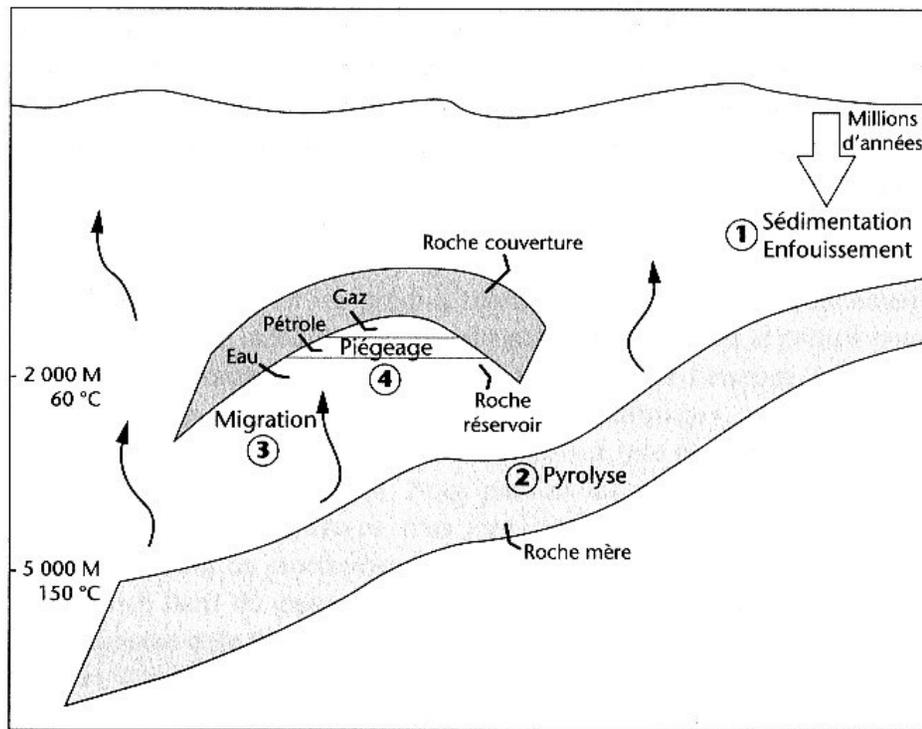


La genèse du pétrole

Schéma général de formation du pétrole et du gaz naturel



Le pétrole et le gaz naturel se sont constitués au cours d'un même processus comportant quatre étapes :

1. Leur genèse débute il y a plusieurs millions d'années. De minuscules organismes d'origine marine, plancton et algues unicellulaires, meurent. Ils se déposent au fond des océans, se décomposent partiellement et sont piégés dans une boue. Au fur et à mesure que d'autres sédiments s'empilent au-dessus, la boue s'enfonce et se compacte pour progressivement devenir une roche.

2. Au bout de quelques millions d'années, les sédiments tassés et durcis forment ce que l'on appelle une roche mère. Avec l'augmentation de la profondeur, la température croît. Vers moins 2 000 mètres débute la formation de pétrole, vers moins 5 000 mètres celle du gaz naturel.

Genèse du pétrole

Il faut 23 tonnes de matières organiques et plusieurs millions d'années pour obtenir un litre d'essence.

3. Sous l'effet de la pression considérable qui règne à ces profondeurs, du pétrole, du gaz, mais aussi de l'eau sont expulsés de la roche mère et entament une migration vers les autres roches poreuses et perméables environnantes. La migration s'effectue vers des zones de moins forte pression, donc vers la surface.

4. Parfois, pétrole et gaz naturel sont piégés lors de leur remontée par une couche de roche imperméable. Si celle-ci a une forme concave (bol inversé), il y a alors formation d'un gisement d'hydrocarbures piégés dans une roche réservoir. Petit à petit, sous l'effet de leurs densités différentes, gaz, pétrole et eau se séparent au sein de la roche réservoir et forment des couches. Étant plus léger, le gaz se situe au-dessus, puis vient le pétrole et enfin l'eau.

Les habitudes

Cela fait 200 ans que l'on dispose d'énergie abondante et bon marché**, alors, pourquoi s'en faire ?

XIXe siècle : charbon, machine à vapeur.

XXe siècle : électricité, pétrole, moteur à combustion.

XXI siècle : on fabrique et on jette tout et n'importe quoi; on gaspille le pétrole (et l'électricité) comme s'il y en avait pour l'éternité.

** Le pétrole étant moins cher que l'eau minérale.

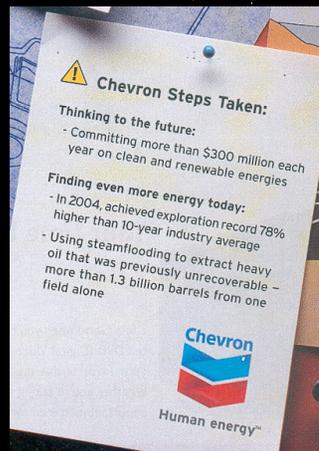
L'avenir des sources d'énergie fossile

Il existe de grandes incertitudes concernant les réserves et les prix d'extraction, mais il est aujourd'hui admis que ce siècle verra la fin du pétrole et du gaz.

Y a-t-il un pilote dans l'avion !?

La décroissance du pétrole vue par Chevron

The world consumes two barrels of oil for every barrel discovered.



Le monde consomme ~~2~~ 3 barils pour chaque baril découvert

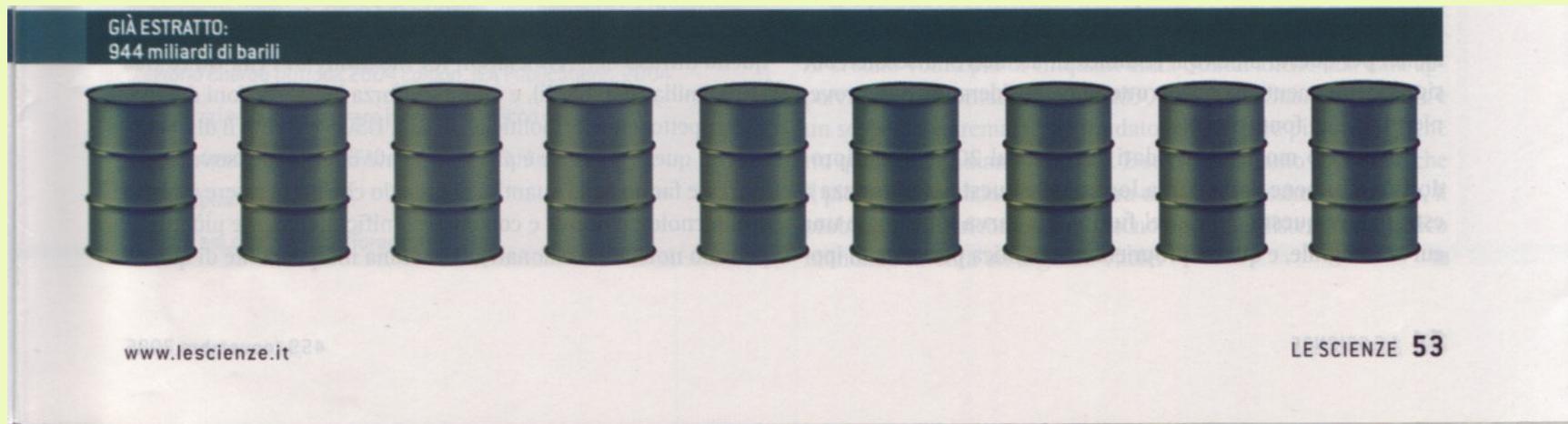
Cela doit-il être un motif d'inquiétude?

So is this something you should be worried about?

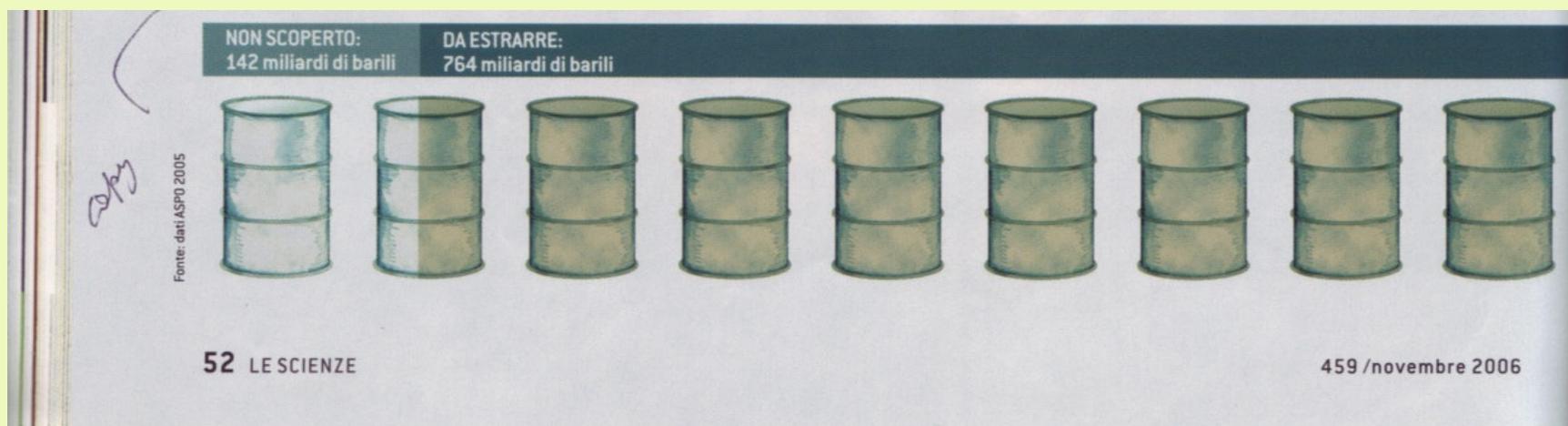
Source: pub dans TIME (2006)

Combien de pétrole ?

Déjà extrait : 944 milliards de barils

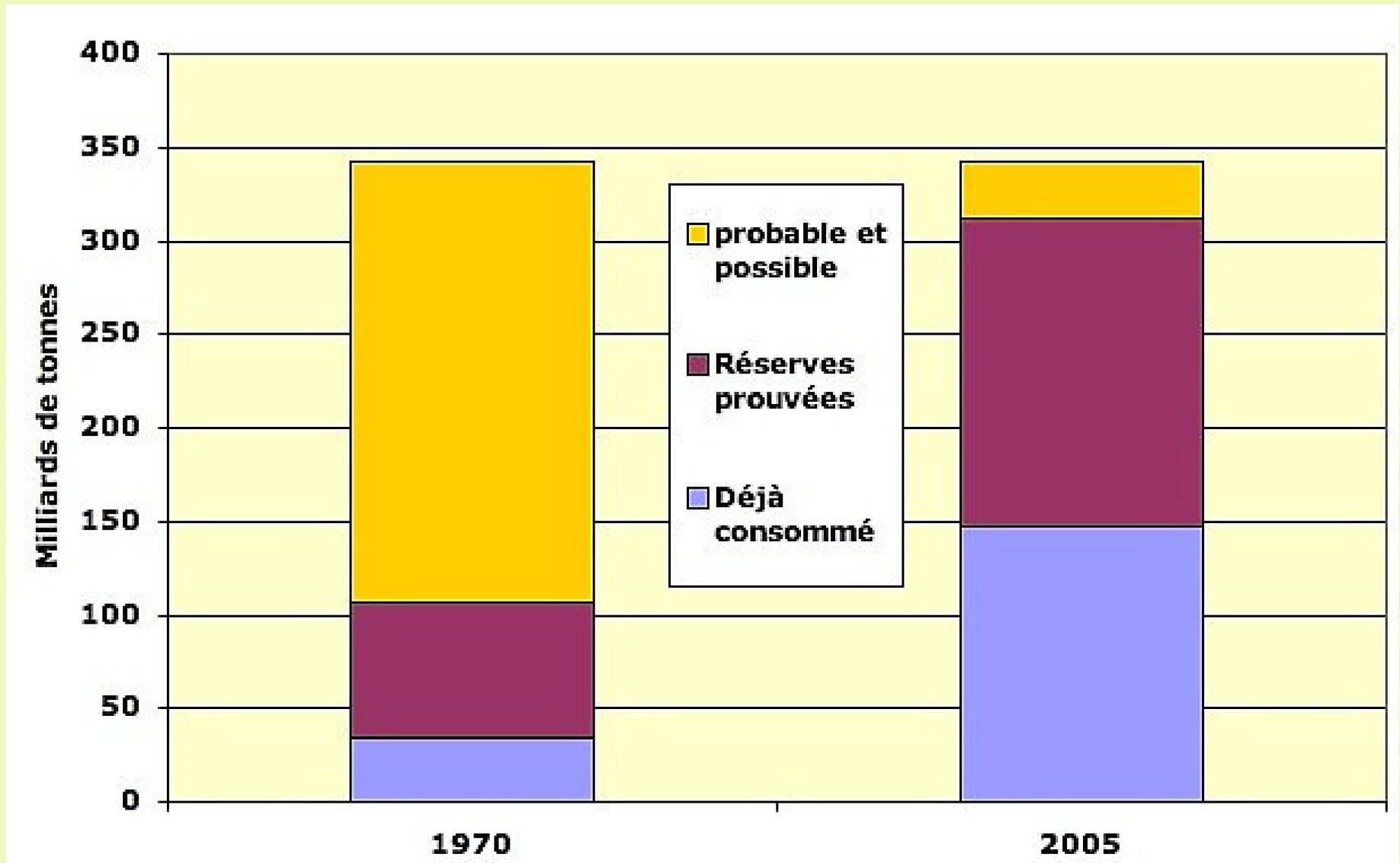


À découvrir : 142 milliards de barils. À extraire : 764 milliards de barils.

