



Total Professeurs Associés

PETROLE (et Gaz) : combien ?

et pour combien de temps encore ??

(nb : les opinions exprimées ici n'engagent que les auteurs)

Auteur principal : Pierre-René BAUQUIS

Professeur TPA (TOTAL Professeurs Associés)

Professeur Associé à l'ENSPM (Ecole de l'IFP)

Auteur associé et présentation : Roland GEOFFROIS

TPA, ex TOTAL Exploration Production

nb: de nombreux graphes sur le "peak oil" sont de Jean LAHERRERE (ASPO)

unités et équivalences

1 baril (b ou bbl) = 159 litres (retenir 160)

1 Mb = 10^6 b ; 1 Gb = 10^9 b

on compte 7,33 barils à la tonne (en moyenne) (retenir 7)

1 000 000 barils = environ 135 000 t = environ un pétrolier "standard"

1 tep (ou toe) = 1 tonne équivalent pétrole (ou ton of oil equivalent)

1 Mtep = 10^6 tep ; 1 Gtep = 10^9 tep

1 tec = 1 tonne équivalent charbon

1 tep = 1,5 tec

1000 m³ de gaz = environ 1 tep (= 0.9 Tep)

1 m³ de GNL produit environ 600 m³ de gaz

1 Mtep équivaut à environ 11.6 Twh d'électricité (contenu énergétique)

1 Mtep produit environ 4 Twh d'électricité (4.5 pour BP, 3.84 pour AIE)
(*depend des rendements de centrales*)

unités et équivalences pétrole / gaz

1 baril (b ou bbl) = 159 litres

1 cf = 1 cubic foot = 28 litres ; 1 m³ = 35 cf (approx.)

1 Tcf = 10¹² cf = 28 Gm³

1 Mcf = 10⁶ cf = 1 mmcf ;

1 Mb/d = 50 Mt/an

1000 m³ de gaz = environ 1 tep (0.9 tep)

1 tep = 1100 m³ de gaz ; 1 Mtep = 1.1 Gm³

1 m³ de GNL produit 600 m³ de gaz

1 Gbep = 5.65 Tcf (disons 6 en arrondi)

equivalences pour la production de pétrole

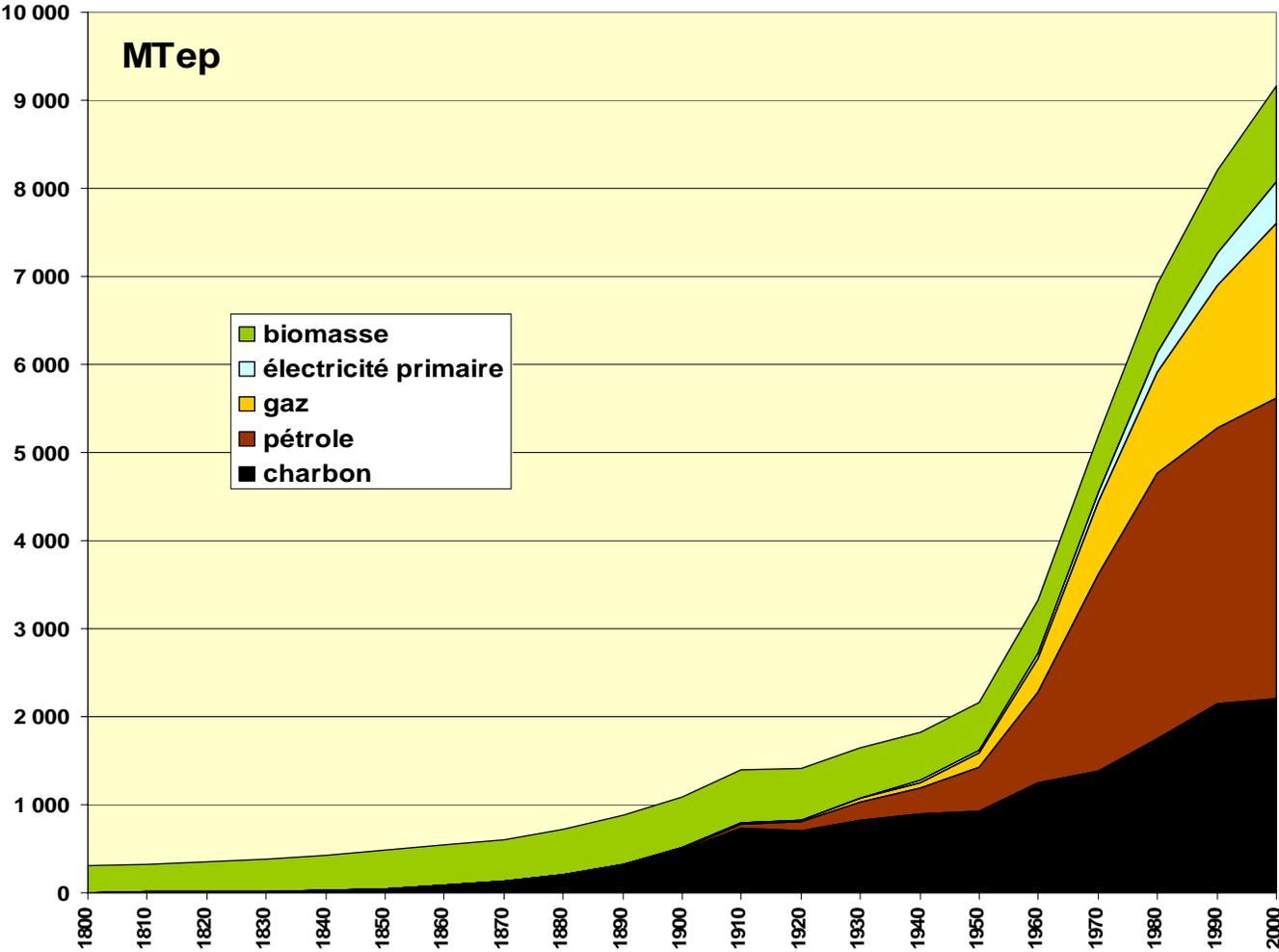
EQUIVALENCES		
M barils / jour	G barils / an	G Tep / an
facteur =	x par 365 / 1000	x par 1 / 7,33
50	18	2,5
60	22	3,0
70	26	3,5
80	29	4,0
90	33	4,5
100	37	5,0
110	40	5,5
120	44	6,0
130	47	6,5
140	51	7,0
150	55	7,5

demande mondiale d'énergie :

historiques et bilans

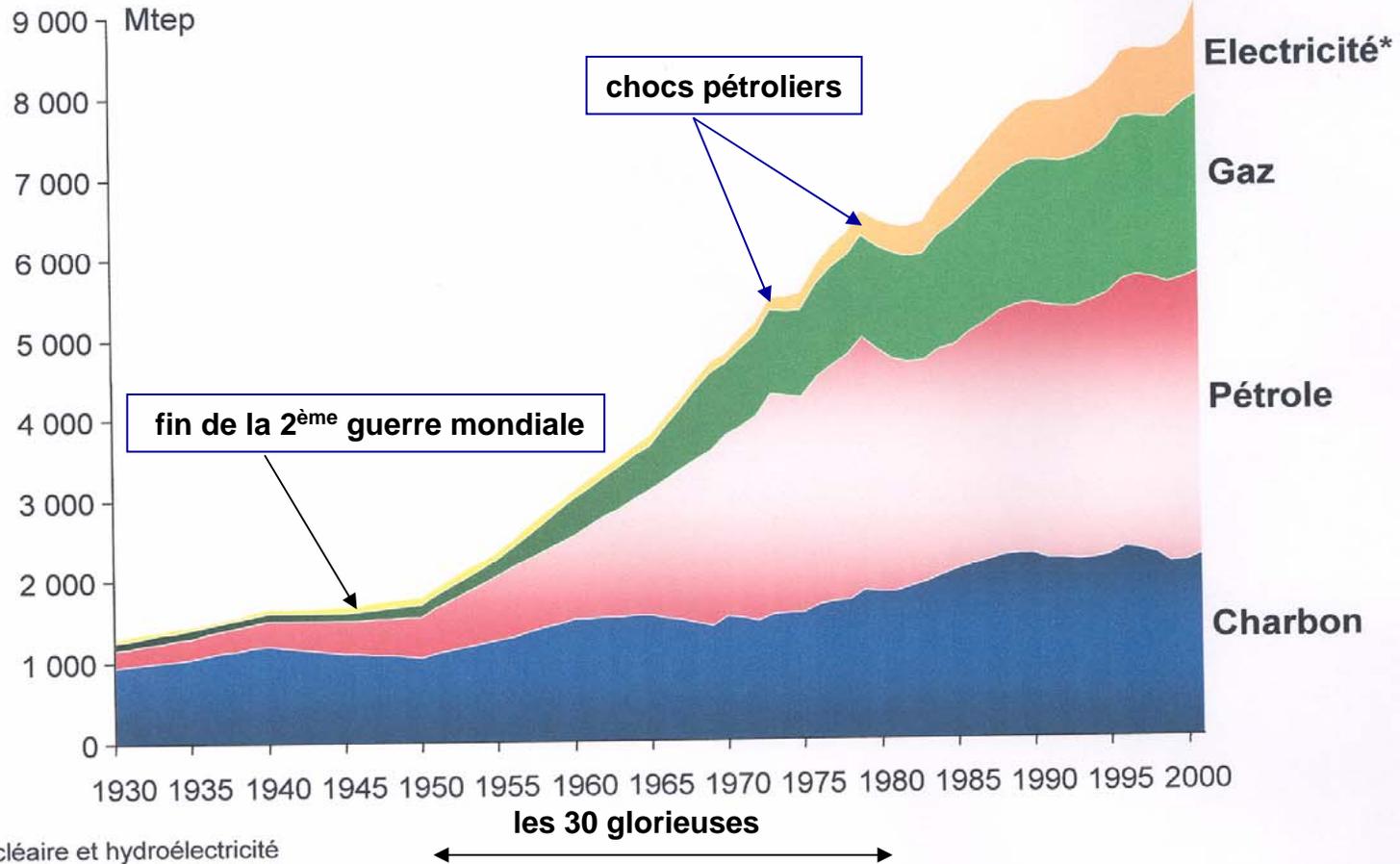
nb : sources principales = IEA , BP reviews , Jean Laherrère

CONSOMMATION MONDIALE D'ENERGIE PRIMAIRE depuis 1800



Source : ENERDATA

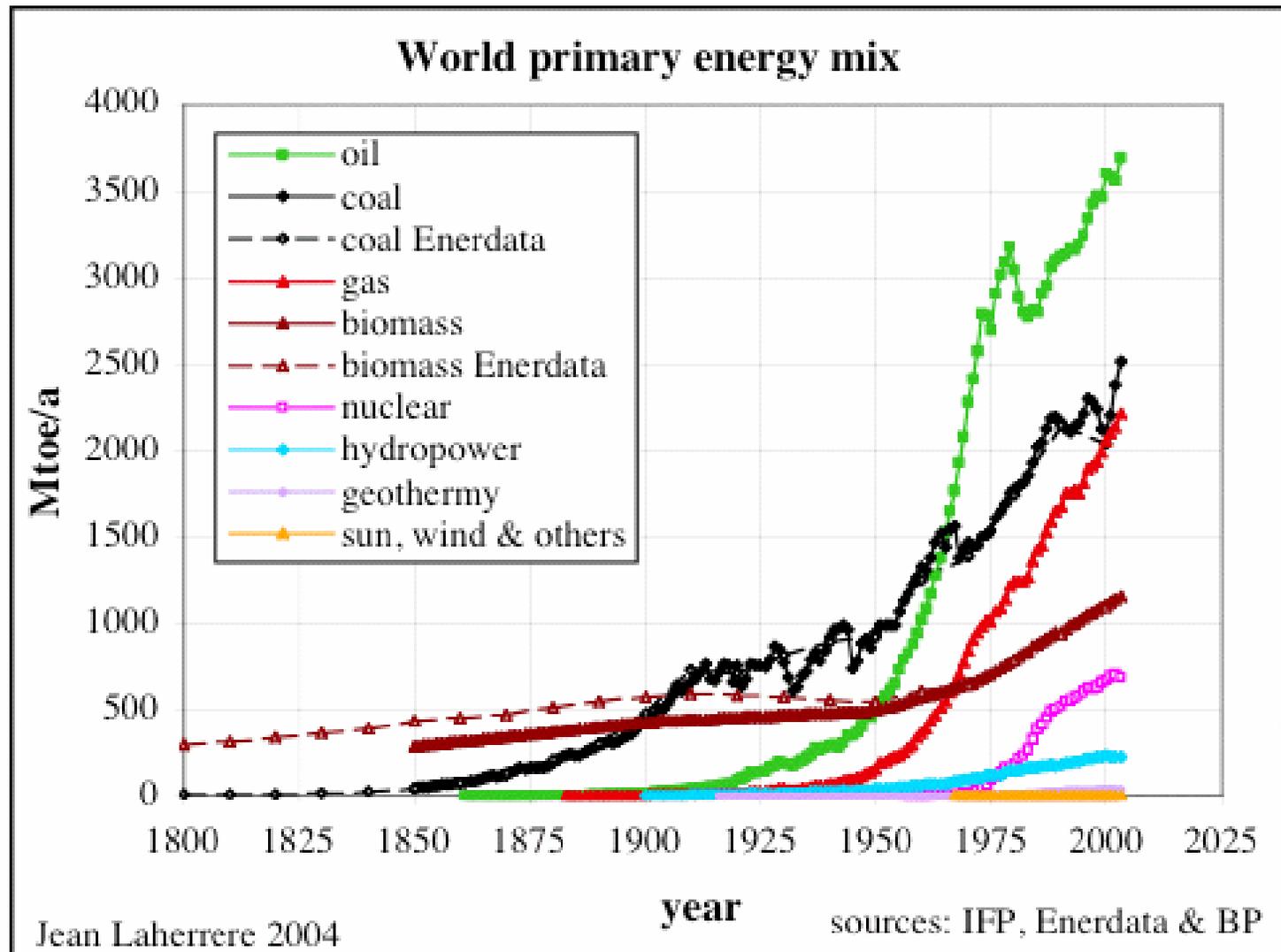
CONSOMMATION MONDIALE D'ENERGIE PRIMAIRE depuis 1930



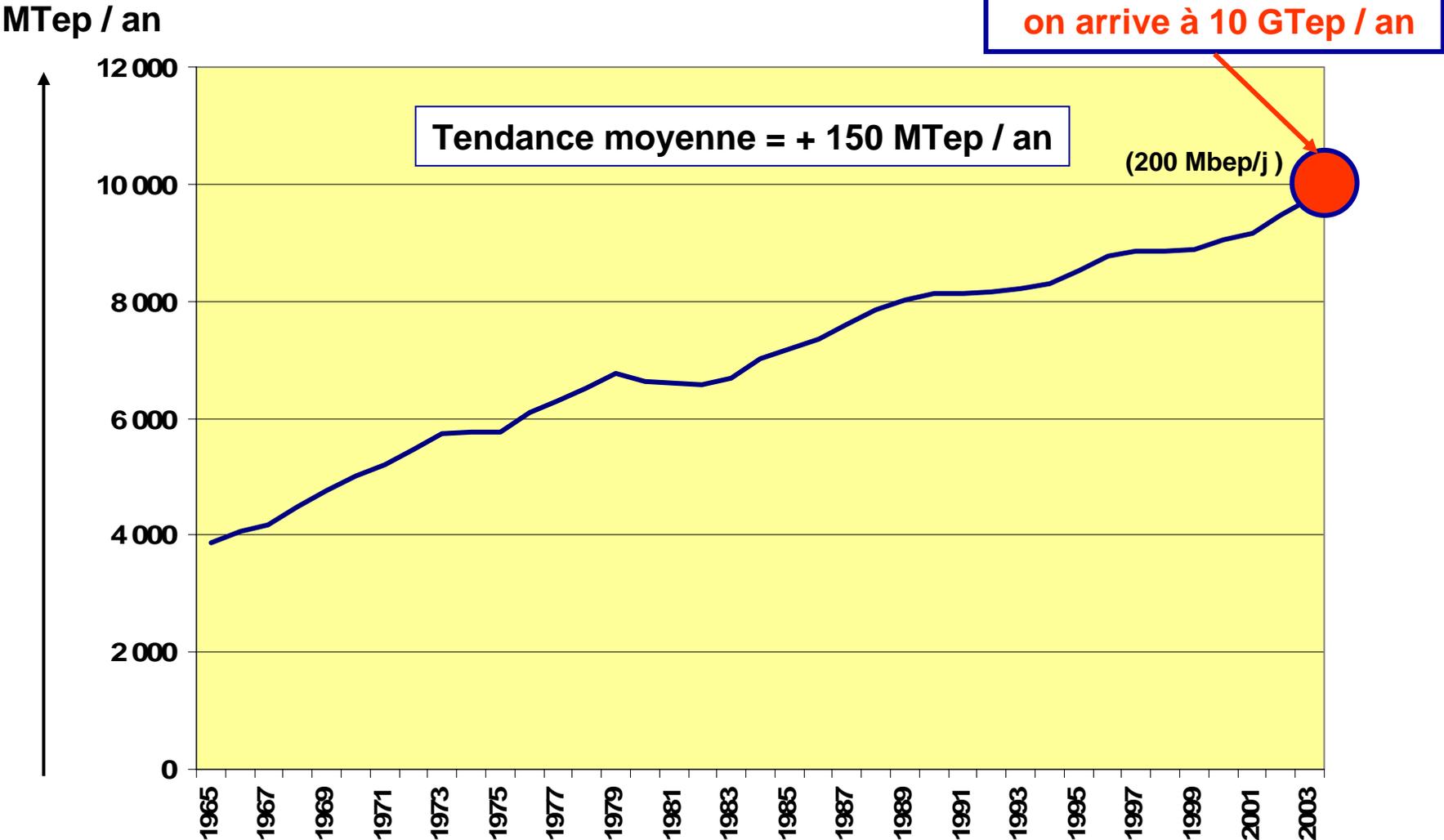
* nucléaire et hydroélectricité

Source : BP Statistical Review (hors biomasse)

historique des sources énergétiques mondiales depuis 1800



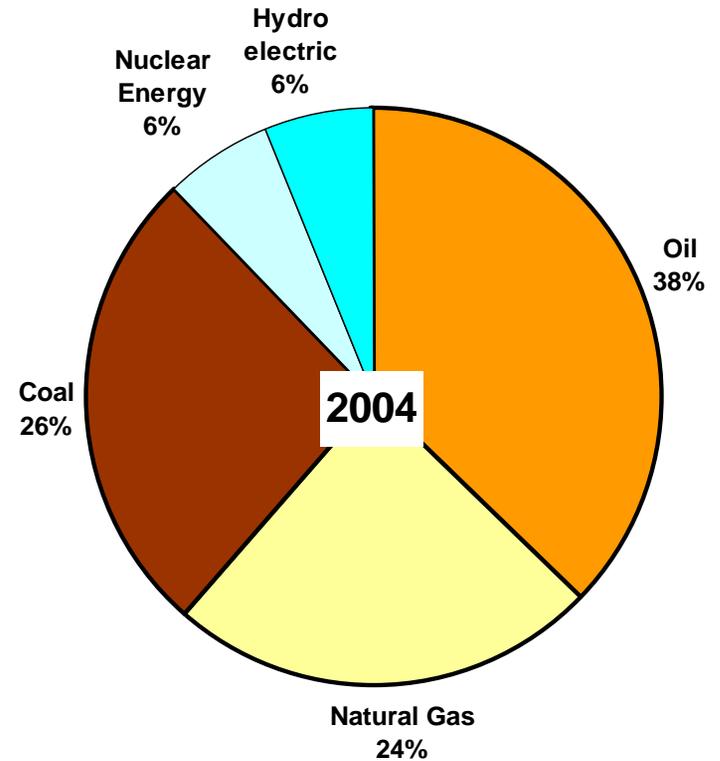
CONSOMMATION MONDIALE D'ENERGIE PRIMAIRE depuis 1965



source : BP Statistical Review

CONSOMMATION MONDIALE D'ENERGIE PRIMAIRE (par source *)

WORLD PRIMARY ENERGY CONSUMPTION				
<i>source BP review</i>				
en MTep	2004			c%
OIL	3 767	37%		37%
GAS	2 420	24%		61%
COAL	2 778	27%		88%
NUCLEAR	624	6%		94%
HYDRAULIC & EnR (*)	634	6%		100%
(*) hors biomasse	10 224	100%		



* nb : énergies commerciales seulement

production mondiale d'électricité

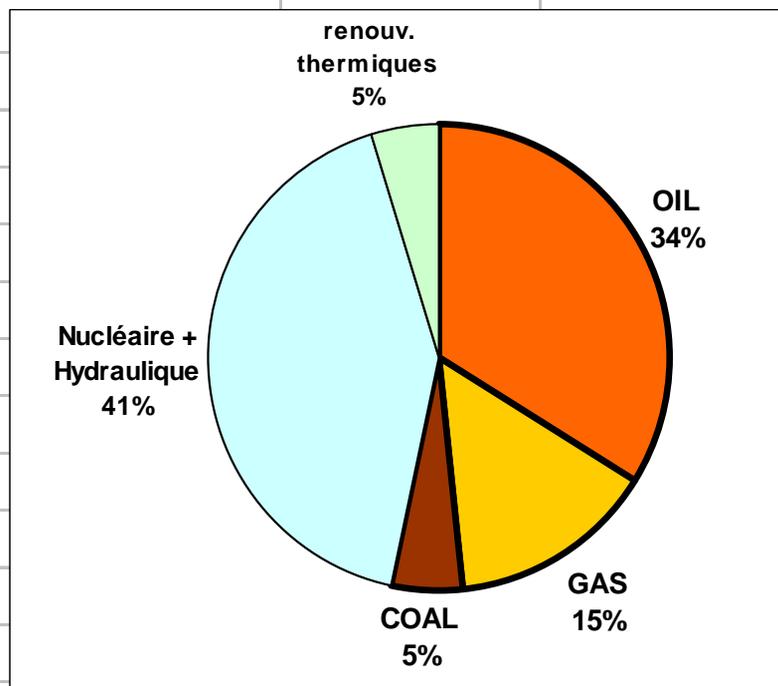
source IEA		2004
WORLD ELEC (TWh)		
total generated elec		17 450
from oil	7%	1 169
from gas	20%	3 420
from coal	40%	6 945
from fossil fuels	66%	11 534
from nuke	16%	2 740
from hydro	16%	2 809
from other RES	2%	366
	100%	17 450

CONSOMMATION D'ENERGIE PRIMAIRE FRANCE

PRIMARY ENERGY CONSUMPTION France

source DGEMP

en Mtep	2003		c%
OIL	93	34%	34%
GAS	40	15%	48%
COAL	14	5%	53%
Nucléaire + Hydraulique	115	42%	95%
renouv. thermiques	13	5%	100%
	275	100%	



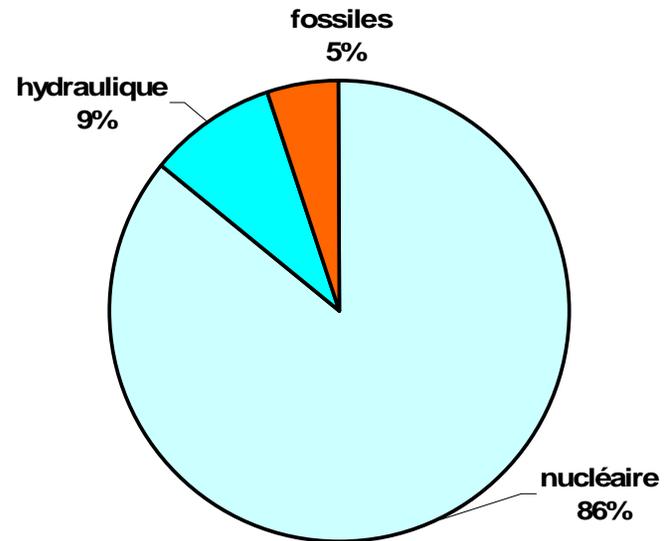
bilan énergétique FRANCE 2003

BILAN ENERGETIQUE France 2003					
<i>source DGEMP</i>					
RESSOURCES			UTILISATION		
prod + imports	en Mtep	en %	corrigée du climat	en Mtep	en %
charbon	13,5	5%	charbon	6,5	4%
pétrole	94,6	34%	pétrole	87,1	50%
gaz	39,2	14%	gaz	35,5	20%
nucléaire	115,0	41%	électricité	35,5	20%
EnR	18,2	6%	EnRt	10,7	6%
	280,5	100%		175,3	100%

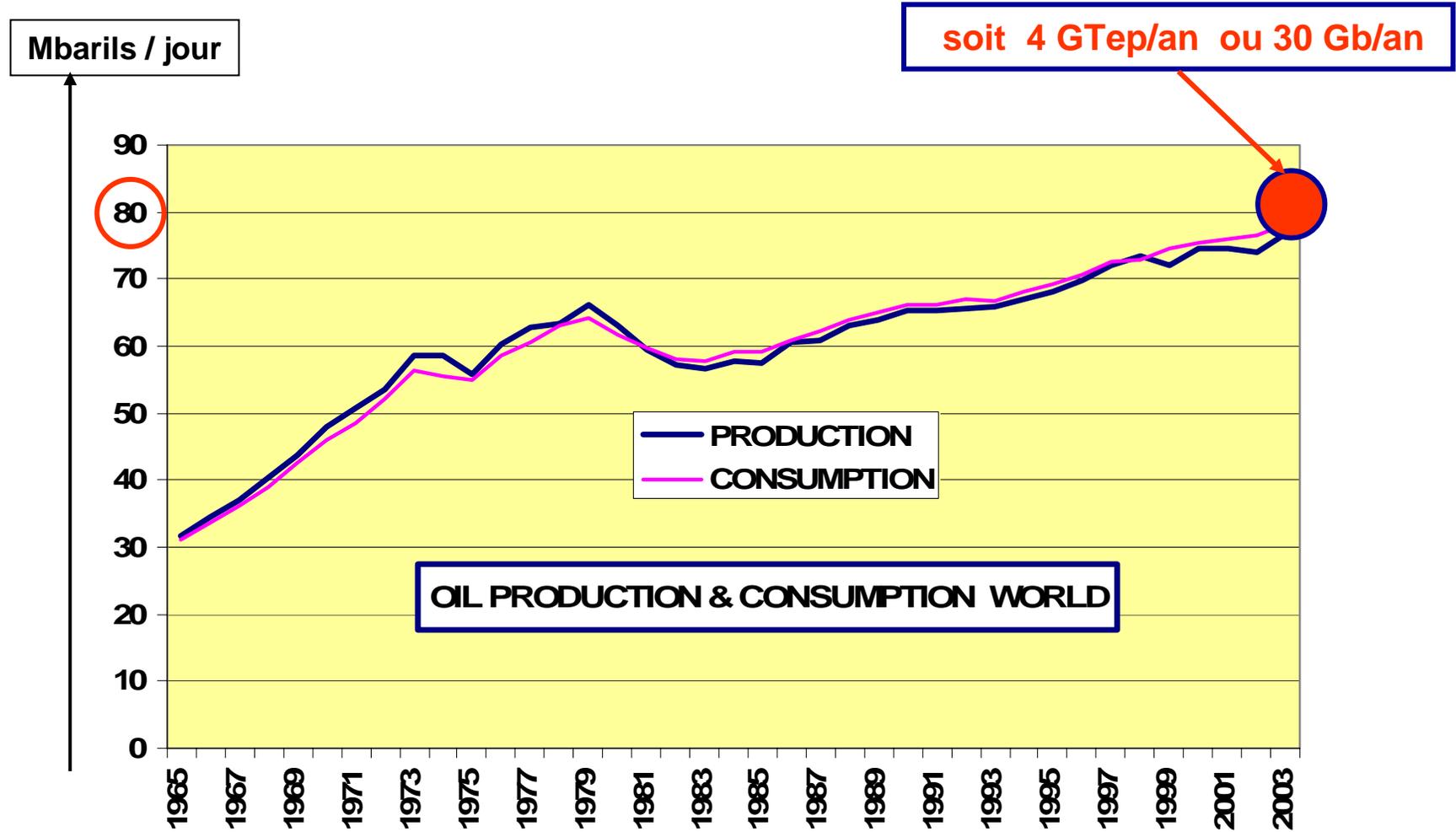
nb : la différence ressources/consommation pour l'électricité vient du mode de calcul des équivalences : l'électricité nucléaire est comptabilisée, au niveau production, en termes de chaleur, dont les 2/3 sont perdus lors de la conversion en énergie électrique

PRODUCTION D'ELECTRICITE EDF (2003)

PRODUCTION EDF en 2003		
totale en TWh		491
dont		
	nucléaire	85,7%
	hydraulique	9,3%
		95,0%
	charbon	3,3%
	fioul	1,3%
	gaz	0,3%
		4,9%
	biomasse	0,1%
		100,0%



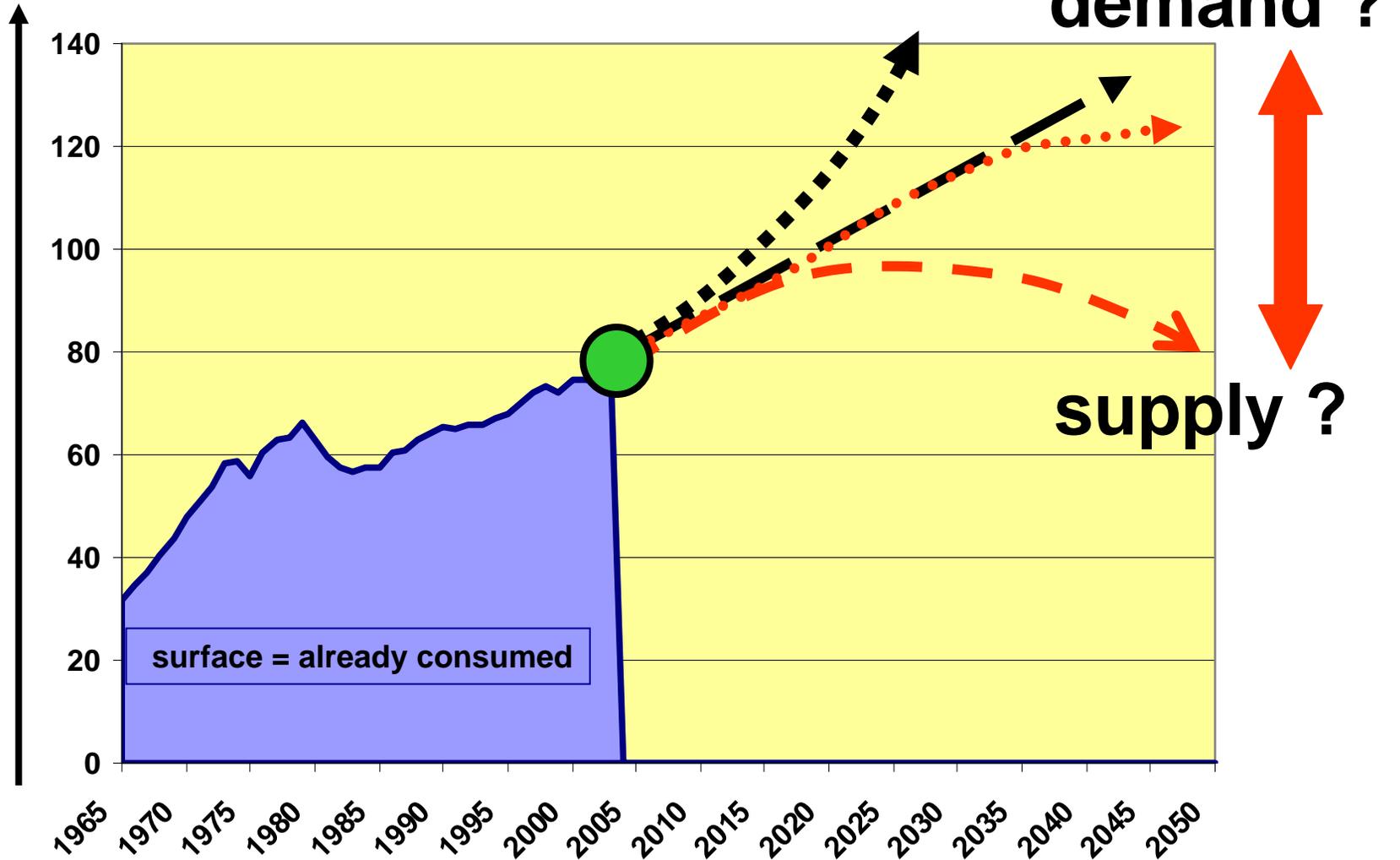
évolution de la demande pétrolière mondiale



source BP review

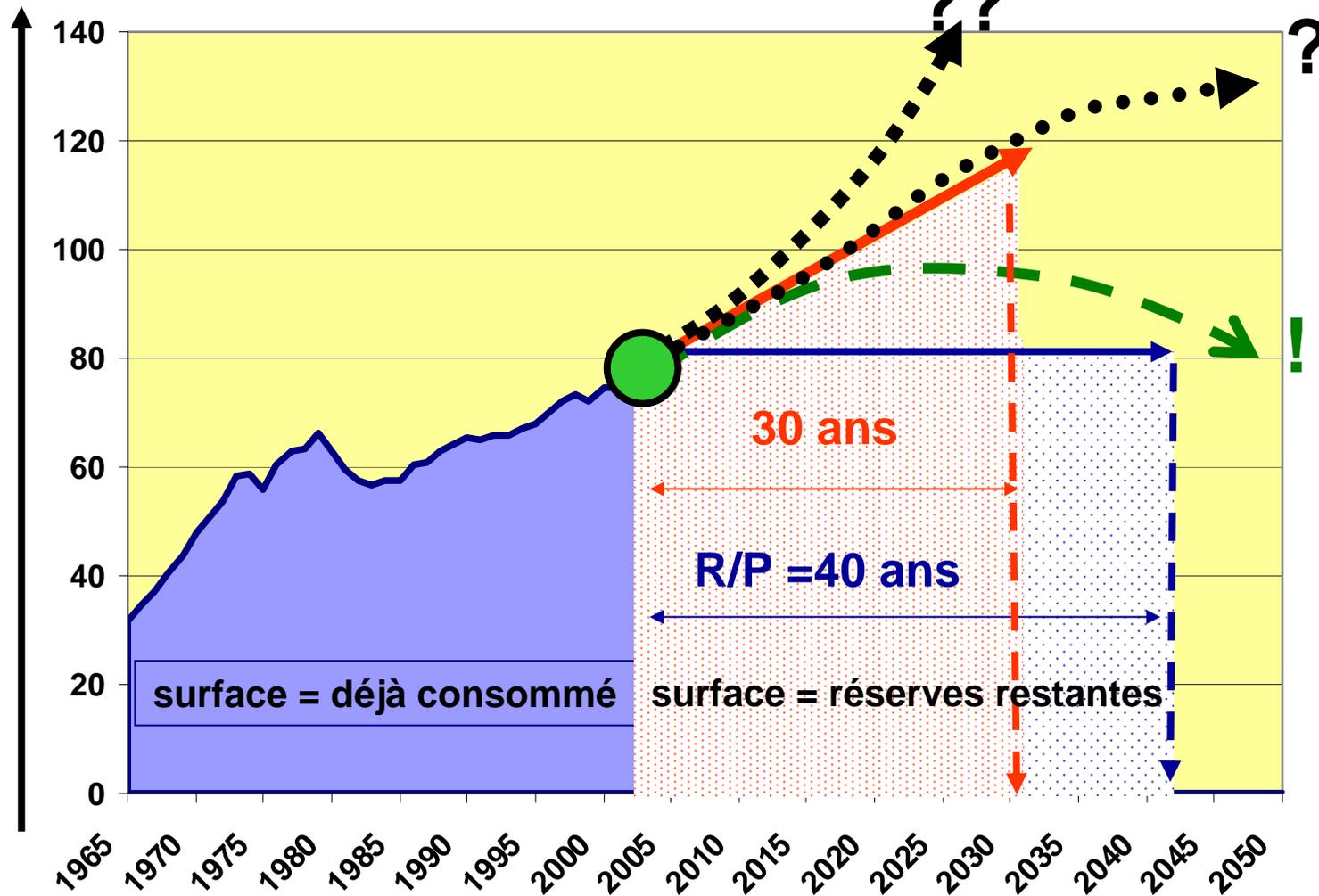
où allons-nous ??

world oil production (Mboe/d)



signification du ratio R/P (Réserves / Production) ???

