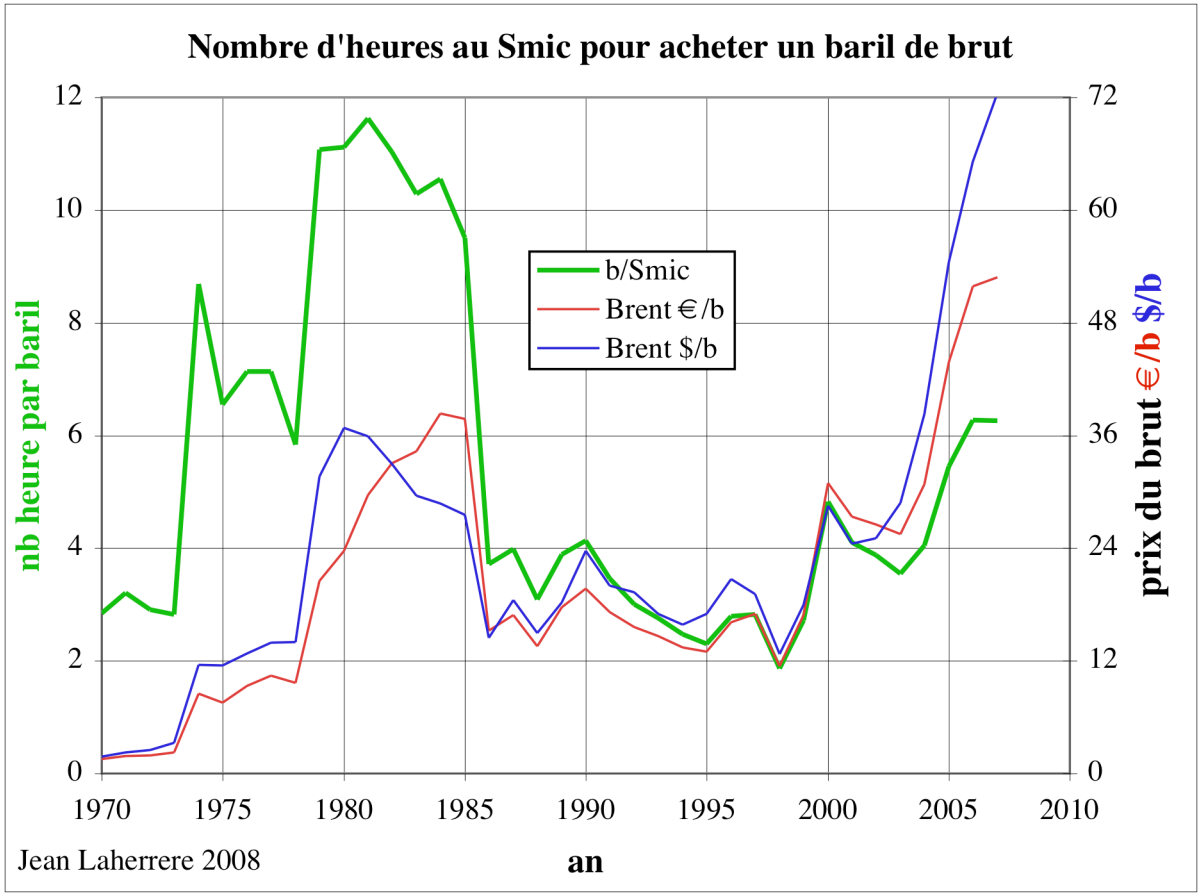
Ecole des Mines de Paris « Conference sur les reserves de petrole et le *peak oil*» 22 Mai 2008

**Mise a jour de «La fin du petrole bon marche» Pour la Science C.Campbell & J.Laherrere Mai 1998**

Jean Laherrere ASPO France site www.aspofrance.org

L'article de Pour la Science est la traduction de "**The end of cheap oil**" Scientific American March 1998 alors que le prix du baril (13$) etait pres du plus bas. Les medias ne sont venus nous voir qu'en oct 2005 quand 50 $/b

Figure 58: **nombre d'heures de travail pour acheter un baril de petrole avec le SMIC; $/b; €/b**




Les couts actualises avec l'inflation officielle ne representent pas la realite

L'energie etait plus chere dans le passe. L'huile de baleine (eclairage) coutait 2000 $2005/b en 1850 et le petrole 90 $2005/b en 1860 et 1980 avec les chiffres officiels de deflation!

Figure 55: **Prix de l'huile de baleine aux US et prix du petrole en $2005 (inflation officielle)**

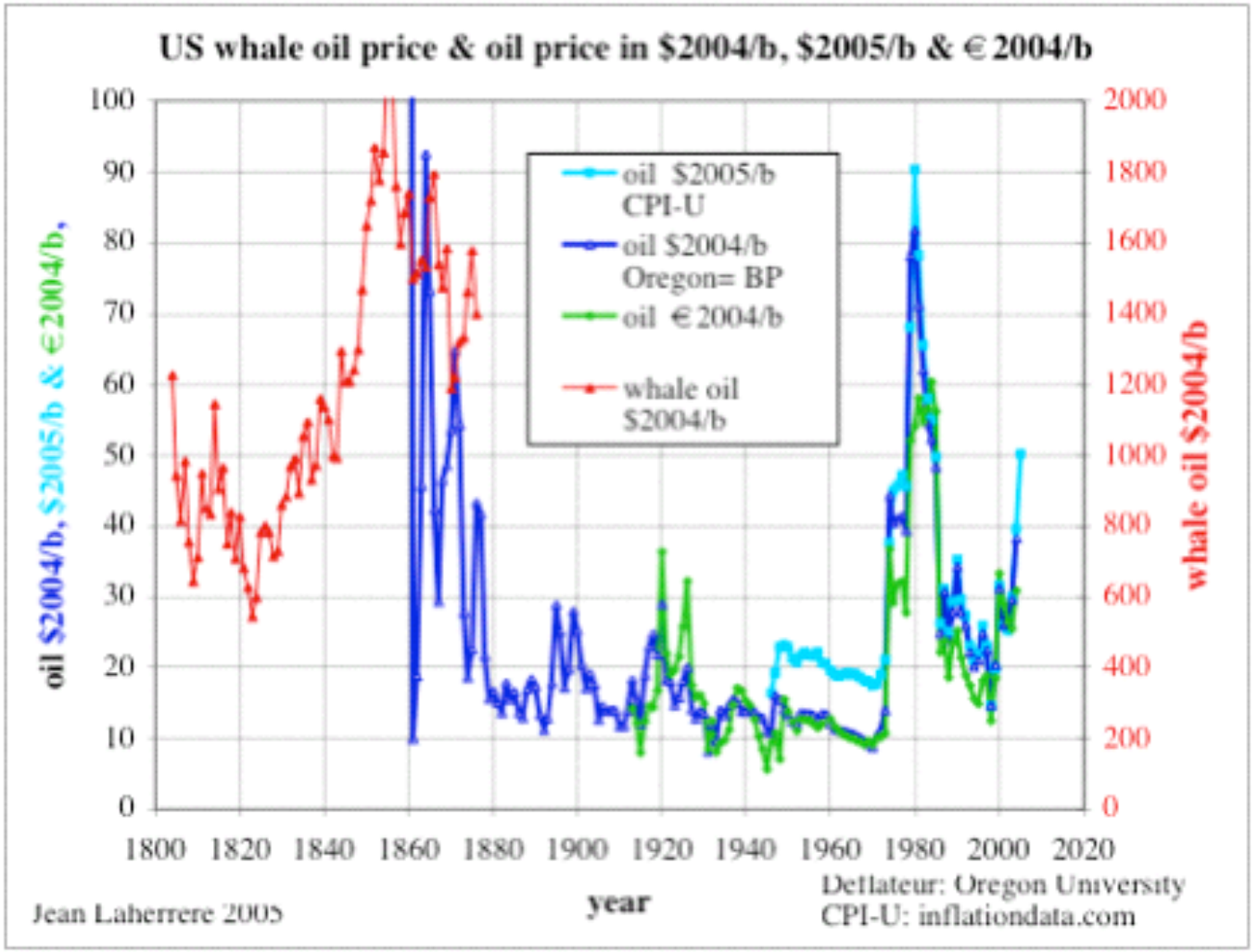
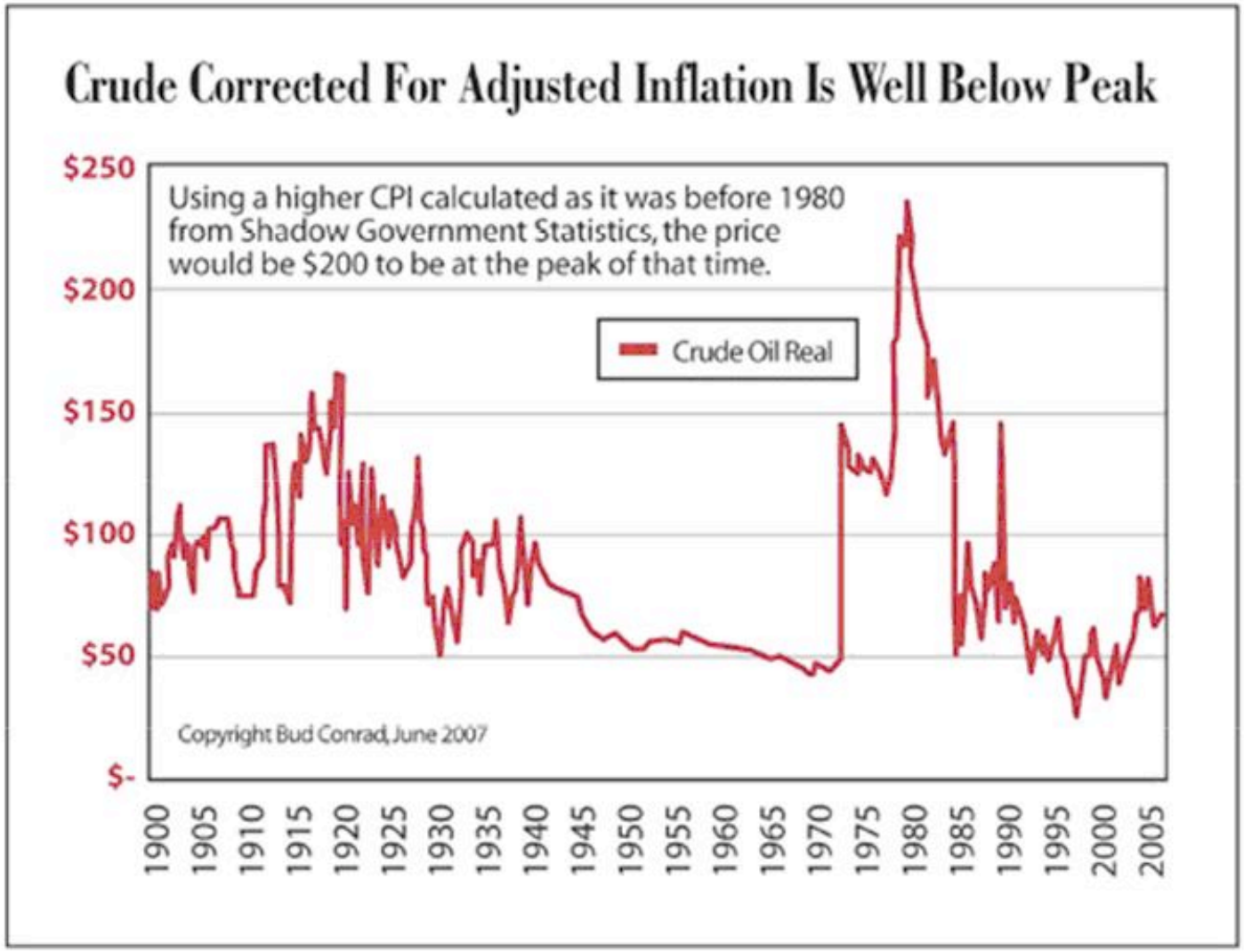


Figure 56: **Prix du petrole1900-2005 en $2005 avec une inflation corrigee d'apres Conrad**




Les prix du passe sont discutables et les previsions toujours fausses. Pour eliminer le probleme du choix de l'inflation, il est preferable de mesurer en heure de travail pour acheter un baril de petrole.

-**Problemes de vocabulaire et de definition**

huile = liqueur grasse inflammable d'origine vegetale, animale ou minerale = tout ce qui brule

petrole = huile minerale naturelle

oil = huile souvent confondu avec petrole

*Peak oil* = huile avec un pic (= concept); mais *oil peak* = pic de l'huile (= fait)

Avec Google *peak oil* 4 fois plus que *oil peak* pourquoi? reponse: ASPO (*peak oil* non present SciAm 1998)

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

Tous les membres de l'OPEP trichent et sur les reserves et sur les productions: ils ne respectent pas les quotas.

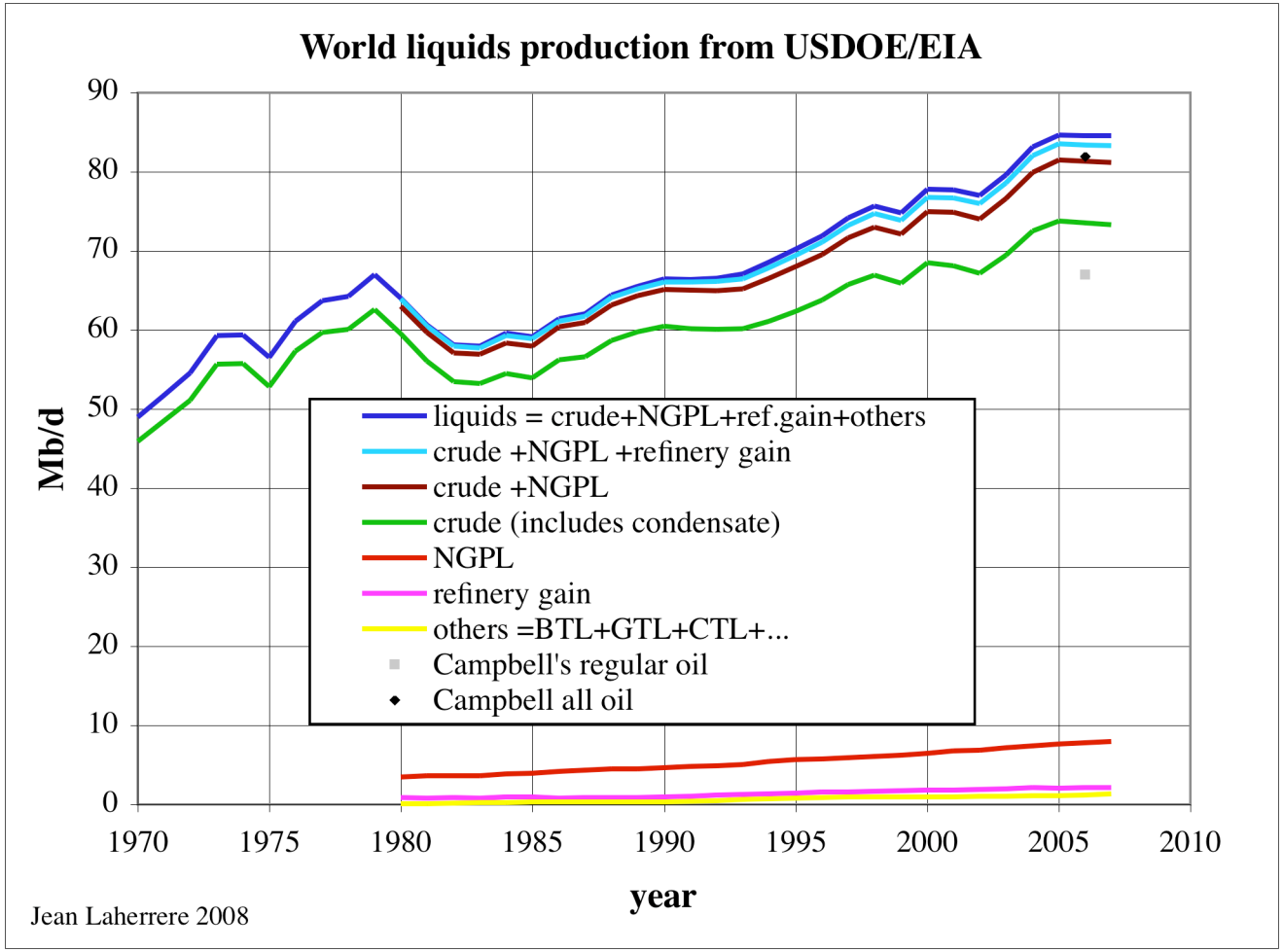
Il faut faire appel a des compagnies d'espionnages pour avoir les chiffres techniques. Cela coute tres cher!