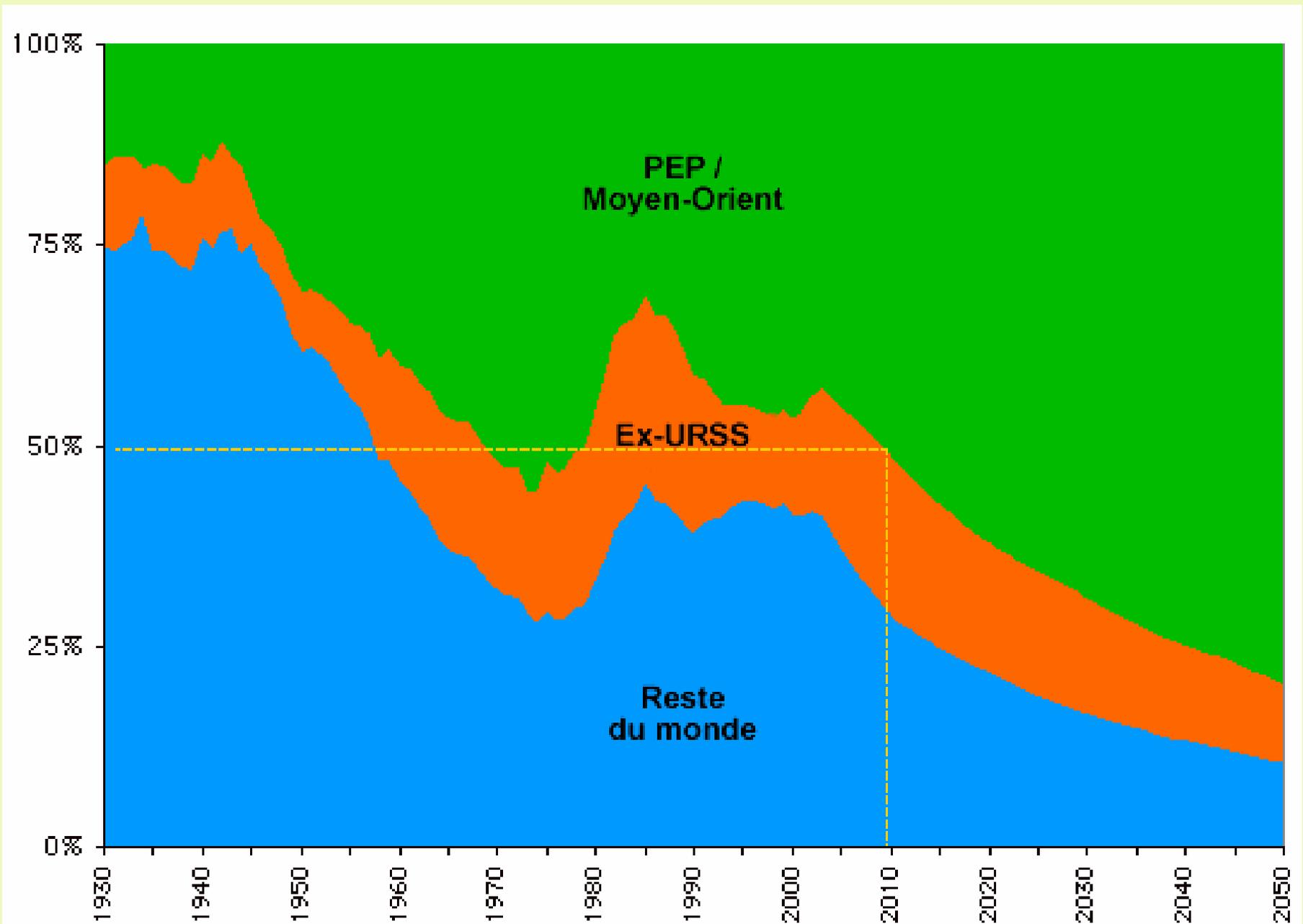


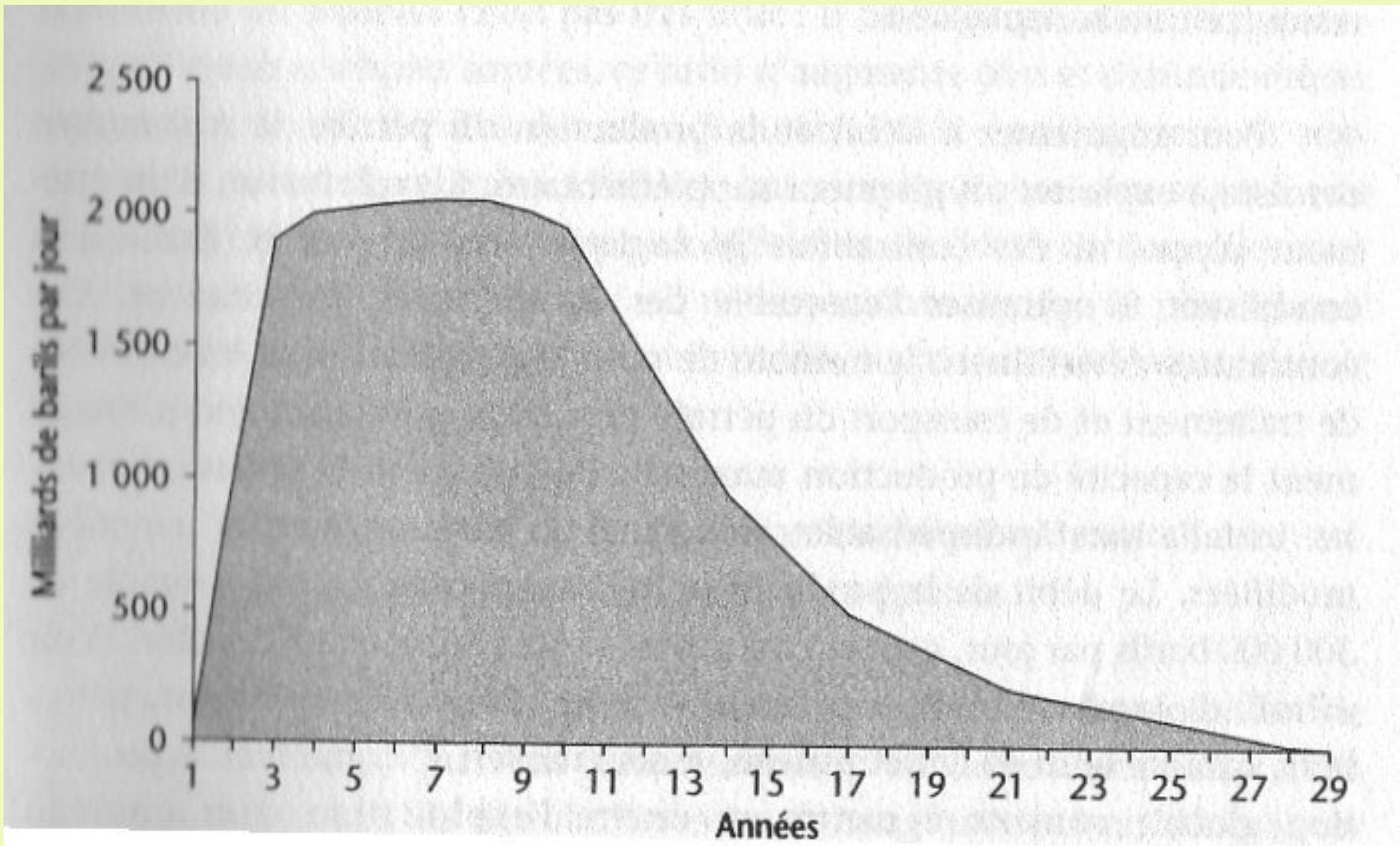
Les réserves

Réerves de pétrole de 1970 à 2005



Zones de production du pétrole

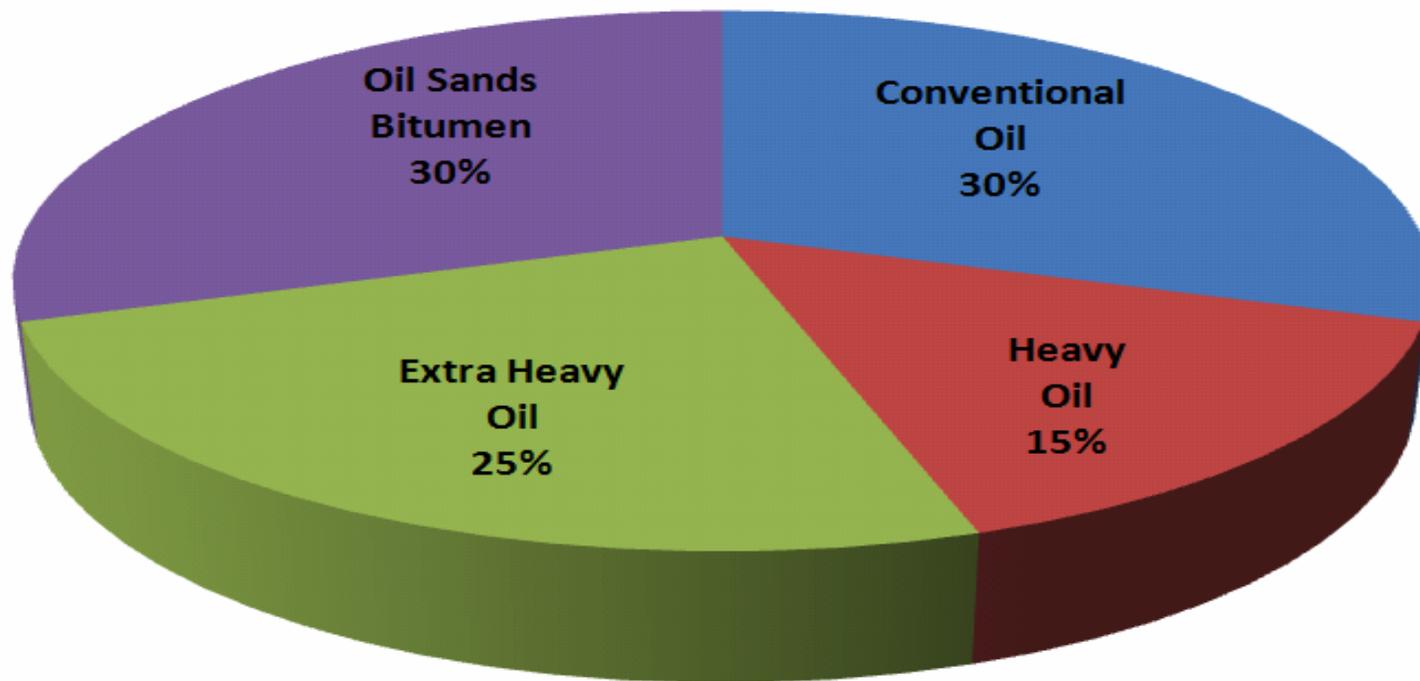




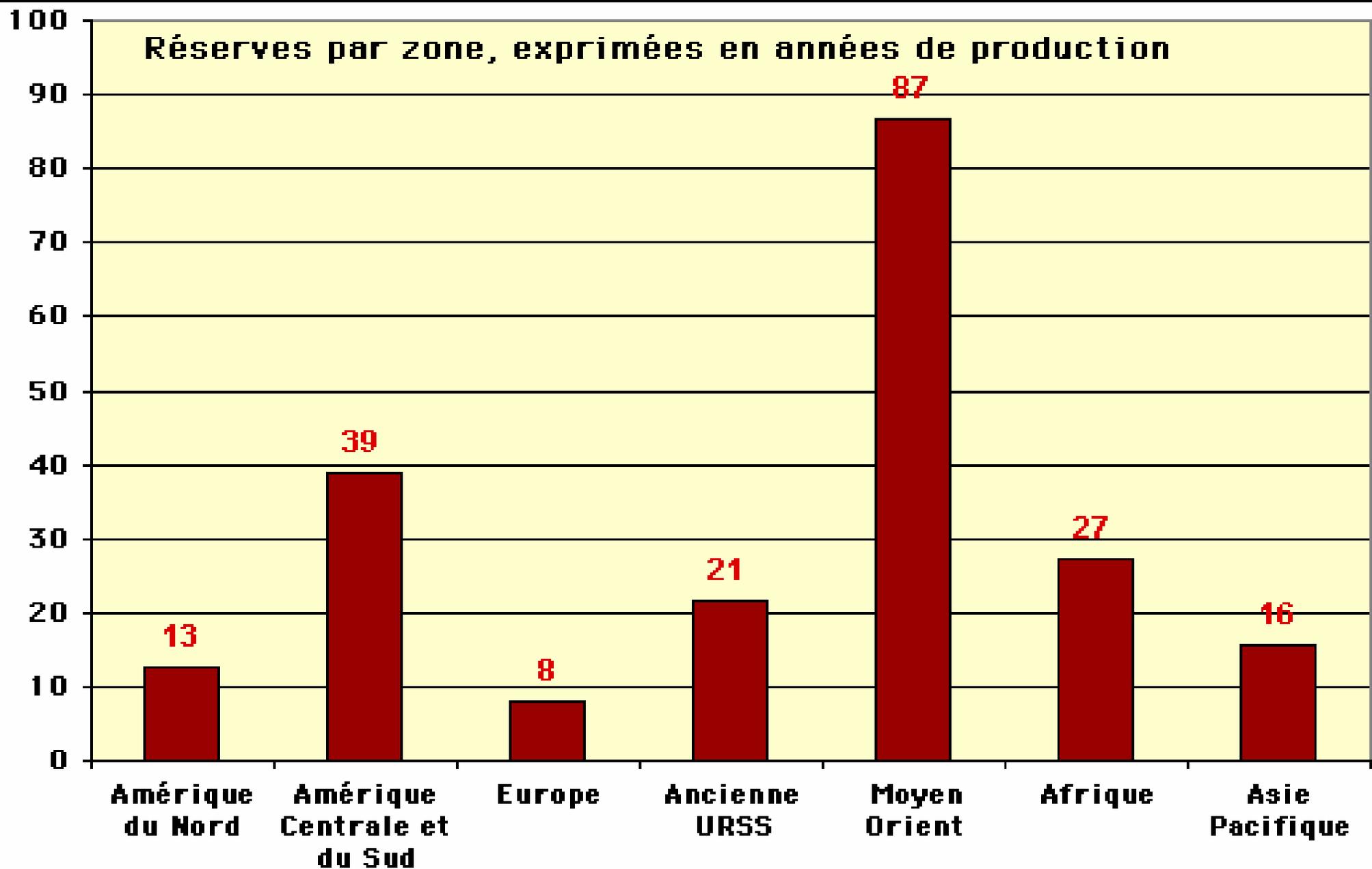
Courbe de production d'un gisement de pétrole

Taux de récupération : de 3% à 85% (moyenne 30-40%).

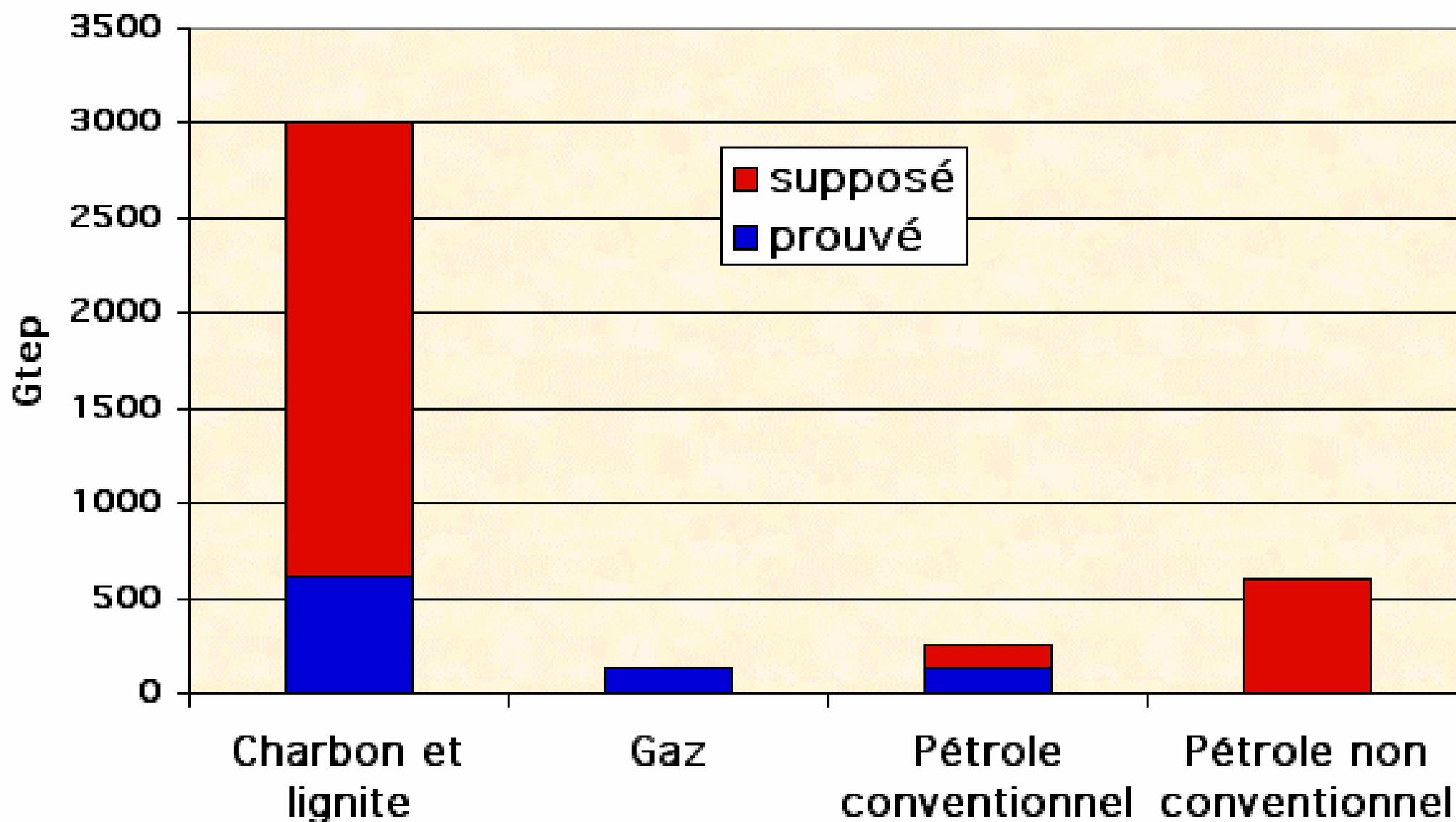
Total World Oil Reserves - 160 Gtep



Réserves par zone, exprimées en années de production

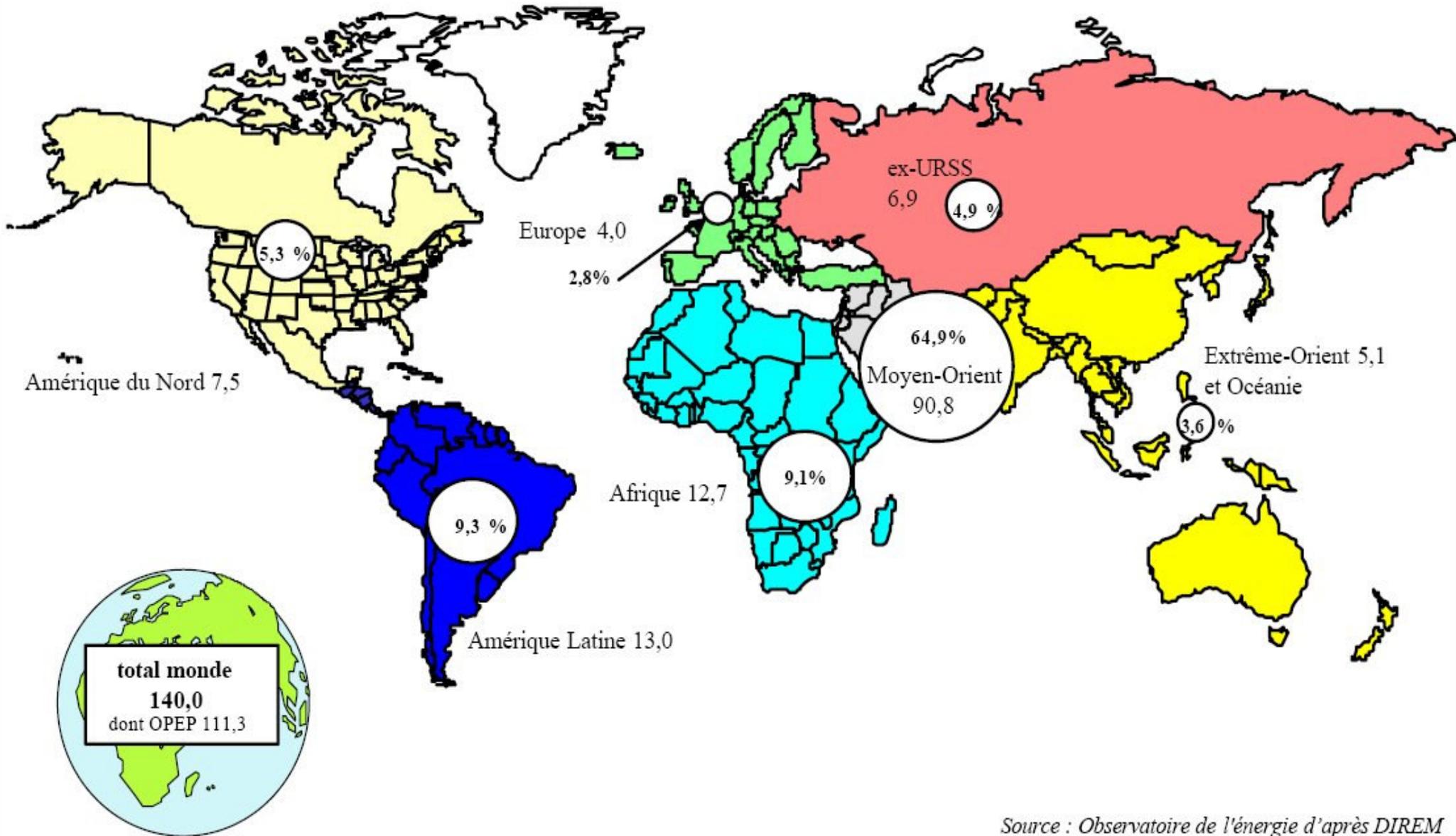


Réserves de combustibles fossiles



Réserves mondiales prouvées de pétrole brut (1^{er} janvier 2004)

