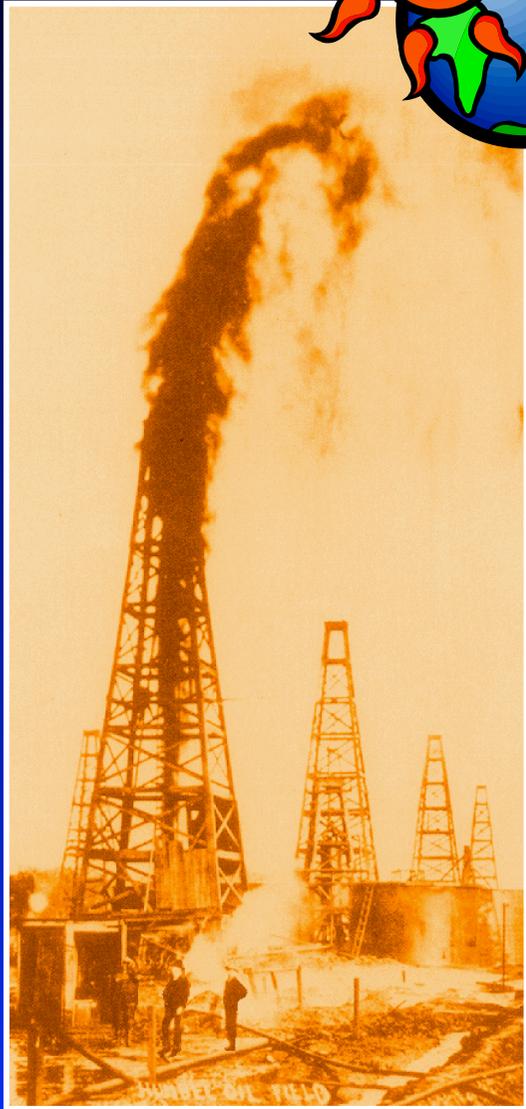


Gestion de l'énergie. La quadrature du cercle!



LES COMBUSTIBLES FOSSILES QUEL AVENIR? ETAT DES RESERVES ET GEOPOLITIQUE

Athénée de Wavre
28 janvier 2014

Alain PREAT
Professeur géologie ULB
apreat@ulb.ac.be
<http://www.biogeomod.net/staff.html>



LES ENDOGENES PRIMAIRES

- ENERGIES FOSSILES = énergies **concentrées** mais non renouvelables [*E solaire stockée au cours des temps géologiques*]

◇ Charbon ◇◇ **Pétrole** ◇◇◇ Gaz naturel

- ENERGIES NUCLEAIRES = énergies **très concentrées**

un gramme U^{235} = autant d'E qu'une tonne de pétrole!, $1\text{cm}^3 = 19\text{g } U^{235} = 47,5\text{ T charbon!}$

◇ **Fission** [*Centrales nucléaires actuelles*] ◇◇ **Fusion** [...]

- ENERGIES RENOUVELABLES = énergies **diluées** ou diffuses mais renouvelables

◇ **Hydraulique** ◇◇ **Solaire** ◇◇◇ **Eolienne**

◇◇◇◇ **Biomasse** ◇◇◇◇◇ **Géothermie**

en 1h le Soleil déverse 'notre' Energie de 365 jours

ou il déverse environ 10.000 fois notre consommation mondiale d'énergie à chaque instant

- **1tep = ±42GJ = 10¹⁰cal ou ±11700kWh [12,5Gtep E primaire mondiale 2012]**

1 calorie = 4,18 J (1cal = quantité de chaleur pour élever de 14,5° à 15,5° la T° de 1g d'eau)

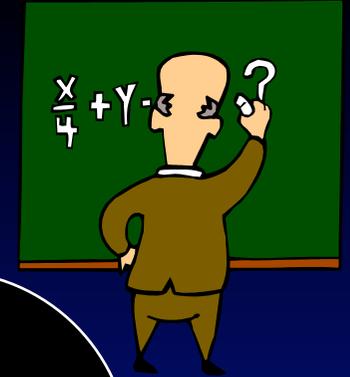
Le saut d'une puce = 10⁻⁷ J (soit environ 4 dix-millionième de cal),

L'homme a besoin de 10⁷ J d'énergie/j [±2500Kcal] sf de nourriture, de chaleur ...

Une tep représente donc 11_{1/2} ans de ses besoins vitaux!

[1bbl = ±1_{1/2} an, 1l = 3,6j]

- *Un cyclone dans les Caraïbes = 3,8 x 10¹⁸ J soit 100. 10⁶ tep*



1t ²³⁵U ==> 10 000 tep

1000m³ gaz p_{atm} ==> 0,9 tep

1t charbon ==> 0,7 tep

ou 43µg ²³⁵U(0,0000043g) = 70g essence = 3,6t eau sur 100m = 1kWh



courantes-contingentes-'à découvrir'
1P-2P-3P C-SC-nc

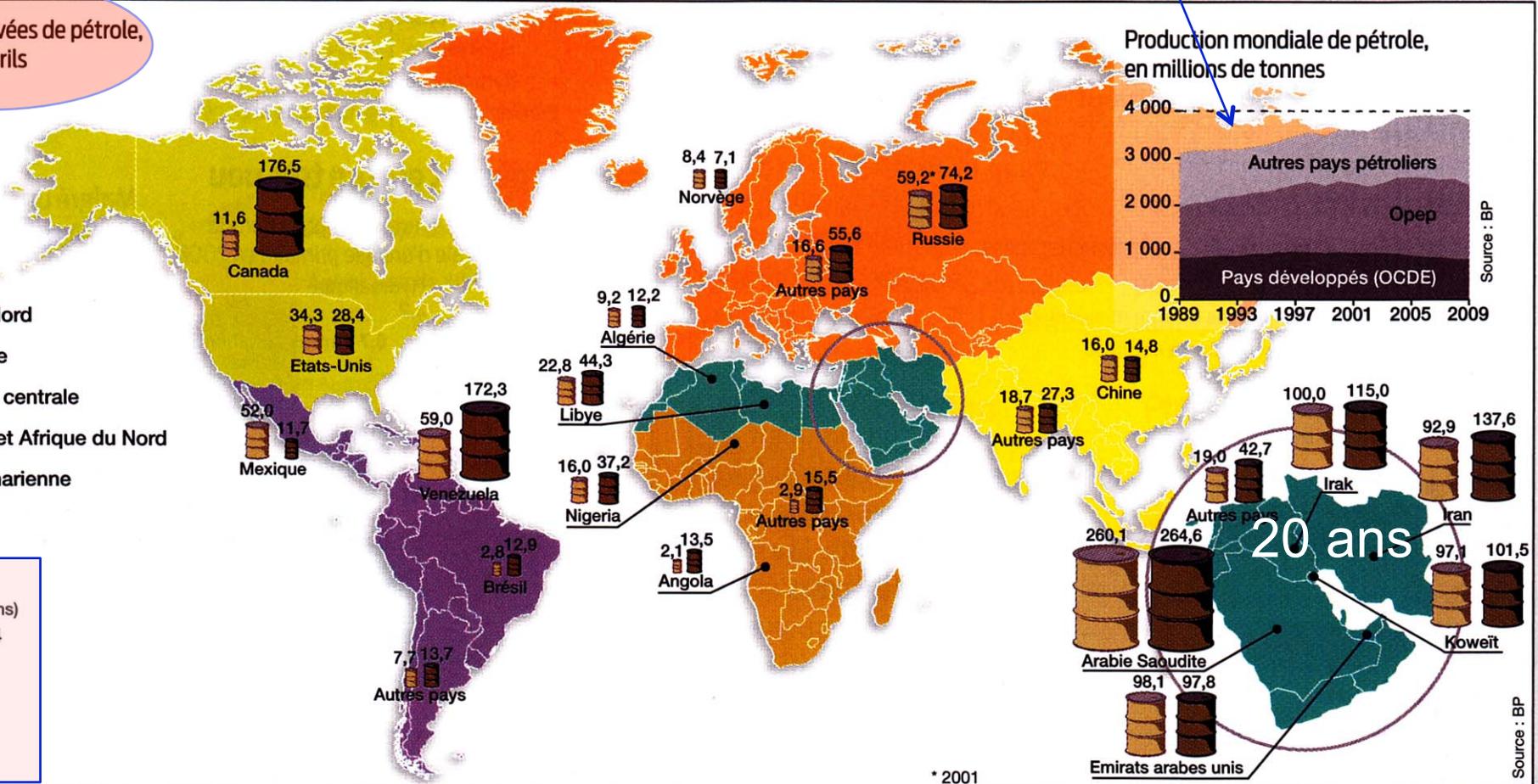
2009

≠ réserves

Le pétrole, bientôt la fin ?

Les réserves prouvées de pétrole, en milliards de barils

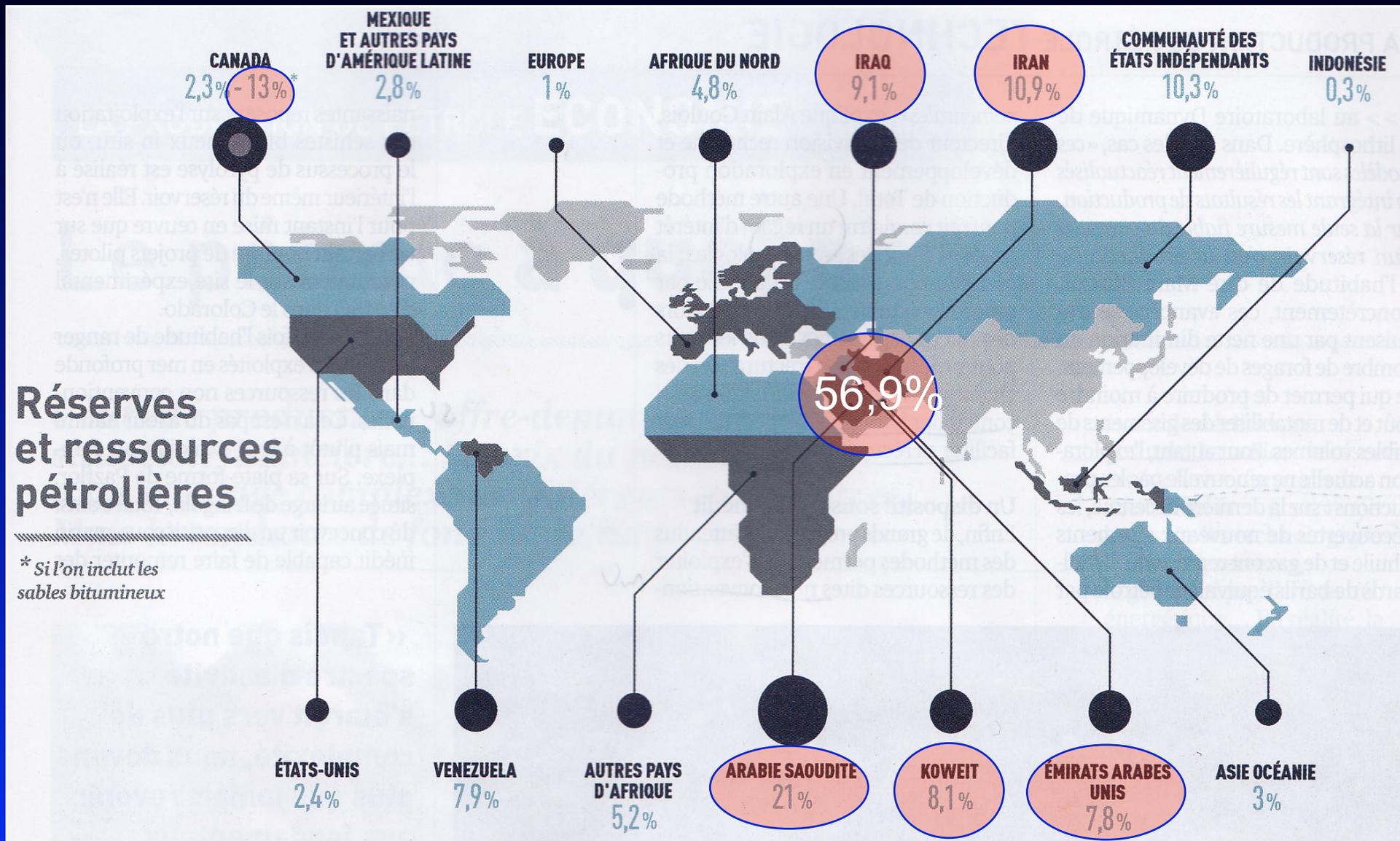
- Amérique du Nord
- Amérique latine
- Europe et Asie centrale
- Moyen-Orient et Afrique du Nord
- Afrique subsaharienne
- Asie-Pacifique

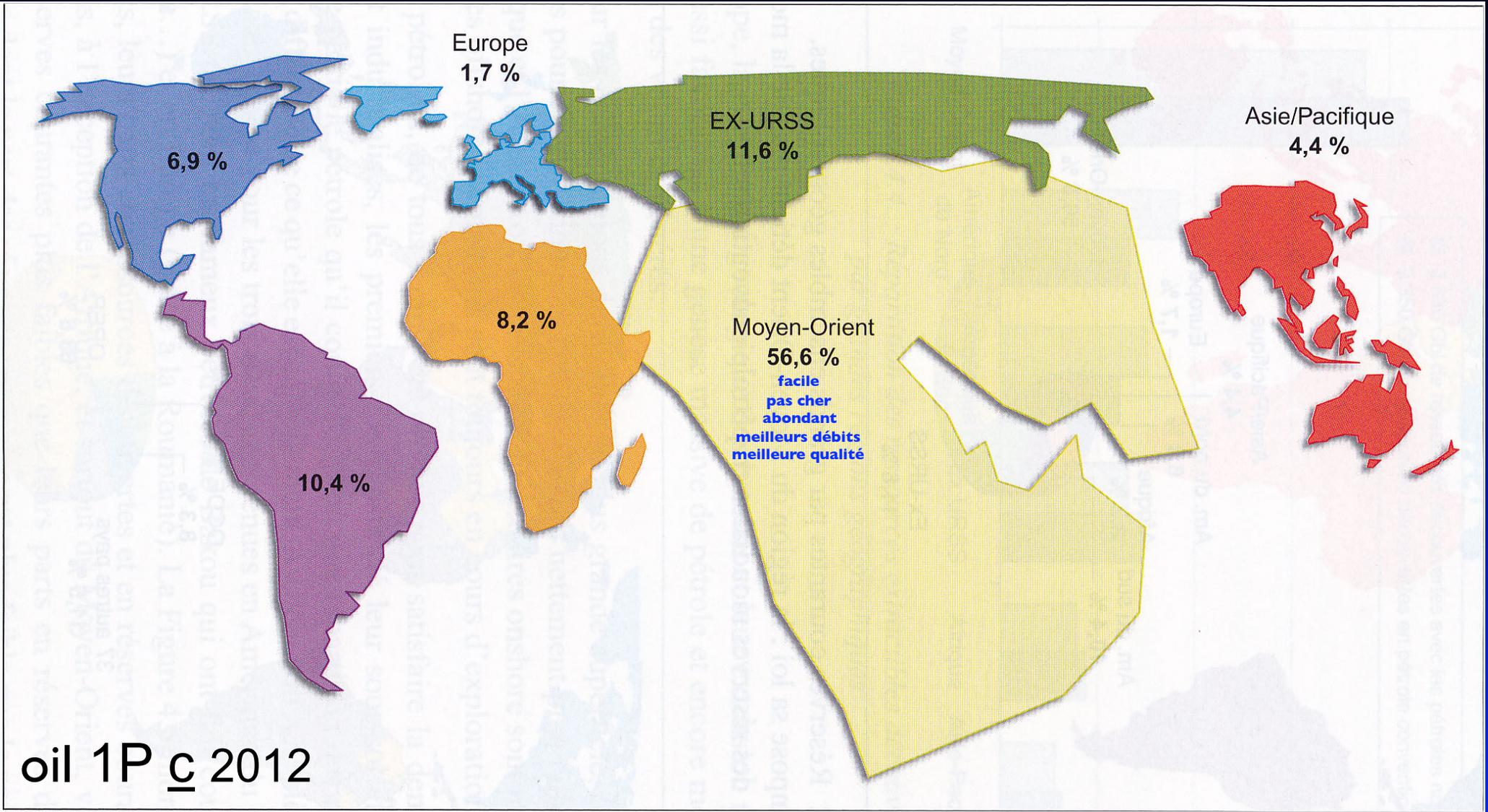


« On n'a pas quitté l'âge de la pierre faute de pierres »