-**production**

Pour 2006 la production d'huile va de 67 Mb/d pour le regular oil de Campbell, 71 Mb/d pour le brut moins extra-lourd, 73 Mb/d brut, a 85 Mb/d pour tous liquides (= oil demand) incluant liquides de gaz naturel, petroles extra-lourds, huiles synthetiques, biocarburants, liquides de charbon et gains de raffinerie (en volume)

| **World oil production** for **2006** | definition | Mb/d |
|---|---|---|
| OGJ Oil & Gas Journal | oil | **72**,647 |
| WO World Oil magazine | crude/condensate | **73**,330 139 |
| BP Statistical Review | liquids (excl BTL, CTL) | **81**,663 310 979 140 2 |
| USDoE (Depart of Energy)/EIA | crude oil | **73**,573 844 712 166 8 |
| | all liquids | **84**,597 461 4 |
| IEA International Energy Agency | oil | **85**,4 |

Le nombre de decimales est ridicule, mais les lecteurs peuvent confondre precision et verite!




Colin Campbell definit regular oil comme le brut des regions faciles excluant arctique, offshore profond (>500 m) et petrole lourd (>17°API), il les rajoute (bottom up) ensuite ainsi que les liquides de gaz pour obtenir le oil supply = 82 Mb/d en 2006 excluant les gains de raffinerie et les petroles synthetiques (CTL, BTL & GTL).
Je decompose en brut moins extra-lourd (chiffres publies) et en autres pour atteindre le total liquides publie par USDOE (85 Mb/d en 2006): approche differente et top down

-**reserves**

Les estimations de reserves sont incertaines, mais surtout manipulees quand publiees par les Etats.

**Reserves dites prouvees (certitude raisonnable d'existence ?) a fin 2006**

| Oil Gb | OGJ | BP | WO |
|---|---|---|---|
| Monde | 1 317,447 415 | 1 208,241 771 870 77 | 1 144,358 3 |
| Russie | 60,000 000 | 79,540 120 55 | 74,435 |
| Norvege | 7,849 300 | 8,498 950 855 699 31 | 7,070 publiques |
| Canada | 179,210 000 | 17,092 716 140 2 | 25,591 3 |
| Chine | 16,000 000 | 16,271 3 | 16,255 6 |

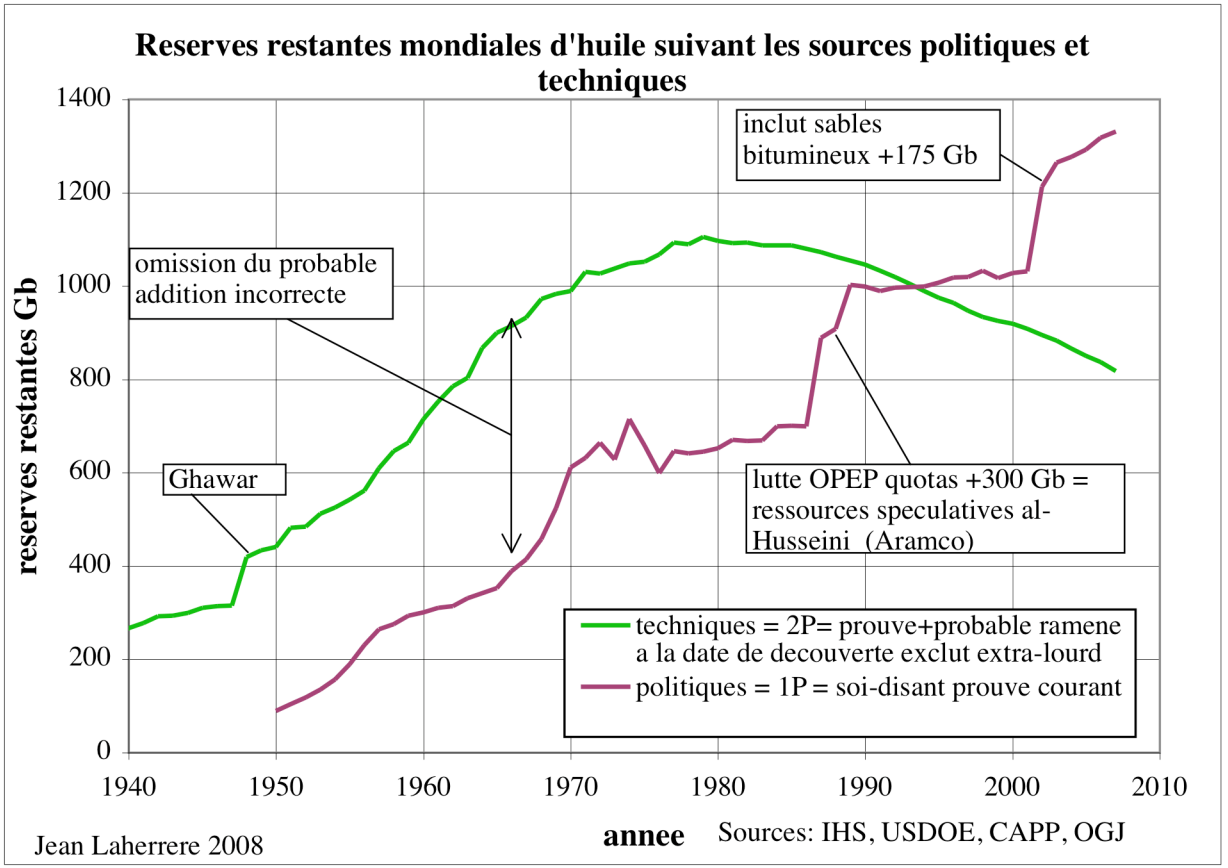
| Gas Tcf | OGJ | BP | WO | Cedigaz |
|---|---|---|---|---|
| Monde | 6 182,692 | 6 405,480 249 2 | 6 393,514 6 | 6 462,689 |
| Russie | 1 680,000 | 1 682,073 24 | 1 688,755 0 | 1 687,834 |
| Norvege | 82,320 | 102,087 6 | 81,294 4 | 106,677 publiques |
| Chine | 80,000 | 86,449 7 | 60,920 3 | 131,845 |

Ces estimations avec plus de 10 chiffres significatifs sont irrealistes, surtout qu'il est **incorrect d'ajouter les reserves dites prouvees, puisqu'elles sont supposees etre des minimum!**

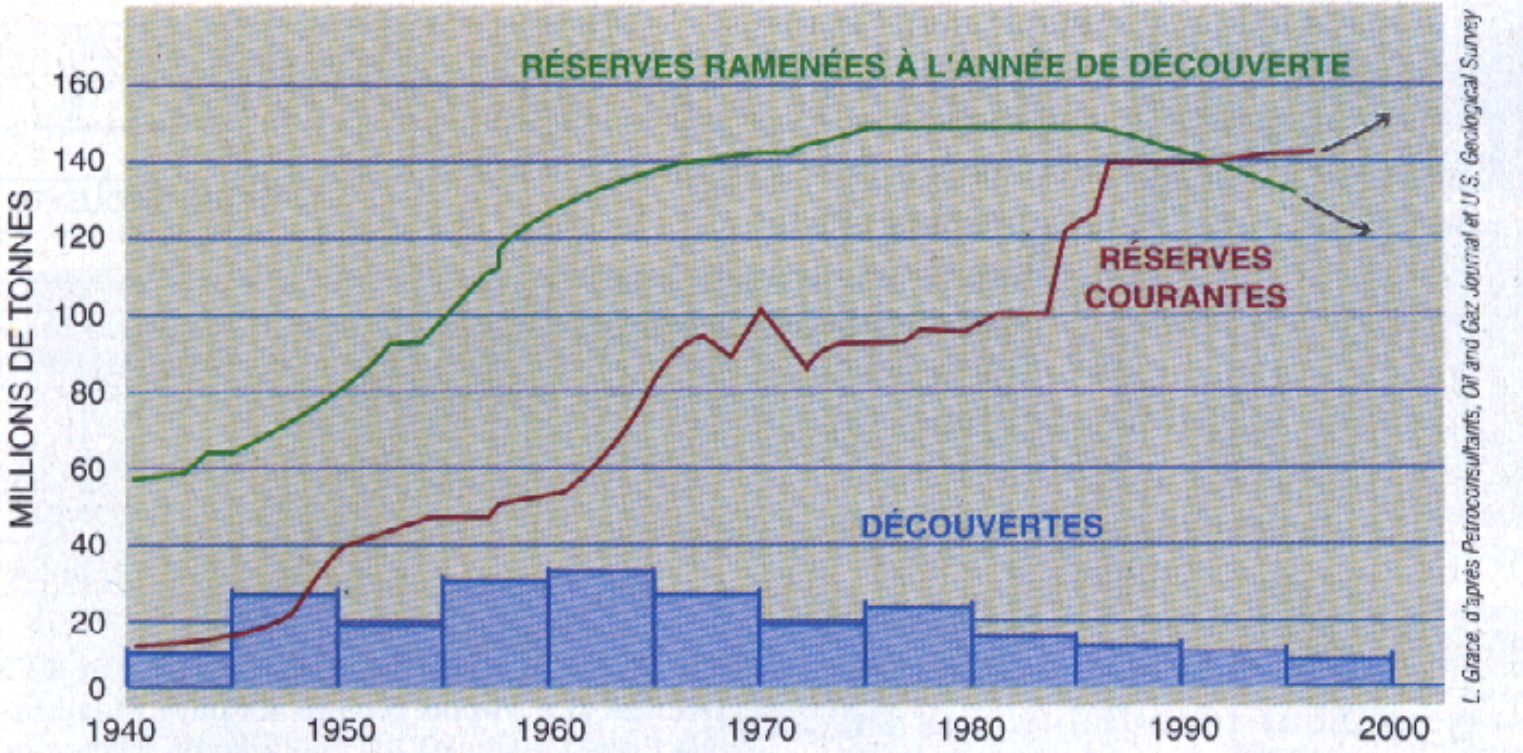
Publier une donnee avec plus de 2 chiffres significatifs pour l'energie montre que l'auteur est incompetent sur le sujet, ignorant les incertitudes et le calcul d'erreur

Mais comme la source est USDOE, BP ou AIE (Agence Internationale de l'Energie), ces chiffres sont considerees comme la verite indiscutable, bien que contradictoires!

Plusieurs definitions pour les reserves:
-**US**: regles SEC: seulement reserves prouvees auditees (raisonnable?) et supposees etre le minimum = 1P
-**OPEP:** reserves prouvees non auditees, base des quotas = essentiellement politique, changeant peu
-**ex-URSS**: classification ABC1 = recuperation maximum = prouve+probable+possible =3P
-**reste du monde**: prouve+probable = 2P =valeur esperee
Figure 1: **reserves mondiales restantes** de petrole fin 2006 a partir des **donnees politiques et techniques**



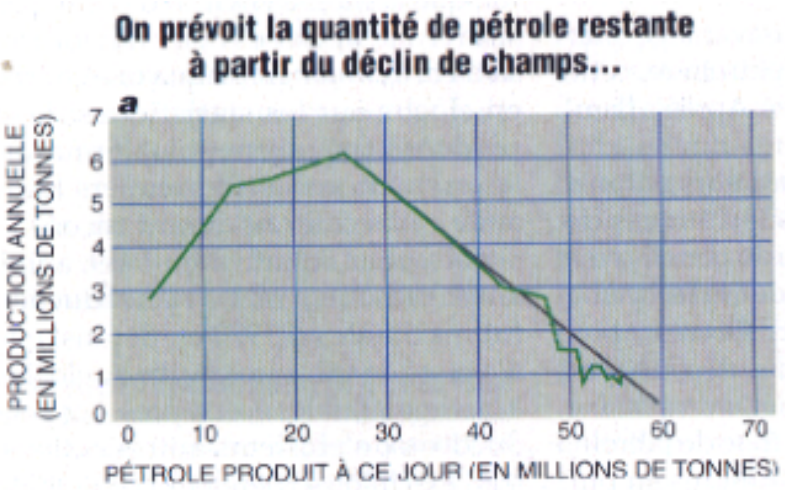
Il faut comparer ce graphique en 2007 avec celui que j'ai trace en mars 1998 dans Scientific American "**the end of cheap oil**" (article qui a conduit a la creation par Colin Campbell d'ASPO "Association for the Study of Peak Oil and gas) et en mai 1998 dans Pour la Science
Figure 2: meme graphique en 1998 Pour la Science Campbell and Laherrere "**Le fin du petrole bon marche**"

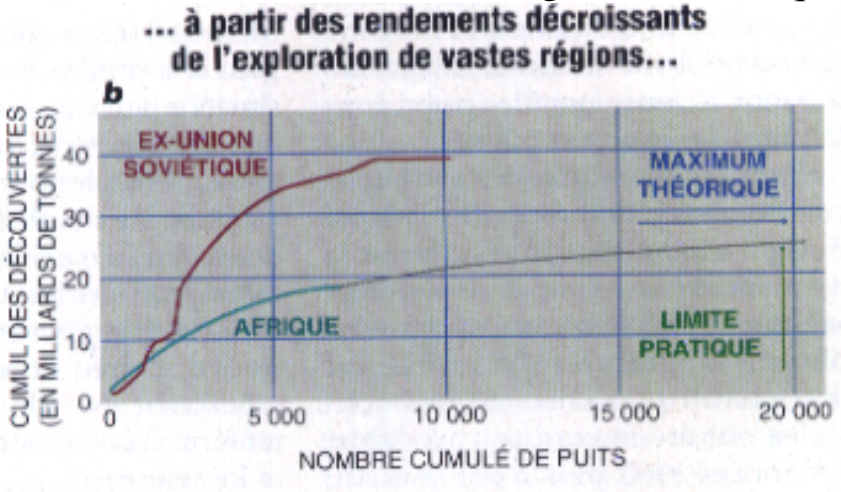


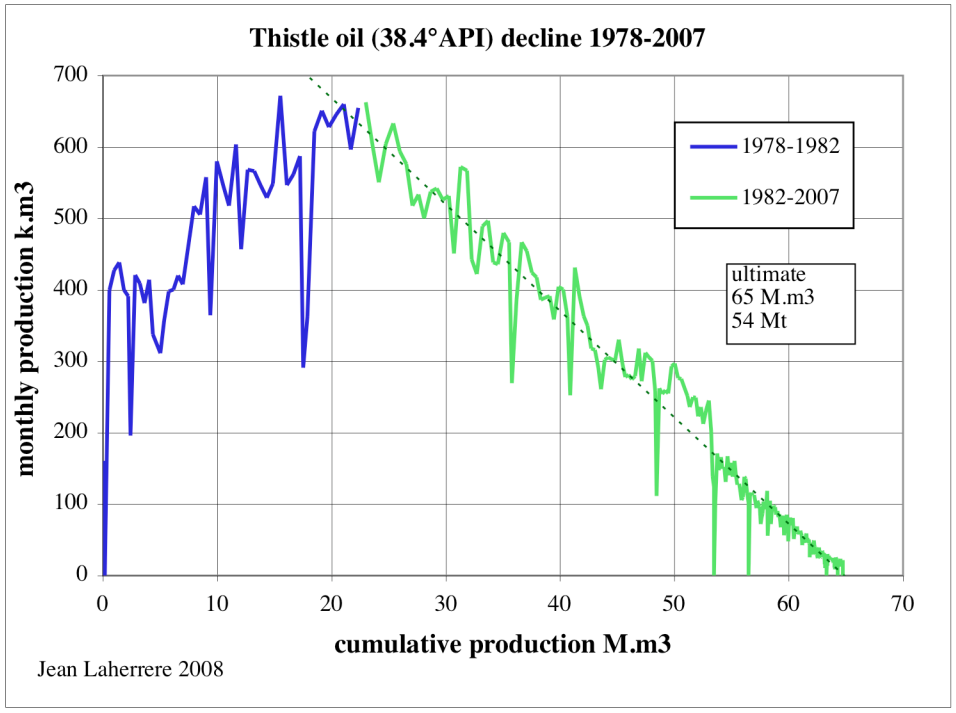

**5. LA CROISSANCE DES RÉSERVES PÉTROLIÈRES depuis 1980 n'est qu'une illusion reposant sur des révisions tardives des estimations initiales. En rapportant ces révisions à l'année de découverte des gisements, on constate que les réserves ont chuté, en raison d'un déclin continu des découvertes de nouveaux gisements *(histogramme en bleu)*.**

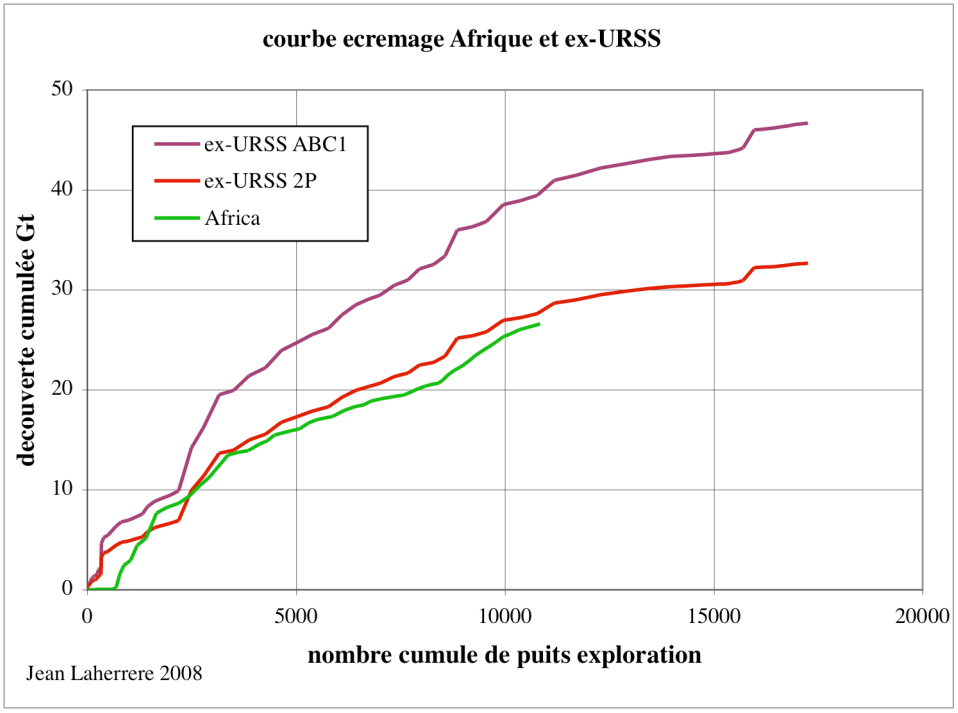
Les economistes, qui n'ont que les donnees politiques, raisonnent sur des donnees fausses!