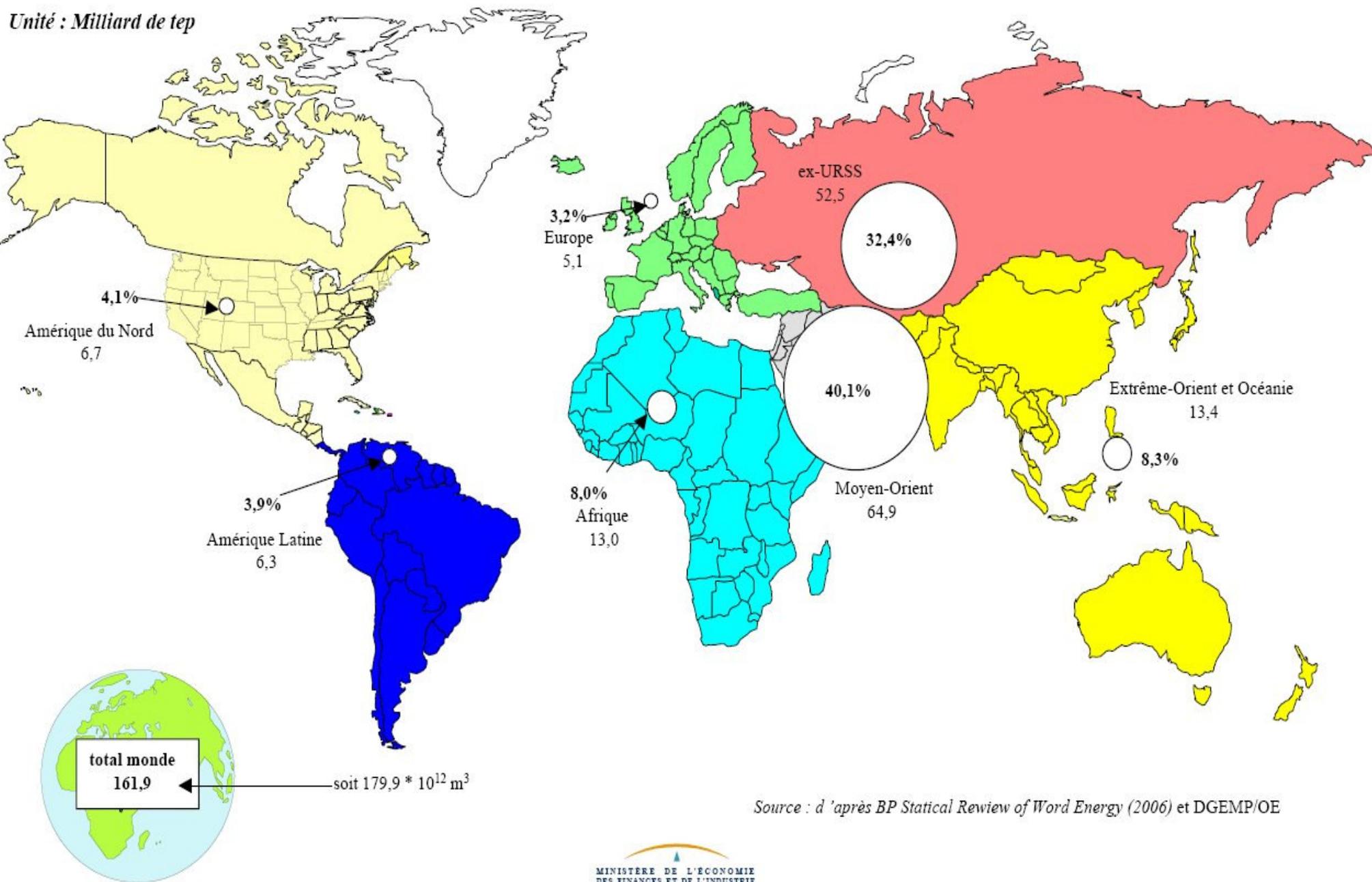
Unité : Milliard de tep



Source : Observatoire de l'énergie d'après DIREM

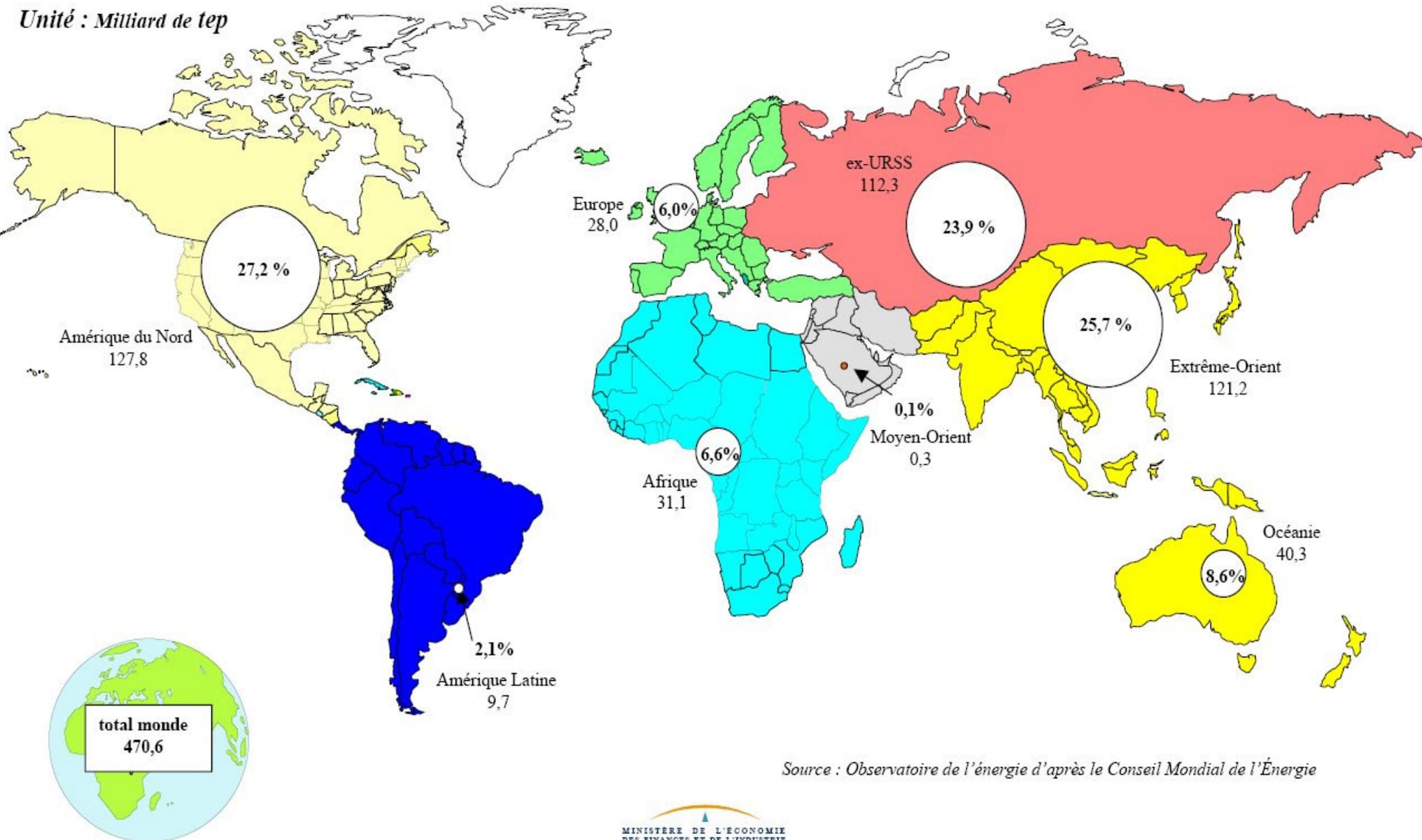
Réserves mondiales prouvées de gaz naturel (1^{er} janvier 2006)

Unité : Milliard de tep



Réserves mondiales prouvées de charbon (1^{er} janvier 2003)

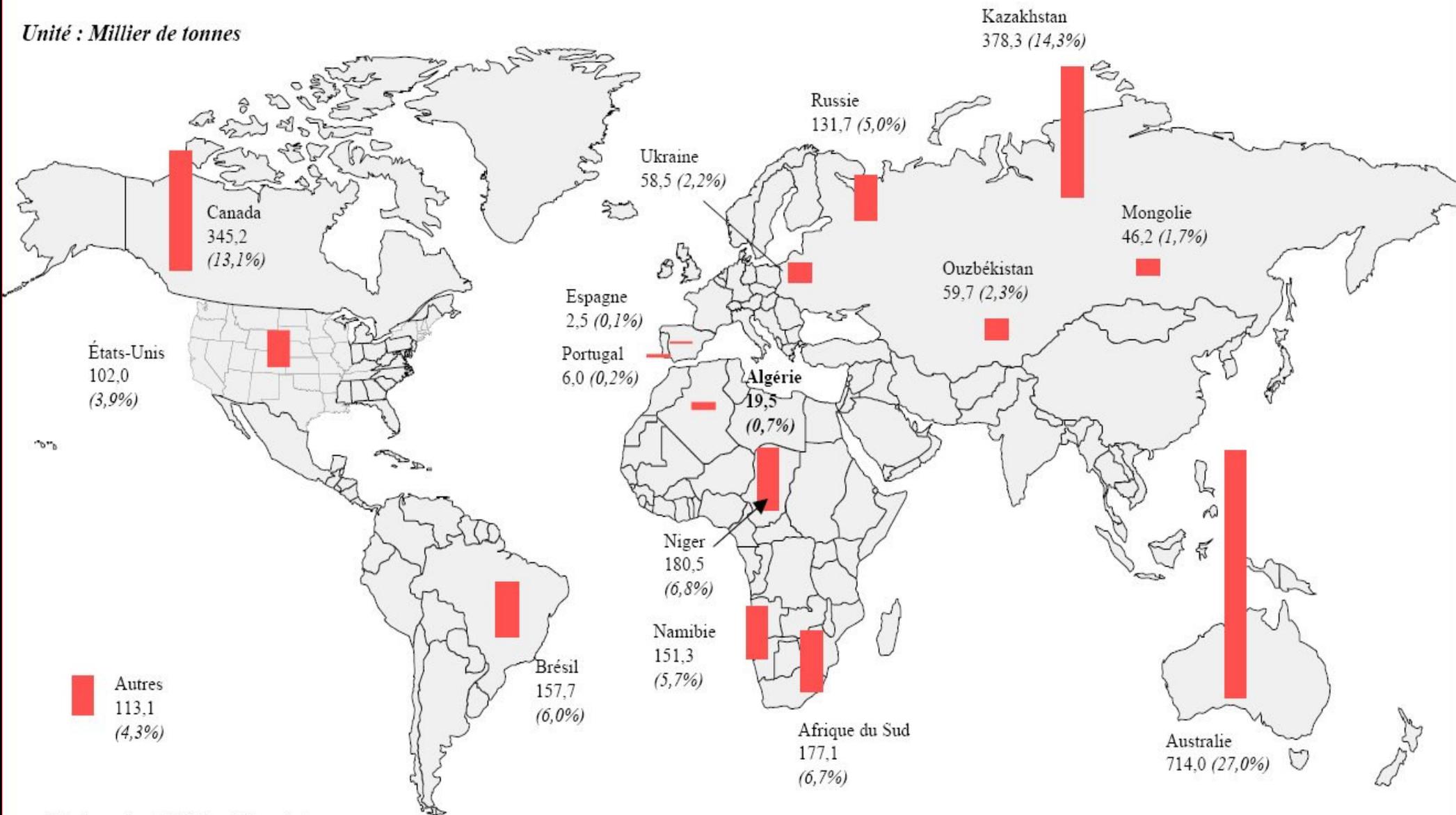
Unité : Milliard de tep



Source : Observatoire de l'énergie d'après le Conseil Mondial de l'Énergie

Réserves mondiales prouvées d'uranium* (1. 1. 2006)

Unité : Millier de tonnes



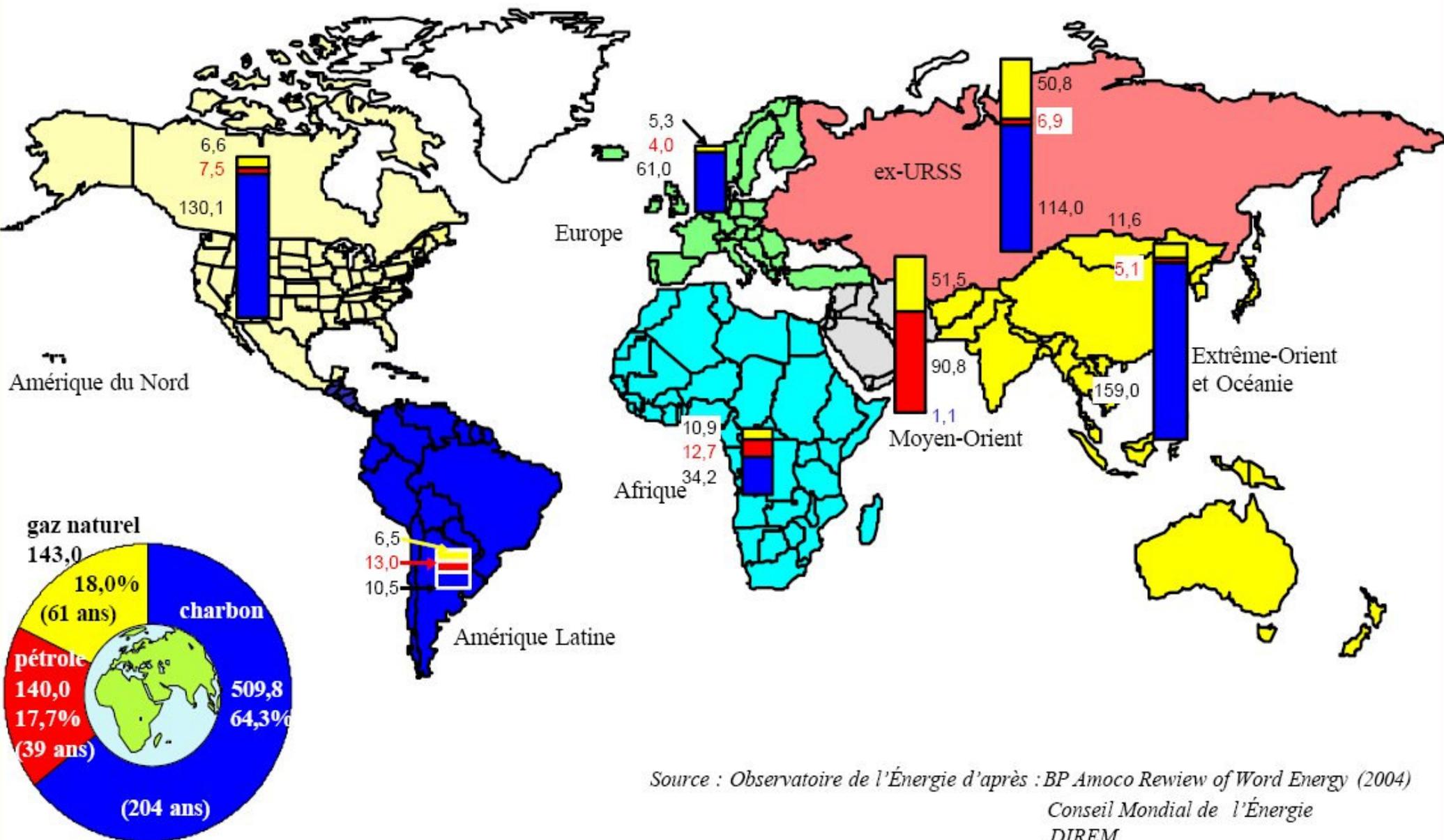
Total monde : 2 643,3 milliers de tonnes

(*) ressources raisonnablement assurées récupérables à moins de 80\$/kg U

Source : Observatoire de l'énergie d'après AIEA/OCDE 2006

Réserves énergétiques mondiales (1^{er} janvier 2003)

Unité : Milliard de tep



Source : Observatoire de l'Énergie d'après : BP Amoco Review of World Energy (2004)
Conseil Mondial de l'Énergie
DIREM

Demande d'énergie primaire (MONDE 2008)

~ 11 Gtep/an

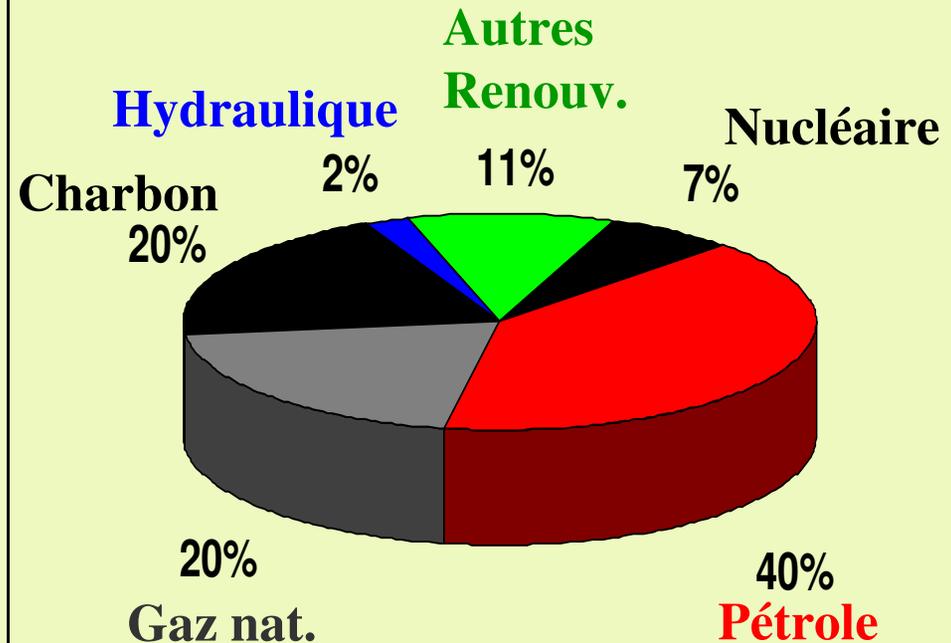
(dont ~80% d'énergies fossiles carbonées)

soit :

