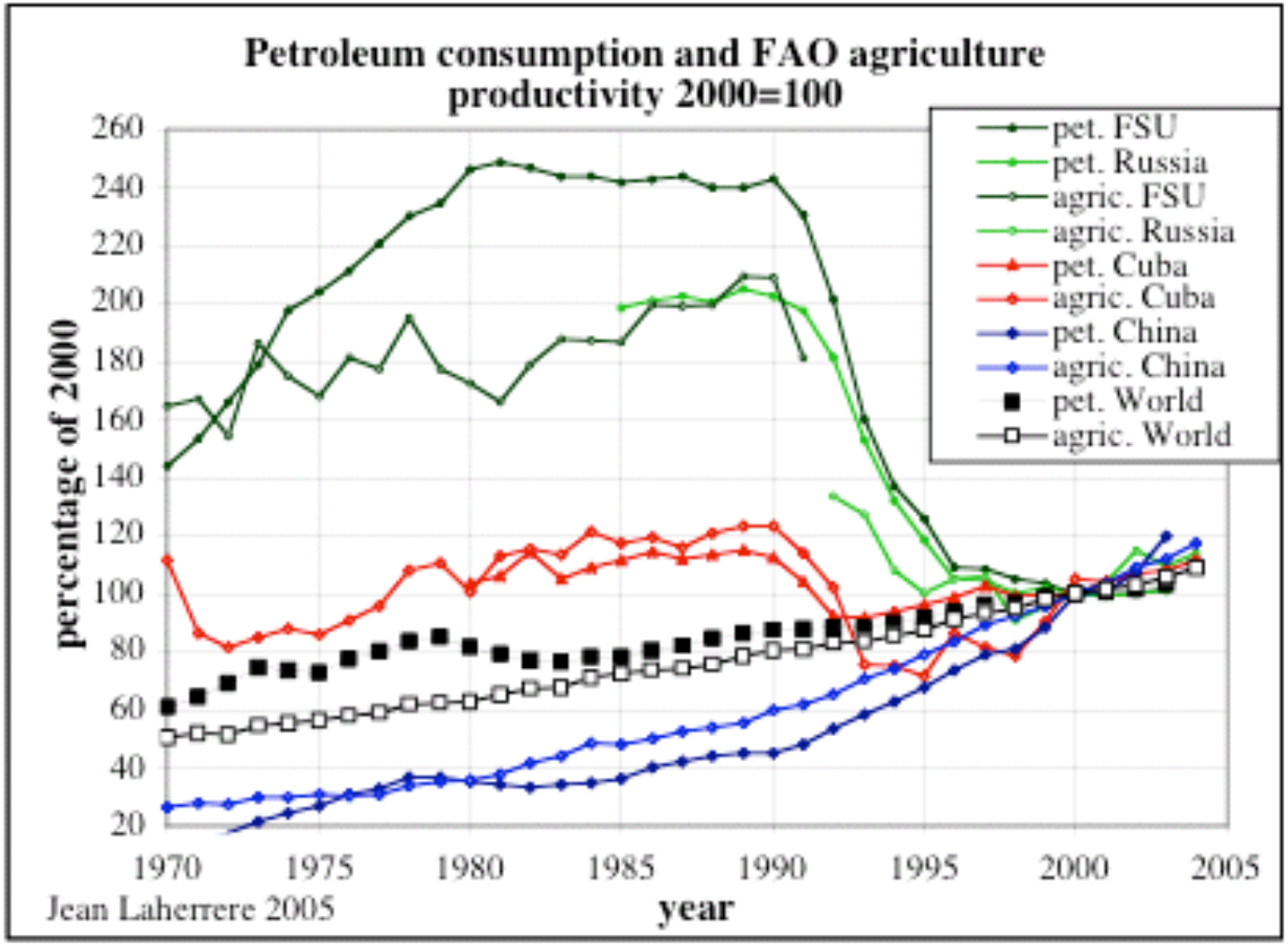
Figure 71: **population de la Russie**



-Agriculture

-Dépendance de l'agriculture au pétrole

Figure 72: **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.

-Production agricole et consommation d'engrais

Figure 73: **Productivité agricole mondiale et consommation d'engrais 1960-2004 en pourcentage de 2000**

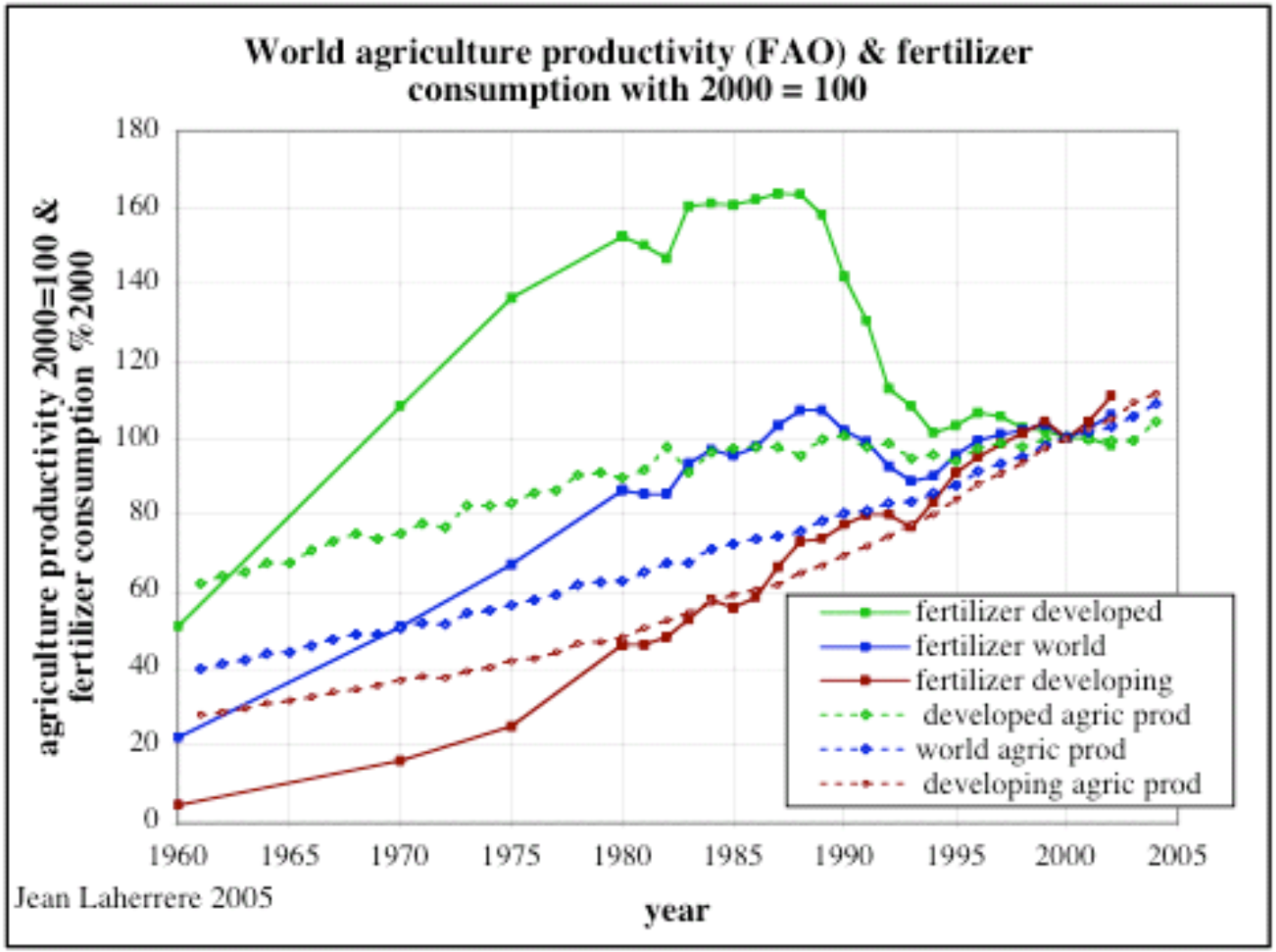
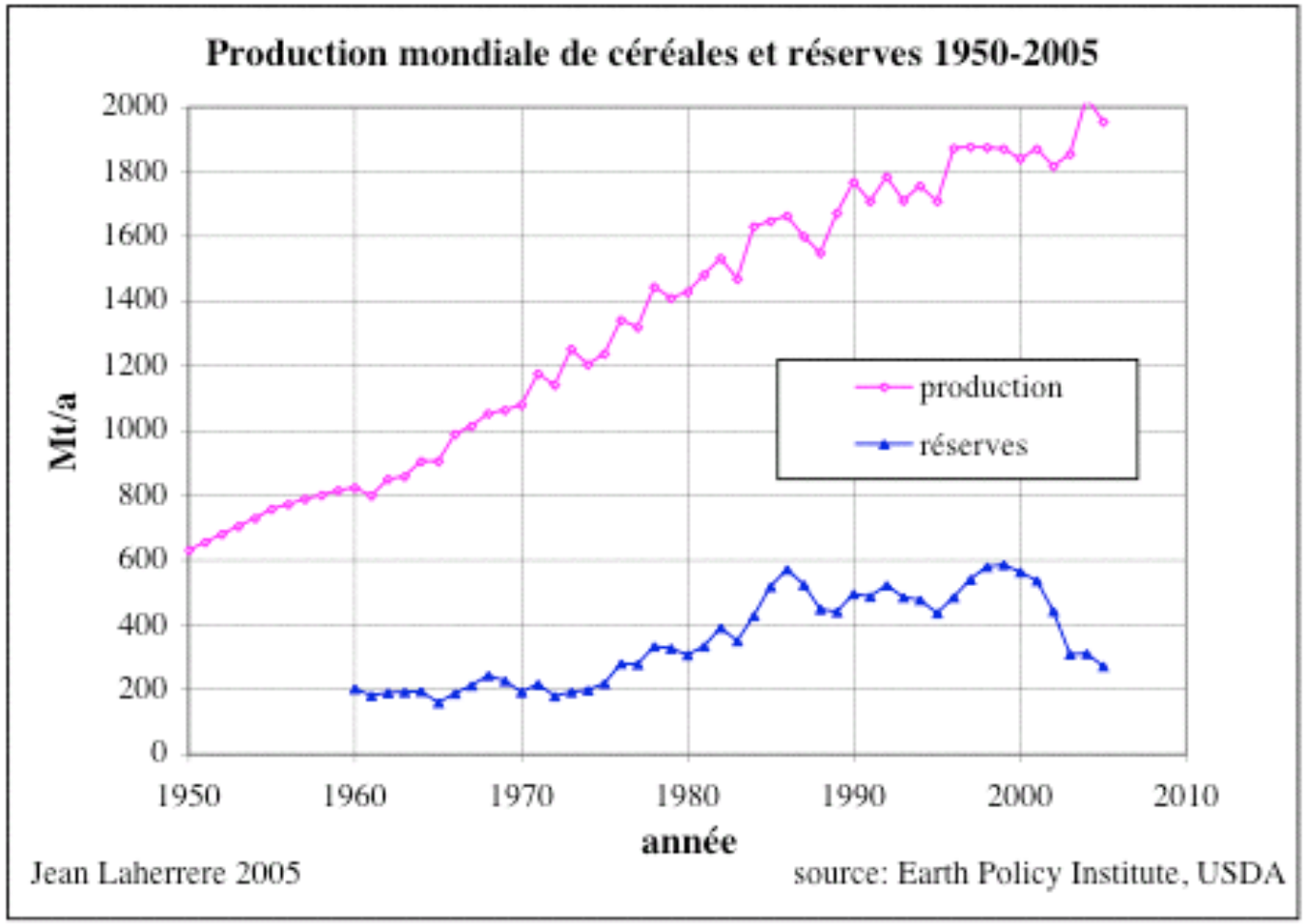


Figure 74: **Production mondiale de grain et stocks 1950-2005**



L'agriculture, qui plafonne pour l'alimentation (productivité, surface, eau), ne pourra pas satisfaire la demande en biocarburants espérée dans le futur, en plus des problèmes de bilan énergétique (le bilan en énergie est proche du zéro pour l'éthanol à partir de la biomasse). Toutefois on peut mieux nourrir le monde en gaspillant moins (la moitié de l'alimentation est jetée aux US).