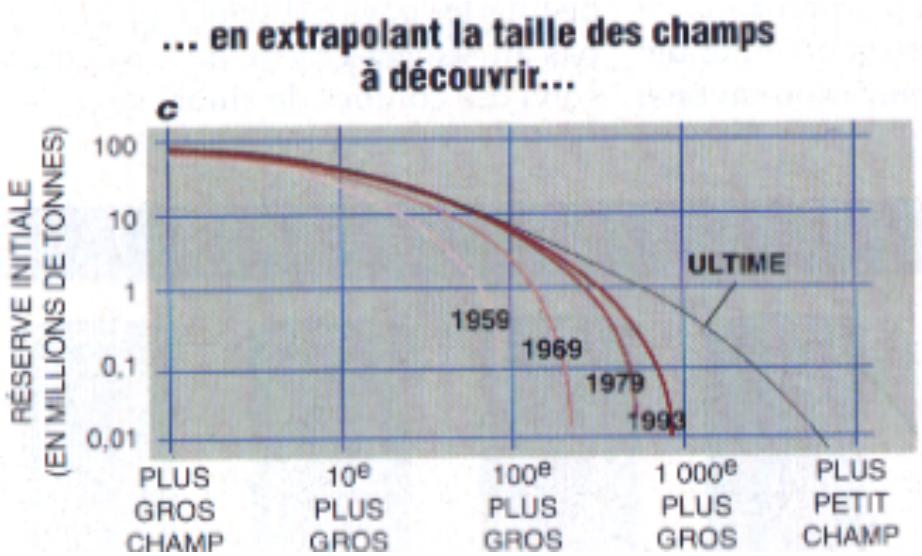
Actualisation 2008 de quelques graphiques de 1998 Thistle Ecremage URSS-Afrique

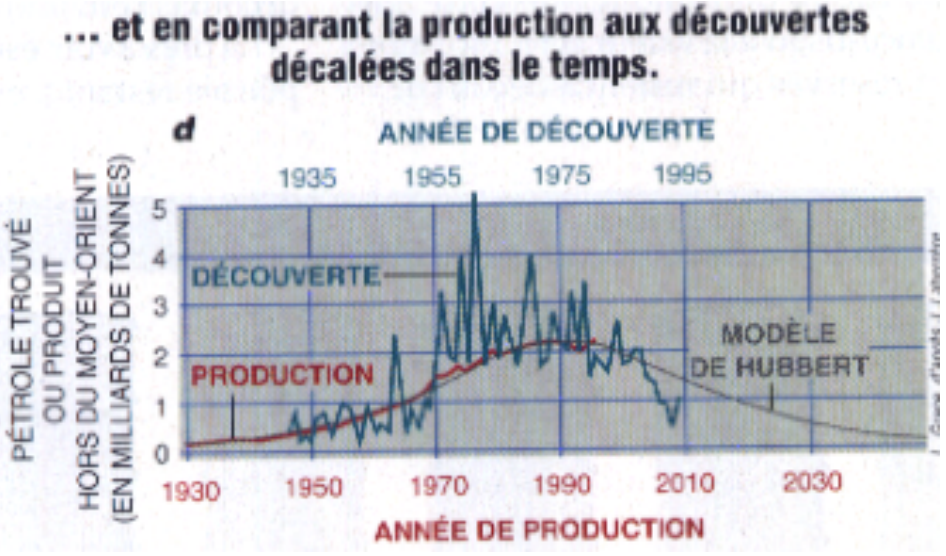


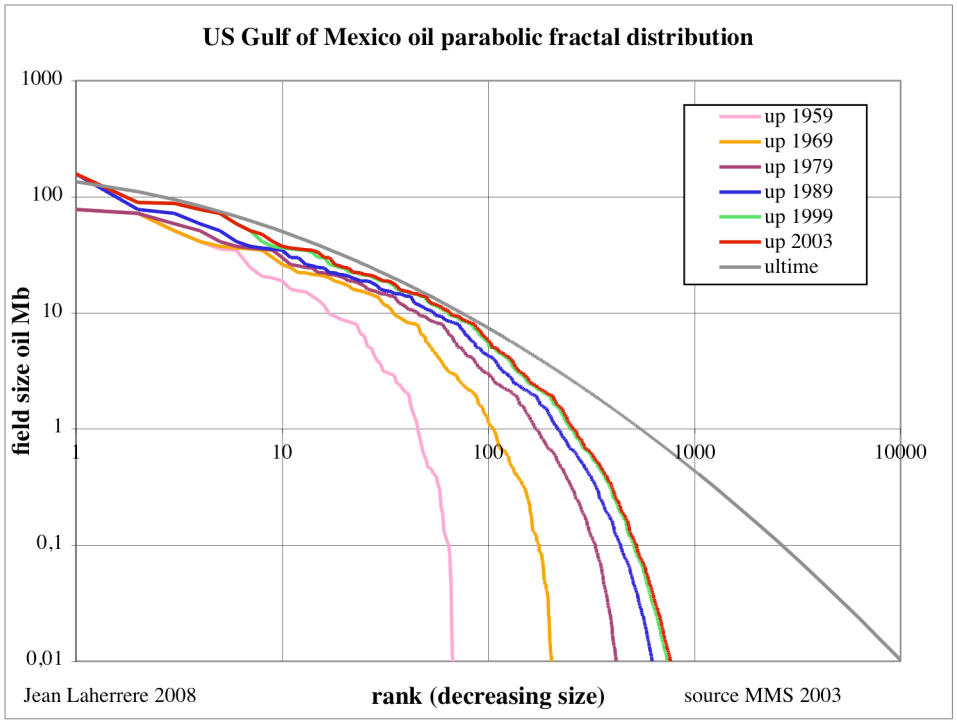



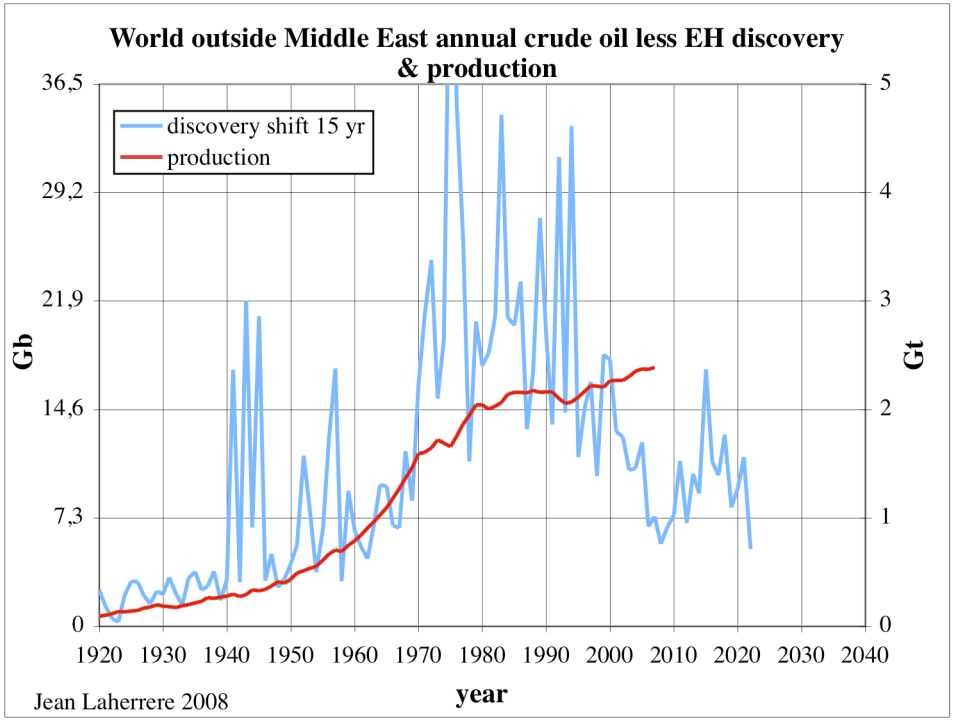




... en extrapolant la taille des champs à découvrir...
c
RÉSERVE INITIALE (EN MILLIONS DE TONNES)
100
10
1
0,1
0,01
ULTIME
1959
1969
1979
1993
PLUS GROS CHAMP
10e PLUS GROS
100e PLUS GROS
1 000e PLUS GROS
PLUS PETIT CHAMP


... et en comparant la production aux découvertes décalées dans le temps.
d
ANNÉE DE DÉCOUVERTE
1935
1955
1975
1995
PÉTROLE TROUVÉ OU PRODUIT HORS DU MOYEN-ORIENT (EN MILLIARDS DE TONNES)
5
4
3
2
1
0
DÉCOUVERTE
PRODUCTION
MODÈLE DE HUBBERT
1930
1950
1970
1990
2010
2030
ANNÉE DE PRODUCTION


US Gulf of Mexico oil parabolic fractal distribution
field size oil Mb
1000
100
10
1
0,1
0,01
1
10
100
1000
10000
up 1959
up 1969
up 1979
up 1989
up 1999
up 2003
ultime
Jean Laherrere 2008
rank (decreasing size)
source MMS 2003

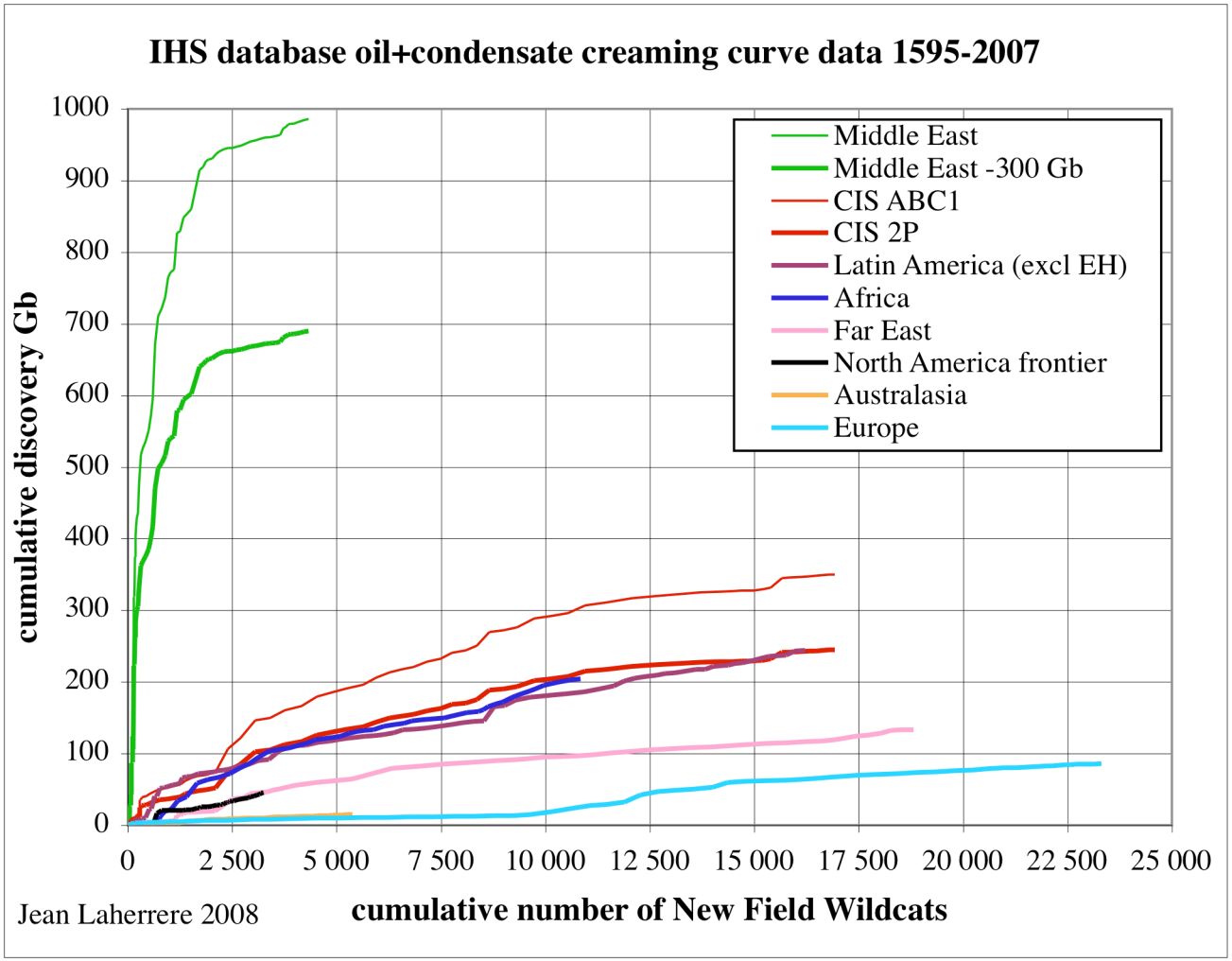

World outside Middle East annual crude oil less EH discovery & production
Gb
36,5
29,2
21,9
14,6
7,3
0
Gt
5
4
3
2
1
0
discovery shift 15 yr
production
1920
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
2010
2020
2030
2040
Jean Laherrere 2008
year

-**Faux mythes** Un certain nombre de mythes sont entretenus pour nier le declin qui s'annonce: ils sont faux
**Mythe 1 -*le Moyen Orient est sous-explore*:** Arabie Saoudite a trouve de 1934 a 1964 avec les 20 premiers puits exploration 300 Gb en 12 champs = 75 % des decouvertes cumulees de petrole et de 2001 a 2007 avec les 20 derniers 1 Gb en 16 champs.
**Mythe 2 -*le taux de recuperation du petrole est de 35% en moyenne, le porter a 50% comme en Mer du Nord augmente les reserves de 50%***: les taux des champs conventionnels varient suivant la nature geologique du reservoir de 1 a 95 %, la technologie ne peut changer la geologie du reservoir
**Mythe 3 -*la nouvelle technologie augmente les reserves***: on devrait le voir sur la courbe de declin des champs, On voit une aggravation du declin en fin des champs comme East Texas, Brent et surtout Yibal et Rabi-Kounga. Les techniques dites nouvelles ont plus de 30 ans et sont utilisees sur tous les champs conventionnels, permettant de produire moins cher, et plus vite donnant un profit maximum, mais au detriment de la recuperation finale. Toutefois la technologie est necessaire pour les non conventionnels, mais le probleme est la taille du robinet !
**Mythe 4** -***les reserves de petrole represente 40 ans de production d'aujourd'hui, celles de gaz 60 ans et celles de charbon 250 ans***: aux US le R/P est de 10 ans depuis 80 ans montrant bien que ce ratio ne veut rien dire pour le futur, il rassure les banquiers. Avec les donnees techniques, R/P est descendu de 70 ans en 1930 a 10 ans
Les optimistes justifient l'abondance du petrole en disant que le R/P mondial est passe depuis 1985 de 30 a 40 ans, ignorant que ceci est du principalement a l'augmentation politique des 300 Gb de l'OPEP (figure 1)
**Mythe 5 -*la technologie diminue les couts d'exploration et de production***: non, elle permet d'aller dans des coins plus difficiles, globalement les couts augmentent et de plus ils dependent fortement du prix du brut
**Mythe 6 -*les decouvertes augmentent avec le prix du brut:*** non, on va chercher les mauvais prospects et on trouve moins et plus petits, l'offshore profond a evolue avec la rarefaction des prospects faciles.
**Mythe 7** -***les schistes bitumineux (oil shales) representent de 1 a 2 Tb pour un cout des 30-70 $/b***:
ceux ne sont ni des schistes, ni du bitume. Il ne faut pas confondre les sables bitumineux = petrole degrade (fin de la chaine) avec les schistes bitumineux = petrole non encore forme = roche mere (debut de la chaine).
Plus de detail: *Laherrère J.H. 2007 «Production future, réserves des combustibles fossiles» Mastere OSE Ecole des Mines de Paris a Sophia Antipolis 17 oct. aspofrance.viabloga.com/texts/documents*