Pétrole : 4.5 Gtep/an

Gaz nat. : 2.2 Gtep/an

Charbon : 2.3 Gtep/an



1 Gtep = 1 milliard de tonnes-équivalent-pétrole

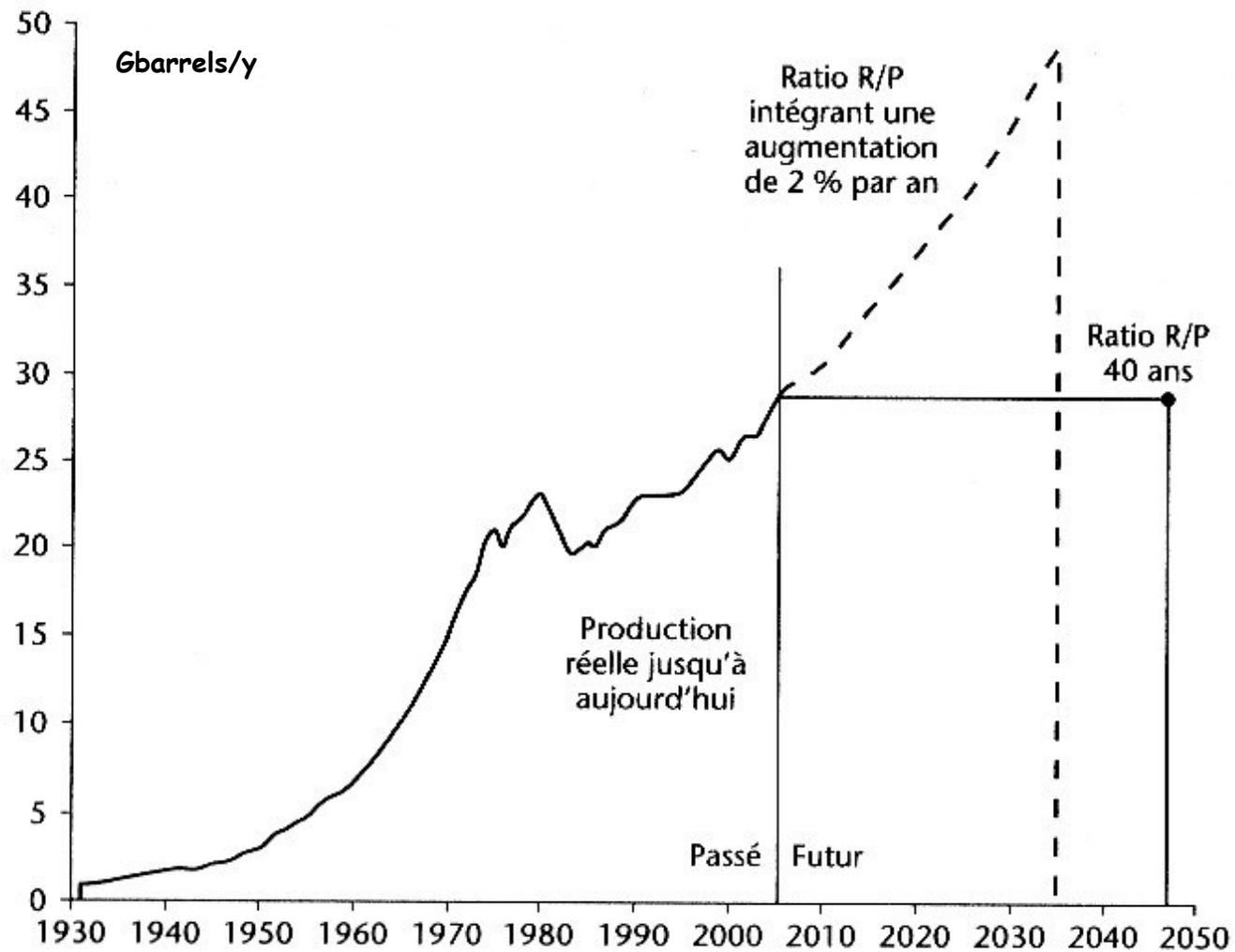
Si la consommation et la production de combustibles fossiles devenaient tout d'un coup constantes (= 2008)

Type de ressources	Ressources Prouvées Gtep	Consommation annuelle	Années (à consomm. constante)
Charbon et lignite	470	2.3 Gt	204
Pétrole	150	4.5 Gt	33
Pétrole non conventionnel	80	---	---
Gaz naturel	160	2.2 Gt	65
Uranium-238	2-5 Mt	0.05 Mt	40-100* 2400-3000**

* Réacteurs de fission conventionnels

** Réacteurs de fission avancés (IVème génération)

Figure 2.2 : Production annuelle de pétrole au niveau mondial et représentation du ratio R/P simple et R/P avec 2 % d'augmentation.

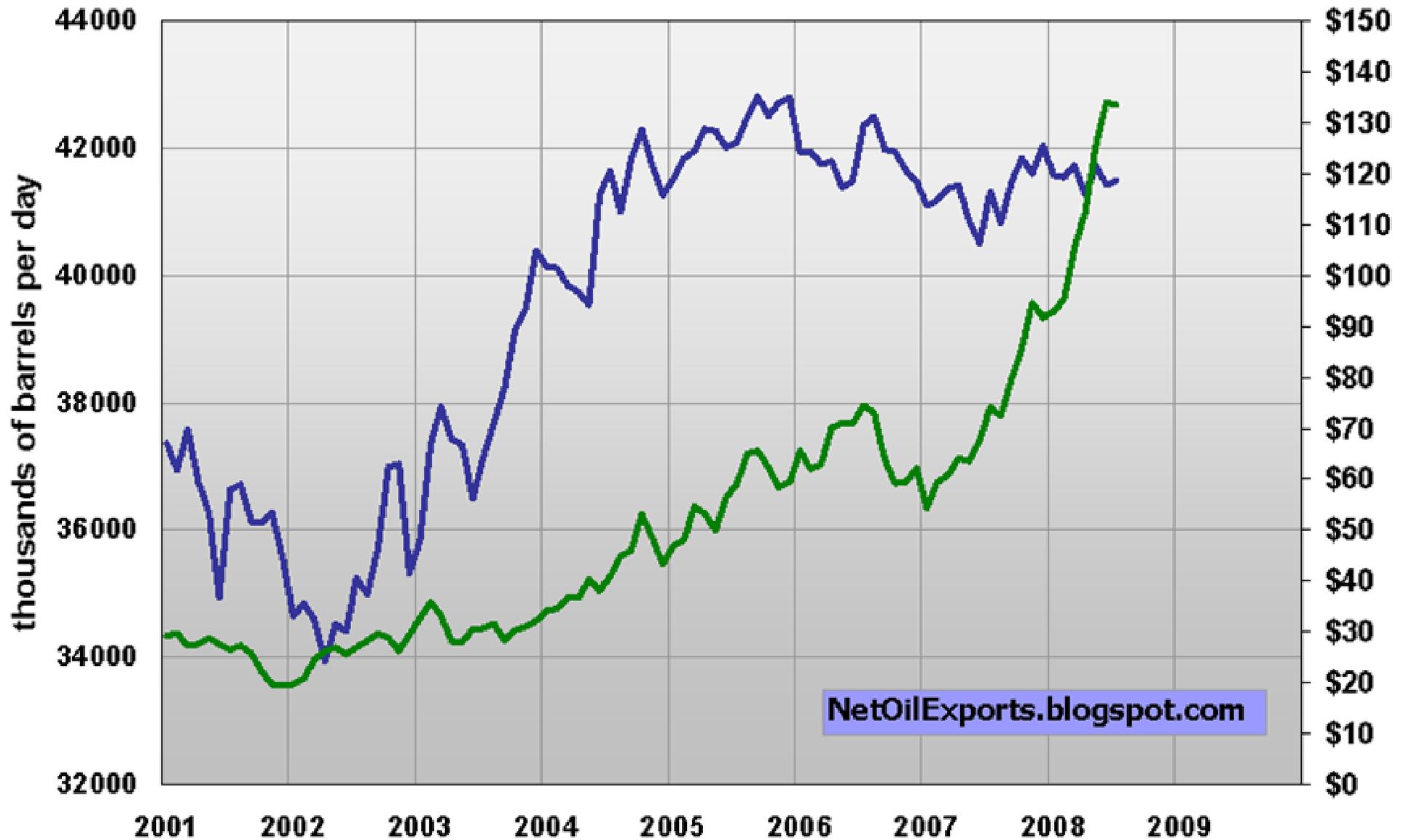


Les pics de production...

Le pic d'extraction de combustibles sera atteint:

- en 2005-2010 pour le pétrole
- en 2020-2030 pour le gaz naturel
- en 2030 ~ pour le charbon
- en ? pour l'Uranium

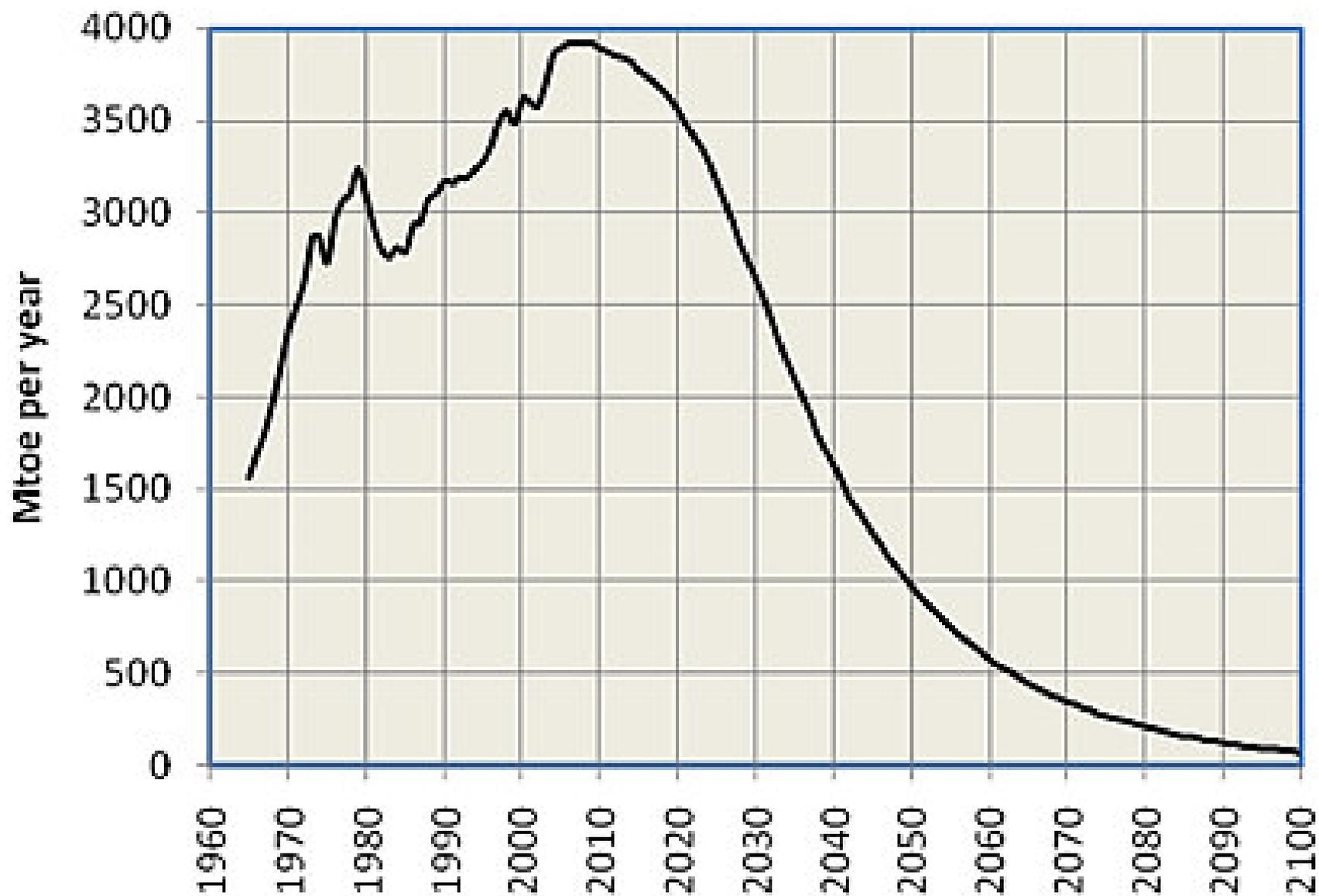
Net Oil Exports of Top 20 Exporters



NetOilExports.blogspot.com

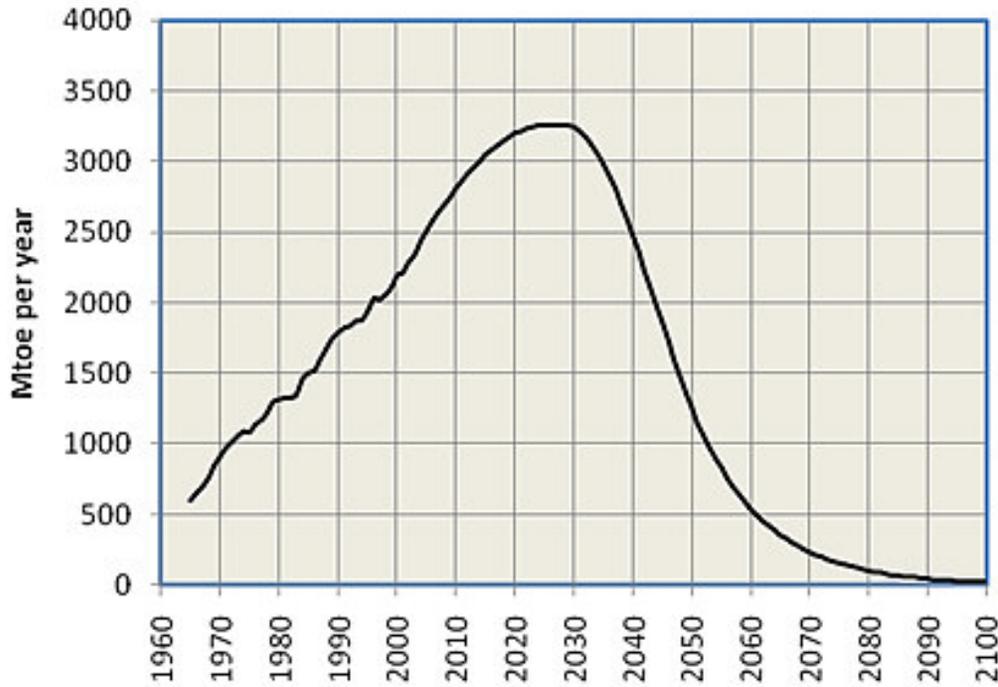
Production Globale de Pétrole, 1965 à 2100