Sheikh Yamani, ancien ministre saoudien du pétrole (co-fondateur OPEP)

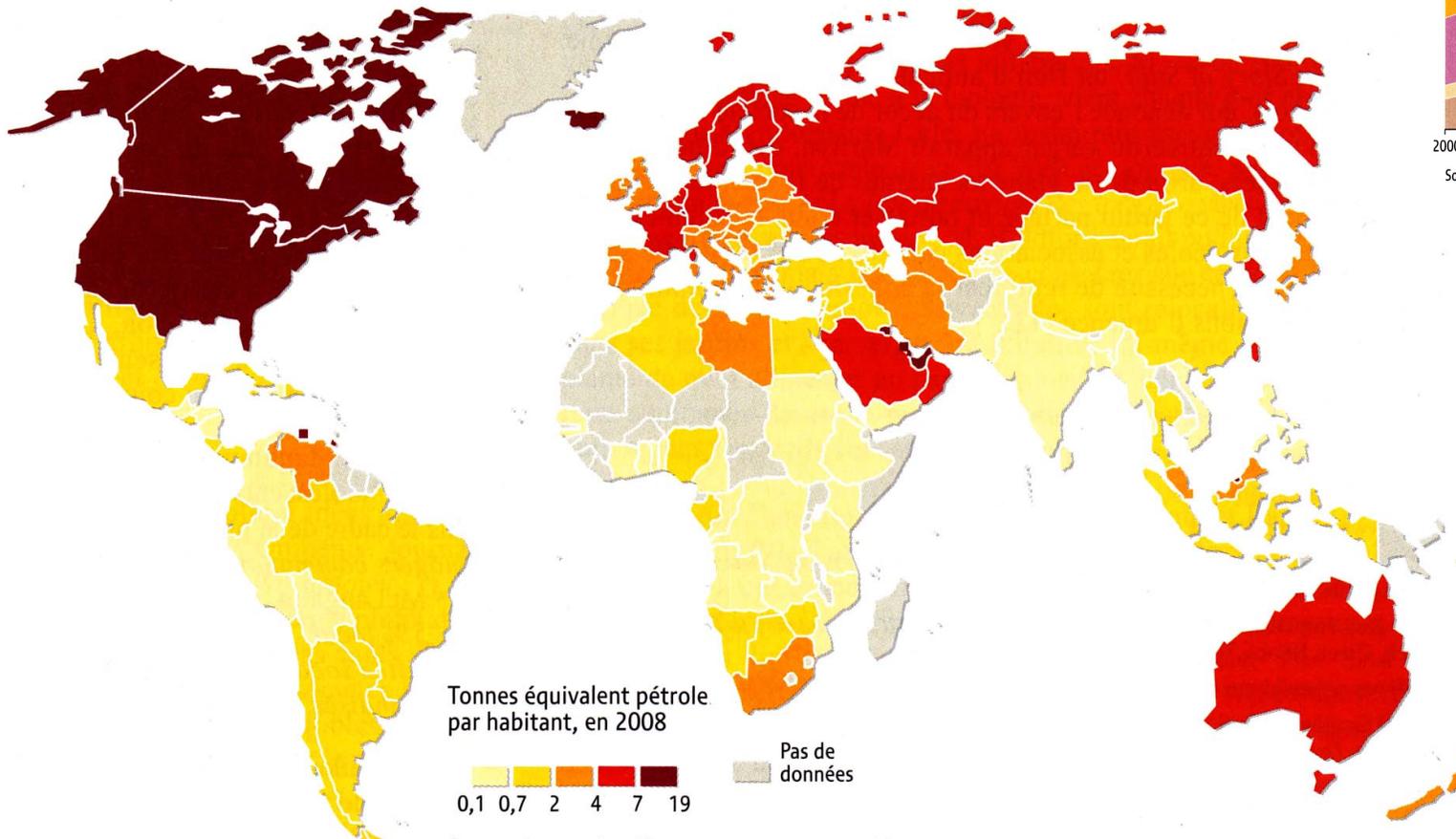
1P_c ou 'courantes' en 2012, soit > 40 années minimum ...





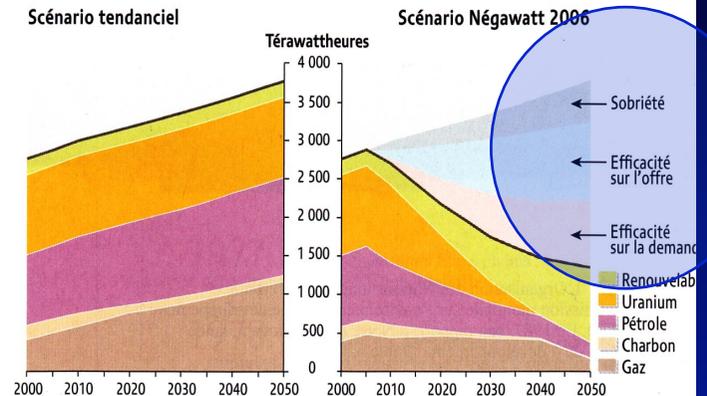
Aujourd'hui : pas de politique cohérente de l'utilisation de l'énergie...

Consommation d'énergie primaire par habitant



Source : International Energy Agency, « Key world energy statistics », 2010.

Evolution des ressources en énergies primaires entre le scénario tendanciel et le scénario Négawatt



Source : Négawatt, 2007.

> 50%?

2010 : +5,6%

(très élevé! max depuis 1973!

- pr 2009 : Chine +11,2%
Belg-Lux +6,1%; France +3,4%
USA +3,7%)

- pr au Monde : Chine = 20,3%
Bel-Lux = 0,6% France = 2,1%
USA = 19,0%

BP Statistical Review 2011

2012 : +1,8%



ON
CONSOMME
TOUJOURS
PLUS...



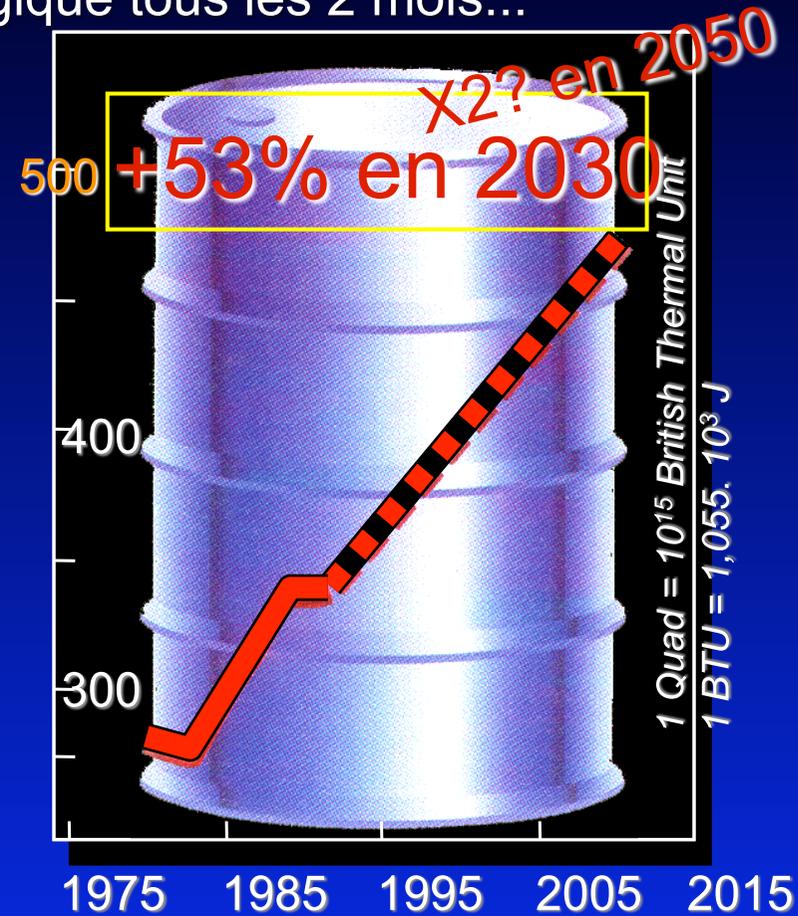
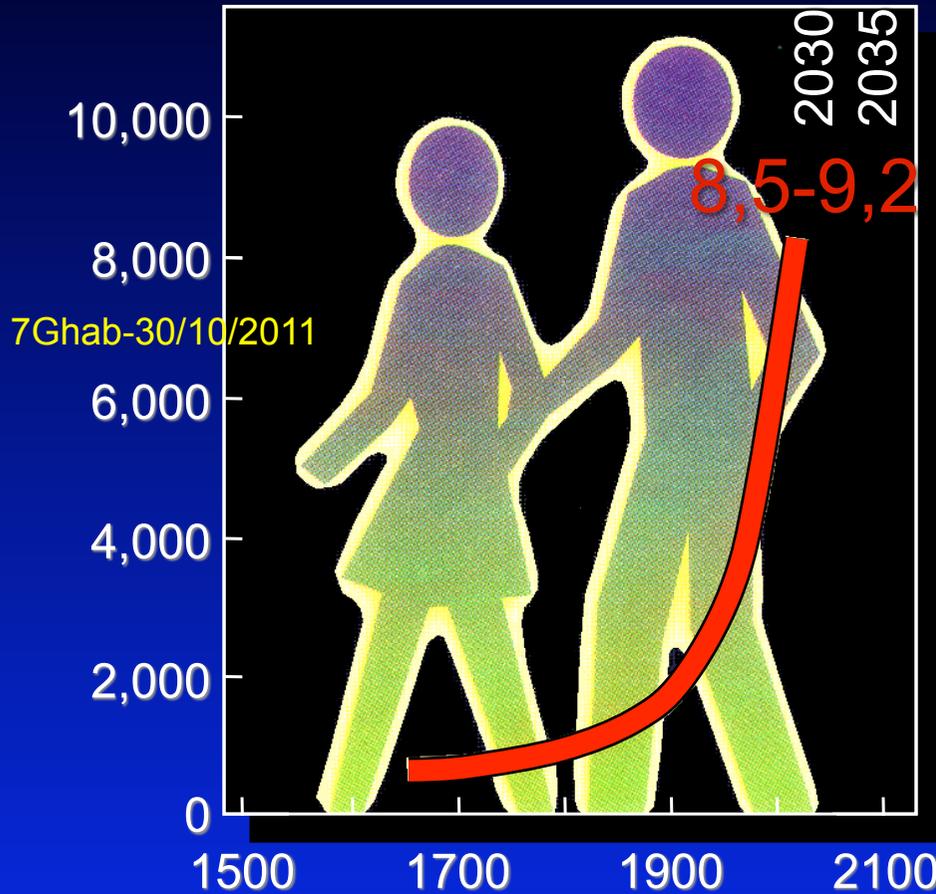
ON
EST DE
+ EN +
NOMBREUX...



Population - Besoins en Energie

Augmentera 'en moyenne' de 1,5%/an jusqu'en 2030

Chaque jour : 200 000 personnes en plus (N-D), soit \pm 6 millions/mois!
ou encore \pm la Belgique tous les 2 mois...

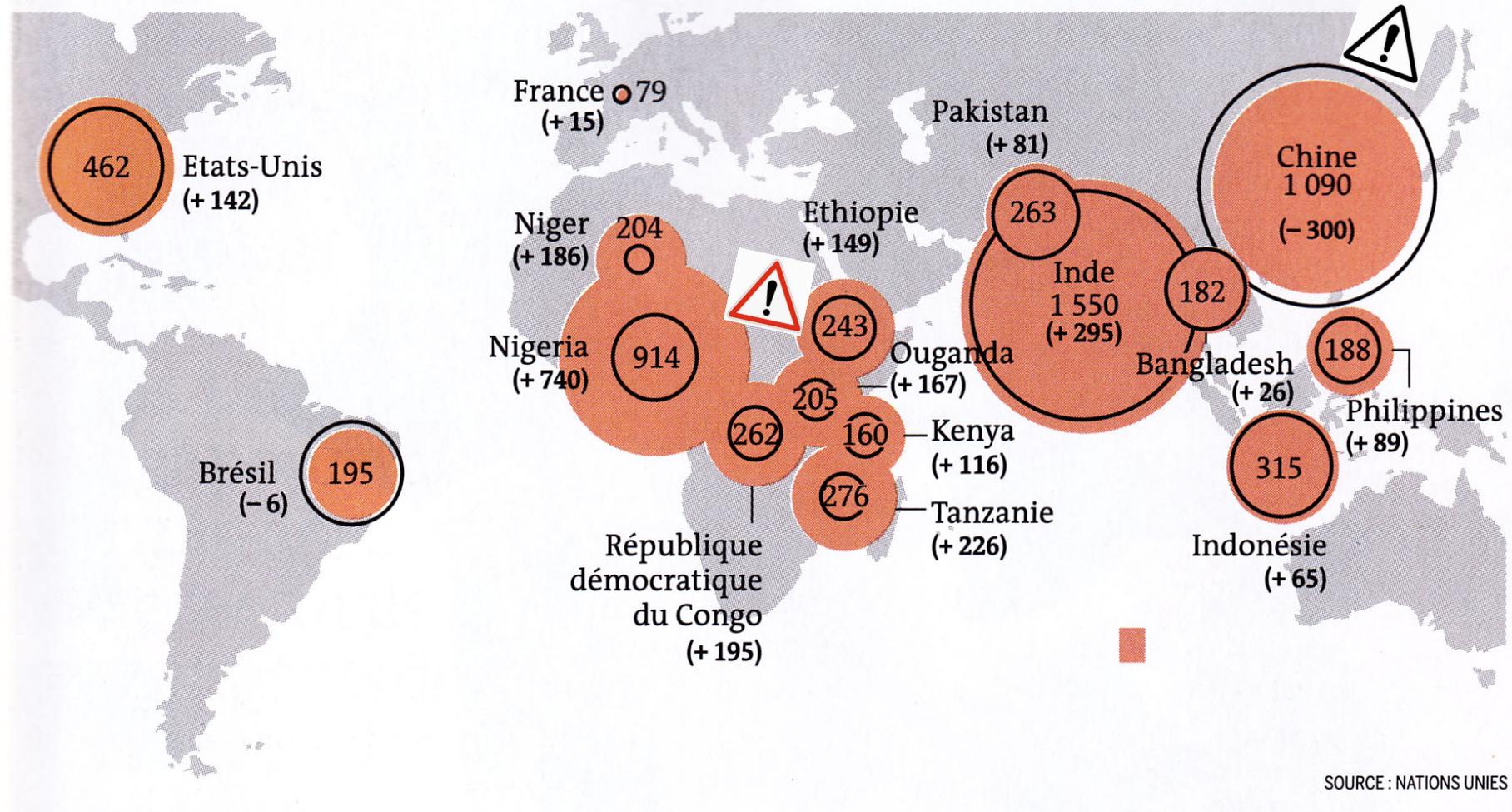


En 2000-2005: pétrole, charbon, gaz = 90% des besoins
(Am et Eur consommaient 51% de l'énergie mondiale)
de 1850 la consommation d'énergie = X150 à ?X1000

Démographie

Estimation de la population mondiale en 2100, en millions

○ 2013 ● 2100 (Evolution 2013-2100)



SOURCE : NATIONS UNIES

in Le Monde 2014

soit + 200 000 hab/j en 2013

Population - Besoins en Energie

Au cours de sa vie, chaque Américain né en 2008 consommera...