Les stocks mondiaux de riz montrent une baisse spectaculaire depuis 2000, ce pic est-il définitif ?
Figure 75: **Stocks mondiaux de riz 1965-2003**

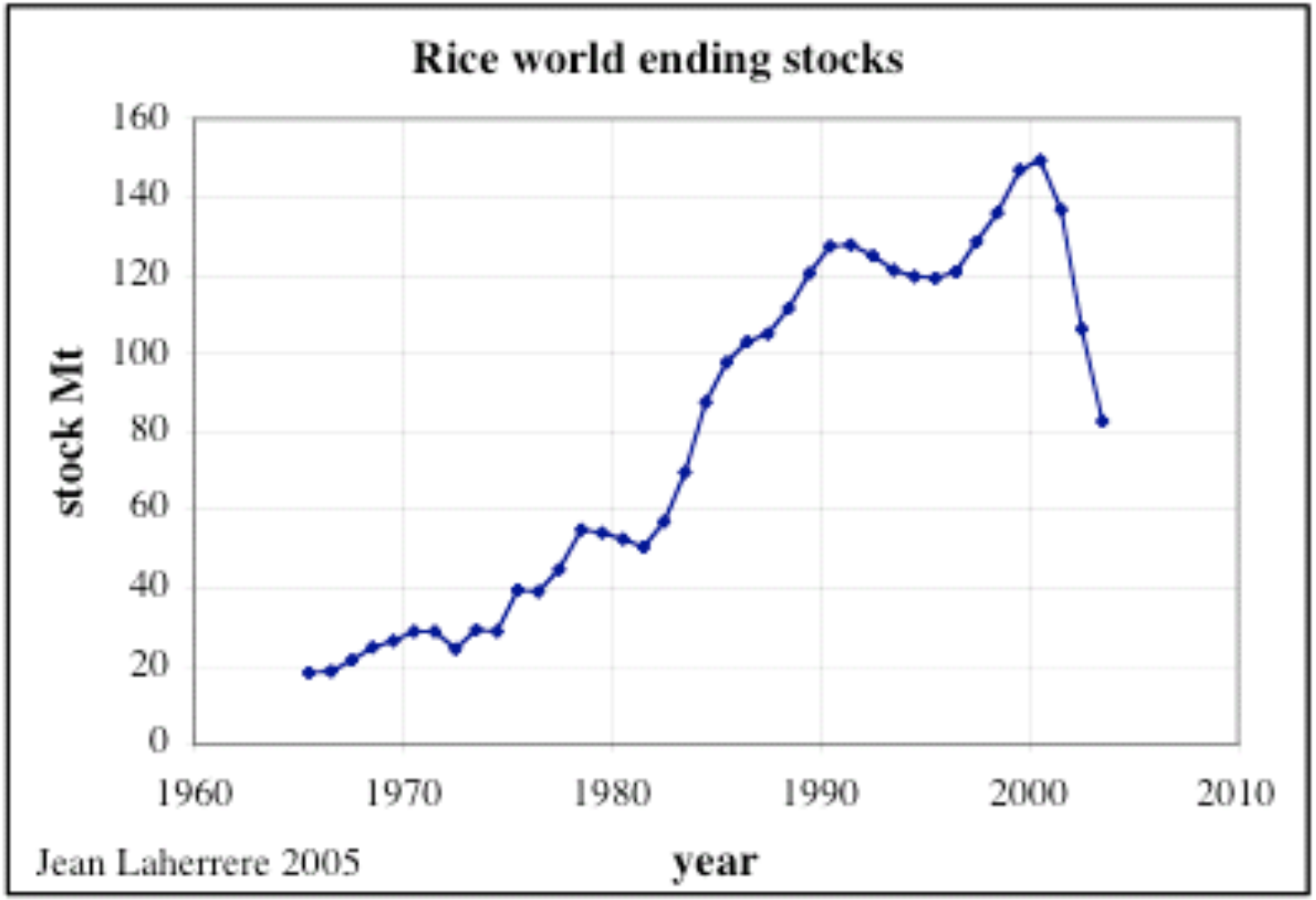
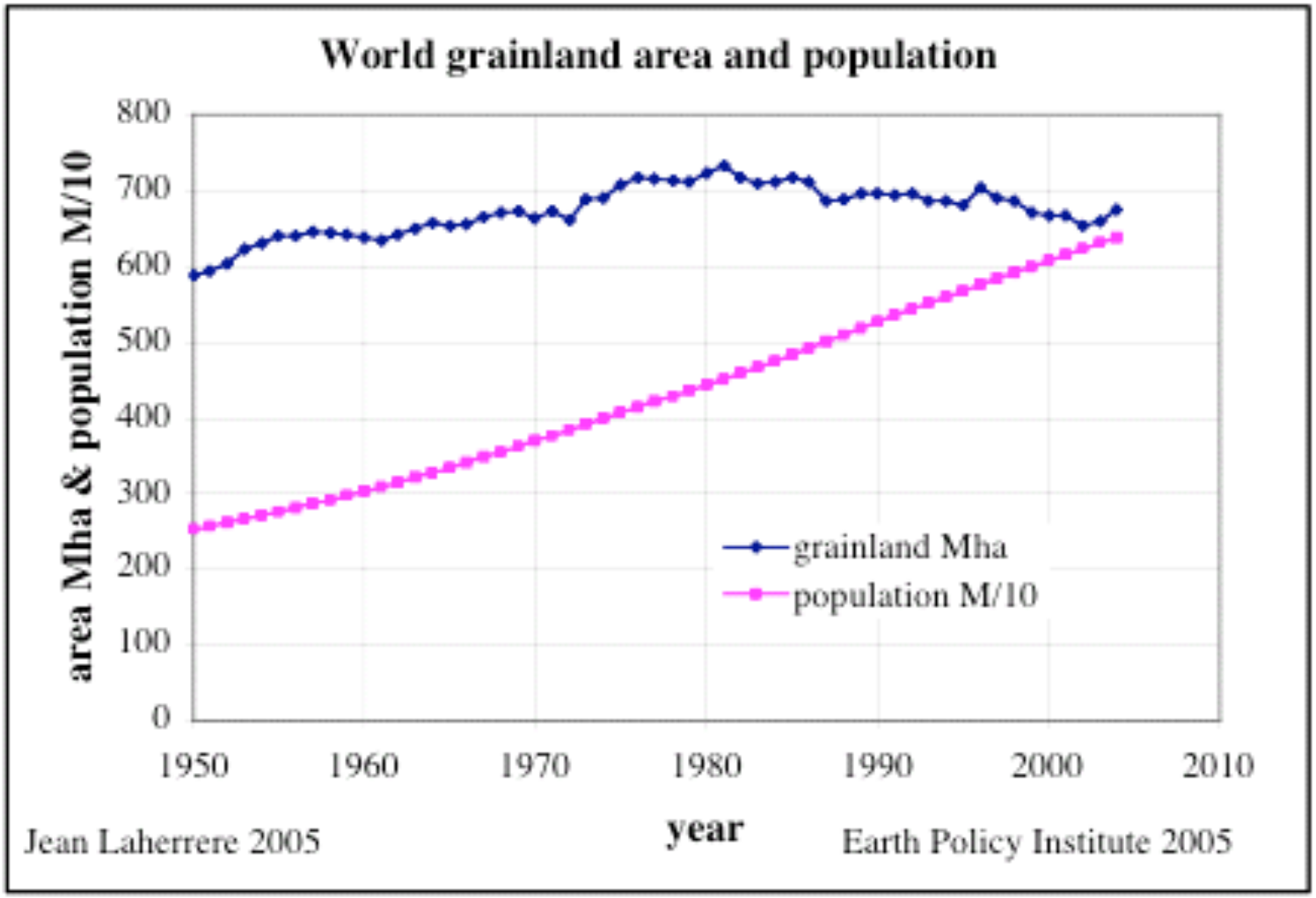


Figure 76: **Monde: Surface des céréales et population 1950-2004**

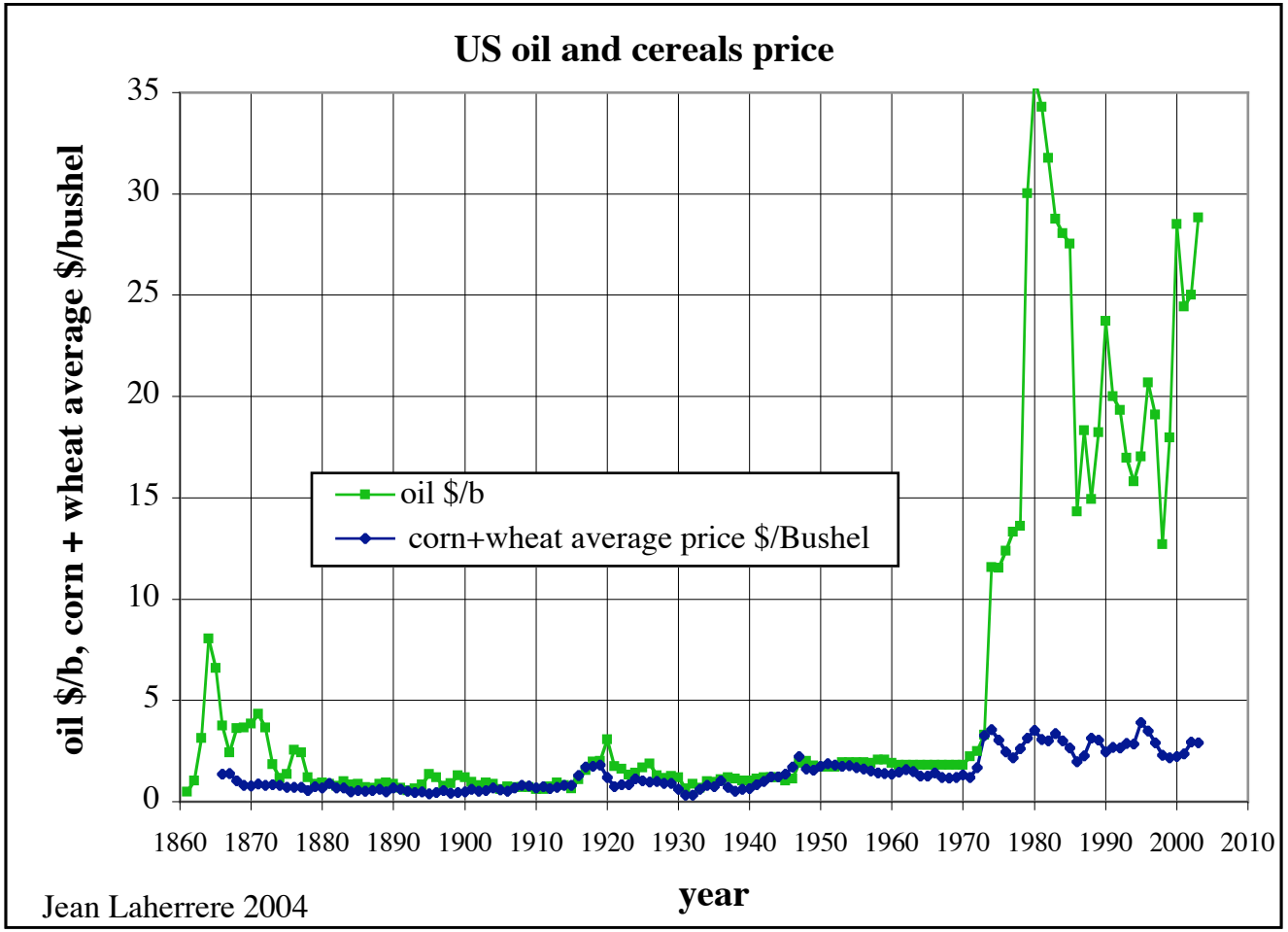


La surface mondiale des céréales a culminé en 1980 !

-prix comparés pétrole-céréales

Le prix courant du bushel de blé et de mais aux US était du même ordre que le prix du pétrole de 1880 à 1973, depuis le prix du blé a doublé alors que le prix du pétrole a été multiplié par 10.

Figure 77: **prix du pétrole et des céréales 1860-2004 aux US**

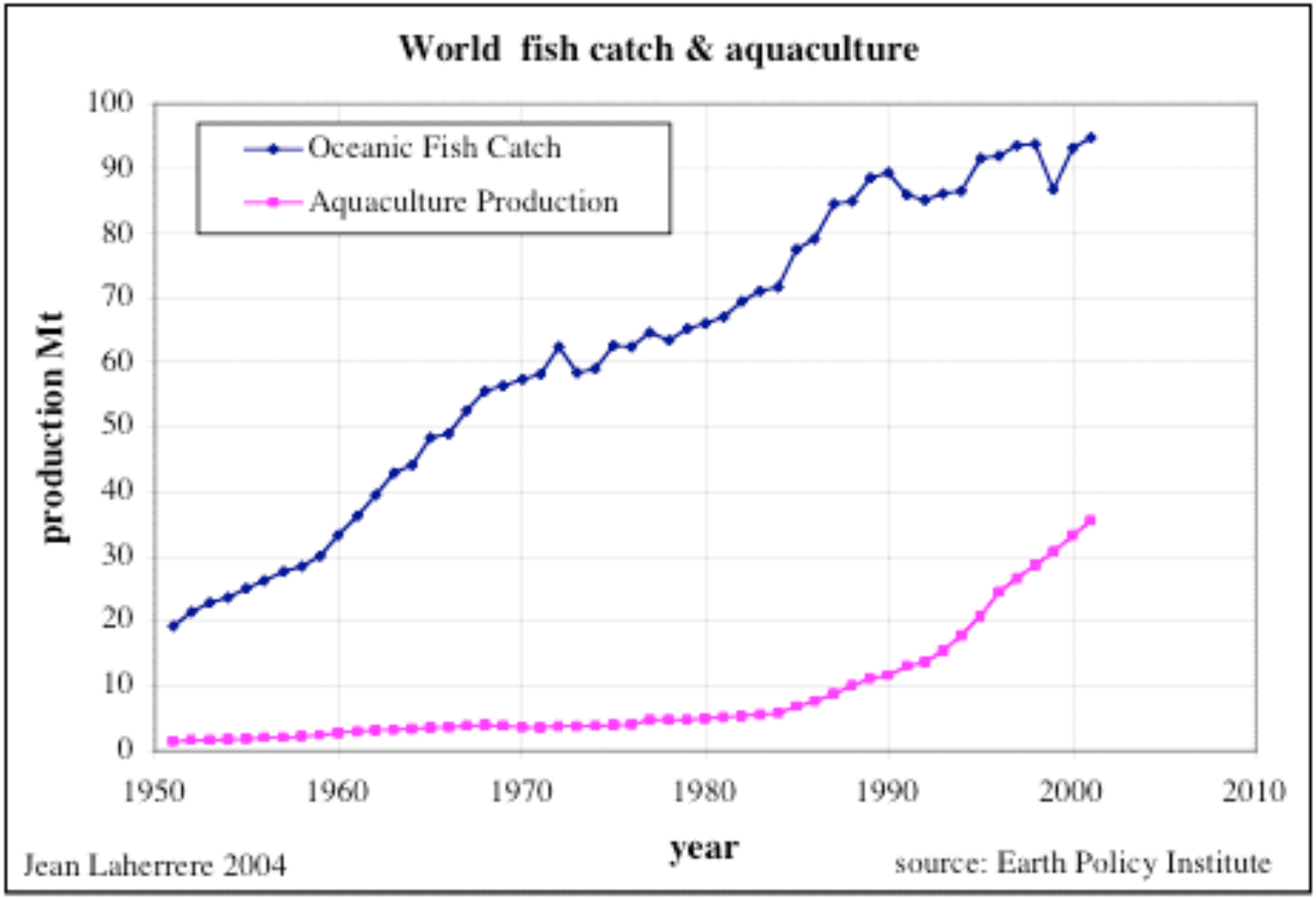


Le prix des céréales aux US est donc très sous-évalué par rapport au pétrole. Les subventions ont faussé la donne

-pêche

La prise mondiale de poissons plafonne depuis 1990 alors que l'aquaculture démarre (mais alimentation surtout à partir de pêche de poissons de faible qualité).