Oil

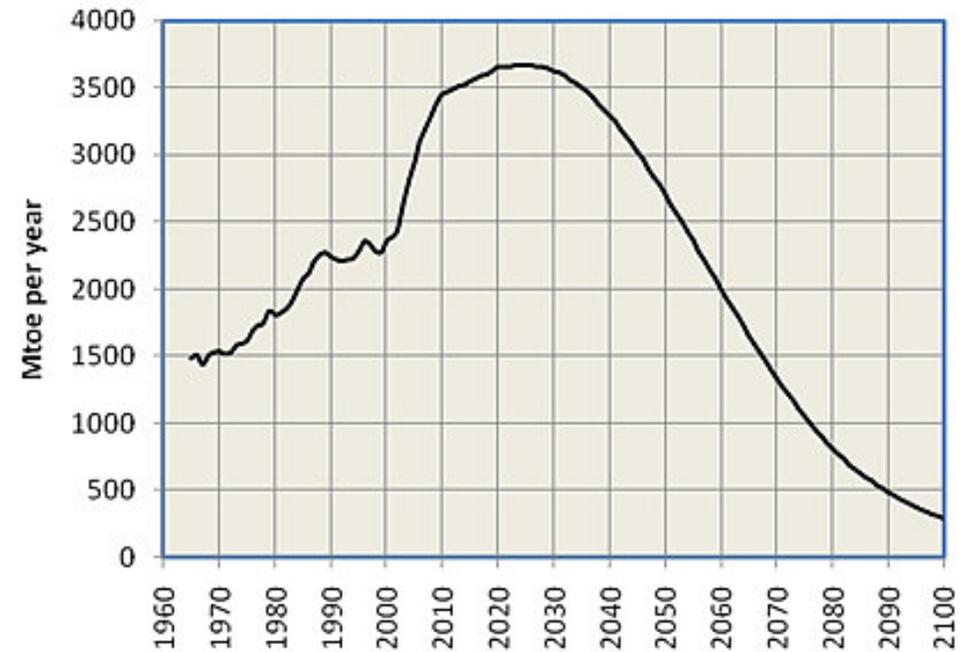


Gaz naturel et Charbon, → 2100

Gas

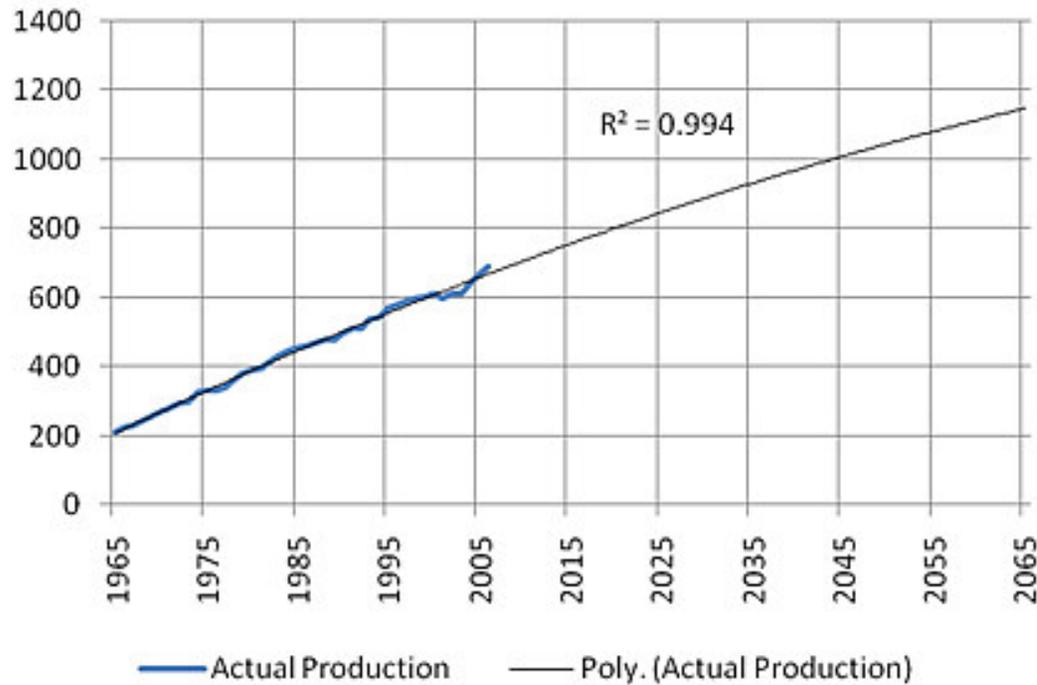


Coal

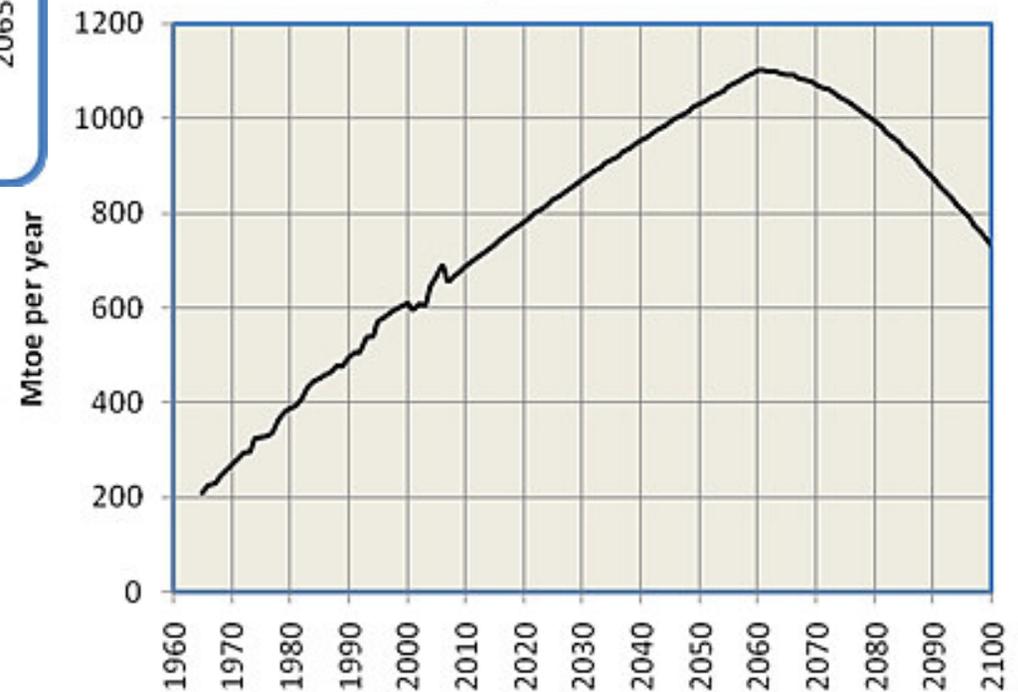


Énergie Hydroélectrique

Hydro

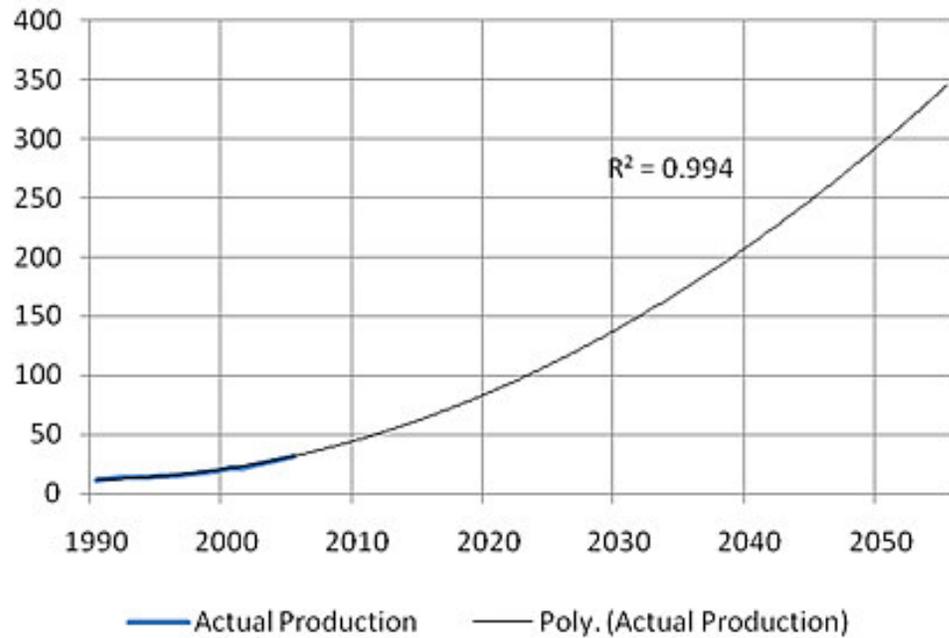


Hydro

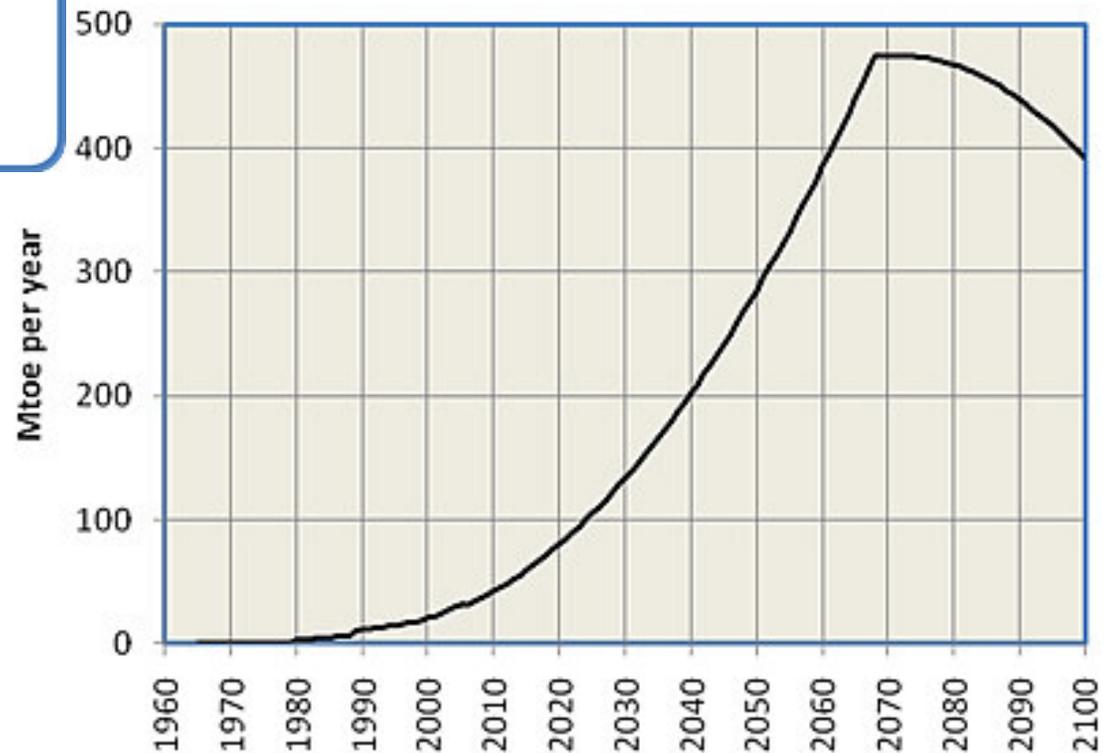


Énergies renouvelables

Renewables



Renewables



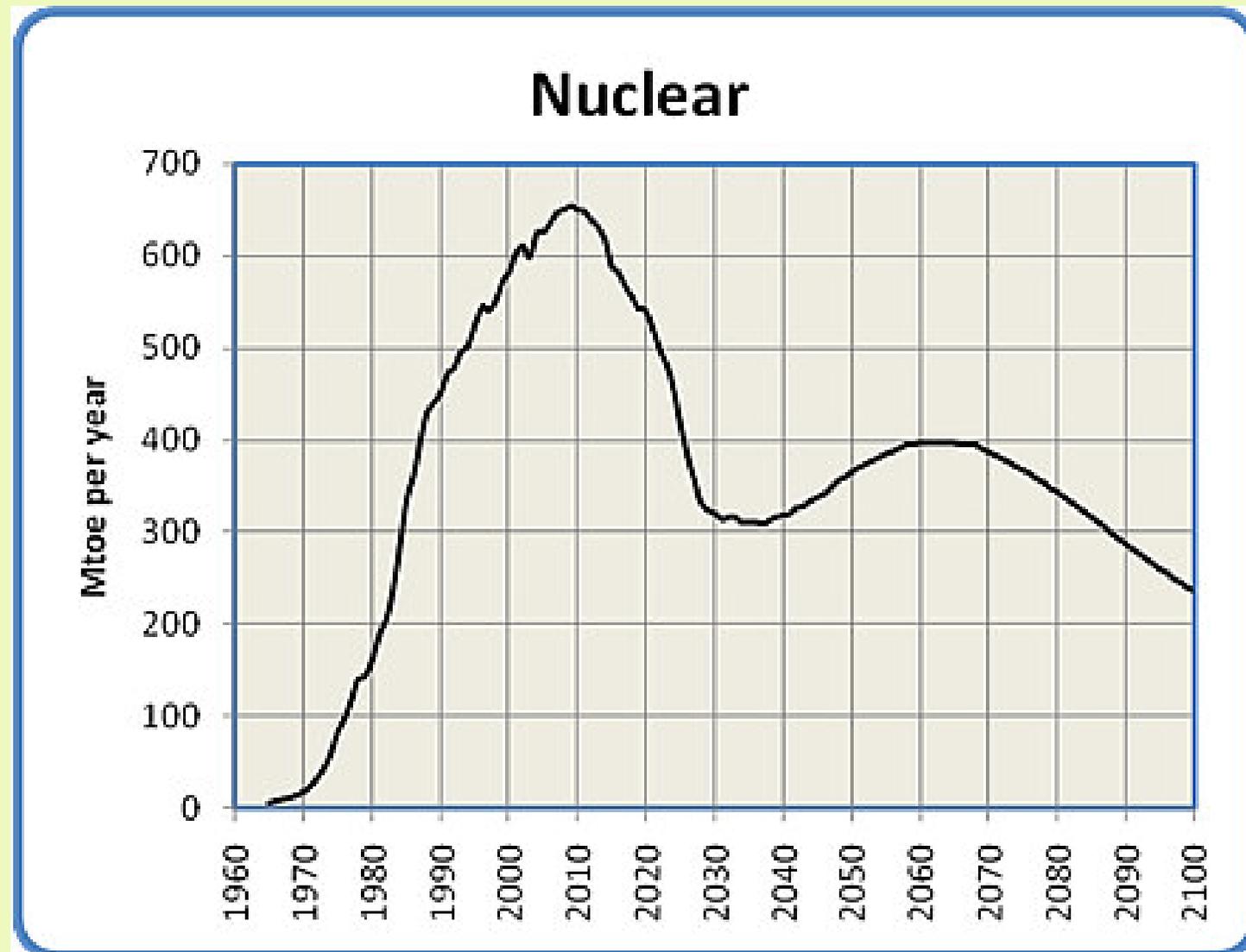
Le Nucléaire, 1965 to 2100

82% des 440 réacteurs ont entre 17 et 40 ans d'âge.

Dans les prochains 20 ans, on arrêtera donc ~300 réacteurs, et on en aura construit ~60.

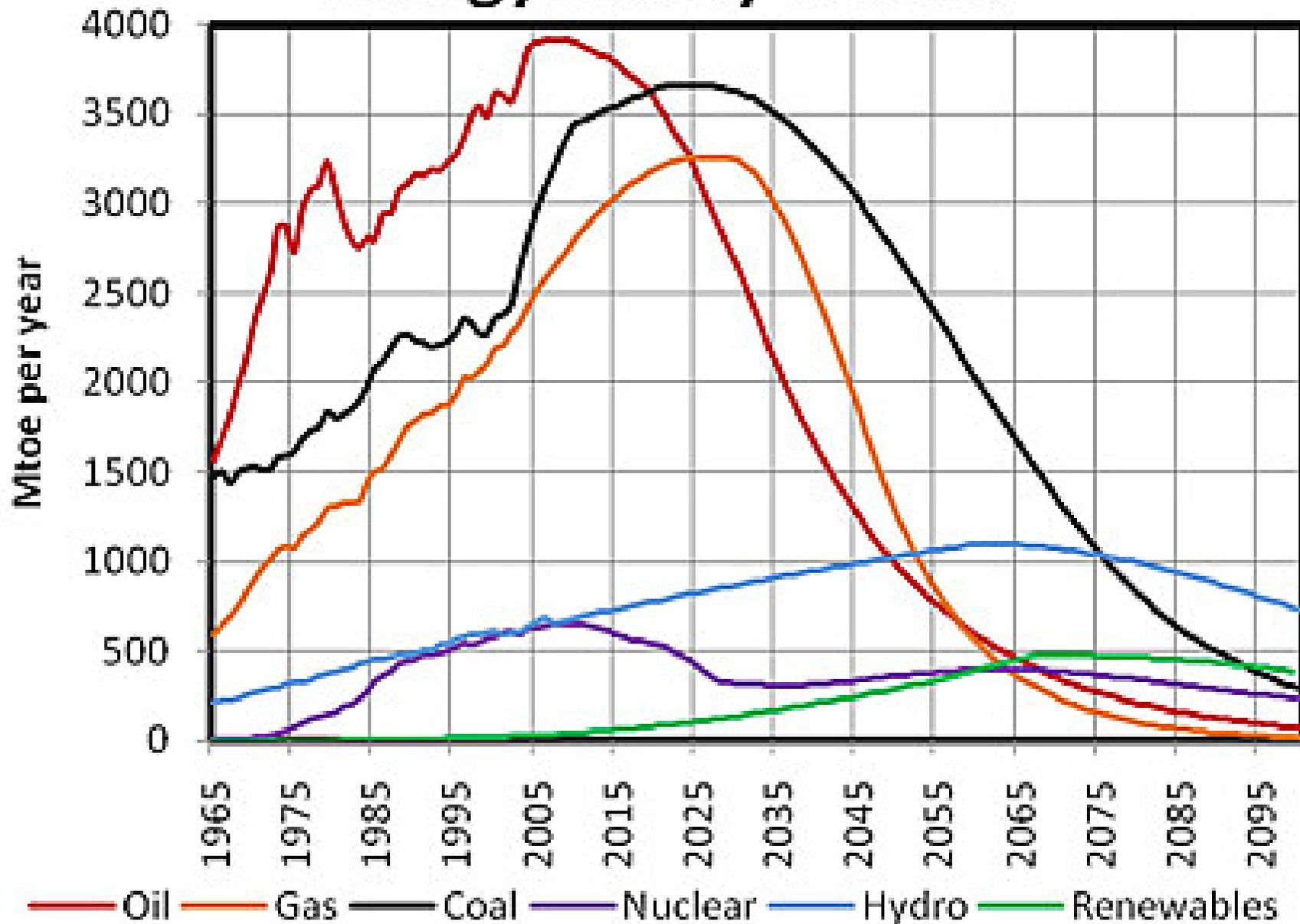
En 2030, il nous manquera ~240 réacteurs.

Après...