730,3 tonnes
de pierres, sable
et graviers

310 000 litres
de pétrole

256,4 t
de charbon

161 000 m³
de gaz naturel

30,7 t
d'autres minerais
et métaux

29,7 t
de ciment

13,4 t
de minerai
de fer

12,9 t
de sel

9 t
de phosphates

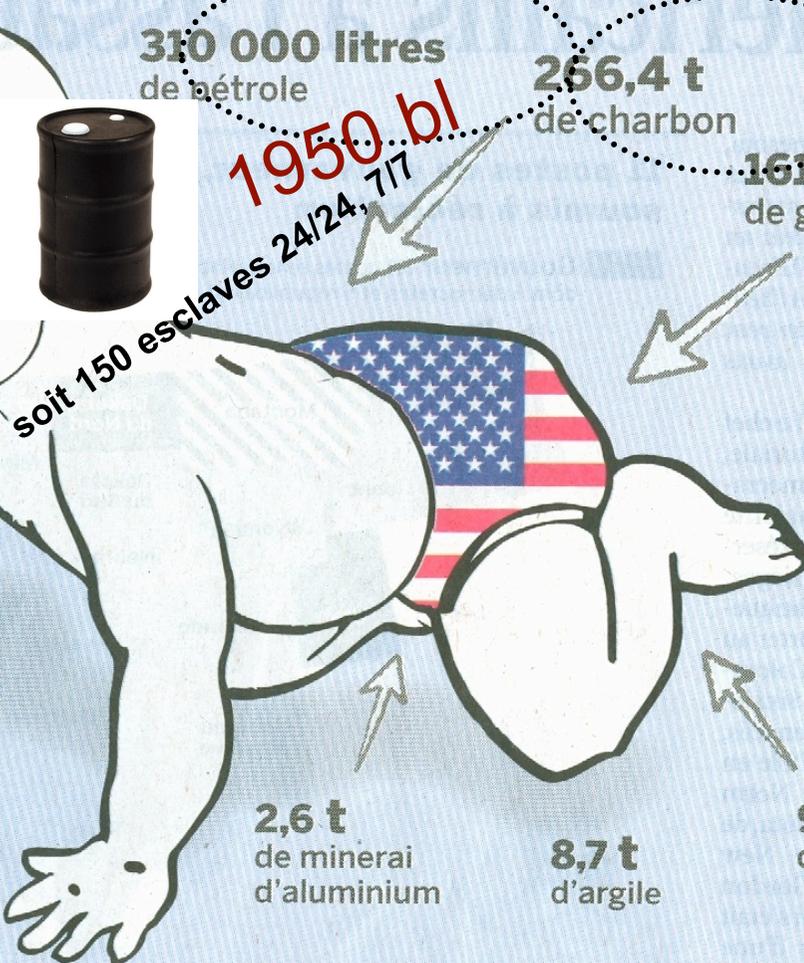
8,7 t
d'argile

2,6 t
de minerai
d'aluminium

594 kg
de cuivre

421 kg
de plomb

304 kg
de zinc



1950 bl
soit 150 esclaves
24/24, 7/7



Source : Mineral Information Institute

En 2012, la consommation moyenne primaire annuelle mondiale/habitant **1,8 tep** (valeur basse sans grande signification) 0,024 tep/hab/an ETHIOPIE à 8,6 tep/hab/an USA (**ratio X358**) 4,5 Japon 4 Europe 1,3 Chine 0,4 Inde

États-Unis
8 tonnes d'équivalent pétrole (TEP)
par an

2010

les 2 plus gros consommateurs/hab

Japon
Europe
4 TEP

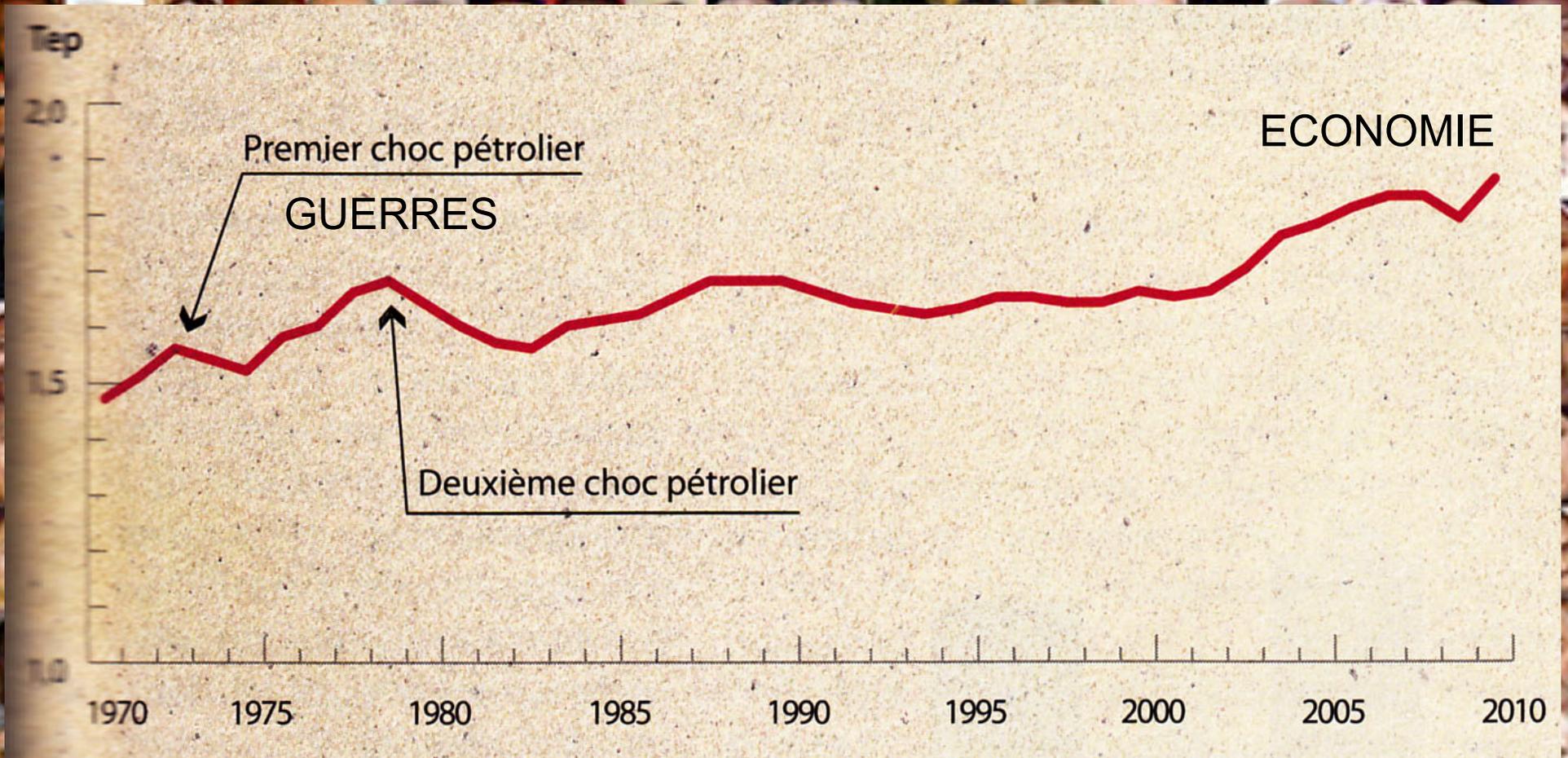
Chine
< 1 TEP

Afrique
subsaharienne
0,5 TEP

Pour La Science 2010



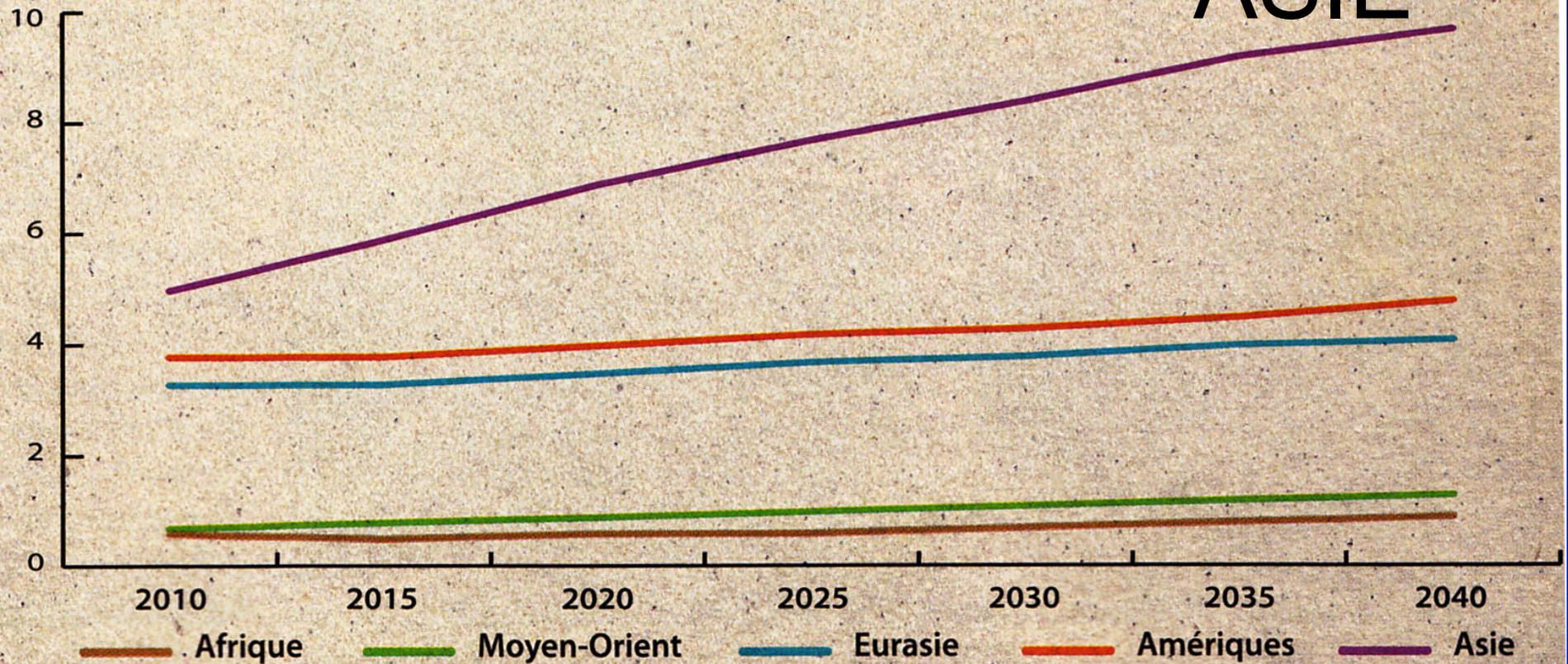
Consommation mondiale d'E primaire/hab



L'avenir de la demande énergétique

Consommation par région en milliards de tep

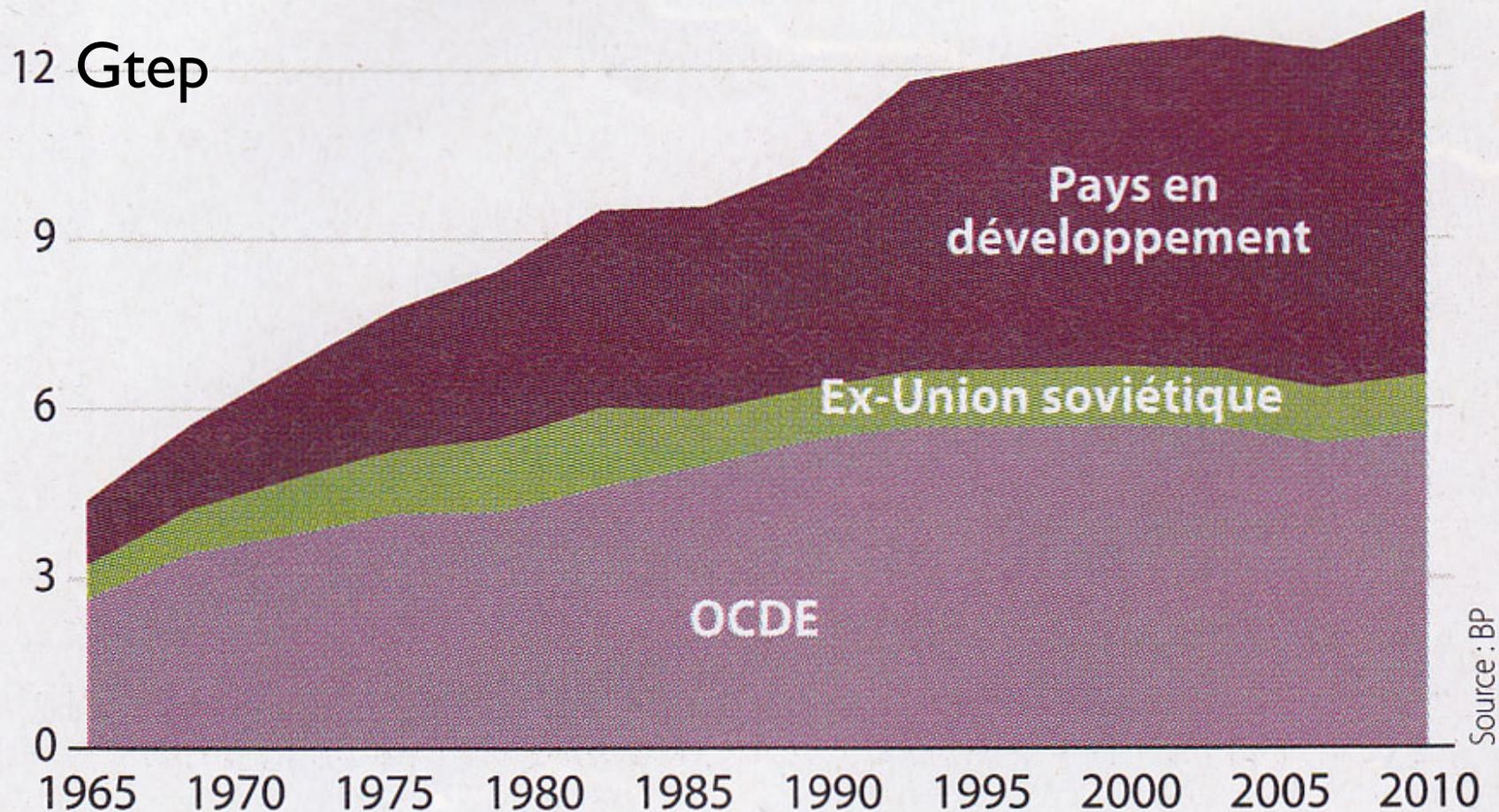
ASIE



« BRIC ou BASIC »

Les pays émergents tirent la demande

Consommation mondiale d'énergie (en millions de tep)



La production mondiale d'énergie fossile selon les régions (en millions de tep)

≠ réserves

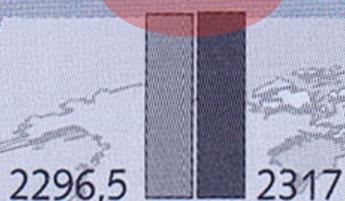
pétrole-gaz-charbon

(bilan sur 10 ans)



AMÉRIQUE DU NORD

+ 0,8%



EUROPE

- 18,9%



les 2 plus gros consommateurs/hab

MOYEN-ORIENT

+ 21,3%



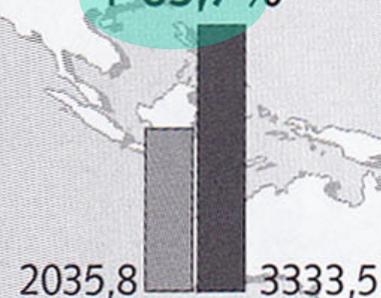
EX-URSS

+ 36,3%



ASIE-PACIFIQUE

+ 63,7%



AMÉRIQUE LATINE

+ 21%



AFRIQUE

+ 14,4%



en millions de tep

■ 1999 ■ 2009

Source : BP Statistical Review of World Energy 2010

CONSOMMATION MONDIALE ENERGIE PRIMAIRE EN 2012 : + 1,8 % (forte diminution) = 12,477 Gtep

Pétrole: +0.9 %

dont -1,3 % OCDE (6è diminution sur les 7 dernières années et production de +1mmb/d aux USA, soit la plus forte augmentation mondiale)

Gaz naturel : +2.2 %

consommation US = 4.1 %, la plus forte augmentation mondiale [shale gas...]

