

Chalons en Champagne 20 Novembre 2007

Vivre demain sans petrole

Quand le « peak oil »?

Jean Laherrere ASPO (Association for the Study of Peak Oil & gas) & ASPO France

jean.laherrere@wanadoo.fr

Paul Valery: *Tout ce qui est simple est faux, mais tout ce qui ne l'est pas est inutilisable.
Le temps du monde fini commence 1931.*

-Principes de la nature et de notre societe

Tout ce qui naît, croît, atteint un **pic**, decline et meurt.

Tout est cycle, un cycle disparaît pour être remplacé par un nouveau cycle, tant qu'il y a des ressources

Une croissance continue est impossible dans un monde fini. [Nous avons atteint les limites de la planete.](#)

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

Le mot declin un terme politiquement incorrect, car contraire au vœu politique de la croissance constante pour les 30 prochaines annees (dit *business as usual*).

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

-Production petroliere

-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 (crude oil)

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

Google *peak oil* 10 fois plus que *oil peak* ? = ASPO

Pic = point haut ou point le plus haut?

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

Pour 2005 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 **84 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 2005	definition	Mb/d
OGJ Oil & Gas Journal	oil	72,361 6
WO World Oil magazine	crude/condensate	72,112 9
BP Statistical Review	liquids (excl CTL)	81,087 544 356 164 4
USDoE (Depart of Energy)/EIA	crude oil	73,653 375 786 794 6
	all liquids	84,563 799 689 834 3
en Mai 2007 USDoE a remplace dans ses previsions oil par liquids		
IEA International Energy Agency	oil	84,45

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

-Chiffres publies

Publier une donnee est un acte politique et depend de l'image que l'auteur veut donner.

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.

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

Publier une donnee avec plus de 2 chiffres significatifs pour l'energie montre que **l'auteur est incompetent**

Les estimations de reserves sont incertaines et devraient etre donnees avec une fourchette de 3 valeurs.

Le public et les patrons n'aiment pas l'incertitude, preferant une valeur discutable a une fourchette.

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

	Oil & Gas Journal	British Petroleum Review	World Oil magazine
Oil Gb	OGJ	BP	WO
World	1 292,935 5	1 201,331 538 509 4	1 119,615 3
Russia	60,000	74,436 476 05	74,4
Norway	7,705	9,691 349	8,033 NPD publie tout!
Canada	178,7924	16,500 rev. 17,0927161402	12,025 rev. 23,314 en 2007

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

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

-Il y a 3 mondes:

- economistes**, ayant acces qu'aux donnees financieres ou politiques, croyant que l'argent et la technique peuvent tout faire, n'ecoutant pas les techniciens
- patrons et politiciens**, qui sont juges sur la croissance dans la societe de consommation
- techniciens** ayant acces aux donnees reelles, connaissant les limites de la technique, mais peu libres de parler a l'exterieur, sauf quand a la retraite

-Reserves

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

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

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

Il y a souvent confusion entre reserves et ressources.

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

-**US** toute compagnie presente a la Bourse Americaine (donc Total) est obligee (regles perimees de la SEC 1978) de publier seulement les reserves **prouvees = 1P**, supposees etre le **minimum** pour proteger le banquier d'une faillite!

-**OPEP** où les quotas dependent des reserves dites **prouvees** (pour faire vrai!), elles sont donc politiques

-**ex URSS** = classification avec le taux theorique maximum de recuperation = **prouve + probable + possible = 3P ≈ maximum**

-**Reste du monde** = regles SPE/WPC 1997 = **prouve + probable = 2P ≈ valeur esperee ou moyenne** sur laquelle est decide le developpement du champ.

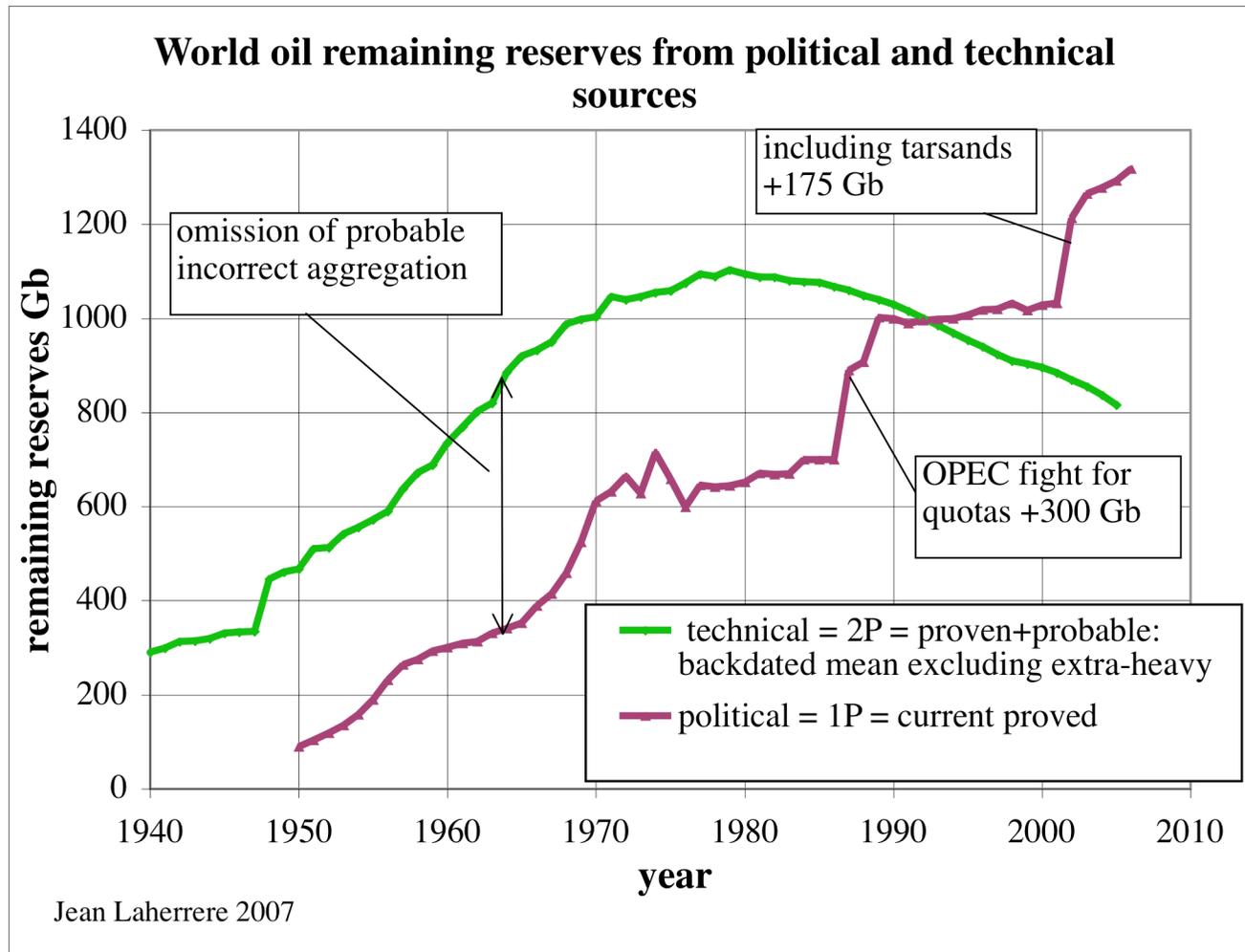
Les compagnies internationales ont plusieurs fichiers de reserves suivant la destination!

-Reserves restantes de petrole = decouvertes cumulees moins production cumulee

Reserves techniques = ma compilation de plusieurs sources confidentielles et heterogenes **en vert**

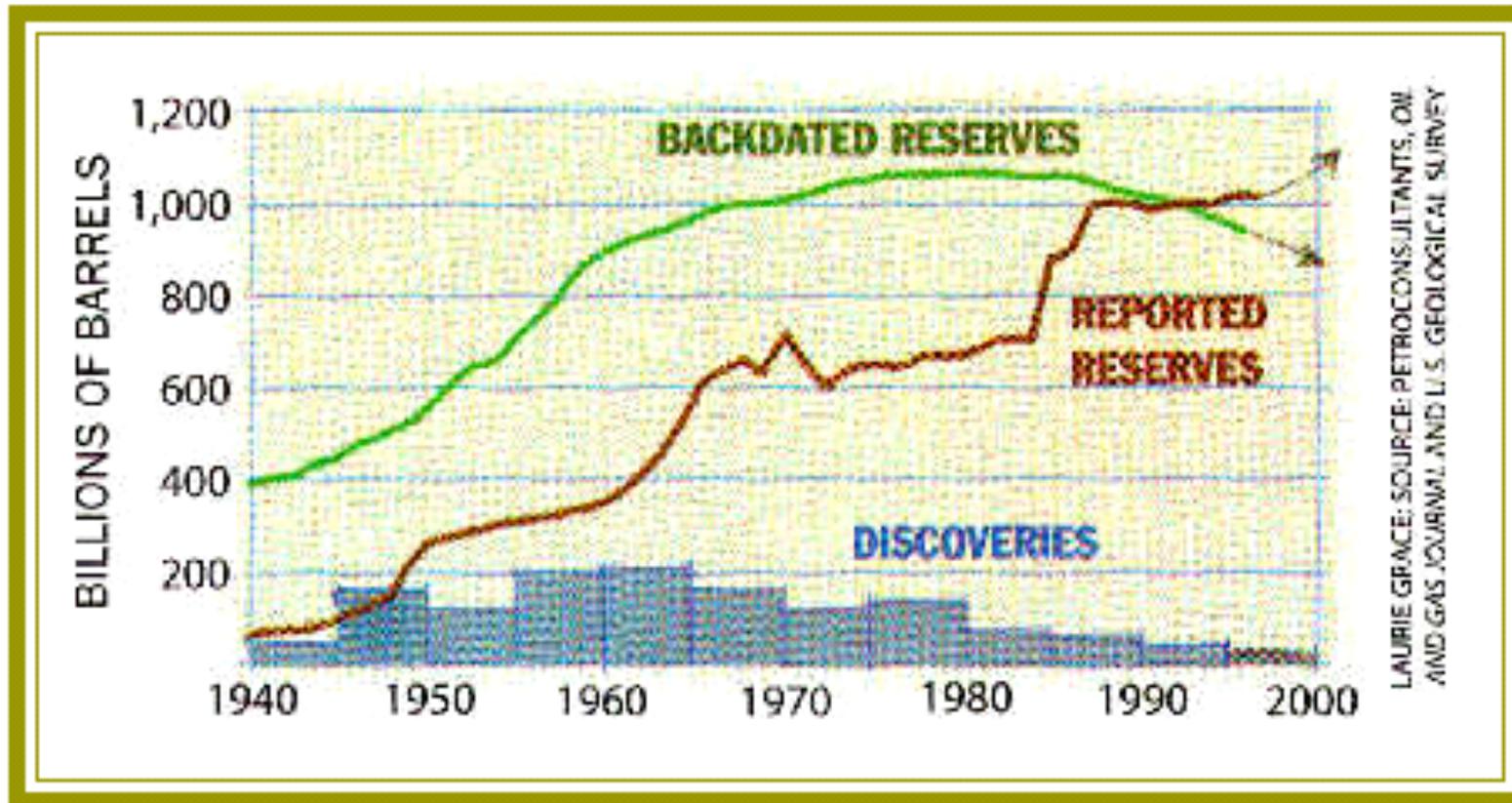
Reserves politiques (et financieres) = publication USDoE (\approx OGJ) **en marron**

Figure 1: Reserves mondiales conventionnelles de petrole d'apres les **sources politiques et techniques**



S.Al-Husseini (ex VP Aramco) 30 Oct 2007 300 Gb sont des reserves politiques (ressources speculatives)

En 1998 Campbell et moi avons sorti le meme graphique qui prevoit bien la situation actuelle:
 Figure 2: Reserves mondiales conventionnelles de petrole d'apres les **sources politiques et techniques:**
graphique mars 1998 **Scientific American** "The end of cheap oil" Colin Cambell & Jean Laherrere
 traduit dans **Pour la science** de mai 1998 "La fin du petrole bon marche"

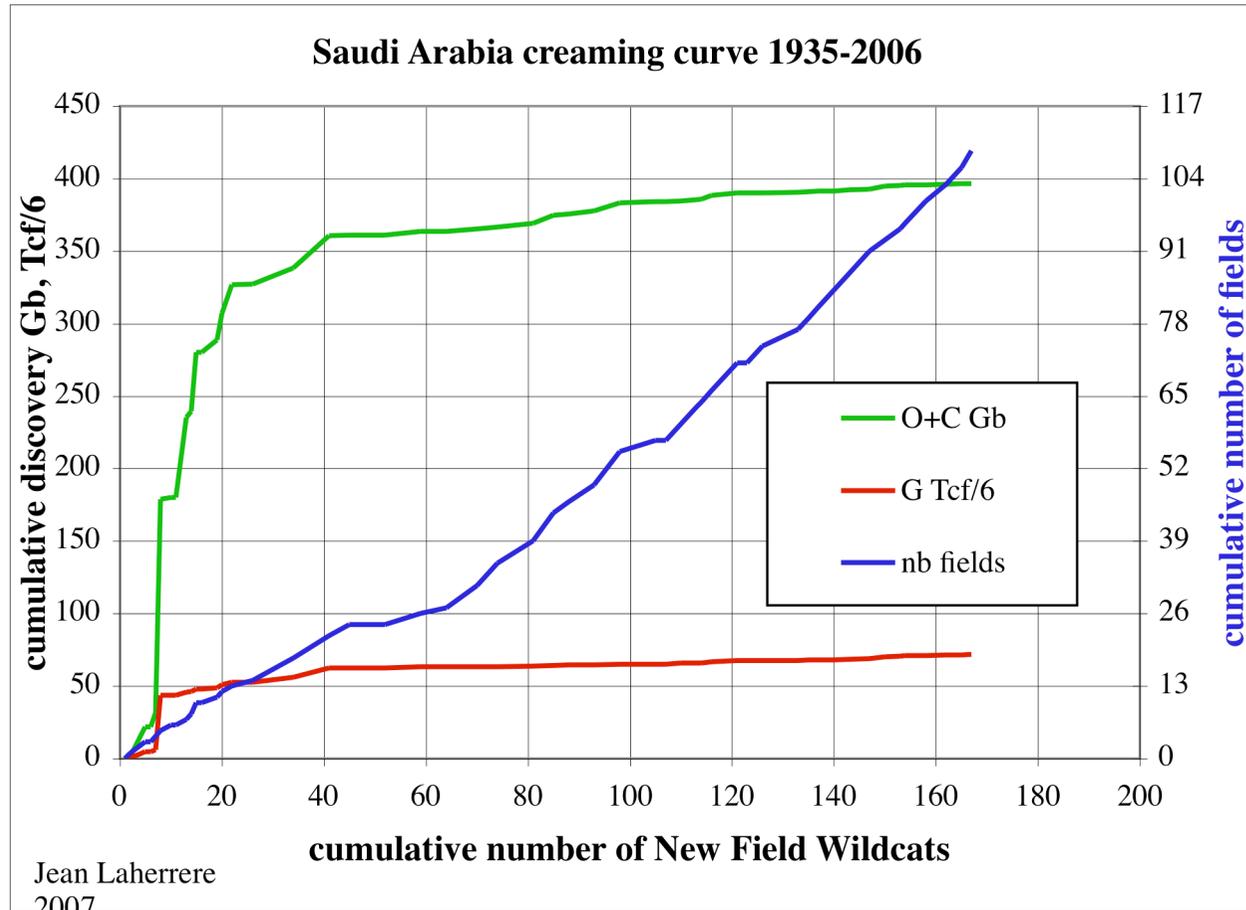


Les economistes qui ont acces uniquement aux donnees politico-financieres ne raisonnent pas faux, ils raisonnent surtout sur des donnees fausses **Les reserves politiques ou financieres dites *prouvees* sont incorrectes et ne sont d'aucune utilite pour predire l'avenir**, mais les economistes n'ont que ca!