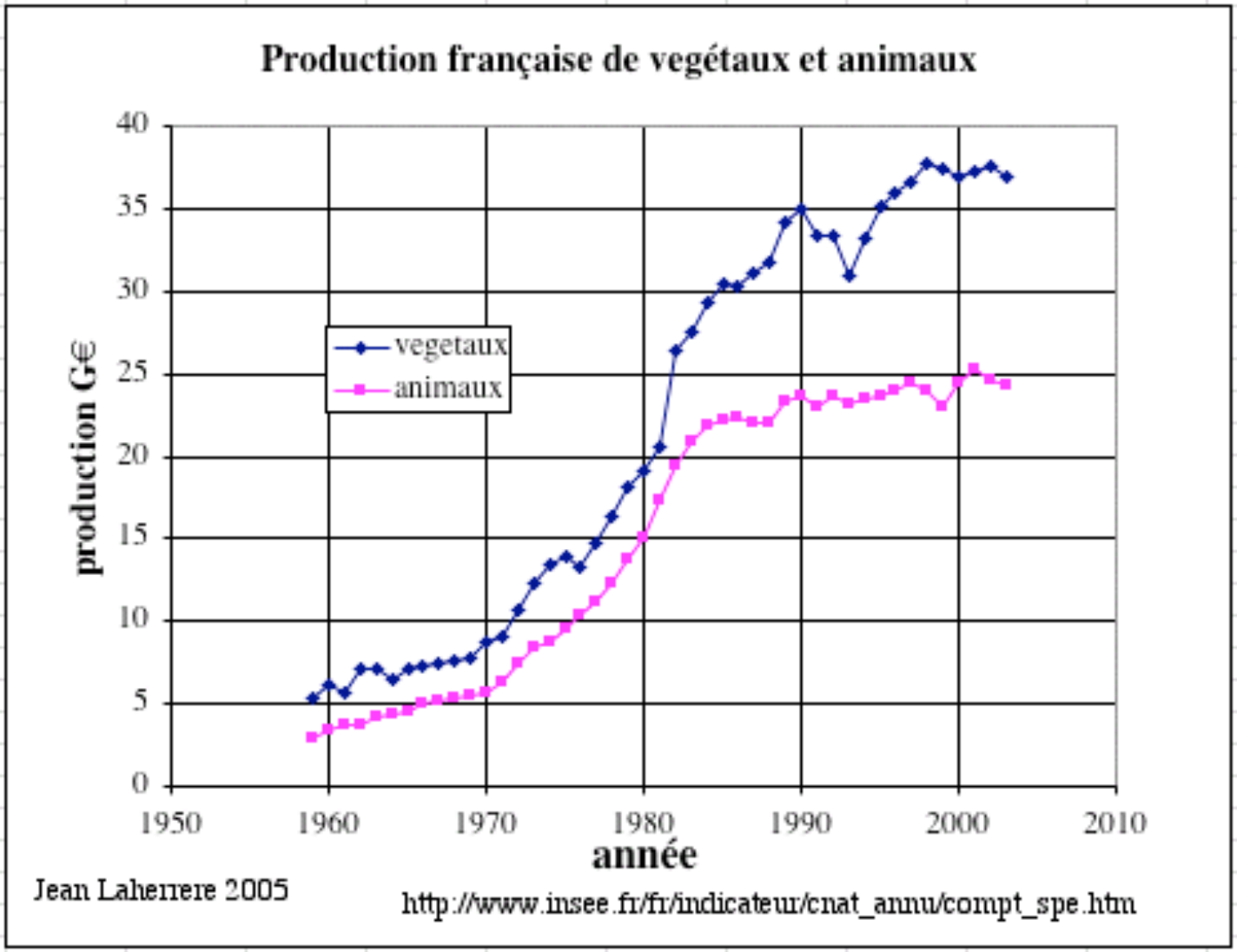
Figure 78: **Prise mondiale de poissons et aquaculture 1950-2003**



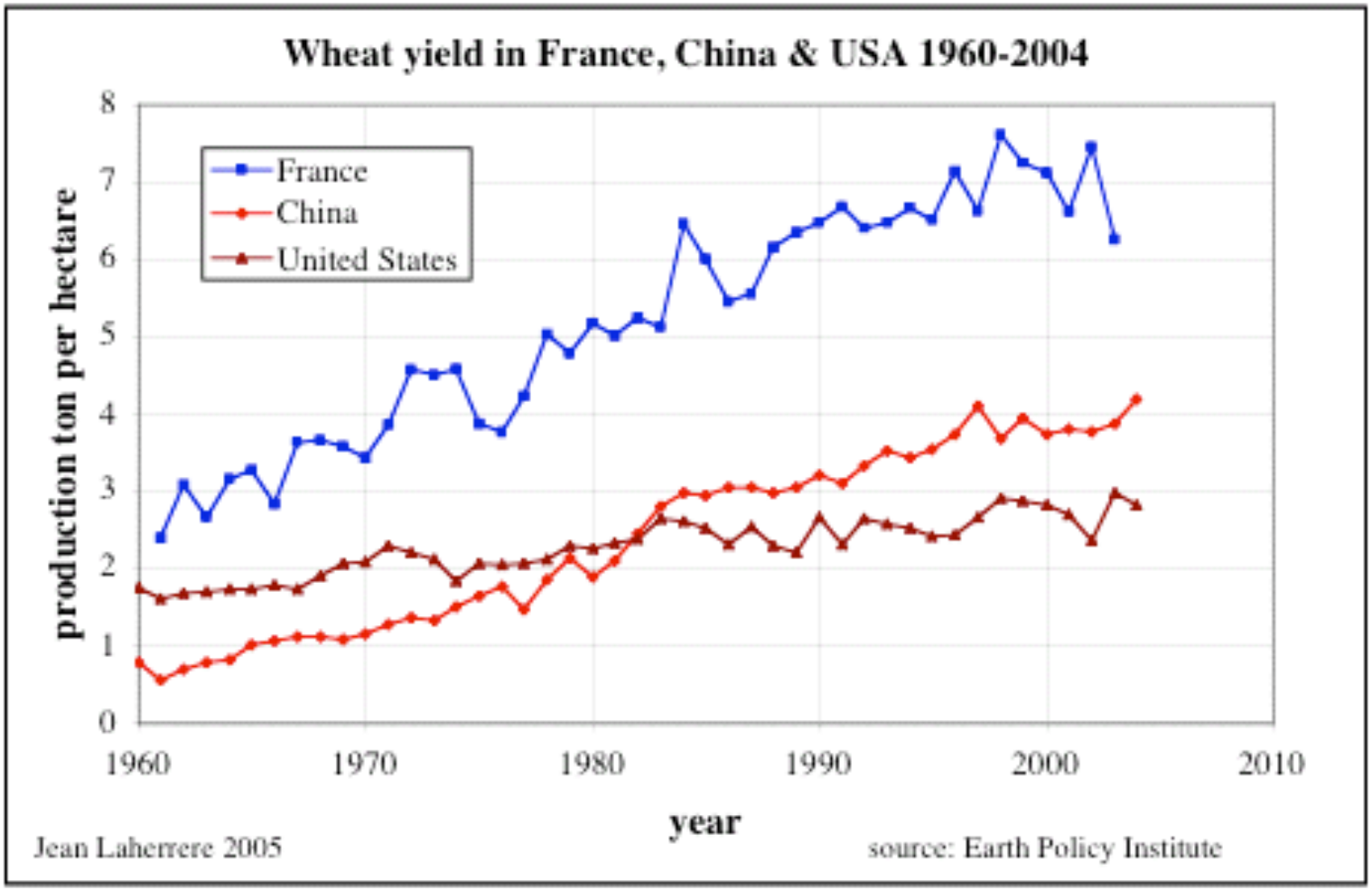
-Agriculture en France

La production de végétaux et d'animaux semble toutefois culminer depuis 5 ans

Figure 79: **Production de végétaux et d'animaux en France 1959-2003**



Le rendement du blé est très supérieur en France comparé à la Chine qui a dépassé les US depuis 1984
Figure 80: **rendement du blé en France, Chine et US 1960-2004**

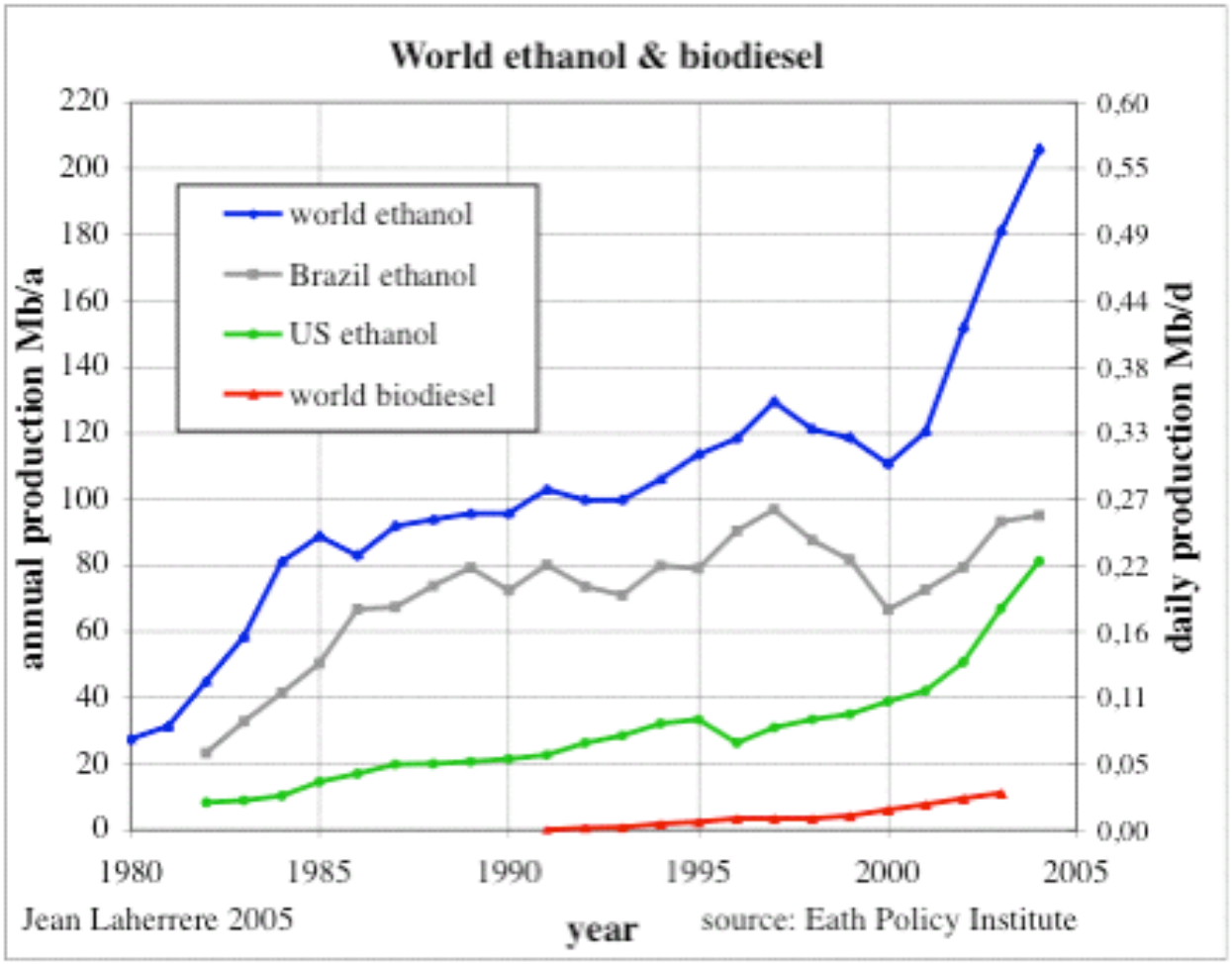


Le rendement français plafonne, il faut abandonner le labourage pour des techniques plus économes et efficaces.