-**Estimation de l'ultime**

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

Figure 16: Courbe d'ecremage du petrole par continent d'apres les donnees IHS

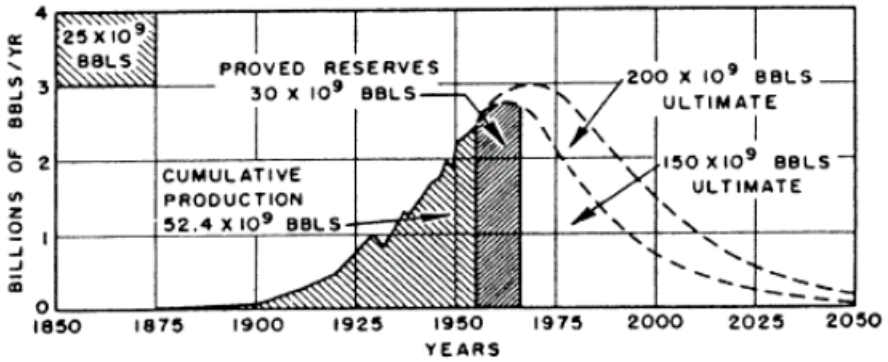


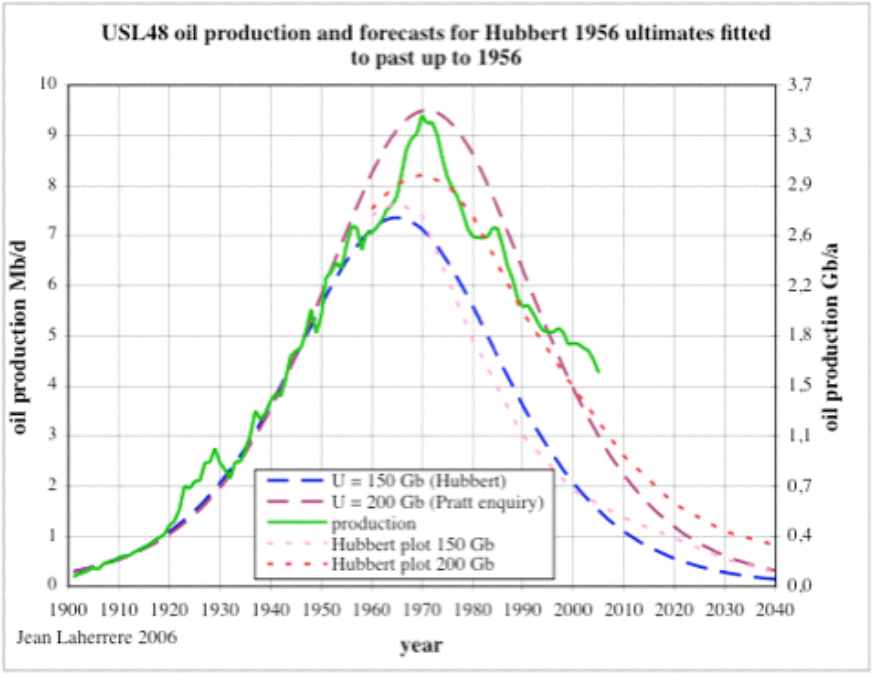

La Nature est inegalitaire a l'arrivee et montre des rendements decroissants! Les gros sont trouves les premiers !

**-Prevision de production future**

Figure 17: **prevision de King Hubbert en 1956 de la production petroliere des US (hors Alaska)**

Figure 18: **US hors Alaska: production annuelle de petrole 1900-2040**




Hubbert a predit que la courbe de production imite la courbe de decouverte avec un certain retard et que la surface sous la courbe de production annuelle doit representer les reserves ultimes: soit pour les US 150 Gb avec un pic en 1965 soit 200 Gb avec un  pic en 1970.

Augmenter les ultimes de 33% ne recule le pic que de 5 ans!

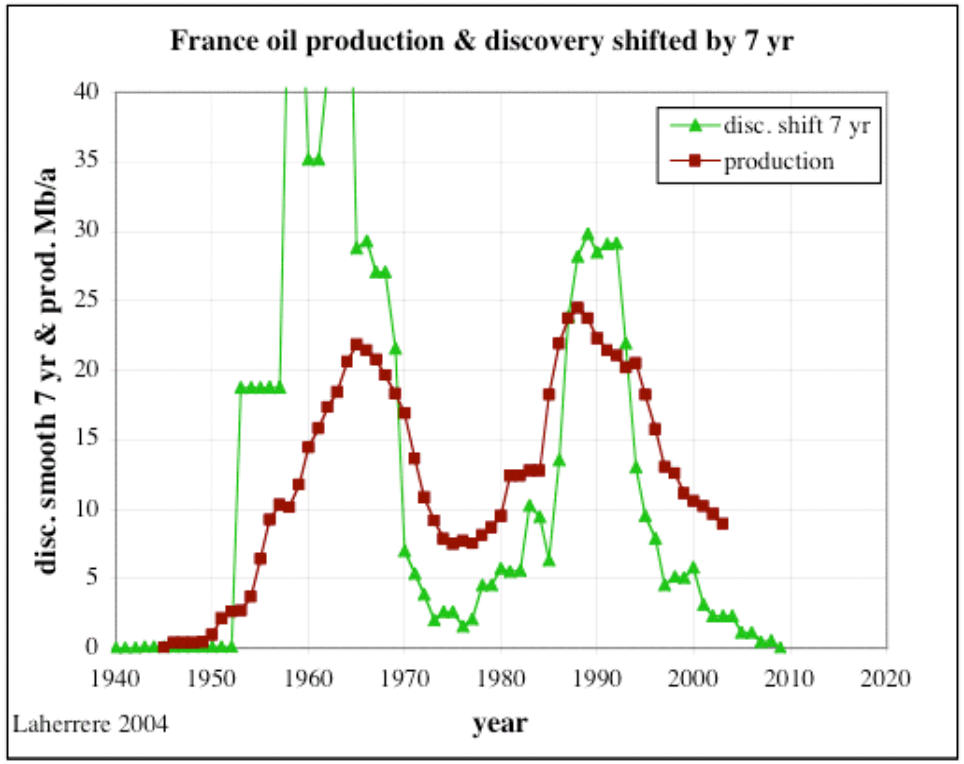
La realite est que la courbe de production a bien culmine en 1970 (car l'ultime des US hors Alaska est bien de 200 Gb), mais avec un niveau plus eleve et plus pointu.

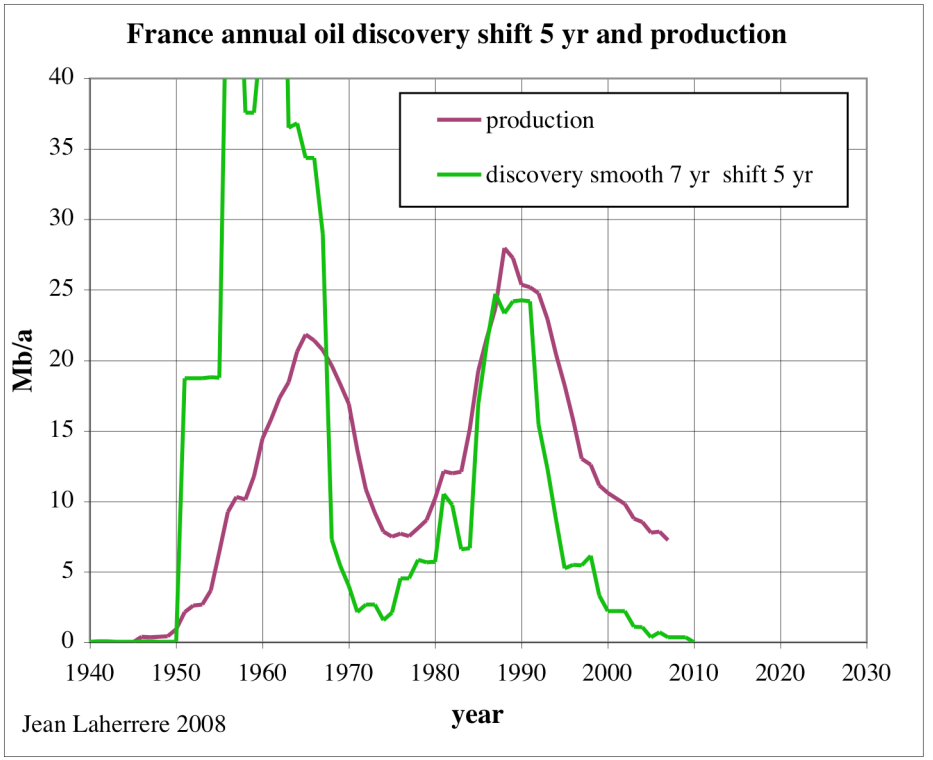
Hubbert a vu sa theorie de pic confirmee par les faits. De nombreux pays ont passe le pic.

Le pic d'Hubbert est maintenant connu du monde entier, mais il est combattu par les adeptes de la croissance eternelle (le pere Noel qui resout tous les problemes dans le futur).

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

Figure 19: **France: production annuelle de petrole et decouverte decalee avec 2 cycles**

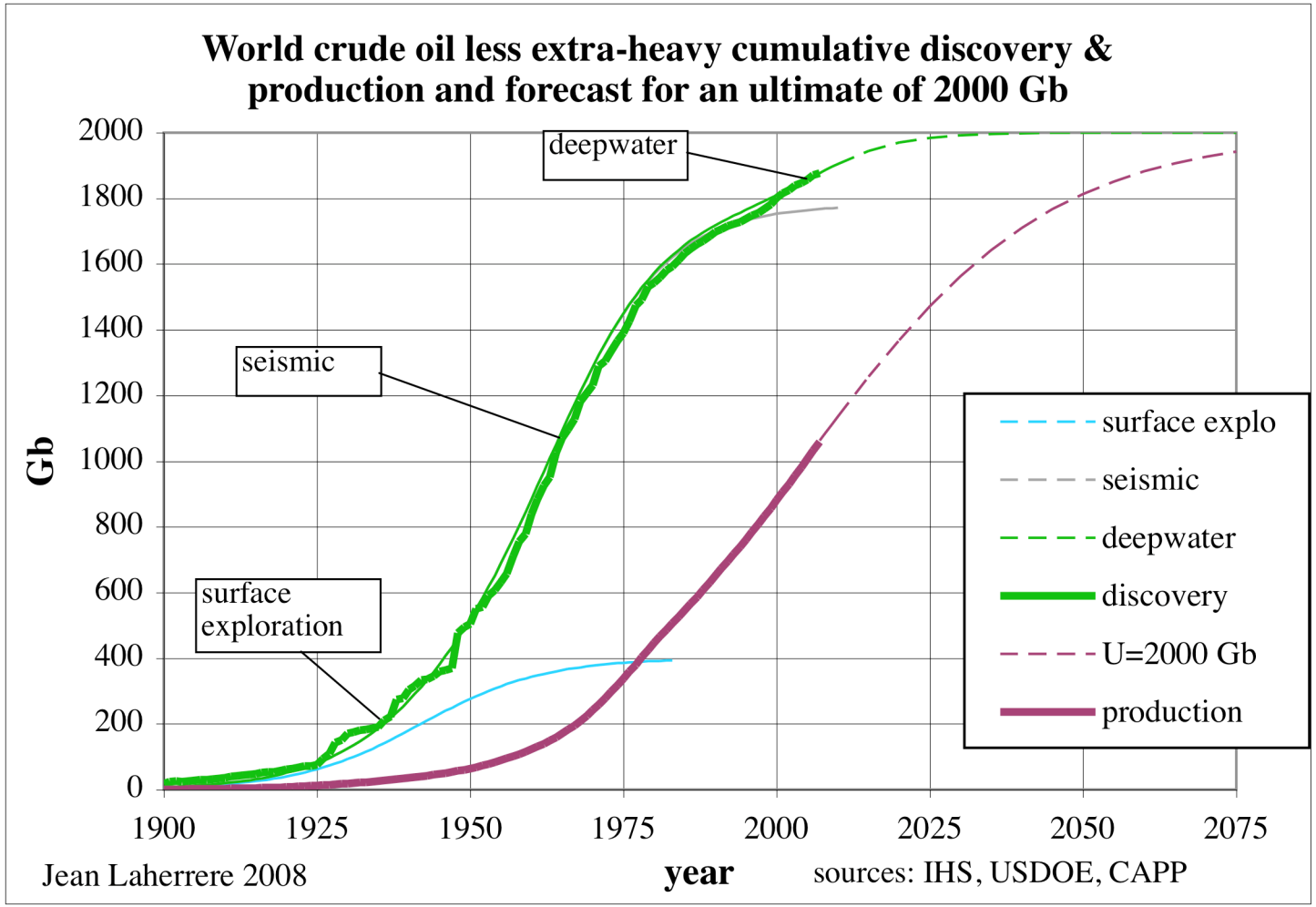



Le decalage entre decouverte et production est de 10 ans pour le premier cycle et de 5 ans pour le second.

**-Modelisation de la production future d'apres l'ultime**

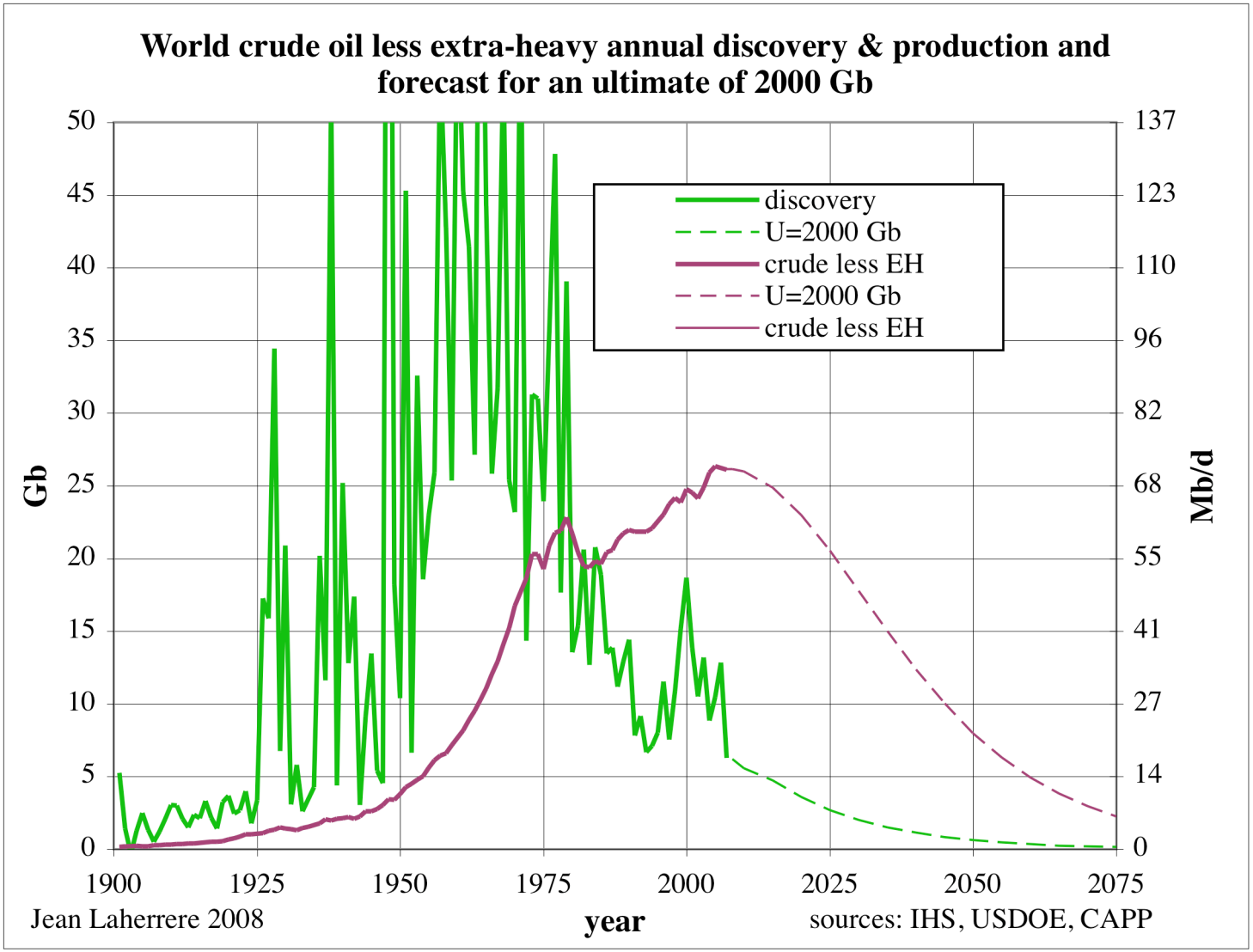
Figure 20: **Monde: brut moins extra-lourd**: decouvertes moyennes **cumulees** et production cumulee avec modeles pour **U = 2000 Gb** = 2 Tb = 260 Gt (1998 250 Gt =110 produit, 120 decouvert et 20 a decouvrir)