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

-**Mythe 1: *Le Moyen-Orient peu explore***: = non = decouvertes Arabie Saoudite: premiers 20 puits exploration 1935-1964 = 80% volume, 11% nombre; derniers 20 puits 1998-2006 = 1% volume, 17% nombre: on trouve plus en nombre, mais de plus en plus petit.

Figure 3: **courbe d'ecremage des decouvertes de petrole en Arabie Saoudite en Gtep d'apres IHS**

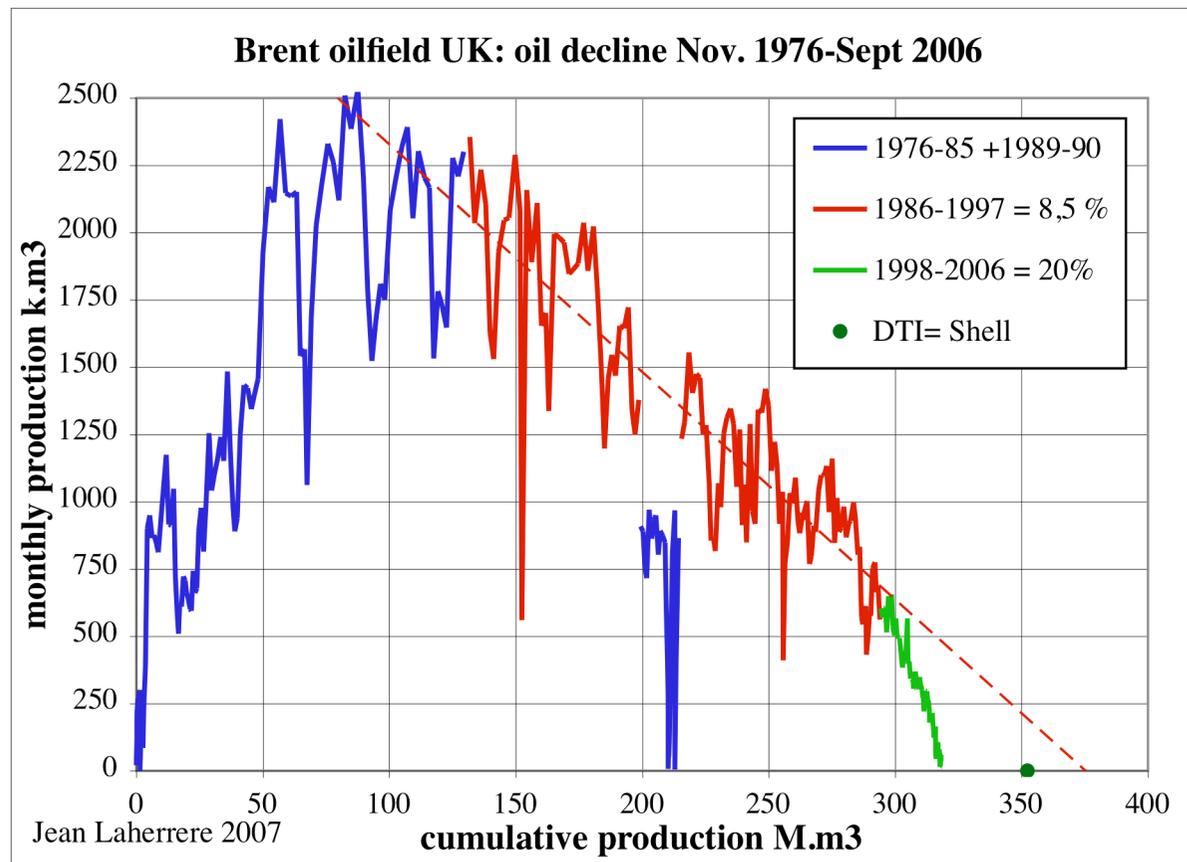


L'Arabie Saoudite n'est pas sous exploree, ainsi que tout le Moyen-Orient, certaines regions a faible potentiel ou a gaz sont moins forees. Il n'y a rien a esperer en offshore profond!

-**Mythe 2: le taux de recuperation des champs de petrole est en moyenne de 35%, en Mer du Nord on recupere 50%, on peut donc augmenter les reserves de moitie**
 realite = 1 a 85 % pour les champs conventionnels suivant la geologie,
 mais **la technologie ne peut echanger la geologie des reservoirs**

-**Mythe 3: il y a croissance des reserves grace a la technologie: l'apport de la technologie doit se voir par une diminution du declin.** Il faut aller voir les courbes de declin des grands champs geants matures.

Figure 4: courbe de declin de la production de petrole du champ de **Brent** RU 1976-2006



La technologie ne fait pas decroitre le declin au contraire! Elle laisse esperer des reserves qui n'y sont pas!

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

Aux US le R/P des reserves dites prouvees de petrole est d'environ **10 ans depuis 80 ans**

= inutilisable pour la prevision, car la plupart des reserves sont calculees en multipliant par 10 la production!

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

-Mythe 5: les couts diminuent avec la technologie

Les couts ont diminue de 1981 a 1996 non a cause de la technologie mais de la diminution du prix du brut

-Mythe 6: les decouvertes augmentent avec le prix du brut

Les chocs petroliers de 1973 et 1979 ont conduit a moins de decouvertes (forage des prospects mediocres qui avaient ete rejetes auparavant) et a moins de production (baisse de la demande)

-Mythe 7: les hydrates de methane oceaniques representent le double des combustibles fossiles

Les hydrates oceaniques sont heterogenes et d'extension limite (millimetrique verticalement et metrique horizontalement). Aucun procede connu pour les produire et EROI. Les premieres estimations divisees par 100.

-Mythe 8: les schistes bitumineux ont des reserves >2 Tb a un cout de 30-70 \$/b

Ceux ne sont ni des schistes ni du bitume, mais du kerogene immature, classes avec les lignites. Ils sont souvent confondus avec les sables bitumineux qui sont a l'autre bout de la chaine petroliere, etant du petrole degrade

Inegalite de la distribution des champs geants (>500 Mbep)

Figure 5: carte des champs geants d'apres Horn AAPG 2005

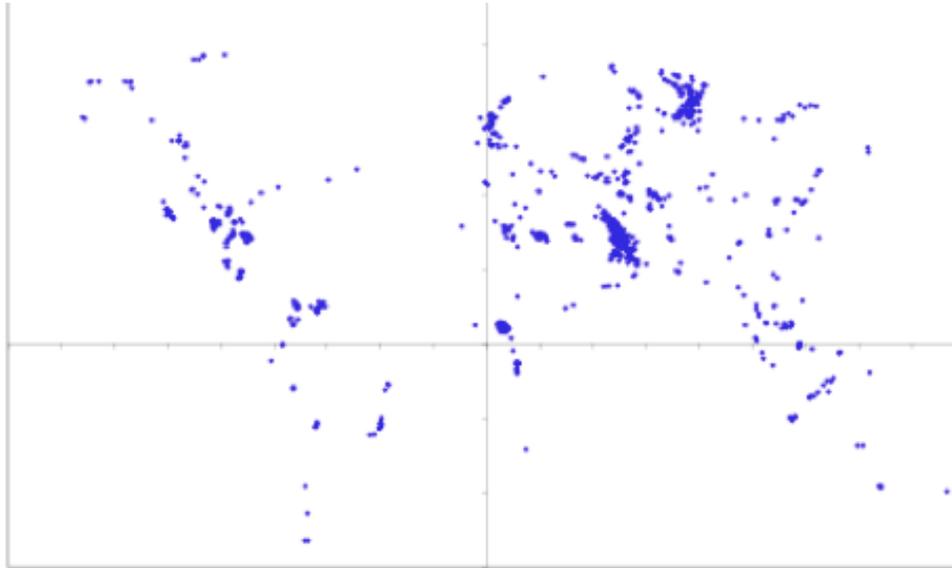
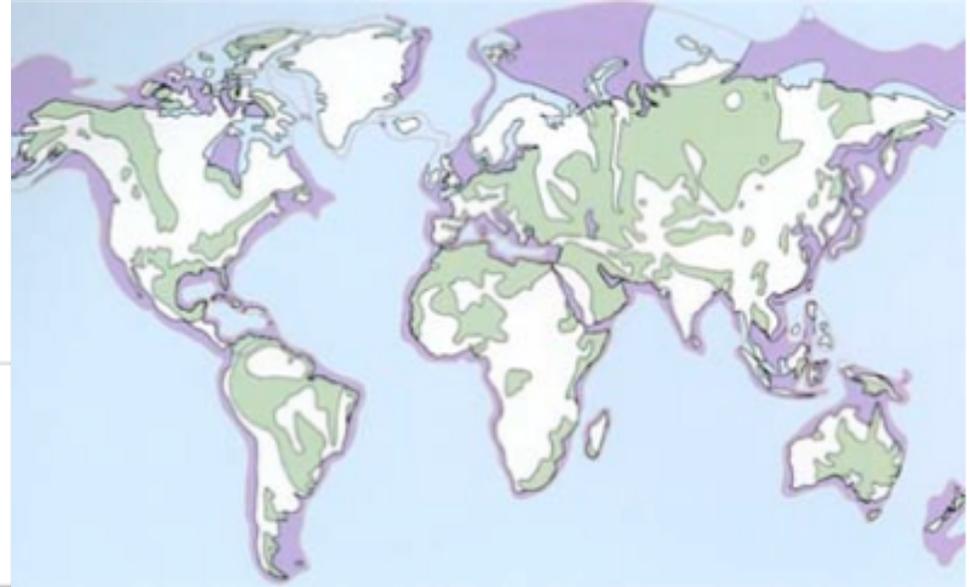


Figure 6: carte des bassins sedimentaires



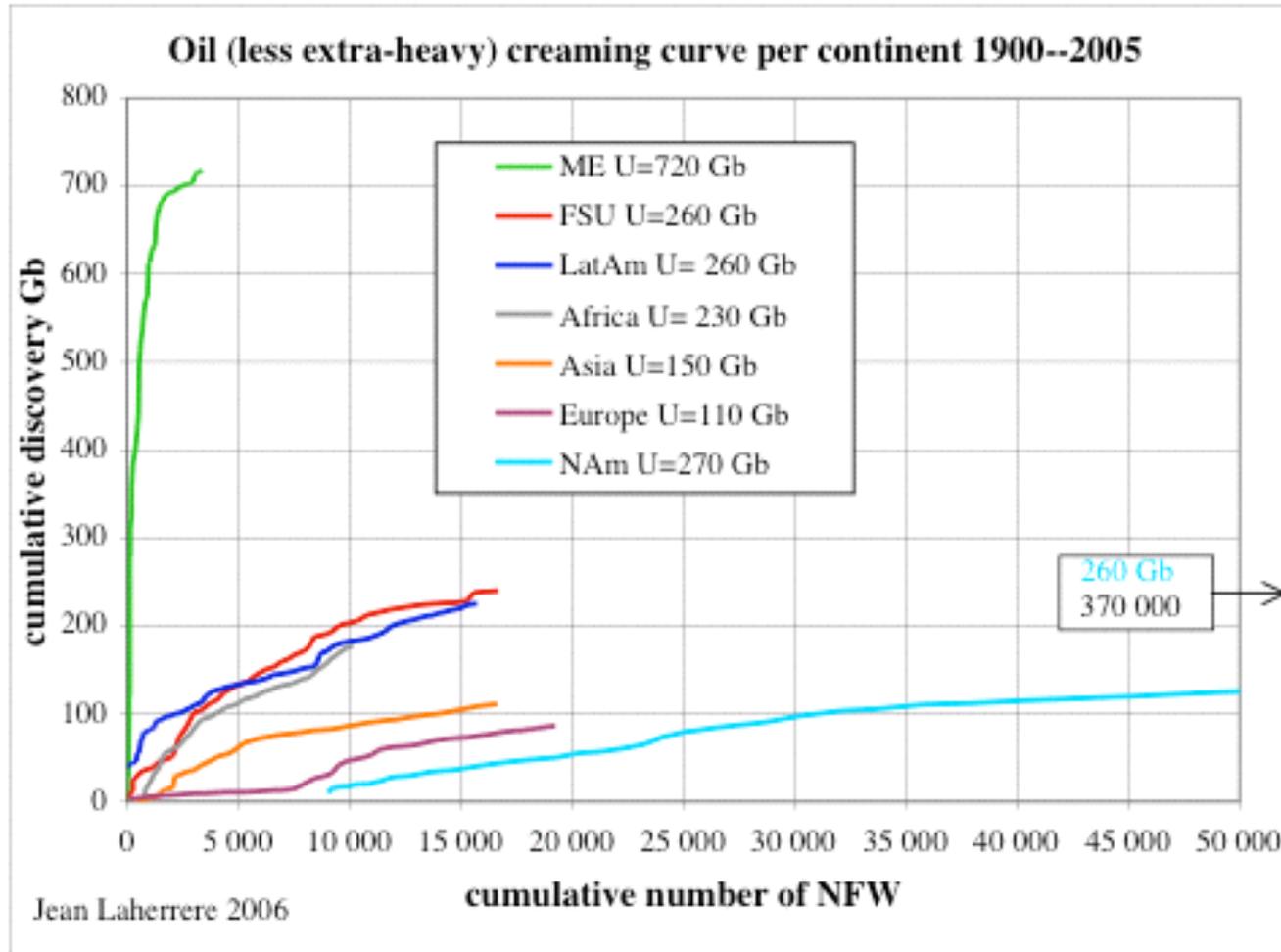
Chaque point represente un champ geant, mais le plus grand = Ghawar est plus de 300 fois plus grand que le plus petit.