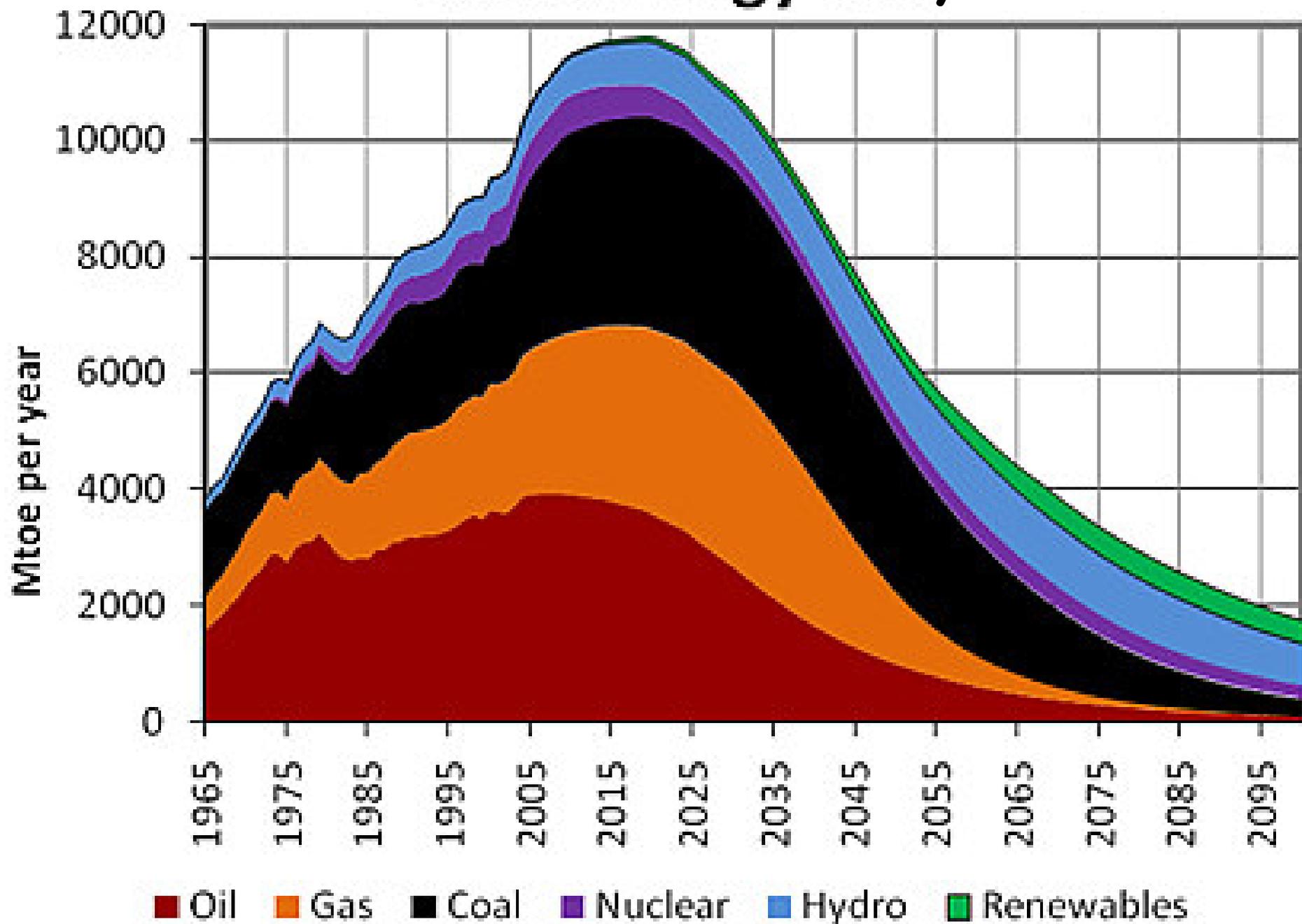


Utilisation d'énergie par source, 1965 - 2100

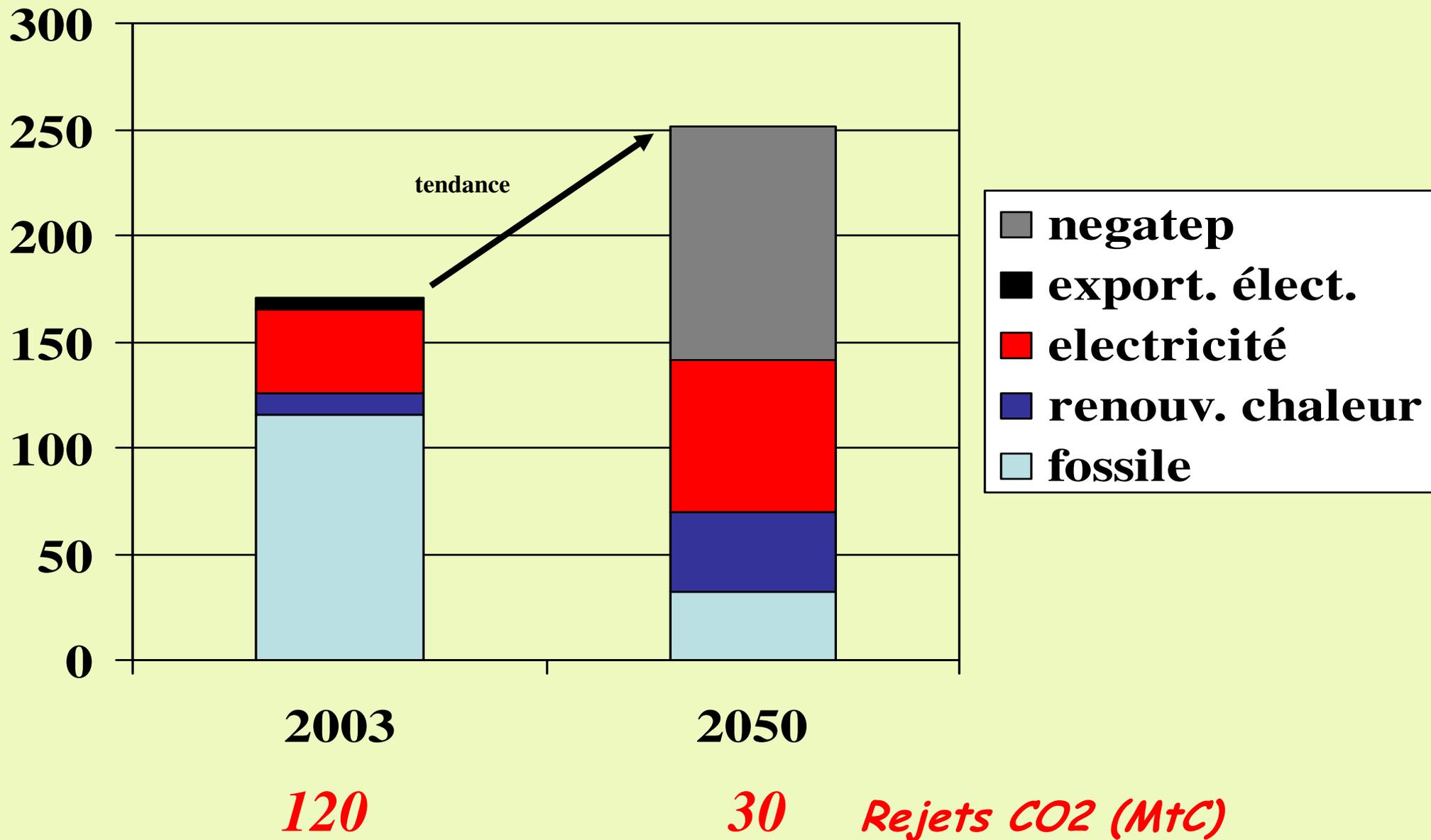
Energy Use by Source



Total Energy Use, XXI^e siècle



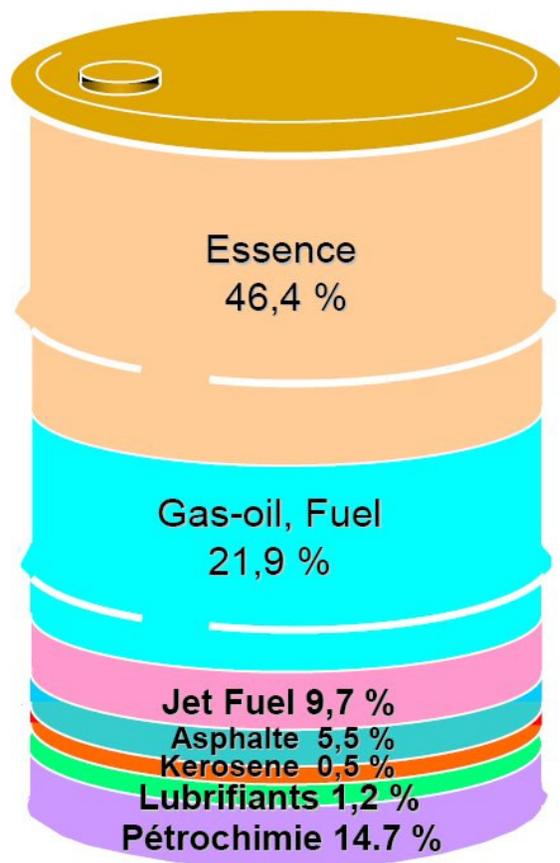
FR - Bouquet énergétique 2003 / 2050 (« énergie finale » en Mtep)



Utilisation du pétrole



..... CONSÉQUENCES LES GRANDS PRODUITS ISSUS DU PÉTROLE



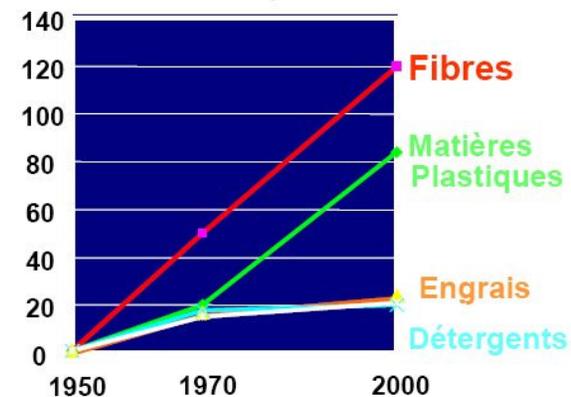
50 % dans les transports

- 80 % routiers
- 10 % aériens
- 5 % maritimes
- 5 % Agriculture-Pêche-Mines

35 % dans le domestique et l'industrie

comme source d'énergie

15 % en Pétrochimie
comme source
de matières premières



Division Géologie-Géochimie-Géophysique, Rueil Malmaison 11 Mai 2006

Pétrochimie

Une brosse à dents est faite à 100% de pétrole.

Mais aussi :

Pneumatiques, chambres à air, bitume et macadam,
pièces de carrosserie, huiles lubrifiantes,

Pesticides et engrais, emballages plastiques (la
chaîne alimentaire consomme 10 x l'énergie
obtenue), chewing-gum...

Moquettes en Nylon, bateaux, téflon, CD et DVDs,
Néoprène, joints, engins de sport, Gore-Tex,
Lycra, détergents, rouge à lèvres...

et les routes...

Sans pétrole ?

La disparition du pétrole ne pourra pas être compensée par des pétroles synthétiques, ni par les agrocarburants, l'hydrogène ou l'électricité.

Cela entraînera la disparition d'une grande partie des voitures et des camions.

Les agglomérations démesurées devront céder la place à de petites villes économes en énergie et en nourriture.

Notre civilisation est bâtie sur le pétrole abondant et bon marché



Transports



Alimentation



Biens de consommation



Chaleur & Travail

Un rayon de Yaourts (et il y en a aussi à côté)



L'eau minérale

De l'eau de source,
additionnée de CO₂, en
provenance d'Italie du
Nord, vendue partout à :

193 \$/baril (6 x 1 litre)

243 \$/baril (6 x $\frac{1}{2}$ litre)



Le pétrole est :

- plus difficile à extraire et à raffiner,
- plus long à transporter,
- moins abondant,
- et encore... moins cher !

Que faire ?? Pour l'instant : Chacun pour soi et Dieu pour tous

- Les anglais ont du gaz
- Les italiens misent sur le gaz nord-africain
- En France on a le nucléaire
- En Allemagne du charbon, le photovoltaïque et le gaz de Russie
- En USA on envoie des cow-boys au moyen Orient
- Inde et Chine planifient des dizaines de centrales nucléaires (et **des centaines de centrales au charbon**)

Dangers :

- consommation accrue de charbon, déstabilisation politique...
- Les gouvernements n'ont pas de plan B... (ni même de plan A).

Le charbon

Noir, noir...

Et le charbon ?

20% de l'énergie mondiale, 40% de l'électricité, mais...

50% dans les pays qui ont du charbon (USA, Japon, Australie, et, en Europe, Allemagne, Pologne, Russie, ...)

En Chine, 66% de l'énergie, 75% de l'électricité.

La consommation du charbon augmente de 3% / an.

Le charbon produit 30 % plus de CO₂ que le pétrole, et le double du gaz naturel.

Charbon = Électricité

5 nouvelles centrales / semaine en **Chine** en 2006...
+ 1 centrale/semaine dans les prochaines années.

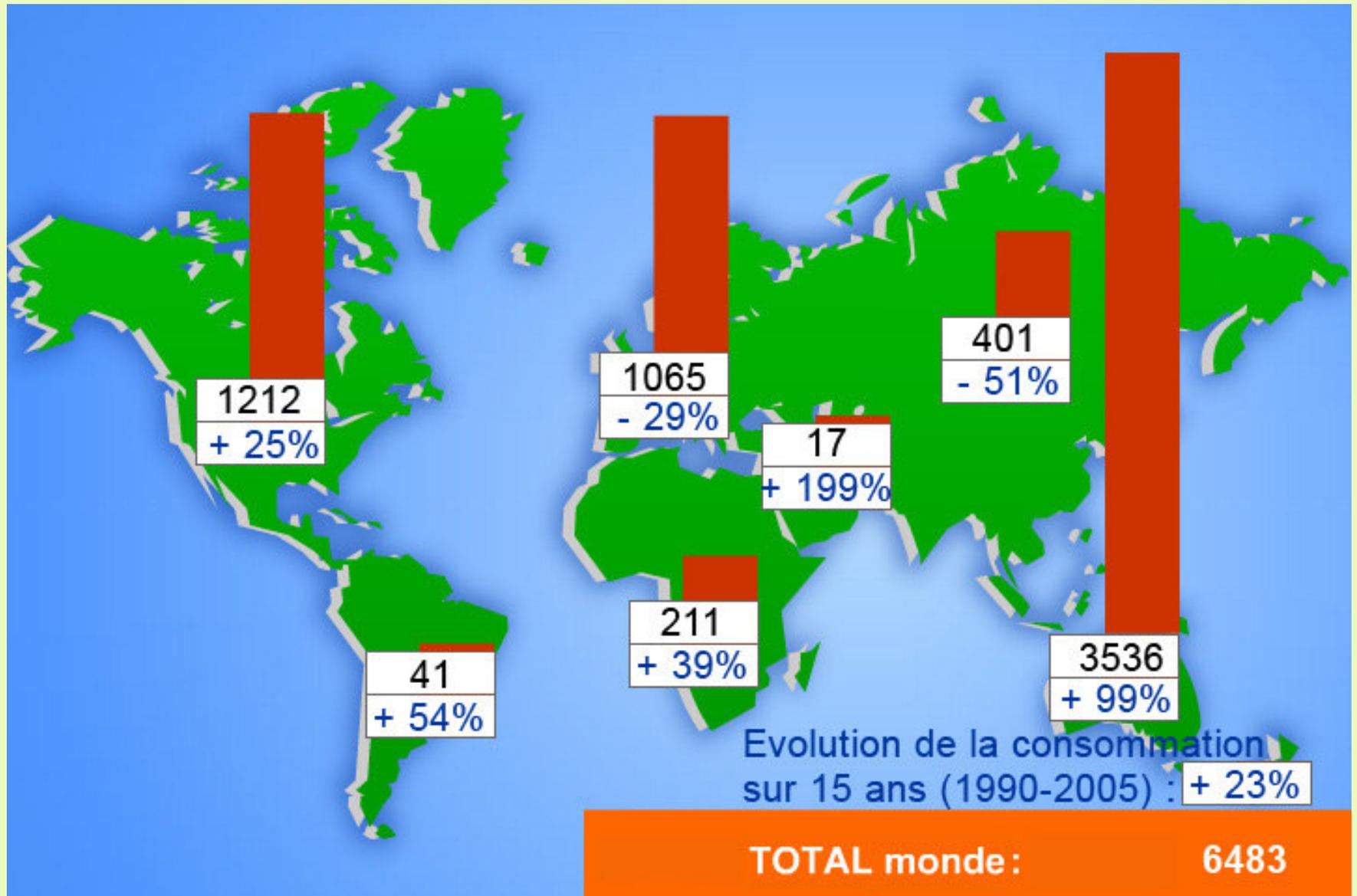
24 nouvelles centrales en projet en **Allemagne**.

100 nouvelles centrales prévues aux **USA**.

USA : ~2000 mines de charbon et 100.000 mineurs.

Écologistes, où êtes vous ?

Consommation de charbon (houille + lignite) en millions de tonnes (DoE).



Séquestration du CO₂ - dans 30 ans ?

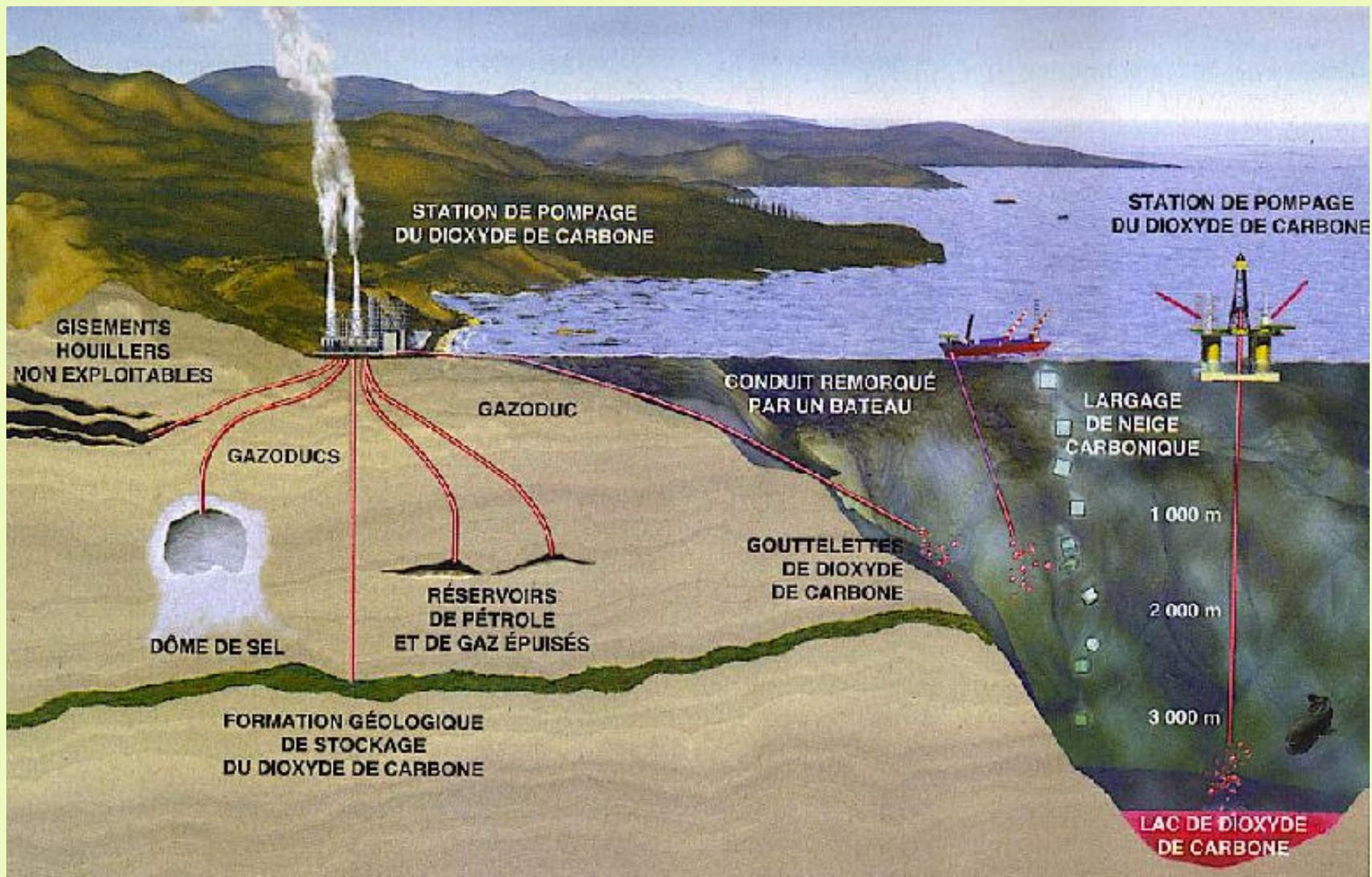


Diagramme illustrant les diverses possibilités théoriques de séquestration. "Station de pompage" ne signifie pas "station d'épuration de l'atmosphère" ! Il s'agit juste d'un endroit où le CO₂ est injecté en sous-sol.