-Biocarburants

Le volume mondial de biocarburants atteint près de 0,6 Mb/d en 2004, soit moins de 1% de la production de liquides

Figure 81: production mondiale de biocarburants



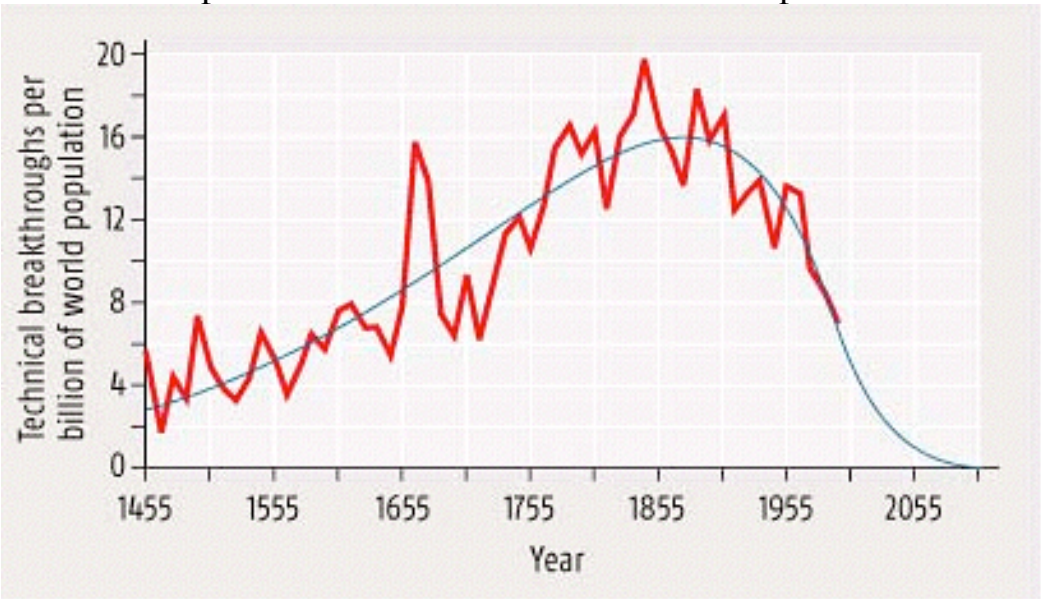
Il est désolant de voir que depuis 10 ans le débat aux US sur le bilan énergétique de l'éthanol à partir du maïs n'est toujours pas réglé : les universitaires Pimentel et Patzek (2005) estiment que l'énergie investie est supérieure à l'énergie produite, alors que l'USDA prétend le contraire ! Les subventions perturbent le système! Seul au Brésil l'éthanol à partir de la canne à sucre (pas d'engrais, pas d'irrigation, pas de pesticide) a un bon bilan énergétique.

-Pic de la science et de la technique?

Jonathan Huebner, physicien pour le Pentagone, dans son livre de 2005 «*Technological Forecasting and social change* » se base sur le livre 2004 « *History of Science and Technology* » de Bunch & Hellemans qui recense 7200 innovations fondamentales pour dire que le pic de la technique est passé.

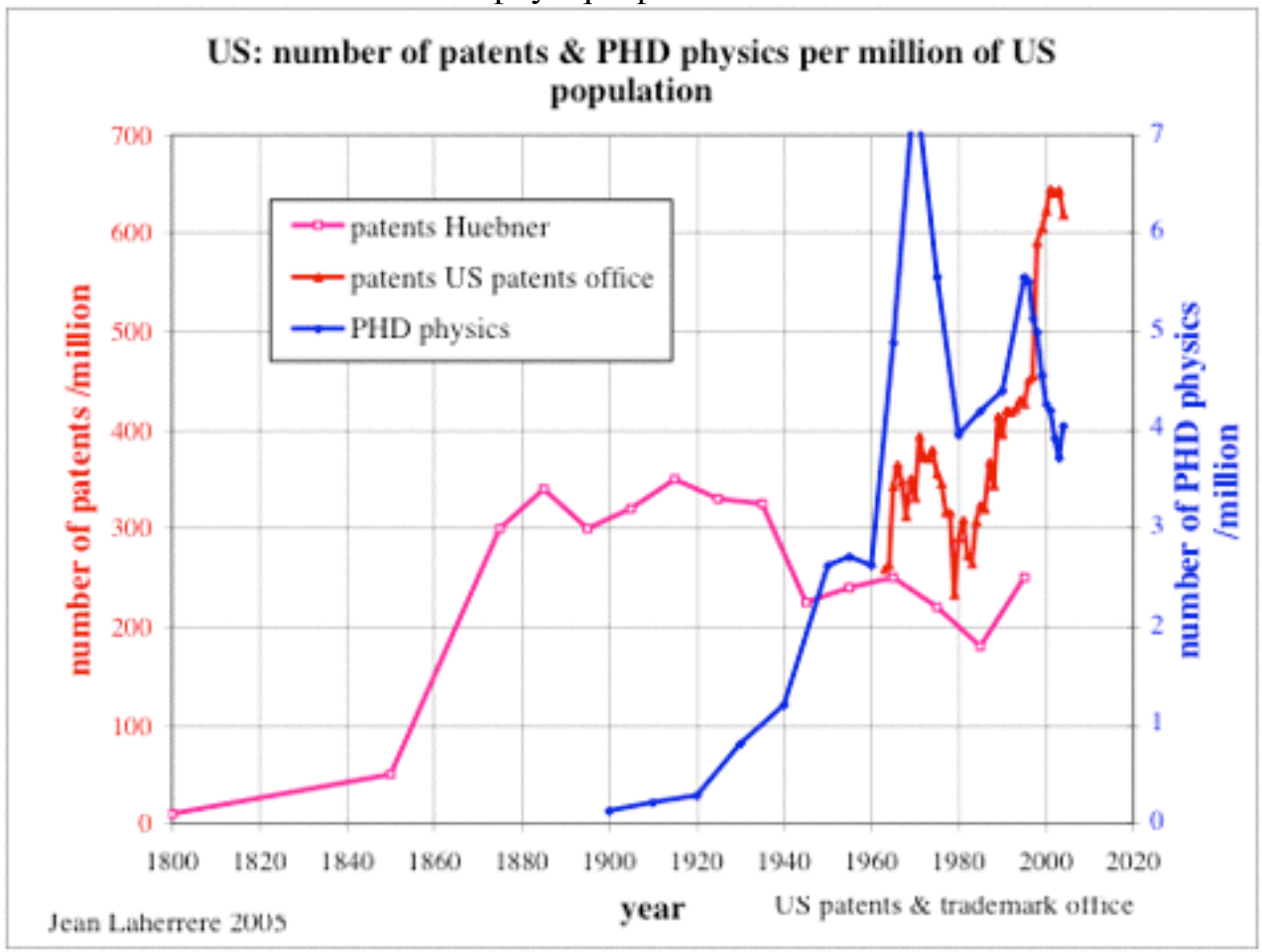
Le taux aujourd'hui est de sept innovations importantes par milliard d'habitants par an, comme en 1600.

Figure 82: nombre d'innovations par milliard d'habitants 1450-2000 d'après Huebner



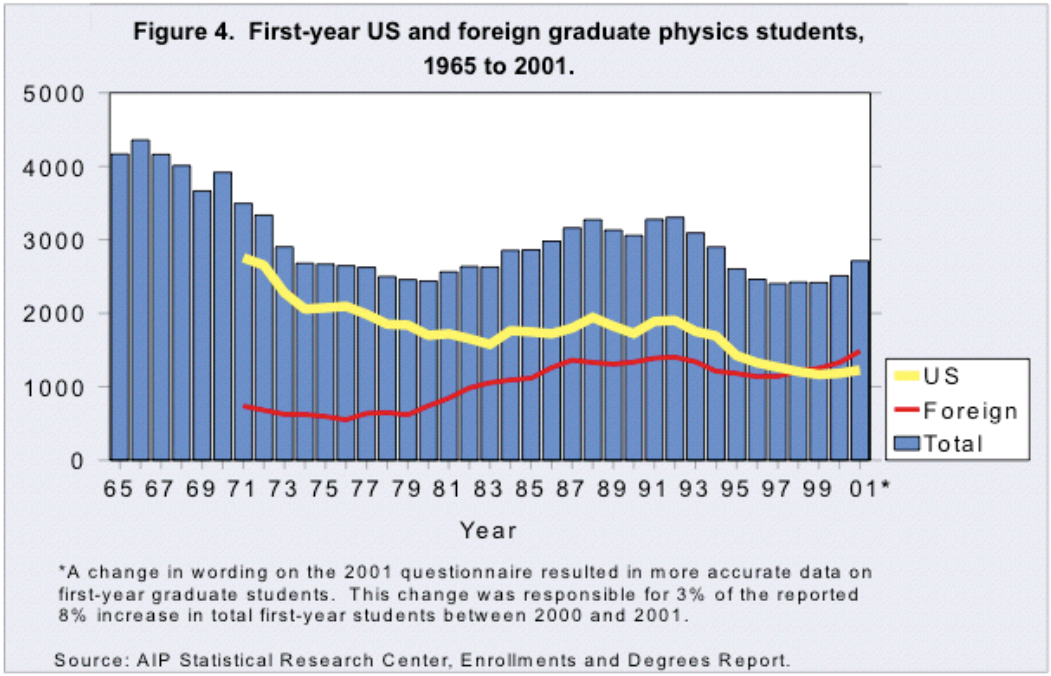
La machine à vapeur, le chemin de fer, le moteur à combustion interne et l'électricité (fin XIXe siècle) sont des inventions plus importantes que l'ordinateur (K. Boulding) ou l'énergie nucléaire, car on peut vivre sans ordinateur mais pas sans eau (pompe).

Figure 83: US: nombre de brevets et de PHD de physique par million d'habitants 1800-2005



La proportion d'étudiants étrangers aux US augmente dans les sciences physiques, dépassant les étudiants américains depuis 1999.

Figure 84: US: nombre d'étudiants en première année de physique d'origine américaine et étrangère 1965-2001



J. Horgan «*The end of science: Facing the Limits of (Human) Knowledge in the Twilight of the Scientific Age*» 1997, éditorialiste de Scientific American, a interviewé d'éminents scientifiques et conclut que la science théorique semble en déclin ou dans une impasse.
Depuis 70 ans on cherche la matière «sombre» (dark matter) qui constituerait 95 % de l'Univers, et depuis 1998 l'énergie «sombre» qui constituerait 70 % de l'Univers avec 35% pour la matière sombre.
La mécanique quantique est en contradiction avec la relativité générale. On ne sait ce qu'est exactement la gravité !
Le modèle standard des particules semble ignorer que ces particules se présentent aussi comme des ondes!
On ne connaît pas la taille d'un électron, alors qu'il a été découvert il y a 100 ans!
La théorie des cordes n'a rien sorti de concret depuis 30 ans avec des milliers de chercheurs!
Les prouesses technologiques (biologie, informatique, satellites) ne doit pas cacher les faiblesses de la physique théorique.
Mais certains parlent de la loi des retours accélérés (R. Kurzweil 2001 «*The Law of Accelerating Returns*») en se basant sur les miracles (?) de la technologie et la loi de Moore qui est une loi exponentielle, oubliant que la Terre est finie!

L'usage de l'ordinateur et de la simulation a fait perdre aux techniciens et aux scientifiques la pratique du calcul d'erreur (on obtient beaucoup de décimales !) et la rigueur.
Les probabilités sont très mal utilisées. Les navettes spatiales étaient supposés fiables à 1/100 000. Après l'accident de Challenger le prix Nobel Feynman l'a réduit à 1/100, mais le 2e accident de Columbia a montré que c'était moins !

La plupart des organismes officiels européens violent la loi en ce qui concerne l'emploi du Système International d'unités qui est obligatoire dans tous les pays, sauf les US hors des agences fédérales, le Bangladesh et le Libéria.
On voit dans de nombreux papiers européens m ou MM utilisé pour million.
L'IFP écrit Gm3 ou gigamétre cube pour le milliard de mètre cube alors qu'il représente un million de fois le volume de la Terre, comme si km2 correspondait à un millier de mètre carré ou 0,1 hectare! Le milliard de mètre cube correspond à un kilomètre cube.
Le pire est que ces erreurs ont été signalés il y a fort longtemps et tout le monde continue à ignorer ce qu'ils ont appris (?) en sixiéme. On me répond que cela n'a aucune importance et que tout le monde sait bien ce que cela représente. Ils semblent ignorer que la sonde Mars Climate Orbitor s'est écrasée en 1999 car la Nasa avait envoyé les instructions en SI alors que le constructeur Lockheed l'avait construite en non-SI. La première plateforme de Frigg a été aussi perdue par mauvais usage des unités!