L'hemisphere Sud contient moins de geants car moins de bassins sedimentaires (plus d'oceans)

-Estimation de l'ultime

Il est préférable d'estimer les ultimes à partir des courbes d'écremage, à savoir la courbe des découvertes cumulées en fonction du nombre cumulé de puits d'exploration pure (New Field Wildcat NFW).

Figure 7: Courbe d'écremage du pétrole conventionnel par continent

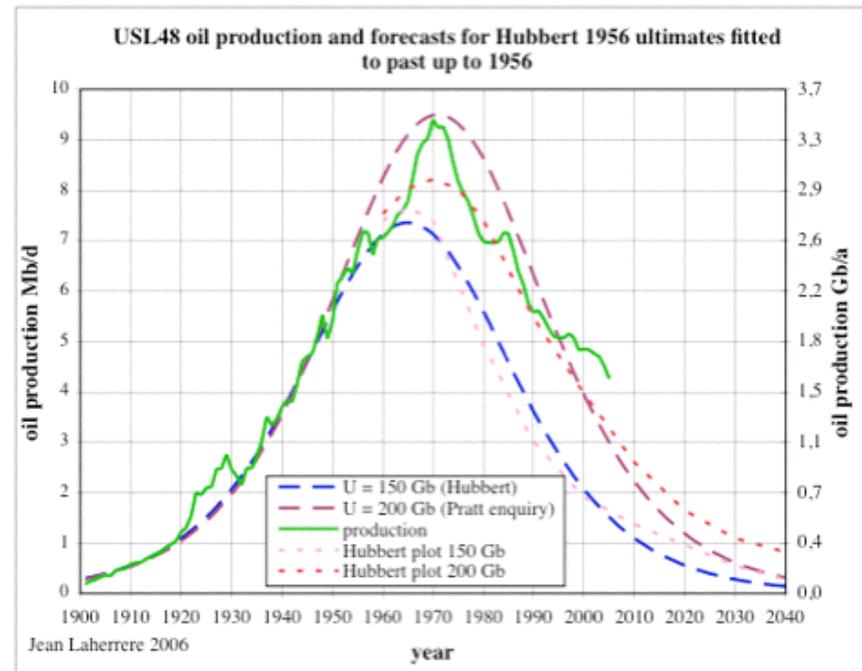
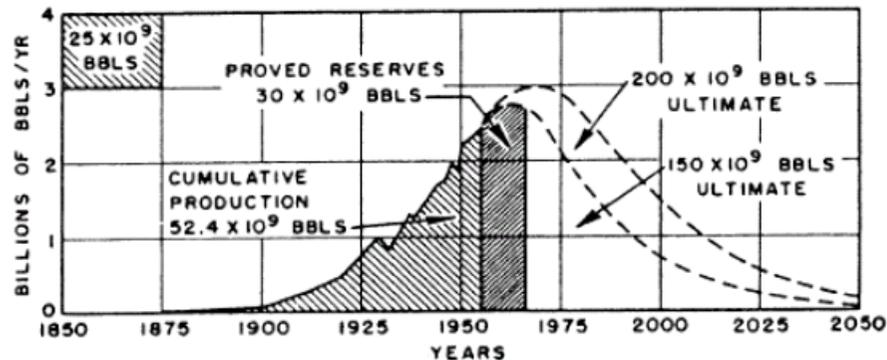


Le Moyen Orient est exceptionnel par ses réserves et les US par le nombre de puits (trop de propriétaires). La Nature est toujours inégalitaire à l'arrivée (1 pour 200 millions de spermatozoïdes au départ)

-Prevision de production future

Figure 8: prevision de King Hubbert en 1956 de la production petroliere des US (hors Alaska)

Figure 9: 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 représenter 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!

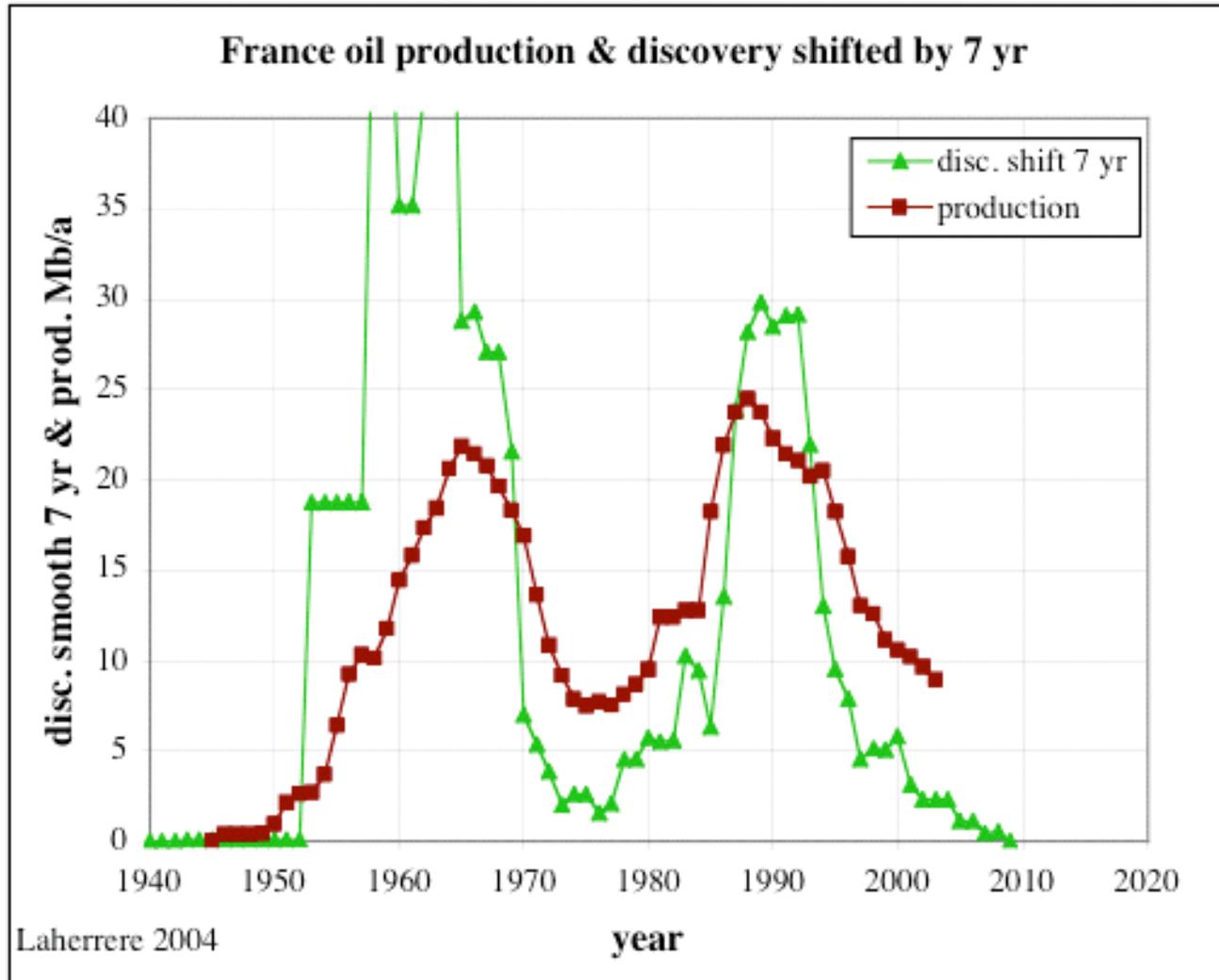
La realite est que la courbe de production a bien culmine en 1970 (car l'ultime des US hors Alaska est bien de 200 Gb), mais avec un niveau plus eleve et plus pointu.

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 ou qui veulent que les autres le croient.

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.

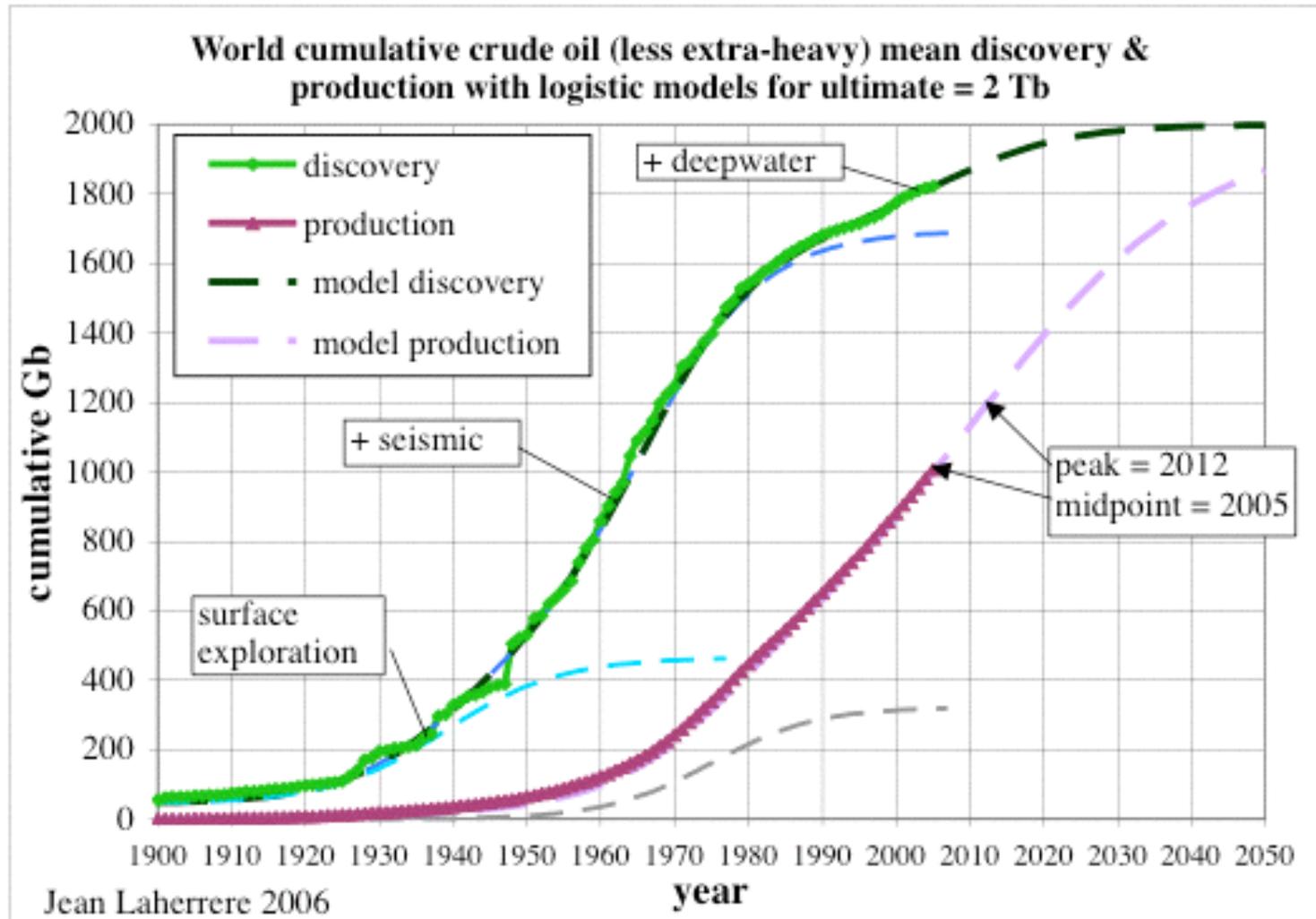
Figure 10: **France: production annuelle de petrole et decouverte decalee avec 2 cycles**