Le CO₂ et le réchauffement

Maximum des émissions de CO ₂	Concentration atmosphérique de CO ₂	Augmentation de temp. globale à l'équilibre**
2020 à 2060	485 à 570 ppm	3.2 à 4°C

** par rapport à 1900.

La température se stabilise longtemps après le maximum des émissions.

Les Prix

Les baisses sur le court terme ne doivent pas masquer la tendance en forte hausse.

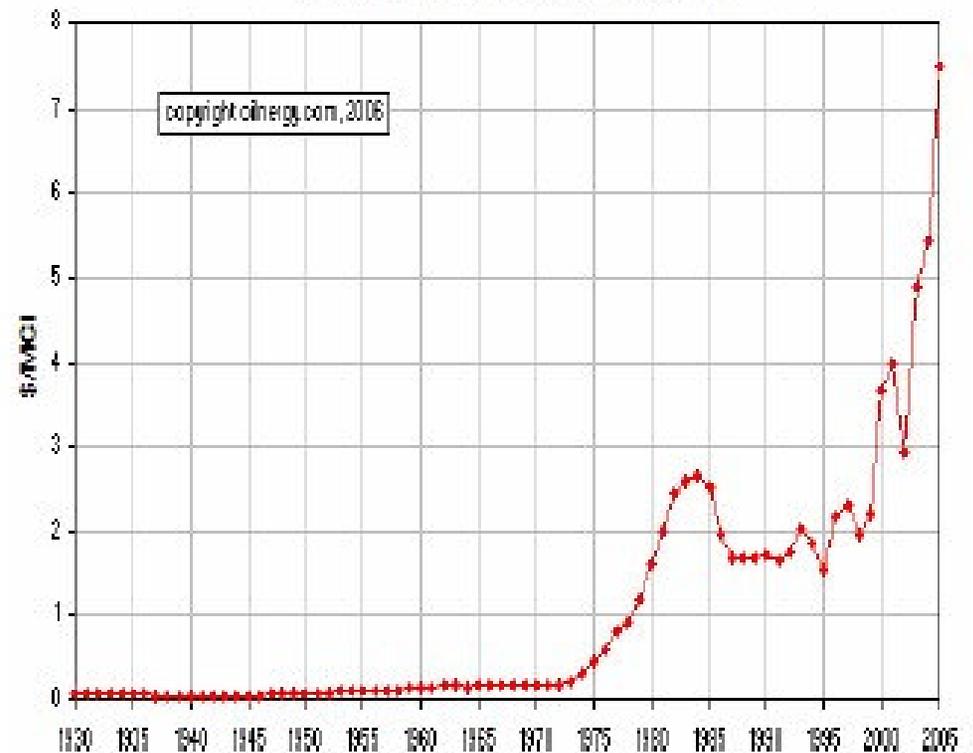
IPE Brent Crude Oil Closing Price (begin July 1988)



Average monthly data from July 1988 through September 2006

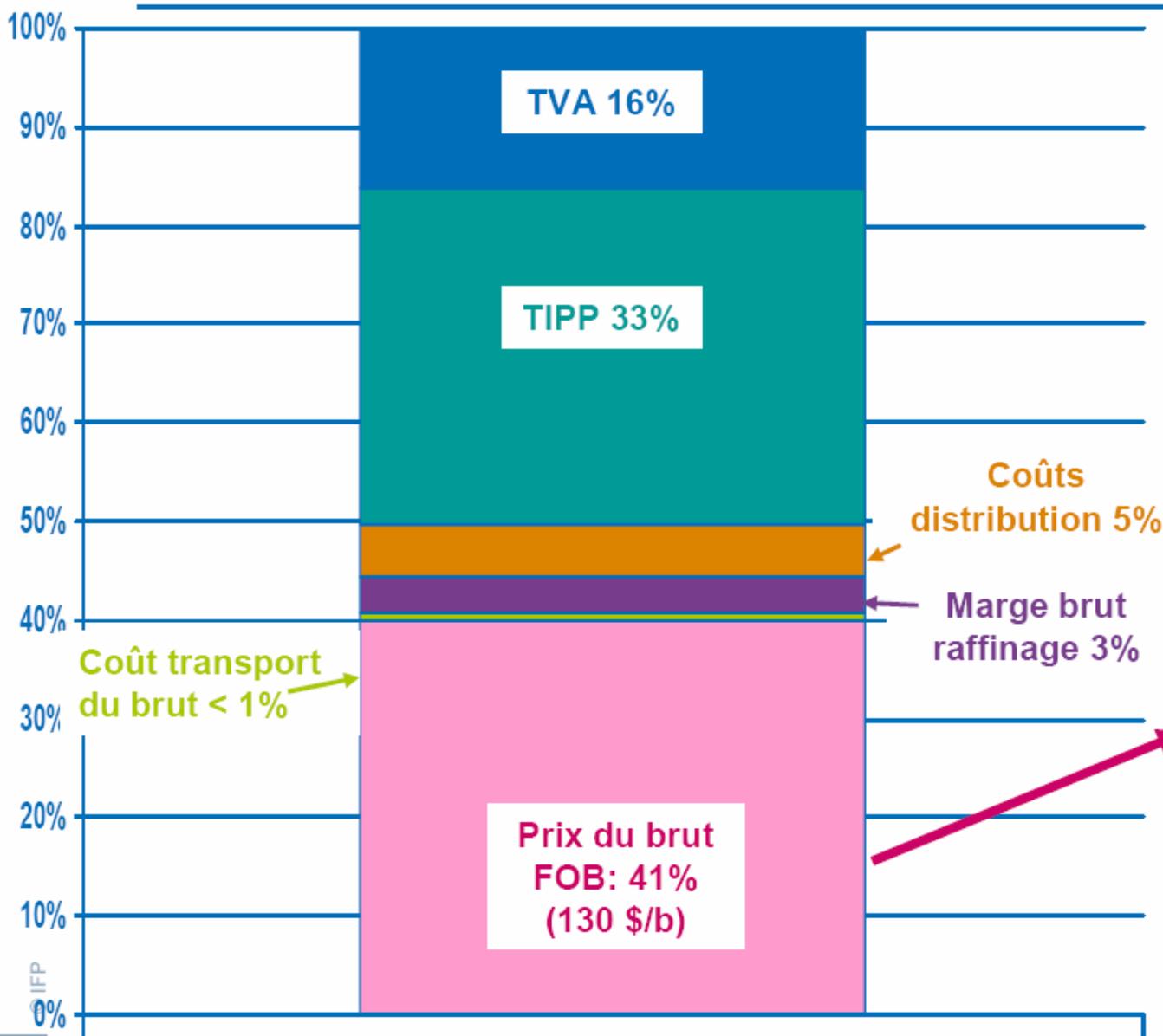
Prix du Pétrole

U. S. Wellhead Natural Gas Price



Prix du Gaz

Décomposition du prix à la pompe du gazole pour un prix du brut de 130 \$/b



Prix à la pompe:

1,30 €/l

(1€ = 1.55 \$)

Répartition du prix du brut dans le prix à la pompe:

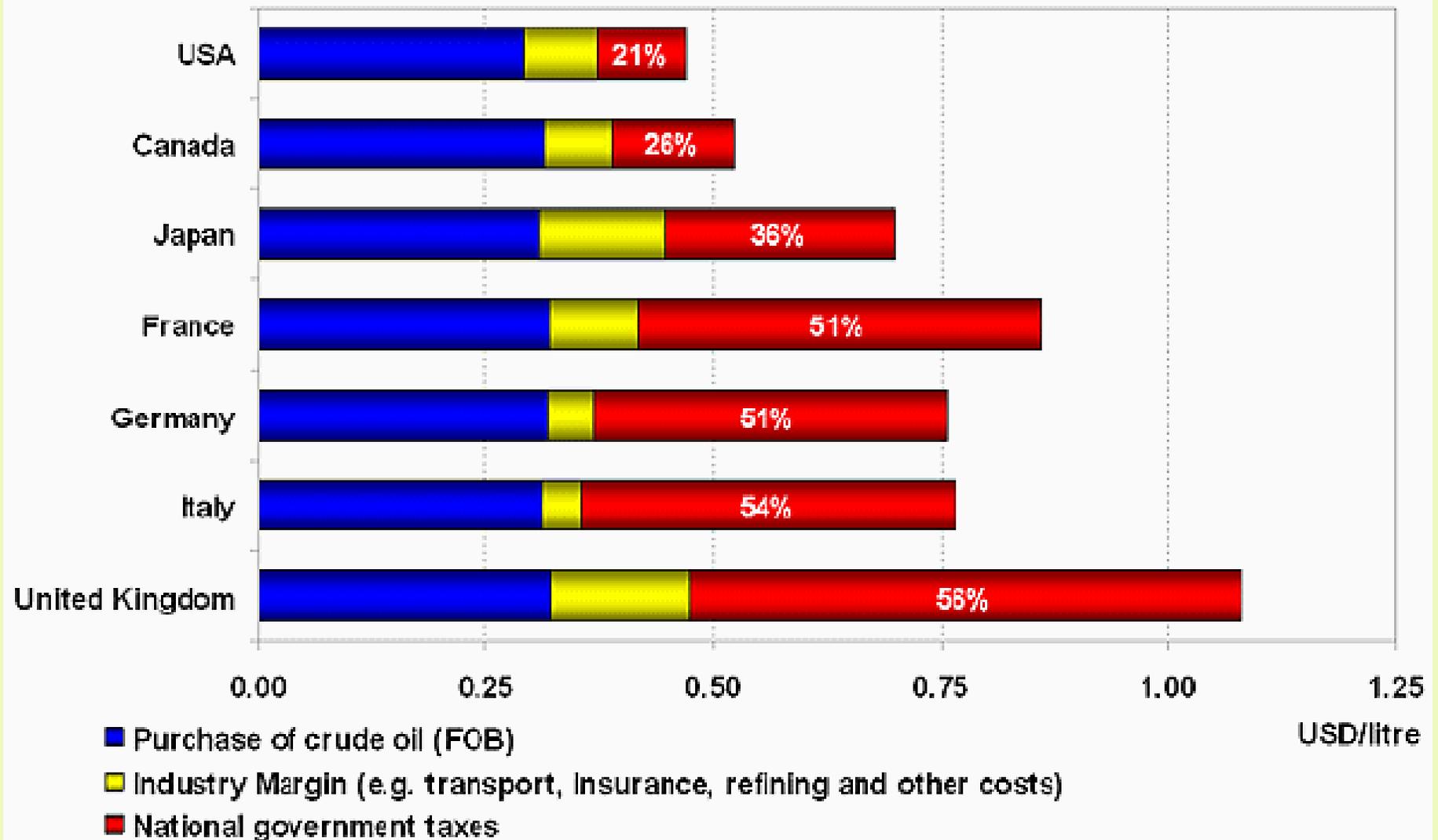
Marge Cie pétrolière productrice
7 à 8%

Marge État producteur
27 à 31%

Coûts techniques de production
1 à 6%

Who gets what from a litre of oil in the G7?

2005



Source: OPEC Research Division, 2006; IEA - Energy Prices & Taxes, Energy Détente, Oil Bulletin Pétrolier.

La spéculation

~ 60% des 130 \$/bar sont dus à la spéculation non réglementée ?

Les bourses d'échange de produits pétroliers et matières premières sont **NYMEX à New York** et **ICE Futures** à Londres, les deux contrôlées par ICE Atlanta, fondée par Goldman Sachs.

Depuis 1971 : le pétrole de l'OPEP se vend exclusivement en dollars US. La plus belle planches à billets que l'on puisse inventer !

La spéculation

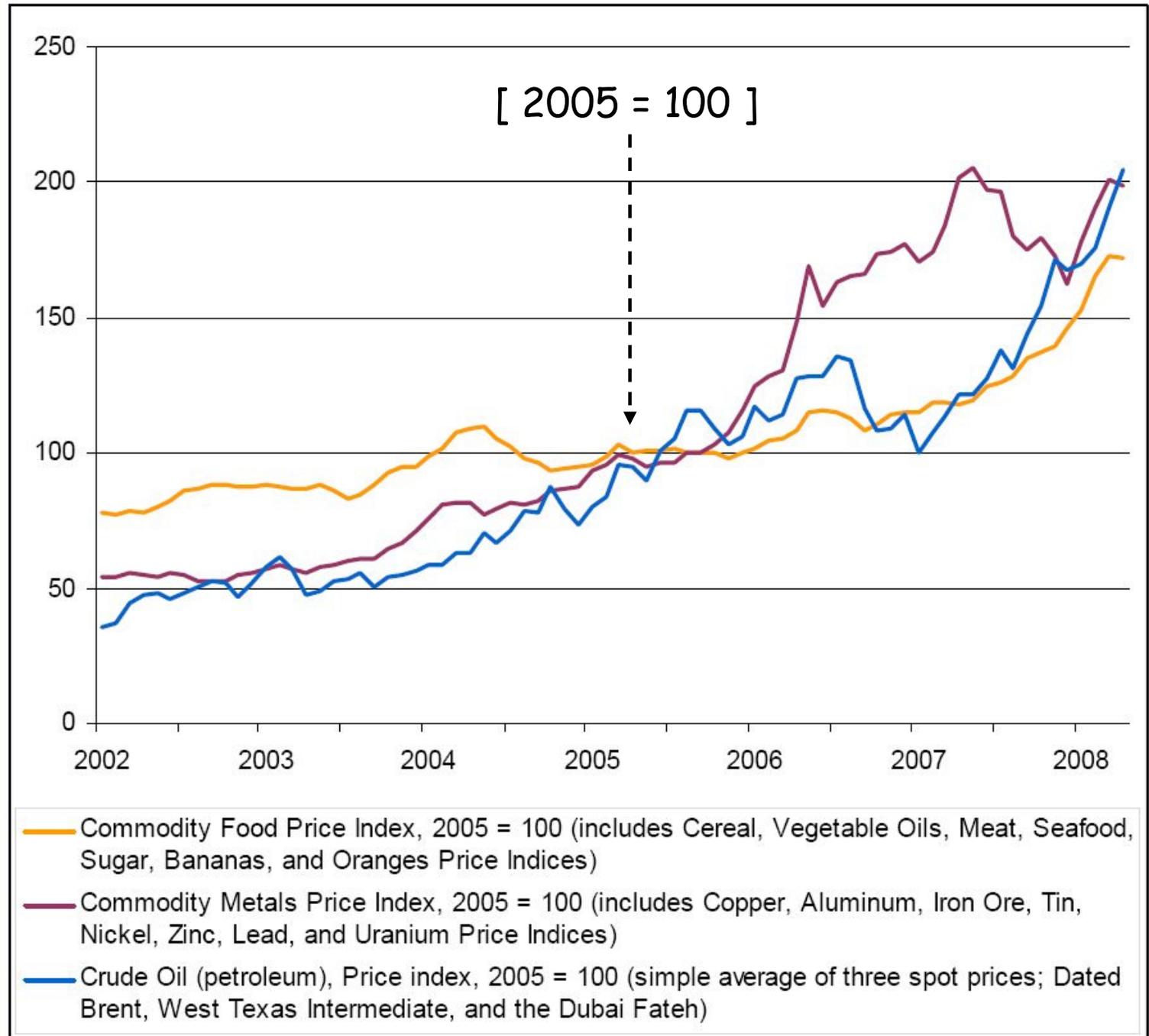
Depuis février 2006 : les transactions de ICE Futures ne sont plus soumises au contrôle du CFTC (*Commodities Futures Trading Commission*) - dérogation décidée par l'administration Bush.

En 2000, à la demande de ENRON, la même dérogation a été appliquée aux échanges de main à main (hors côte).

Le marché pétrolier des échanges à terme est très opaque : 8\$ permettent d'en investir 120 (Futures).