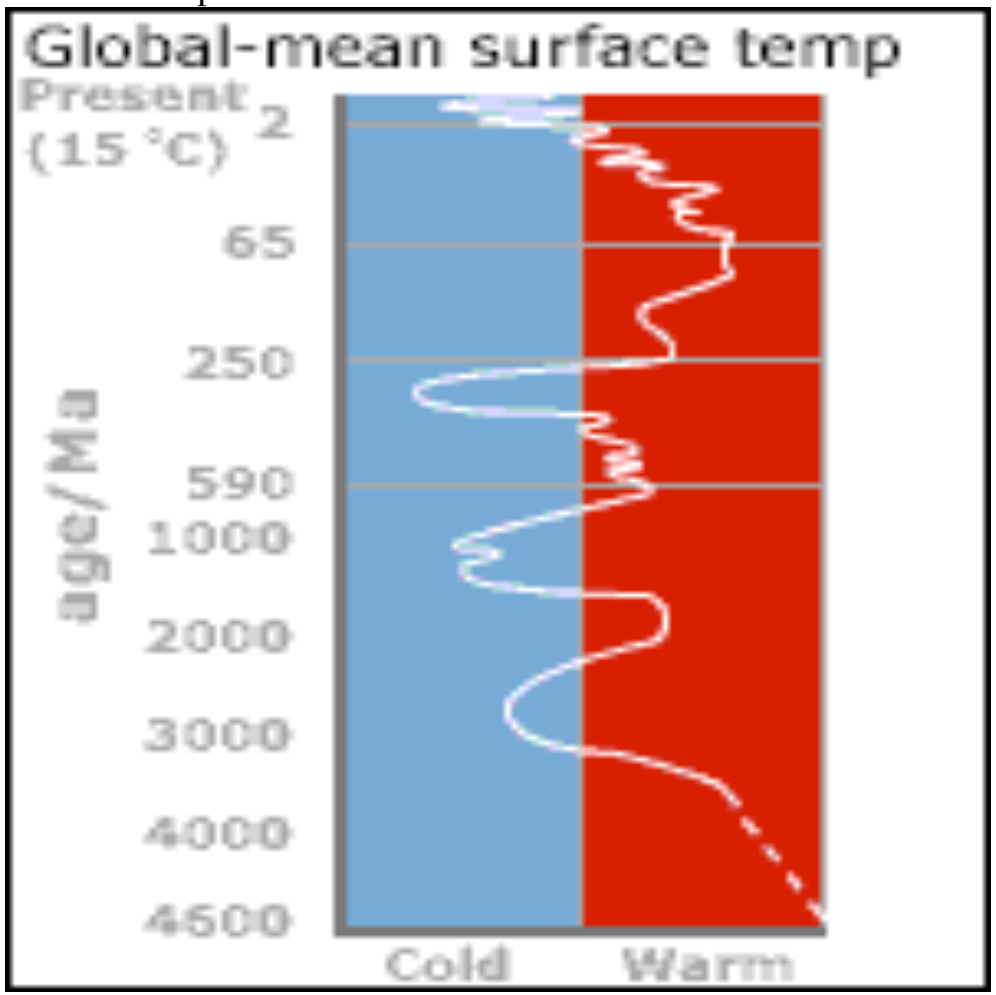
Les Américains, qui ont été à la pointe du progrès dans de nombreux domaines, sont maintenant dépassés, ne voulant pas changer par conservatisme et pour ne pas accepter une technique non US (carte de crédit sans puce, unités périmés, définition des réserves).

-Changements climatiques

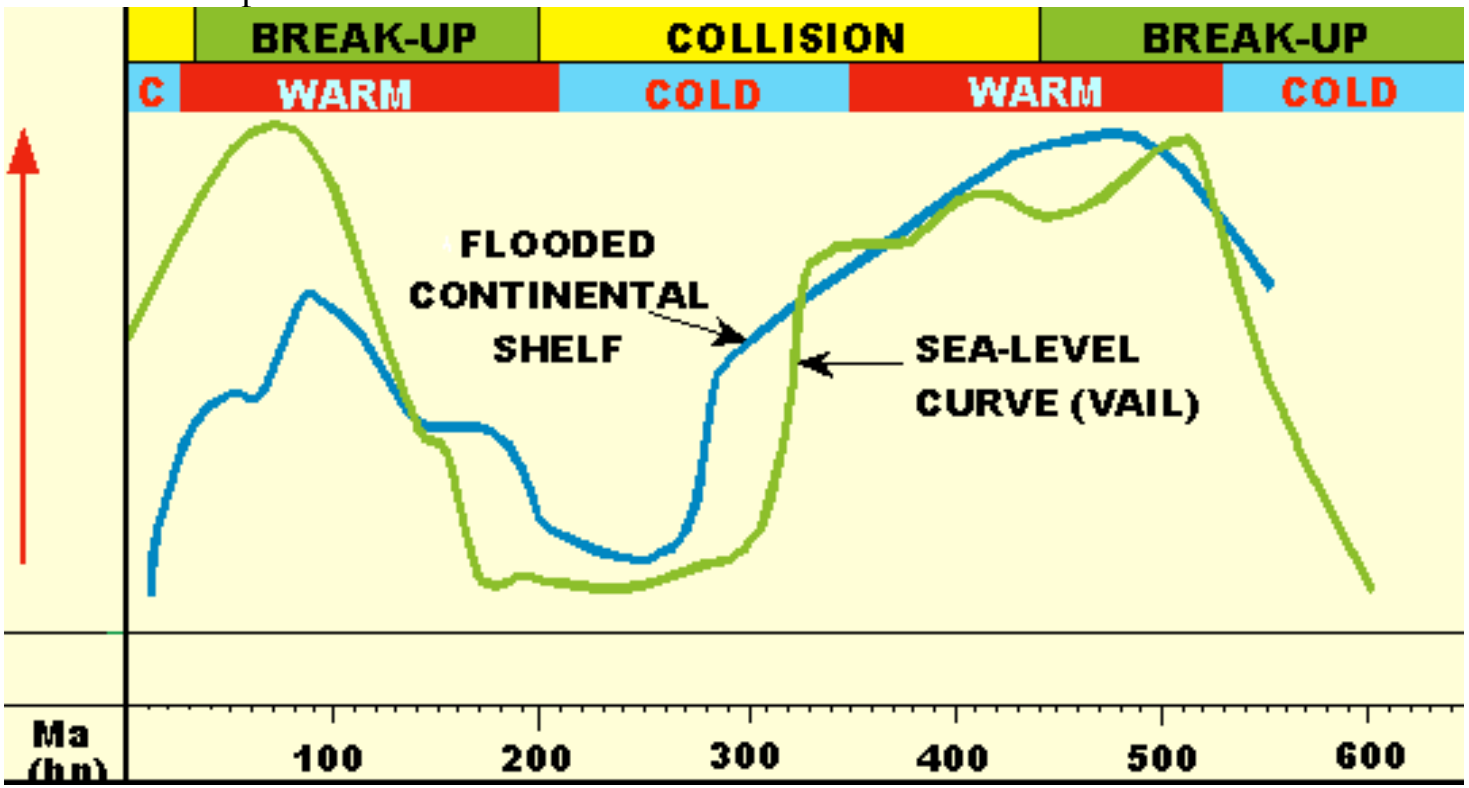
-Ages géologiques

Nous vivons dans une période interglaciaire à l'intérieur d'un épisode glaciaire qui a démarré depuis 2 millions d'années. Le dernier épisode glaciaire s'est produit, il y a 300 millions d'années.

Figure 85: Température de la Terre depuis sa naissance

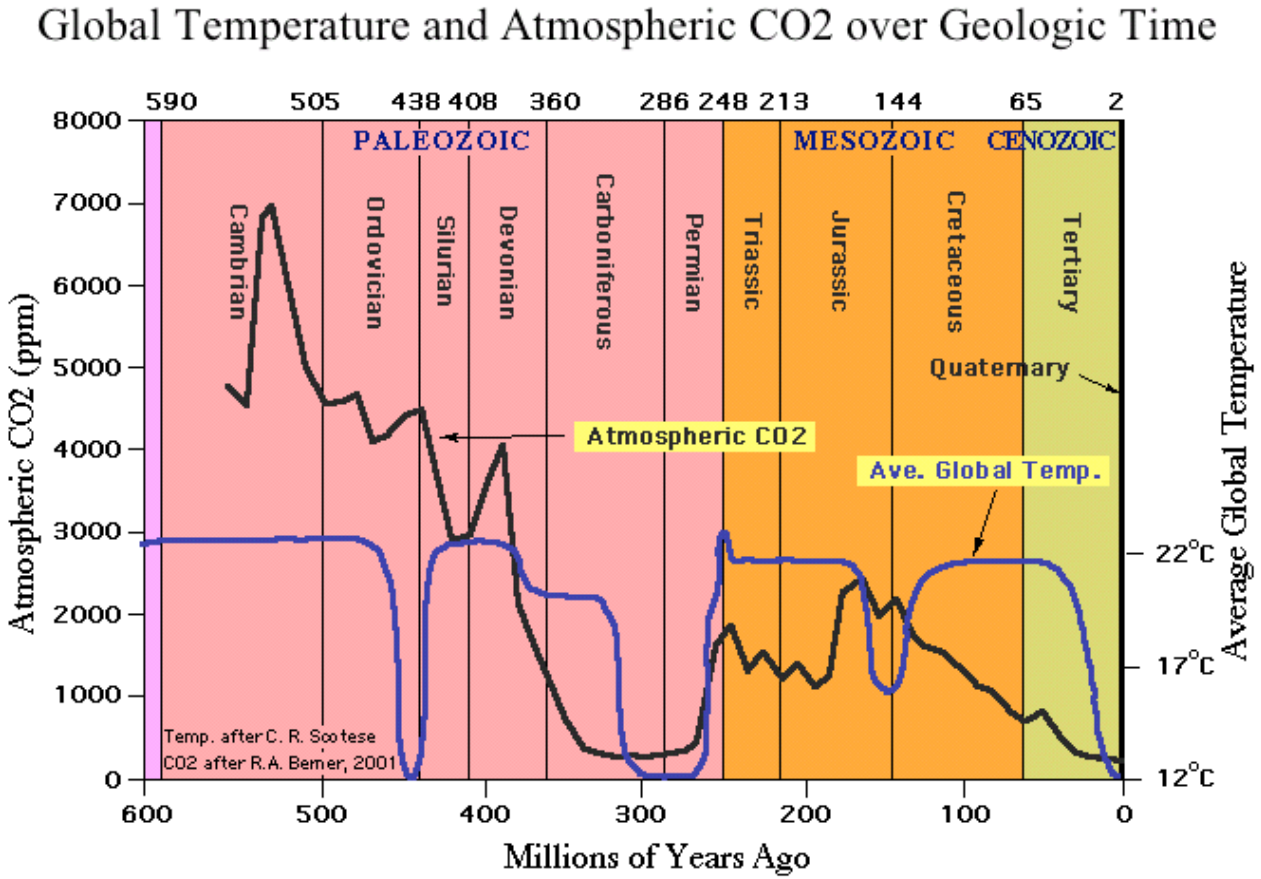


La dérive des continents joue un rôle très important.
Il y a 15 000 ans durant la dernière glaciation, le niveau de la mer était 120 m plus bas, mais durant le Crétacé, il n'y avait pas de continents aux pôles, le niveau de la mer, la température et le CO2 étaient bien plus élevés que maintenant,
Figure 86: Niveau de la mer depuis 600 Ma



Le niveau de la mer a monté de 120 m depuis la dernière glaciation et de 2 mm/a depuis 1900, ce qui est loin d'être *dangereux*.

Figure 87: CO2 et température des temps géologiques depuis 600 Ma d'après Gerhard 2005



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).**

Sur les 600 millions d'années, le chaud a régné plus de 80%, dans le dernier million, il n'a régné que 30%.
Nous sommes donc dans des conditions anormales et nous allons vers une nouvelle glaciation où Paris sera probablement de nouveau comme il y a 20 000 ans dans le permafrost et New-York sous la glace!
De plus dans des millions d'années, les continents seront bien différents : la Méditerranée aura sans doute disparu!