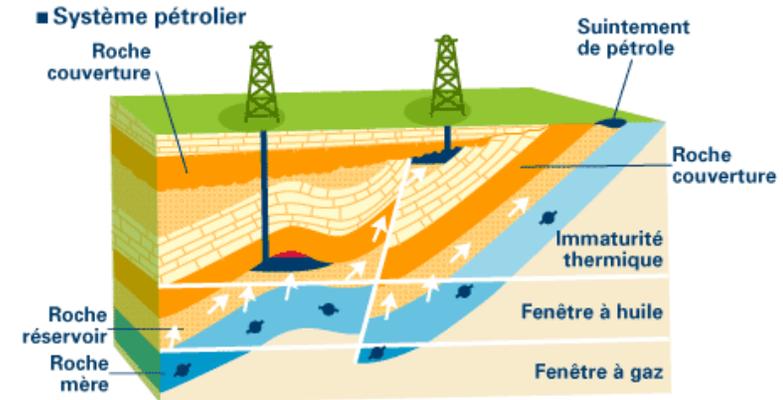
world oil production (Mbep/d)



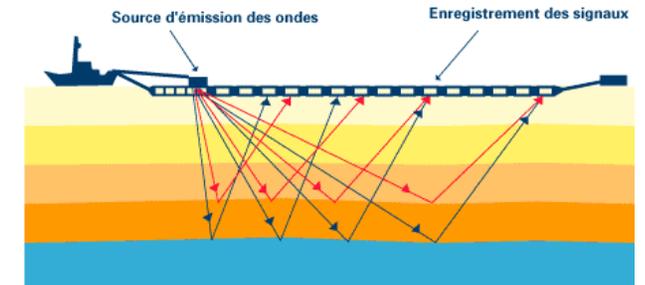
réserves de pétrole :
on compte quoi ? et comment ?

rappel de quelques fondamentaux ; pbs de définitions

- ◆ **ressource vs réserve ;
taux de récupération**
- ◆ **pétrole vs gaz :
un continuum**
- ◆ **pétrole conventionnel
vs non conventionnel ; effet coût**
- ◆ **effet des progrès technologiques ;
optimistes vs pessimistes**
- ◆ **ce qui peut vraiment
augmenter les réserves**



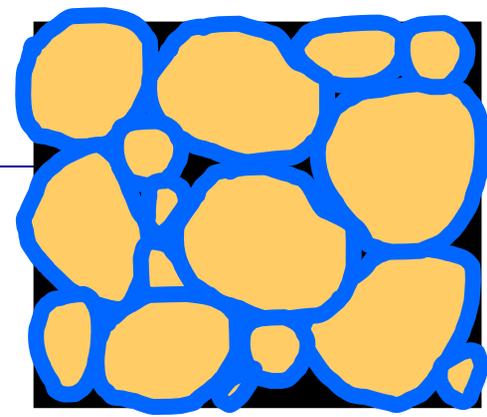
■ **Principe de la sismique**



Le principe de la sismique est simple : on provoque de légers ébranlements (chute d'un poids, petite explosion...) et on suit les signaux ainsi émis, qui se réfléchissent sur certaines discontinuités géologiques.

Source : Le pétrole au delà du mythe - X. Boy de la Tour - Ed. Technip

"ressource" versus "réserve"



pour un gisement donné :

- ◆ **ressource = volumes d'hydrocarbures "en place" =**
 - volume de roche imprégnée x porosité x saturation en huile
 - une notion "statique", qui peut paraître "facile" à évaluer

- ◆ **réserve = ressource x taux de récupération =**

quantité que l'on estime raisonnablement pouvoir extraire
avec les technologies existantes et à des coûts compatibles
avec les conditions économiques du moment =

 - une notion "dynamique" qui combine la mécanique des fluides en milieux poreux (mobilité des fluides) , la technologie, et le coût
 - donc encore plus subjective et plus variable dans le temps

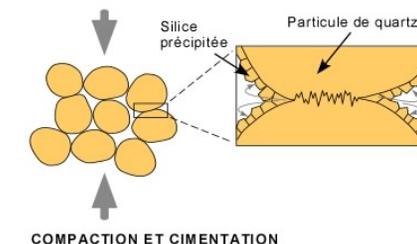
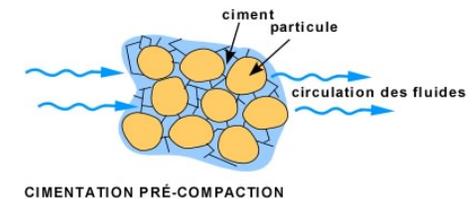
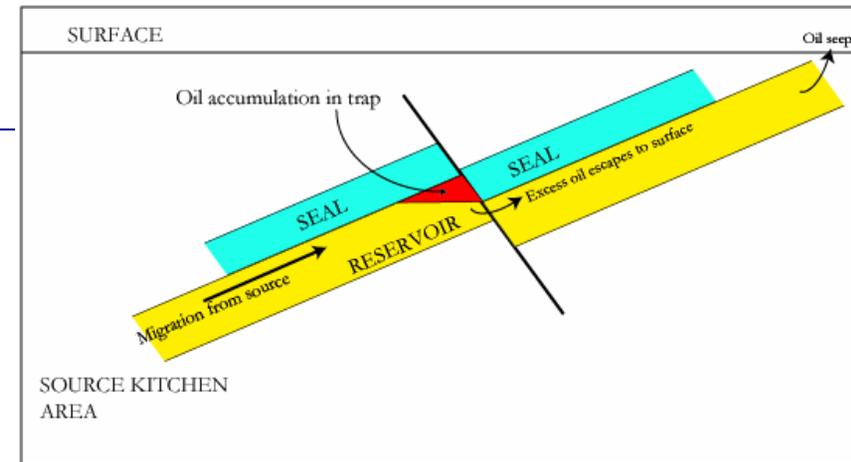
évaluation des réserves

Calcul des volumes d'hydrocarbures en place

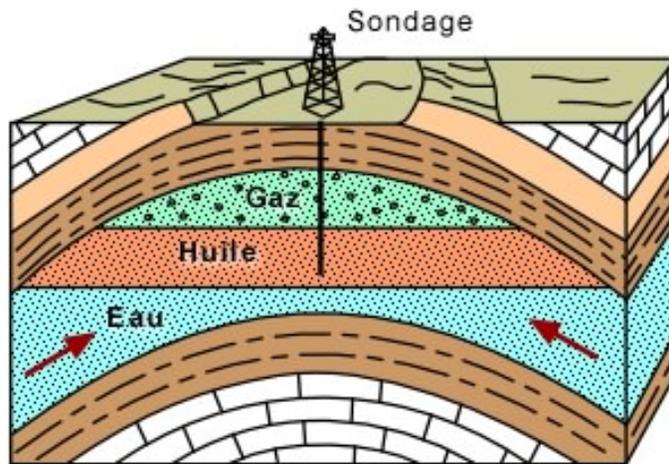
- Géométrie du gisement (sismique et forages explo)
- Porosité
- Saturation en huile
- valeurs très incertaine compte tenu des variations latérales et verticales de la géométrie des couches imprégnées et des caractéristiques de la roche (nb : une "carotte" représente seulement une fraction infime d'un gisement, typiquement 10^{-8} à 10^{-6})

Estimation de l'huile mobilisable en production

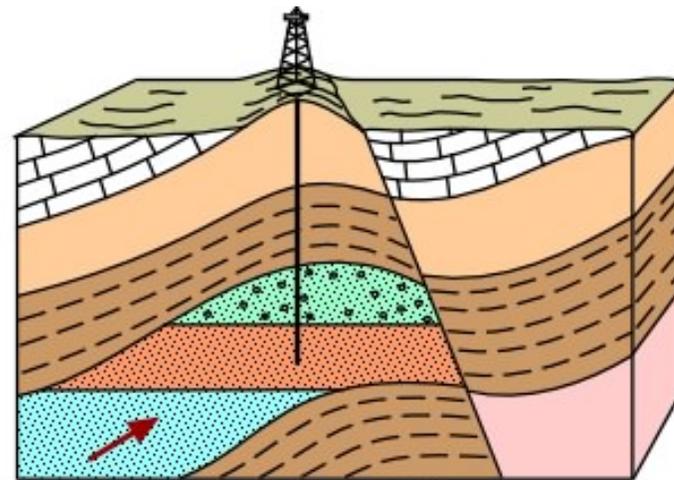
- Huile mobile vs huile immobile, perméabilité, ...
- Coefficient de balayage
- Dépend de la géologie (nature des roches, stratigraphie, etc...)
- Dépend des techniques de production (récupération assistée, nombre et type de puits, ...)
- Rendements décroissants des investissements



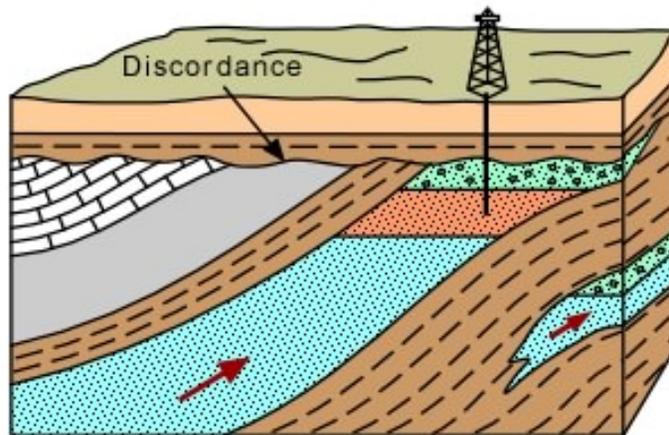
pièges types



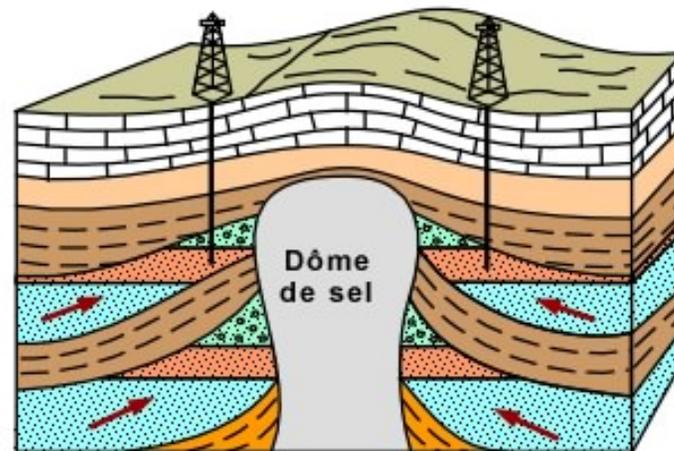
A - Piège structural: anticlinal



B - Piège structural: faille



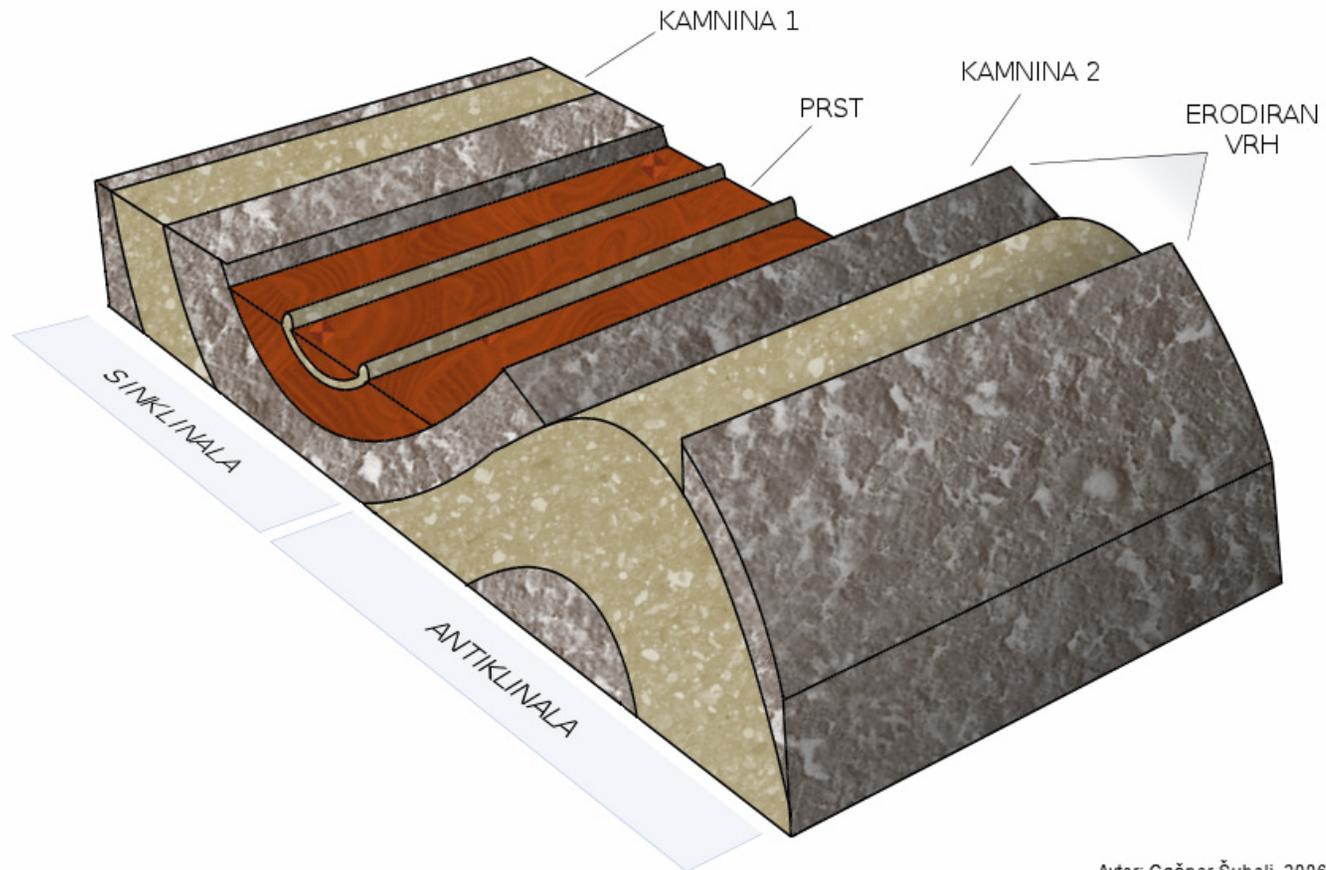
C - Pièges stratigraphiques:
discordance et biseau sédimentaire



D - Pièges mixtes associés à un diapir

exemple de géologie structurale

SHEMA ANTIKLINALE IN SINKLINALE



Avtor: Gašper Šubelj, 2006



"ressource" versus "réserve"

pour un gisement donné :

◆ **l' évaluation des réserves est un calcul essentiellement probabiliste**

- Chaque facteur du calcul est affecté d'une fourchette de variations possibles et de coefficients de probabilité
- Au bout du compte , on arrive typiquement à 3 chiffres de réserves souvent nommés P1, P2, P3 et qui correspondent en gros à des probabilités estimées de 90% (P90 = réserve "prouvée")
de 50% (P50 = réserve "probable") *nb : les chiffres de "prouvées" sont souvent des P50*
de 10% (P10 = réserve "possible")

◆ **on ne connaît vraiment les réserves avec certitude que quand le gisement est épuisé et que son exploitation est arrêtée**

- C'est la production cumulée du gisement depuis le début (= "réserves ultimes")

◆ pendant la vie du gisement, **on ajuste périodiquement l'évaluation initiale des réserves : ce sont les ré-évaluations de réserves ("reserve growth")**

- Basées sur l'amélioration continue de tous les facteurs au fur et à mesure que les opérations de forage et de production se développent...
- Avec parfois des ré-évaluations "politiques" (OPEP, FSU, Cies Nationales)

ordres de grandeur

de la vie d'un gisement

- typiquement 30 à 40 ans
(= une carrière de pétrolier, ou de chercheur !!)

de taux de récupération

- **pétrole conventionnel**
 - fourchette : de environ 10 - 20 % à environ 60 - 70 %
 - moyenne mondiale : estimée aujourd'hui autour de 35 % ;
pourrait croître dans le futur vers 50% (voire 60% pour les plus optimistes ?)
- **huiles lourdes**
 - seulement qqes % aujourd'hui (typiquement moins de 10 %)
 - pourrait "facilement" (?) doubler (voire tripler ?)
 - impact énorme sur les réserves : ressource Orénoque estimée à 1200 / 1500 Gb
et autant en Athabasca (+ 10% de récupération = Arabie Saoudite)
- **gaz naturel**
 - typiquement de l'ordre de 70% pour les gisements conventionnels
 - beaucoup moins sensible que pour le pétrole (loi PV = constante)

pétrole vs gaz

- ◆ la grande famille des hydrocarbures ($C_n- H_n$) se trouve sous trois formes principales dans la nature :
 - solide = les charbons (ici pour mémoire) ; origine terrestre
 - liquide = le pétrole (ou "huile" = oil) ; origine marine
 - gazeuse = le gaz naturel
 - on pourrait ajouter la forme pâteuse (huiles "lourdes", à très forte viscosité)
- ◆ pétrole et gaz forment en réalité un continuum (C1 C2 C3 ...)
 - Il y a toujours du gaz dans un gisement de pétrole (gaz "associé") et il y a toujours du liquide dans un gisement de gaz ("condensats" ou C5+)
- ◆ de + en + de condensat se trouve comptabilisé avec le pétrole en terme de réserves (ce qui les augmente)
 - nb : le condensat est un produit de qualité, et se stocke et se transporte facilement par pipeline et par tankers, comme le "brut "

pétrole "conventionnel" vs "non conventionnel"

on pourrait dire aussi pétrole "facile" vs pétrole "difficile"
ou encore pétrole "pas cher" vs pétrole "cher"

◆ Pétrole conventionnel =

- pétrole à terre, plutôt léger et de bonne qualité
- gisements de bonne taille et assez homogènes
- prototype = "Arabian Light"

◆ Pétrole non conventionnel =

- offshore, de + en + profond (> 2000 m)
- lourd ($d > 0.9$ voire 0.95), à forte viscosité (état pâteux)
- HP, HT, chargé en H₂S, CO₂, etc...
- condensats, NGL, GTL ...

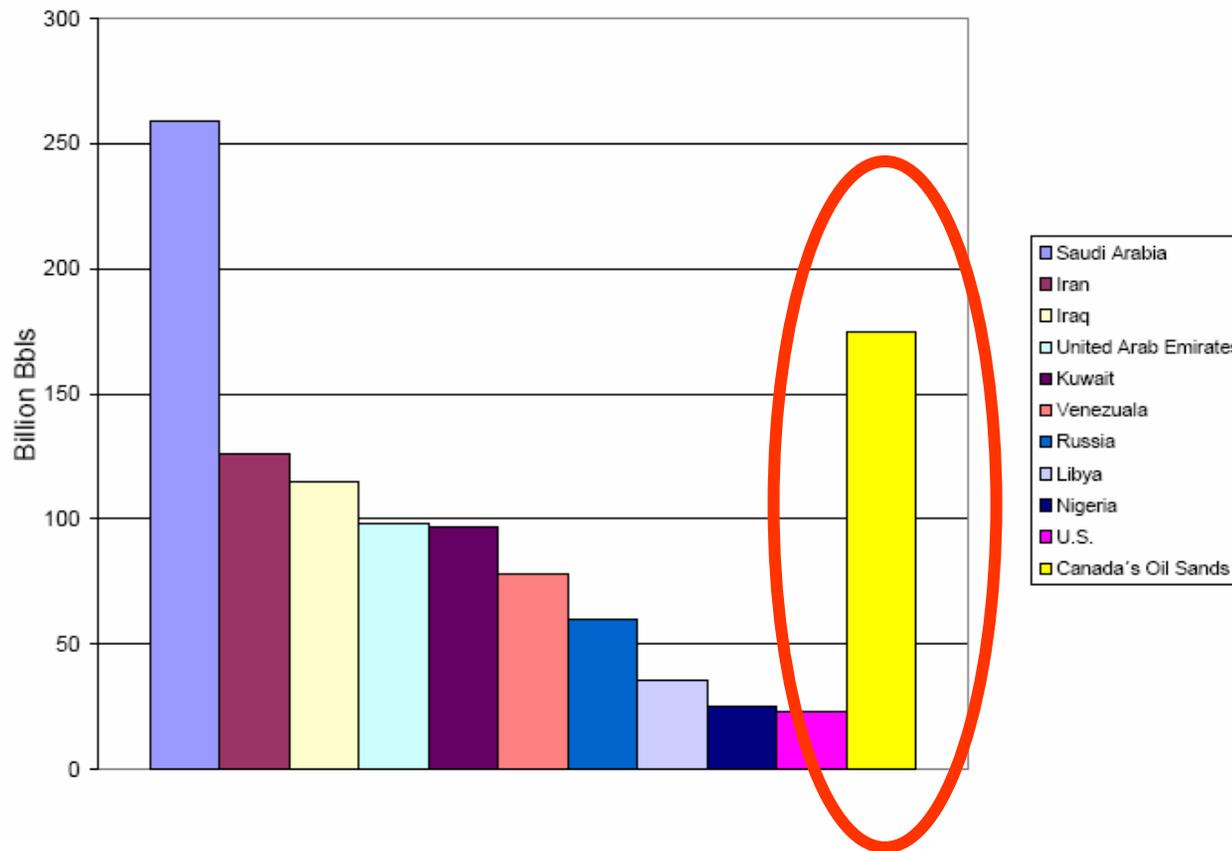
◆ les frontières entre les deux évoluent avec le progrès technologique :

- du non conventionnel d'hier peut devenir du conventionnel d'aujourd'hui ,
du point de vue de la faisabilité
- mais il reste incontestable que le difficile reste et restera plus cher que le facile,
sans parler des problèmes de rendement énergétique global

les chiffres publiés sont souvent peu clairs sur ce qui est compté ou non

exemple de "non conventionnel" : Athabasca (Canada)

Fig 1.1. Top Ten Countries with Proven Conventional Oil Reserves and Canada's Oil Sands Reserves (Billion Barrels, end of 2003)



exemples de résultats des progrès technologiques

◆ du "non conventionnel" qui devient plus conventionnel

- développements de champs de pétrole (et de gaz) offshore, de + en + profonds (plus de 2000 m actuellement), fruits de + de 30 ans de R&D continue sur ces thèmes
- huiles lourdes (Orénoque), sables bitumineux (Athabasca)
- gisements de gaz HP-HT, gisements de gaz acides

◆ des taux de récupération qui augmentent par mise en application de technologies plus sophistiquées telles que :

- sismique "3D", voire "4D", interprétation des ondes "S"
- forage à long déport, forage "horizontal", puits multi-drains
- récupération "secondaire" voire "tertiaire" (assistée par injection d'eau, injection de gaz, de produits chimiques, etc...)
- production polyphasique permettant l'utilisation des d'infrastructures existantes pour la valorisation de champs marginaux

optimistes vs pessimistes

➤ arguments des "optimistes"

- les pessimistes se sont constamment trompé (on a toujours 40 ans de réserves depuis 40 ans !)
- le non conventionnel d'hier devient le conventionnel d'aujourd'hui, et les taux de récupération s'améliorent sans cesse
- il n'y a pas de raison que le progrès s'arrête

➤ arguments des "pessimistes"

- la ressource est finie et épuisable ; il y aura forcément une fin
- les "nouvelles" réserves sont de + en + le résultats de ré-évaluation de gisements connus, et de - en - le résultat de nouvelles découvertes
- il y a de – en – de zones vierges à explorer
- les technologies modernes sont de + en + mises en oeuvre dès la mise en production des nouveaux gisements conventionnels ; il y aura donc de - en - de ré-évaluations majeures sur ces nouveaux champs
- les avancées technologiques sont incontestables mais les huiles non conventionnelles sont et seront de + en + coûteuses à exploiter et avec des rendements décroissants (on va de + en + d'un pétrole "facile" à un pétrole "difficile")

différence entre les optimistes & les pessimistes : les pessimistes sont mieux informés ?

ce qui peut augmenter les chiffres de réserves

◆ Raisons techniques

- Découverte de nouveaux gisements, de nouveaux "plays"
- Amélioration de la récupération dans les gisements existants
- Comptabilisation progressive de sources "non-conventionnelles"

Bref, tout ce qui permet de faire passer des quantités chiffrées de la catégorie "possible" à celle du "probable" puis du "prouvé"

◆ Raisons non techniques

- Quotas OPEC
- Publication de chiffres flatteurs pour la bourse (ou pour le gouvernement du pays concerné)
-

les chiffres publiés ne font pas de différences entre ces catégories

à retenir : des incertitudes considérables

- **sur les réserves déjà identifiées**
(notamment sur la récupération des huiles lourdes)
- **encore plus sur les gisements "potentiels" (yet to find)**
(dont on ne sait pas ce qu'ils seront, par définition, même si des méthodes probabilistes existent)

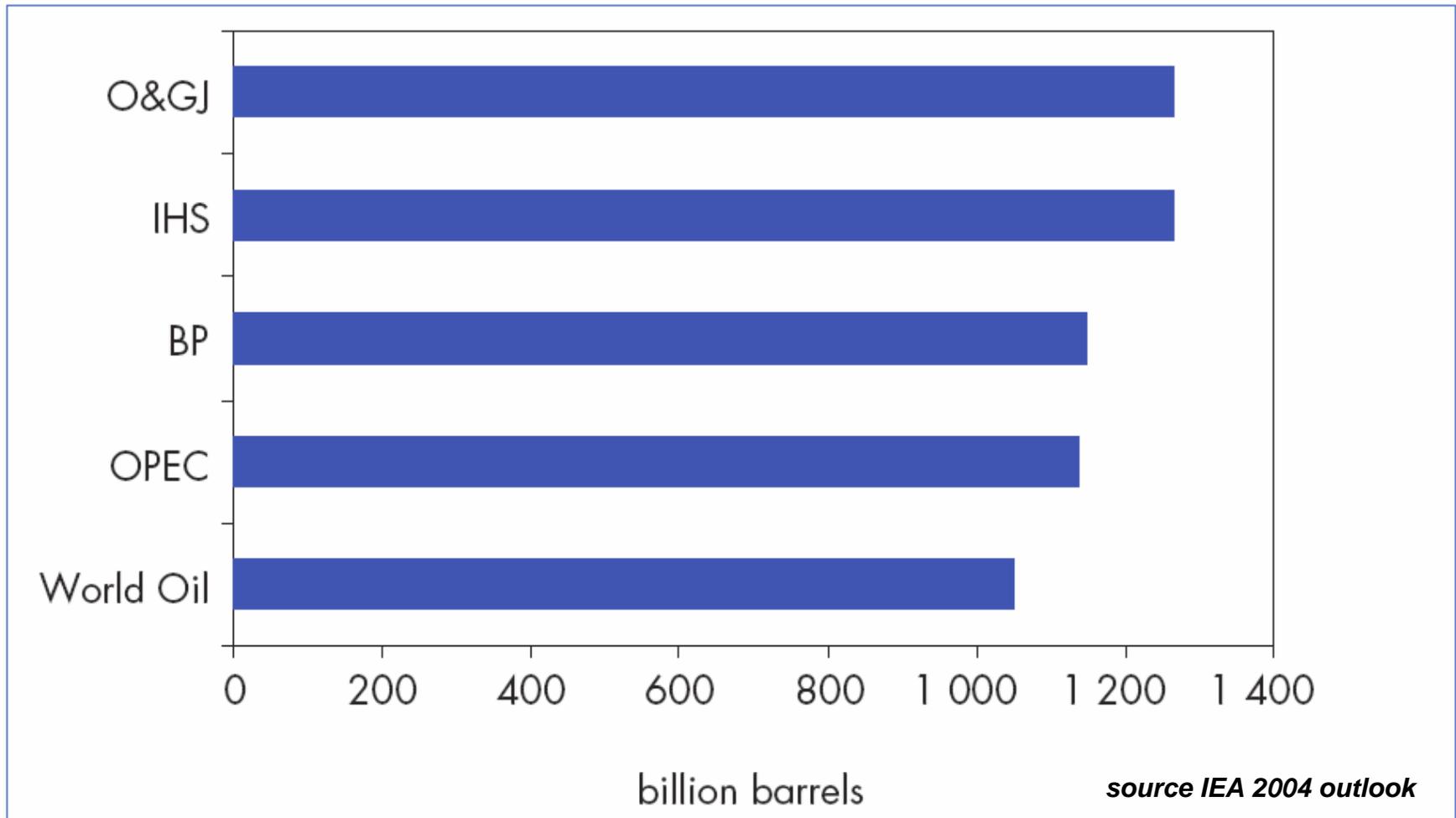
→ **difficulté du chiffrage des réserves**
(en particulier des réserves ultimes)