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

-Modélisation de la production future

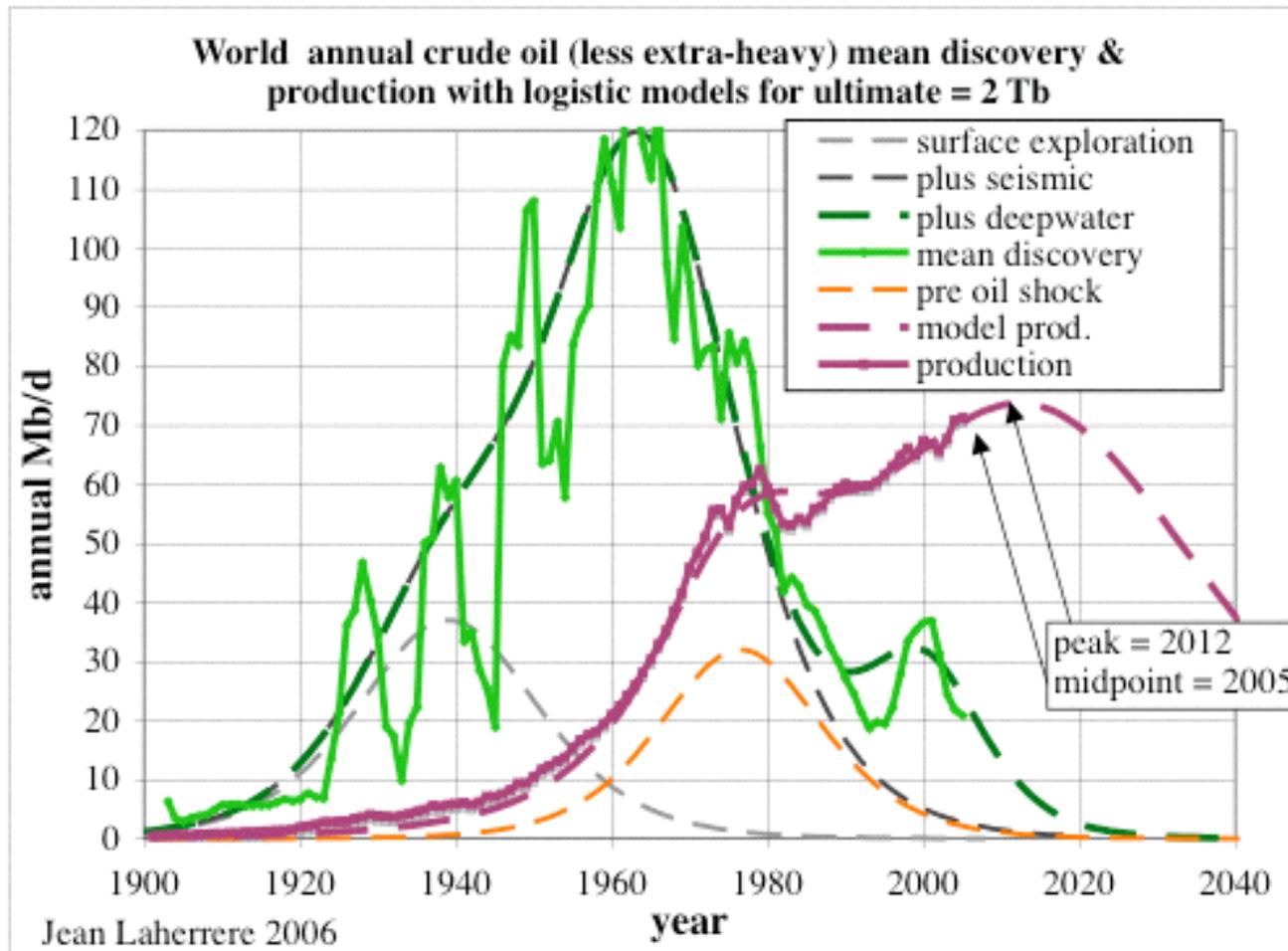
Figure 11: **Monde: brut moins extra-lourd**: découvertes moyennes **cumulees** et production cumulee avec modeles logistiques (courbe en S) pour **U = 2000 Gb** = 2 Tb



Il y a plusieurs cycles et le pic ne coïncide pas au point milieu.

Meme elements, mais annuel.

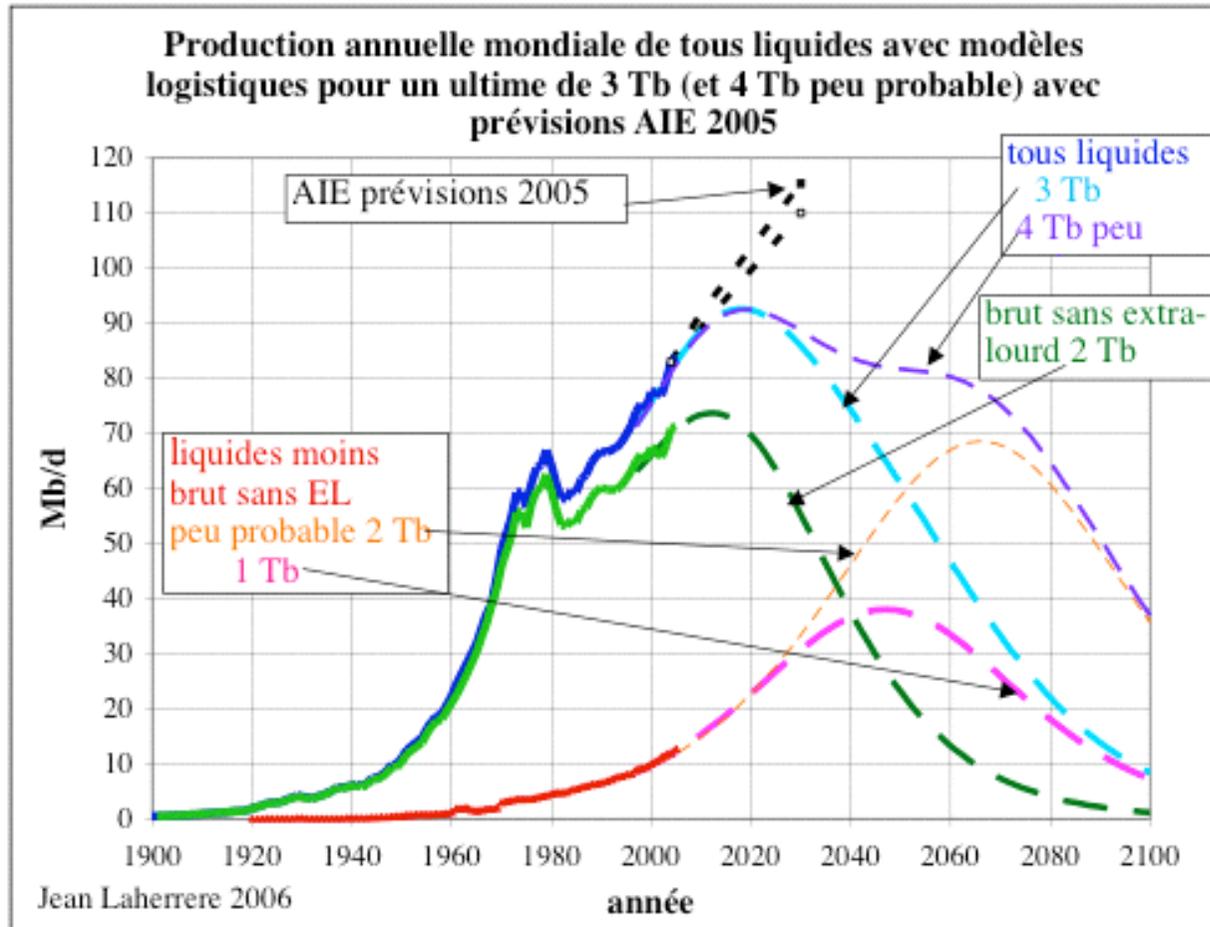
Figure 12: **Monde: brut moins extra-lourd**: decouvertes et production **annuelles** avec modeles logistiques pour $U = 2000 \text{ Gb} = 2 \text{ T}$ (sans contrainte de la demande ou des investissements)



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

Mais la demande d'huile est publiée pour tous les liquides et les prévisions d'offre doivent être estimées pour la satisfaire et comprendre tous les **liquides, même les biocarburants BTL et les liquides de charbon**

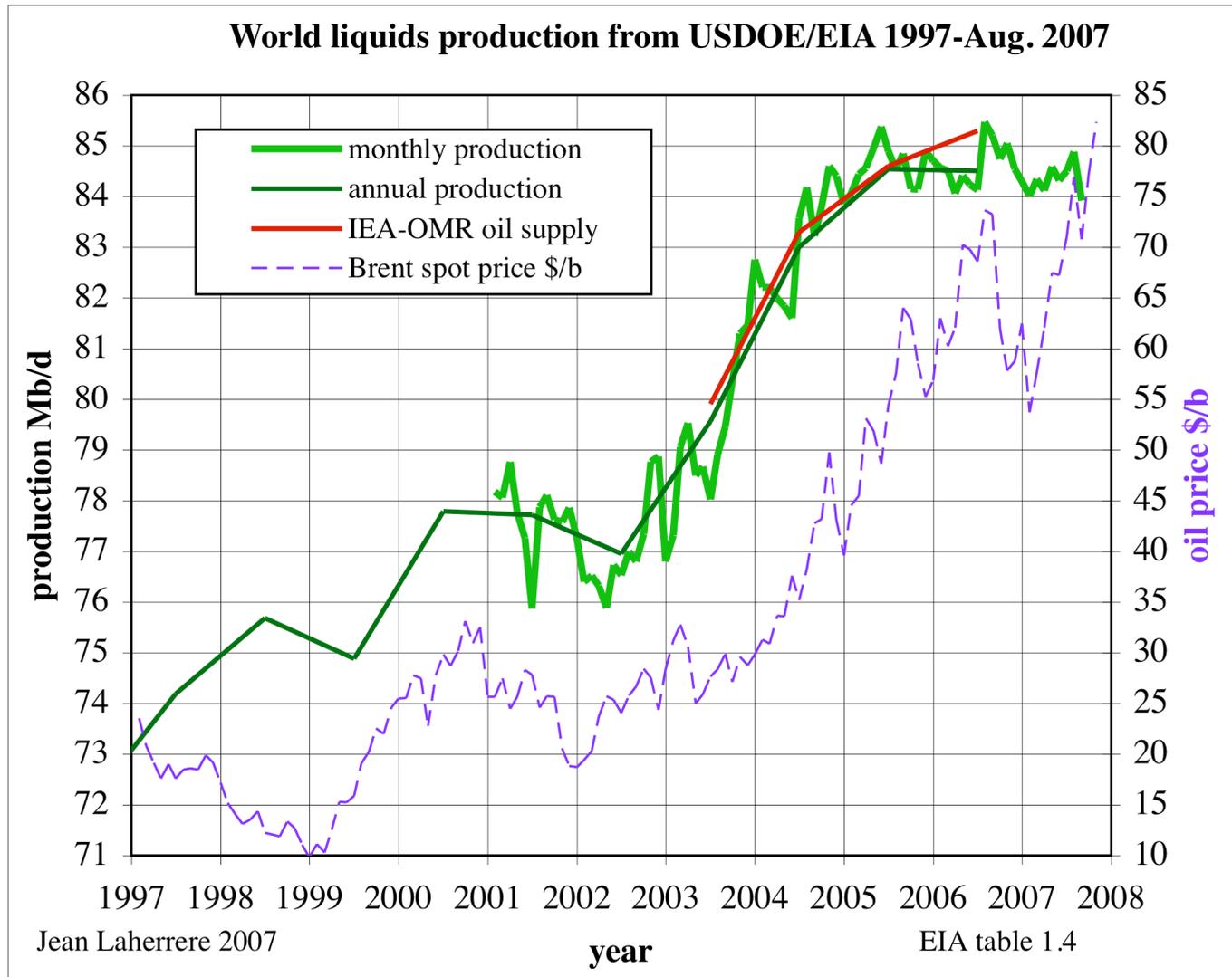
Figure 13: **production** mondiale de **tous liquides** 1900-2100 (sans contrainte de la demande et des investissements) pour les ultimes de **3 Tb & 4 Tb** (peu probable)



L'huile chère (rouge) doublée ne change pas le pic mais la pente du déclin, car délai important
Ce pic est ce que peut offrir l'offre sans contrainte de la demande et des investissements, mais il y aura probablement, non un pic, mais un **plateau en toile ondulée** avec des prix chaotiques.

Le ralentissement de la production depuis 2 ans laisse penser que **le plateau ondule peut être en train de commencer!** Ou va-t-on? Vers le haut, vers le bas ou encore des ondulations? Pour combien de temps?

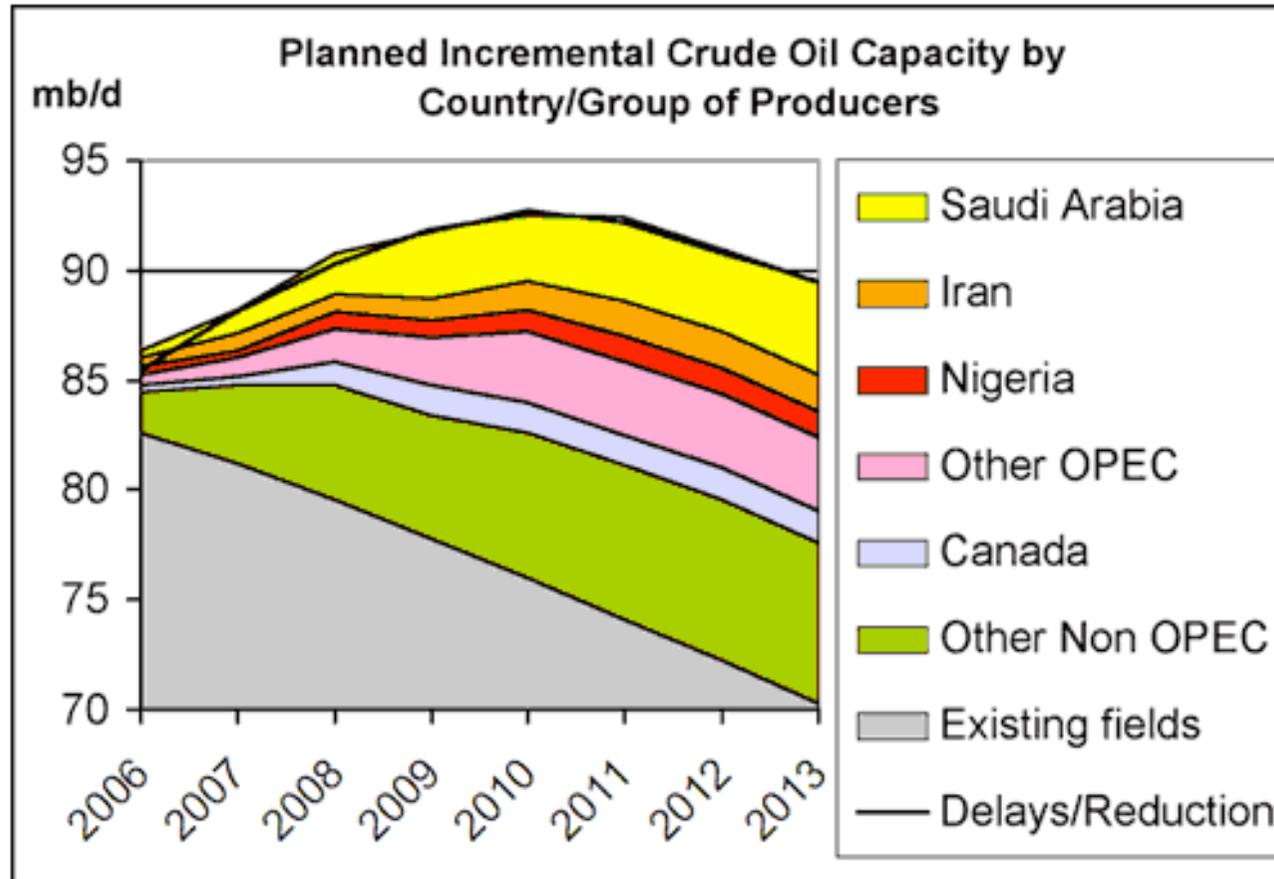
Figure 14: **production mondiale de tous liquides d'après USDOE/EIA 1997-aout 2007**



-Previsions d'apres les projets petroliers en cours

C.Skrebowski, editeur du Petroleum Review, magazine de l'Energy Institute a Londres, a recense tous les projets petroliers importants qui seront ajoutes a la production actuelle pour la decennie et apres plusieurs revisions, il estime que **le pic se produira en 2010-2011 a 92- 94 Mb/d.**

Figure 15: **prevision Skrebowski d'apres les megaprojets** avril 2006



<http://www.durangobill.com/Rollover.html>

Cette prevision du pic, independante des estimations des reserves restantes, est donc plus fiable.