Figure 88: 3e rapport GIEC: température estimée par Mann d'après les cernes des arbres = la crosse de hockey qui nie la période médiévale chaude qui est évidente sur les données des sédiments sur 3000 ans. Le réchauffement actuel est la sortie du petit age glaciaire

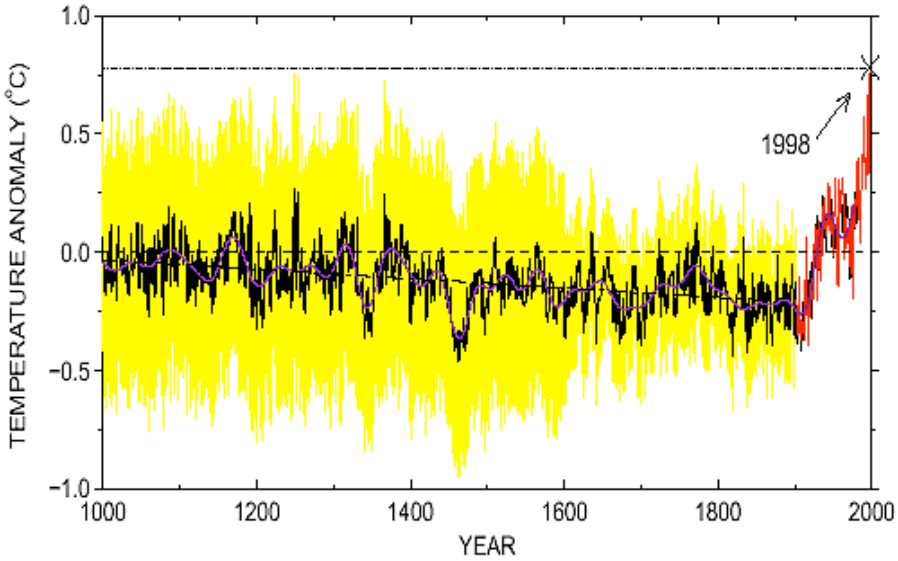
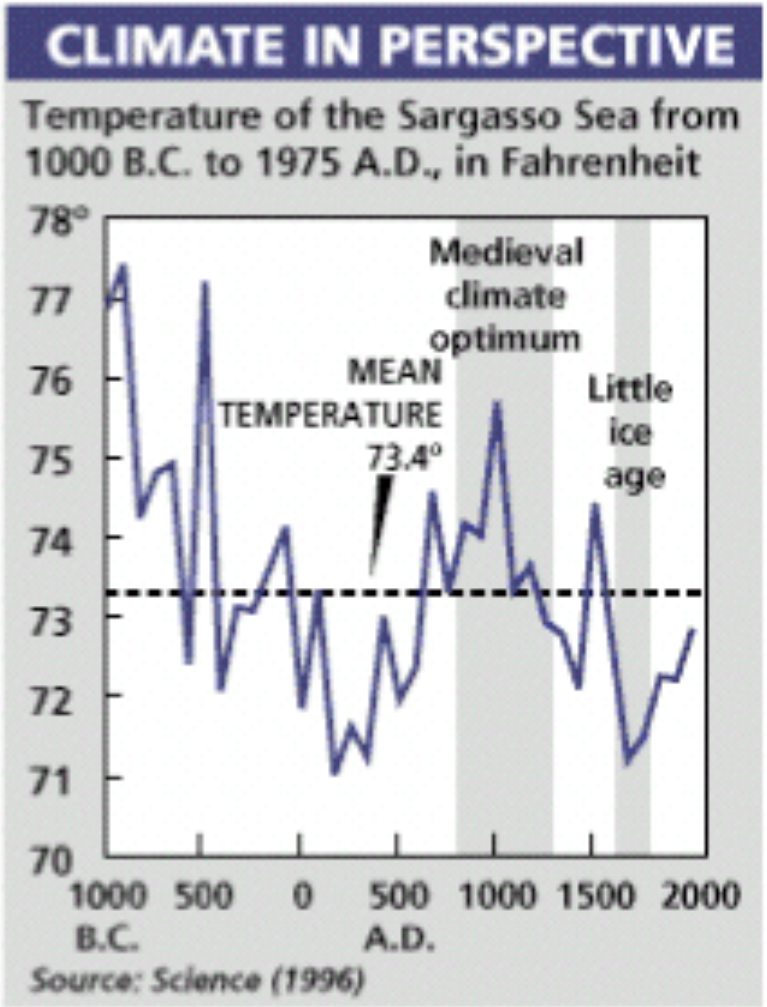


Figure 4: The 'Hockey Stick'

Figure 89: Température depuis 3000 ans



Esper 2005 montre que la courbe de température du dernier millénaire varie considérablement avec les auteurs, de l'ordre de l'augmentation depuis 1900 à 2004 (0,6°C)!

Figure 90: Différents courbes de température du dernier millénaire d'après Esper

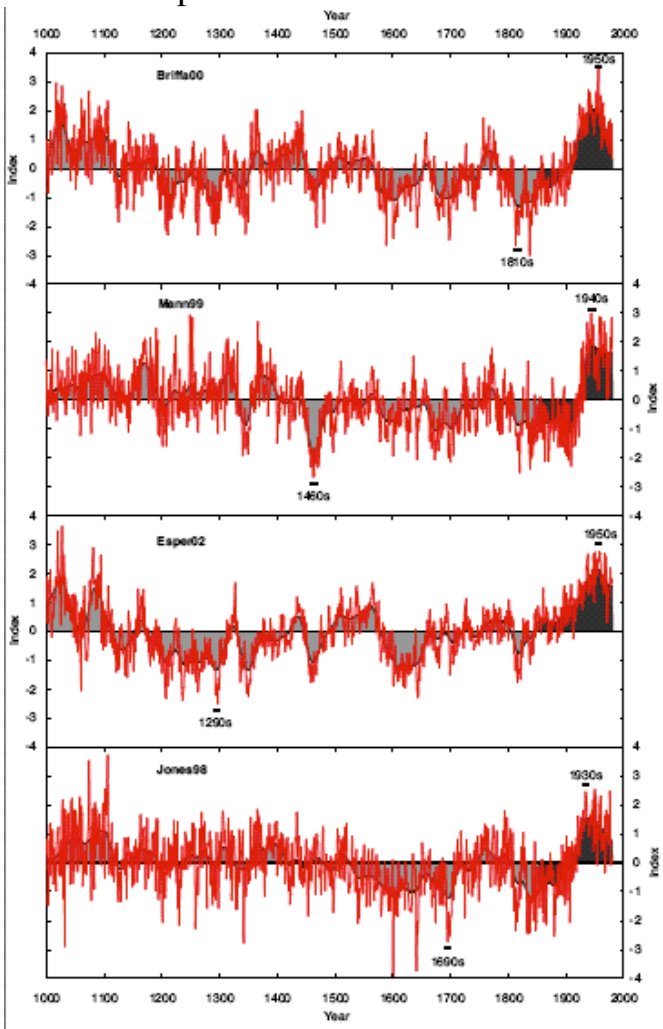
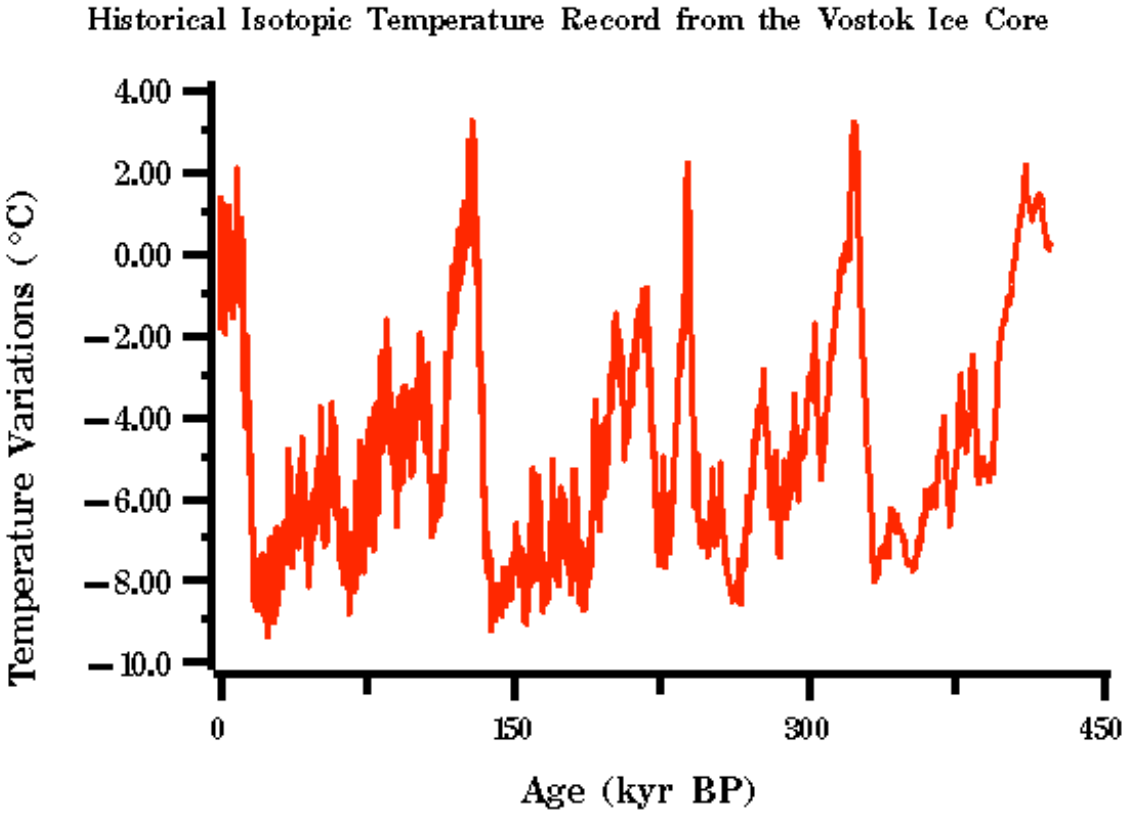


Figure S1 Millennial-long, large-scale temperature reconstructions with annual resolution. Records are normalized over the 1000-1980 period. The long-term trend is highlighted using a 40-year spline filter. The "pre-instrumental" period 1000-1855 is highlighted in grey, the "instrumental period" 1856-1980" is highlighted in black. Coldest and warmest decades of each reconstruction are indicated with bars.

Milankovitch a démontré en 1924 que les changements climatiques suivaient les cycles astronomiques de la terre autour du soleil (3 paramètres = excentricité ellipse de la terre, inclinaison de l'axe de la terre et précession des équinoxes). Les cycles solaires sont de l'ordre de 20 000 ans, 40 000 ans et 100 000 ans comme le montrent les carottes de glace dans l'Antarctique de Vostok depuis 420 000 ans avec des **variations de 10 °C entre glaciaire et interglaciaire:**

Figure 91: températures déduites des glaces à Vostok depuis 420 000 ans

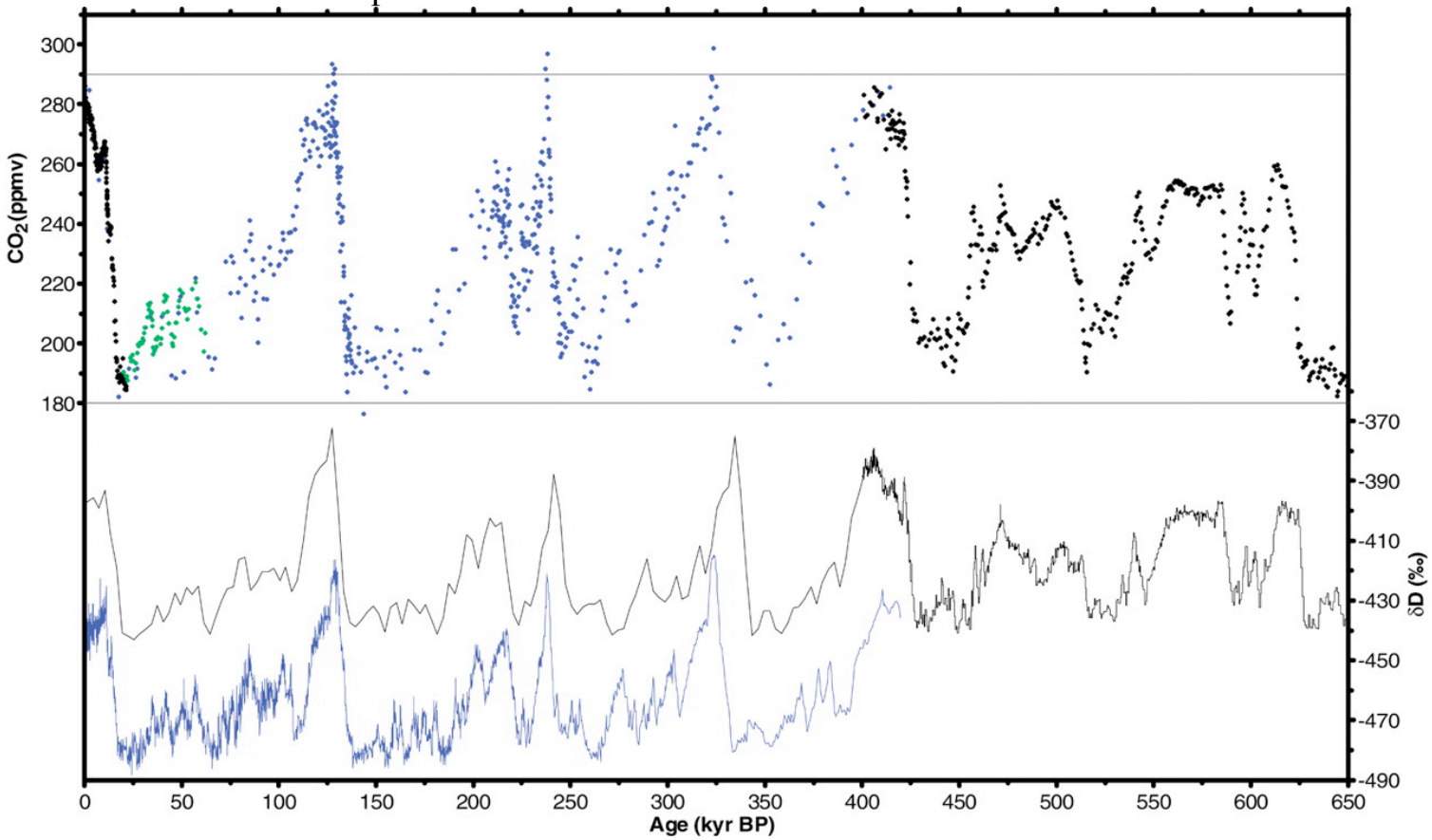


Variation with time of the Vostok isotope temperature record as a difference from the modern surface temperature value of −55.5 °C.

Source: Petit et al.