Charbon : +2.5%

>50% = la Chine [50.2%]



BP 2013

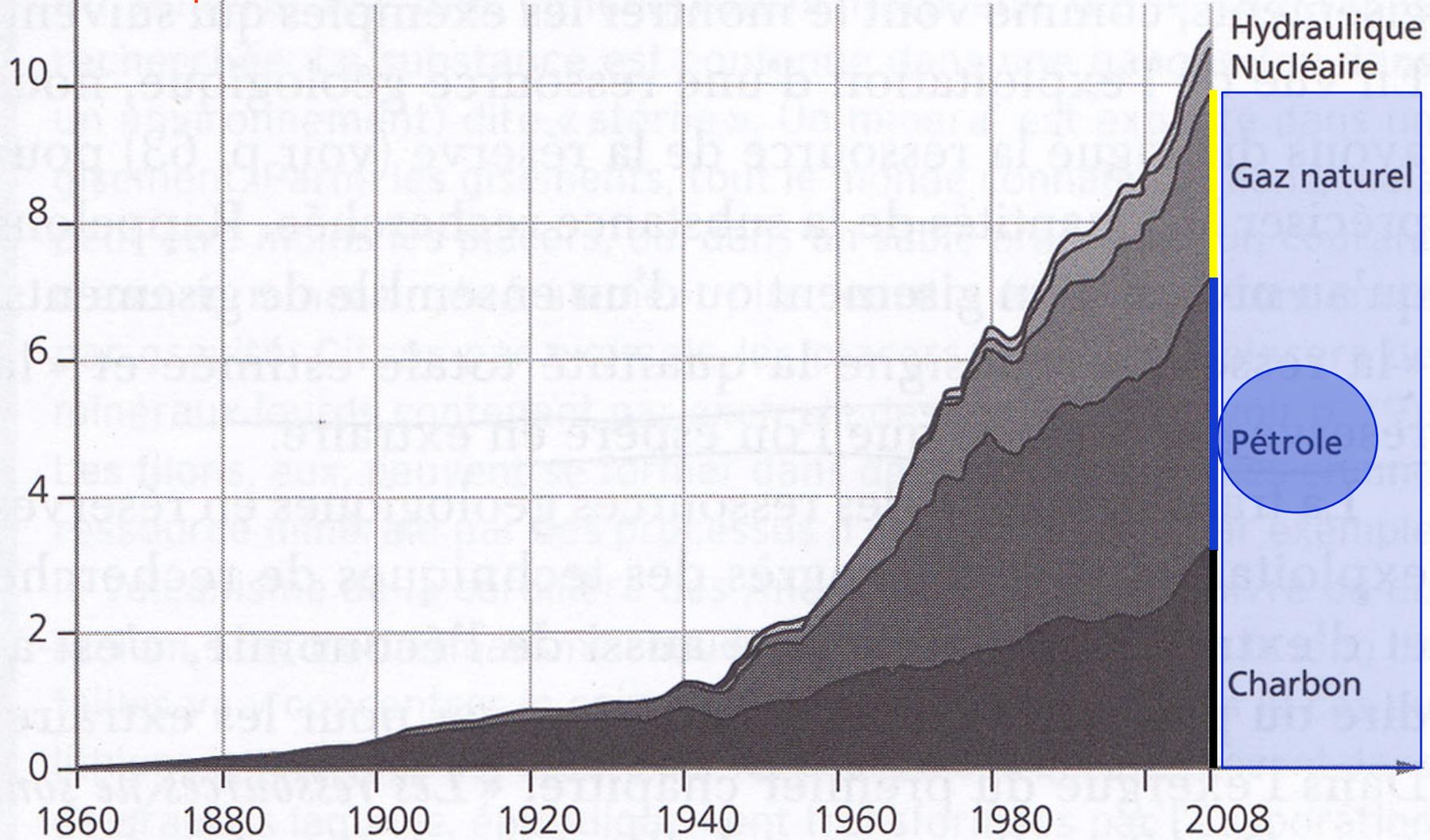


L'augmentation de la consommation mondiale d'E primaire est due à 90% à la Chine et l'Inde

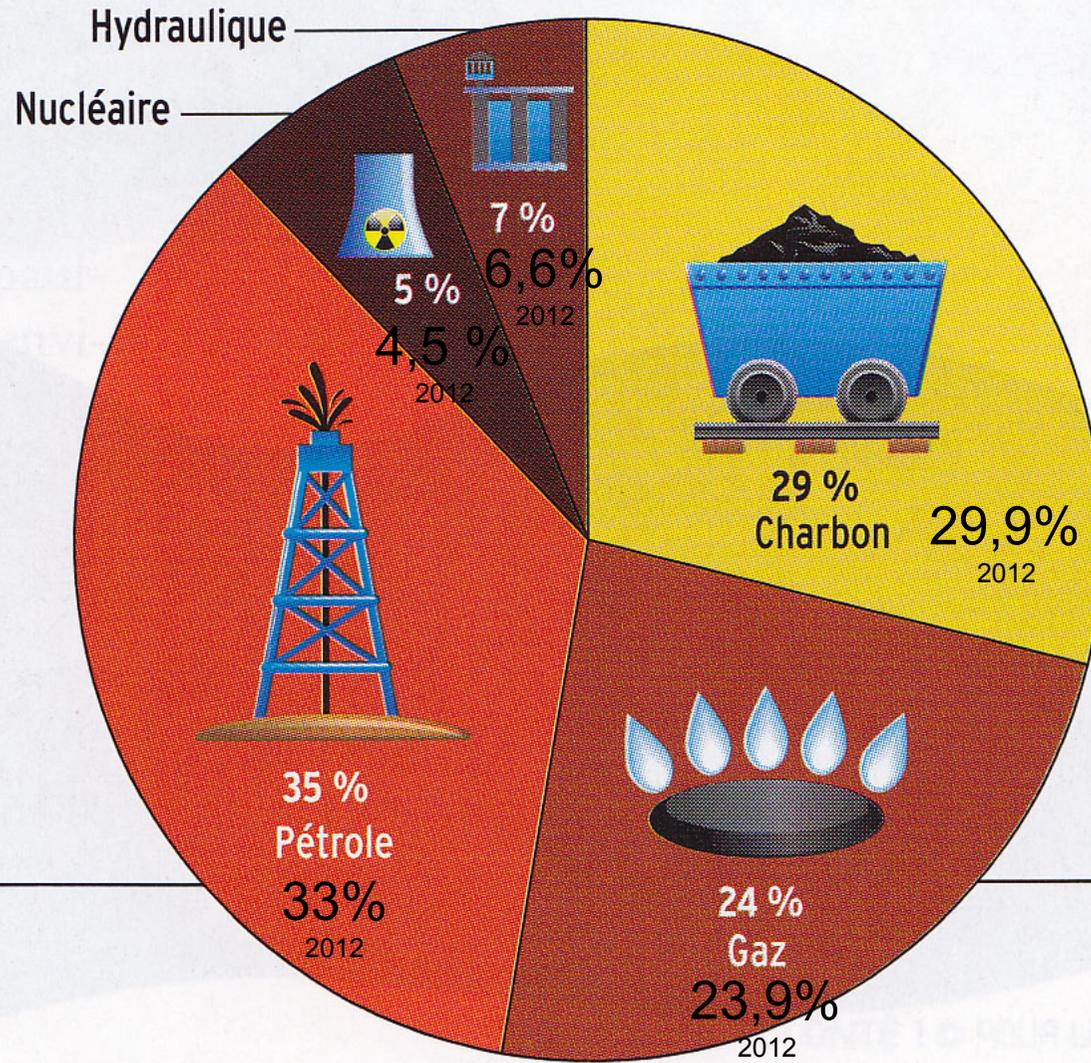
22?Gtep-2050

Consommation d'énergie (en Gtep)

12,5Gtep-2012



Consommation d'énergie primaire en 2009



BP Statistical Energy Review, 2010

Population - Besoins en Energie

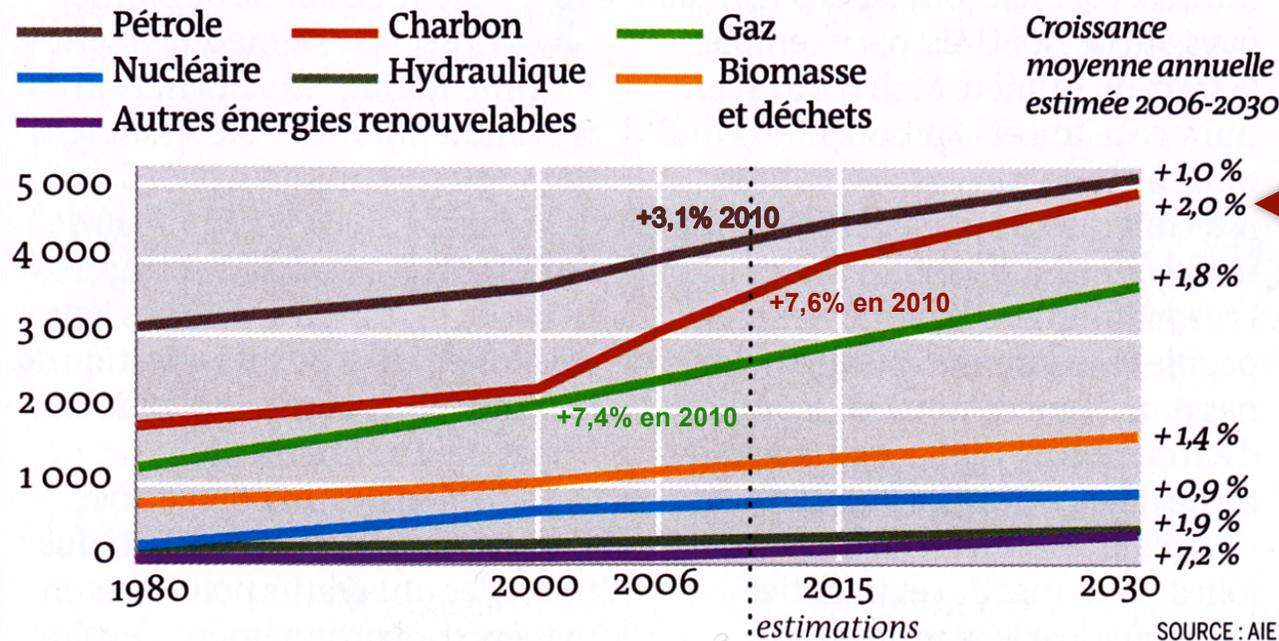
En 2008: CRISE et BL = 147\$!

- 1 Consommation mondiale PETROLE = -0,6% (une première!...)
- 2 Consommation mondiale CHARBON >2,5% (+4,9% entre 2000 et 2006)
(plus forte augmentation du charbon, pour la 6^{ème} année consécutive)
- 3 Consommation mondiale GAZ = +2,5%

TOTAL: la consommation mondiale d'énergie primaire a augmenté de +1,4 % en 2008 (**malgré la crise...**) et diminué de 1,1% en 2009 (et +5,6%/2010; +1,8%/2012)

Demande énergétique mondiale

En millions de tonnes équivalent pétrole (TEP)



soit +60% entre 2006-2030
le charbon N'EST PAS cher
(8-12\$ boe)

Sequestration pas avant 2020?
et effets en 2030 (AIE, 2008)

Population - Besoins en Energie

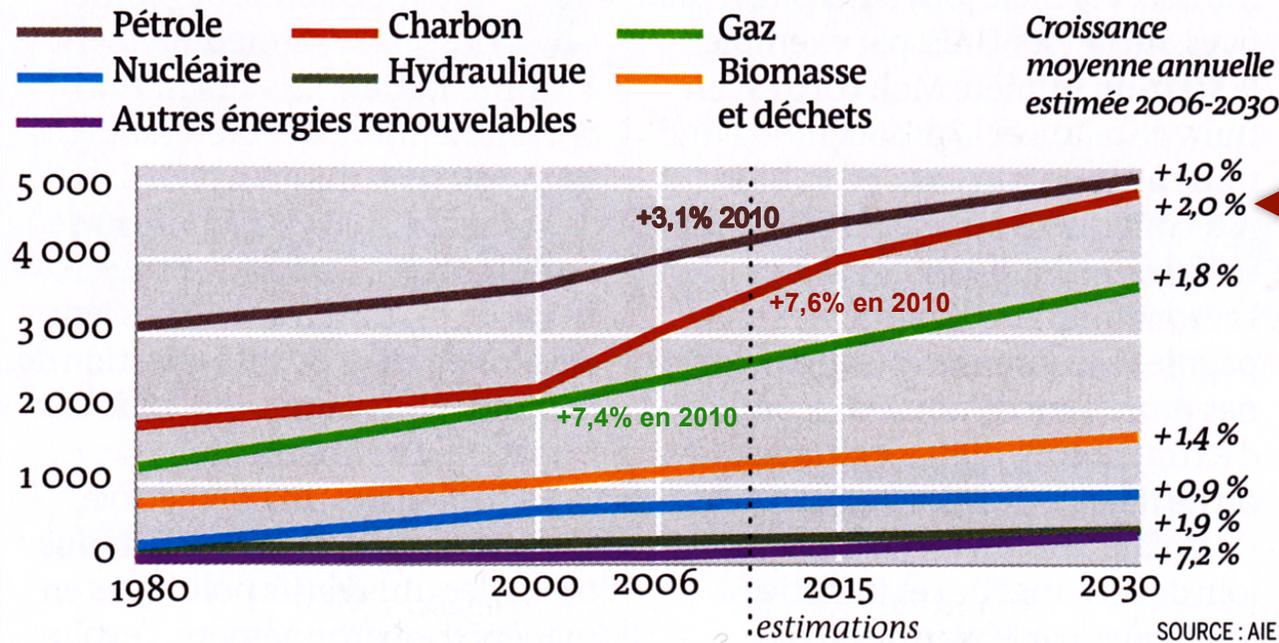
En 2008: CRISE et BL = 147\$!

- 1 Consommation mondiale PETROLE = -0,6% (une première!...)
- 2 Consommation mondiale CHARBON >2,5% (+4,9% entre 2000 et 2006)
(plus forte augmentation du charbon, pour la 6^{ème} année consécutive)
- 3 Consommation mondiale GAZ = +2,5%

TOTAL: la consommation mondiale d'énergie primaire a augmenté de +1,4 % en 2008 (**malgré la crise...**) et diminué de 1,1% en 2009 (et +5,6%/2010; +1,8%/2012)

Demande énergétique mondiale

En millions de tonnes équivalent pétrole (TEP)



soit +60% entre 2006-2030
le charbon N'EST PAS cher
(8-12\$ boe)

Sequestration pas avant 2020?
et effets en 2030 (AIE, 2008)

Population - Besoins en Energie

En 2008: CRISE et BL = 147\$!