→ **difficulté d'y voir clair dans les chiffres publiés**
par les diverses sources

réserves de pétrole :

les chiffres publiés

Figure 3.8: Crude Oil and NGL Reserves at End 2003

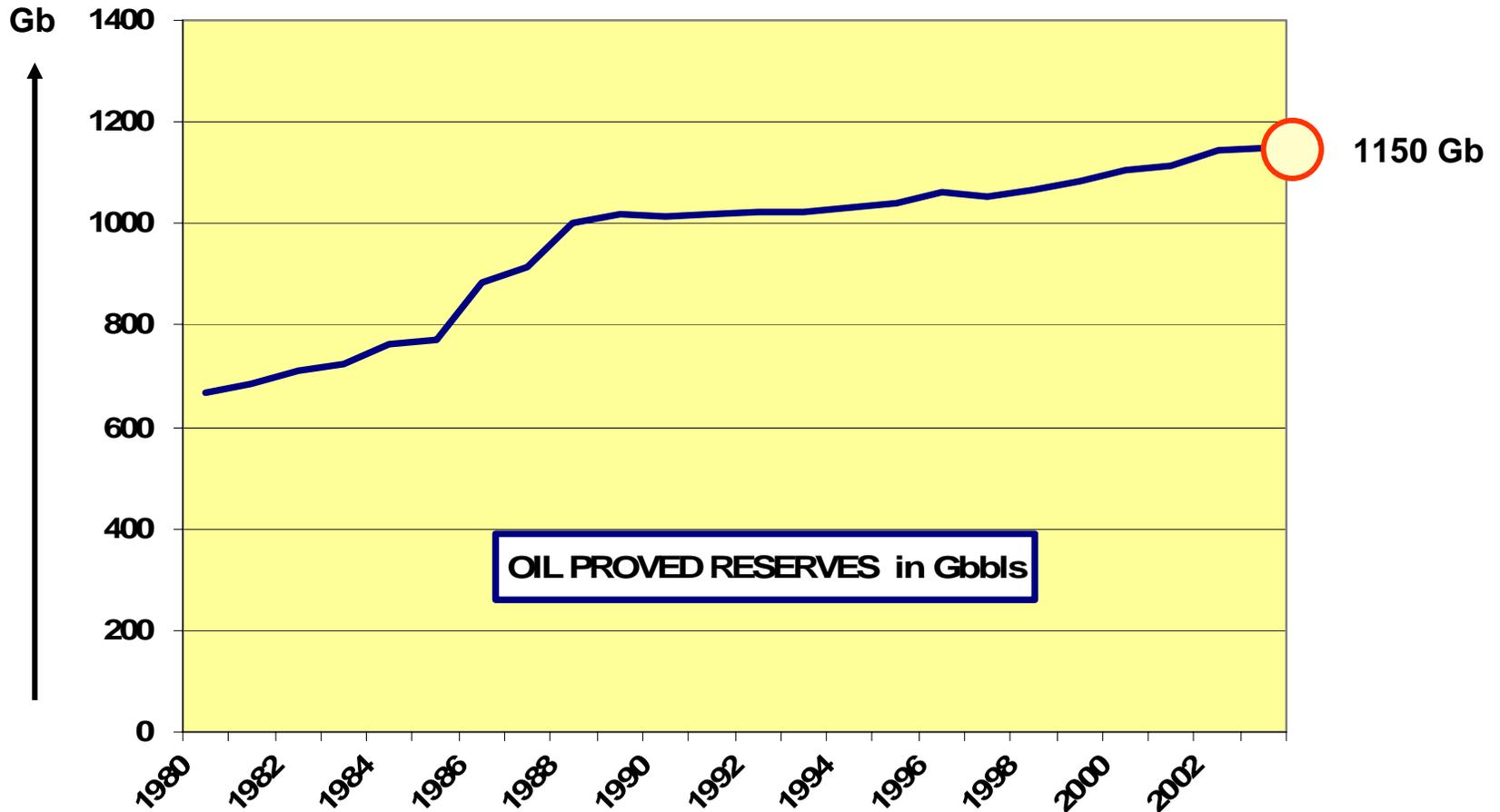


même sur les réserves "prouvées" les différences sont sensibles

évolution des réserves "prouvées" (huile)

source = BP review

Il s'agit ici de réserves "P90" avec pétrole conventionnel + condensats
et dans le sens: "ce qui reste à produire"



pétrole : évolution du ratio R / P (source BP review)

Reserves-to-production (R/P) ratios

Years

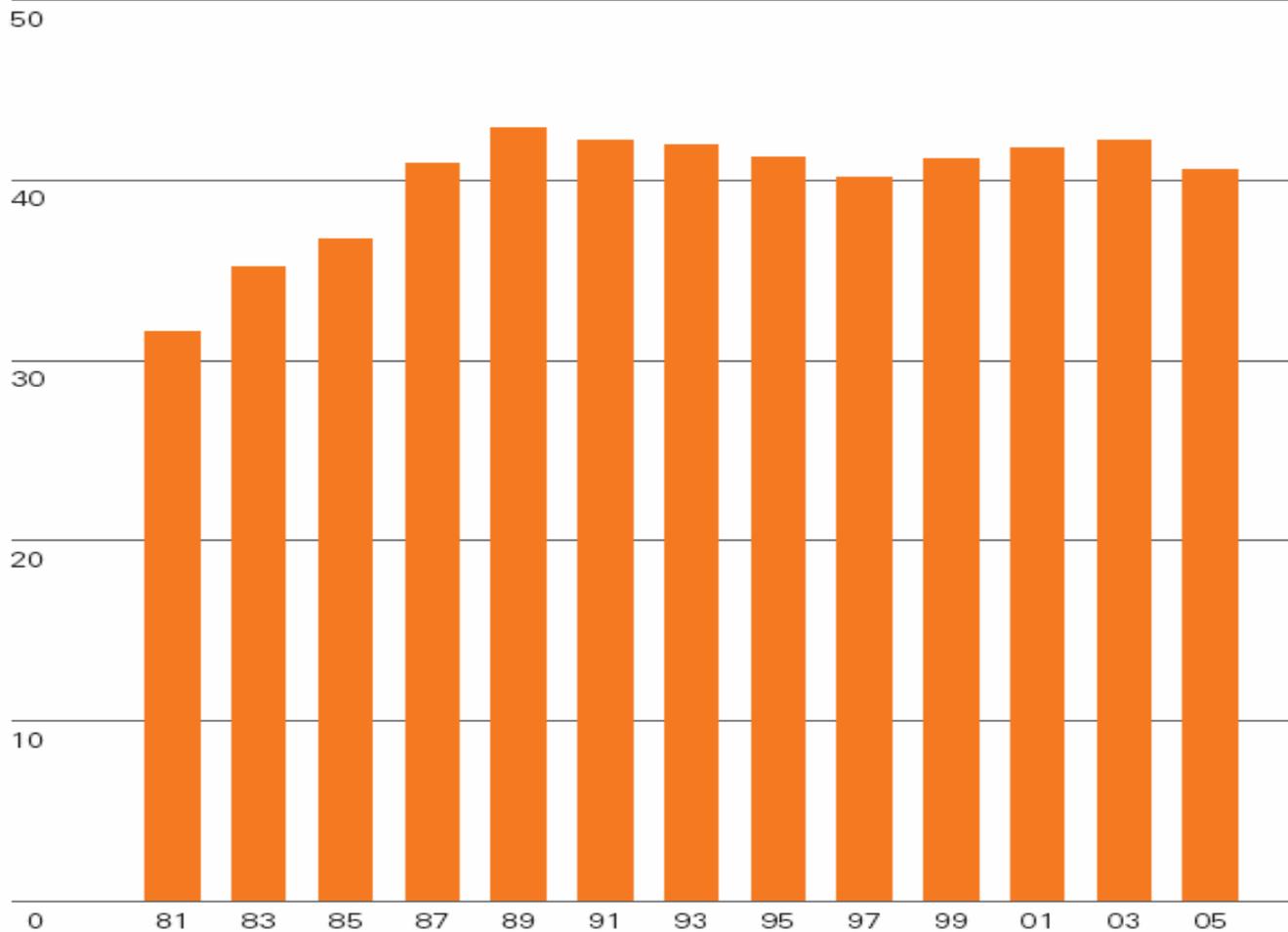
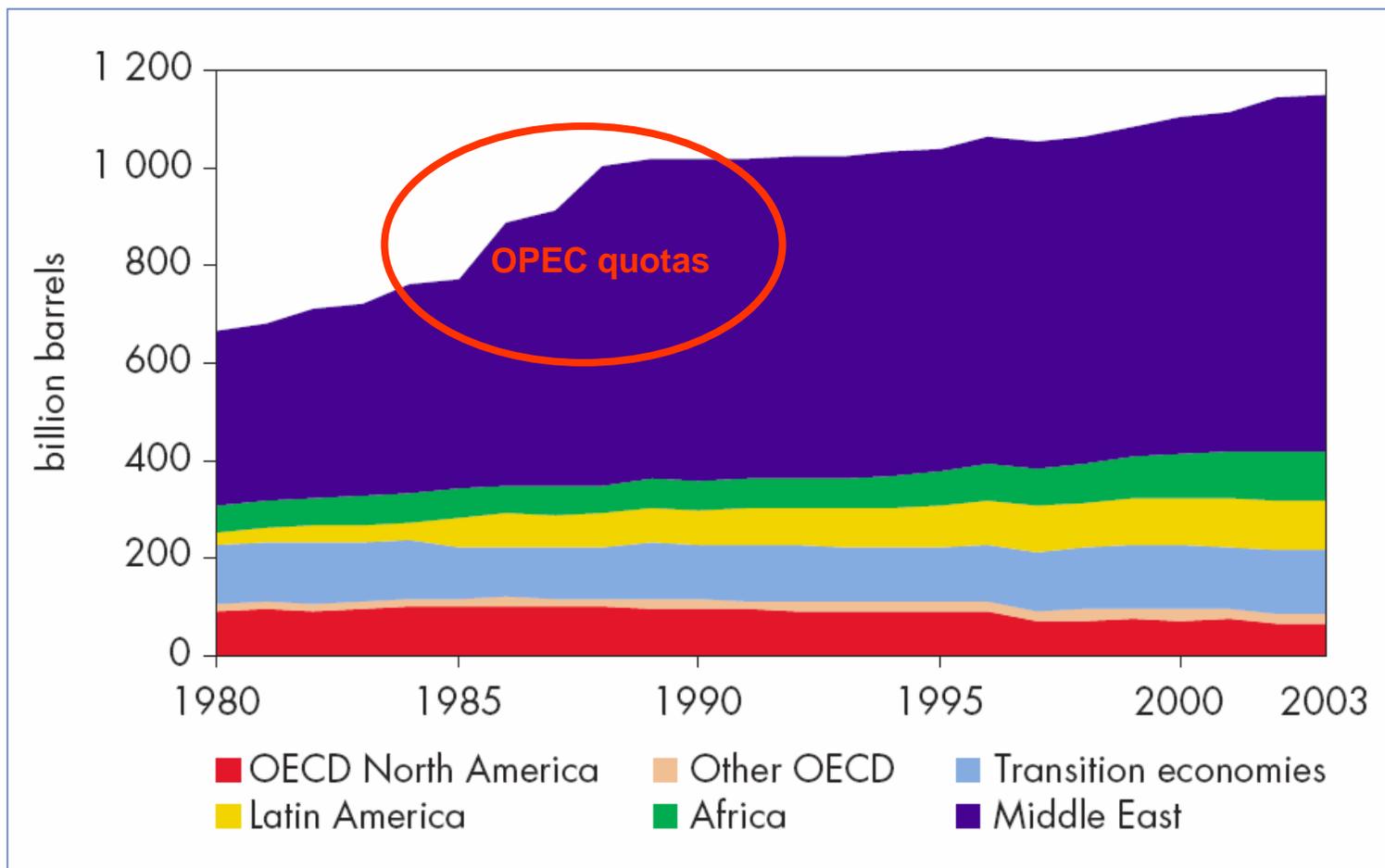


Figure 3.10: Proven Oil Reserves by Region

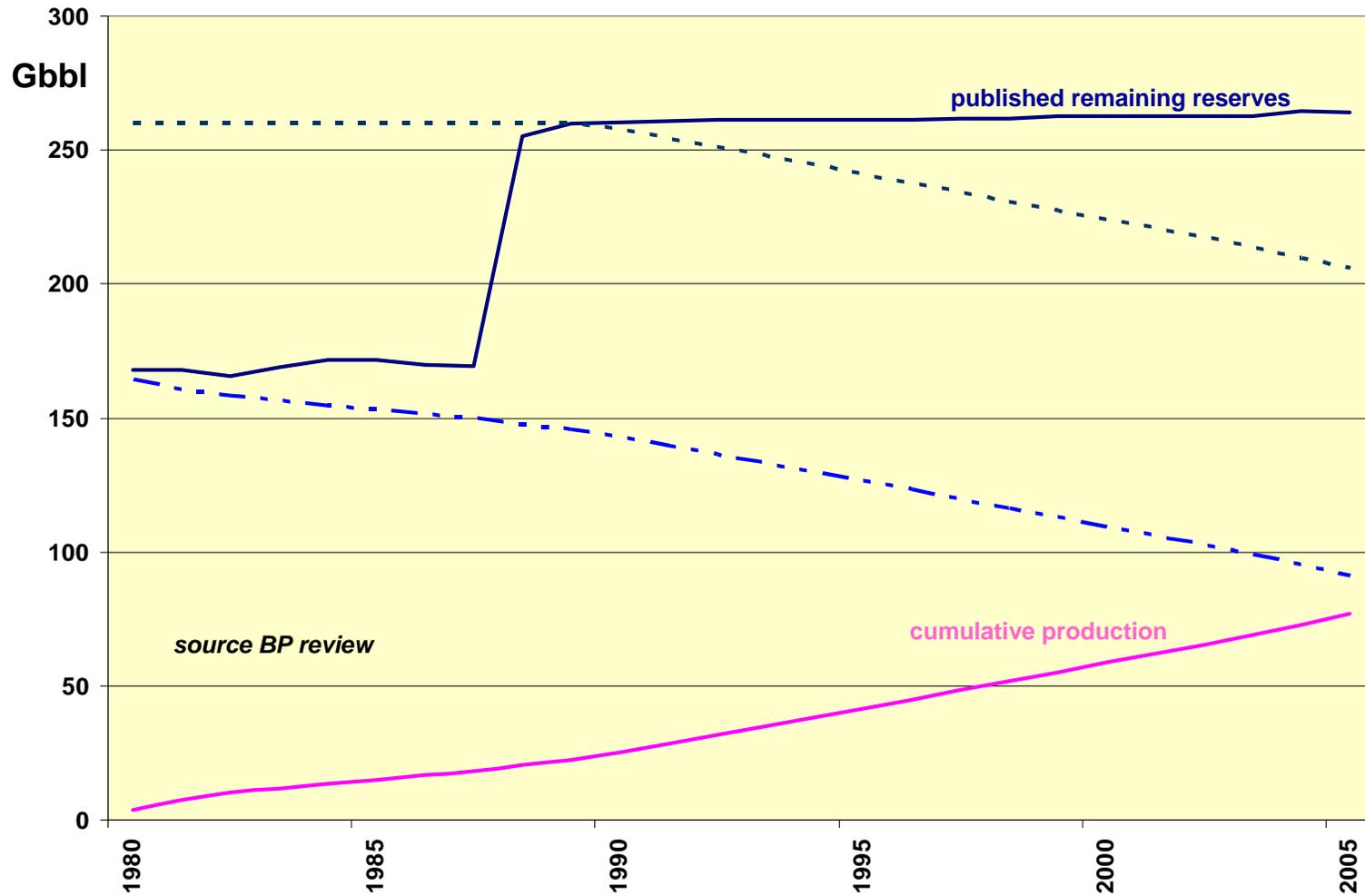


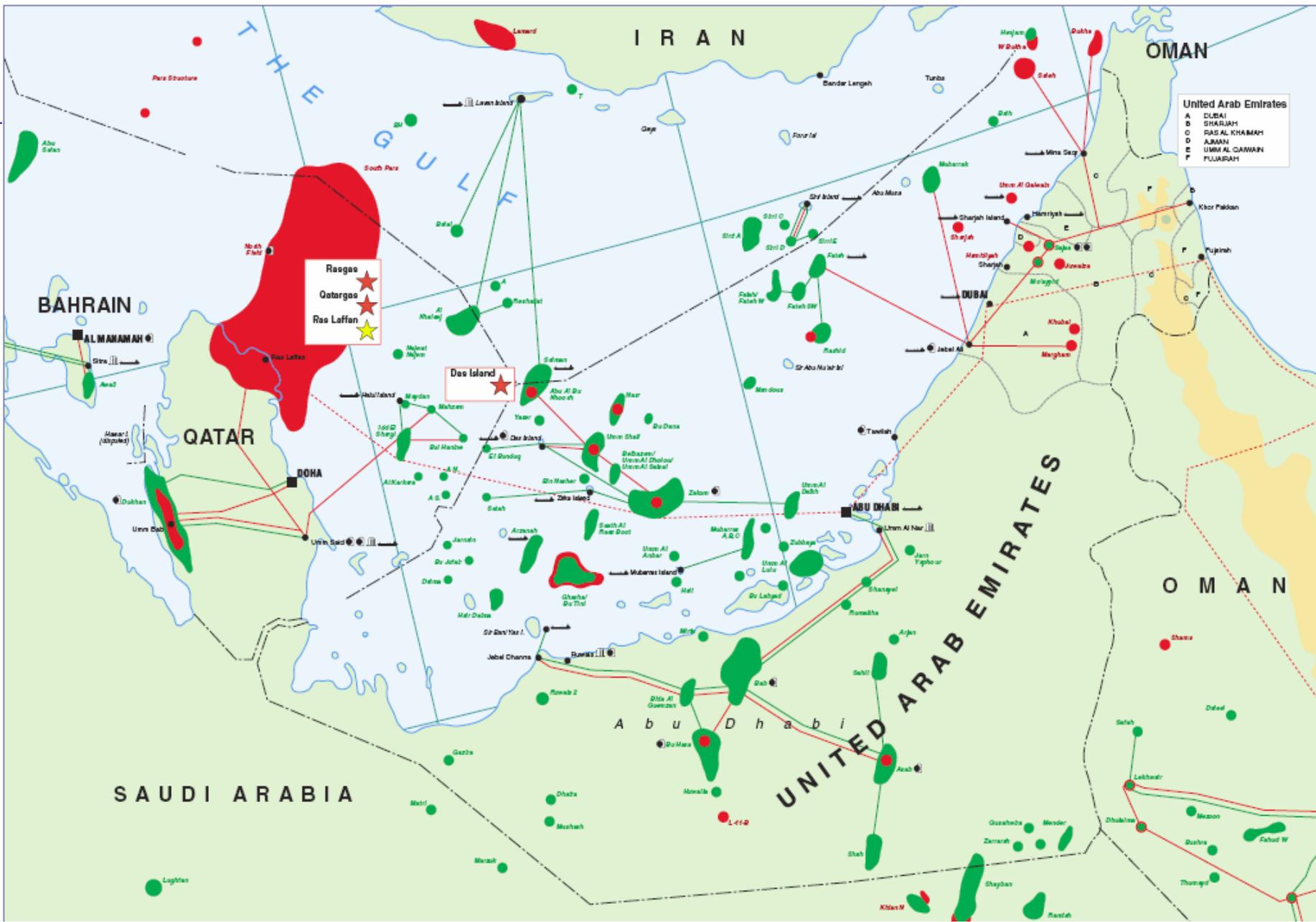
Source: BP (2004).

la publication des réserves est désormais un acte politique

nb : pour une discussion de ces sujets, voir les publications de Jean LAHERRERE

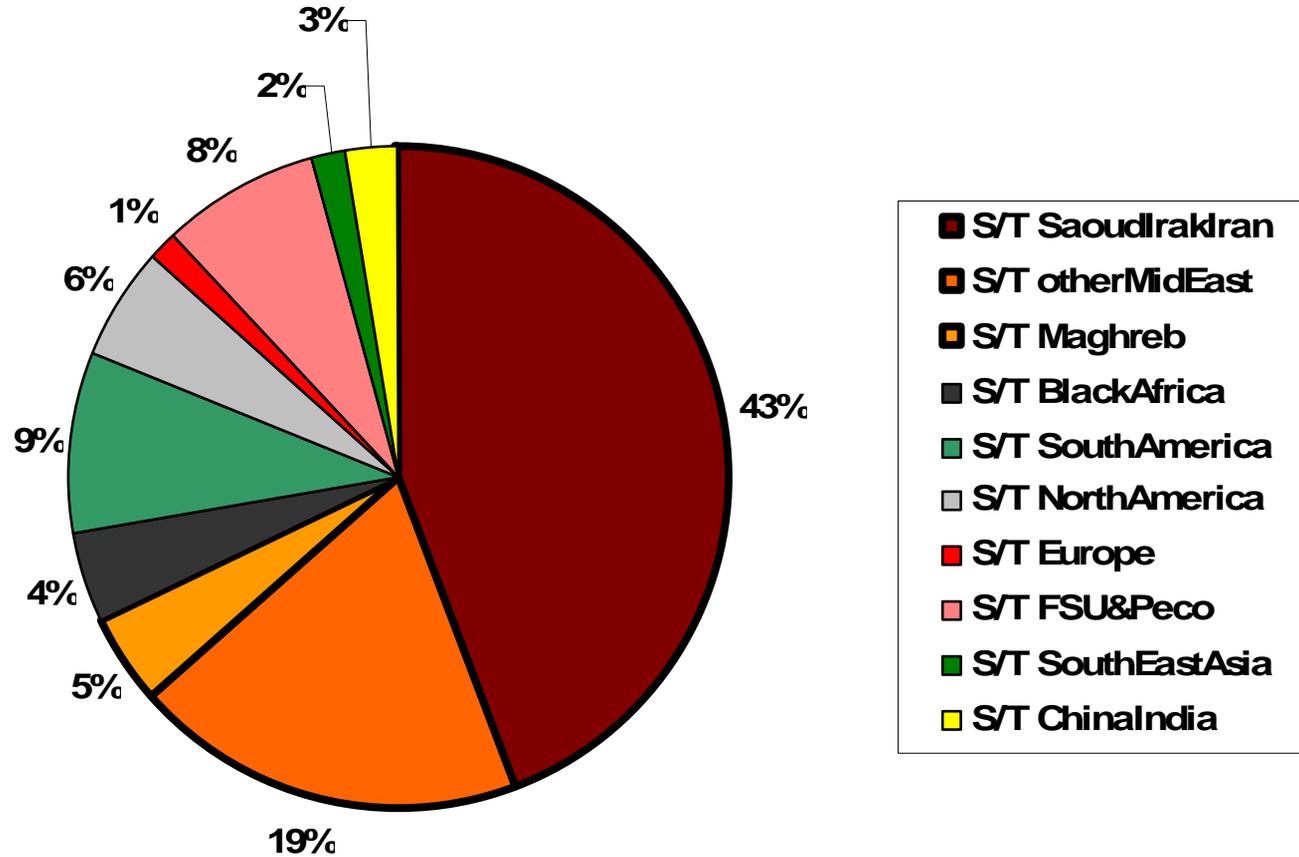
published SAOUDI reserves





répartition géographique des réserves prouvées (huile)

OIL RESERVES BY REGION



source = BP review

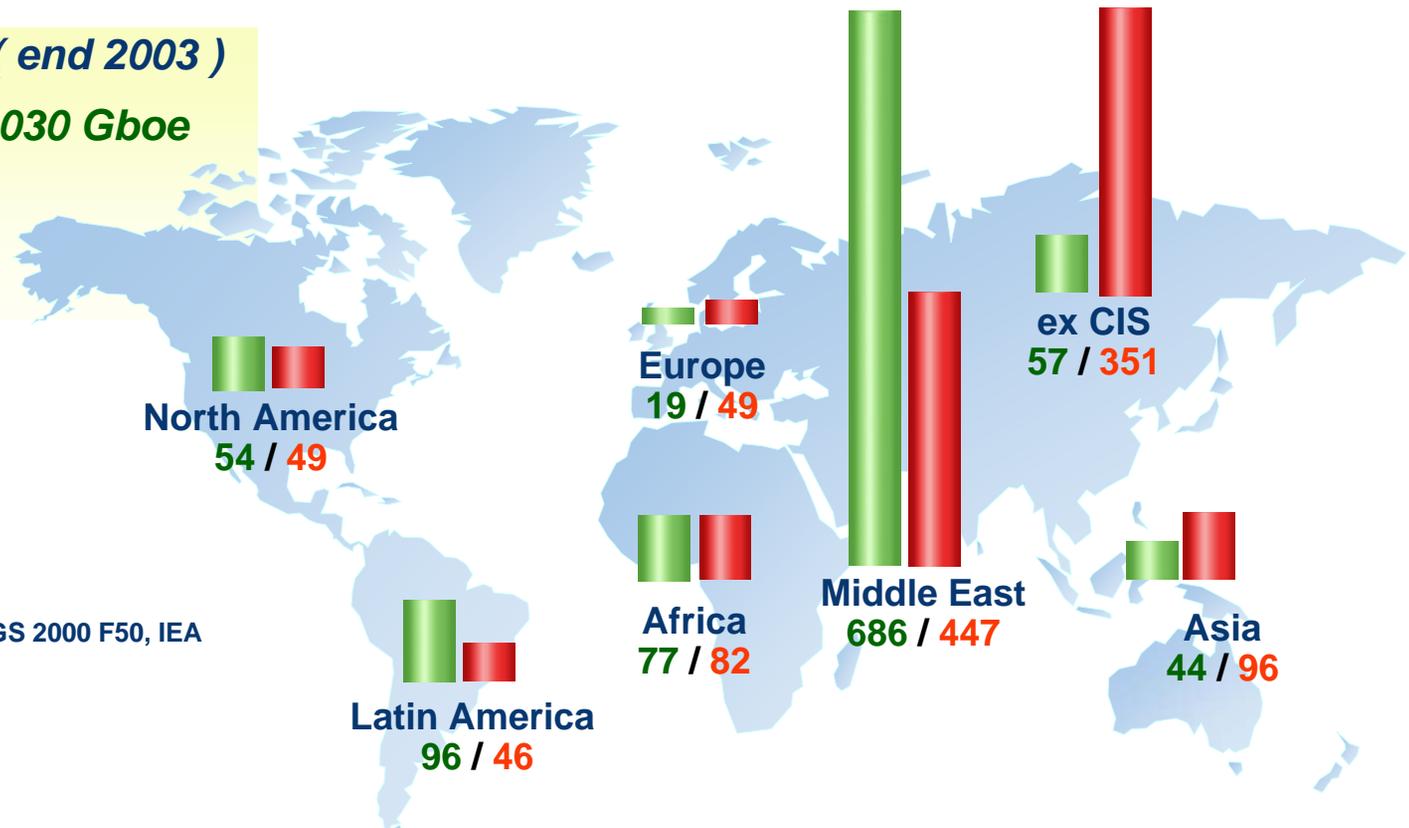
oil & gas reserves : where they are

"proven" reserves (end 2003)

Conventional oil : 1030 Gboe

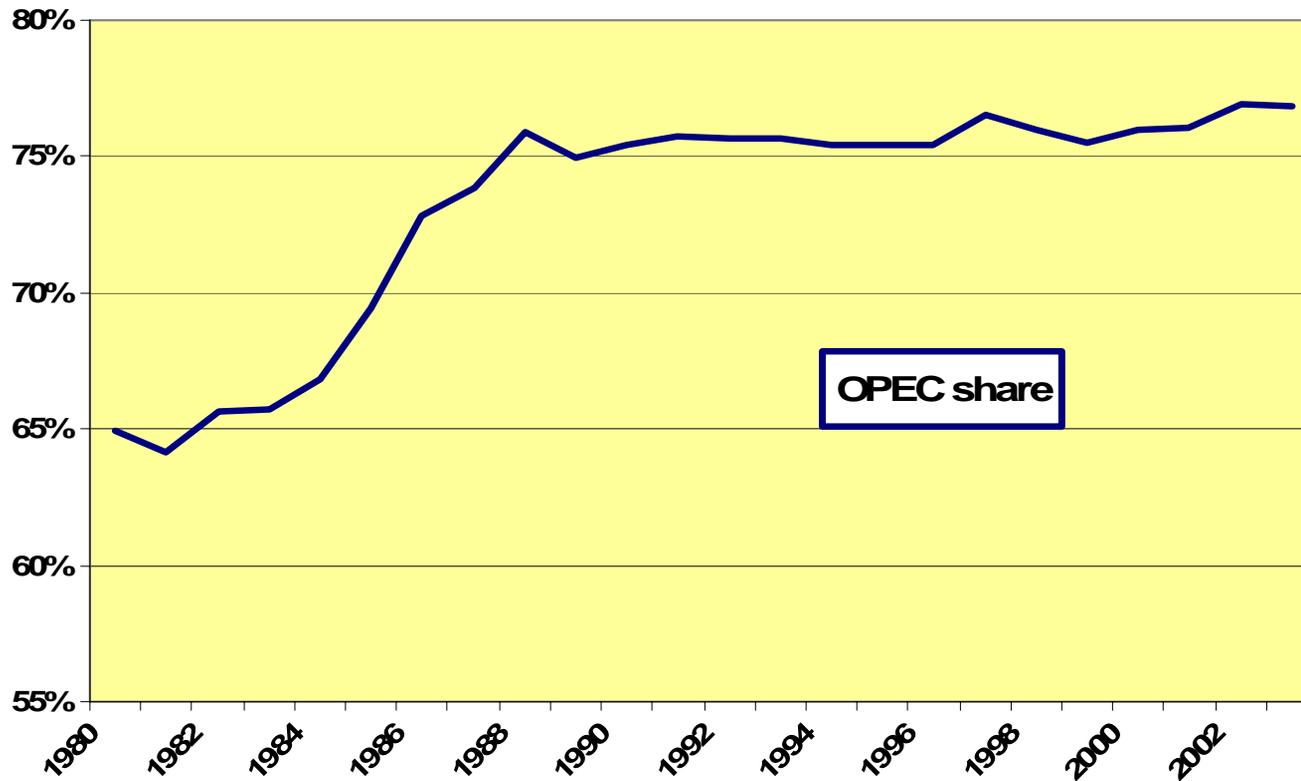
Gas: 1120 Gboe

Sources : O&G, Cedigaz, USGS 2000 F50, IEA



- oil : proven reserves represent 40 years of (current) demand
- gas : proven reserves represent 60 years of (current) demand

évolution de la part OPEP (réserves "huile")



source = BP review

les 21 premières compagnies selon PIW (réserves de pétrole 2003)

Company	State-ownership (%)	Reserves		Output	
		Liquids (Gbbl)		Liquids (Mb/d)	
		Rank	Vol.	Rank	Vol.
Saudi Aramco	100	1	259,4	1	9,0
NIOC	100	2	125,8	2	3,9
INOC	100	3	115,0	17	1,3
KPC	100	4	99,0	7	2,2
PDV	100	5	77,8	5	2,5
Adnoc	100	6	55,2	19	1,2
Libya NOC	100	7	22,7	23	0,9
NNPC	100	8	21,2	8	2,2
Pemex	100	9	16,0	3	3,7
Lukoil	8	10	16,0	15	1,6
Gazprom	73	11	13,6	49	0,2
Exxon Mobil	0	12	12,9	4	2,5
Yukos	0	13	11,8	16	1,6
PetroChina	90	14	11,0	10	2,1
Qatar Petroleum	100	15	11,0	28	0,7
Sonatrach	100	16	10,5	12	1,7
BP	0	17	10,1	9	2,1
Petrobras	32	18	9,8	13	1,7
ChevronTexaco	0	19	8,6	11	1,8
Total	0	20	7,3	14	1,7
Shell	0	21	7,3	6	2,3

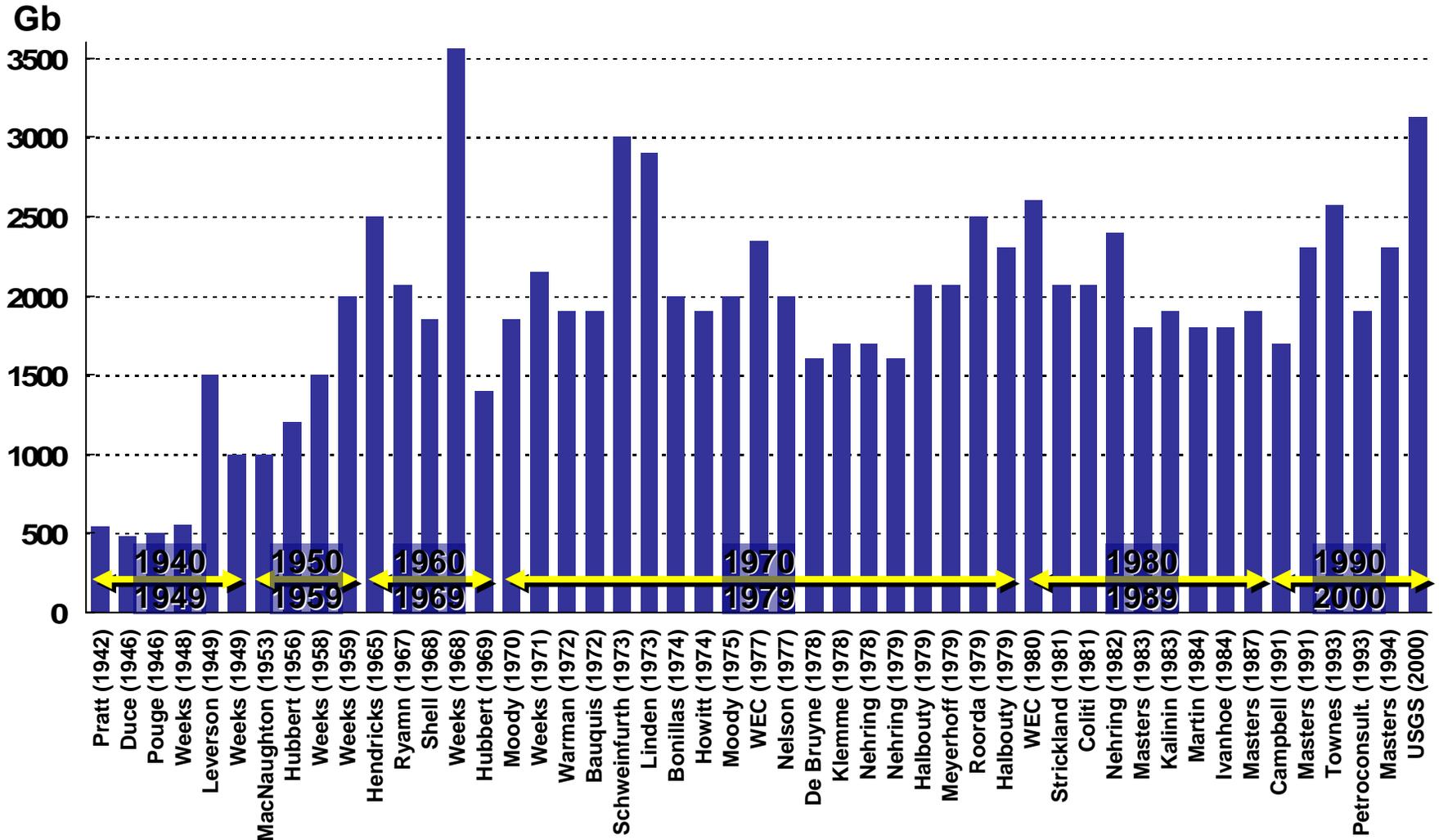
concept de réserves "ultimes" (pétrole ou gaz)