-Combustibles fossiles

Figure 16: BGR (Bureau de Geosciences d'Allemagne): **Reserves restantes de combustibles fossiles en 2005 pour les pays les plus dotés en Gtce (tonne equivalent charbon)**

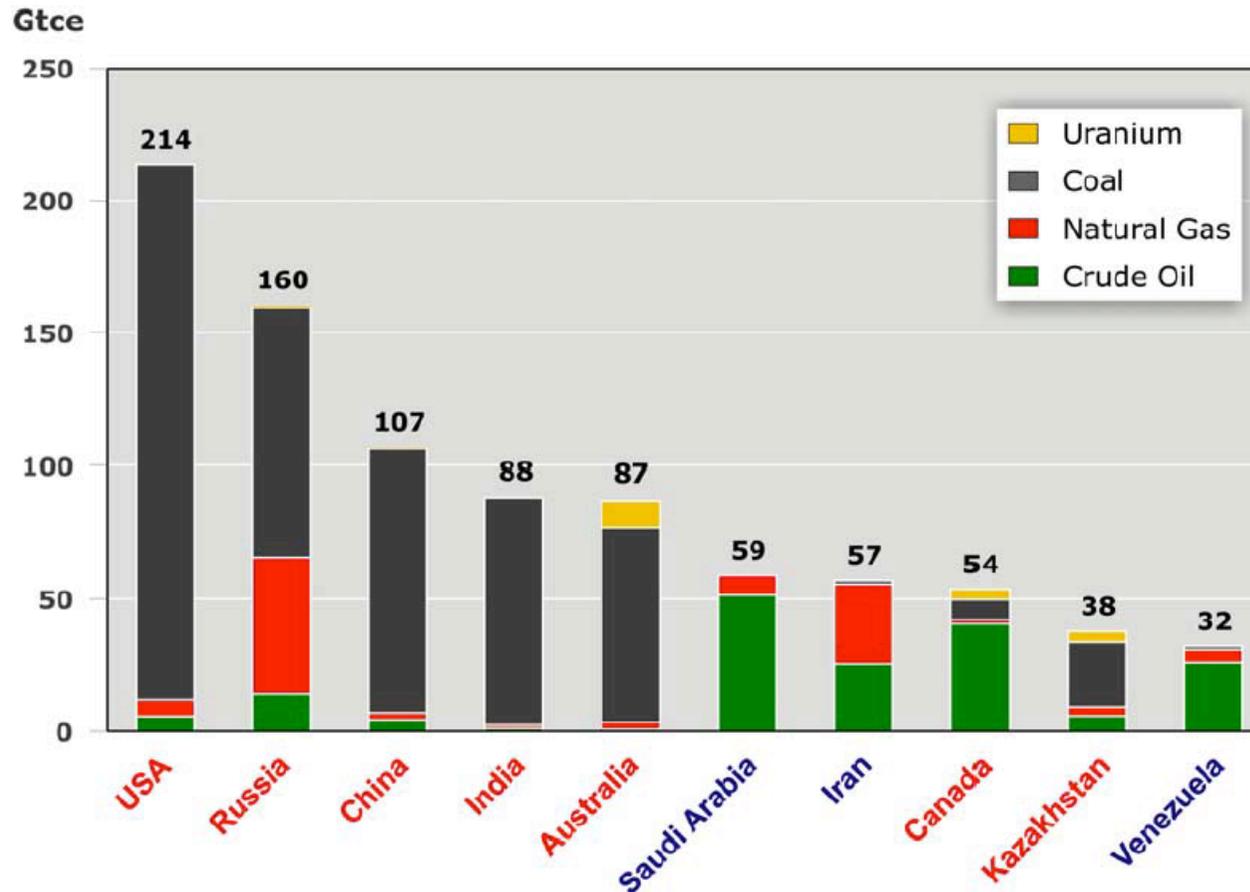


Fig. 7: Top ten countries with regard to reserves of non-renewable fuels in 2005
(OPEC countries are given in blue)

Les US sont le Moyen-Orient du charbon! Mais l'Academie des Sciences US les a reduit de 250 a 100 ans

-Previsions des combustibles fossiles

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

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

Figure 17: **Production mondiale annuelle de charbon, pétrole et gaz & population 1800-2200**

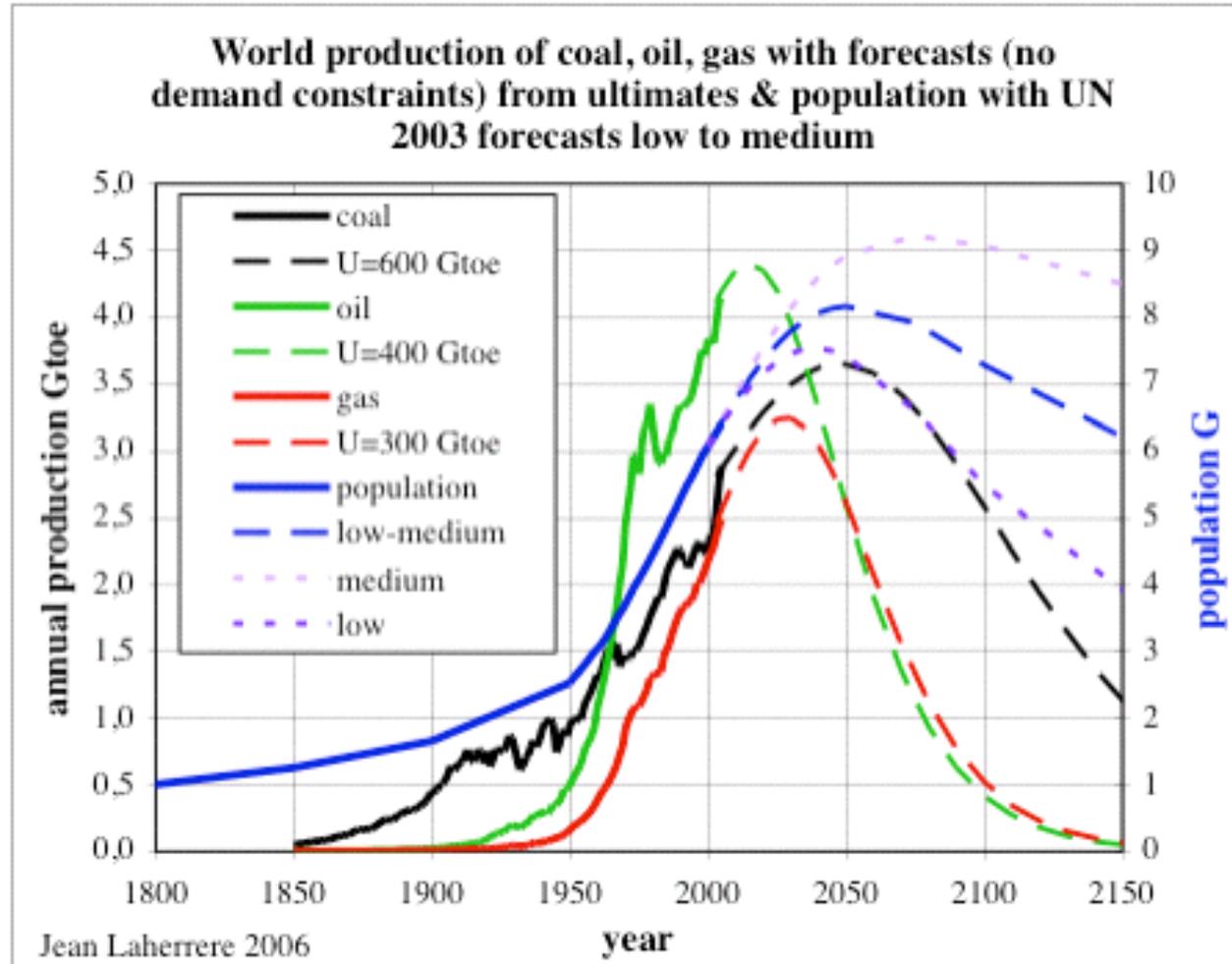
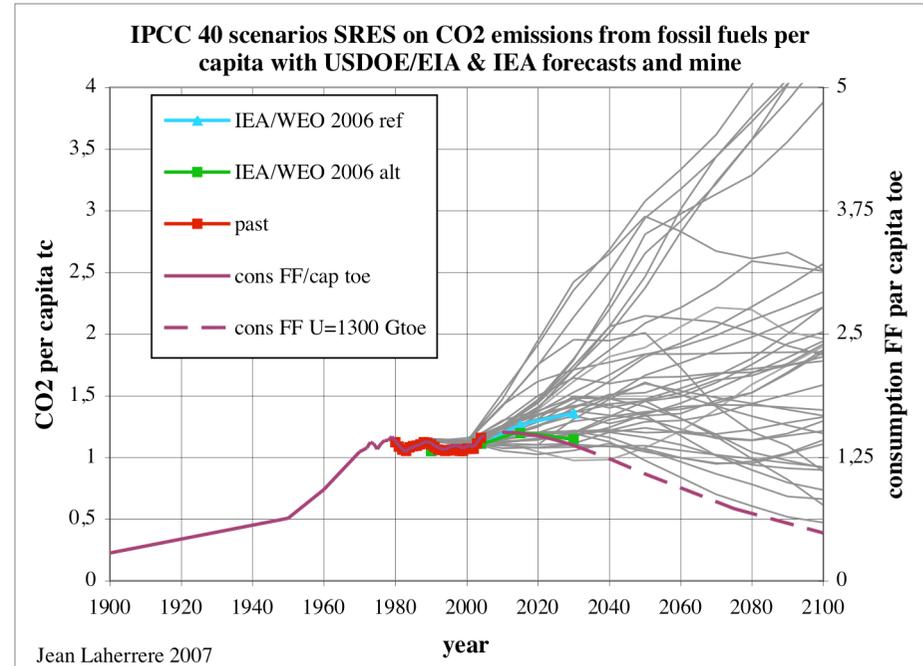
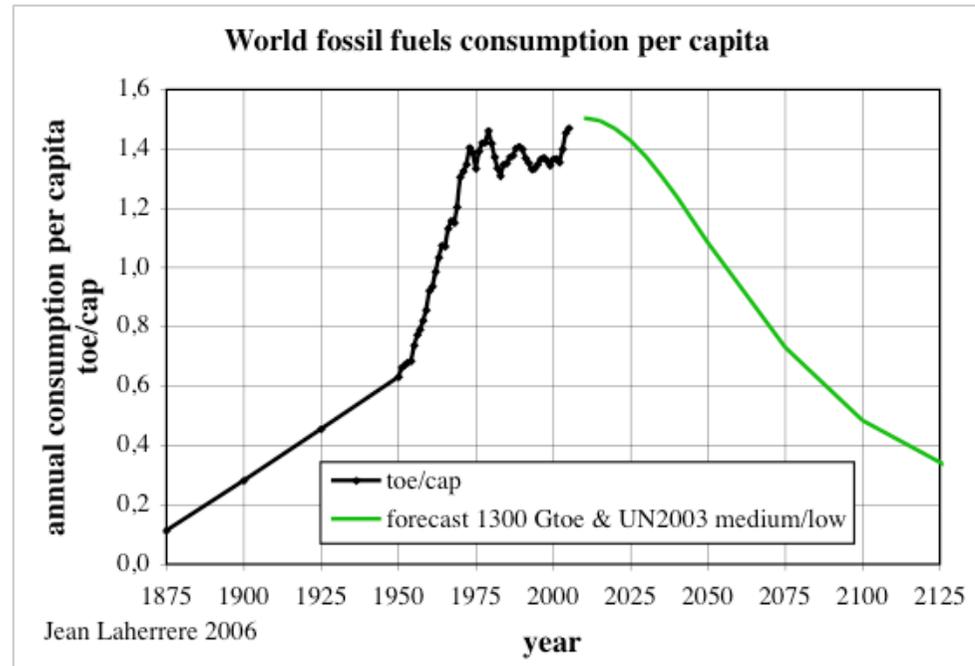


Figure 18: **consommation mondiale annuelle de combustibles fossiles par habitant 1875-2125**

Figure 19: scenarios du GIEC emissions CO2 par habitant des combustibles fossiles avec prevision consommation U=1300 Gtep



Il y aura un plateau de 1975 a 2025 a 1,4 tep par habitant, mais ensuite declin de 1%/a.