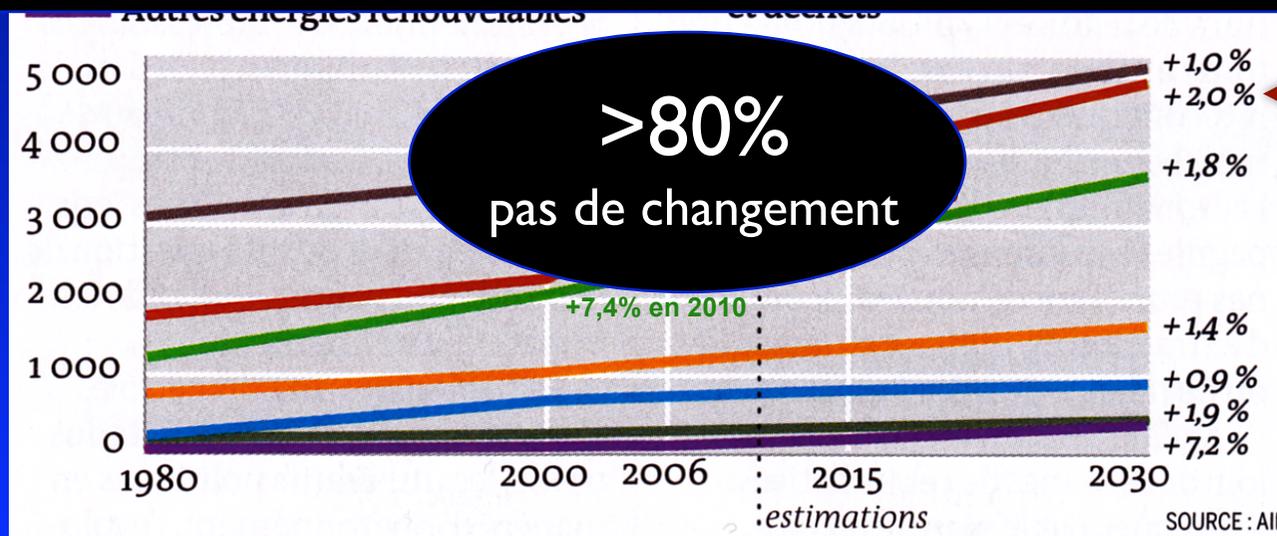
- 1 Consommation mondiale PETROLE = -0,6% (une première!...)
- 2 Consommation mondiale CHARBON >2,5% (+4,9% entre 2000 et 2006)
(plus forte augmentation du charbon, pour la 6^{ème} année consécutive)
- 3 Consommation mondiale GAZ = +2,5%

TOTAL: la consommation mondiale d'énergie primaire a augmenté de +1,4 % en 2008 (**malgré la crise...**) et diminué de 1,1% en 2009 (et +5,6%/2010; +1,8%/2012)

Demande énergétique mondiale

Evolution de la structure de la consommation d'énergie primaire à l'horizon 2030 (en %)

Evolution de la structure de la consommation d'énergie primaire à l'horizon 2030 (en %)



le charbon N'EST PAS cher
(8-12\$ boe)

Sequestration pas avant 2020?
et effets en 2030 (AIE, 2008)

IEA, World Energy Outlook 2009

Projected energy demand on present policies

Energy types in million tonnes of oil equivalent	12Gtep 2007	13,5Gtep 2015	16,8Gtep 2030	Compound average annual growth 2007-30
Coal	3184	3828	4887	1.9%
Oil	4093	4234	5009	0.9%
Gas	2512	2801	3561	1.5%
Nuclear	709	810	956	1.3%
Hydro	265	317	402	1.8%
*Biomass/waste	1176	1338	1604	1.4%
Other renewables	74	160	370	7.3%
Fossil fuels (coal, oil and gas) as % of total energy	81.5%	80.5%	80.1%	-

* Includes traditional biomass widely used in developing countries; excluding this from the total would make the fossil-fuel share higher still.

CHARBON réserves prouvées

R/P à la fin
de 2012
<http://www.bp.com/>

les 3 consommateurs top

11,7%(-11,9%)
pr 2011

50,2% (+6,1)

9,9% (+8)

Rés Prouvées	Mt	%	R/P-Coal
USA	237295	28	257
Russie	157010	18	443
Chine	114500	13	31
Australie	76400	9	177
Inde	60600	7	100
Ukraine	33873	4	384
Kazakhstan	33600	4	289
Afrique du Sud	30156	4	116
MONDE	860938		109

Images Econ du Monde 2005

~~±50%~~

~~±75%~~

R/P en années

CHARBON

Le Top 6 des producteurs en 2012

<http://www.bp.com/>

Mtep

les 3 consommateurs top

+3,5%
pr 2011

-7,5%
pr 2011

+4,2%
pr 2011

CHINE (cons.1873)	1825
USA (438)	516
AUSTRALIE (49)	241
INDE (298)	229
RUSSIE (94)	168
AFRIQUE du SUD (90)	147
INDONESIE (50)	238
MONDE (3730)	3845

±47,5%

3364 = 87%

Prod > Cons

2012: Inde, Chine importent ...

PETROLE nc (taux de récupération 10 à 20%)

[±7000Gbl Ultime]

Pétroles lourds 10-20°API = 23%

Sables bitumineux = 39%

Schistes bitumineux = 38%

Canada	36%
USA	32%
Venezuela	19%
Russie et 'satellites'	7%
Afrique	3%
Moyen-Orient	1%
Autres	2%

Données BP - 2005

OPEP = ±3/4 Pétrole c
NOPEP = ± 3/4 Pétrole nc
[Am N = 68% nc]

Moyen Orient + Russie = ±2/3 Gaz c
+ Gaz nc USA-Chine....

PETROLE nc (taux de récupération 10 à 20%)

[±7000Gbl Ultime]

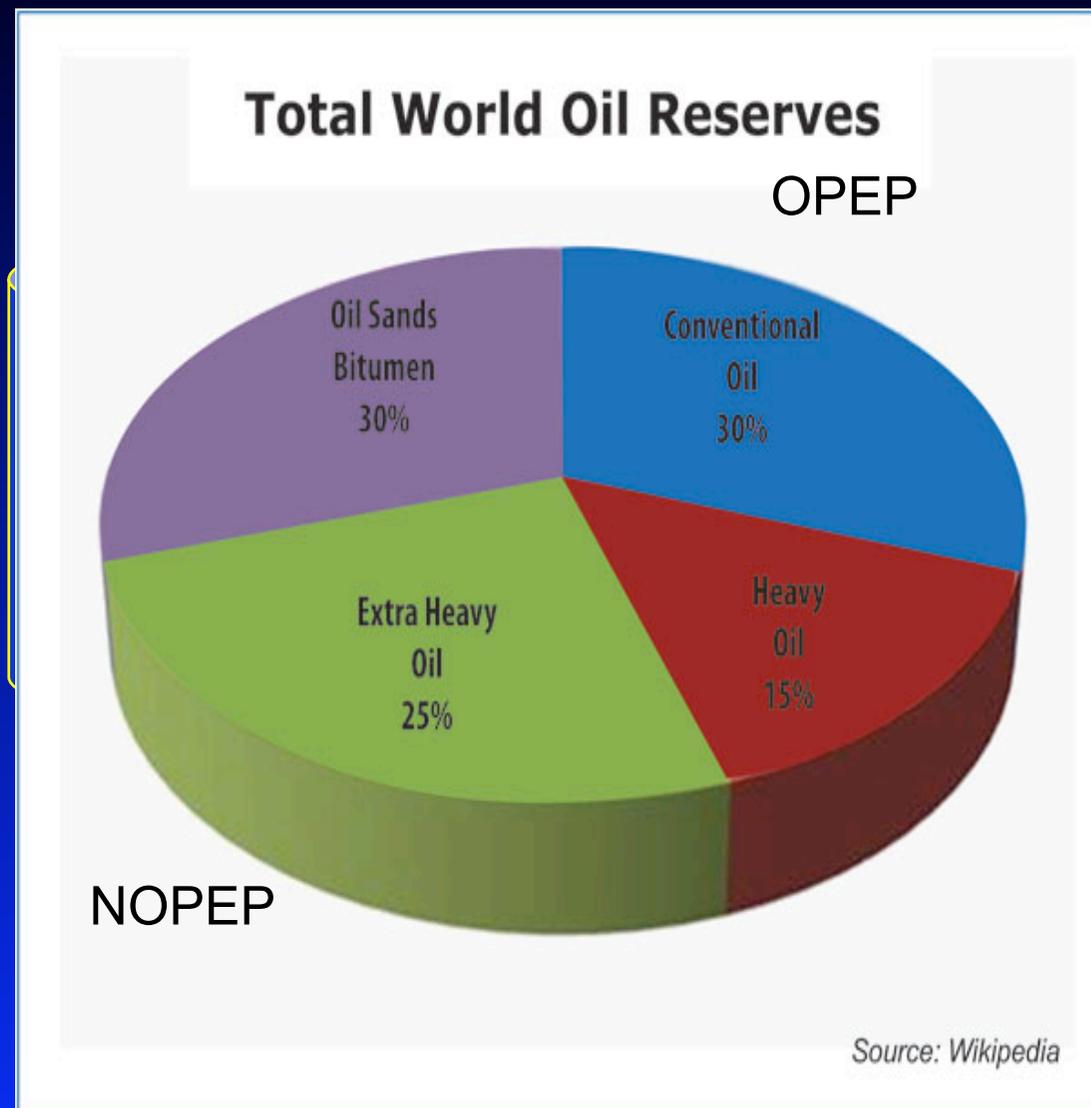
Pétroles lourds 10-20°API = 23%

Sables bitumineux = 39%

Schistes bitumineux = 38%

Canada	36%
USA	32%
Venezuela	19%
Russie et 'satellites'	7%
Afrique	3%
Moyen-Orient	1%
Autres	2%

Données BP - 2005



Population - Besoins en Energie

Production (selon AIEA-2010)



ENERGIE PRIMAIRE
combustibles fossiles

80% ou +...

PRODUCTION ELECTRICITE
combustibles fossiles



65% [charbon 40%]

Hydraulique 16% Nucléaire 15%

Nb: en Chine, il se construit 2 centrales au charbon/semaine

Nb: aux USA, 640 centrales thermiques au charbon, 140 sont prévues d'ici peu

Contexte général

2012 : 8,4%

Énergies renouvelables
+4.7%pr 2011

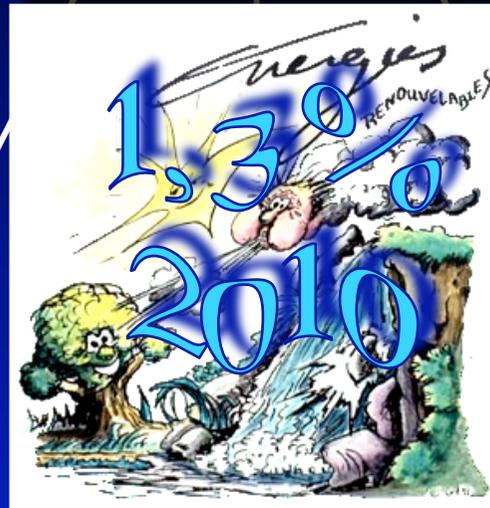
1,9%

nb E nu 4,5%

6,5% [2012]

Énergie hydraulique

Biomasse

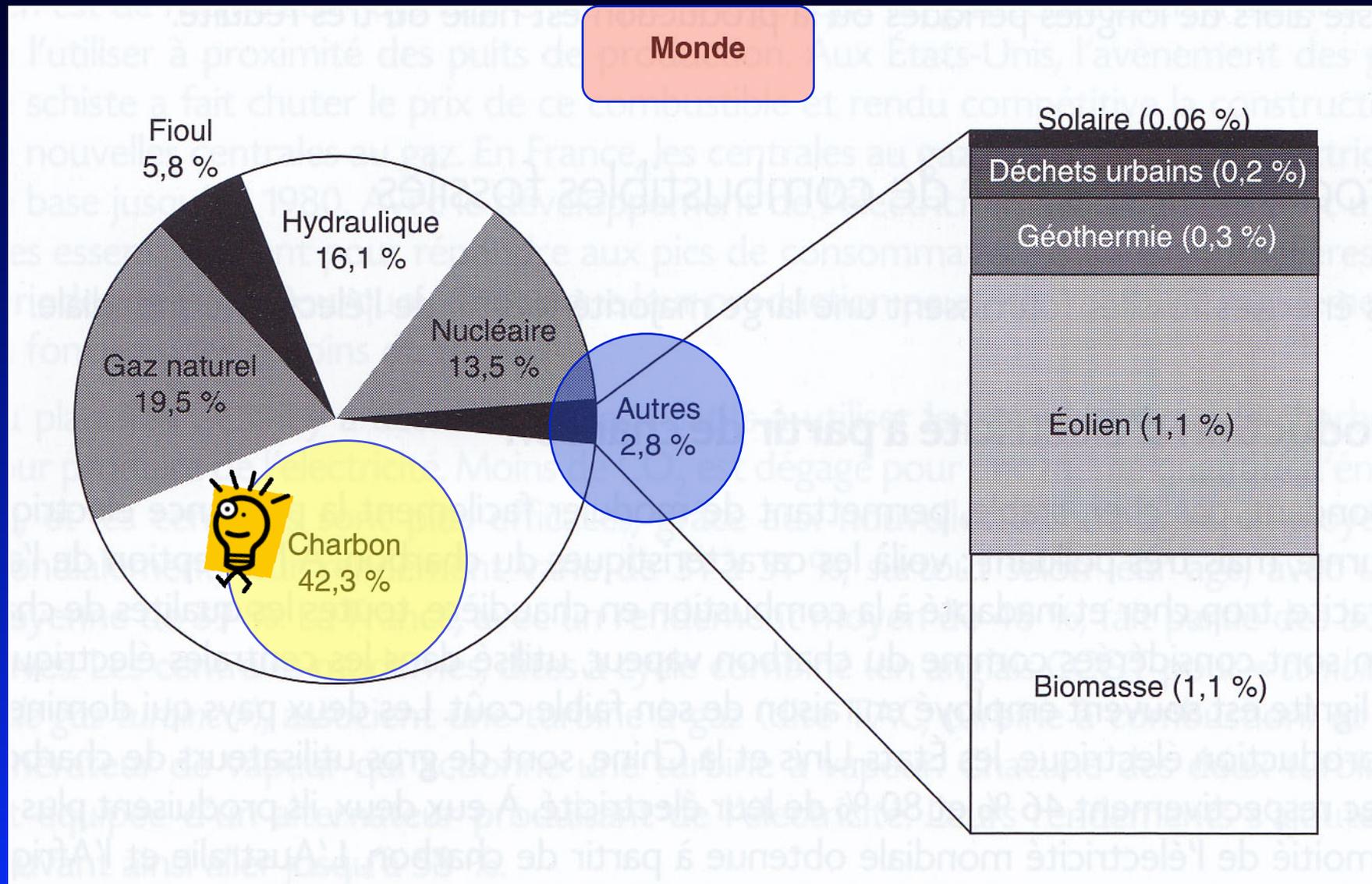


Énergie solaire

Énergie éolienne

Géothermie

Part relative des différents modes de production d'électricité en 2008 (+1,8% en 2012)



CONSOMMATION D'ENERGIE PRIMAIRE COMMERCIALE DANS LE MONDE (Gtep)

2012

12,5

12 Gtep (2010) 33%-27%-20% = 80% hors-bois

ENERGIE	2008	2007	1998
1 Pétrole	3,928	3,939	3,39
2 Charbon	3,304	3,195	2,22
3 Gaz	2,726	2,652	2,02
Hydraulique	0,718	0,696	0,69
Nucléaire	0,620	0,623	0,63
TOTAL	11,3	11,1	± 9