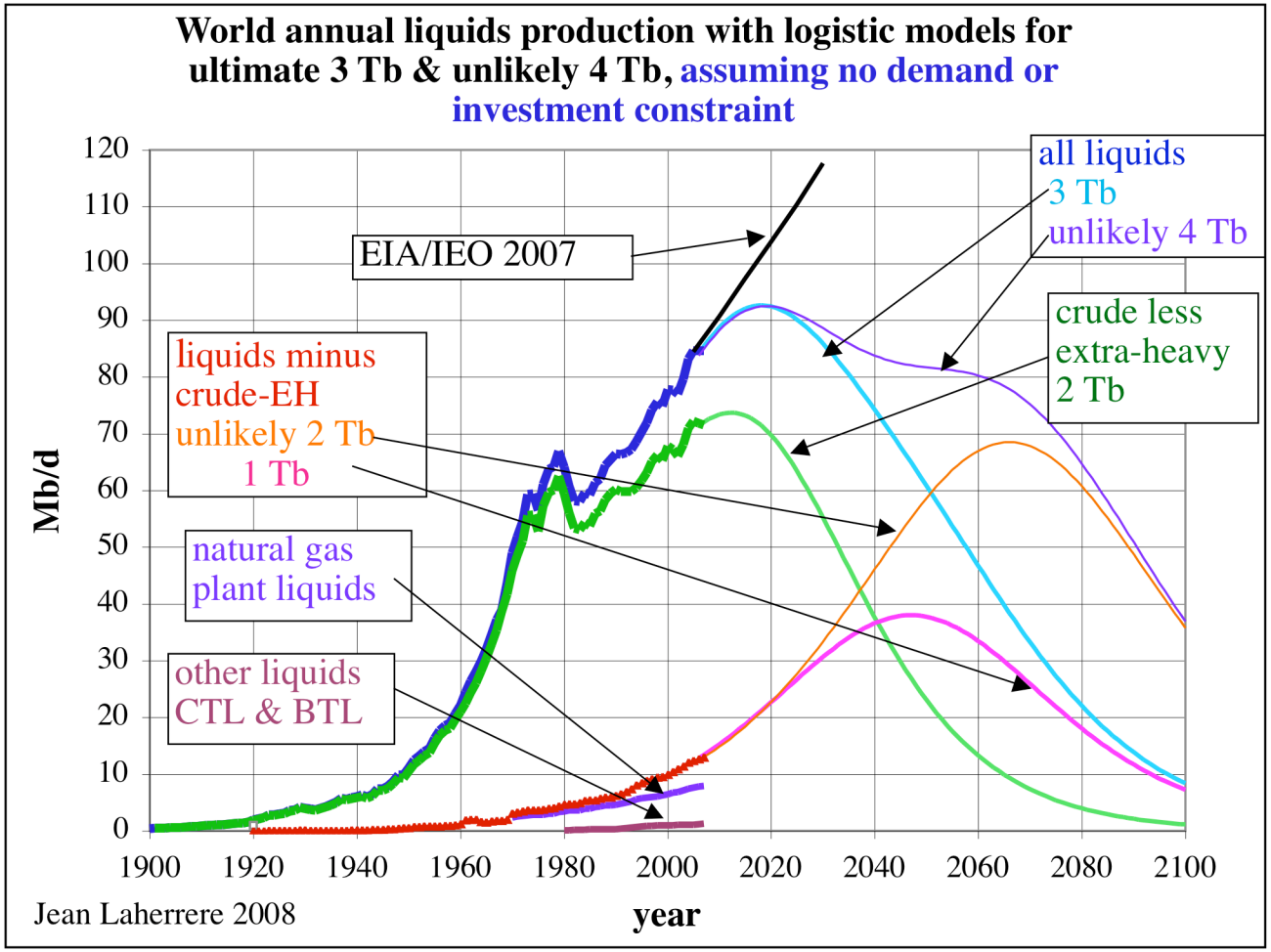

Il y a plusieurs cycles et le pic ne coincide pas avec le point milieu.

Meme elements, mais annuel.

Figure 21: **Monde: brut moins extra-lourd**: decouvertes et production **annuelles** avec modeles logistiques pour U = 2000 Gb = 2 T (sans contrainte de la demande ou des investissements)

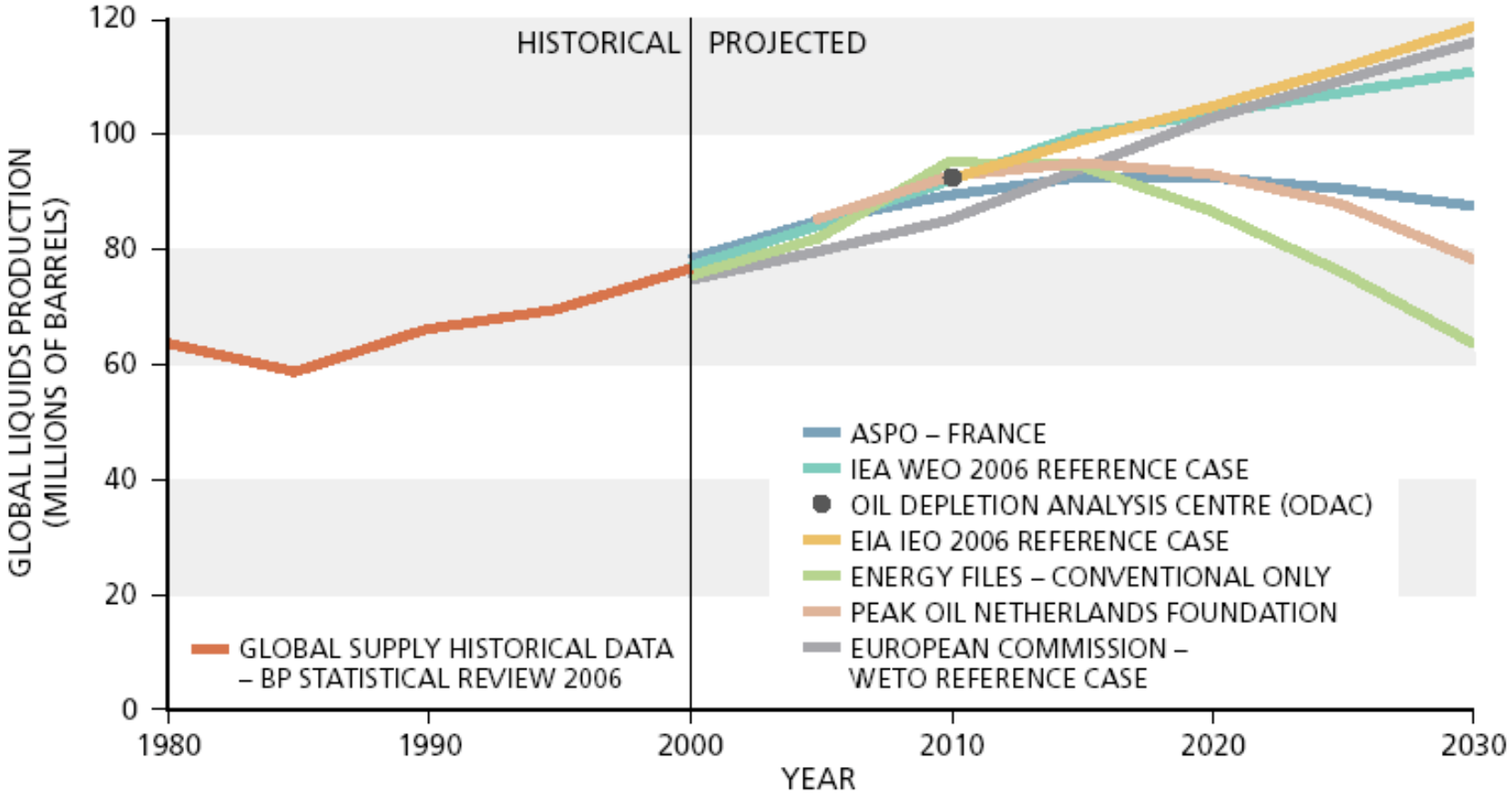


**-Petrole tous liquides** incluant les petroles synthetiques = biomasse (BTL), charbon (CTL) & gaz (GTL)
Figure 23: Production annuelle mondiale des **liquides** avec ultime de 3 & 4 Tb (seule contrainte geologique)




**le slogan "on n'a que 40 ans de petrole" est completement faux!** En 2050 la production des liquides pourrait etre que legerement inferieure a celle d'aujourd'hui.Le R/P est un tres mauvais indicateur.
Le scenario AIE 2006 reference (Business As Usual) a ete decrit par son directeur Cl. Mandil en Novembre 2006 comme *unrealistic, unsecured, unattainable and unsustainable*.

National Petroleum Council 2007 Hard Truths = ASPO France est une reference




Source: NPC Survey of Outlooks.

***FIGURE 2-39.*** *Global Total Liquids Production — Reference Forecasts 2000-2030*

Prevision USDOE 2008 diminue le conventionnel et augmente le non-conventionnel (2030 14 et 21 Mb/d contre 11 en 2007) en augmentant l'huile initial en place (OIIP) pour dire que seul 4-7% OIIP produit a ce jour
USDOE/EIA Sweetnam 7Ap.2008 prevoit en 2030 (High price case) 22% de non conventionnel

## Unconventional liquids become more important over time

| (MMB/D) | 2006 | Reference Case 2030 | High Price Case 2030 |
|---|---|---|---|
| Conventional Crude* | 71.5 | 83.4 | 60.3 |
| Natural Gas Plant Liquids | 8.0 | 13.0 | 13.7 |
| Refinery Gain | 2.4 | 2.9 | 2.1 |
| Conventional Subtotal | **81.9** | **99.3** | **76.1** |
| Unconventional Crude** | 1.8 | 5.2 | 6.6 |
| CTL and GTL | 0.2 | 4.8 | 9.0 |
| Biofuels (oil equivalent) | 0.8 | 4.0 | 6.1 |
| Unconventional Subtotal | **2.8** | **14.0** | **21.6** |
| **Total Liquids** | **84.7** | **113.3** | **97.7** |

* Crude oil and lease condensates. ** Oil sands, extra-heavy crude, and shale oil

Source: Annual Energy Outlook 2008. Published Reference Case; preliminary High Price Case.

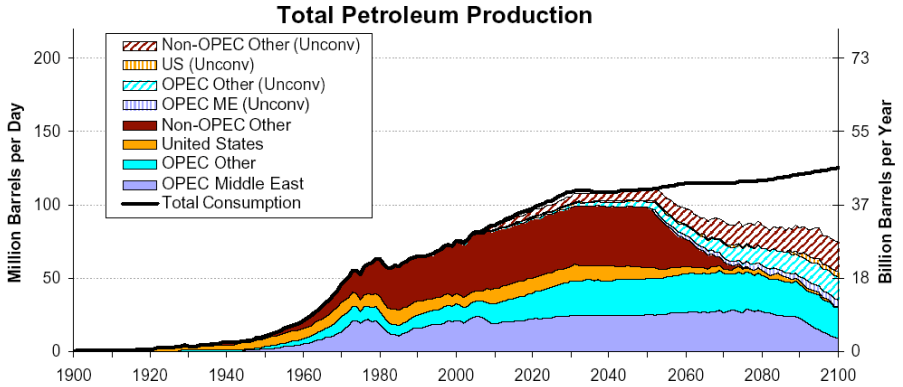
*Long term Global Oil Scenarios: April 7, 2008* 3

Jumah (CEO Aramco CERA week 2008) production cumulee= 7-9 % de l'OIIP (13-16 Gb)
Ces estimations confondent reserves et ressources:
Il faut raisonner en production future (reserves) et non en volume dans le sous-sol (ressources).
La France a encore des ressources de charbon mais n'a plus de reserves de charbon

USDOE 2008 (intermediate demand) prevoit une demande (BAU) constante jusqu'en 2030, puis plateau 2050 et legere augmentation ensuite

Elle sera satisfaite jusqu'en 2050 avec une estimation OIIP basse (?), mais pas si constrainte de surface

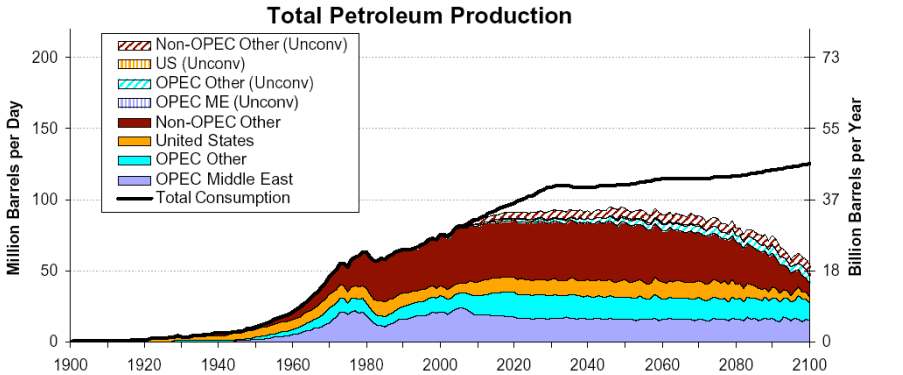
## Lower Initial-in-Place Estimates, Intermediate Demand