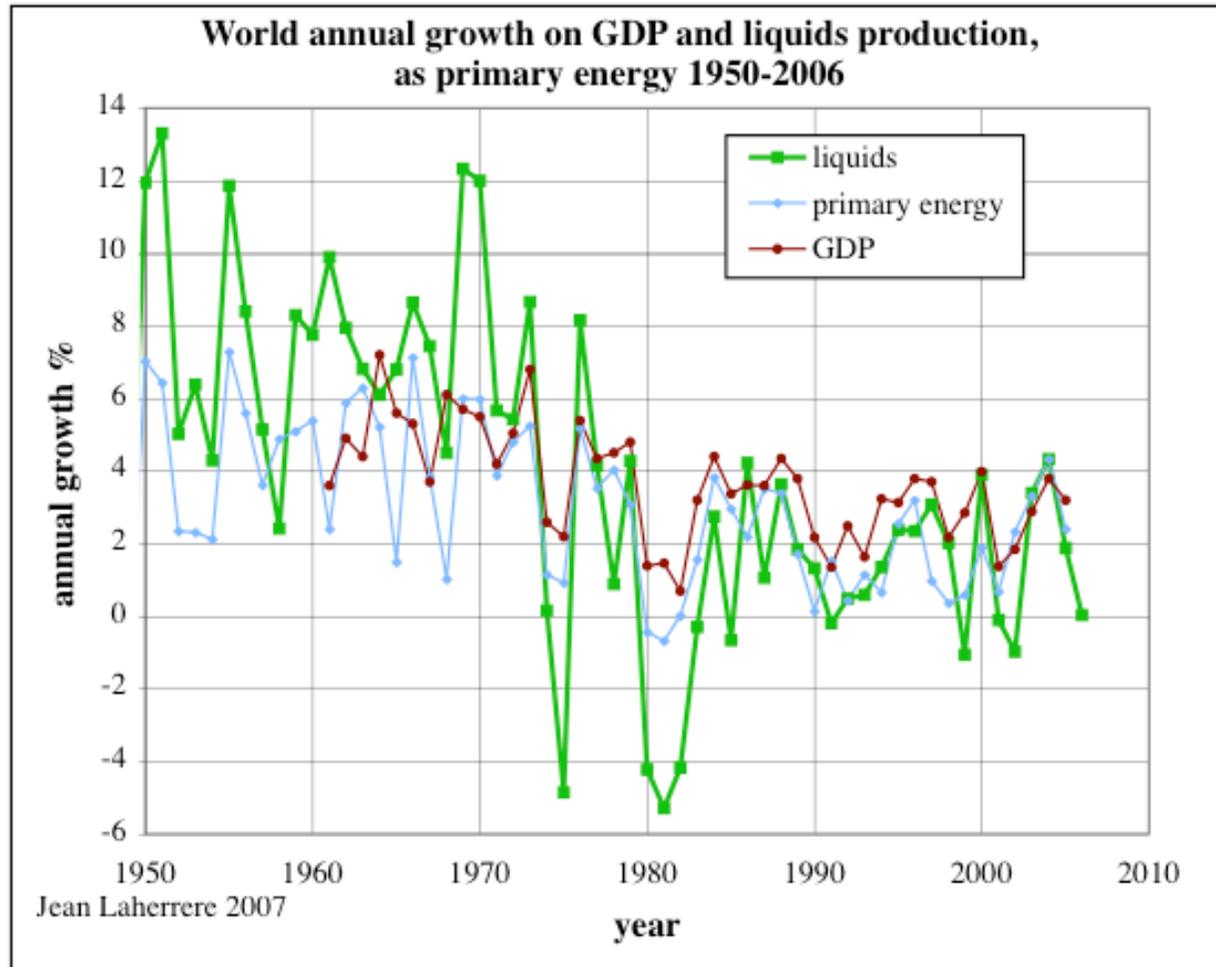
Les scenarios GIEC d'emission par habitant de CO2 des combustibles fossiles sont tres superieurs aux previsions a partir des donnees techniques.

J'avais predit en 2006 que le rapport GIEC 2007 qui utilise les memes scenarios energetiques irrealistes de 2001 allait donc donner les memes resultats, puisqu'un modele ne peut transformer de mauvaises hypotheses en resultats valables!

GIGO = garbage in, garbage out

-PIB, production du petrole et energie primaire

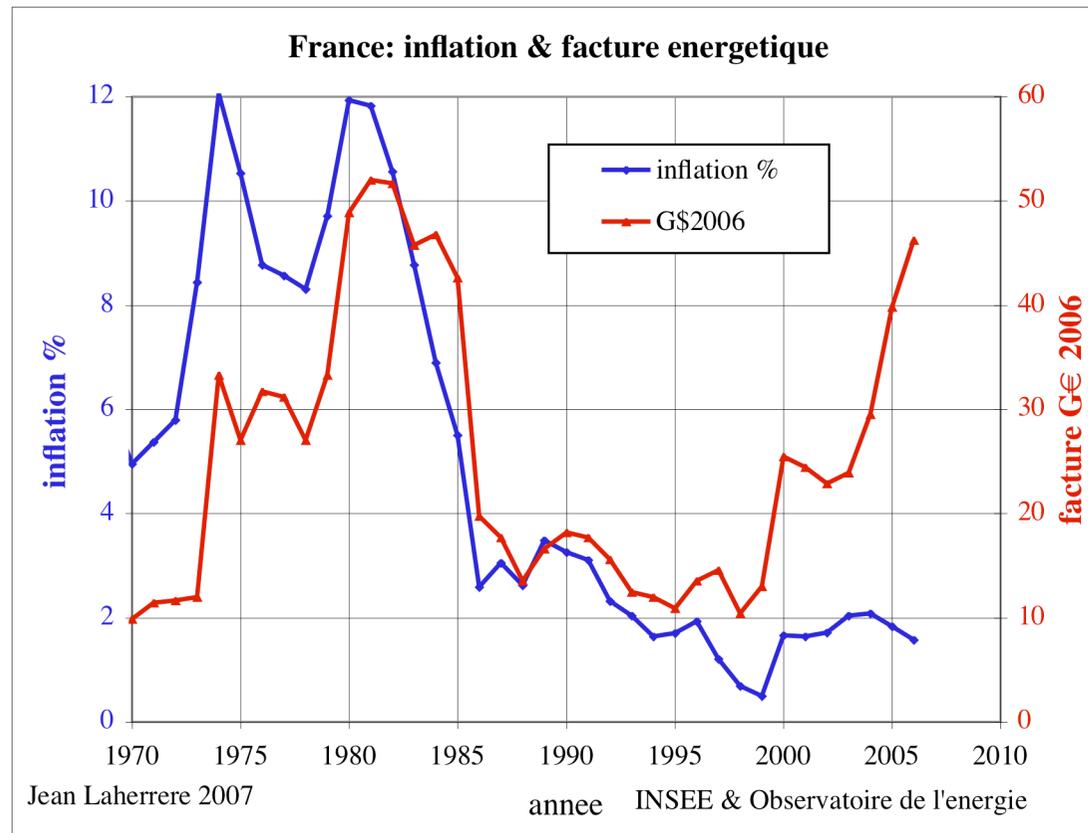
Figure 20: monde: croissance de la production de petrole, de l'énergie primaire et du PIB



Le **cout de l'énergie** sur les 40 dernières années a été de l'ordre de **5% du PIB** mondial (<6% pour un ménage en France en 2005) alors que les experts (Kummel, Ayres) estiment que la **contribution de l'énergie** dans le PIB est de **50%** (capital 35%, travail 15%). **L'énergie est largement sous-évaluée.**

-Facture energetique et inflation

La facture energetique de la France est de 46 G€ pour 2006 soit 2,6% du PIB (5% en 1981),
 Figure 21: **France:** inflation et facture energetique



L'inflation officielle ne suit pas la corrélation du passé depuis 2000, car elle est sous-estimée par un panier peu représentatif (trop d'électronique). L'augmentation de l'inflation est attribuée au passage de l'euro alors qu'elle est due à l'augmentation du pétrole depuis le creux de 1999, mais aussi des autres matières premières.

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

Le prix de l'huile de baleine en dollar d'aujourd'hui etait de 2000 \$/b en 1845,
 Figure 22: prix de l'huile de baleine et du brut en dollar et euro 2004 1860-2004