Comme à Vostok, on retrouve la même variation de température au Dôme C qui remonte à plus de 650 000 ans avec le même parallélisme avec le CO2

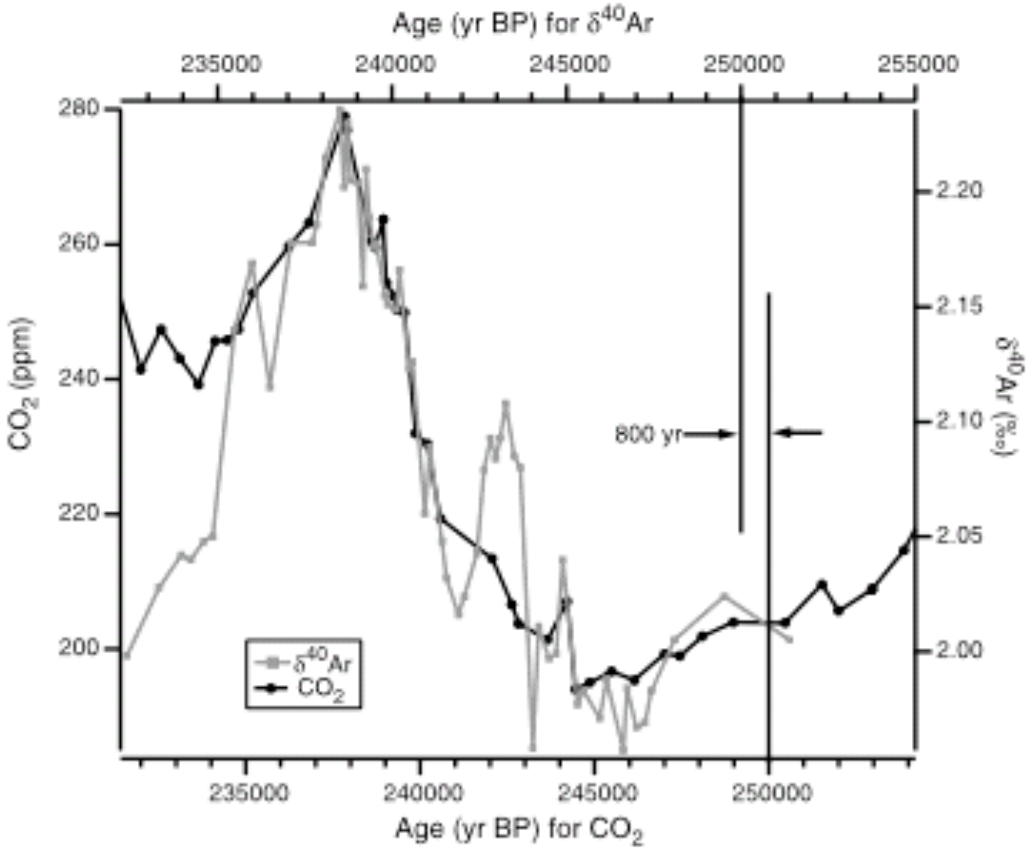
Figure 92: courbe de CO2 et de température au Dôme C et à Vostok



Sur les 650 000 dernières années, le chaud n'a régné qu'un tiers du temps.

Figure 93: température et CO2 décalé de 800 ans à Dome Concordia d'après Caillon 2003

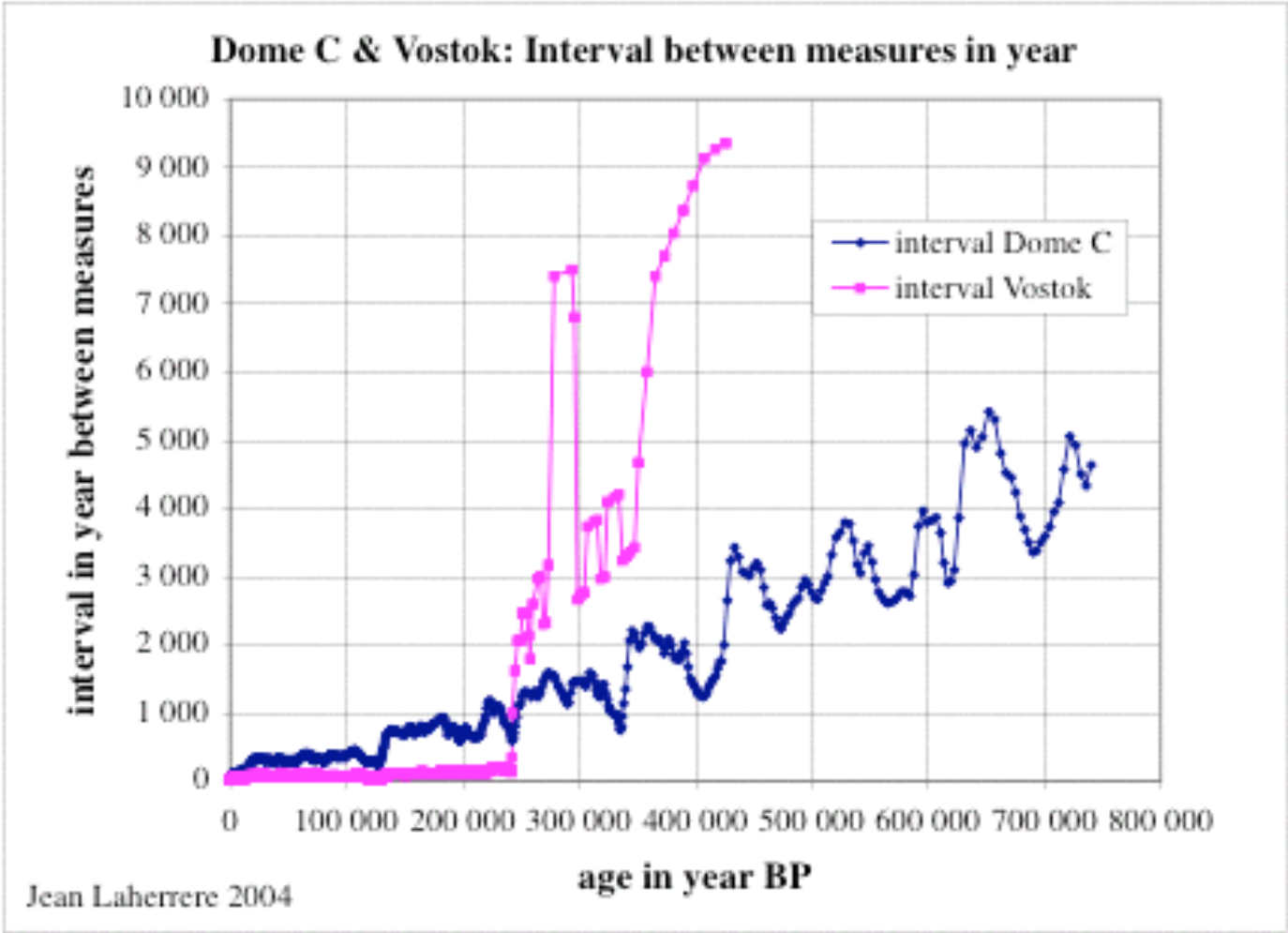
Fig. 4. Vostok records of $\delta^{40}Ar$ and CO_2 with respect to gas age (*1*). Atmospheric CO_2 concentration is a combination of new data and published data (*1*, *44*). The age scale for the CO_2 proxy has been shifted by a constant 800 years to obtain the best correlation of the two datasets.



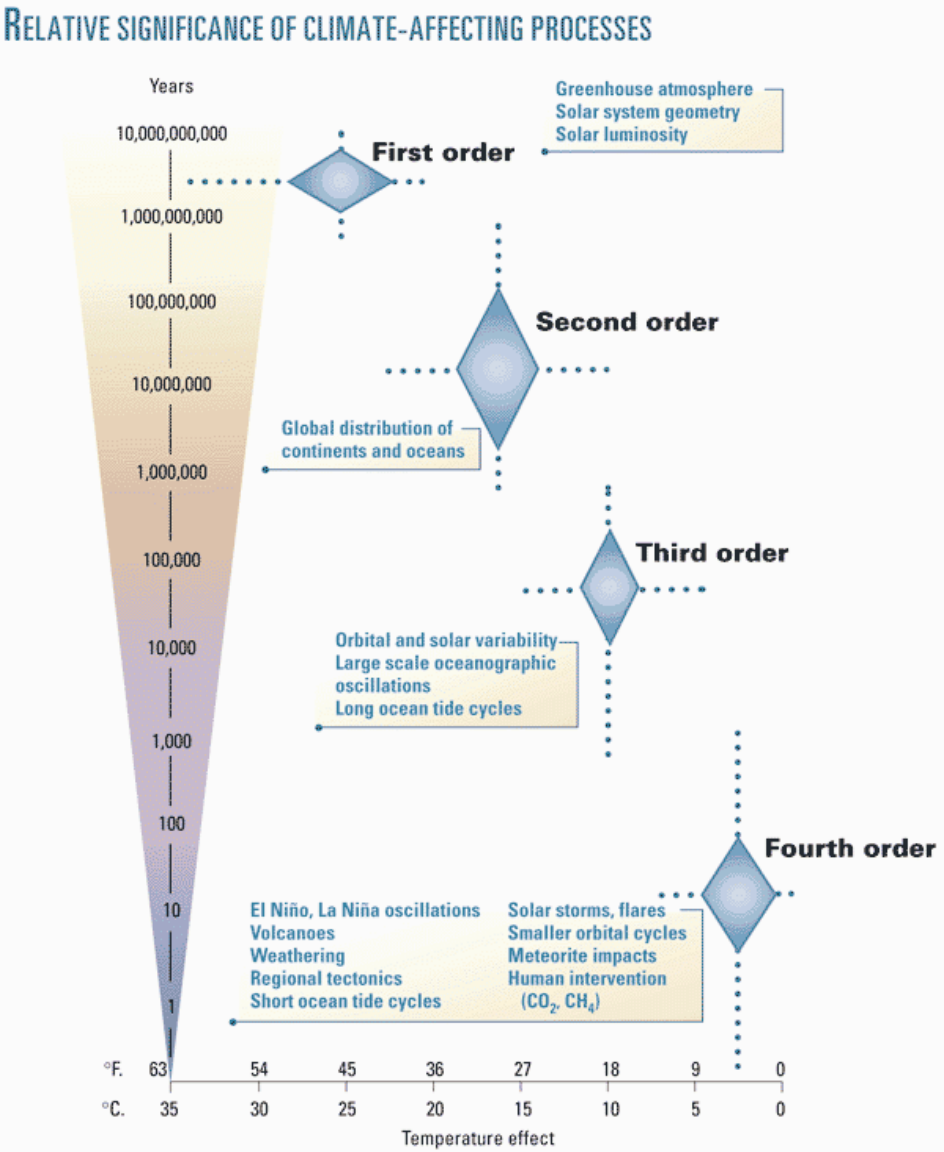
0 14 MARCH 2003 VOL 299 SCIENCE www.sciencer

Le CO2 suit la température avec un retard de 800 ans : **c'est la température qui mène la danse**

Le CO2 actuel à 380 ppm est comparé aux mesures d'il y a 420 000 ans, période interglaciaire supposée comparable à la nôtre, mais l'intervalle des mesures y est de plusieurs millénaires,
on ne peut donc pas comparer une valeur instantanée et une valeur moyenne sur un millénaire.
Figure 94: intervalles entre mesures à Vostok et Dome C