- **c'est la quantité finale qui aura été extraite quand toutes les régions du monde auront été explorées et quand tous les gisements du monde auront été épuisés**

- **les ultimes s'obtiennent en additionnant :**
 - **la production cumulée depuis l'origine (fin du 19ème siècle)**
 - **les réserves prouvées restantes (ou P50 ?)**
 - **le potentiel de croissance des taux de récupération ("reserve growth")**
 - **une estimation de possibles réserves futures (non découvertes) dans les régions encore peu ou mal explorées (un exercice où on est forcé de faire beaucoup de suppositions !)**

HISTORICAL VIEWS ON ULTIMATE RESERVES

= cumulative production + proven reserves + possible reserves yet to be discovered



source: IFP/DSEP adapted from Martin (1985) and Campbell (1992) - Updated 2000

IHEDATE novembre 2006

réserves "prouvées" vs réserves "ultimes"

"proven" oil reserves	1973		2000	
	GToe	R/P in years	GToe	R/P in years
oil (all liquids)	86	30	140	40
gas	52	48	140	65

la partie visible de l'iceberg montre que les réserves augmentent : pas de problème

source : PR Bauquis 26-28 novembre 2000 - Global Foundation

réserves "prouvées" vs réserves "ultimes"

<u>ultimate</u> reserves conventional oil	1973	2000
Gbbls	2000 - 3500	2000 - 3500

de 1973 à 2000, il n'y a pratiquement pas de changement dans les estimations de réserves ultimes

source : PR Bauquis 26-28 novembre 2000 - Global Foundation

bilan actuel des réserves "ultimes" (huile)

réserves ultimes (*) =

- production cumulée fin 2003 (environ 1000 Gb) +
- réserves conventionnelles "prouvées" (environ 1200 Gb) +

- huiles lourdes / sables bitumineux (200 à 400 Gb) +
- à découvrir (offshore profond/arctique/etc ?) (200 à 800 Gb)

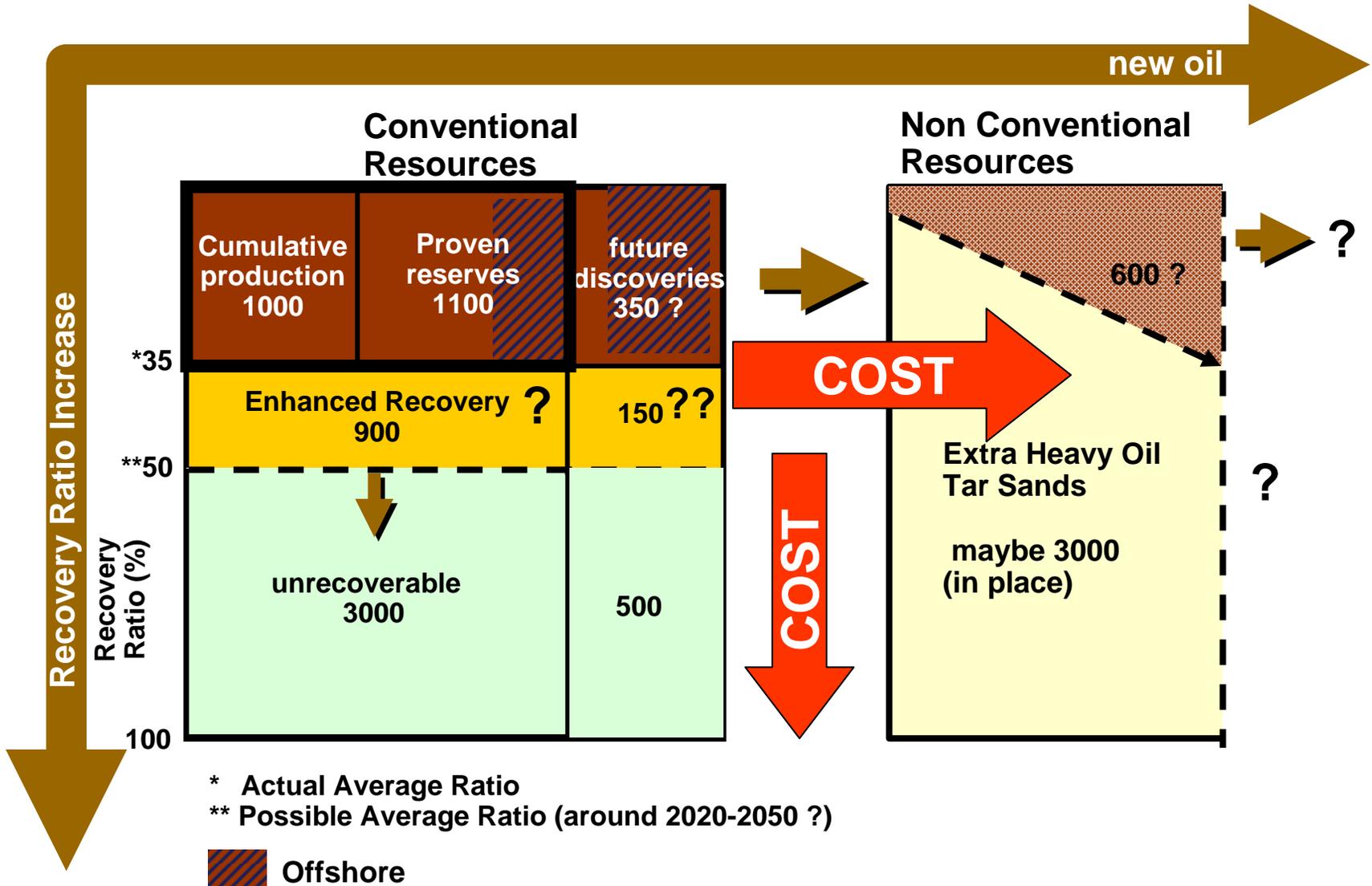
soit environ 2600 à 3400 Gb

dont déjà > 1000 Gb consommés

➤ **reste environ 2000 Gb (si ultimes = 3000Gb)**

() exclut les schistes bitumineux*

une autre présentation des ressources & réserves (Gtoe)

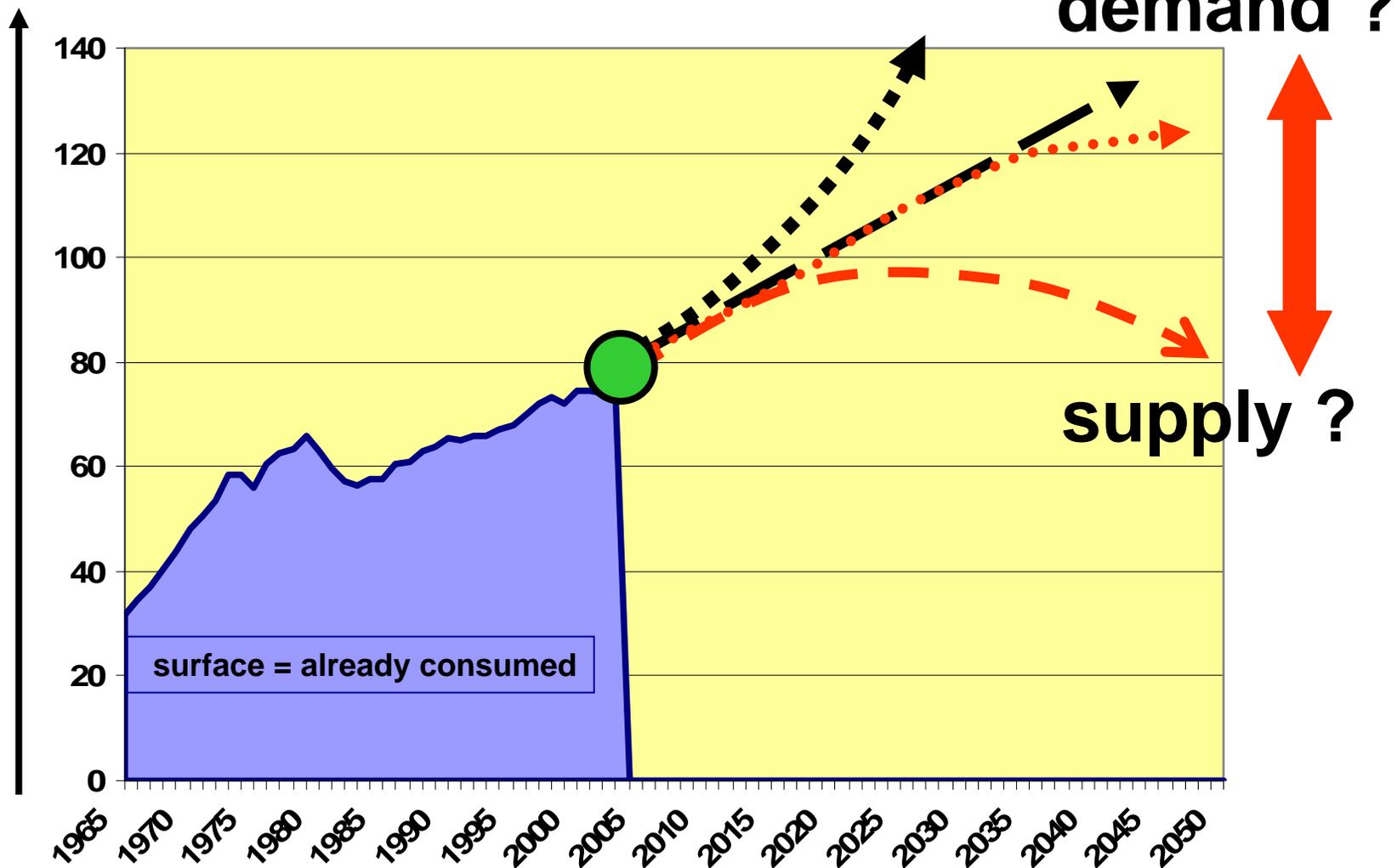


profils de production

à l'horizon 2050

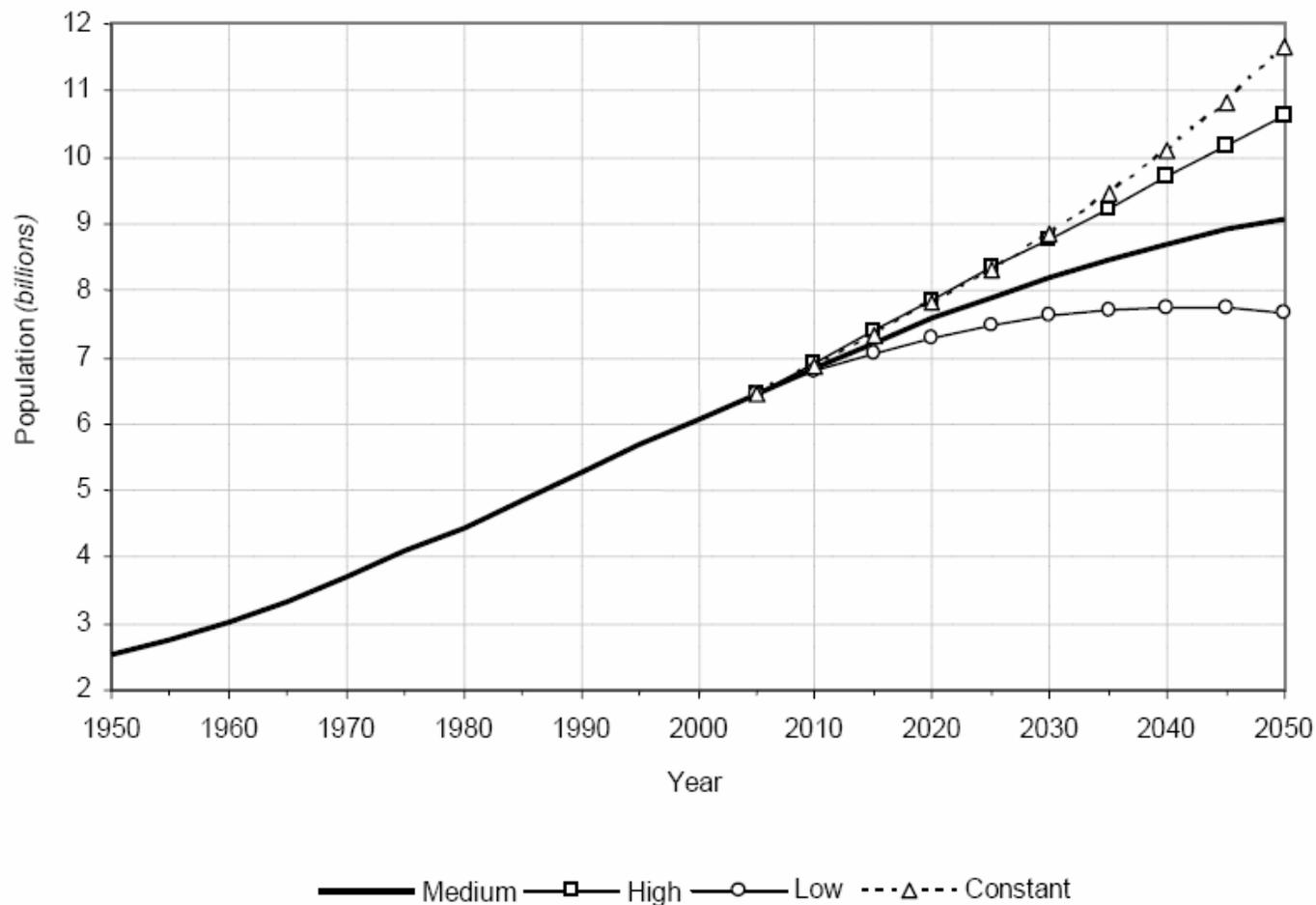
où allons-nous ??

world oil production (Mboe/d)



population mondiale en 2050 (source UN 2004)

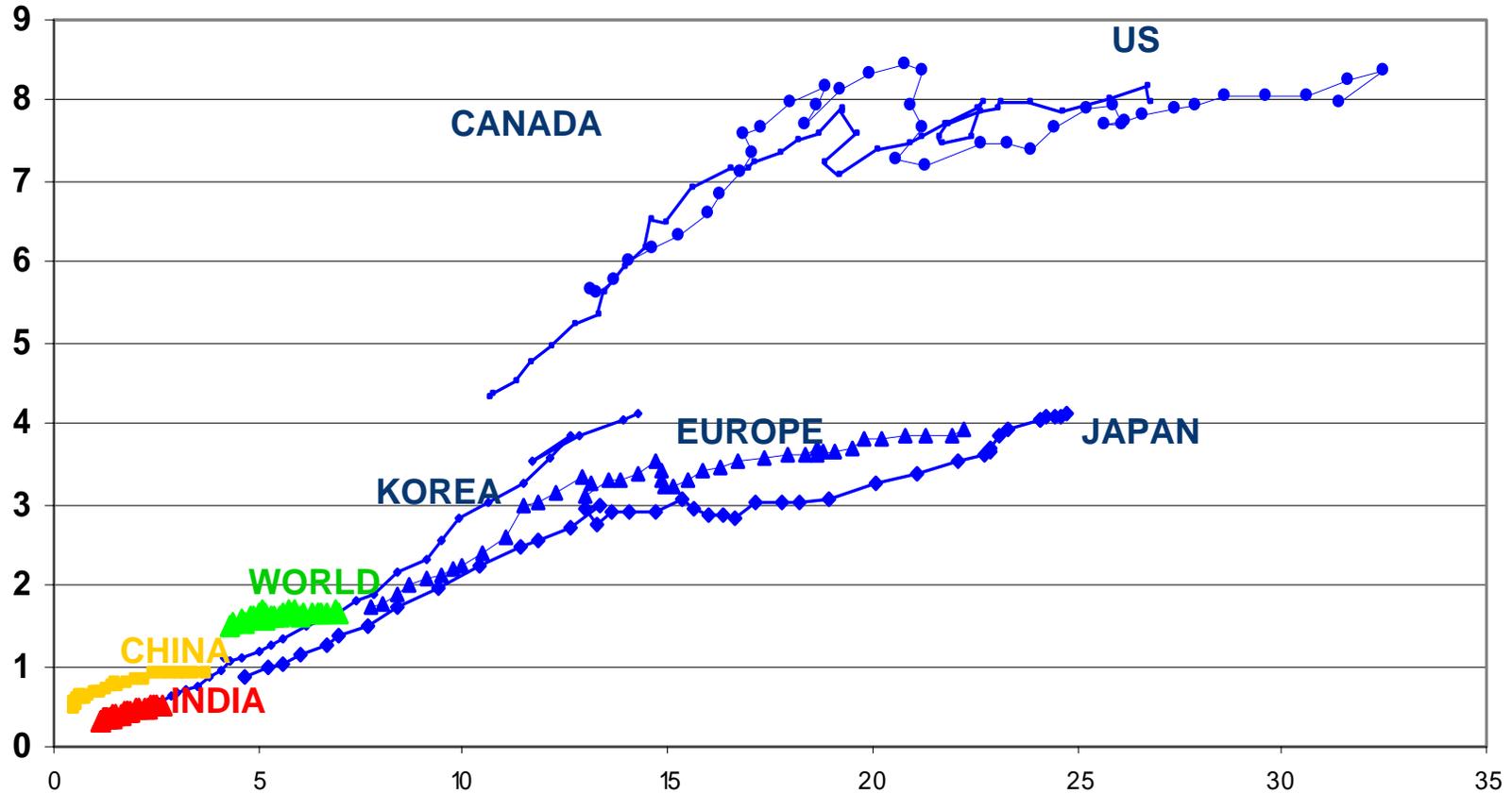
Figure I.2. World population, estimates and projection variants, 1950–2050



energy consumption per capita

energy consumption per capita (toe/h)

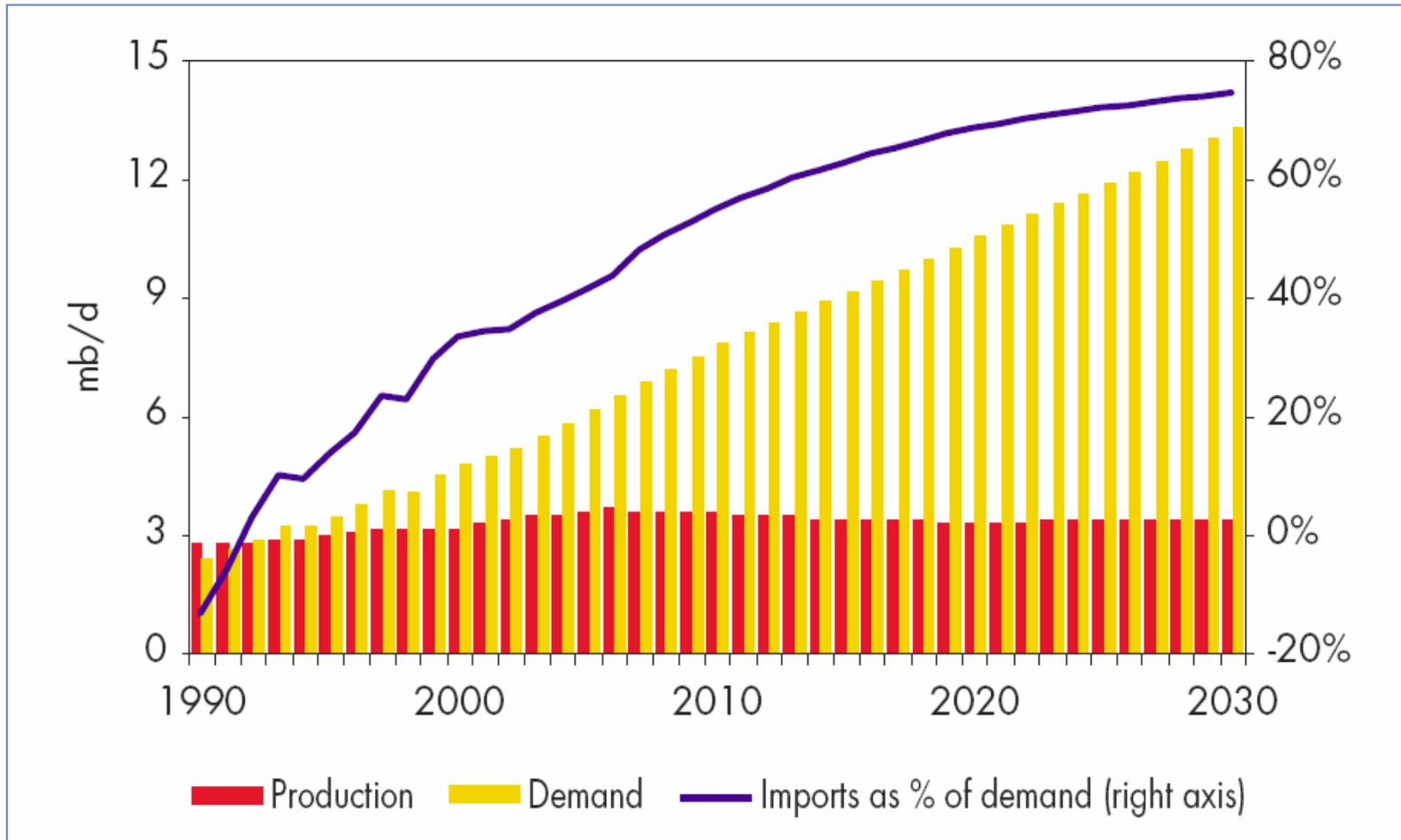
period covered 1960-2001 or 1971-2001



Source : AIE

GDP per capita (k\$1995 PPP)

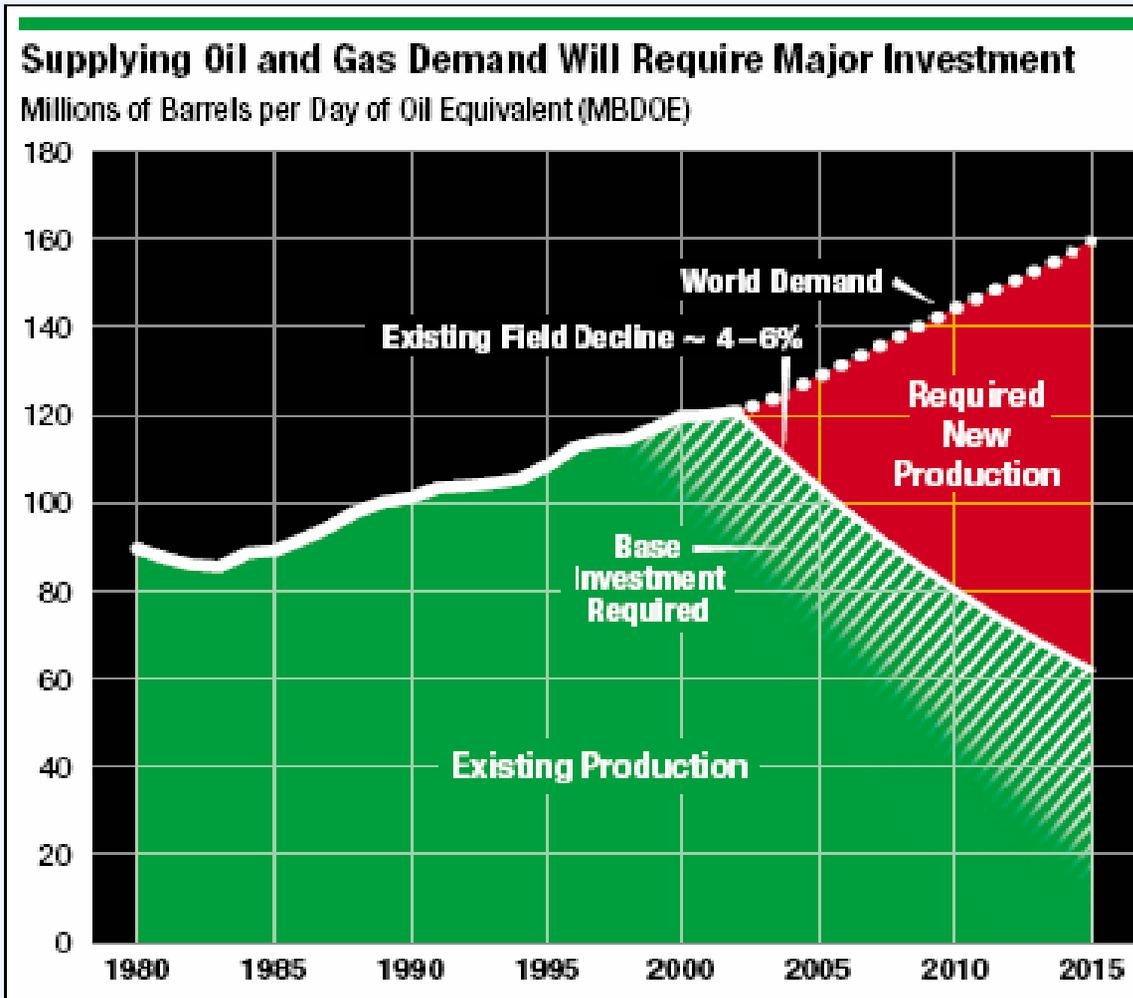
Figure 8.14: Oil Balance in China



source IEA 2004 outlook

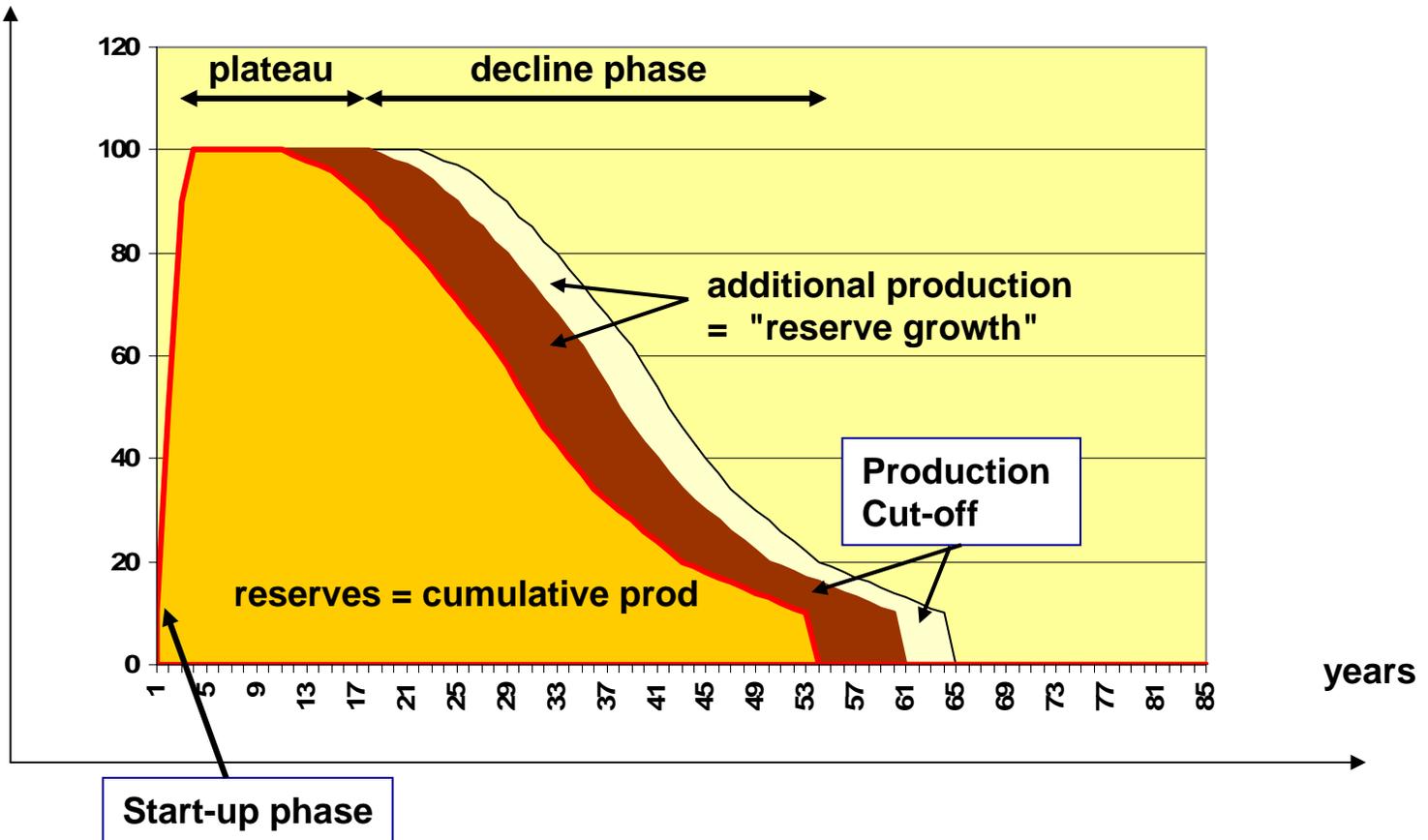
pétrole (& gaz naturel) :
vie et mort d'un gisement

un besoin permanent d'investissement pour maintenir le potentiel de production

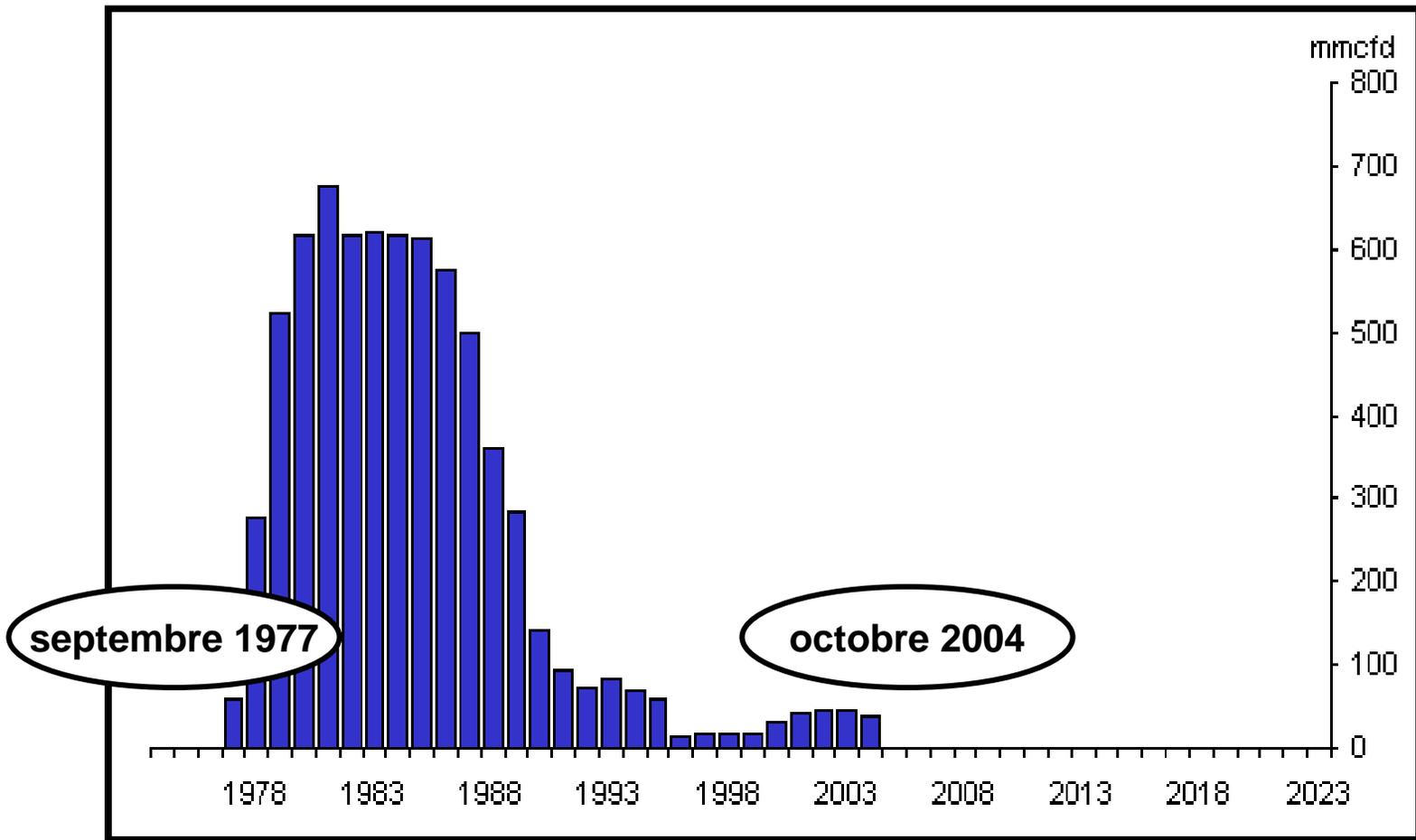


profil de production type pour un gisement

Production rate
in % of "nominal"