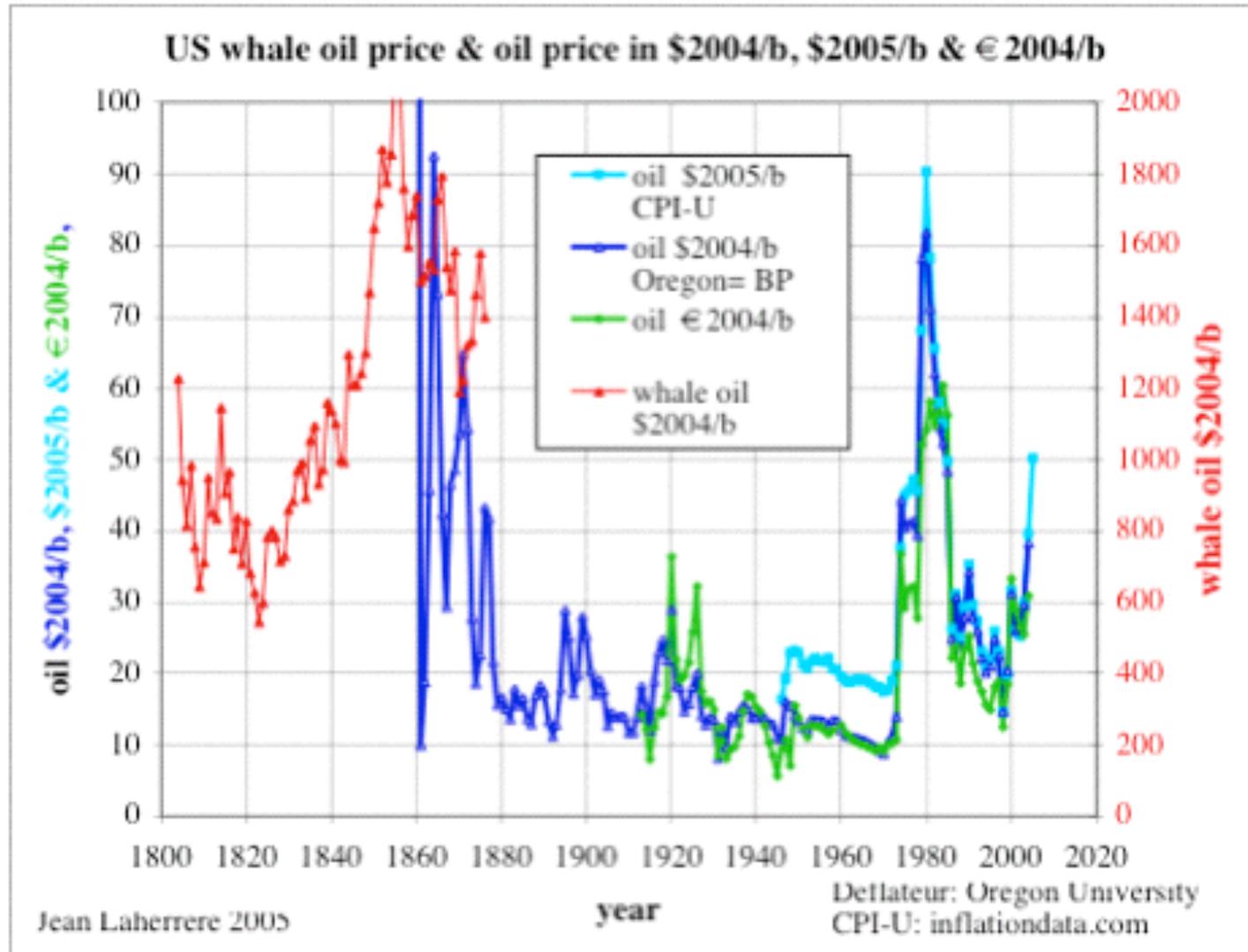


Figure 23: prix du brut en dollar corrigé de l'inflation réelle

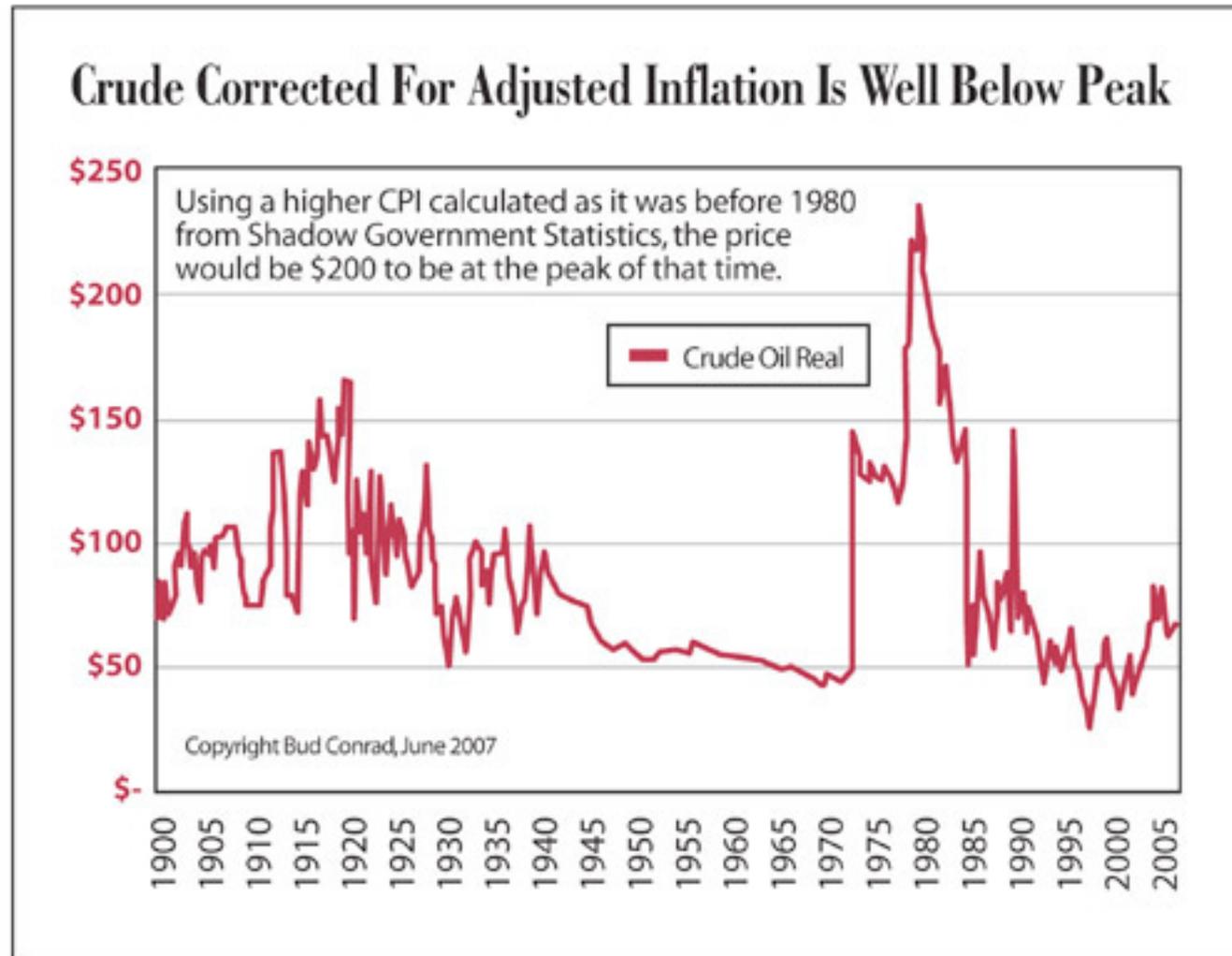
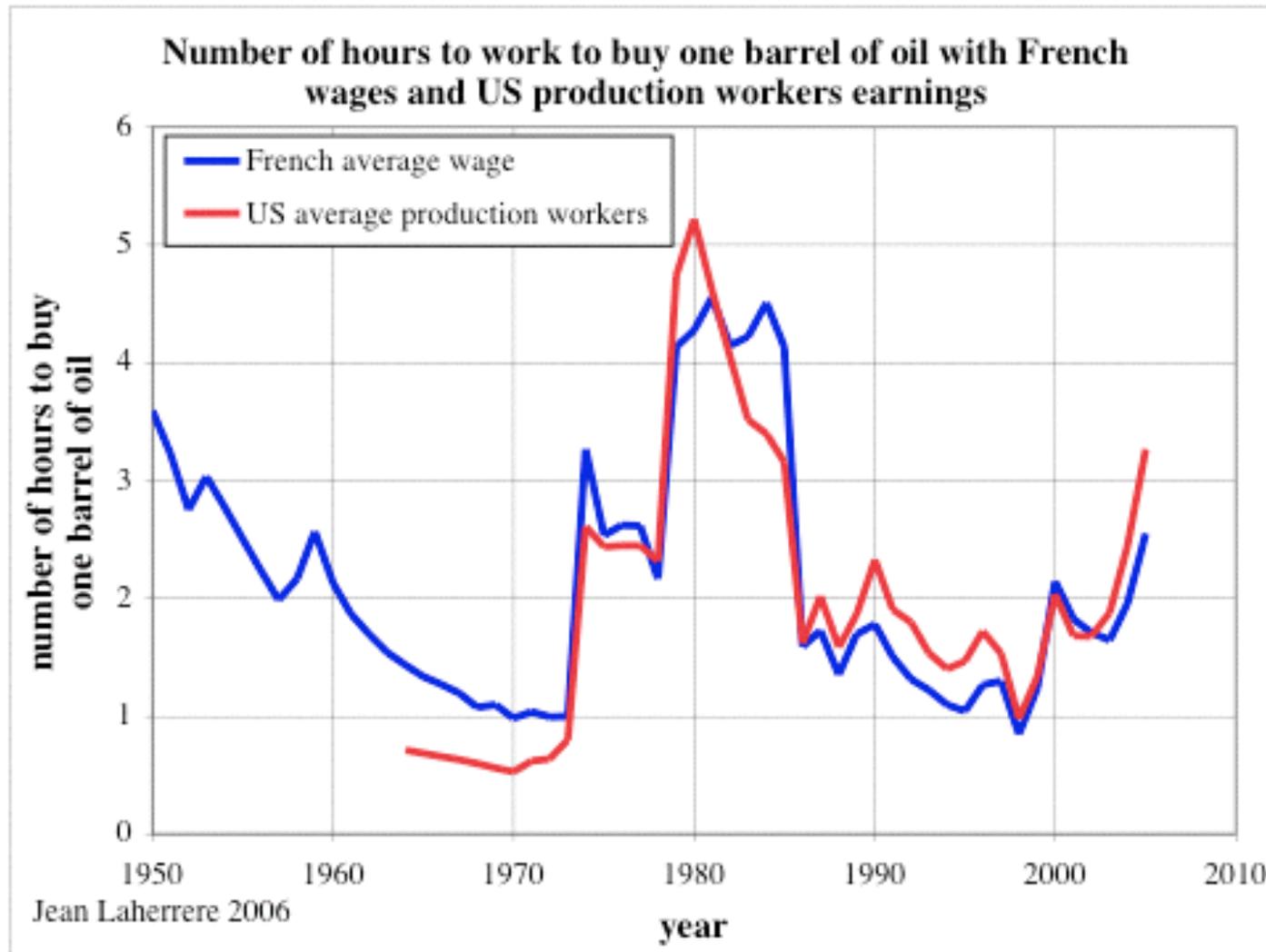


Figure 24: **Nombre d'heures de travail pour acheter un baril de petrole 1950-2005**

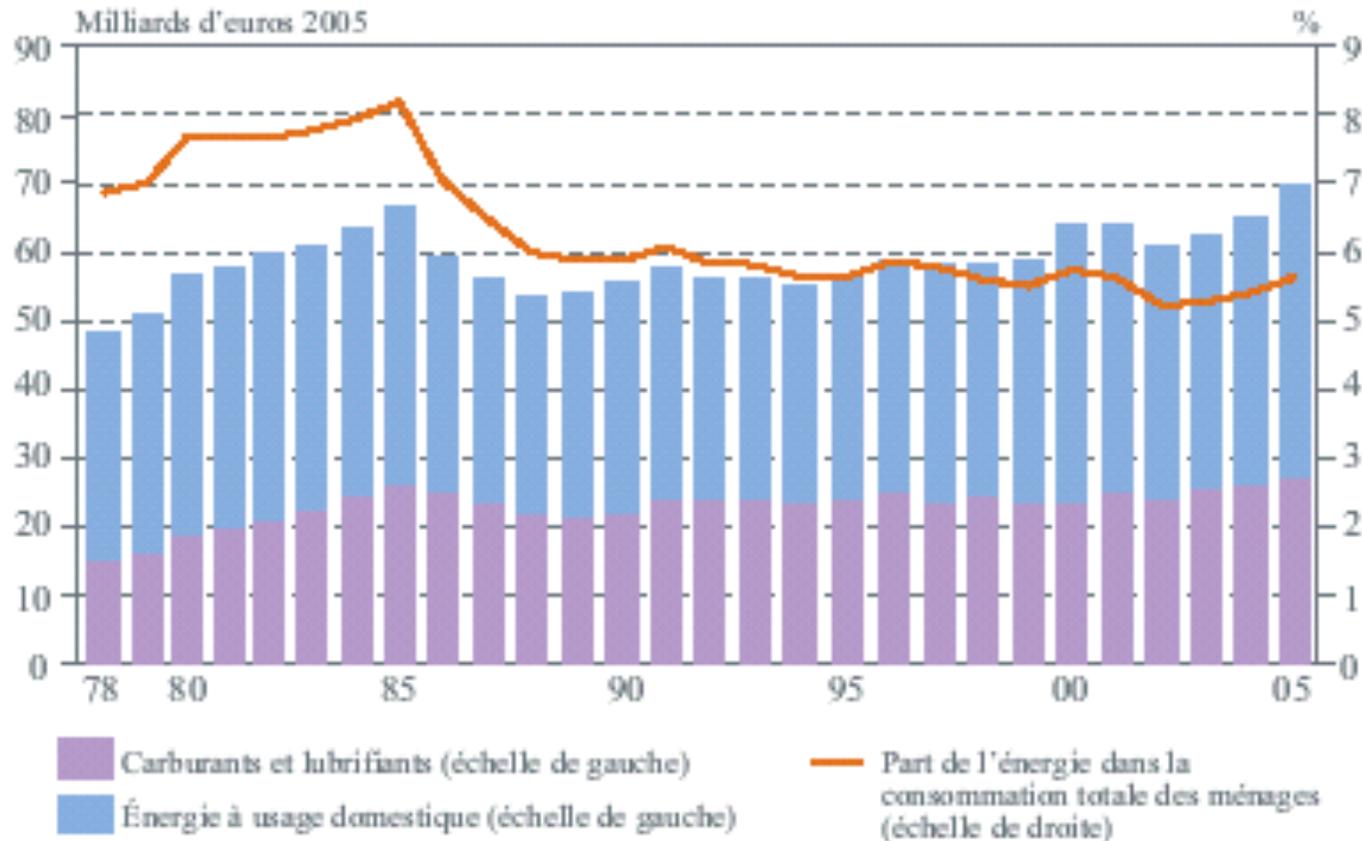


Le salaire horaire est tres comparable entre Francais et Americains, mais l'Americain peut s'acheter plus de barils car il travaille 2000 heures alors que le Français travaille moins de 1600 heures

-Cas de la France -prix de l'énergie

Figure 25: France: Consommation d'énergie en euros et part des menages en % *DGEMP*

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



Sources : Observatoire de l'Énergie et INSEE.

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

-Conclusions

Une croissance constante est impossible dans un monde limite: nous atteignons les limites de la planète.

Dans notre société de consommation la croissance est le Père Noël pour résoudre les problèmes du futur et le critère de jugement des dirigeants.

Toute publication de chiffres est politique et dépend de l'image que son auteur veut donner

L'ambiguïté des définitions est recherchée pour donner l'image désirée.

Il ne faut pas confondre réserves (ce qui sera produit) et ressources (ce qui est dans le sol).

Tous les scénarios officiels sont des vœux de croissance constante ou d'égalité (fécondité pour population).

Tous les estimations initiales de projets frontiers sont présentées au minimum et doivent être multipliées par 3 en temps et délais (loi de Mc Namara) pour avoir la réalité. **Le facteur temps est toujours sous-estimé.**

Le pétrole est irremplaçable pour les transports et son seul substitut est le pétrole synthétique.

Le coût de l'énergie est très sous-évalué par rapport à sa contribution. Il faut l'augmenter pour pouvoir faire des économies (l'Américain dépense 2 fois plus d'énergie que l'Européen car il paie peu de taxes).

Le pic du pétrole sera en fait un plateau ondulé qui a sans doute déjà commencé depuis 2005

On aura besoin de toutes les énergies, mais les renouvelables ne pourront remplacer en volume les énergies fossiles, et le problème de l'intermittence et du stockage n'est toujours pas résolu.

La meilleure solution est d'économiser les énergies (dont la nourriture) en changeant de mode de vie.

Sinon nous ne laisserons à nos petits enfants que dettes et une planète polluée sans ressources .

Plus je sais, plus je sais que je ne sais pas, et les autres non plus.

Le temps du monde fini commence 1931 Paul Valéry

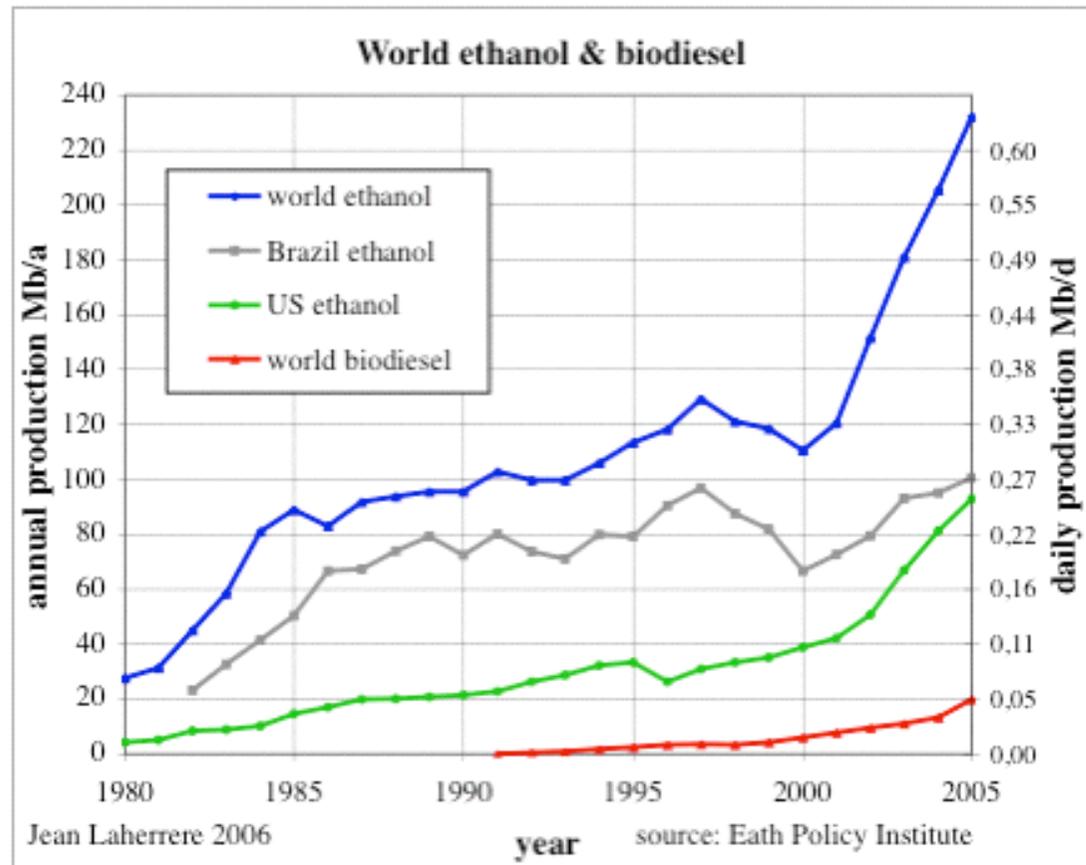
Davantage de graphiques et de papiers sont sur les sites www.oilcrisis.com/laherrere, www.aspofrance.org

Annexe: alternatives du petrole

-Production mondiale de biocarburants

Les biocarburants ne font que 0,7 Mb/d en 2005, soit moins de 1% de la production mondiale de liquides.

Figure A1: **Production mondiale de biocarburants 1980-2005**



L'EROI de l'éthanol à partir du maïs US a un bilan énergétique très mauvais et n'est rentable que grâce aux subventions! L'OCDE vient de publier "[Biocarburants: le remède est pire que la maladie](#)"

Les raffineries francaises sortent trop d'essence et doivent l'exporter (et importer du diesel de Russie!), il faut du biodiesel et non du bioethanol!

L'agriculture transforme le petrole en nourriture! On veut faire le contraire!