- This supply scenario falls short of the candidate demand path



## More Unfavorable Above Ground Factors, Intermediate Demand

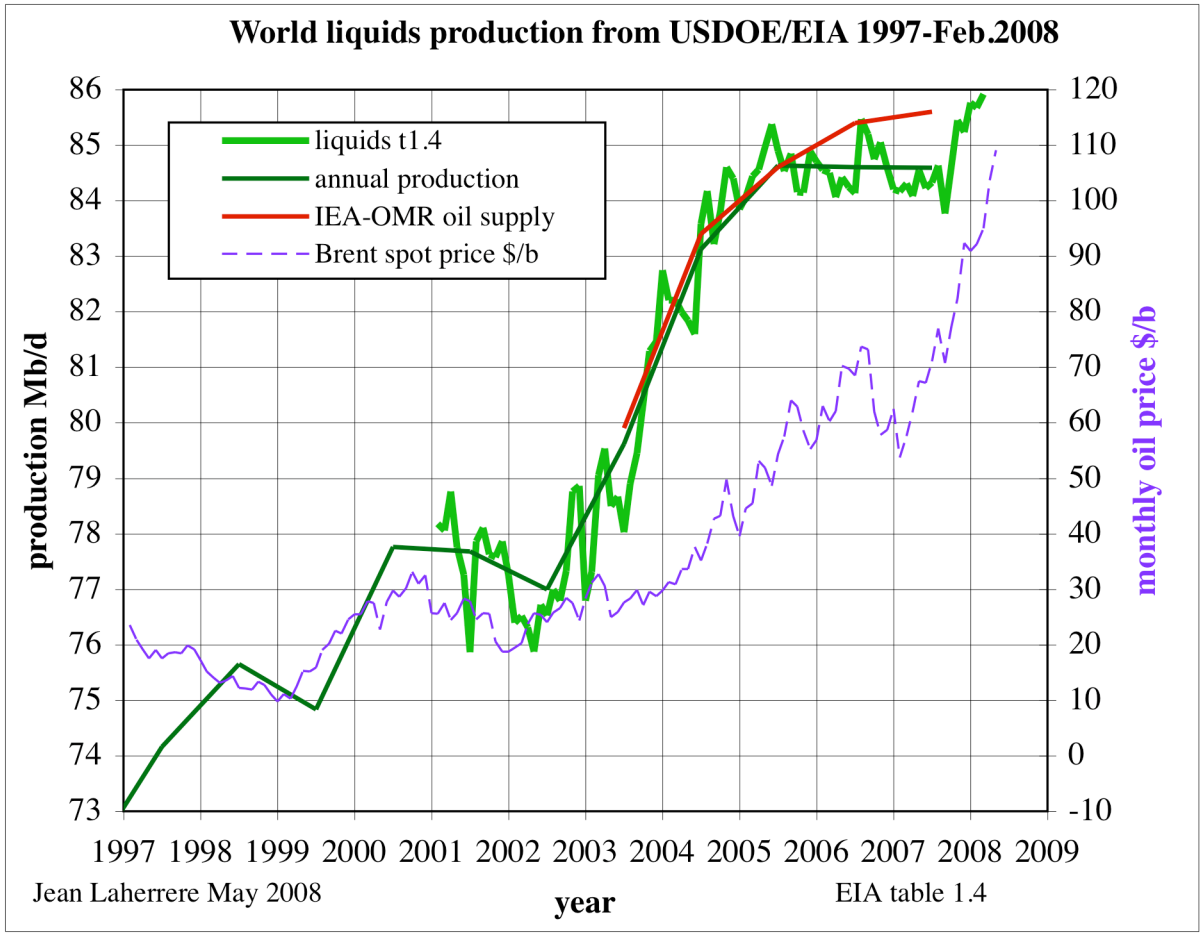



- This supply scenario falls short of the candidate demand path

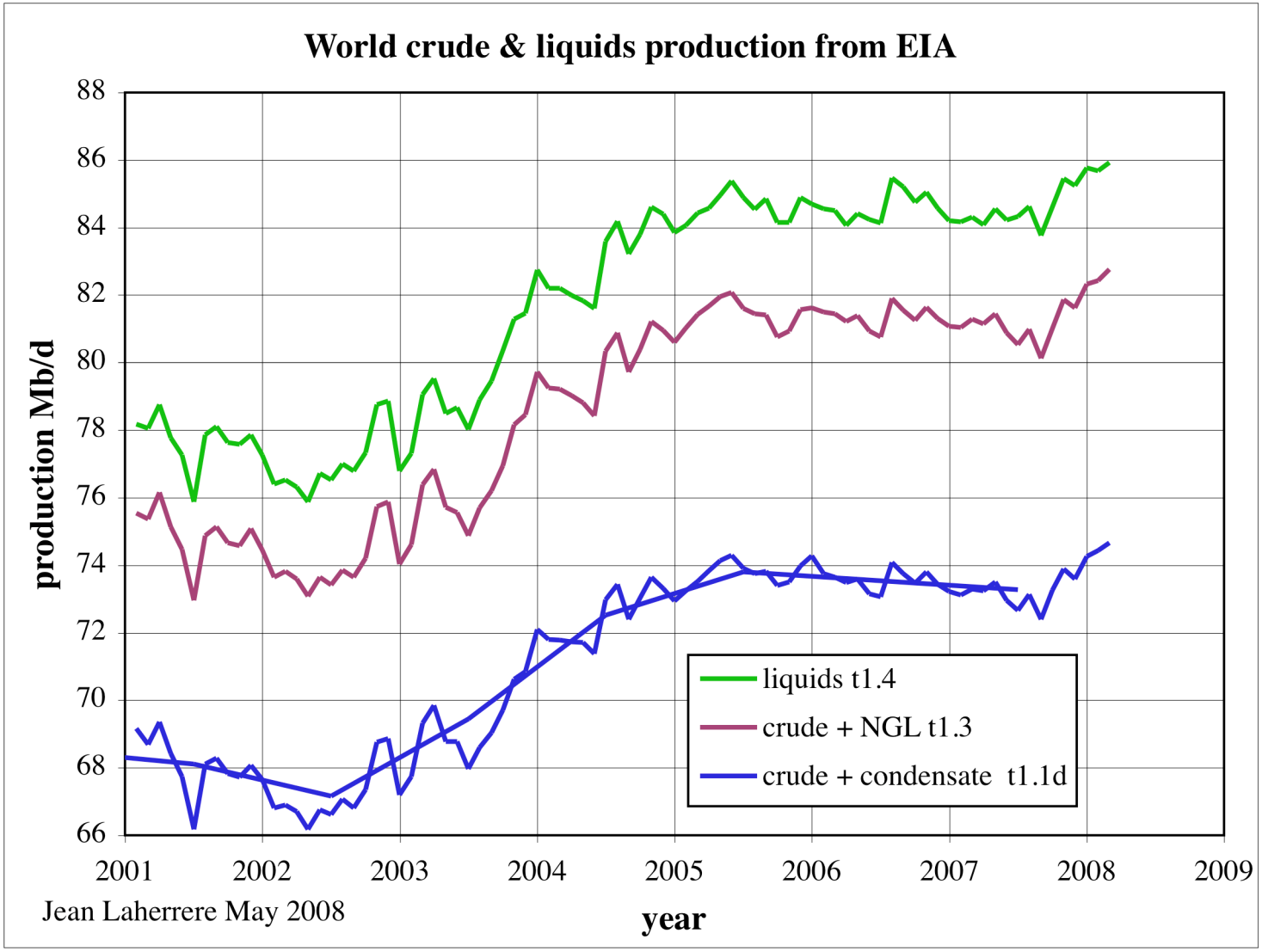
**-Pic ou plateau**

La prevision d'un pic court est ce que peut offrir la Nature et suppose qu'il n'y aura pas de contrainte autre que la geologie, ce qui est peu probable. La production peut etre contrainte par la politique (guerre civile au Nigeria ou gel ecologique des permis), nationalisation (Venezuela, Russie, Bolivie), quotas), par les investissements, par le manque d'equipements ou de personnel ou d'eau (Athabasca) et par la demande (prix eleve ou recession).

Figure 27: production mondiale de tous liquides d'apres USDOE/EIA 1997-Jan 2008



Le plateau differe legerement pour les liquides et pour le brut

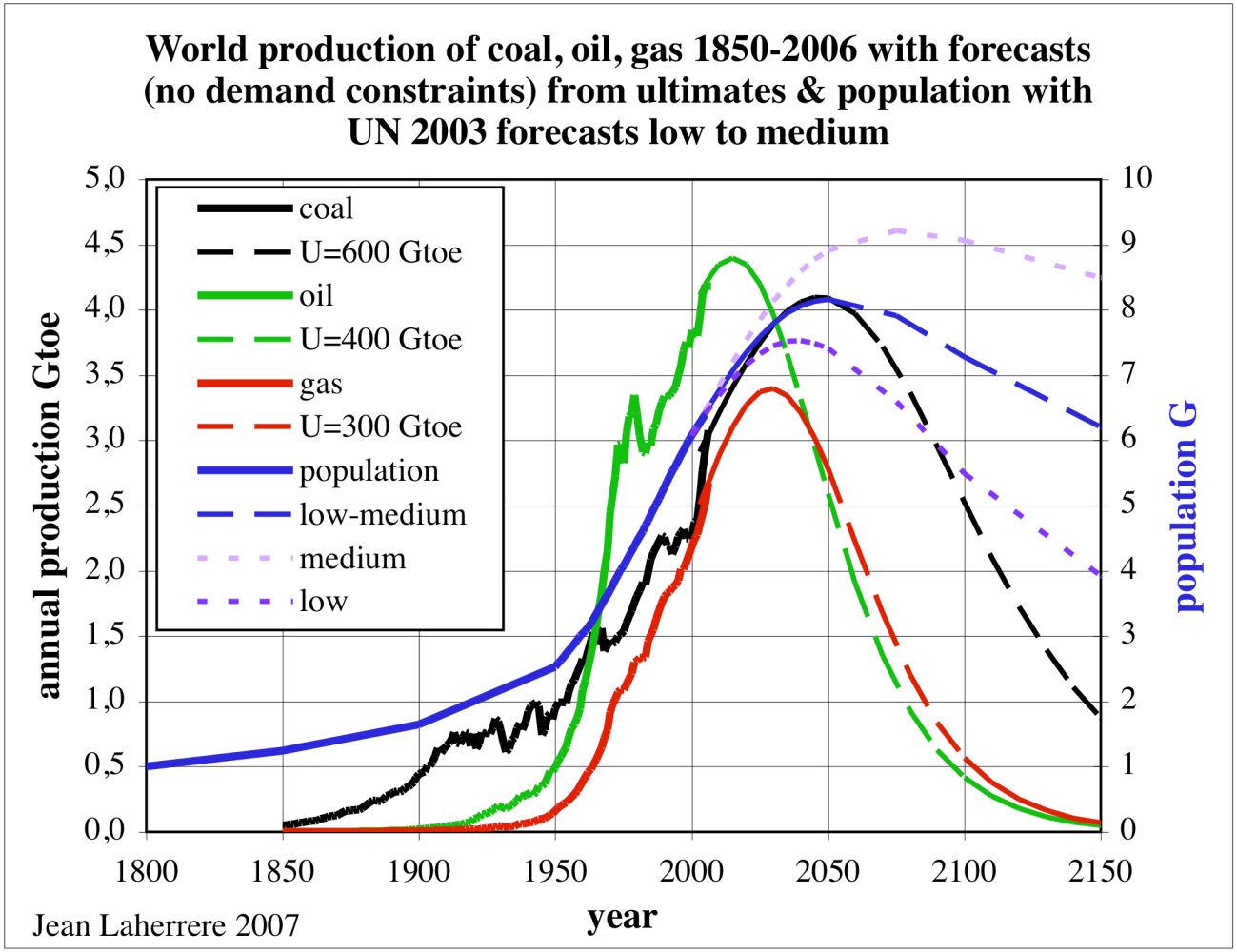



Ceux (Deffeyes) qui ont clame que le pic du brut etait en 2005 se sont trompes, fevrier 2008 est superieur

**-previsions de production des combustibles fossiles**

A partir des ultimes: charbon 600 Gtep, petrole 400 Gtep et gaz 300 Gtep, on peut (avec l'hypothese de non contrainte autre que l'offre) prevoir un pic pour chacun, avec aussi le pic de la population autour de 2050

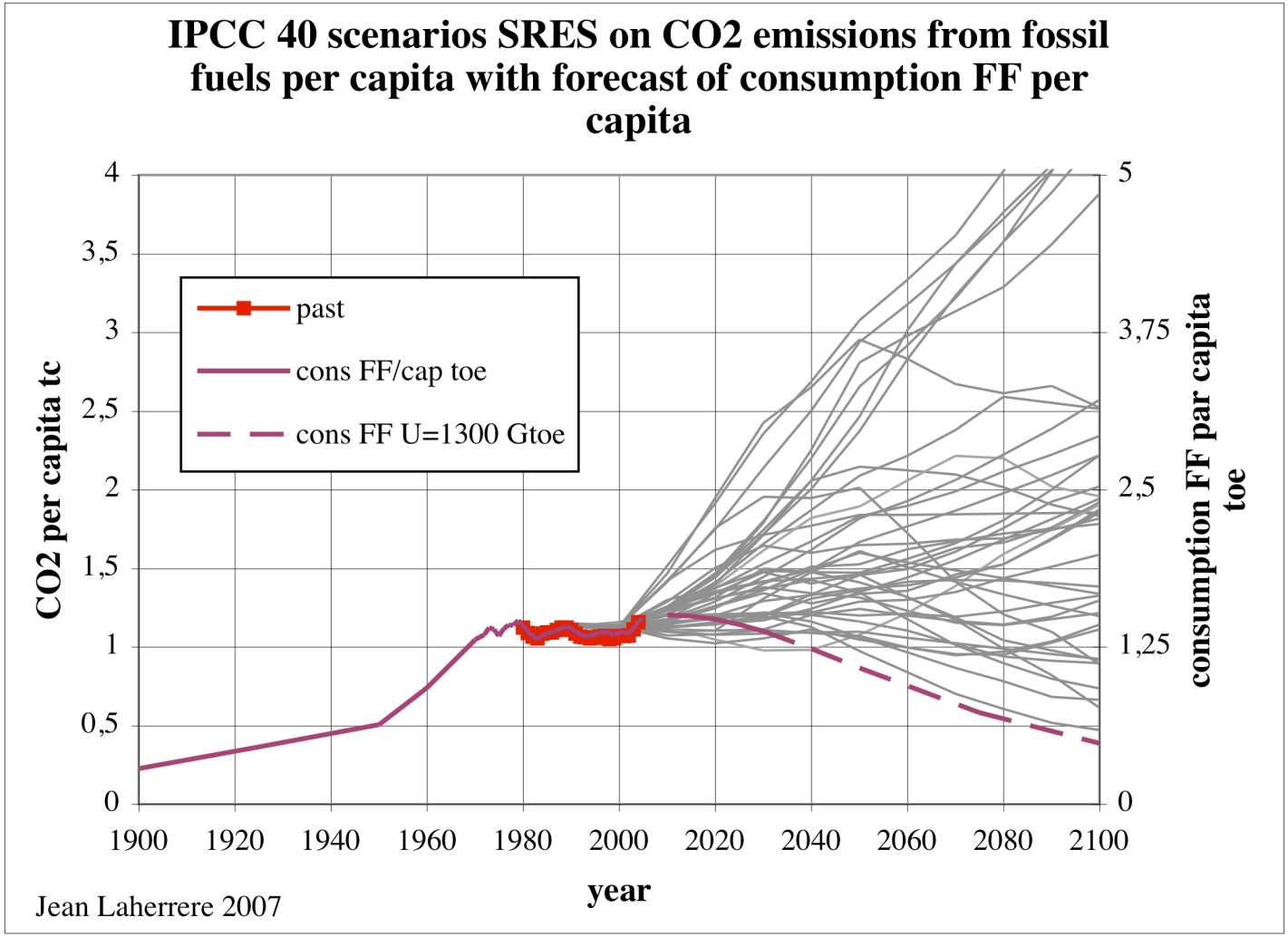
Figure 35: production mondiale annuelle de **petrole, gaz et charbon** et population 1800-2150



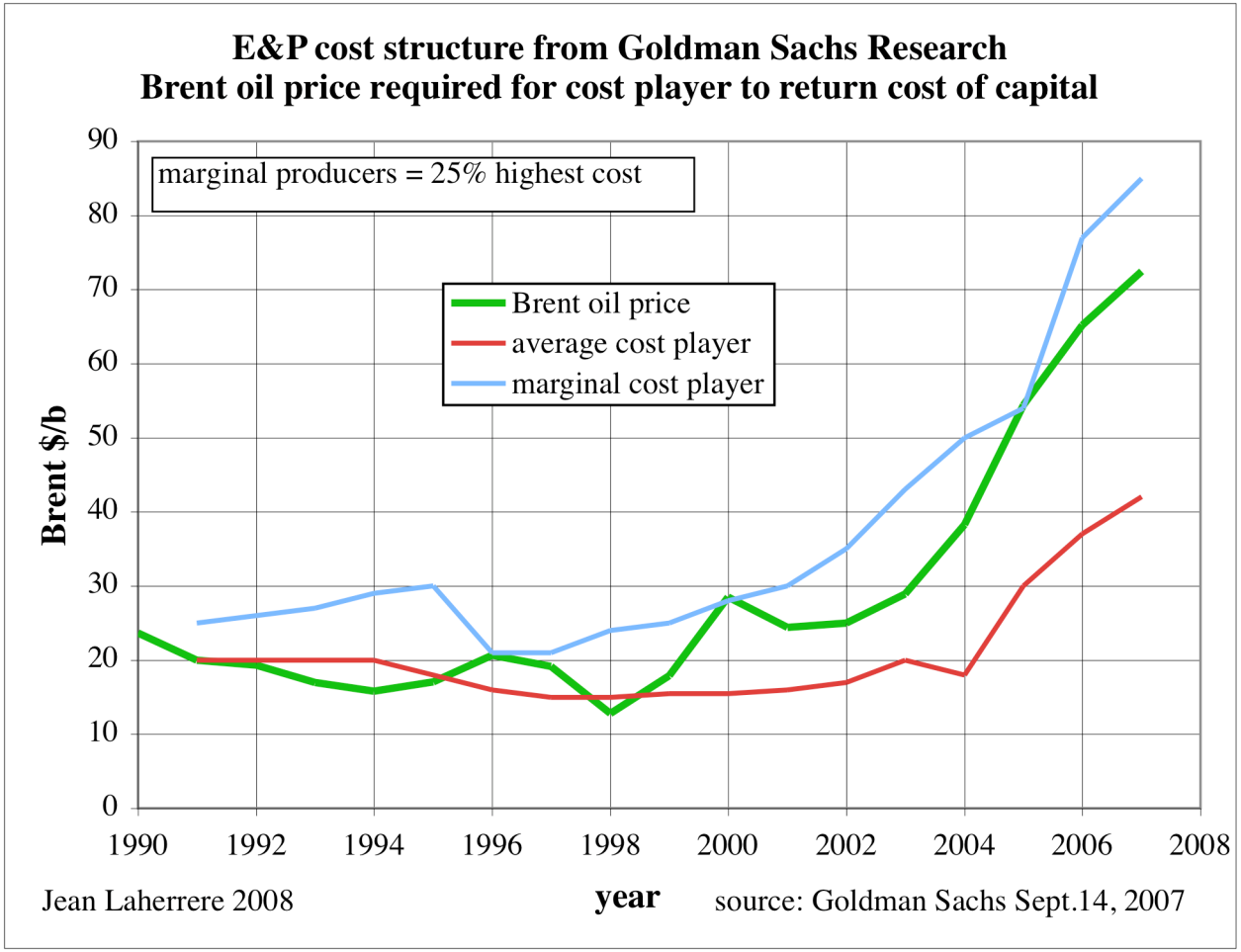

Pic du petrole vers 2015, du gaz vers 2025, du charbon vers 2050 comme la population.

Les 40 scenarios SRES du GIEC 2007 d'emission par habitant de CO2 des combustibles fossiles sont tres superieurs aux previsions a partir des donnees techniques.