AIE 2007

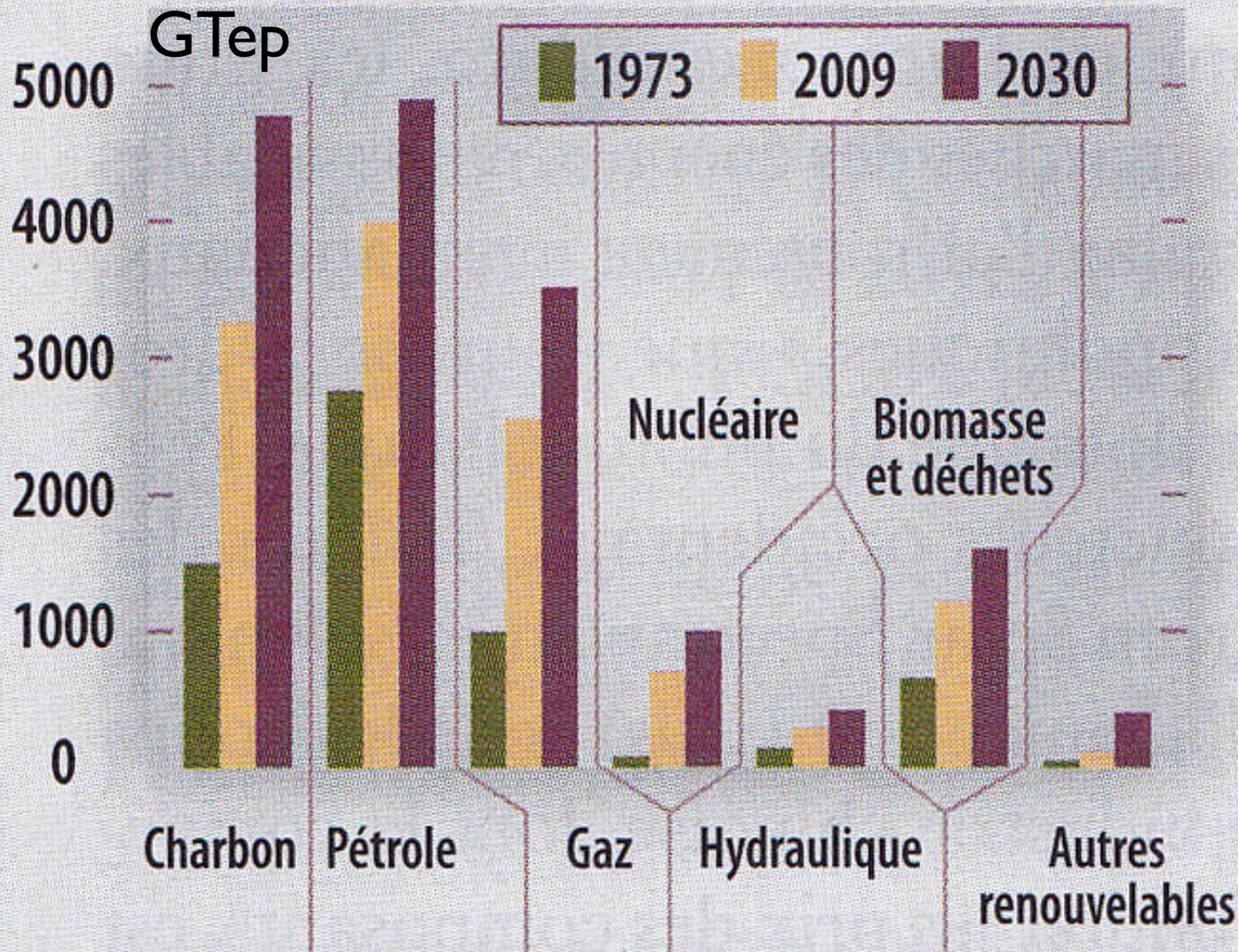
57% 2005
7,7% 2009

2005	2005	2009
	Bois 10%	
	Hydraulique 5%	
	Géothermie 0,5%	
	Biocarburants 0,1%	
	Éolien 0,05%	
	Solaire thermique <0,05%	
	Solaire photovoltaïque < 0,001%	

2012: 12,5 Gtep soit ±12000 réacteurs nucléaires (auj ±450)

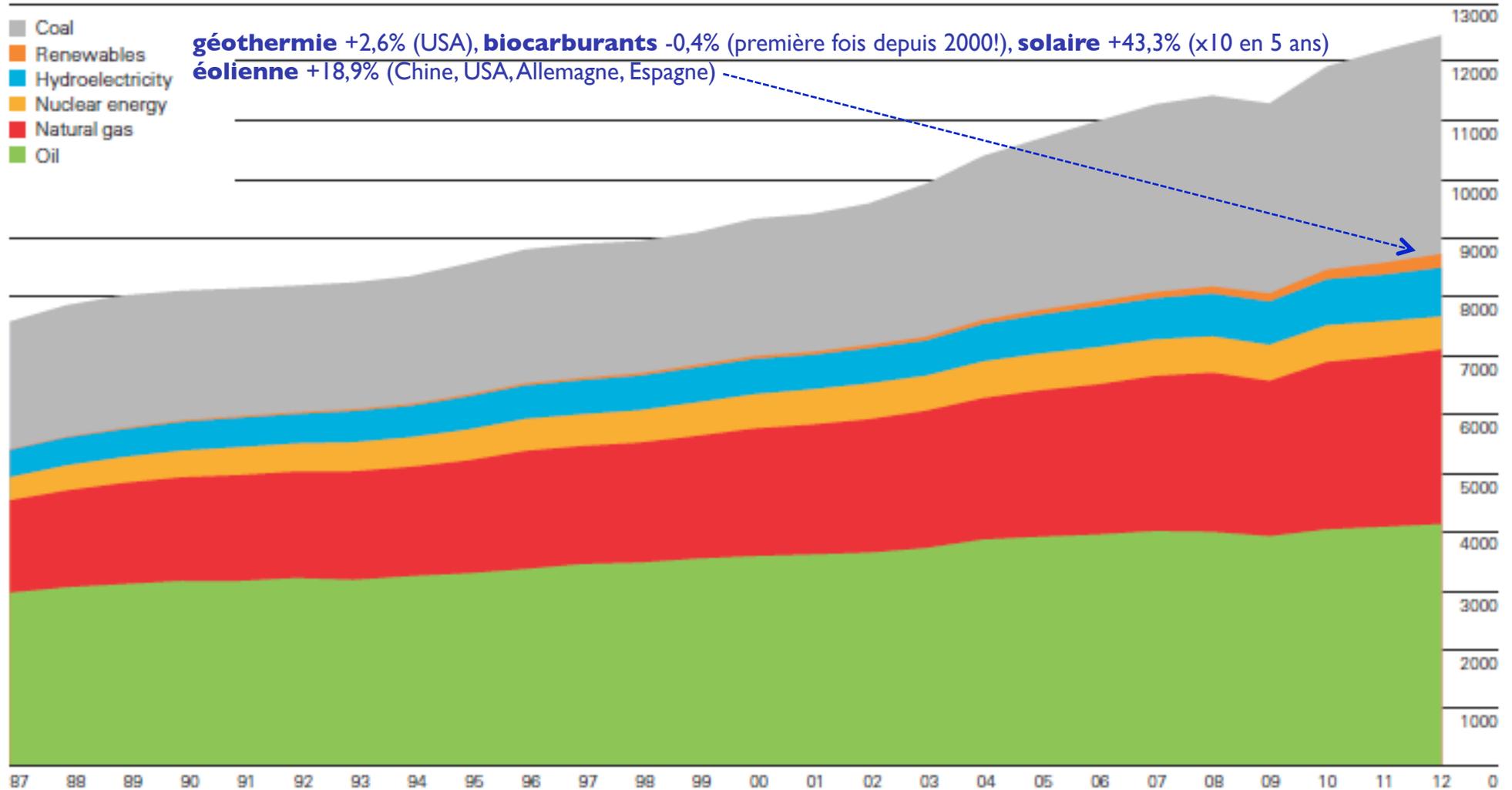
L'ordre de grandeur souhaité pour l'utilisation des ER en 2030: 1,5 sur ±17 Gtep soit ± 9%

Consommation d'énergie primaire dans le monde (en millions de tonnes équivalent pétrole)



World consumption 2012

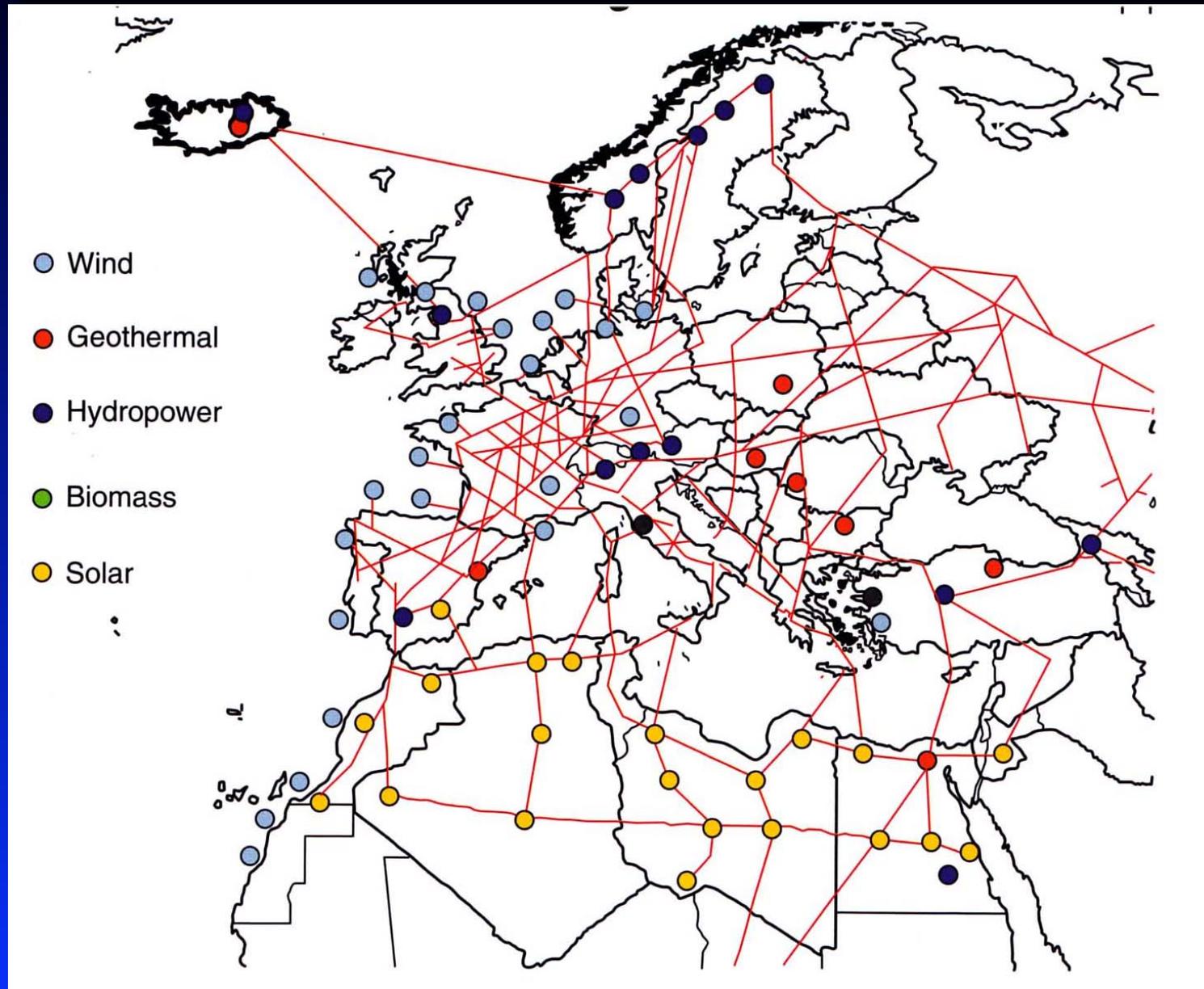
Million tonnes oil equivalent



World primary energy consumption grew by a below-average 1.8% in 2012. Growth was below average in all regions except Africa. Oil remains the world's leading fuel, accounting for 33.1% of global energy consumption, but this figure is the lowest share on record and oil has lost market share for 13 years in a row. Hydroelectric output and other renewables in power generation both reached record shares of global primary energy consumption (6.7% and 1.9%, respectively).

GRILLE EUMENA (Eur, Moyen-Orient, Afr N)

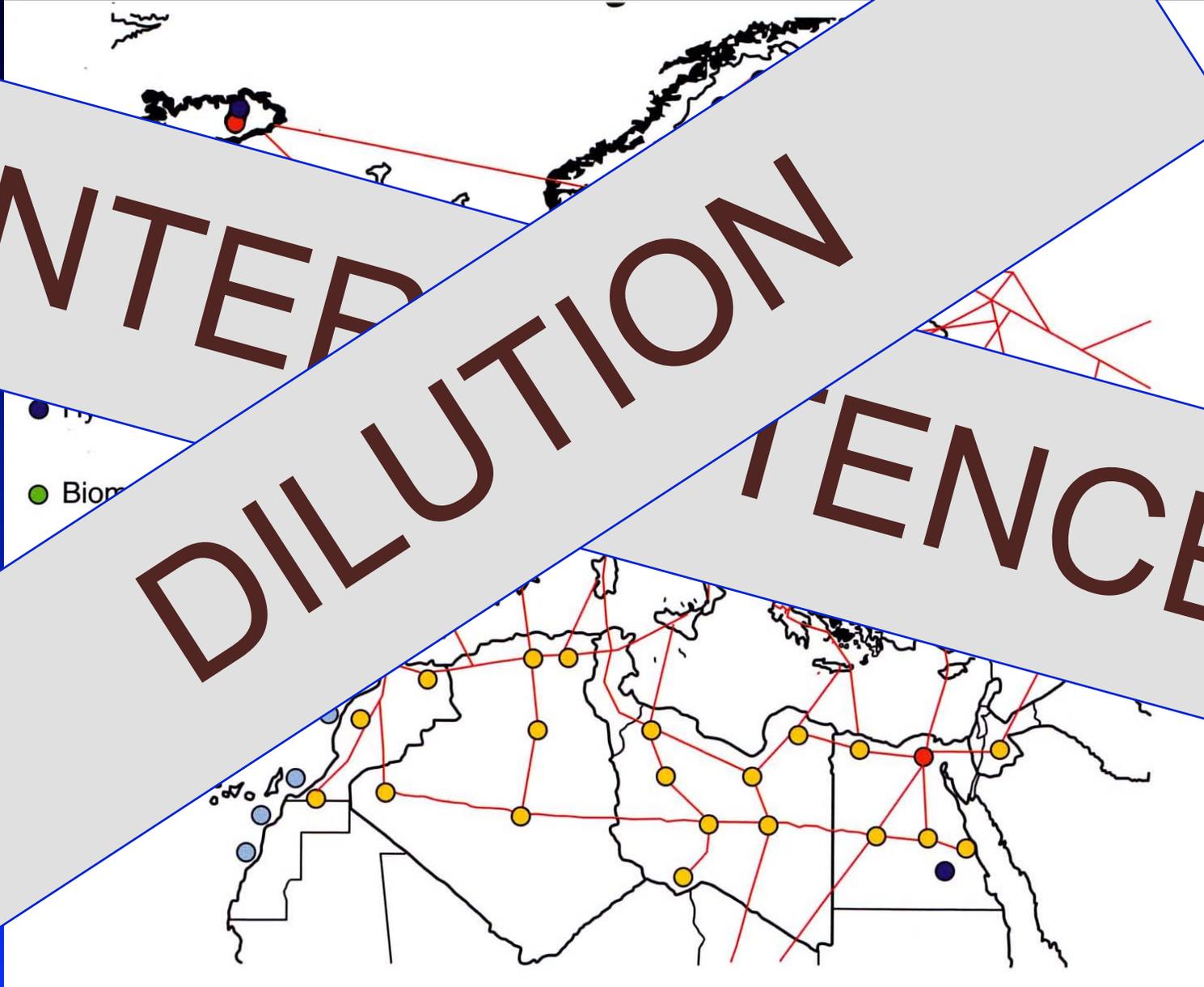
pour pallier le fait que l'électricité conventionnelle ne peut se transférer sur de grandes distances



GRILLE EUMENA (Eur, Moyen-Orient, A

pour pallier le fait que l'électricité conventionnelle ne peut se transférer sur de longues distances

INTER
DILUTION
EFFICACITÉ



CASSE-TÊTE

Demande E mondiale en croissance 'constante' => 22Gtep? E 2050
Population 1% - Energie 2% - Electricité 3%
2010: 1,5 G hab n'ont pas accès, en 2030 = 1,3 G hab



règle 1-2-3

ENERGETIQUE





Aucune source d'ER ne peut A ELLE SEULE remplacer le pétrole à court (et moyen?) terme
> les partisans du nucléaire espèrent profiter de la lenteur du développement des ER et des difficultés croissantes des EF pour 'se relancer' [aussi sans effet de serre, mais avec déchets...]

en attendant = casse- tête énergétique

Une alternative TRES SERIEUSE

= SOBRIETE = Réduire la consommation d'E

==> association NEGAWATT www.negawatt.org

On pourrait diminuer jusqu'à 70% la consommation d'E par rapport aux tendances actuelles, dans nos pays!