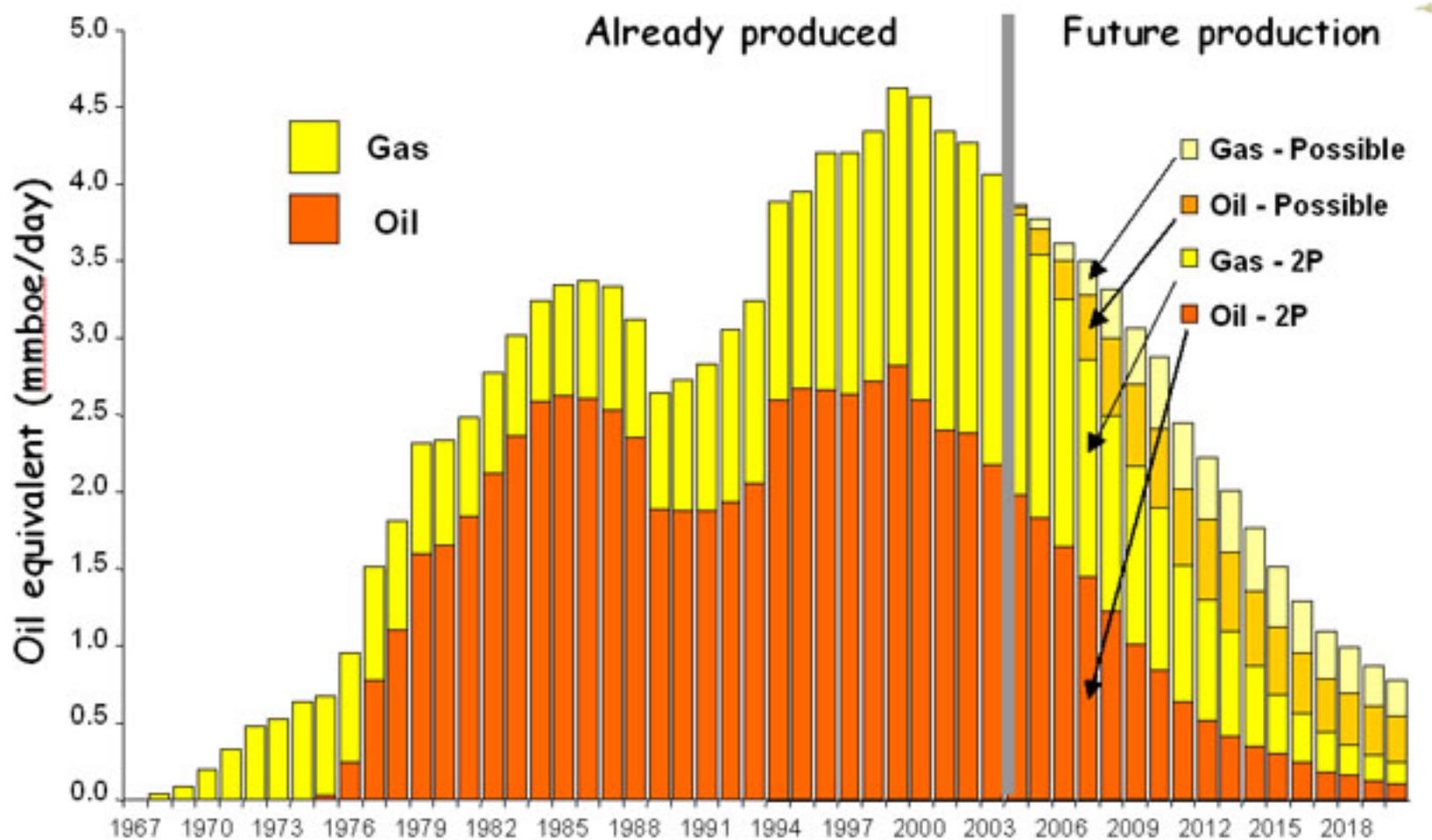


naissance et déclin du champ de FRIGG (gaz – Mer du Nord)



Production de gaz – FRIGG FIELD

déclin de production Mer du Nord UK : source UK DOE



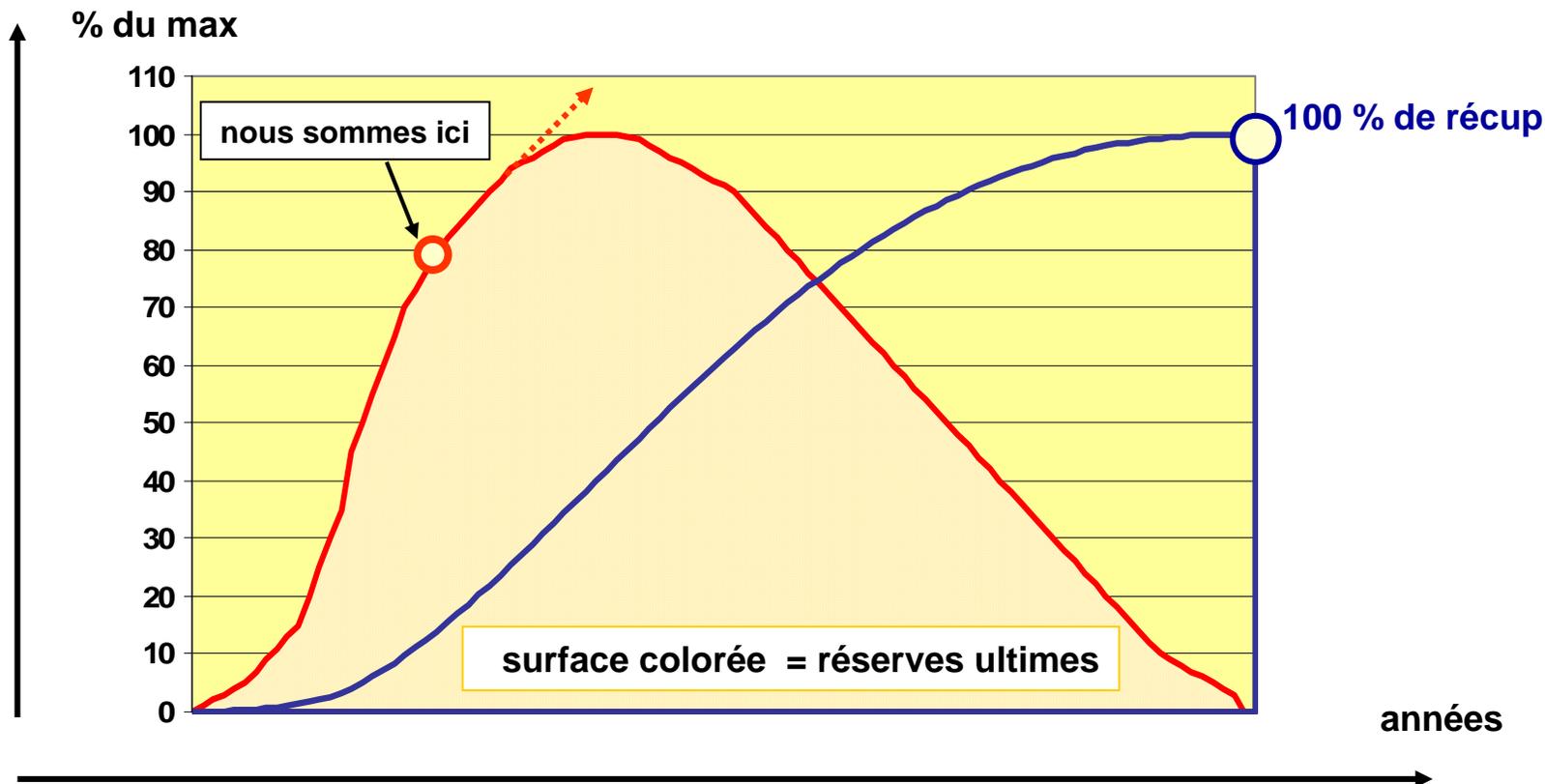
une ressource finie et épuisable

- ◆ on aura consommé en 200 ans ce que la nature a fait en 200 millions d'années !
- ◆ le paradoxe du mineur : plus on consomme, plus on doit augmenter le rythme de renouvellement des réserves (taux de remplacement)
 - on détruit le stock
 - un exercice qui ne peut pas se prolonger indéfiniment
 - sans parler du coût croissant des réserves nouvelles

→ il y a forcément une butée quelque part !

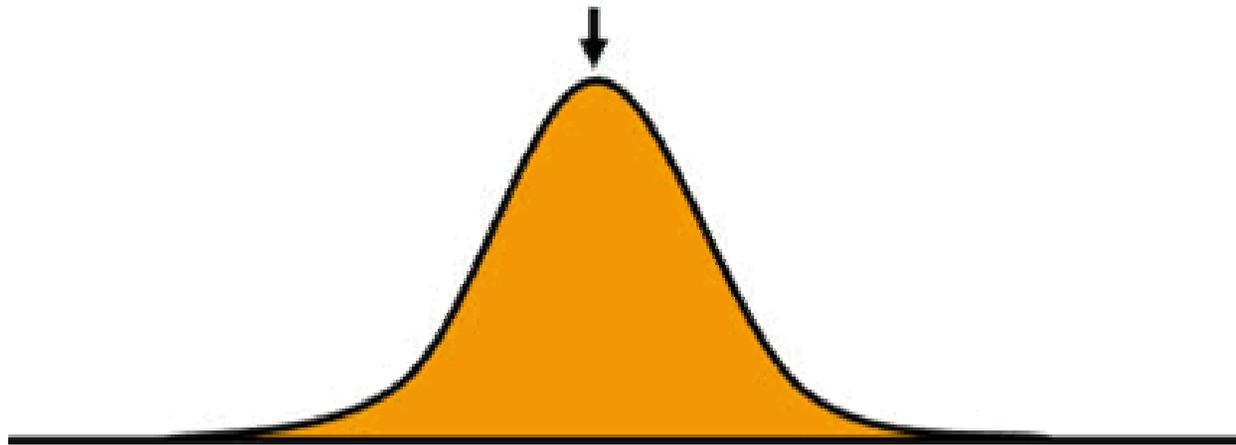
courbe de "Hubbert" type pour les réserves mondiales

Production en fonction du temps



Wake up!!!

We are here

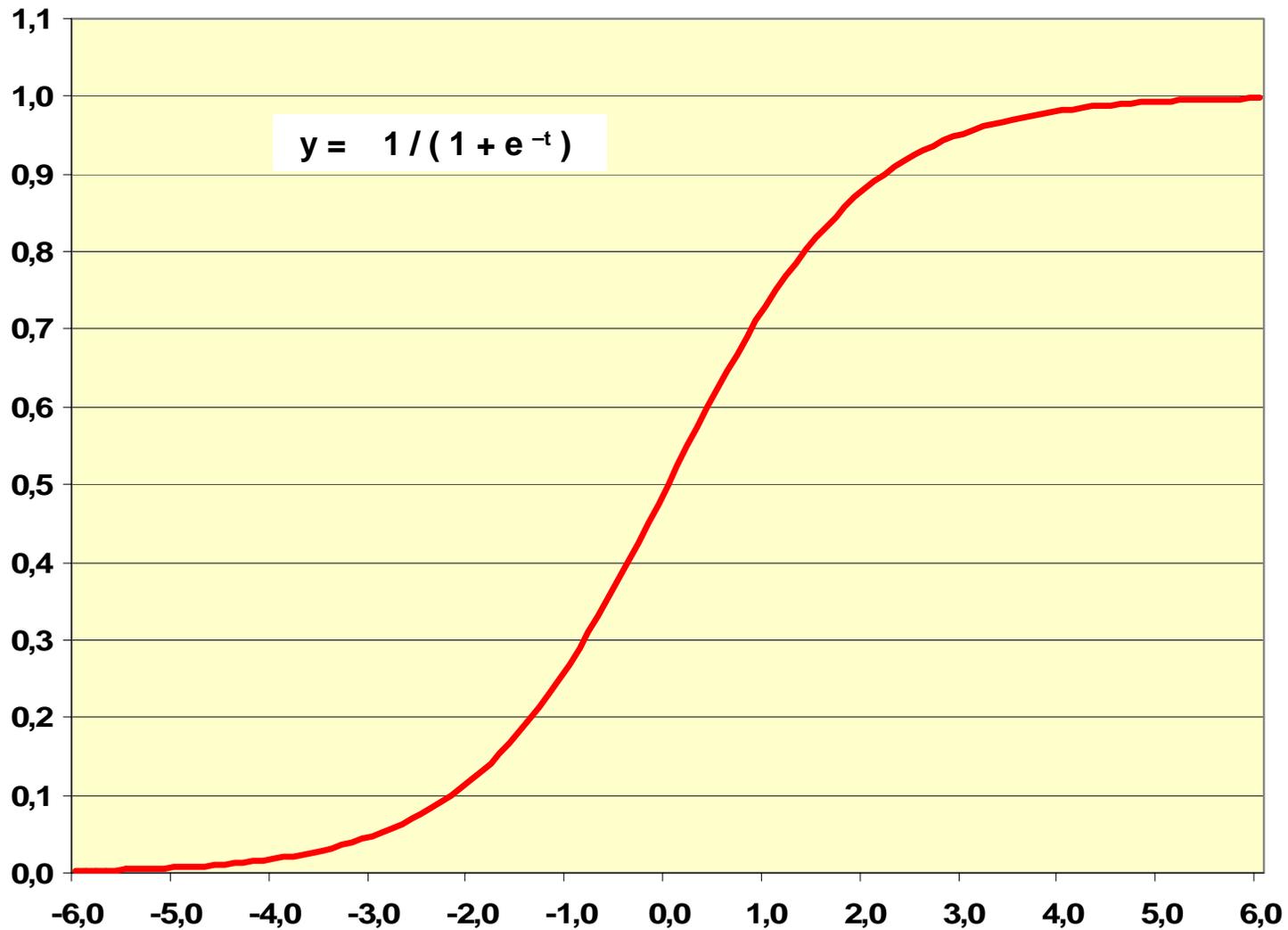


Peak Oil

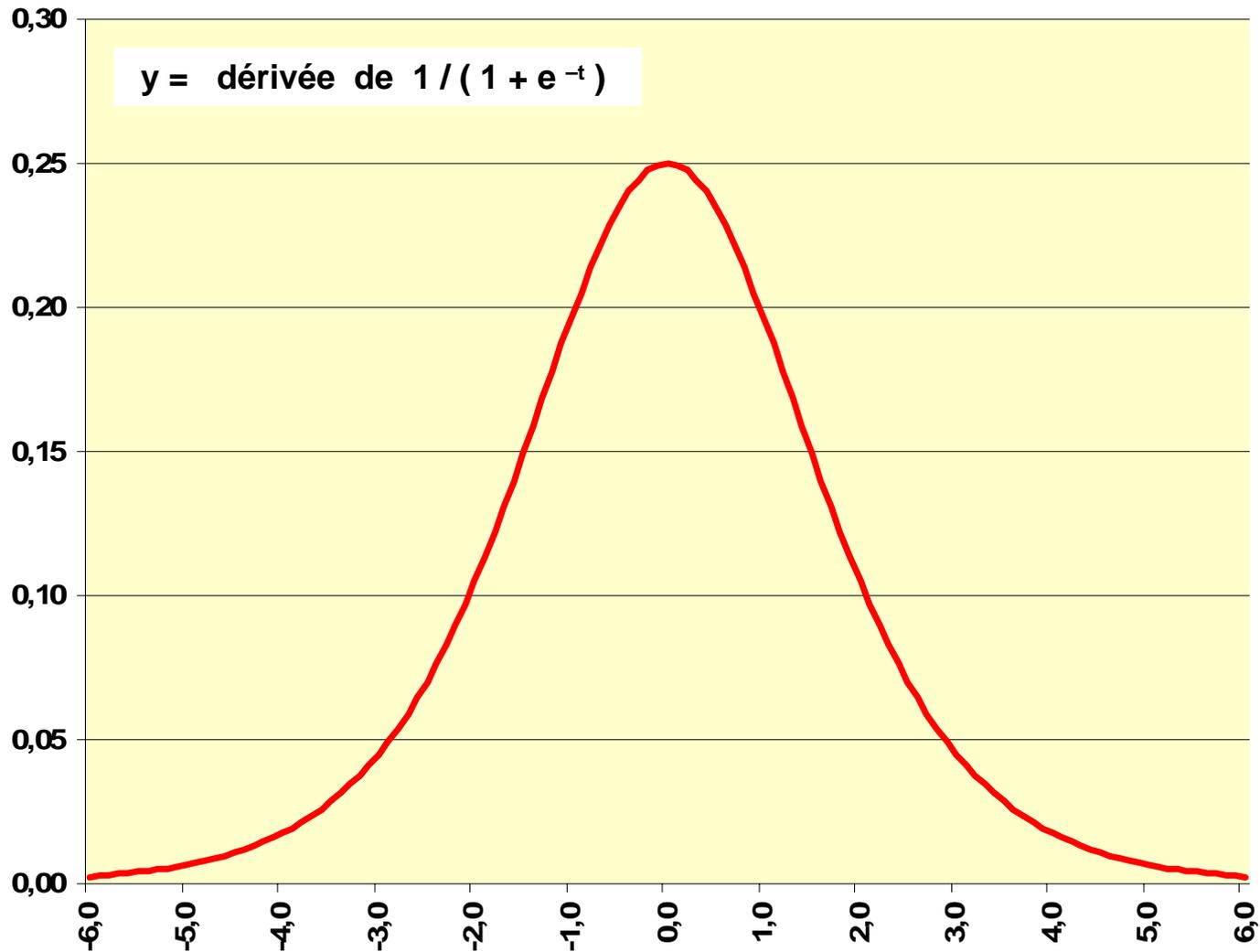
www.oilcrisis.com
www.peakoil.com

www.oilcrisis.com

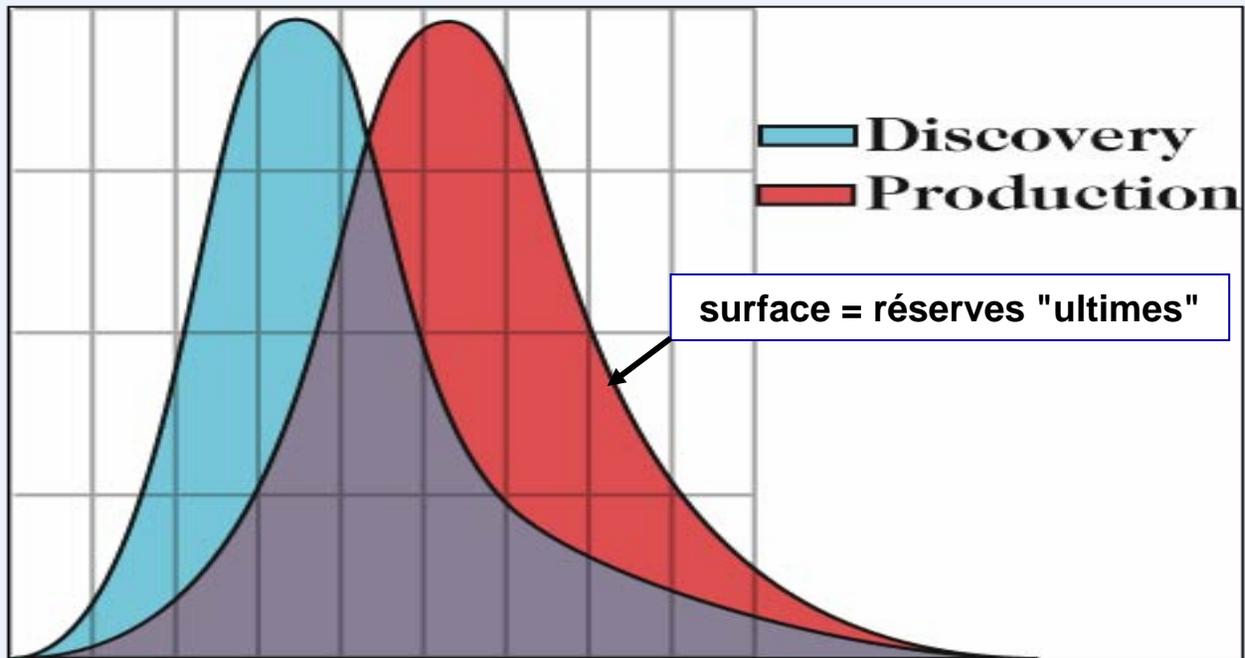
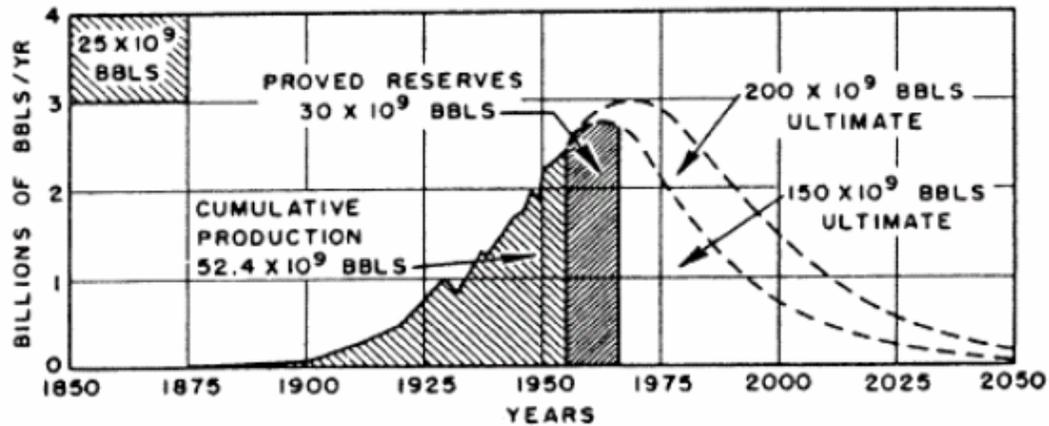
la courbe "logistique" (ou "courbe en S")



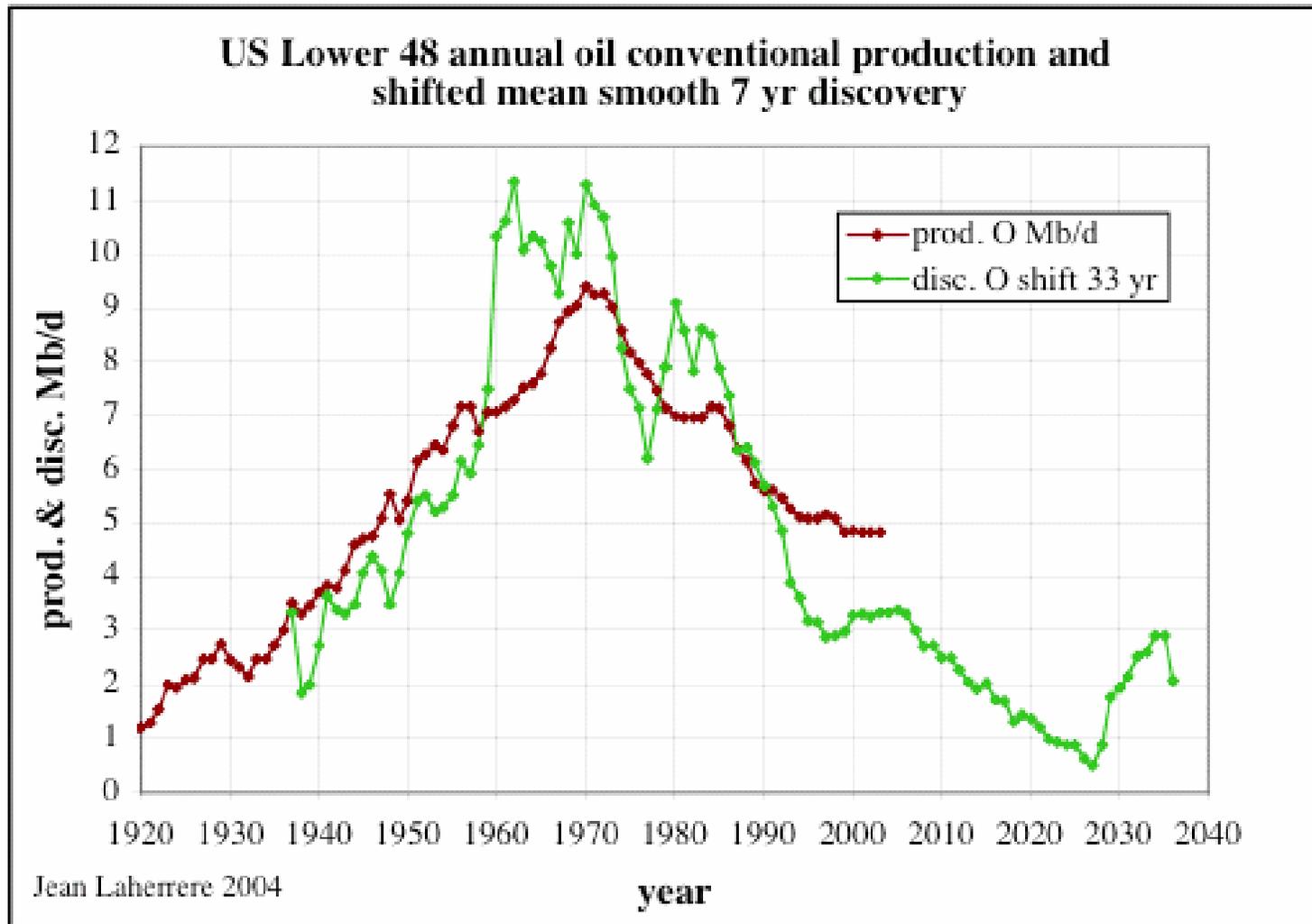
la courbe de Hubbert



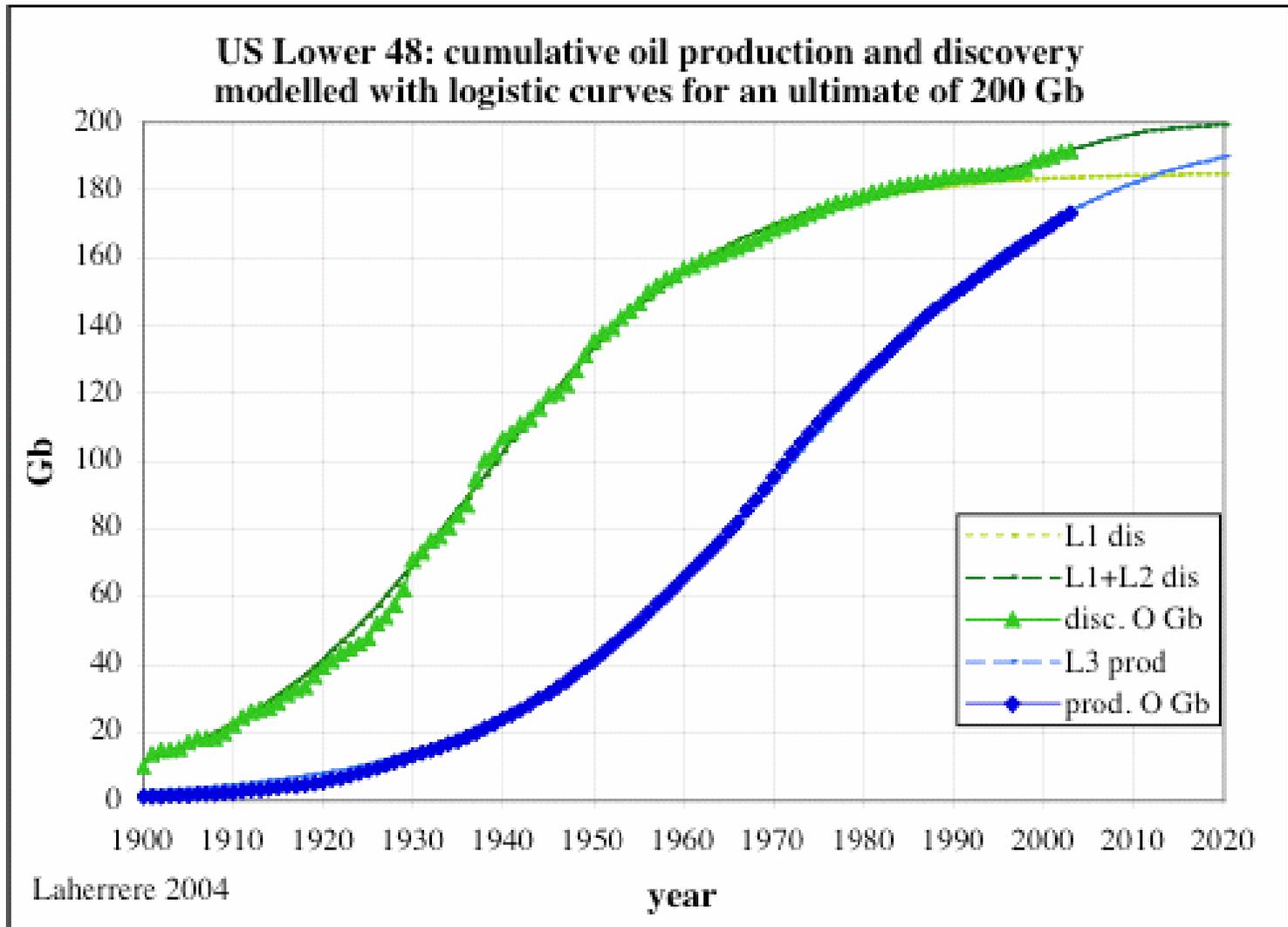
le pic de Hubbert



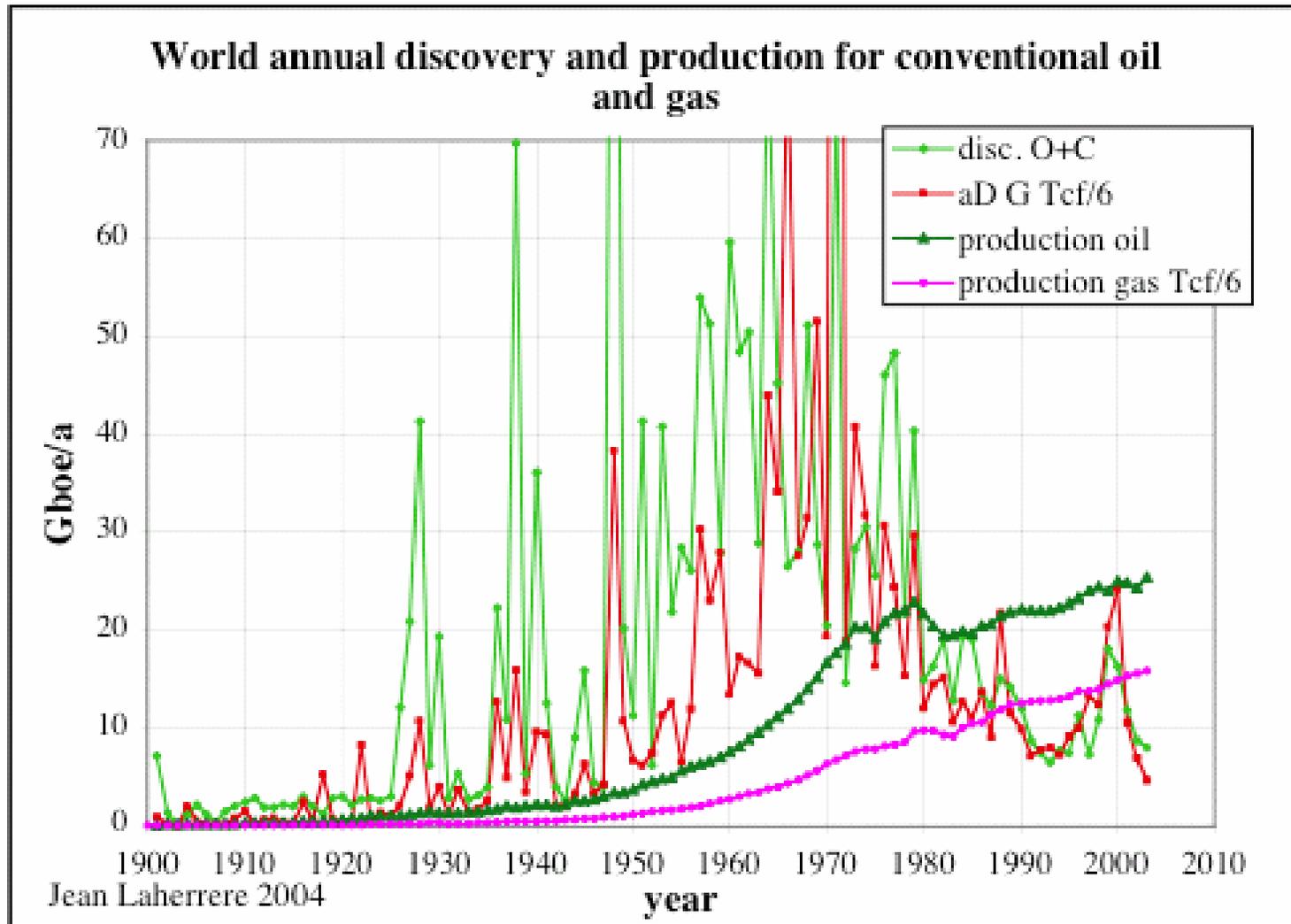
la courbe de Hubbert pour les USA (pétrole)