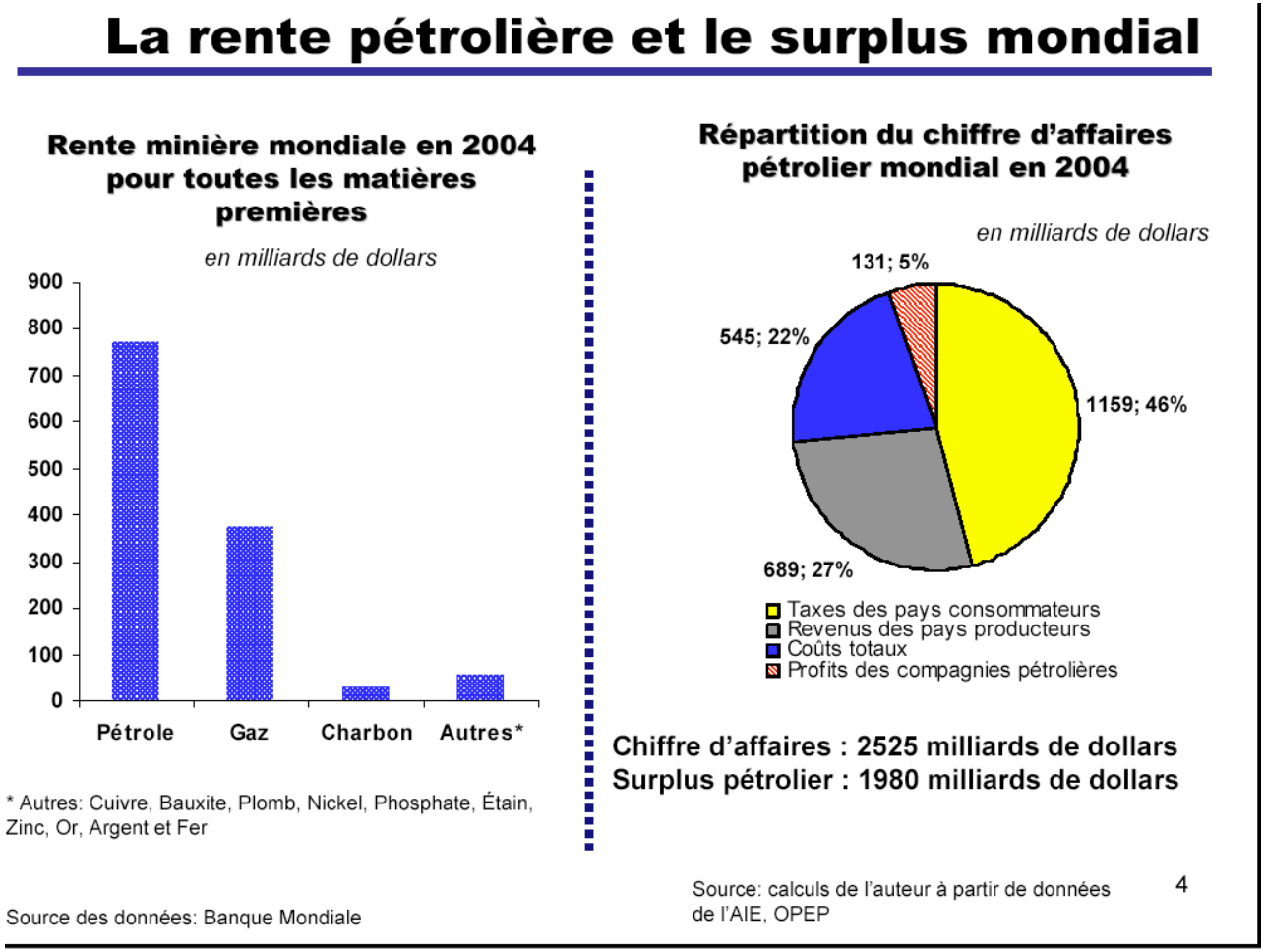
Figure 38: scenarios du GIEC emissions CO2 par habitant des combustibles fossiles avec prevision consommation U=1300 Gtep



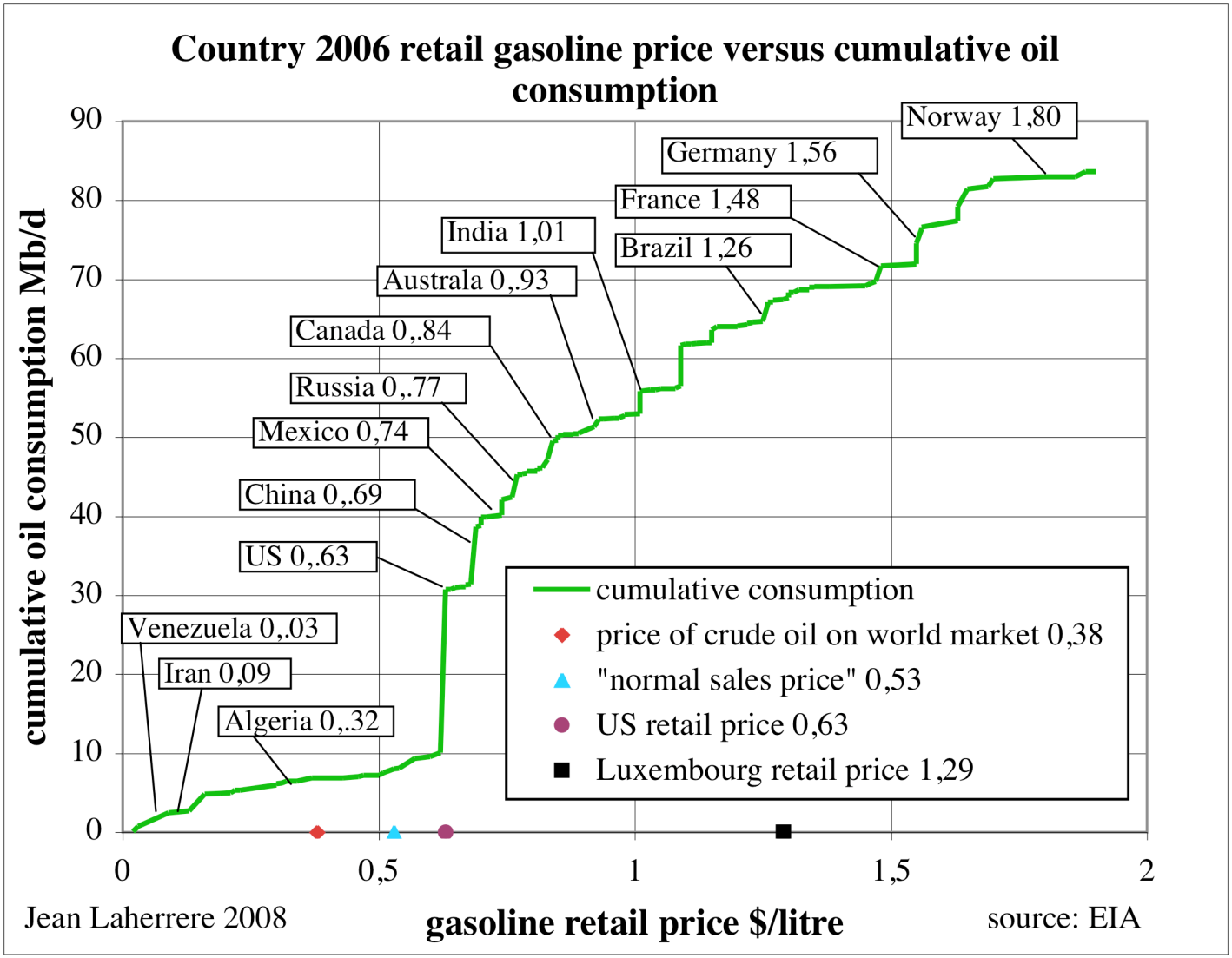
**Prix du brut et point neutre** = prix necessaire pour obtenir 8% pour remunerer le capital
Goldman Sachs a etudie les couts de revient de 60 compagnies petrolieres (IOC). Avec les augmentations du prix du brut mais aussi de l'acier et des services, les producteurs marginaux (25% des couts les plus hauts) ont besoin actuellement d'un prix du brut de 75-80 $/b pour avoir un taux de rentabilite normal (Brent en 2007 = 72 $/b
Figure 7: cout requis par les producteurs pour ne pas faire faillite d'apres Goldman Sachs 2007



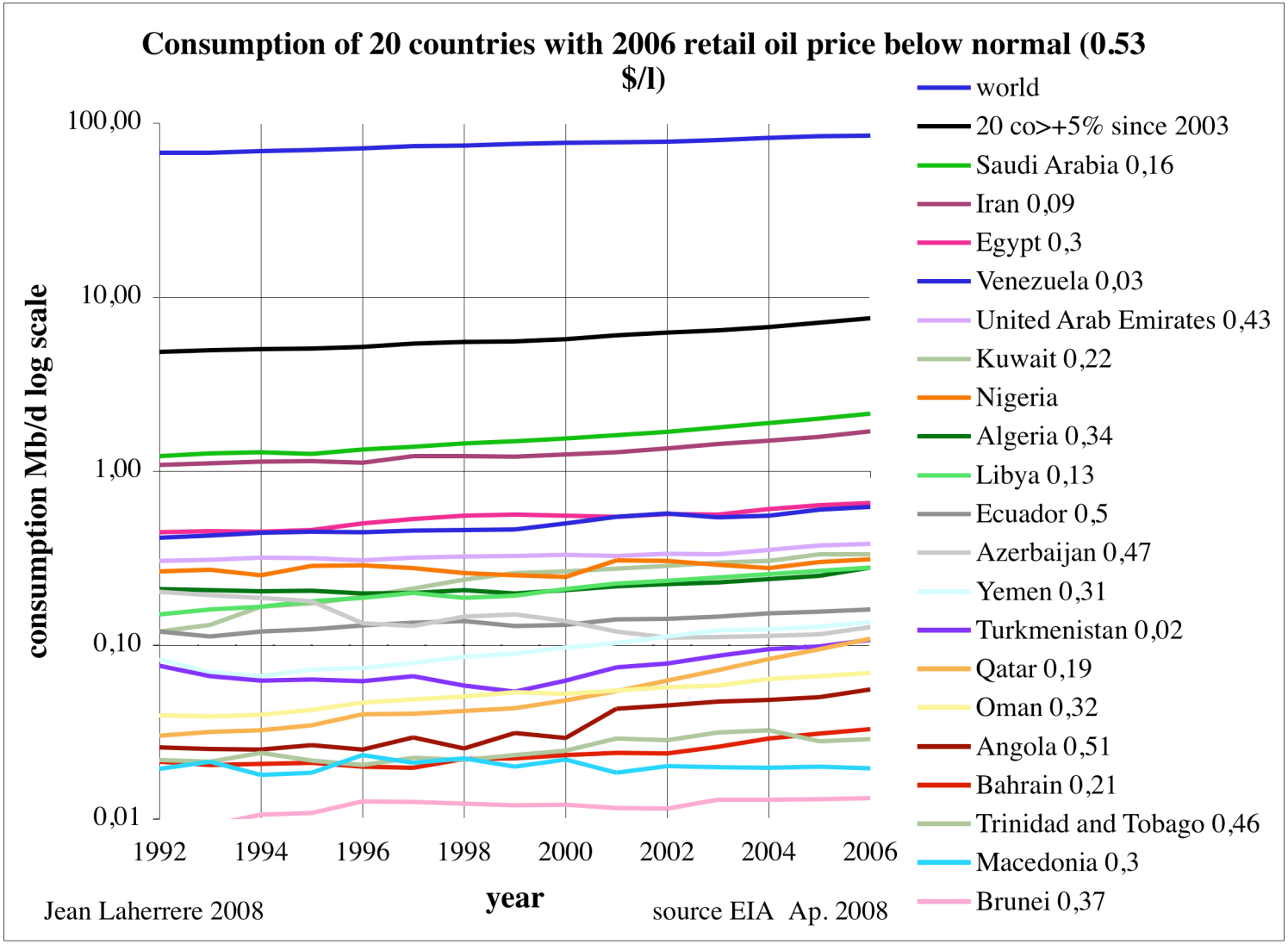
La rente des IOCs n'est que 5% du chiffre d'affaire petrolier d'apres MC Aoun (Mars 2008) alors que les besoins d'investissements futurs sont considerables. Les NOCs n'investissent pas assez en E&P (Nigeria) et leurs consommations domestiques augmentent plus vite que leurs productions;
Figure



Certains pays producteurs subventionnent fortement le prix de l'essence ce qui encourage une augmentation de la consommation de petrole qui va reduire les exportations



Consommation des pays ou le prix de l'essence 2006 est inferieur au prix "normal" de 0,53 $/l



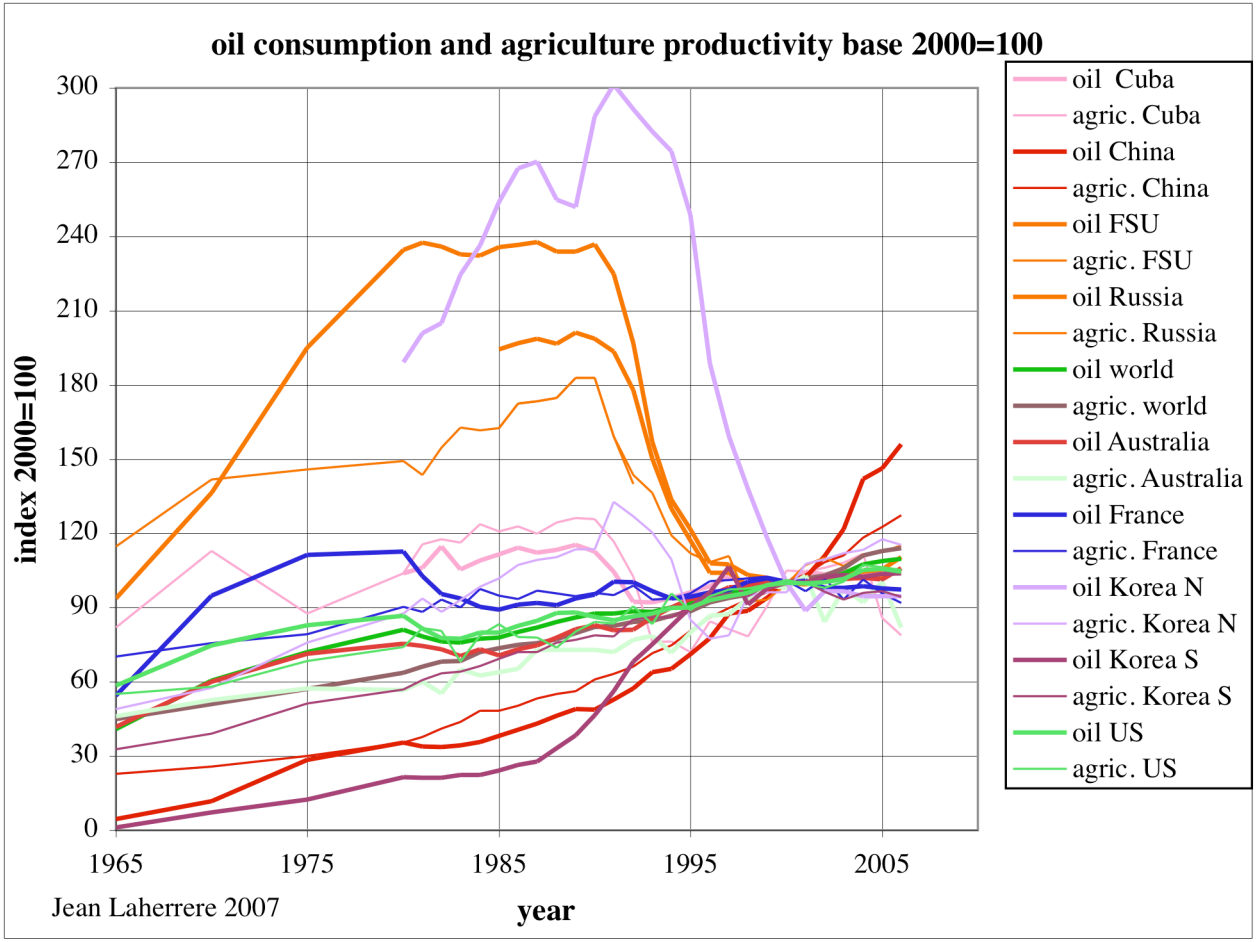

la consommation de ces 20 pays augmente de plus de 5%/a depuis 2003 (doublement en 13 ans)

-**Production mondiale de biocarburants**

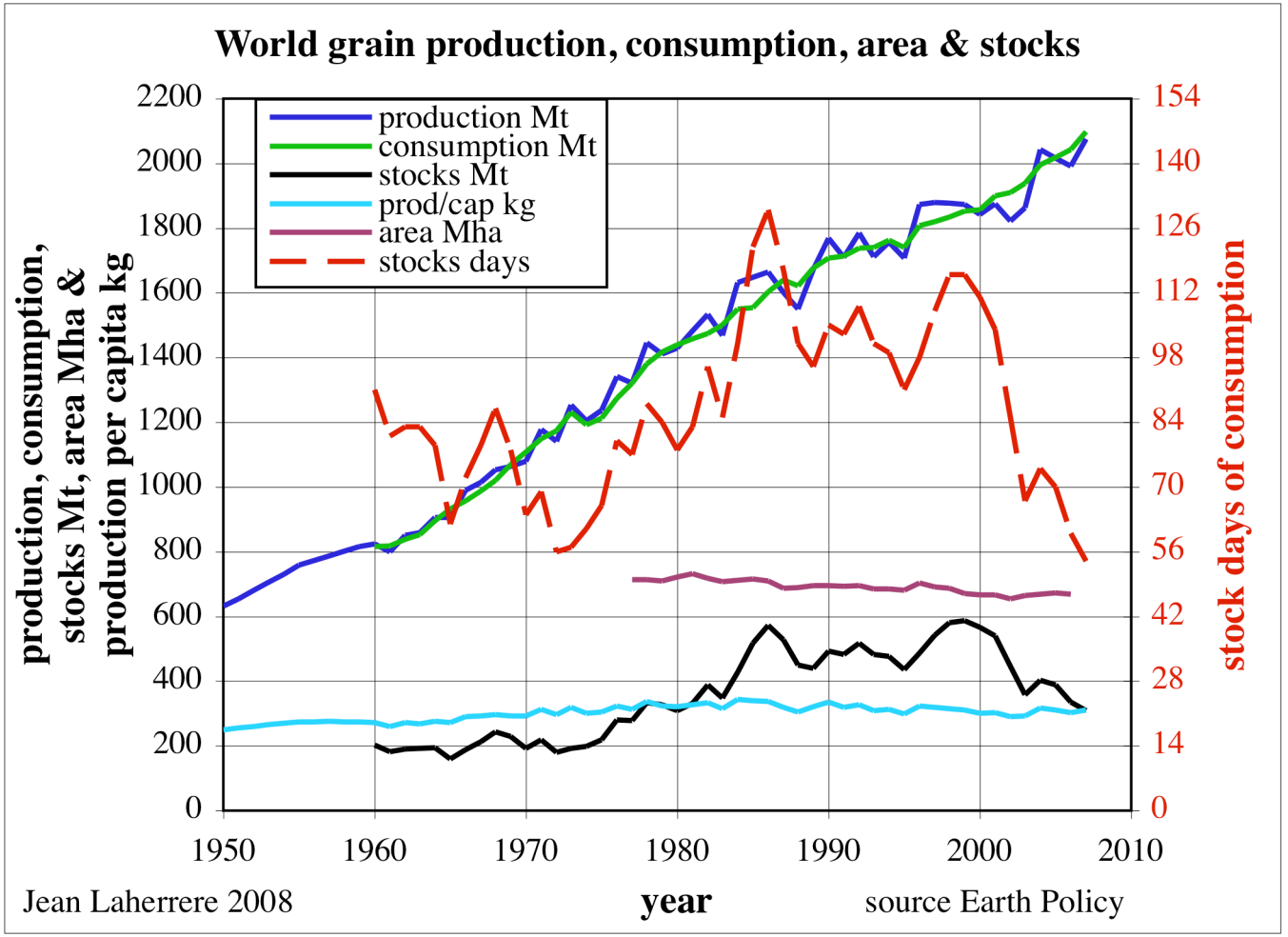
La revolution verte de l'agriculture a consiste a convertir le petrole et le gaz (engrais, pesticide, irrigation) en nourriture = correlation productivite agricole et consommation petrole. On veut faire le contraire!