?



?



2006

2006

En attendant = casse-tête énergétique

Population = Besoins en Energie

- Auj: nous consommons 3 à 4 bl [1] pétrole pour 1 [5, 1960] découverts

- En dollars 2004 et de 1869 à 2004 prix mondial pétrole = 19,41\$ càd 'bon marché' (médiane = 15,17\$)
- en 2004: 3,5 milliards d'asiatiques ont consommé 20 millions bbl/j et les américains [293. 10⁶ hab] 22 millions.

En 2004: 1Américain 25bbl/an, 1Japonais 18, 1Européen 12, 1Terrien moyen 5, 1Chinois1,5 et 1Indien 1bbl/j

1 bbl = 1600 kWh

31 pays
16% Electr Mond



← il faut **2000** réacteurs nucléaires 'actuels' pour remplacer 1/4 production actuelle de pétrole

440 réacteurs dans le monde en 2008 (105 USA, 59 en France, 55 au Japon, 31 en Russie, 20 en Corée du Sud)
Belgique :11 arrêtés et 7 en fonctionnement

En 2006: 20 centr en constr [2Eur, 4Chine, 6Japon, 8Inde]

En Chine 2007: 15+5 ==> X2 en 2020

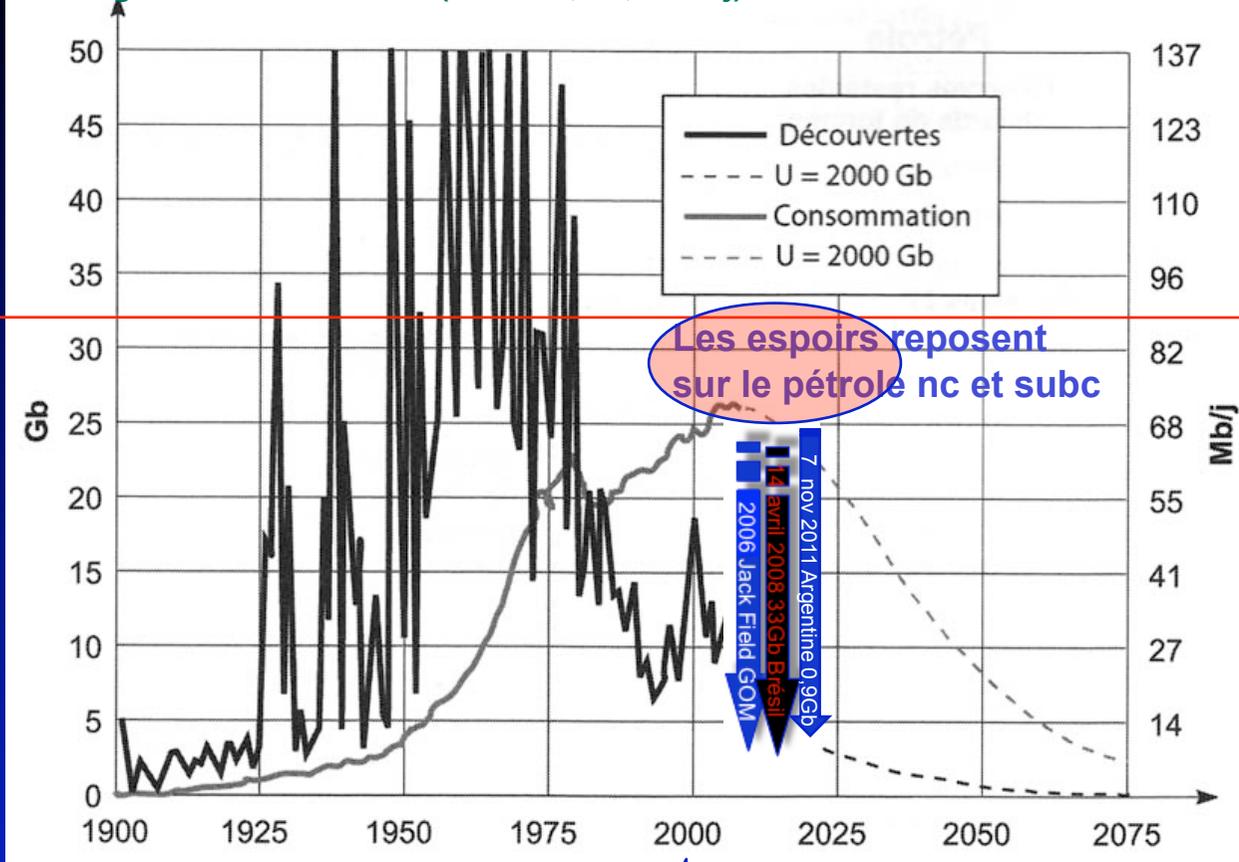
En 2009 (Monde): 200 centrales programmées ou proposées pour 2020

2000 réacteurs nucléaires ...
¼ production pétrolière actuelle



Auj: nous consommons 3 à 4 bl [1] pétrole pour 1 [5, 1960] découverts

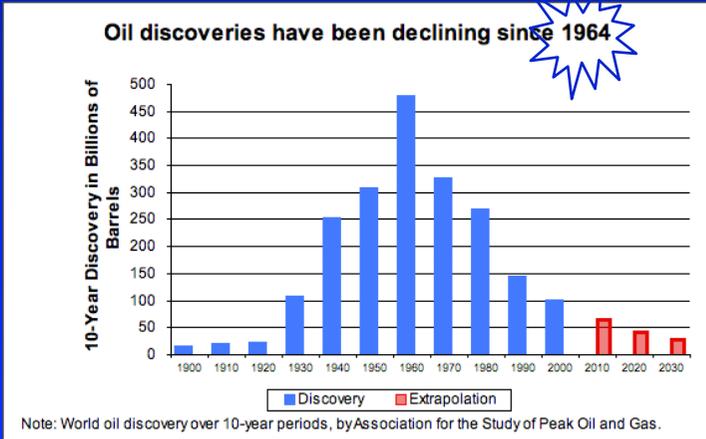
Les 10 plus importants gisements au monde (débits 0,5-4,5 Mbl/j) ont tous été découverts entre 1927 et 1976



Laherrère, Wingert 2008

Nb de 1859 à fin XX^{ème}.
hausse de production moyenne
annuelle = 2%

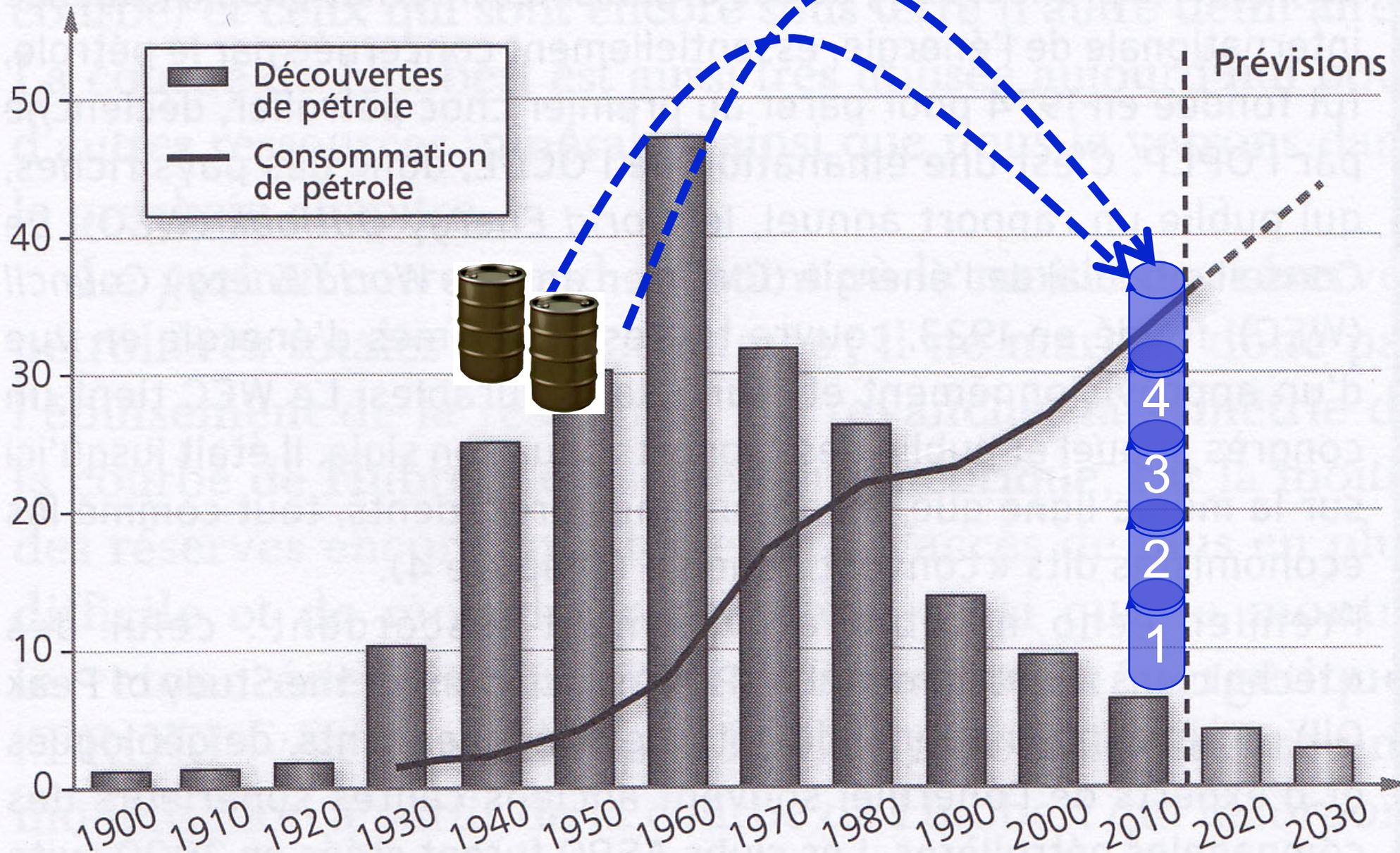
Nb Coût du bbl en 1930
(pic découvertes onshore USA
= 4 cents < eau potable)



Il existe 40000 accumulations,
réparties dans 70000 champs hiérarchisés

Production 2008
à partir de 1001 CHAMPS MAJEURS ou GEANTS

Milliards de barils par année



en attendant = casse-tête énergétique
3 à 4 %

une alternative

MESURES SÉRIEUSES



= SOBRIÉTÉ

(20 à) 25 %

ou 1/4 production mondiale

En 2008, 2009 les USA importent 60% de leur pétrole.... MAIS 2010... 'shale gas'

Les Etats-Unis deviennent exportateurs de pétrole, pour combien de temps ?

Par Pierre Magnan | Publié le 26/11/2013 à 16H15

Recommander

Partager

6



Exploitation de pétrole dans le nord du Dakota aux Etats-Unis.

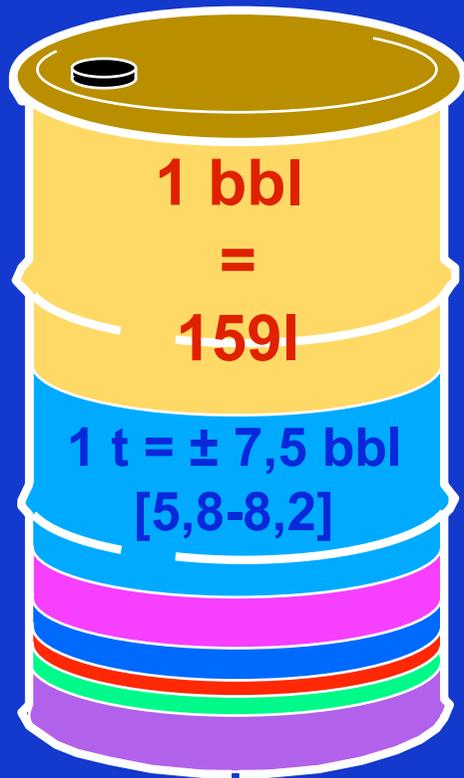
© ANDREW BURTON / GETTY IMAGES NORTH AMERICA / AFP

Les Etats-Unis, nouvel émirat pétrolier... L'image est un peu simpliste, mais les chiffres montrent que les USA sont en train de (re)devenir le plus gros producteur de pétrole au monde. Les Etats-Unis sont déjà devenus exportateurs net de pétrole. De quoi modifier certains équilibres dans le monde.

depuis

2012 - ± 86 M bbl/j
(c + GL et Tar sands)