En 1960 BP a Lavera transformait le petrole en proteines. Aujourd'hui la nourriture est transformee en ethanol et biodiesel ou brulee. Mais la revolution verte de l'agriculture consiste a convertir le petrole et le gaz (engrais, pesticide, irrigation) en nourriture = [correlation productivite agricole et consommation petrole](#)

Figure A2: **consommation de petrole et productivite agricole 1965-2006**

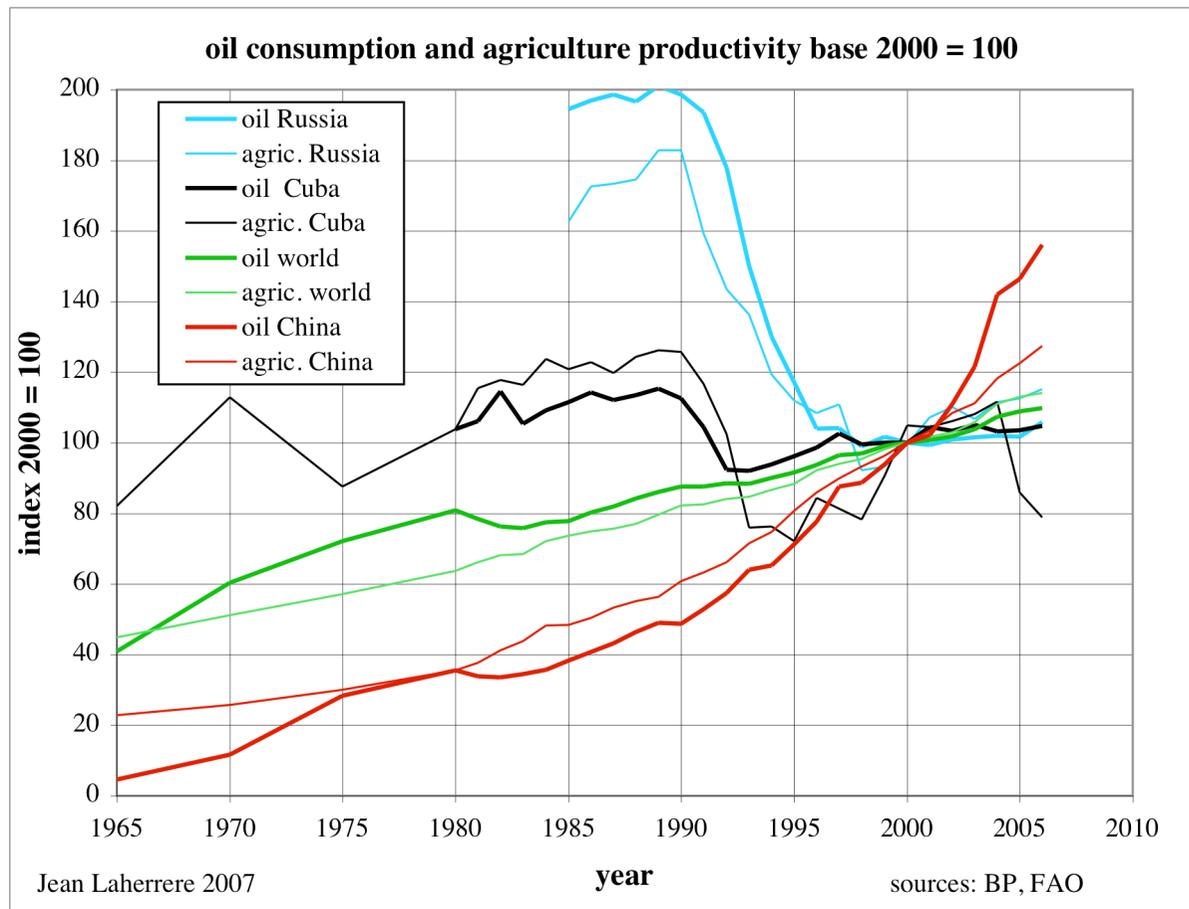
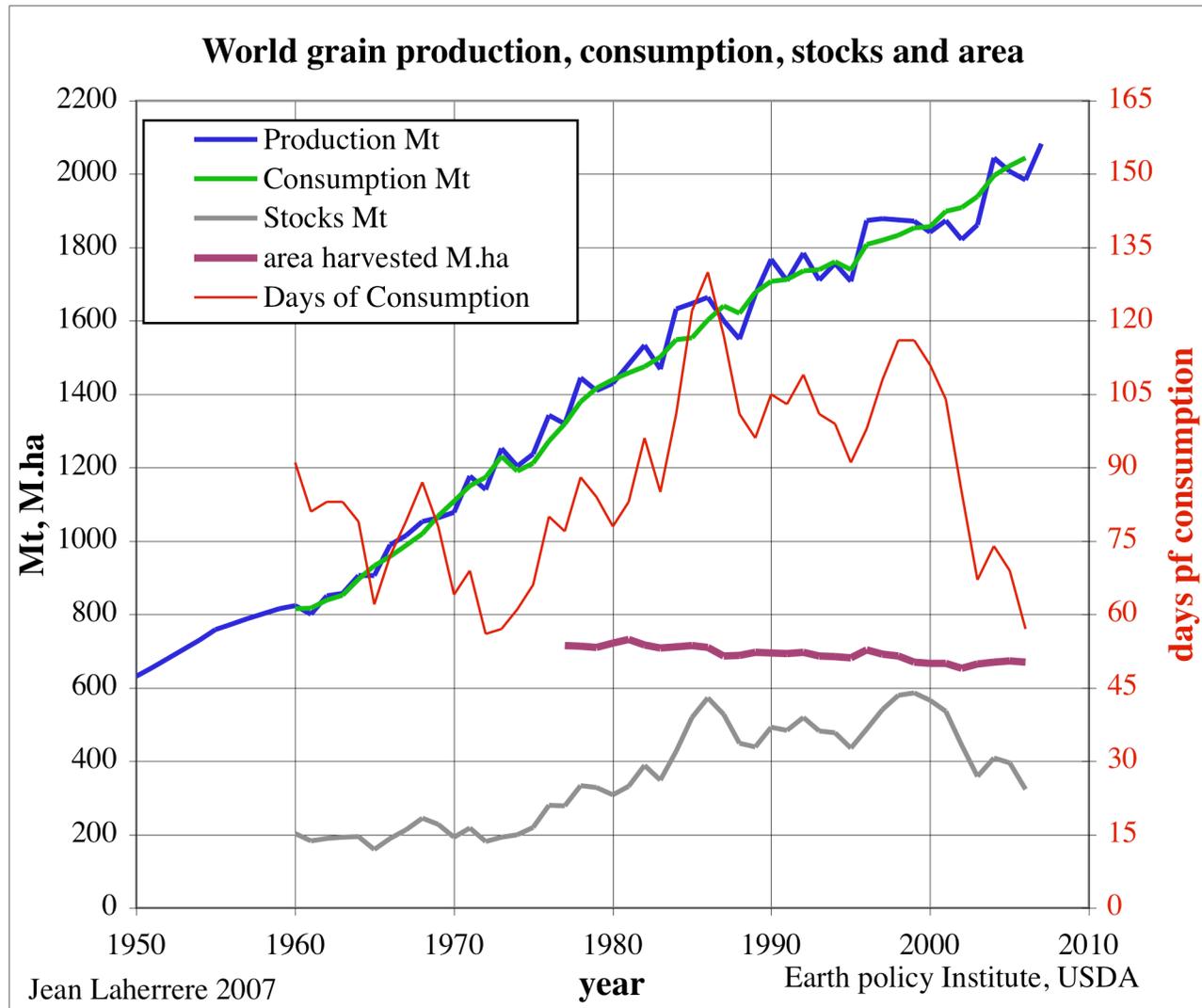


Figure A3: **production mondiale de grain, consommation et stocks 1950-2006**

Les stock de cereales sont passes de 120 jours en 1997 a 60 jours en 2006.

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

-Petrole synthetique

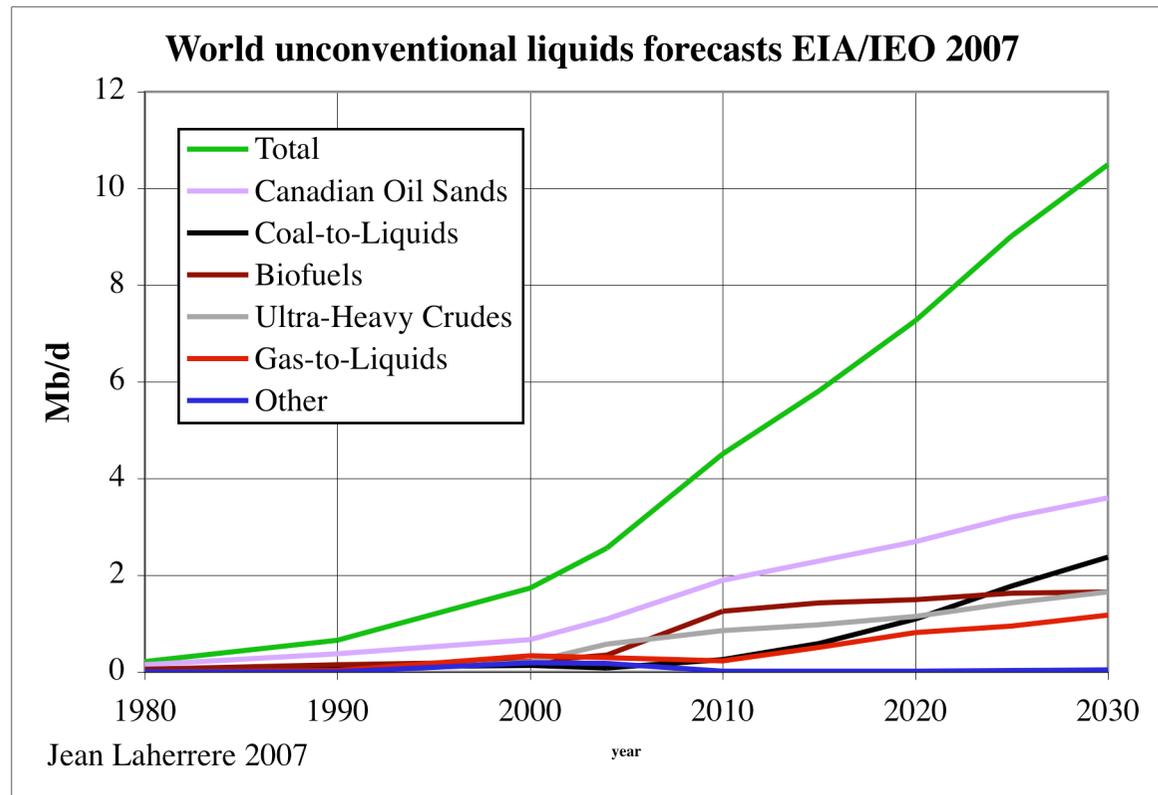
-a partir biomasse (cellulose) trop cher: espoir d'enzymes miracle (termites et elephants) ?

-a partir du gaz (GTL) : les investissements sont tres importants et demande un gaz tres bon marche
l'usine au Qatar a des problemes et de nombreux projets sont annules

-a partir du charbon (CTL) ca a marche pour les nazis et pour l'Afrique du Sud durant embargo, investissements et pollution tres importants. La Chine vient de supprimer un projet car elle importe maintenant du charbon

USDOE/EIA IEO 2007 prevoit seulement 10 Mb/d en 2030 de synthetique, alors qu'il en faudrait 3 fois plus

Figure A4: prevision USDOE/EIA de production de petrole non-conventionnel 1980-2030



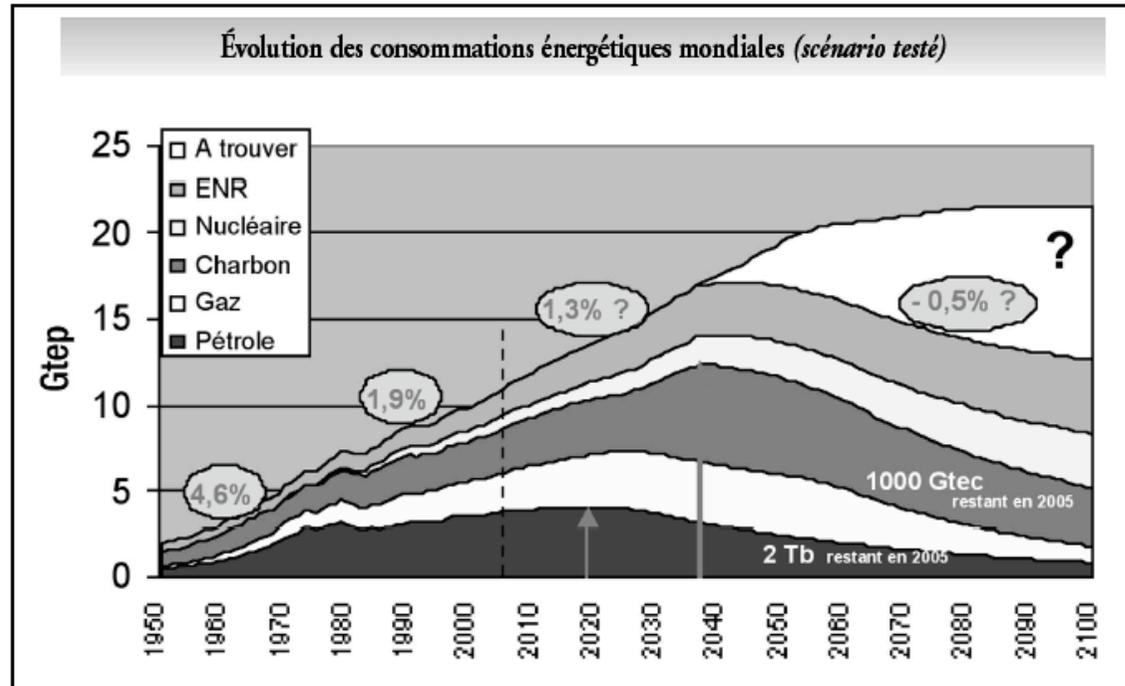
Al-Husseini (ex VP Aramco) prevoit 75 Mb/d de petrole en 2030 contre 116 Mb/d par l'AIE WEO 2007

-Eolien et solaire

Ils sont intermittents et necessite des centrales thermiques de back up, facile pour les Danois et les Allemands qui ont des centrales a charbon et qui polluent 2 fois plus que nous. Espoir : batterie legere, bon marche et efficace ?

Heureusement qu'il y a le nucleaire ! mais il faudra beaucoup plus de centrales et l'U235 (0,7% U) est limite

Figure A5: **prevision EDF (Rogeaux) 2007 des consommations energetiques mondiales 1950-2100**



le a trouver des 2040 peut etre les reacteurs de 4^e generation qui utilise U238 et thorium en multipliant les reserves par 50: il faut donc les mettre au point tres vite

La vraie seule alternative est l'economie d'energie (negawatt) et de nourriture (50% gaspille US)
Il faut changer de mode de vie et d'indicateurs (indice bien-etre et non PIB)