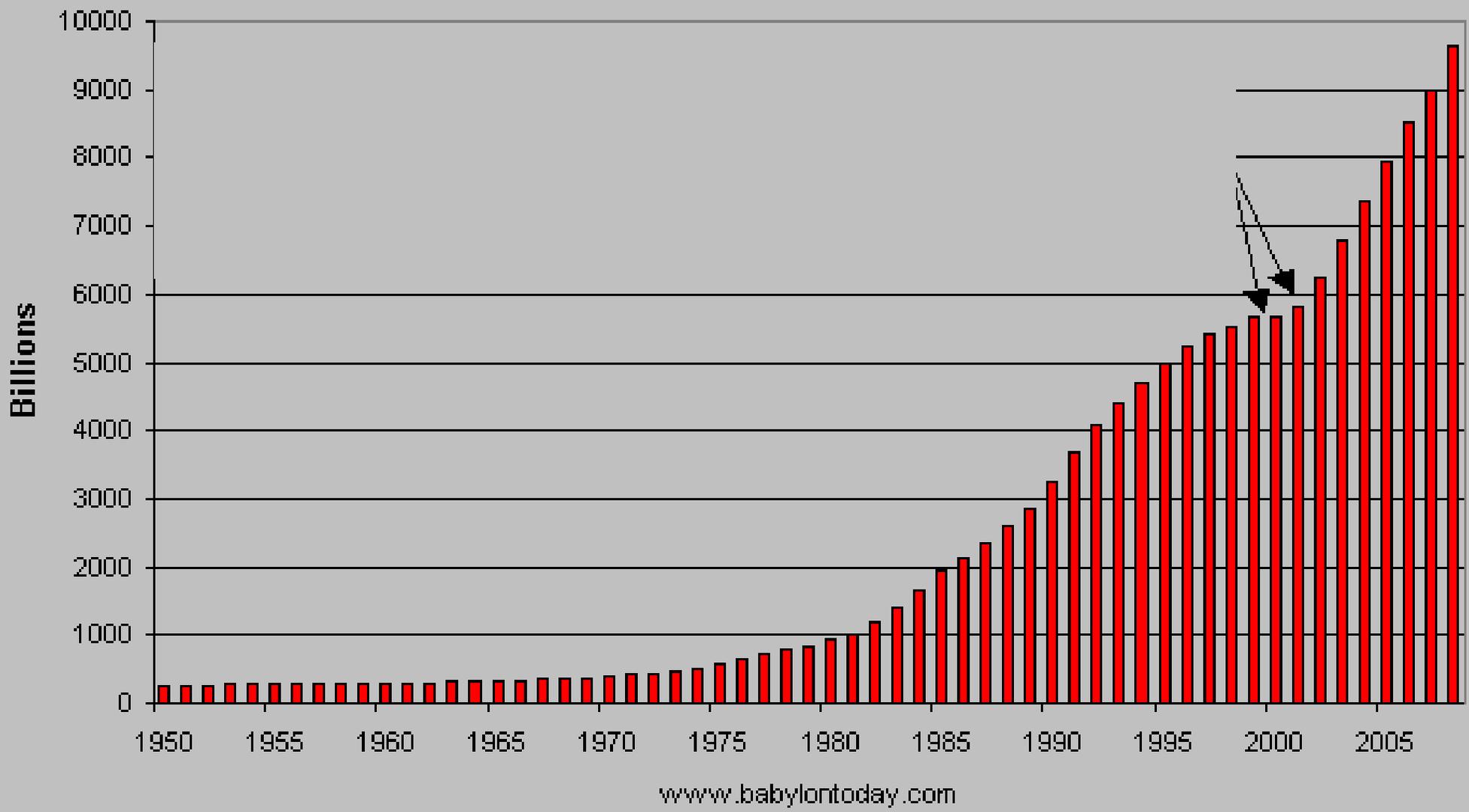
Comparaison des prix des matières premières

Le prix des matières premières sont surpondérés au prix du pétrole (ICE Atlanta).



Risques politiques

Total U.S. Debt by Fiscal Year (Oct 1 - Sept 30) 1950 Through 2007 & Part Year, Fiscal 2008.



9.700.000.000.000 dollars (février 2008), soit 150.000 \$ par famille

Dépenses militaires

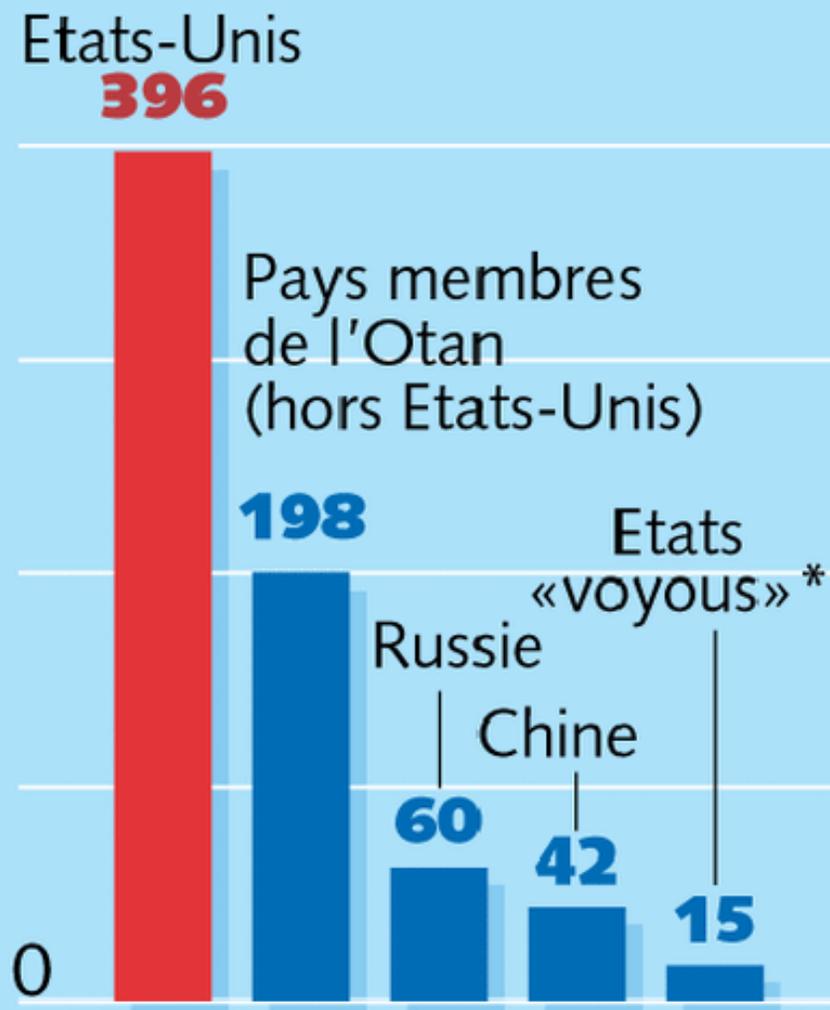
Consommation de pétrole en 2008:

USA^^ 20.7 Mbar/jour (tend. -1%)

Chine, 7 Mbar/jour (3.2 M importés,
tend. + 0.4 Mbar/jour)

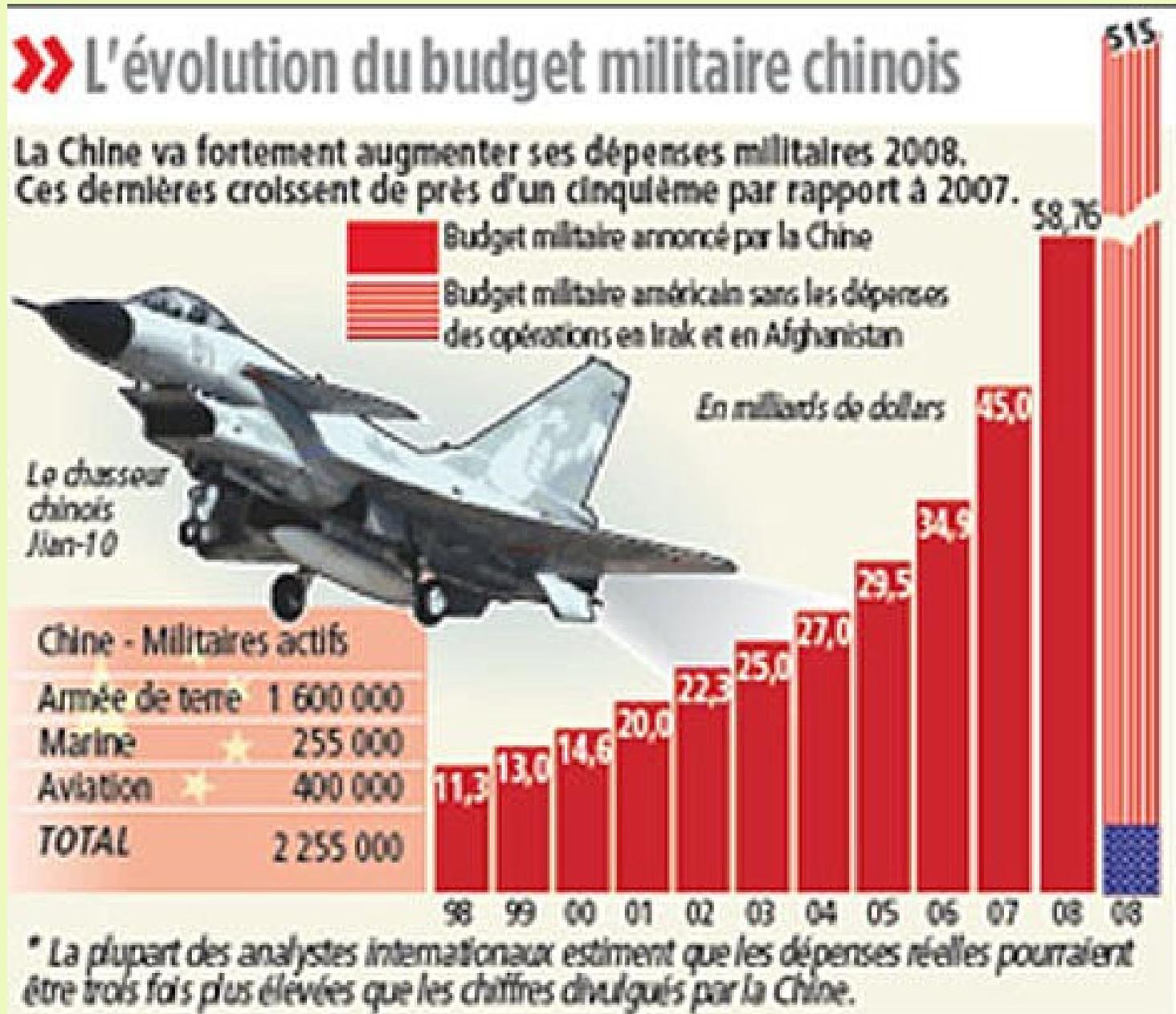
^^ Les besoins des armées ne sont ni
inclus ni connus.

Dépenses de défense (projet de budget 2003, en milliards de dollars)

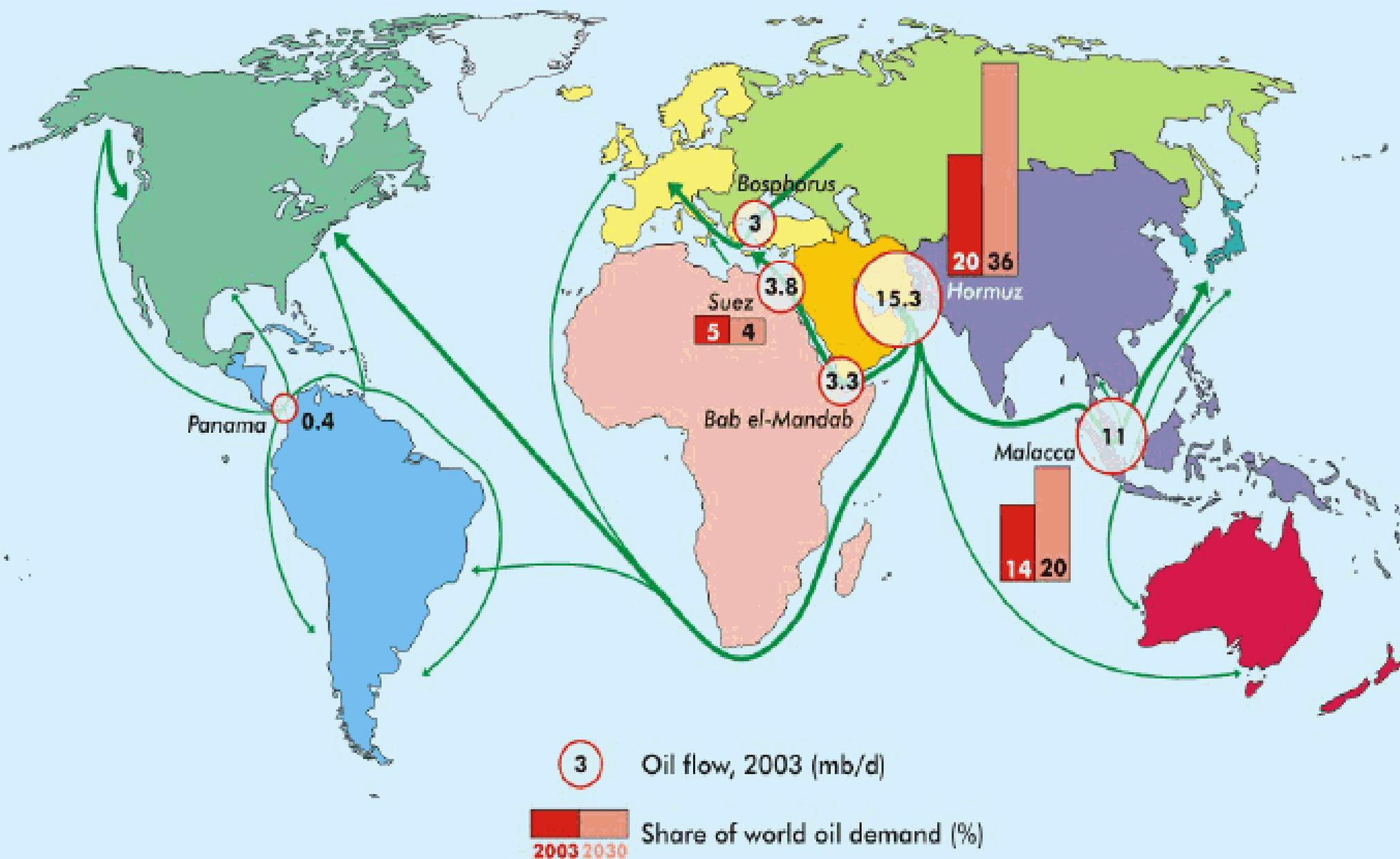


*Cuba, Iran, Irak, Libye, Corée du Nord, Soudan et Syrie.
Source : Center for Defense Information

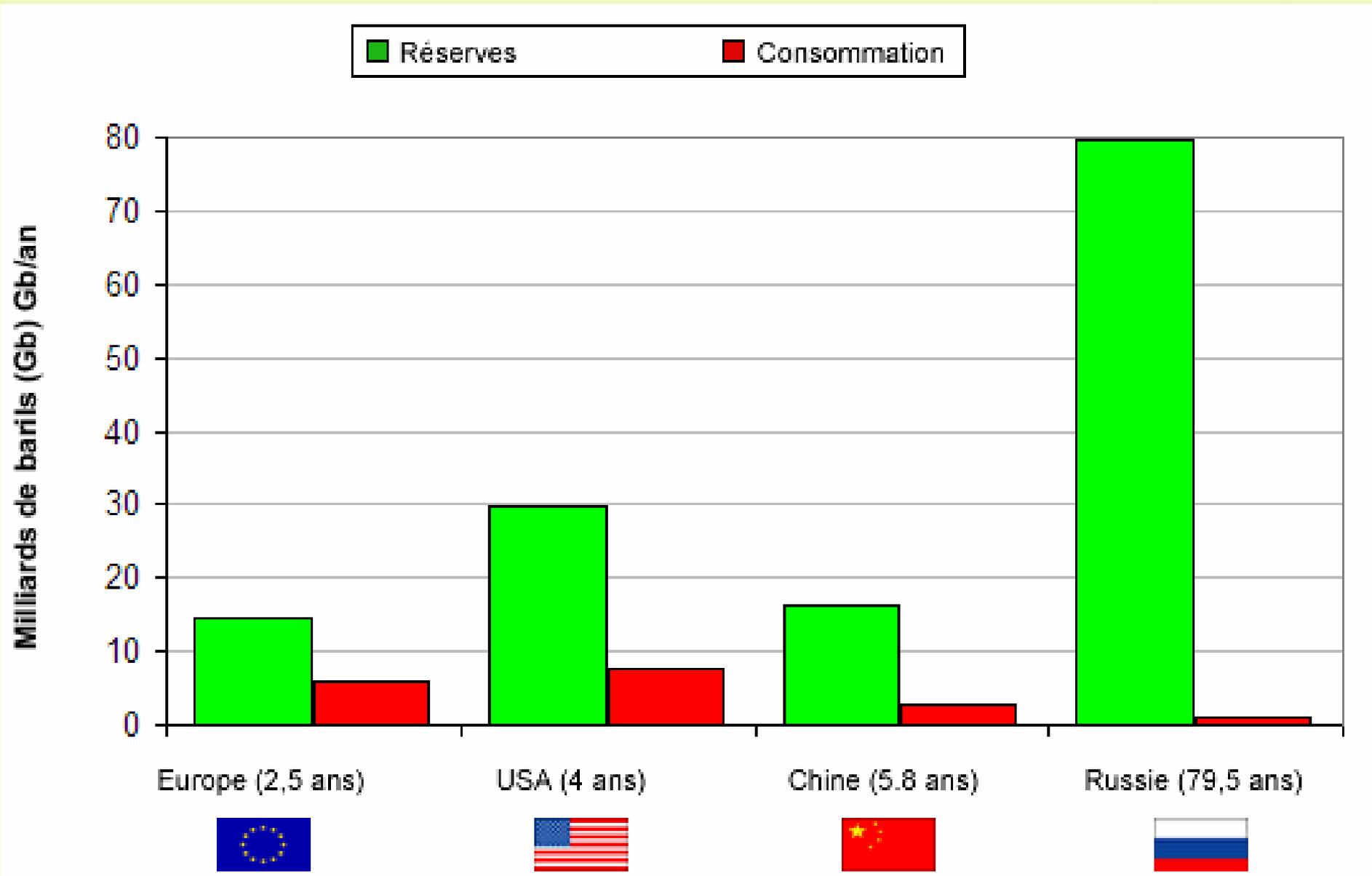
Le budget de la défense USA ne comprend pas le coût des expéditions en Afghanistan et Iraq



Pétrole : les détroits stratégiques



Les quatre pays (bien que l'Europe soit une entité politique)
qui décideront des guerres futures -
leurs réserves et consommations annuelles (2006).



FIN

Nos sources d'énergie

Énergies 'fossiles'	<ul style="list-style-type: none">• Pétrole• Gaz naturel• Charbon
Énergies renouvelables :	inépuisables, sans émissions de CO ₂ .
Solaire directe	<ul style="list-style-type: none">• Thermique basse température (< 150°C)• Thermodynamique (→ 500 -1000°C)
Solaire indirecte	<ul style="list-style-type: none">• Photovoltaïque• Biomasse (bois, biocarburants)• En. Hydraulique
Énergie non solaire	<ul style="list-style-type: none">• En. Éolienne• Géothermie• En. Marémotrice (vagues et marées)
Nucléaire	<ul style="list-style-type: none">• Fission• Fission IVème génération• Fusion

Note - L'hydrogène n'est pas une source d'énergie, mais un vecteur, tout comme l'électricité. Et il est très cher à produire, à stocker et à transporter.