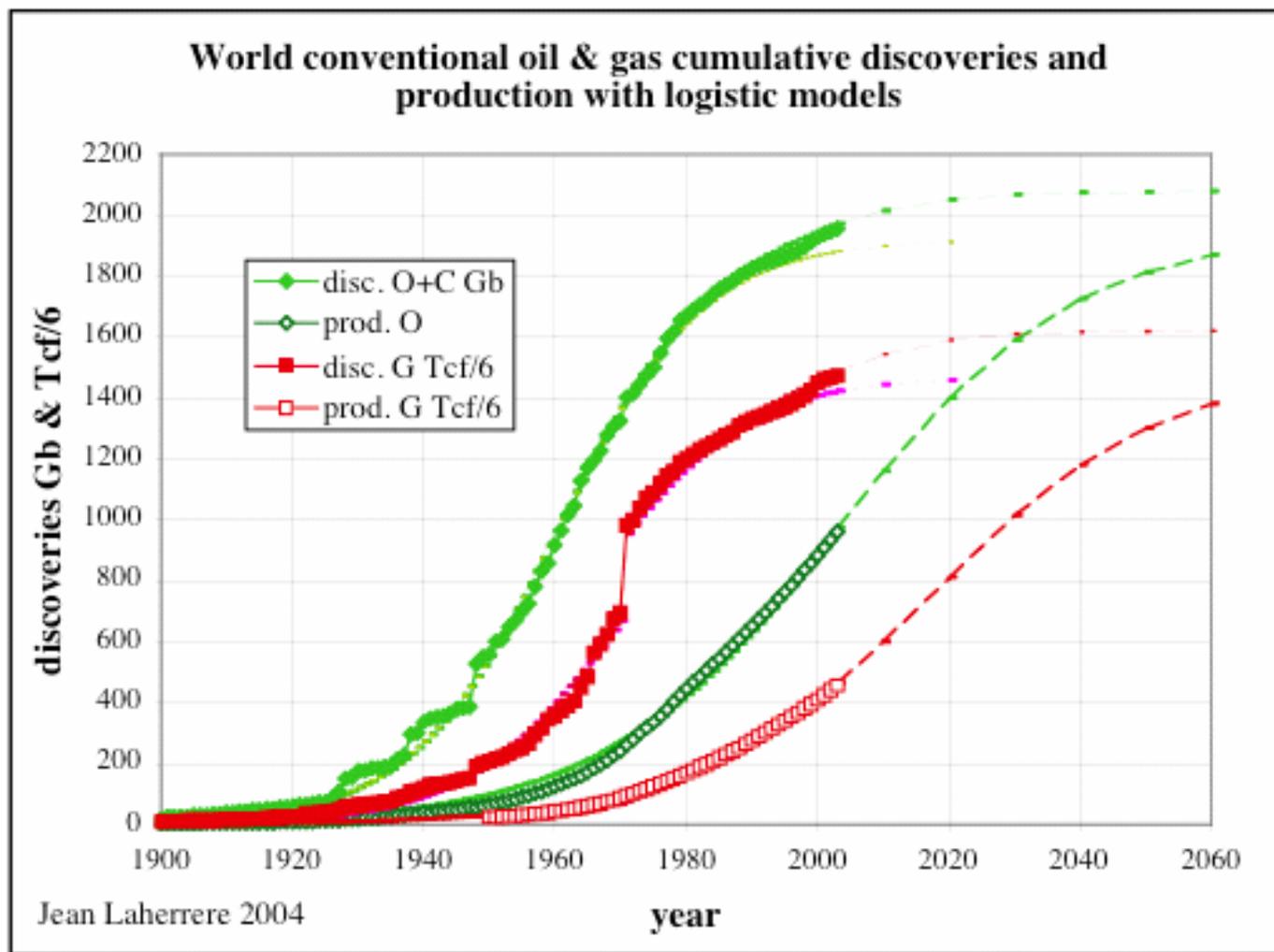
US cumulative oil discoveries & productions



courbes découvertes & production / pétrole & gaz / monde

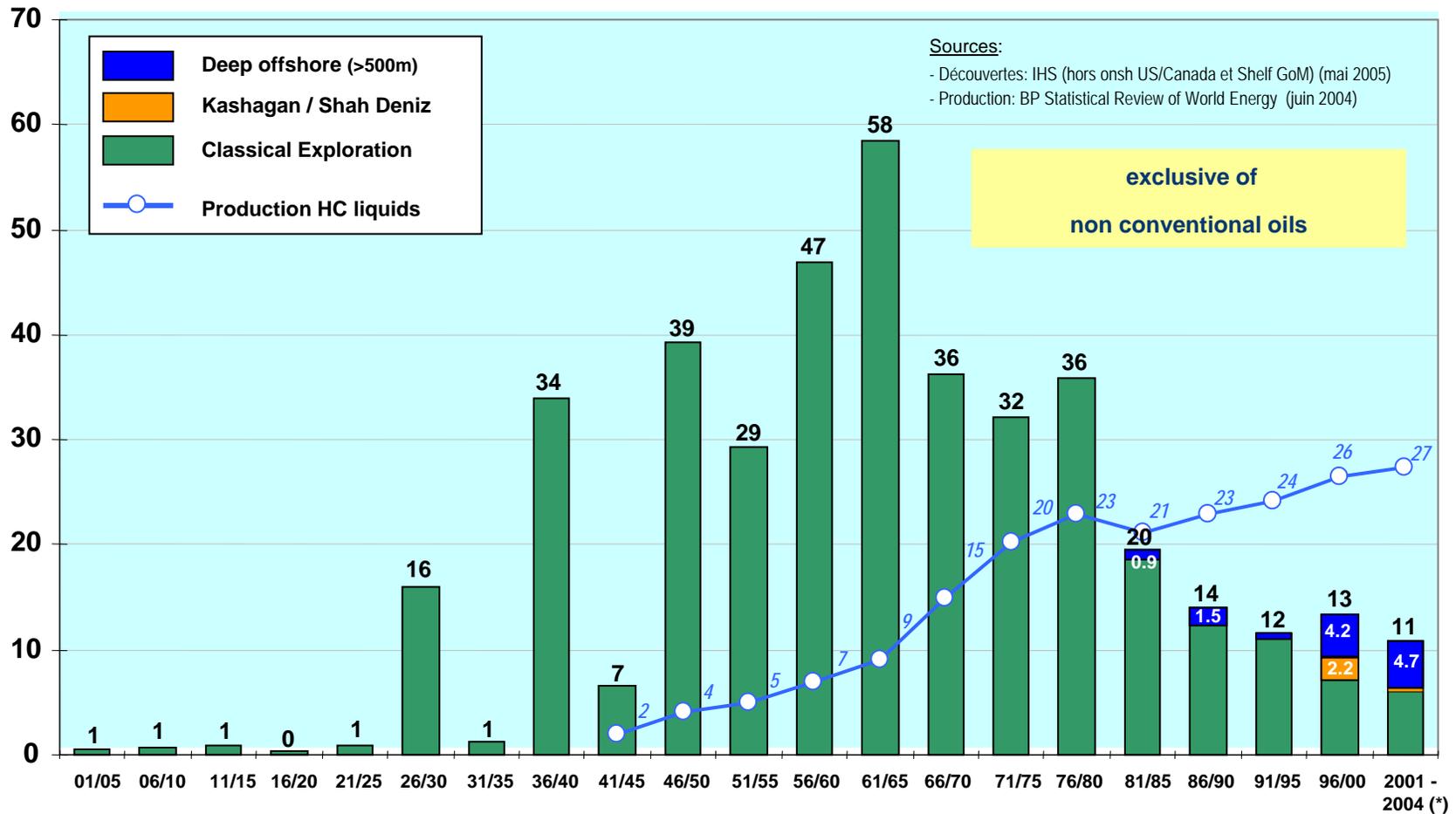


découvertes et production cumulées / pétrole & gaz / monde



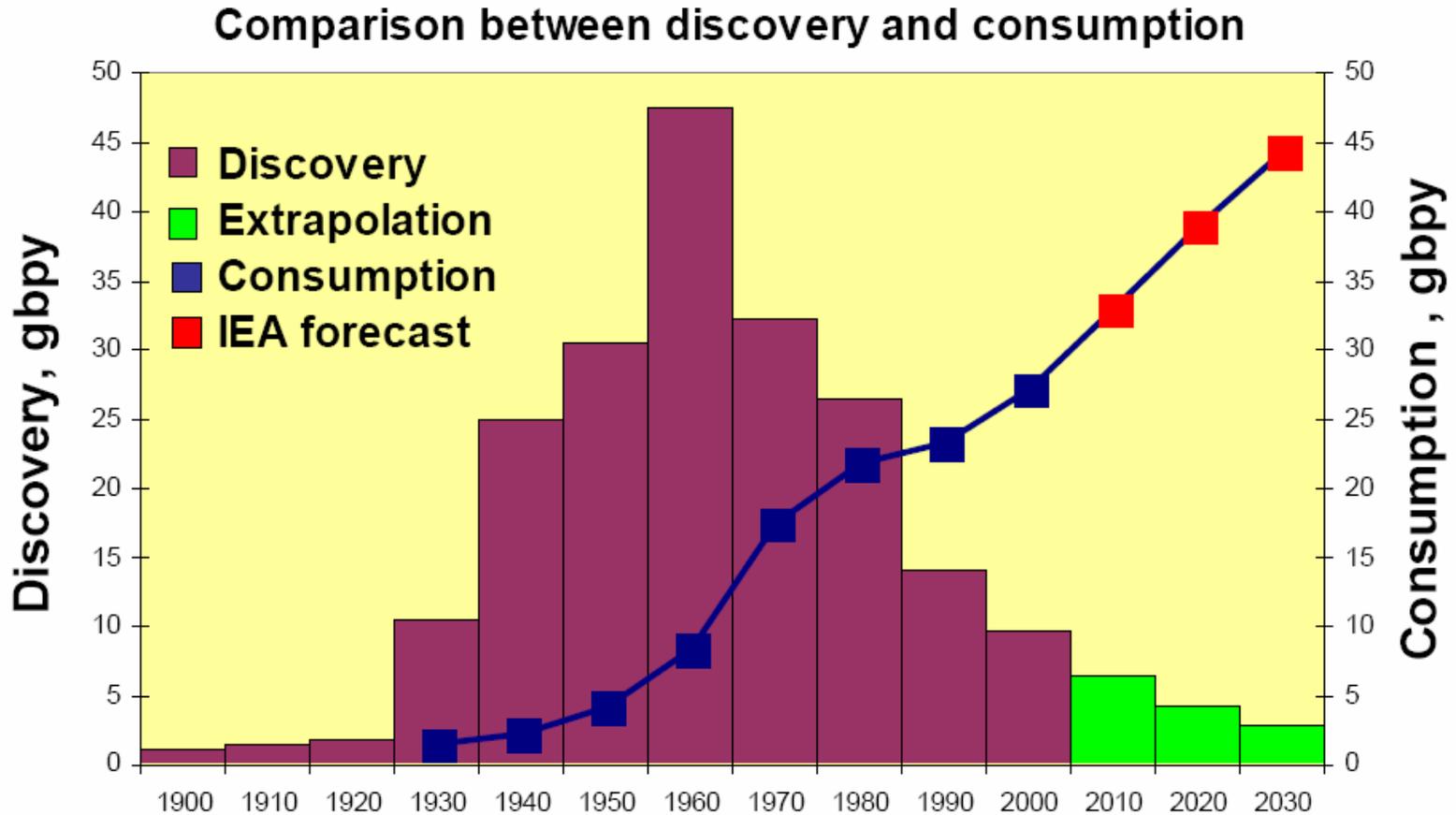
historique des découvertes vs production : pétrole

Gb/yr (5 yrs averages)



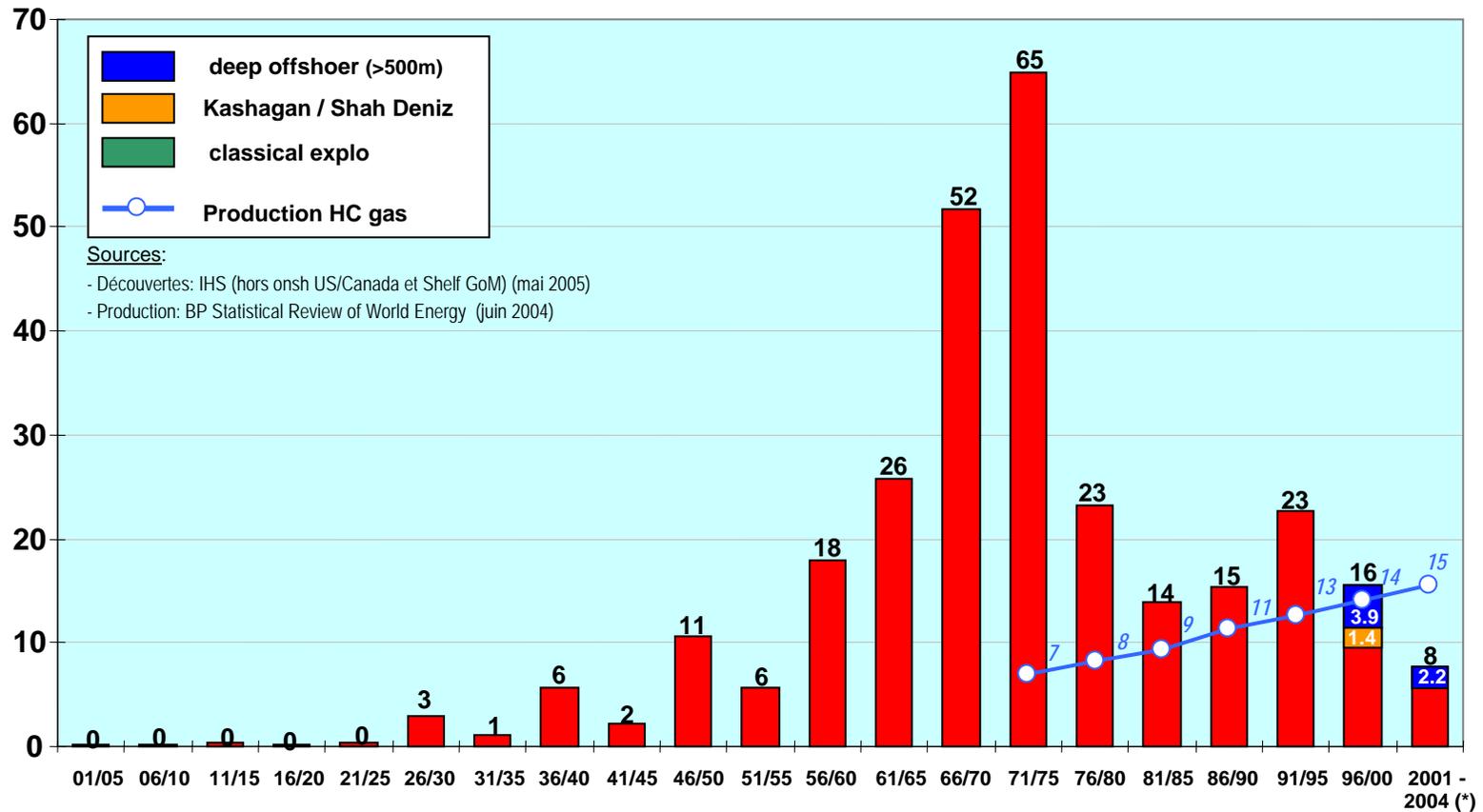
(*) moyenne sur 4 ans

historique des découvertes vs production : pétrole



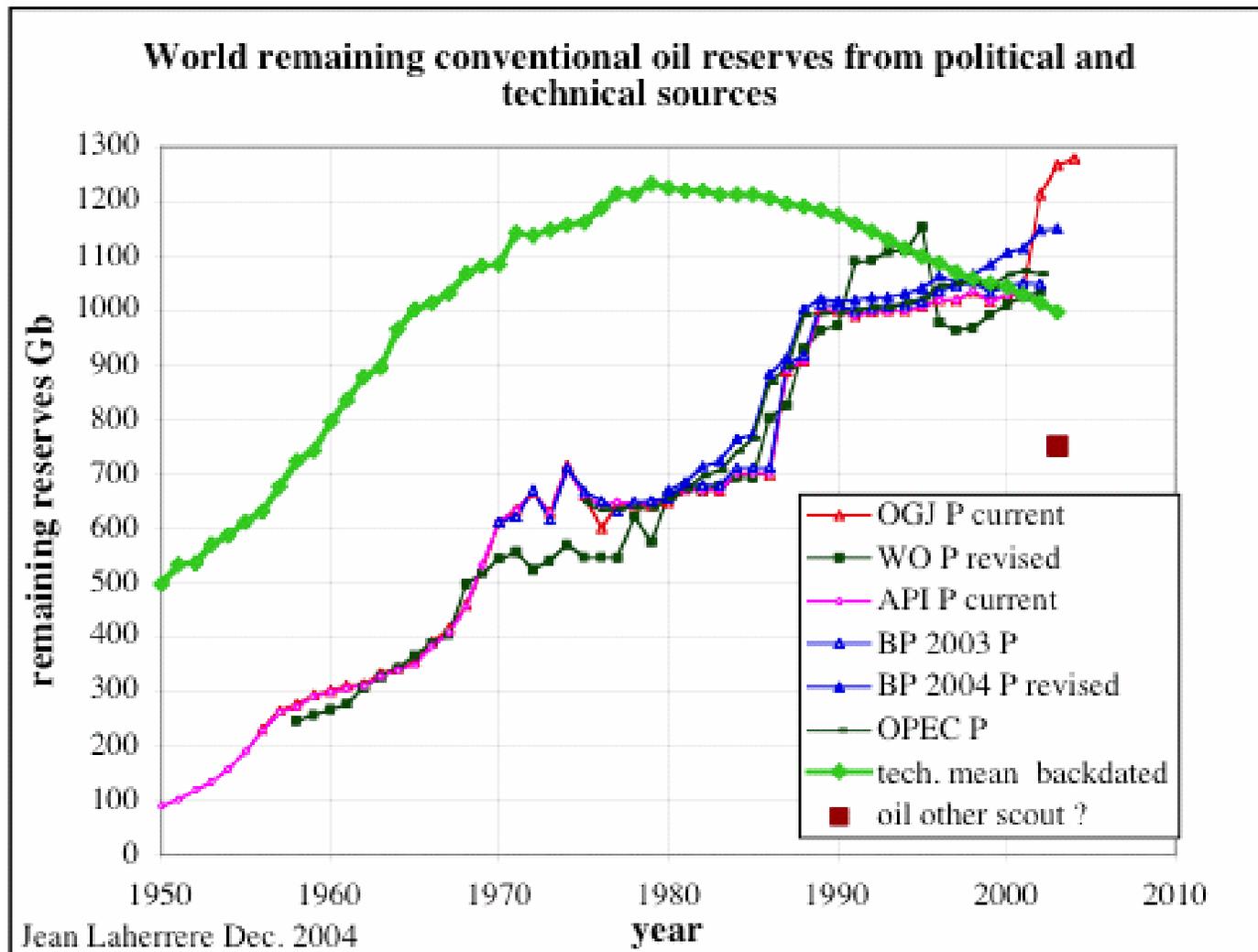
historique des découvertes vs production : gaz

Gboe/yr (5 years average)

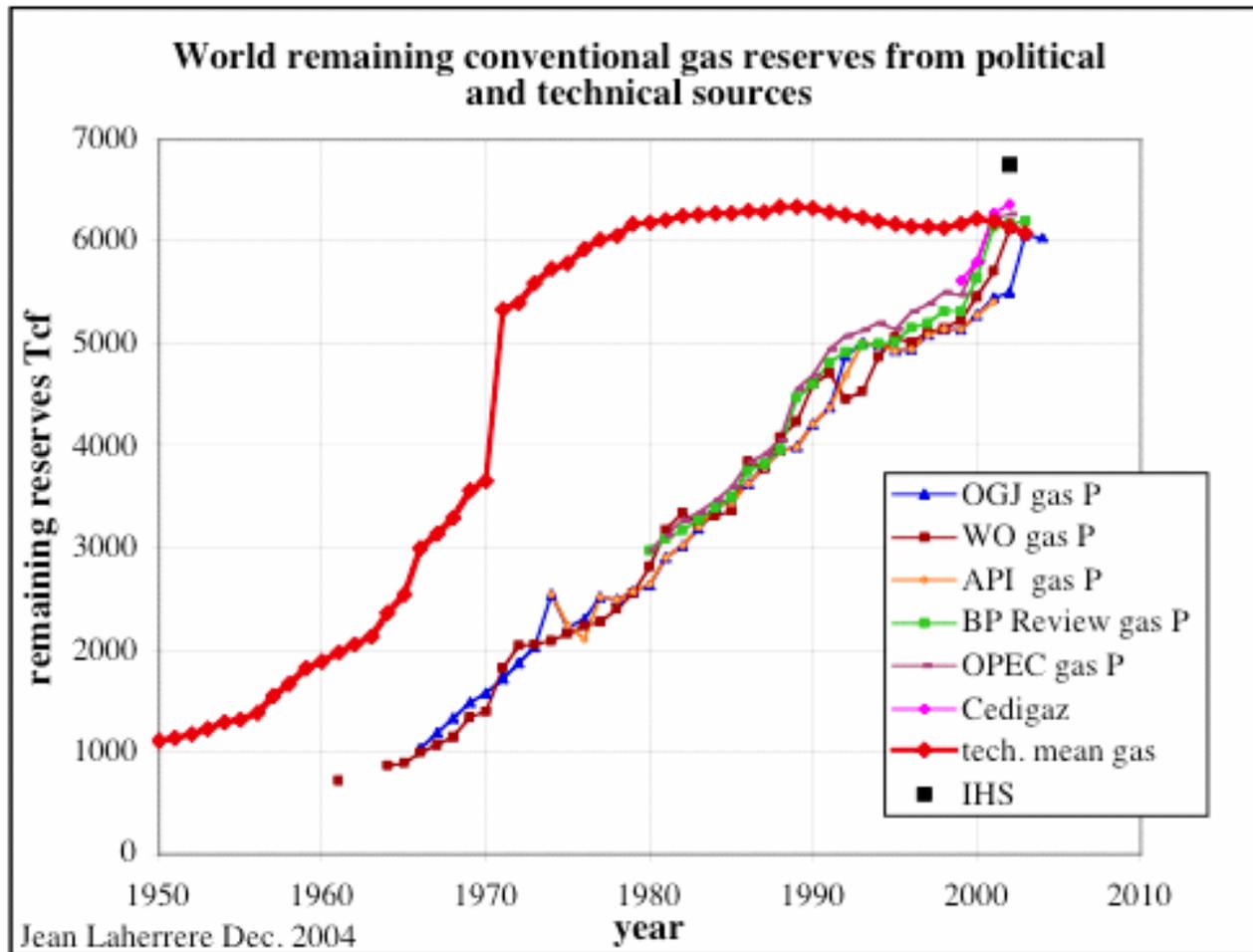


(*) moyenne sur 4 ans

oil reserves vs time

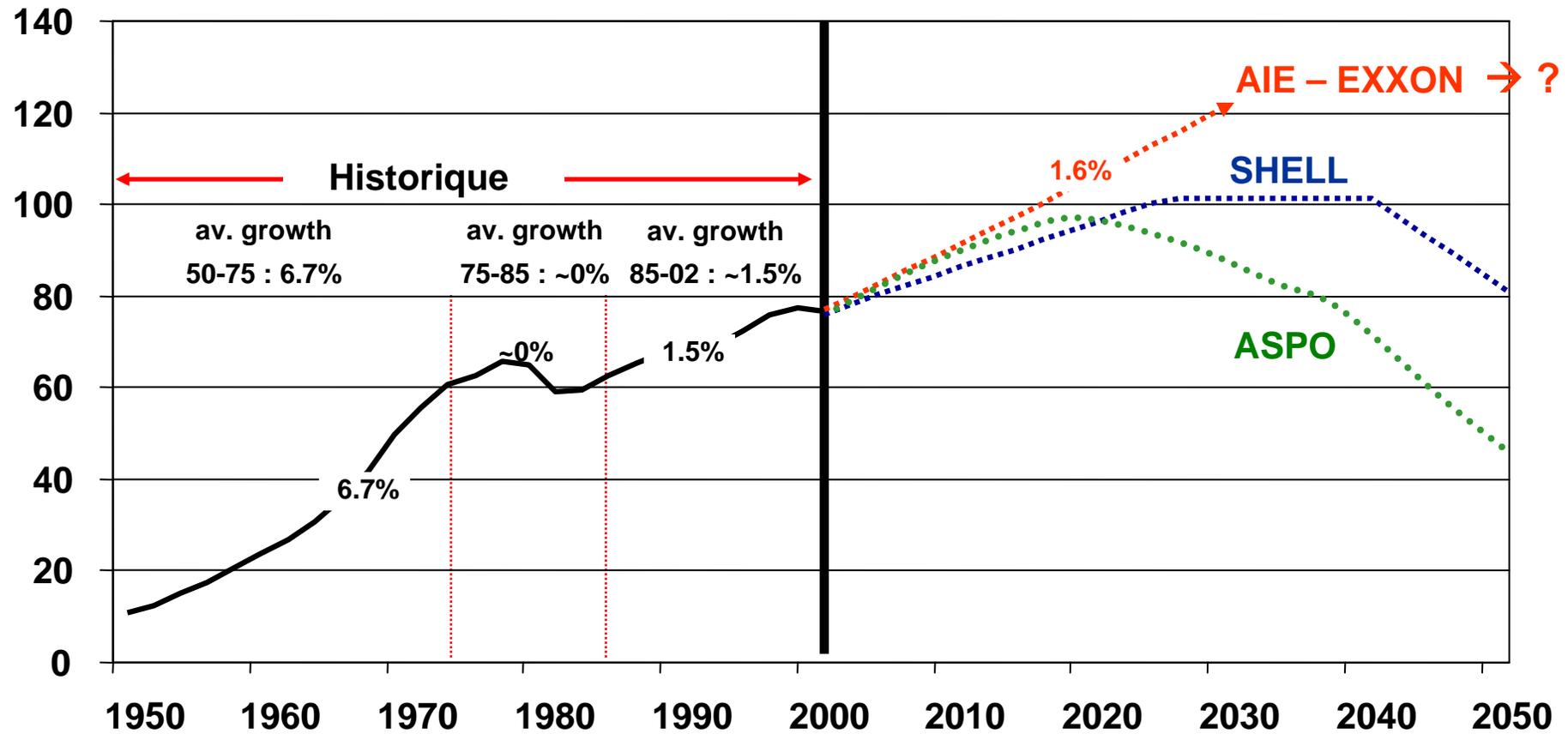


gas reserves vs time



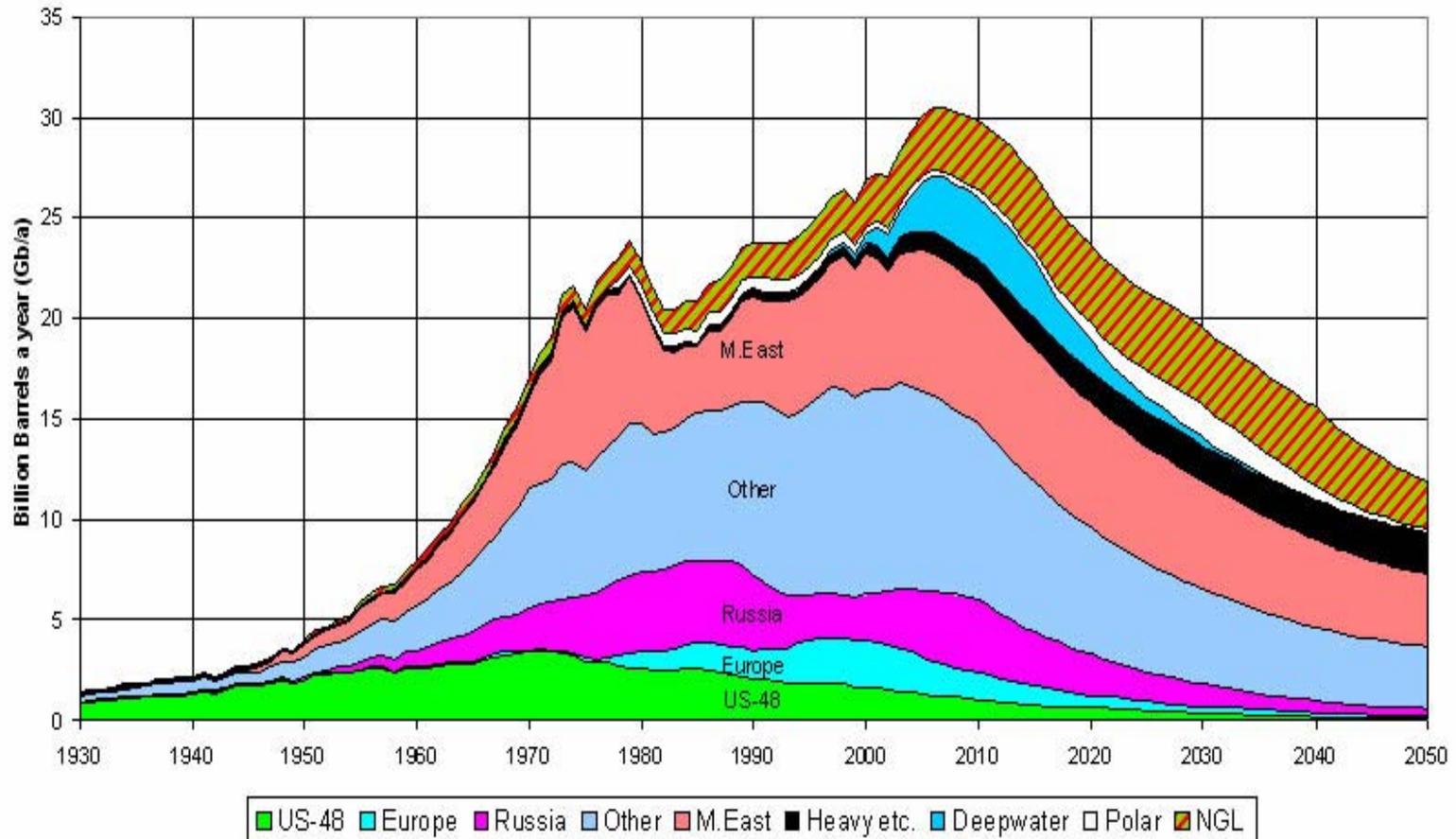
peak or no peak ?? la question du "peak oil"