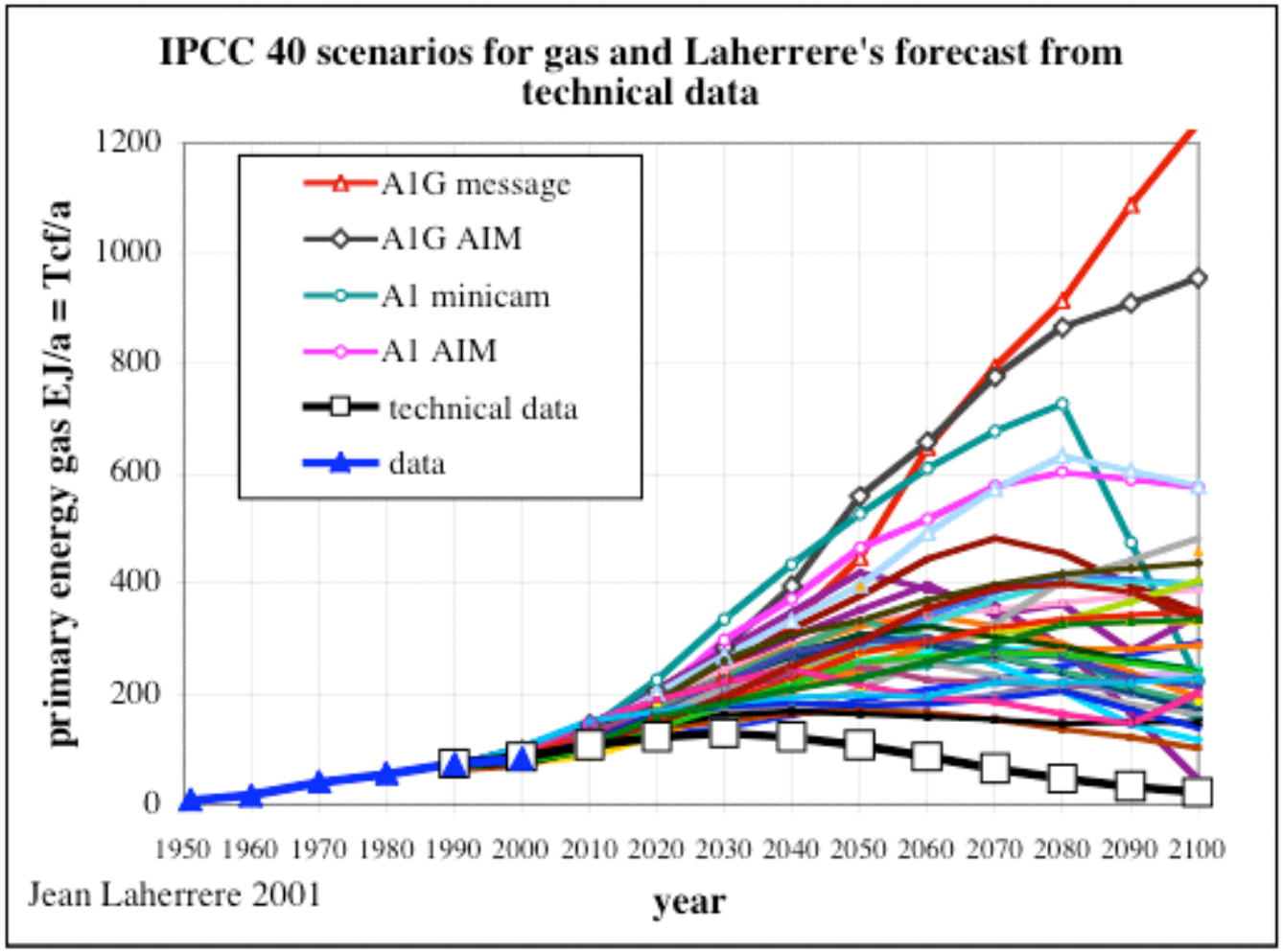
Dans le contexte géologique et les processus affectant le climat, **les émissions humaines se classent au 4e ordre**,
Figure 95: signification relative des processus affectant le climat d'après Gerhard 2001



-**Scénarios du GIEC**

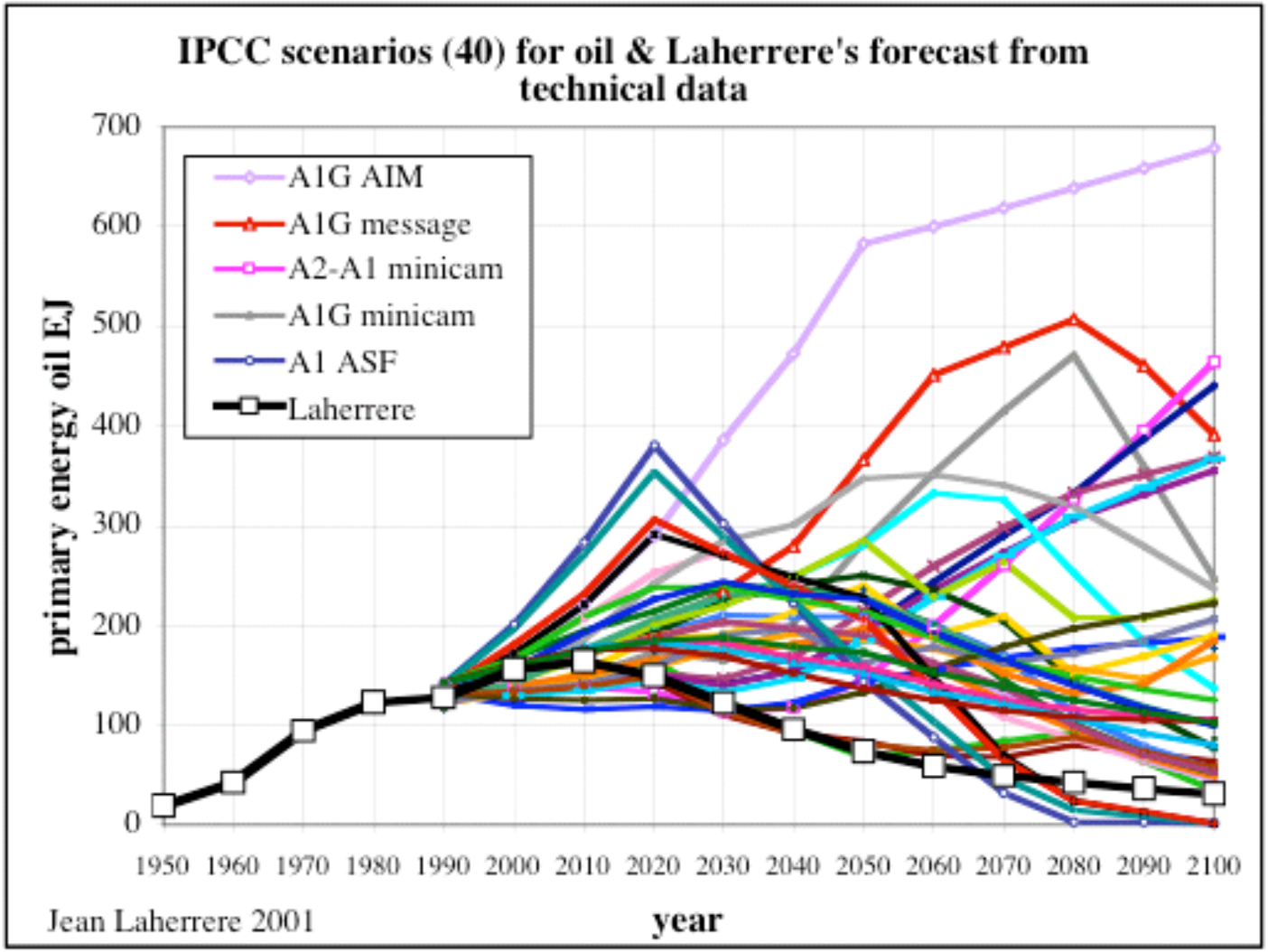
Le rapport GIEC 2001 (TAR) utilise par les promoteurs du protocole de Kyoto est basé sur 40 scénarios de consommation énergétiques (SRES) fournis par l'IIASA qui les a conçus sans aucun contact avec l'industrie.

Figure 96: scénarios IIASA du rapport GIEC pour la consommation de gaz comparés à la prévision à partir des données techniques



IIASA croit à l'age du gaz sans limite grâce aux hydrates: c'est du rêve!

Figure 97: scénarios IIASA du rapport GIEC pour la consommation de pétrole



Le plus consternant est que le prochain rapport GIEC prévu pour 2007 va être basé sur les mêmes scénarios, malgré que John Reilly (MIT) a écrit que les scénarios SRES étaient une “insulte à la science”
Comme disent certains, c’est GIGO: “garbage in, garbage out”
Les débats sur le climat sont devenus plus politiques et «fanatiques religieux» que scientifiques.

-Scénarios Shell, IIASA, GIEC, CIA, UN

Shell a lancé la mode des scénarios qui sont des exercices littéraires où le titre importe plus que le contenu, car on dit bien que les scénarios ne sont pas des prévisions. Donc on dit que l'on ne fait plus de prévisions, mais on en fait quand même, même s'ils sont irréalistes!

Shell (2005) to 2025

-Low trust globalisation

-Open doors

-Flags

La production de pétrole OPEP est prévue autour de 40 Mb/d en 2025

CIA (dec. 2004) Mapping the global future : 2020 project:

Energy in the ground sufficient to meet global demand. Energy will increase by 80% (and by 50% per capita) from 2000 to 2020.

-Davos world

-Pax americana

-A new caliphate

-Cycles of fear

Millennium Project of the American Council for the United Nations University

Depuis 1997 le Millenium project fait, chaque année, une enquête Delphi auprès des « experts ». J'ai refusé (comme JM Bourdaire) de participer à l'enquête 2006 pour 2020 pour ne pas être associé à un rapport politiquement correct. En effet ce qu'est que maintenant que le *peak oil* est mentionné, alors que le Sénat américain a fait plancher plusieurs experts sur ce sujet en 2005. Dans le rapport 2004 il est affirmé que les ressources (?) sont suffisantes.et que le drame est le réchauffement global. Cette enquête est à la traîne au lieu d'anticiper. Les scénarios

-Business as usual

-Environmetal backlash

-High tec economy

-Political turmoil

EurEnDel Technology and social visions for Europe's Energy Future Delphi report July 2004

http://www.izt.de/eurendel/survey_results/index.html

-**Conclusions**
-une croissance constante n'a pas d'avenir dans un monde fini
-la société de consommation a pour but la croissance, qui est le Père Noël des politiciens
-**tout ce qui monte doit descendre:** tout est cyclique avec plusieurs pics et le déclin inévitable
-**publier des données est un acte politique et dépend de l'image que l'on veut présenter**
-les prévisions officielles (population, énergie, climat) sont essentiellement des cibles politiques, sans considération des données techniques
-les scénarios sont des exercices littéraires et ne veulent pas être des prévisions!
-les données de production et de réserves sont très douteuses, notamment pour l'OPEP qui détient 80% des réserves
-les données publiques sont politiques et divergentes avec les données techniques qui sont confidentielles
-les réserves techniques sont incertaines vue la complexité géologique, et confidentielles vue la compétition
-l'augmentation des prix du pétrole n'apporte pas une augmentation des réserves conventionnelles ou des découvertes
-mythe des schistes bitumineux et des hydrates, c'est le bilan énergétique qui importe et non le coût espéré
-la technologie ne peut changer la géologie des réservoirs et ne peut guère augmenter les réserves des champs conventionnels, seulement les réserves non-conventionnelles où l'on change l'état des fluides
-la production imite la découverte avec un certain retard (5 à 50 ans), mais est contrainte par la demande
-les découvertes de pétrole des EU ont culminé dans les années 30 et la production a culminé en 1970.
-les découvertes mondiales de pétrole ont culminé dans les années 60 et la production culminera dans les 10 ans à venir
-les prévisions sur la demande d'énergie sont uniquement basées sur le désir politique d'une croissance constante sans se préoccuper de l'offre
-toute prévision qui montre moins de passé que de futur est trompeuse
-le pic du pétrole peut être un plateau en tôle ondulée si l'économie mondiale entre en crise, ce qui est probable d'après P.Volcker
-la croissance de la consommation de pétrole en Chine est insoutenable et cette bulle peut éclater
-la production mondiale de gaz culminera après le pétrole, mais une pénurie locale de gaz est probable en Amérique du Nord et aussi en Europe, bien avant la pénurie de pétrole
-les ressources de charbon semblent surestimées et un bon inventaire est nécessaire
-les combustibles fossiles culmineront vers 2030, mais la consommation par habitant, stable depuis 25 ans, le restera pour les 25 prochaines année

-l'énergie primaire a déjà passé d'une courbe concave (*les trentes glorieuses*) à une courbe convexe et doit sans doute continuer, malgré les désirs des sociétés de consommation.
-il ne faut pas éliminer une source d'énergie par conviction, le monde aura besoin de toutes les diverses formes
-il n'y a pas d'alternative dans le transport au pétrole, sinon le pétrole synthétique
-l'agriculture dépend fortement du pétrole et du gaz
-l'agriculture a atteint ses limites (productivité, surface, eau) et ne pourra pas nourrir plus d'habitants et aussi fournir du biocarburant
-**quand le prix du pétrole augmente, il faut augmenter le prix des produits de la terre et de la pêche, c'est aux consommateurs de payer et non aux contribuables**
-le coût de l'énergie ne représente que 5% du PIB alors que sa contribution y est de 50%; il serait normal de payer l'énergie à son juste coût (prix des énergies renouvelables sans subvention), soit un prix plus élevé. Il en est de même des produits agricoles.
-il faut que le baril arrive aujourd'hui à 100 $/b pour que l'on travaille autant qu'en 1981 au SMIC pour l'acheter
-toutes les subventions, quelqu'elles soient, devraient être supprimées au bout de 5-10 ans maximum
-il faut que le consommateur accepte de changer de comportement et d'économiser l'énergie pour que les besoins futurs en énergie soient satisfaits sans crise majeure. Il ne le fera que par nécessité
-ce n'est pas le CO2 qu'il faut réduire par des taxes, mais changer le comportement des consommateurs
-la croissance de la consommation ne peut continuer indéfiniment dans un monde fini où la population va culminer. Le «Toujours plus» des Français doit être abandonné
-le creux de consommation de pétrole de 1980 à 1990 est dû aux économies d'énergie déclanchées, non par les prix élevés de 1979, mais par le sentiment que le prix du pétrole allait tripler en 1990. Les prévisions officielles actuelles sont pour 25$/b en 2020, il faudrait qu'elles soient pour 100 $/b pour que ça change et il ne serait qu'équivalent au prix de 1980 et au coût des biocarburants!
-il faut que cela aille mal vite, pour que cela aille vite mieux plus tard.
-seul un prix élevé de l'énergie (aligné sur son vrai coût) peut amener les changements nécessaires pour inciter le consommateur à économiser et ne plus chercher à toujours consommer plus, se posant la question de ce qu'il va laisser à ses petits-enfants?
-mais dans le très long terme, ce n'est pas ce qui restera à nos arrières arriéres petits-enfants, mais à combien seront réduits nos arrières arriéres petits-enfants? Le monde éduqué va vers l'extinction !