La chute de consommation de petrole a Cuba et en Coree du Nord a conduit a la chute de la productivite agricole.

Figure 41: consommation de petrole et productivite agricole 1965-2006



Le stock de cereales s'ecroule, passant de 120 jours en 1999 a moins de 60 jours en 2006!
Figure 42: production mondiale de **cereales**, consommation, surface, stocks et jours de consommation




**L'agriculture ne peut, dans le futur, nourrir le monde et remplir les reservoirs des voitures!** La ruee sur les biocarburants a entraine une augmentation du prix des cereales, qui a provoque des emeutes dans plusierurs pays et une inflation de l'alimentation dans le monde entier. Le remede est pire que le mal (rapport OCDE)!

*__Prevision principale de 1998__: *la production du petrole bon marche declinera dans une dizaine d'annees* = aujourd'hui confirmee par EXXON (mais pas de *peak*), Shell (easy oil) et par l'augmentation des prix du brut par dix de 1998 a 2008, mais Pour la Science a refuse un article revisitant la fin du petrole bon marche de Mai 1998!

*__Mes previsions depuis 1998__:

-plateau en tole ondulee (bumpy plateau) avec prix chaotiques car recession probable et cout energie sousevalue

-agriculture ne peut nourrir le monde et remplir les reservoirs des voitures

*__Conclusions actuelles:__

-Les previsions officielles de reference BAU sont dites irrealisables par beaucoup (Mandil, Margerie, )

-facteur temps le plus important: loi McNamara x e = Khashagan (7 ans), Athabasca (Total 3 ans), EPR, A380

-vieillissement des infrastructures petrolieres = acier = ca rouille = fuites oleoduc Prudhoe Bay et des cadres

-augmentation des consommations OPEC ou l'essence est subventionne (Iran, Venezuela)

-augmentation rapide des voitures dans les pays emergents Chine, Inde va dans un mur

-air conditionne des tours vides des iles artificielles Dubai et Abu Dhabi va vite s'arreter faute de touristes

-rapport USGS 2000 (a fin 1995) est perime et ses previsions non realisees (IHS)

-compagnies nationales NOC plus de reserves, mais moins competentes et moins de moyens que les IOC

-economistes comptent sur la technologie (pere Noel) avec des donnees fausses, n'ecoutant pas les techniciens

-notre societe de consommation (toujours plus) a ete base depuis 50 ans sur une energie faisant 5% du PIB (energie <6% du budget menage francais en 2006) alors que l'energie contribue pour 50% (Ayres 2005)

-ASPO, organisation internationale independante non-profit fondee par C.Campbell, a impose le terme *peak oil* ayant une influence grandissante en matiere des HC aupres des pays avec 30 ASPO Nationaux

-les soi disants pessimistes (qui se voulaient realistes) semblent maintenant l'emporter sur les optimistes (Tout va tres bien Madame la Marquise) qui deviennent plus realistes (IFP, AIE)

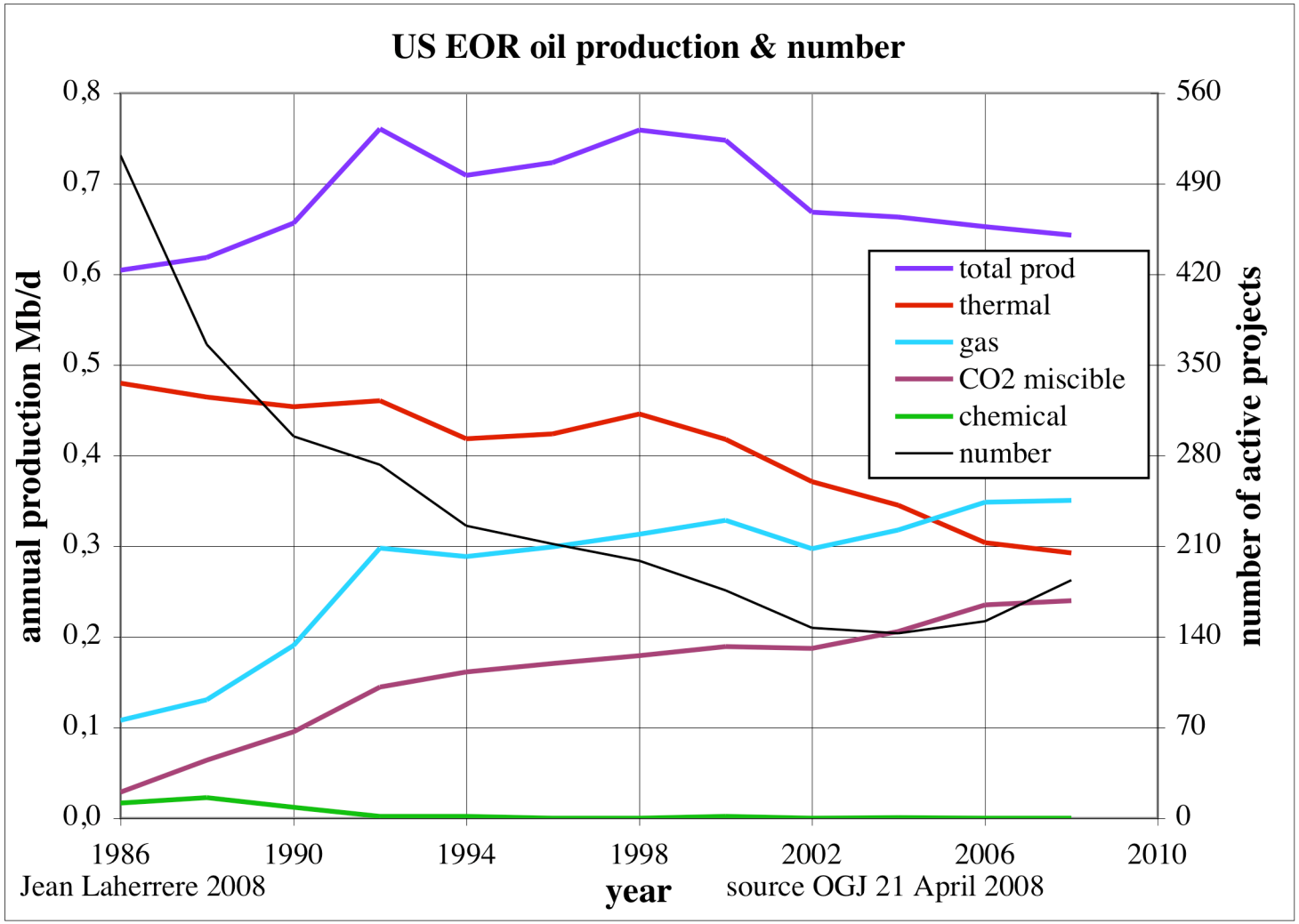
-il faudra changer de mode de vie car la croissance constante (BAU) est impossible dans un monde fini.

-la recession mondiale prevue par Volcker 2004 pourrait etre la purge salutaire qui permettra a chacun de changer de comportement.

*Le temps du monde fini commence* Paul Valery 1931

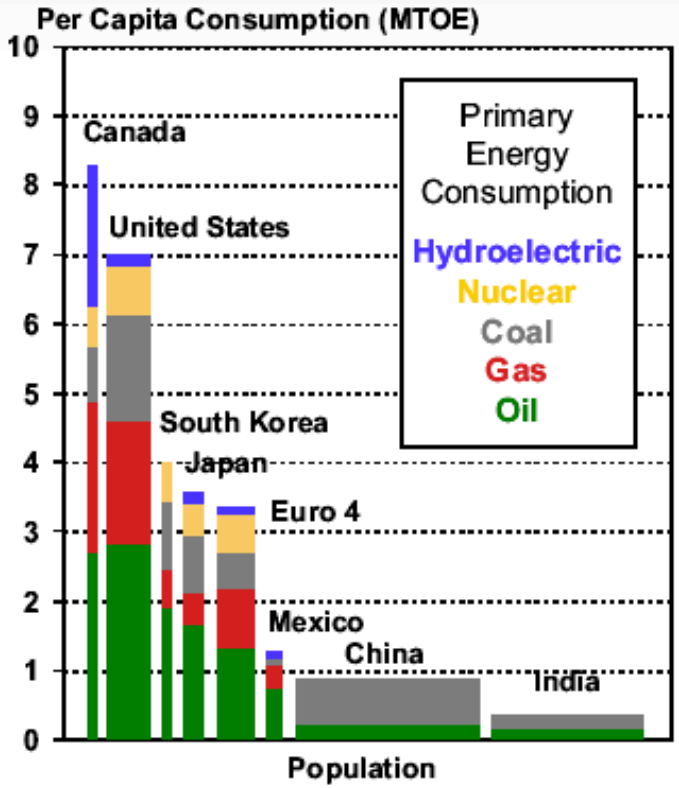
**Annexe:** quelques graphiques a regarder

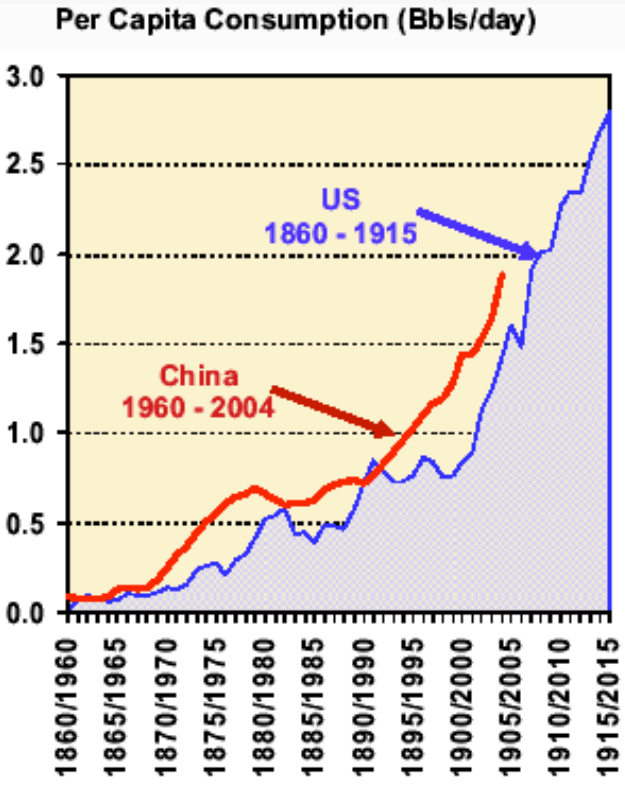
Certains pense que l'EOR (enhanced oil recovery) va compenser le declin mais aux US la production EOR baisse



La consommation de petrole en Chine a 100 ans de retard sur les US et la Chine veut imiter les US en matiere de voitures: 50 000 km d autoroutes en 10 ans: c'est impossible a long terme

# The Demand Challenge




Source: EIA, CIA World Factbook

La bourse de Shanghai montre un pic imitant avec retard (3 ans) la croissance de la consommation chinoise de petrole, confirmant que tout ce qui monte redescend un jour, il y aura d'autres cycles mais base sur d'autre espoir

DGEMP avril 2008 : consommation energetique en France en 2030 : extrapolation lineaire qui baisse avec le temps ? Quid du facteur 4 ? quid du peak oil ? quid du peak gas ?

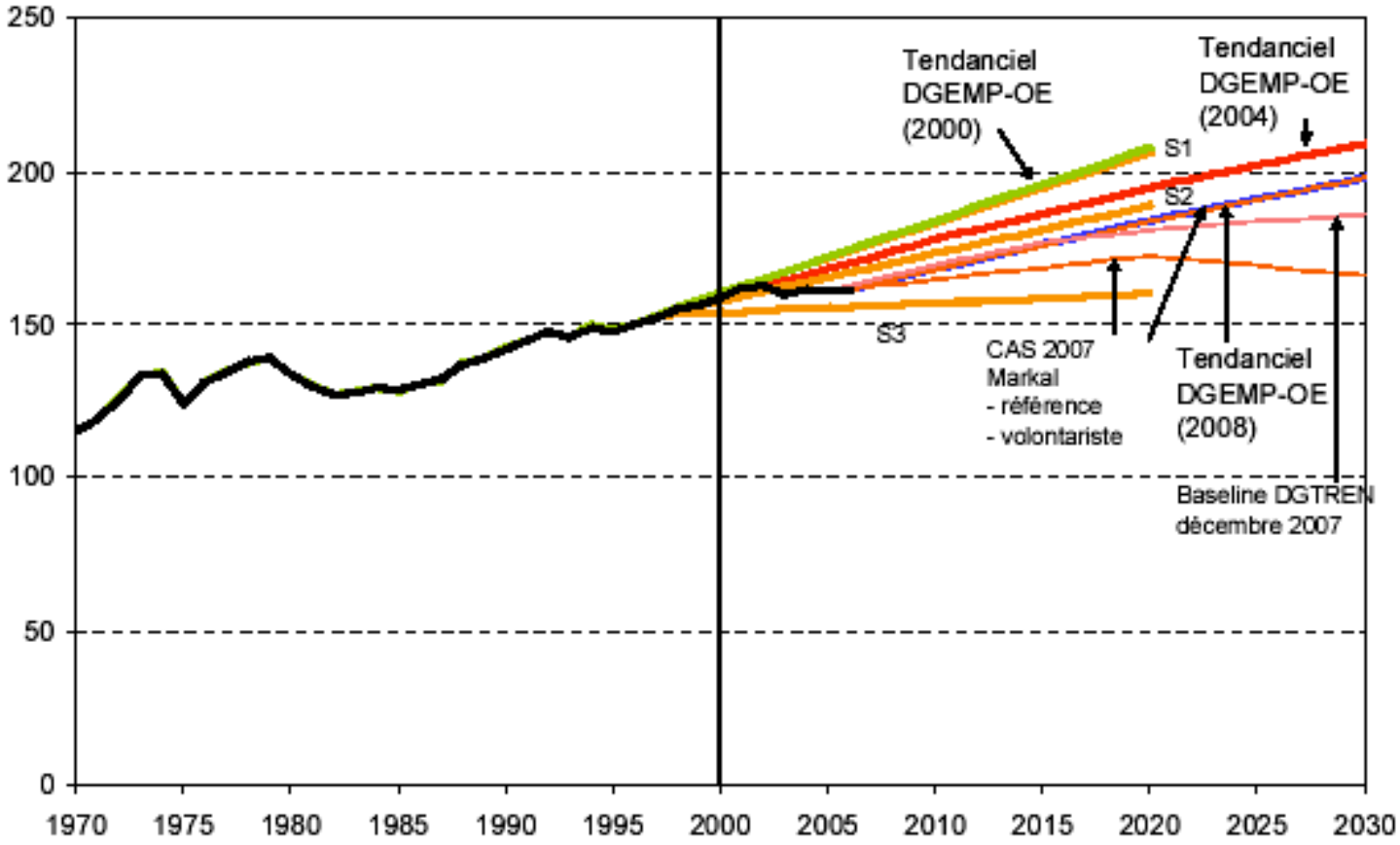



**Figure 2 : Évolution de la consommation finale énergétique de la France, en Mtep, selon différents scénarios[2].**