Mb/d

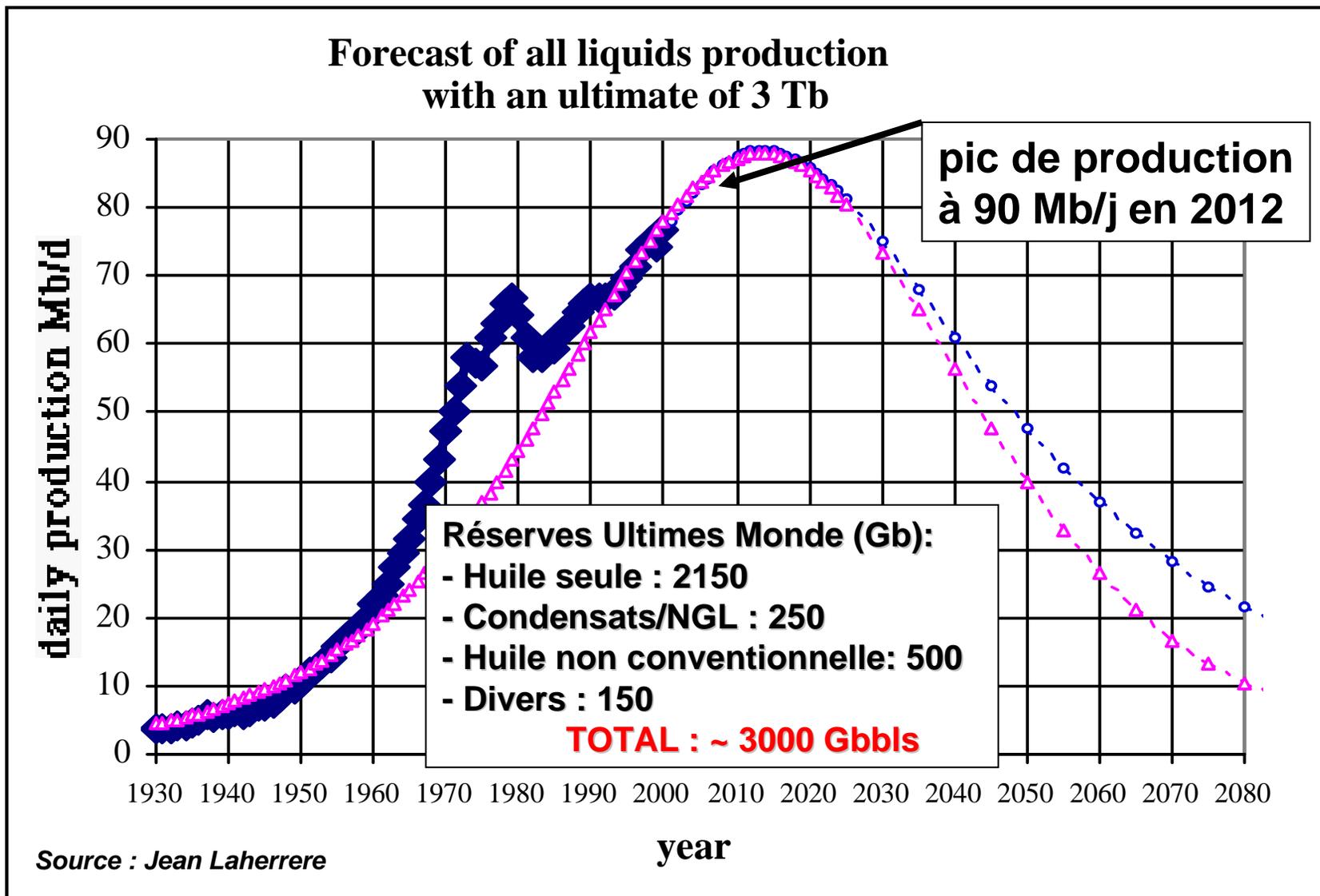


OIL AND GAS LIQUIDS 2004 Scenario

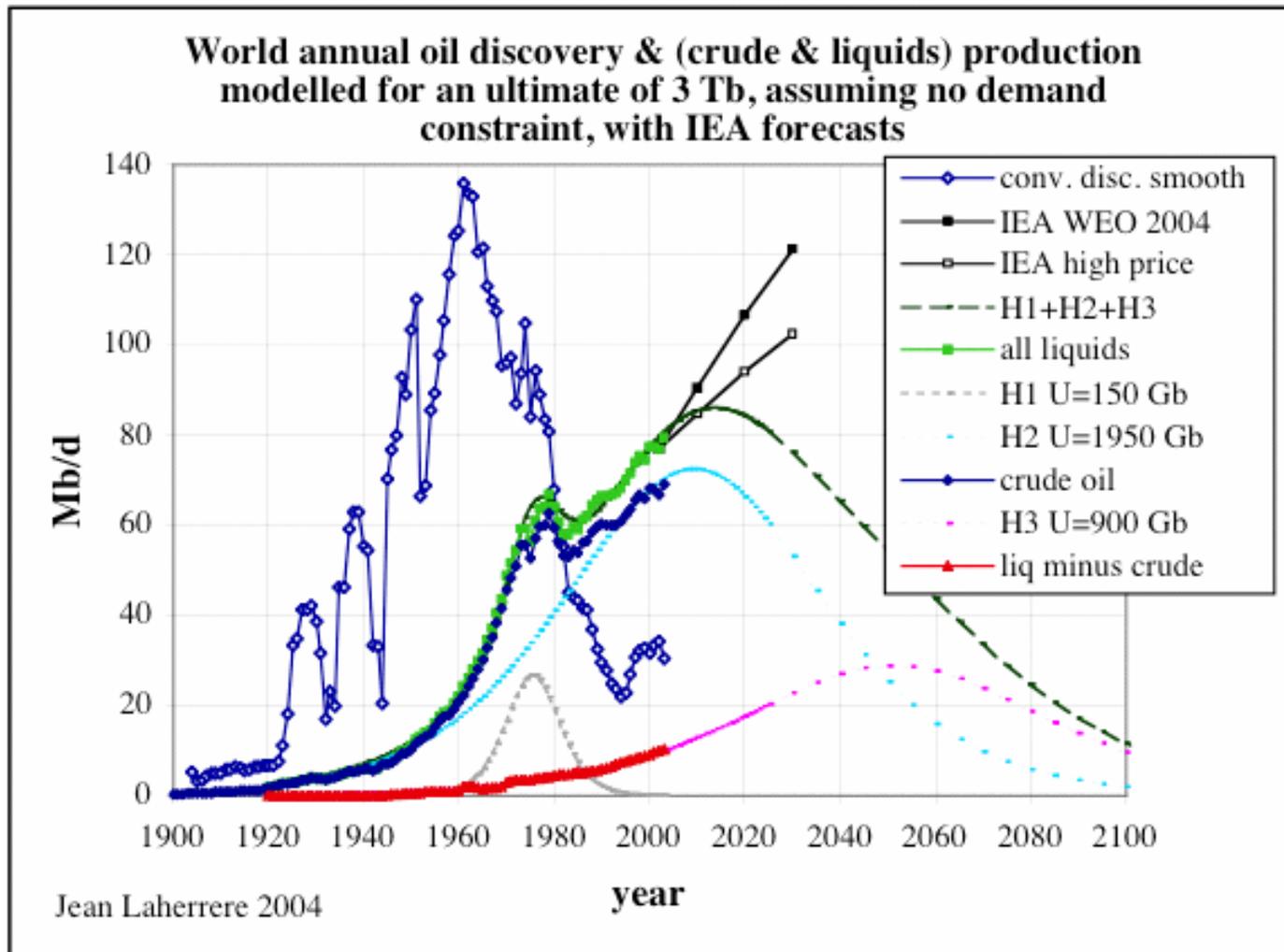
source = Campbell



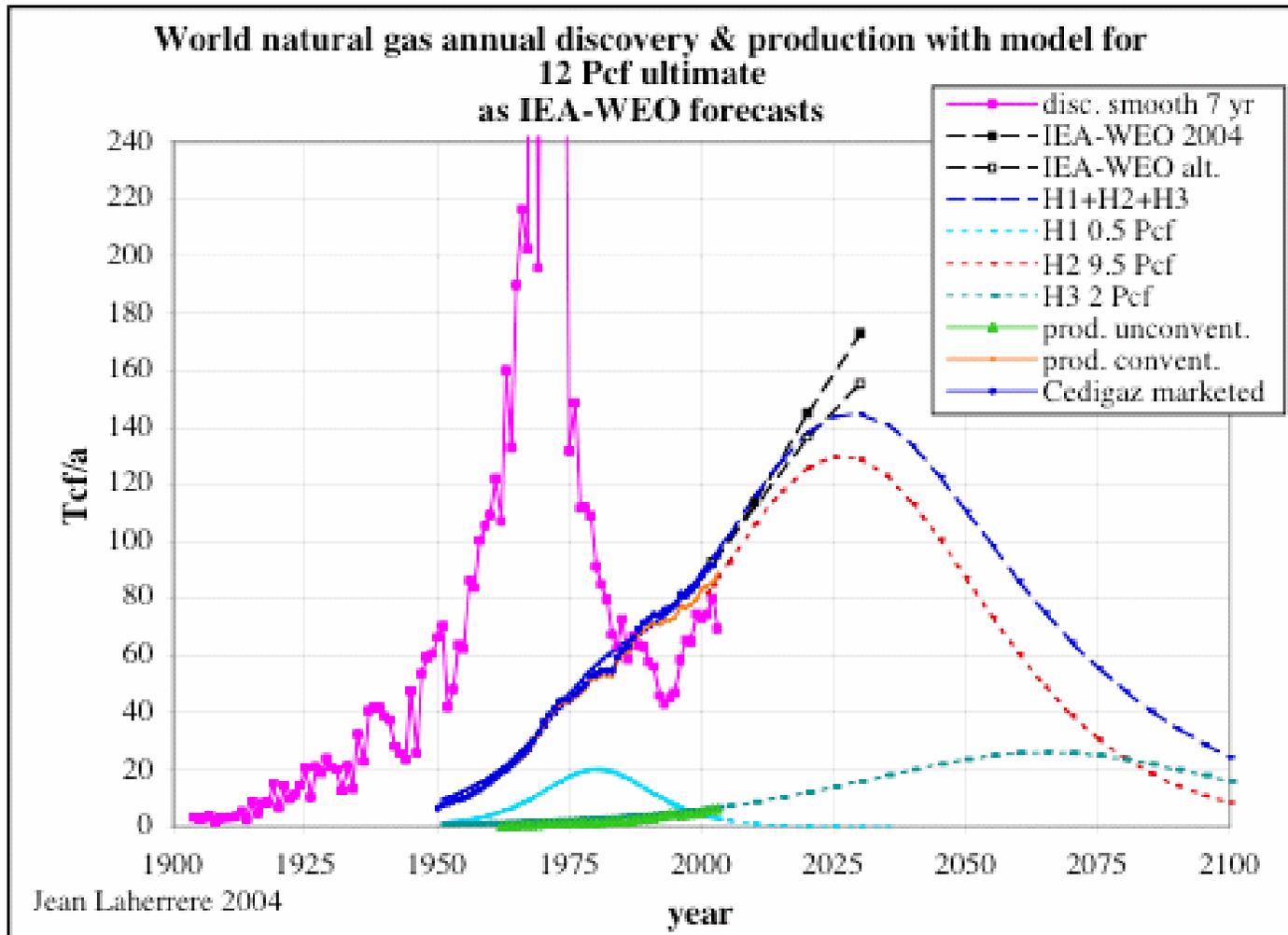
avec tous les liquides : réserves ultimes 3000 Gb déclin vers 2010 – 2020 (Laherrère)



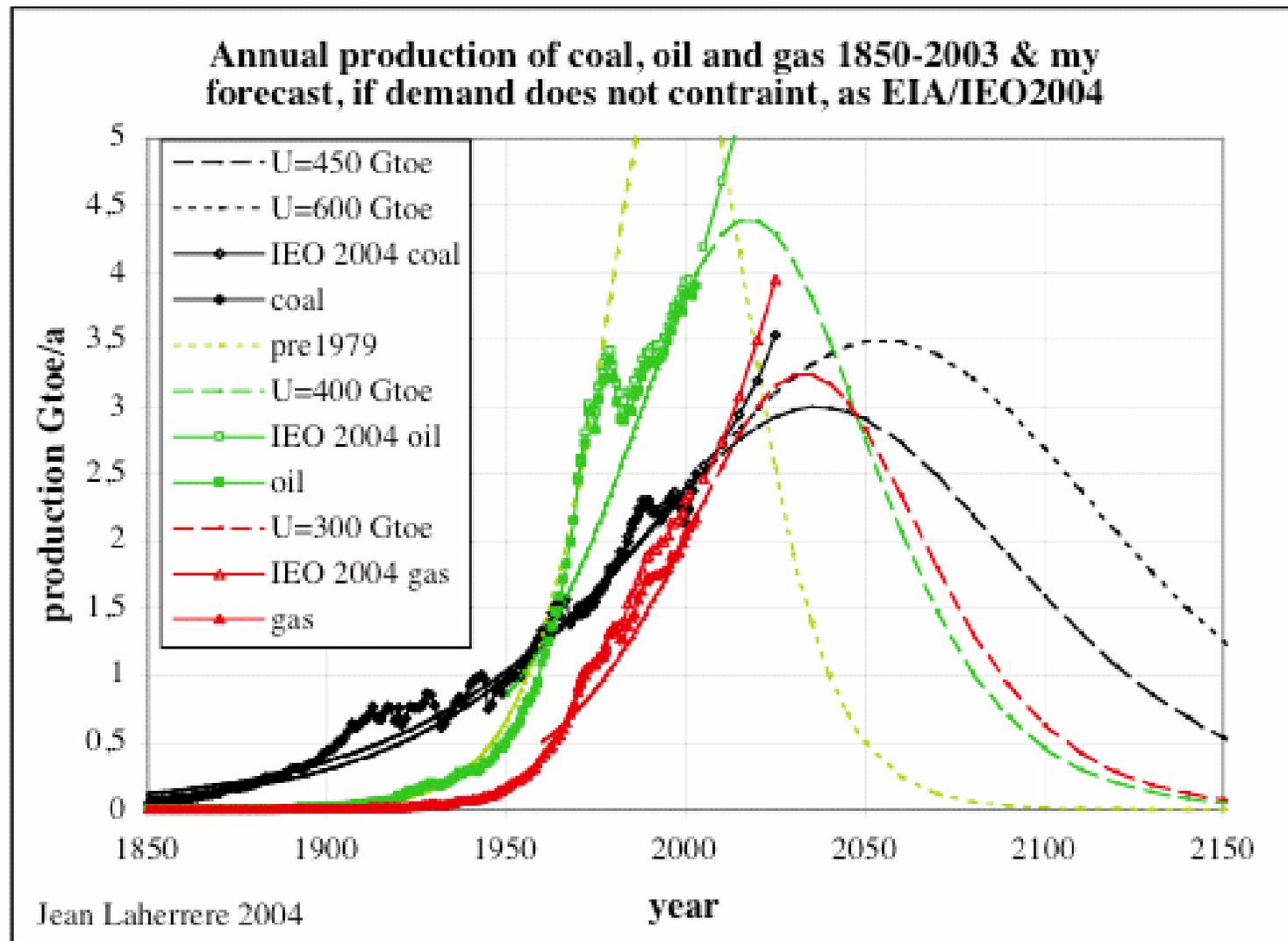
courbes de Hubbert (pétrole)



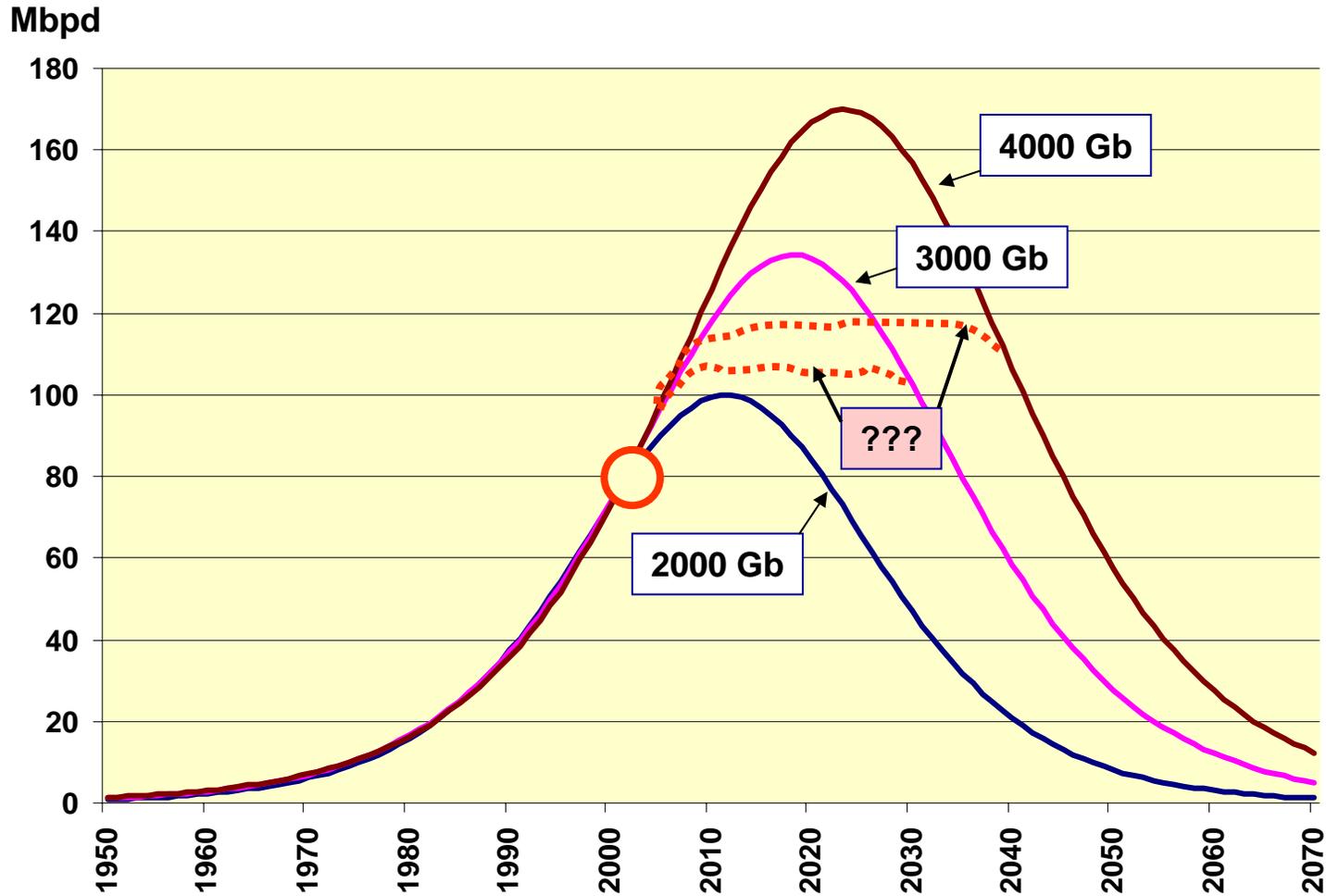
courbes de Hubbert (gaz)



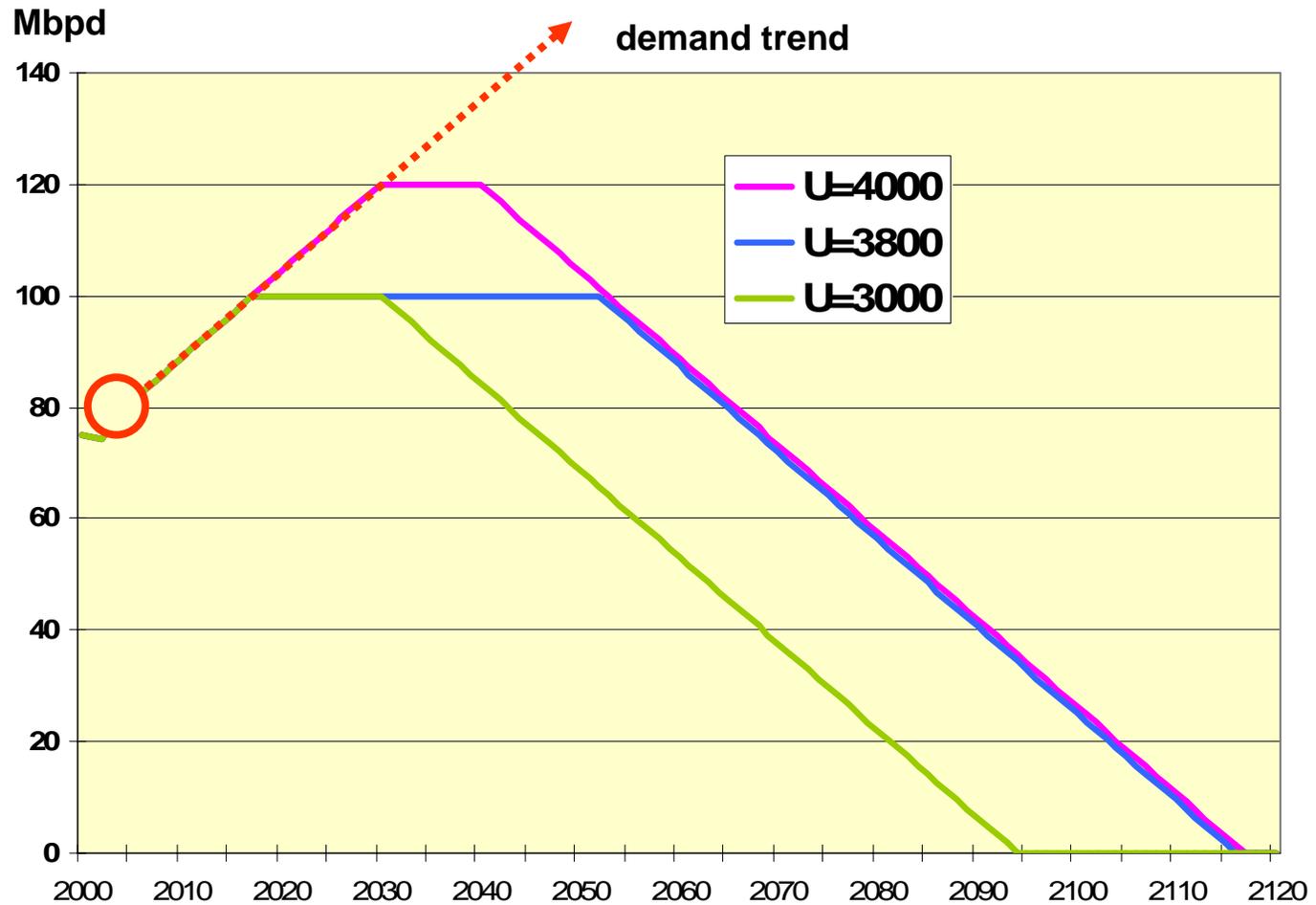
l'avenir des sources fossiles selon J. Laherrère



modèle de Hubbert pour des ultimes de 2000 / 3000 / 4000 Gbbi



profils possibles avec "plateau" (exemples)



le pétrole de demain :

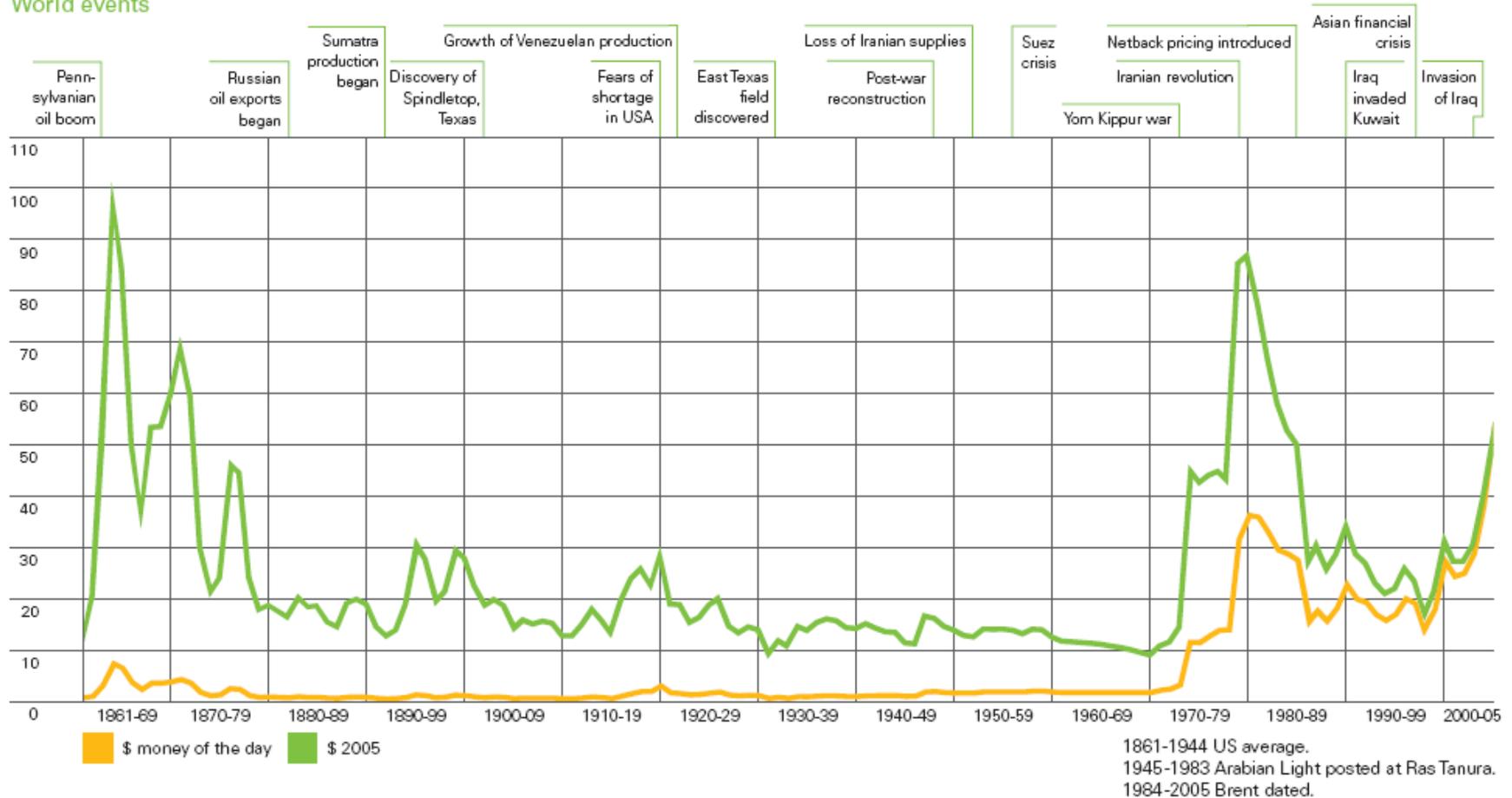
à quel prix ??

prix du baril depuis 1861

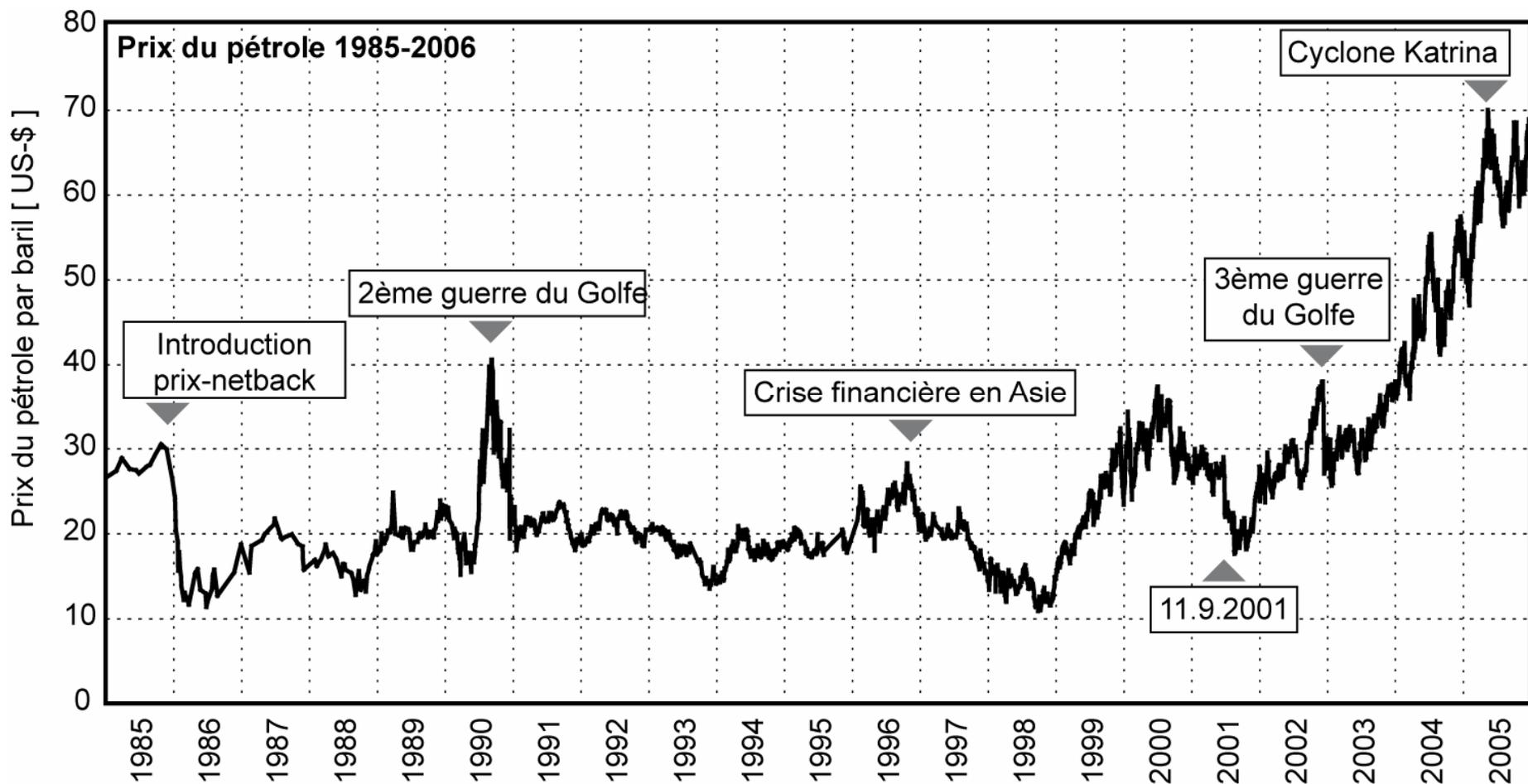
Crude oil prices since 1861

US dollars per barrel

World events



prix du baril depuis 1985

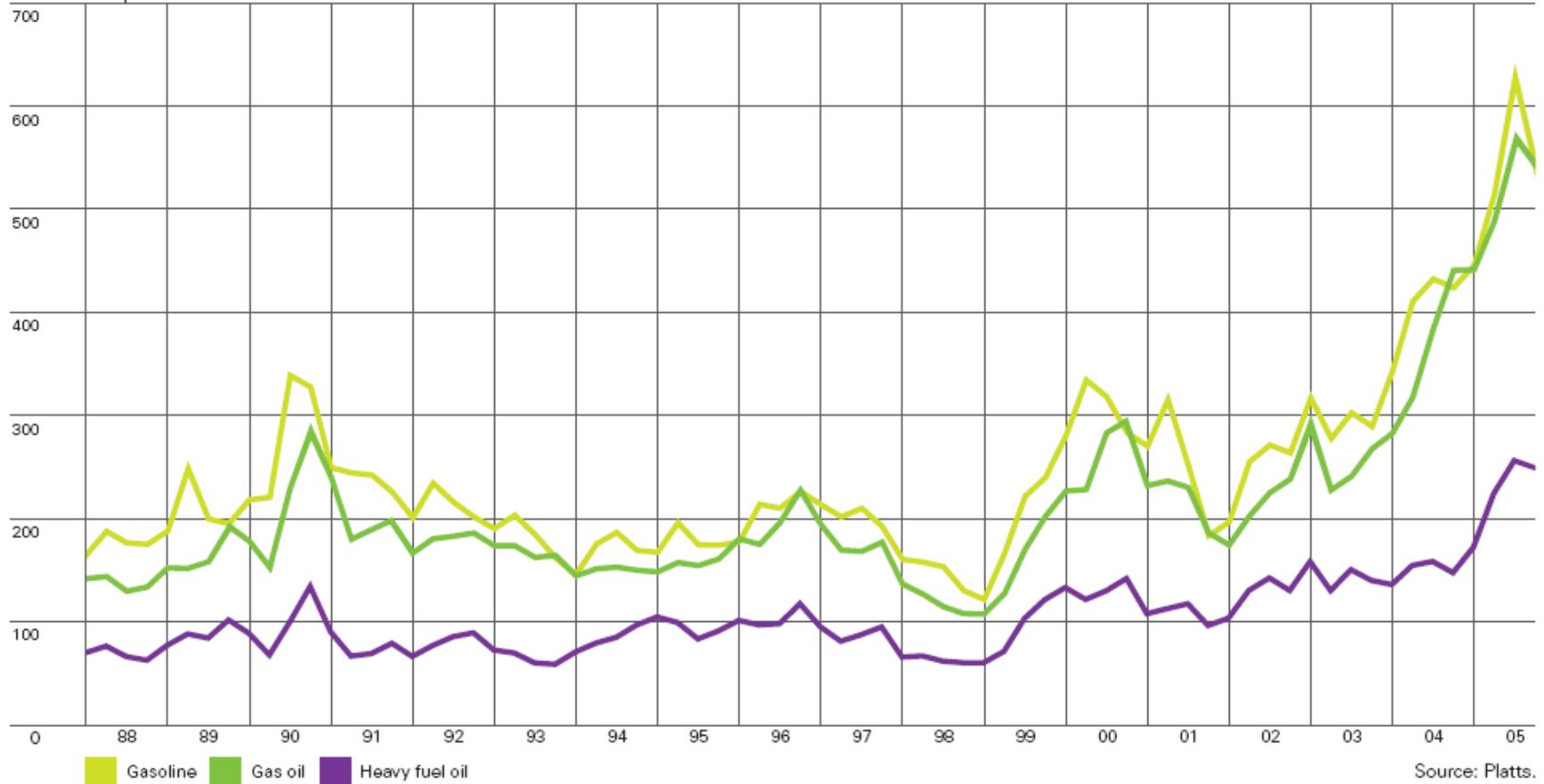


source Wikipedia

Rotterdam oil product prices

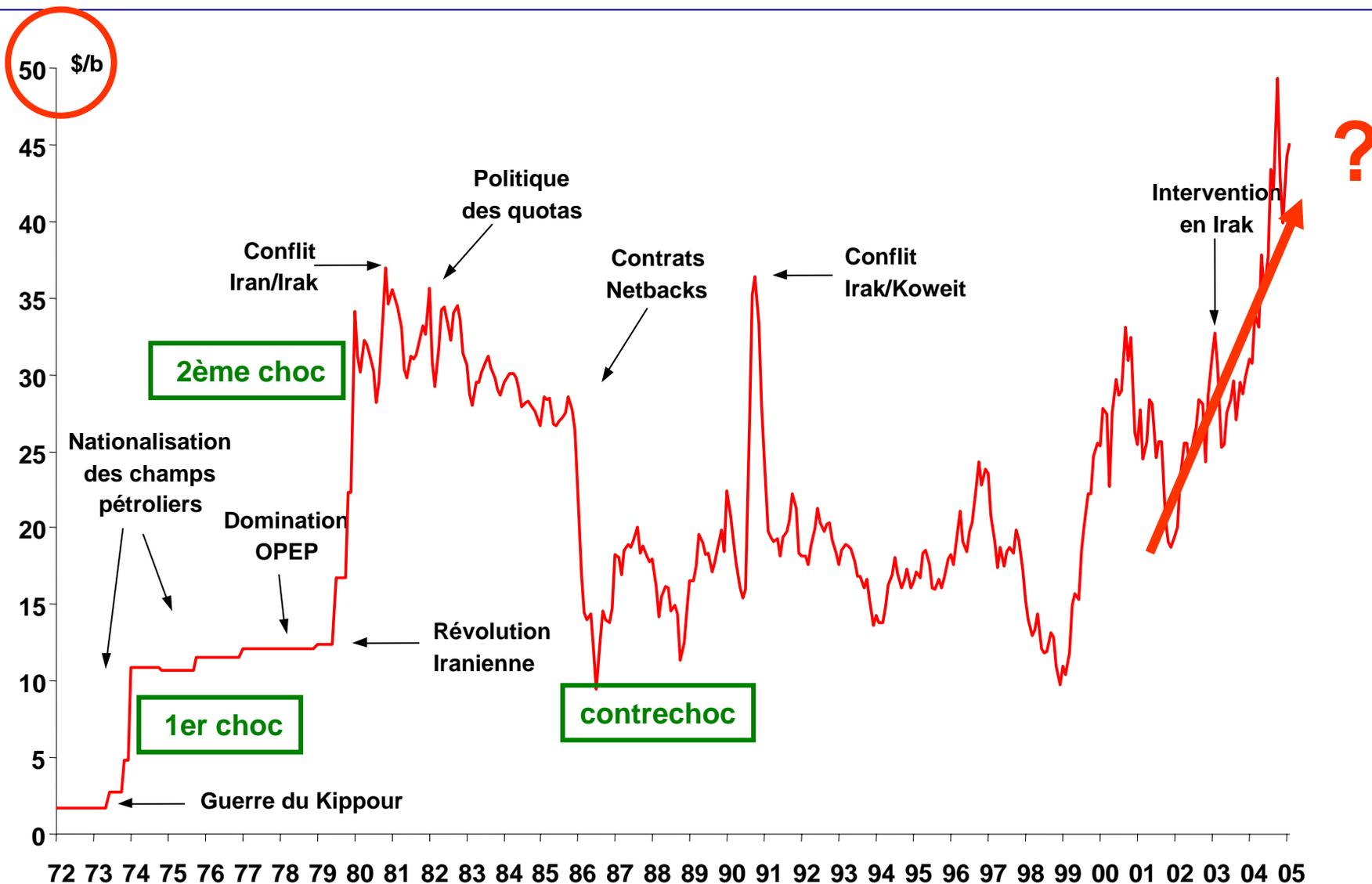
Rotterdam product prices

US dollars per tonne



1988 to first quarter 1992: leaded gasoline.
From second quarter 1992: unleaded gasoline.

le prix du brut demain : nouveau cycle ou rupture ?



le prix du brut demain : nouveau cycle ou rupture ?

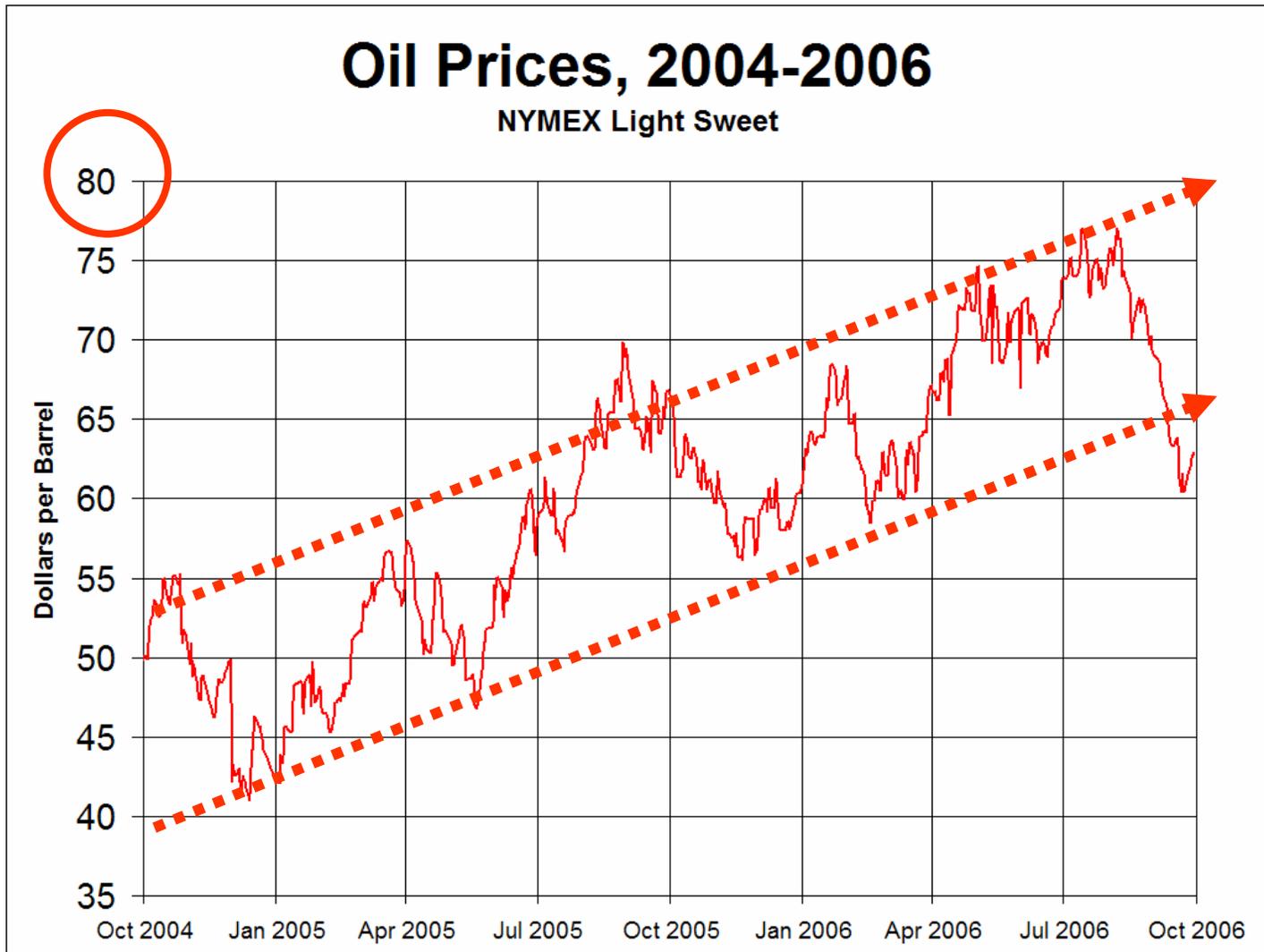
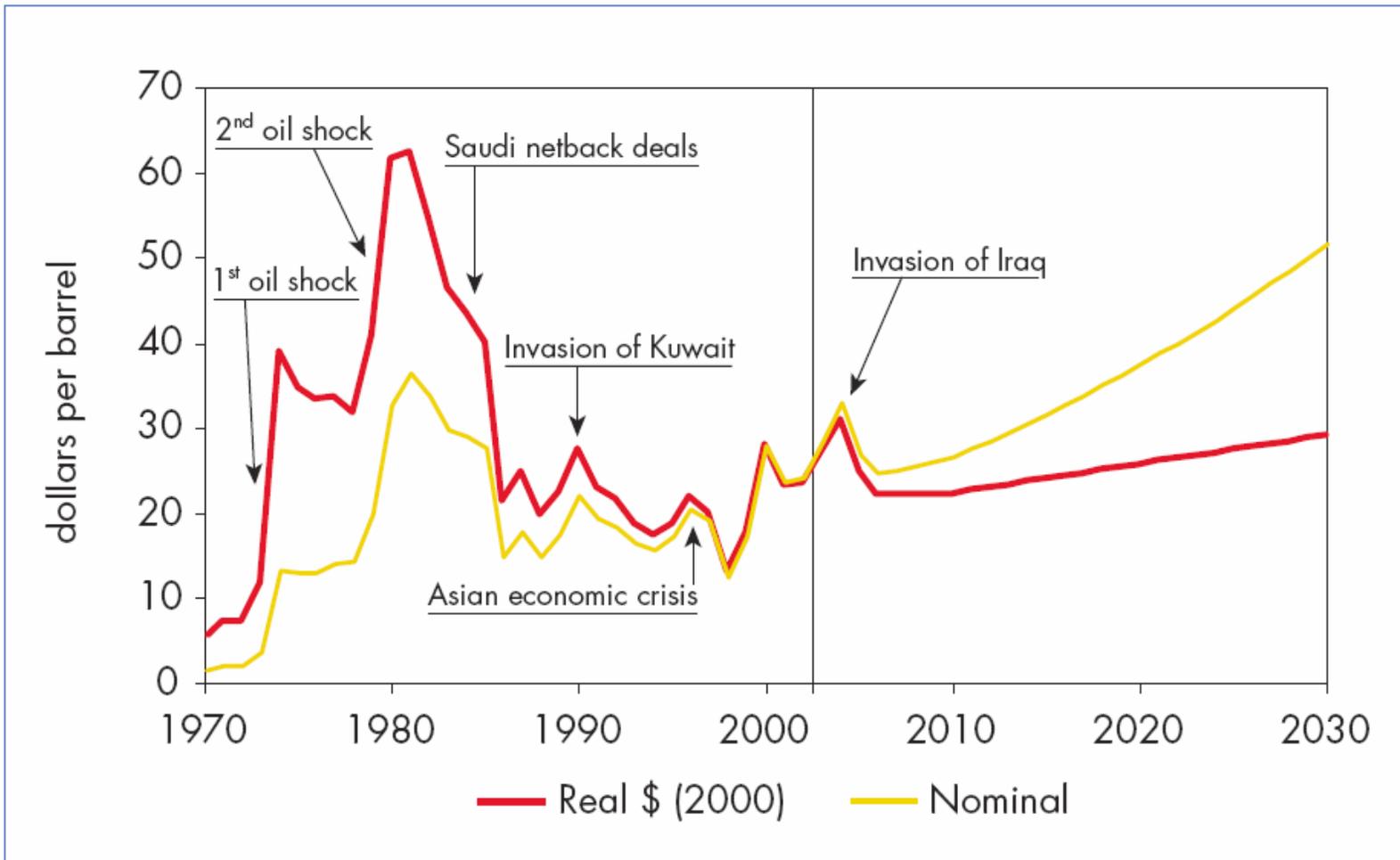


Figure 1.3: Average IEA Crude Oil Import Price



source IEA 2004 outlook

conclusions (avec toutes les incertitudes de l'exercice)

- ◆ il faut s'attendre à un pic pétrolier entre 2010 et 2030
- ◆ à un niveau plateau situé entre 100 Mbpd et 120 Mbpd
- ◆ la production de pétrole déclinera ensuite
- ◆ le prix du baril de pétrole devrait rester durablement sur une tendance haussière (en moyenne sur longue période)

évolution du "mix" énergétique

prospective 2050 – 2100

une vision des bilans énergétiques 2020 - 2050

Source : P. BAUQUIS
Revue de l'Énergie, 50 ans,
n° 509 Sept. 99

	2000		2020		2050	
	Gtep	%	Gtep	%	Gtep	%
Pétrole	3.7	40	5.0	40	3.5	20
Gaz	2.1	22	4.0	27	4.5	25
Charbon	2.2	24	3.0	20	4.5	25
Total énergies fossiles	8.0	86	12.0	87	12.5	70
Renouvelables	0.7	7.5	1.0	6.5	1.5	8
Nucléaire	0.6	6.5	1.0	6.5	4.0	22
Total toutes énergies	9.3	100.0	14.0	100.0	18.0	100.0

une vision des bilans énergétiques 2050 - 2100

Source : P. BAUQUIS
Cahiers économiques IFP
Octobre 2004

	2000		2050		2100	
	Gtep	%	Gtep	%	Gtep	%
Pétrole	3.7	40	3.5	20	1.5	6
Gaz	2.1	22	4.5	25	2.0	9
Charbon	2.2	24	4.5	25	4.5	20
Total énergies fossiles	8.0	86	12.5	70	8.0	35
Renouvelables	0.7	7.5	1.5	8	3.0	13
Nucléaire	0.6	6.5	4.0	22	12.0	52
Total toutes énergies	9.3	100.0	18.0	100.0	23.0	100.0

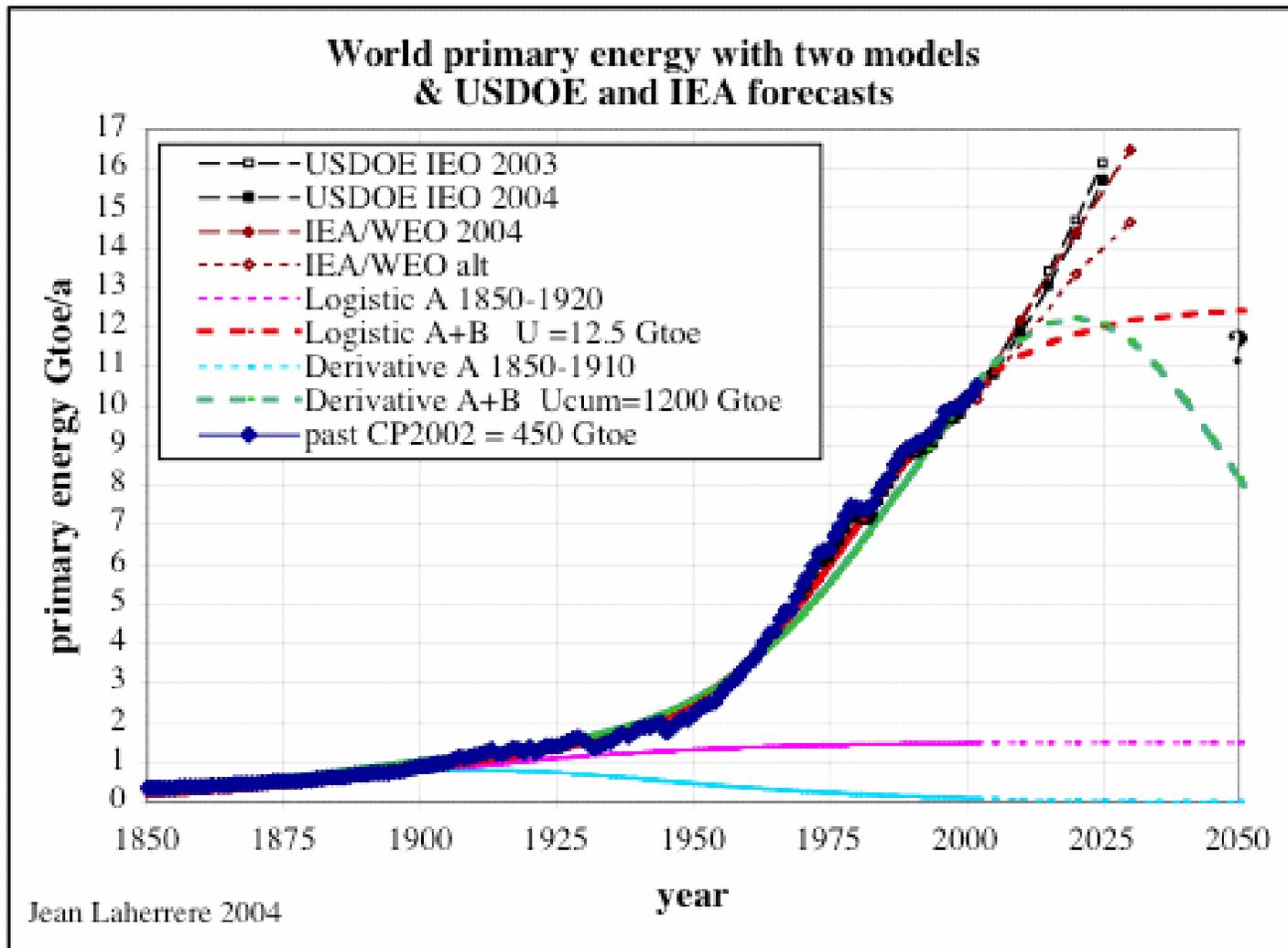
Conclusions (avec toutes les incertitudes de l'exercice)

1. **pétrole et gaz sont encore là pour assez longtemps
mais les réserves ultimes ne sont pas extensibles à l'infini**
2. **la production de pétrole atteindra un pic entre 2010 et 2030
à un niveau plateau situé entre 100 et 120 Mbpd**
3. **son coût ira croissant en tendance moyenne
(tout ce qui devient rare devient cher)**
4. **à terme la part du nucléaire sera forcément appelée à augmenter
de manière très significative ; celle du charbon augmentera aussi**
5. **les énergies renouvelables verront leur part progresser fortement,
mais elles resteront minoritaires dans le mix global**
6. **le pétrole restera difficile à remplacer dans ses usages de
transport et de base chimique**

Conclusions 2 : ce qu'on peut faire (liste non limitative)

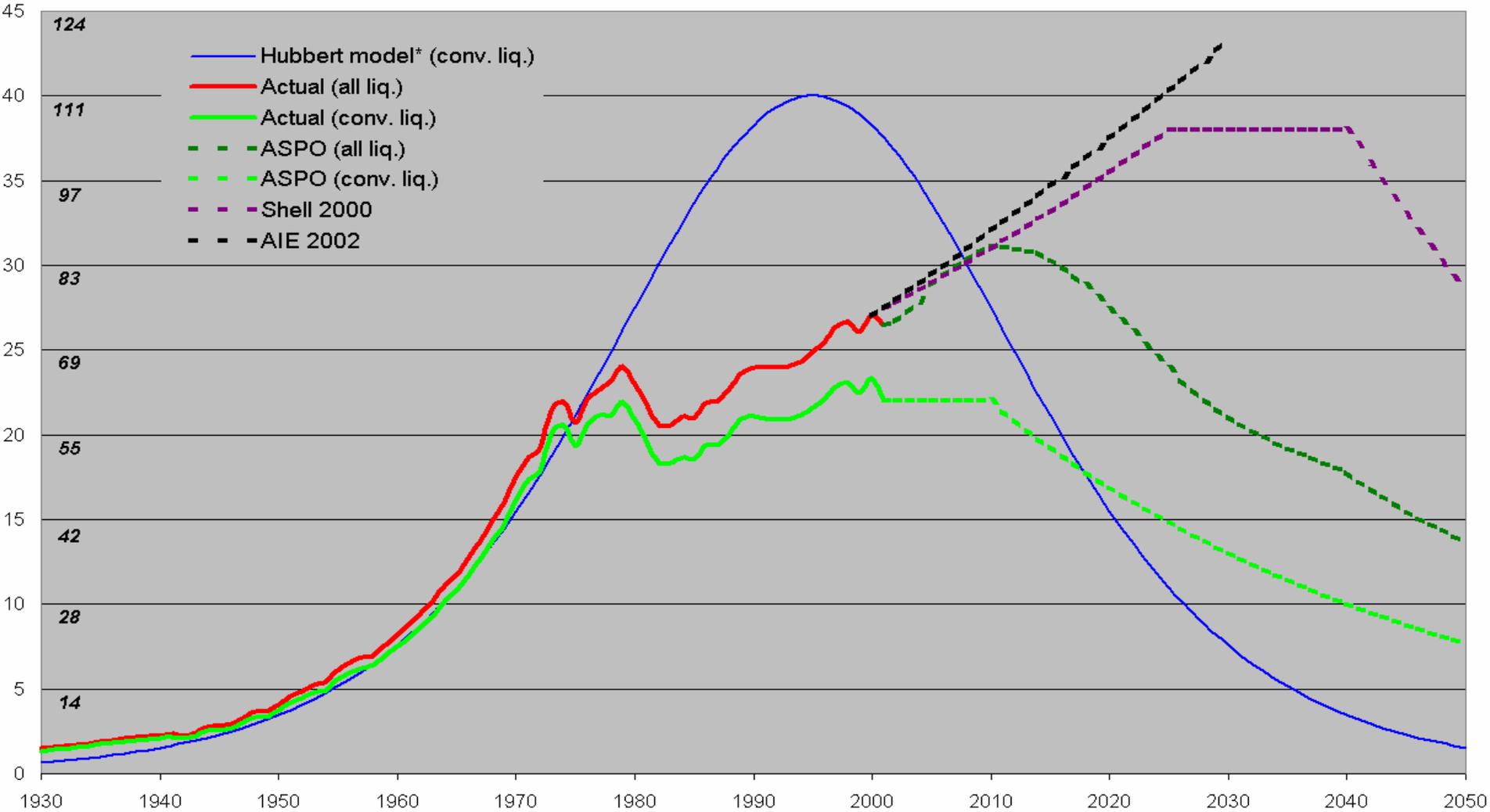
1. **économiser, économiser, économiser (les "NEGAWATTS")**
notamment dans l'habitat résidentiel (isolation, solaire passif, ...)
2. **utiliser des filières efficaces de production**
(eg cycles combinés, cogénération / CHP, ...)
3. **s'occuper de la récupération des huiles lourdes**
4. **travailler sur la séquestration du CO₂**
(notamment sur la capture)
5. **"électrifier" les consommations**
6. **re-développer le nucléaire et le charbon, pour la production d'électricité, en travaillant sur les inconvénients (déchets / CO₂)**
7. **orienter le pétrole vers ses usages les moins remplaçables**
8. **pour le transport, développer les véhicules hybrides, les biocarburants, et toutes les formes de systèmes économiseurs (y compris ferroutage, etc...)**
9.

énergie primaire : projections par divers organismes



Various World Oil Production Profile Forecasts

Gb/a Mb/j

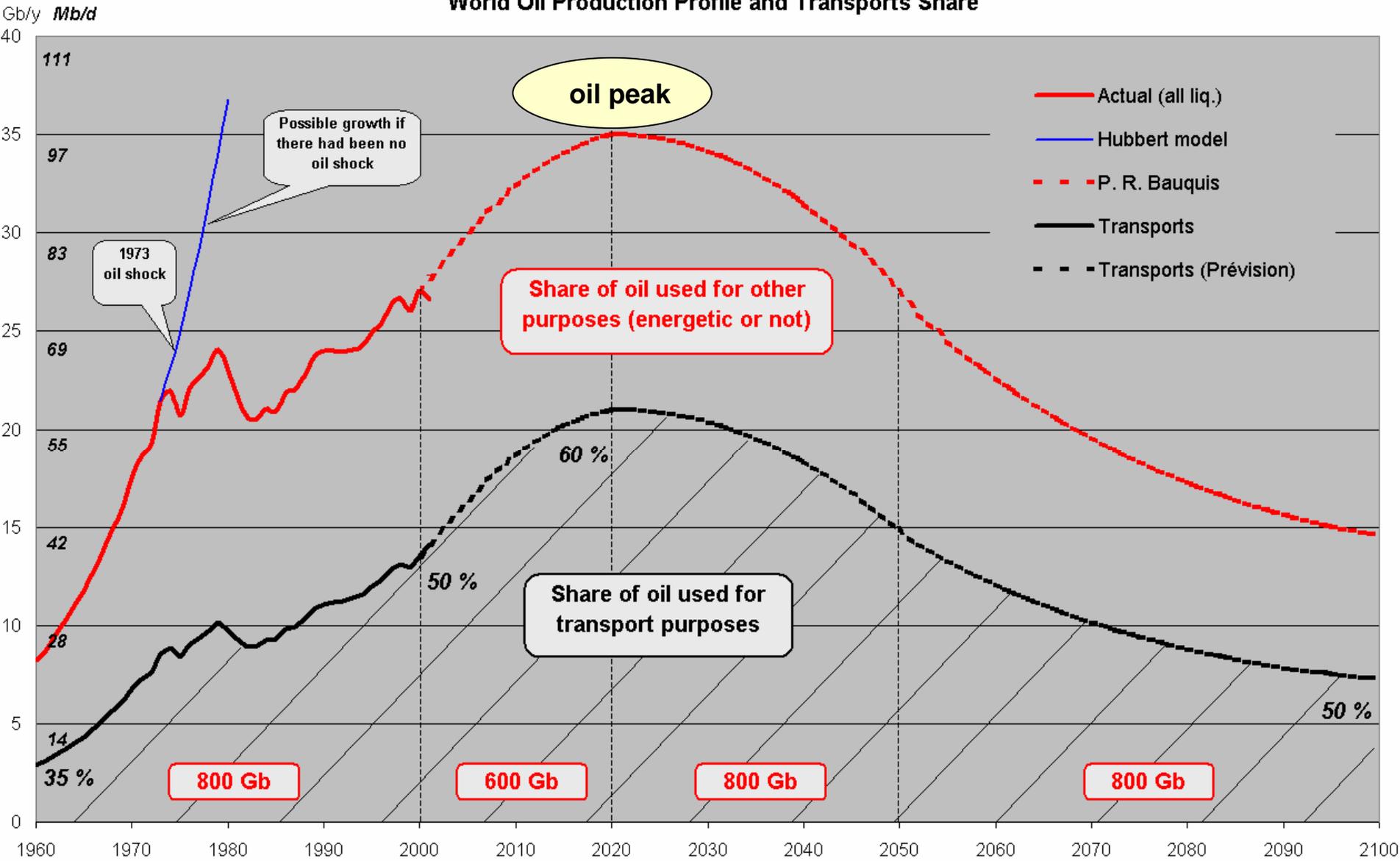


Source : ASPO Uppsala 2002 press release - USGS mean estimates 2000 (Shell)

* Best fit for a Hubbert model based on current ultimate reserves estimates.

PRB/VL 2003

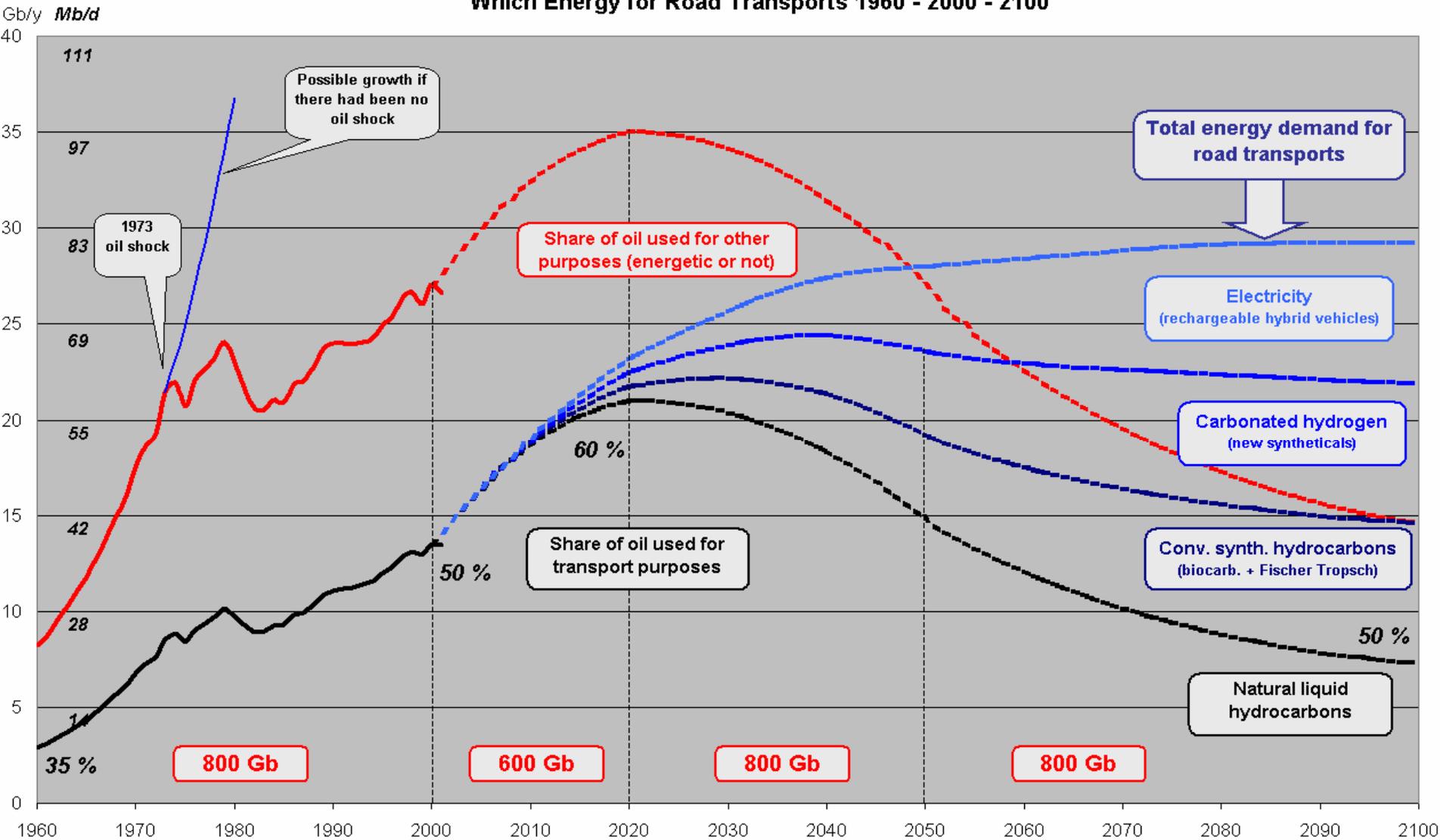
World Oil Production Profile and Transports Share



Source: P.R. Bauquis

PRB / VL 2003

Which Energy for Road Transports 1960 - 2000 - 2100

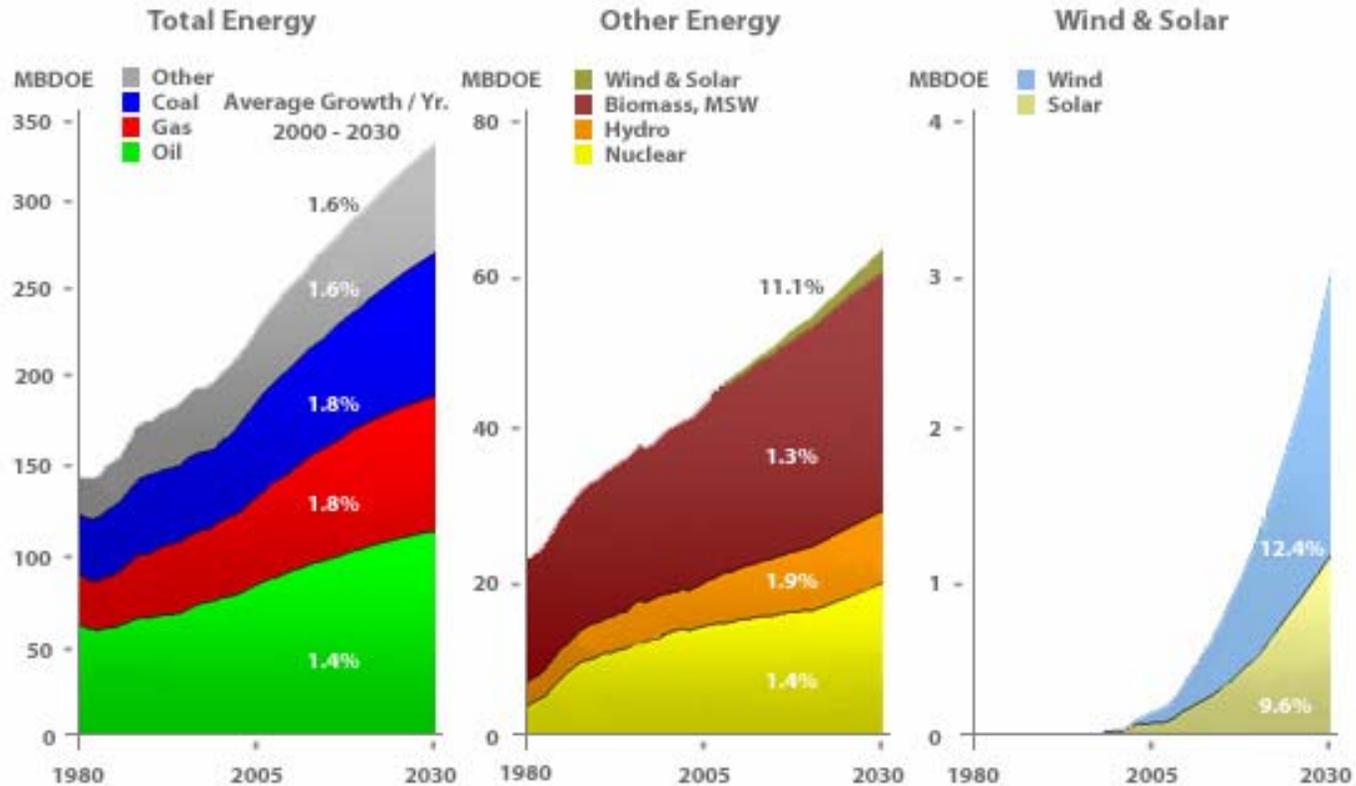


Source: P.R. Bauquis

PRB / VL 2003

the EXXON view

Oil and Gas Remain Predominant



the EXXON view

Conventional Oil Resources - 2005

Conventional* Crude and Condensate (TBO)