= travail 22 G esclaves pdt 24h



2002 - ± 75 M bbl/j

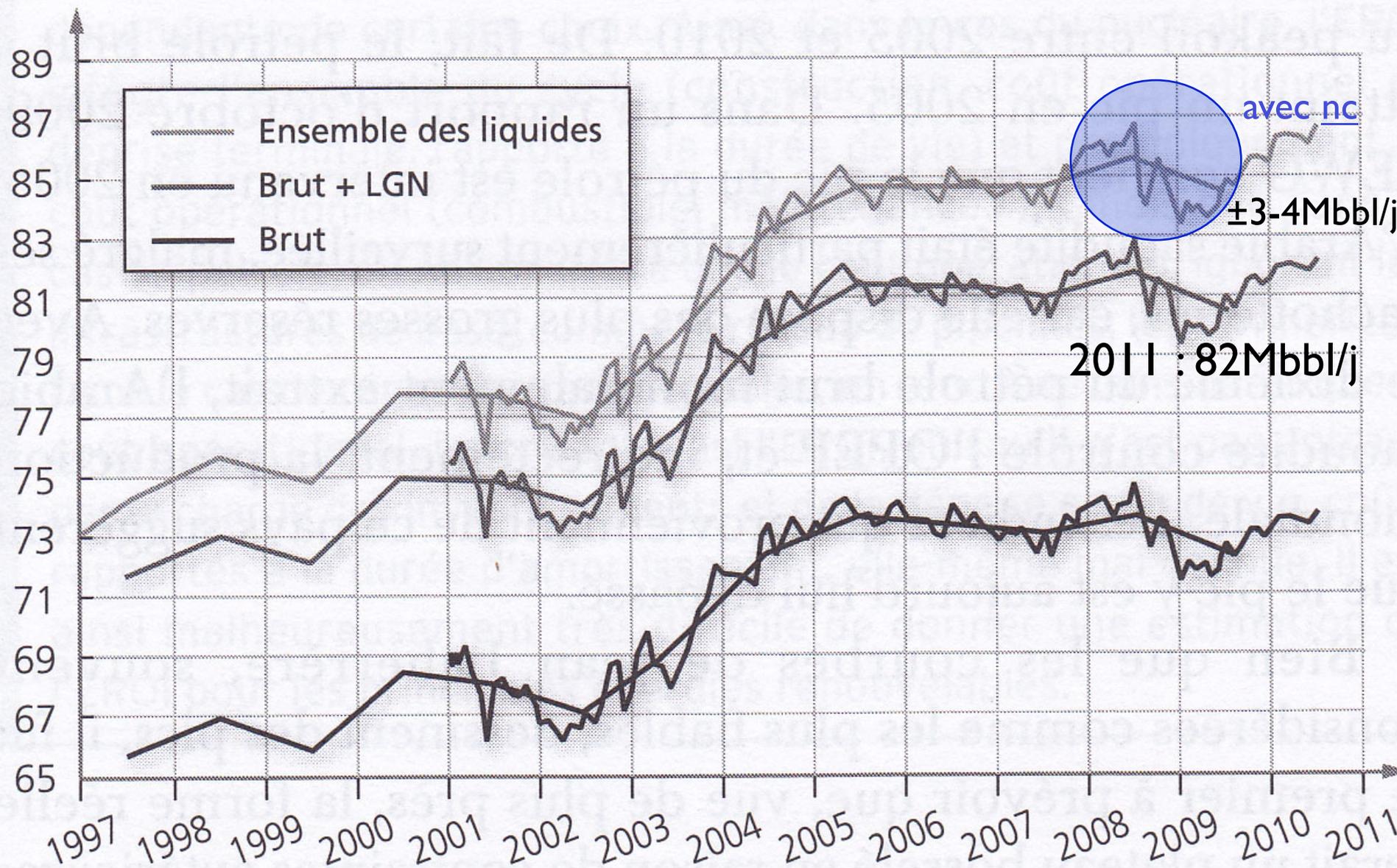


= 1000 bbl/sec

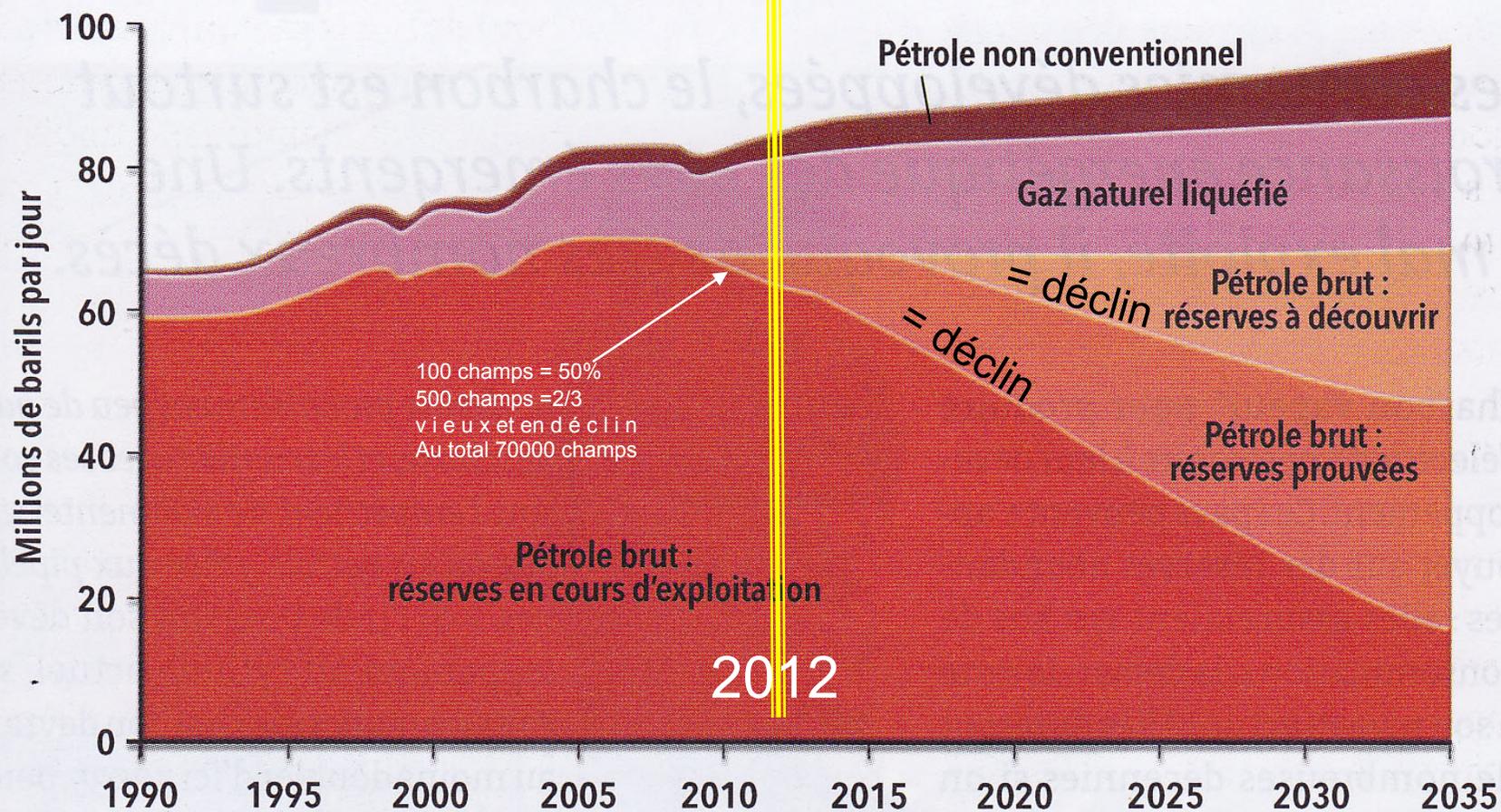


soit 5500/j
ou 550/conf

Production (Mbarils/jour)



Évolution de la production mondiale de pétrole



+EOR

LA PRODUCTION MONDIALE DE PÉTROLE provenant des réserves exploitées aujourd'hui baisse fortement à partir de 2010, selon l'AIE. Pour satisfaire à la demande, la production globale devra atteindre 96 millions de barils par jour en 2035. D'où le recours au pétrole non conventionnel et à des réserves à découvrir.

Le TOP10 des consommateurs de pétrole en 2012

2012 Mbl/d pr 2011

USA	18,6 -2,3%
Chine+HK	10,2 +5%
Japon	4,7 +6,3%
Inde	3,7 +5
Russie	3,2 +9,2%
Arabie S	2,9 +3,9%
Brésil	2,8 +2,5%
Allemagne	2,4 +1,1%
Corée Sud	2,5 +2,5%
Canada	2,4 +0,9%
	53,4

BP 2011

$\Sigma \pm 87,3$ +3,1%

En 2009 la Chine est devenue le premier consommateur mondial d'E primaire avec 2,2 Gtep [2,7 en 2012] devant les Etats-Unis (2,1Gtep) [2,2 en 2012]

Group chief executive's introduction



Bob Dudley
Group Chief Executive
June 2011

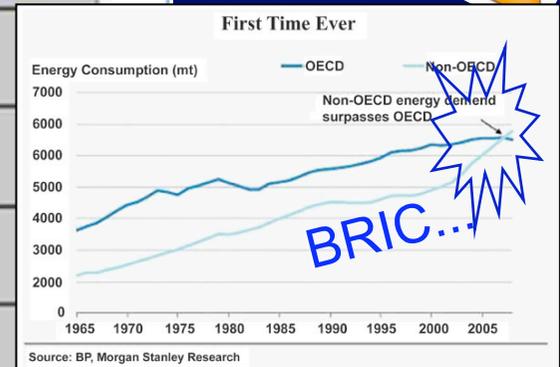
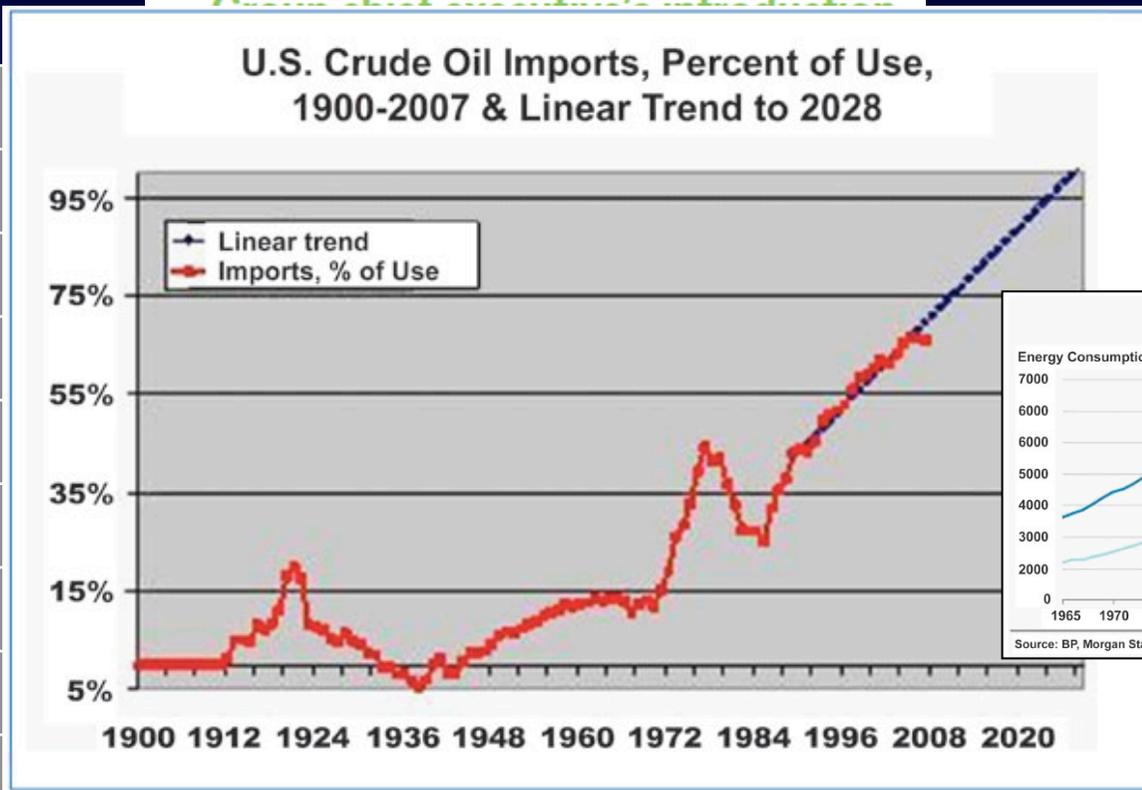
Energy in 2010 –
a strong rebound

Welcome of World seen bree and econ in which informat The data remains t objective Th in the wo that distri has expar energy an the intern first time Th strong rel global rec rate since all regions pre-reces economic well above than the e activity in that globa grown str Th countries the need a sustaine continuin that the v utmost p following En consumo

Le TOP10 des consommateurs de pétrole en 2012

2012 Mbl/d pr 2011

USA	18,6	-2,3%
Chine+HK	10,2	+5%
Japon	4,7	+6,3%
Inde	3,7	+5%
Russie	3,2	+9,2%
Arabie S	2,9	+3,9%
Brésil	2,8	+2,5%
Allemagne	2,4	+1,1%
Corée Sud	2,5	+2,5%
Canada	2,4	+0,9%
	53,4	



Energy in 2010 – a strong rebound

countries
the need
a sustain
continui
that the v
utmost p
following
En
consump

$\sum \pm 87,3$ +3,1%

En 2009 la Chine est devenue le premier consommateur mondial d'E primaire avec 2,2 Gtep [2,7 en 2012] devant les Etats-Unis (2,1Gtep) [2,2 en 2012]

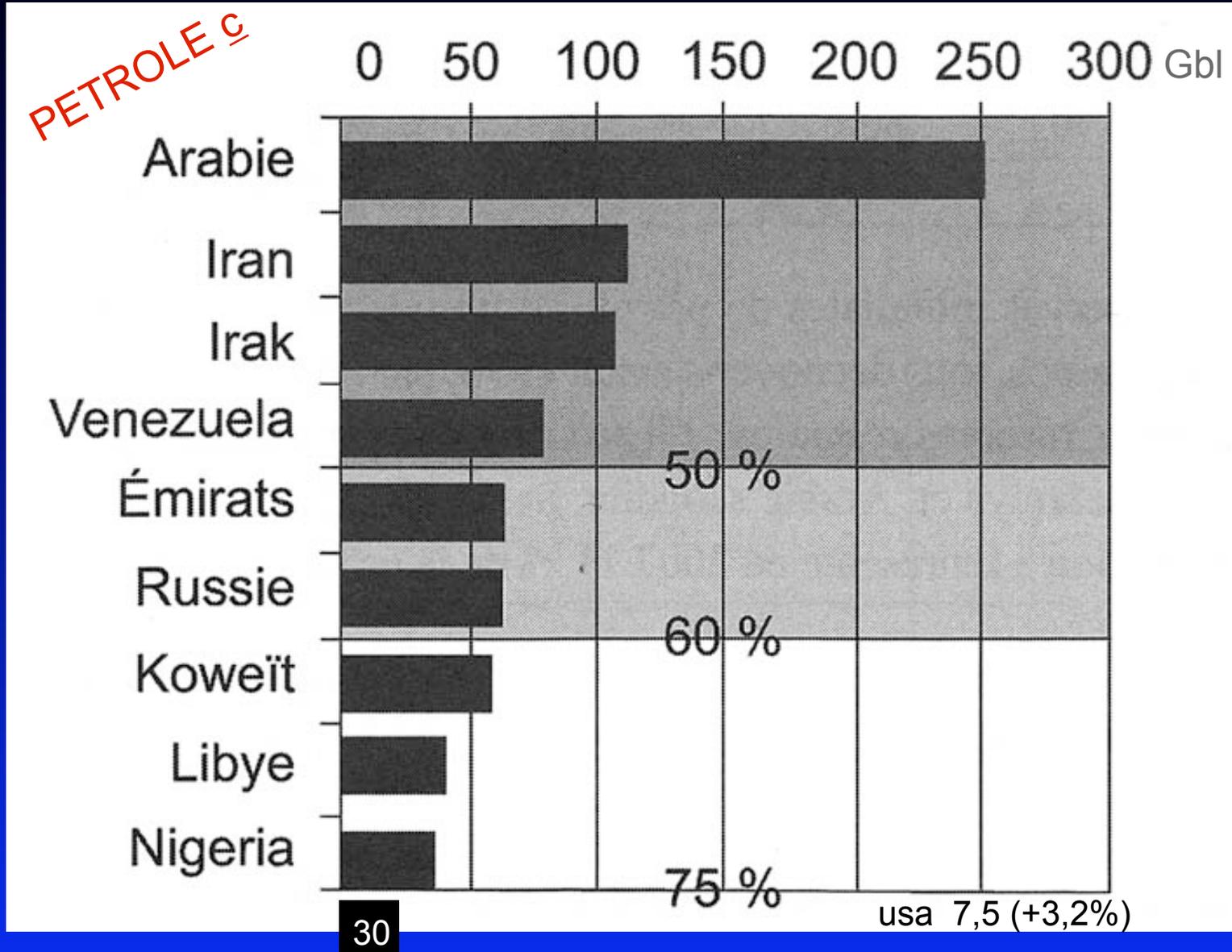
PETROLE c

Réserves Prouvées
2012 (BP)
[±5%?]

Rés Prouvées	Oil Gbl	%	Gas %
Arabie Saoudite	265,9	15,9	4,4
Canada	173,9	10,4	1,1
Iran	157,0	9,4	18,0
Irak	150,0	9,0	1,9
Koweït	101,5	6,1	1,0
Emirats Ar Unis	97,8	5,9	3,3
Venezuela	297,6*	17,8	3,0
Russie	87,2	5,2	17,6
Libye	48,0	2,9	0,8

Rés Prouvées	Oil Gbl	%	Gas %
Nigeria	37,2	2,9	2,8
USA	35,0	2,1	4,5
Chine	17,3	1,0	1,7
Mexique	11,4	0,7	0,2
Norvège	7,5	0,4	1,1
Algérie	12,2	0,7	2,4
Qatar	23,9	1,4	13,4
Australie	3,9	0,2	2,0
Indonésie	3,7	0,2	1,6

Les neuf pays possédant 75% des réserves prouvées



2012 prod.

11,5 Mbl/d (+3,7%)

3,7 Mbl/d (-16,2%)

3,1 Mbl/d (+11,2%)

2,7 Mbl/d (-1,5%)

3,3 Mbl/d (+1,6%)

10,6 Mbl/d (+1,2%)

3,15 Mbl/d (+8,9%)

1,5 Mbl/d (+215,1%)

2,4 Mbl/d (-1,9%)

Mathieu IFP in Durand 2009

Il s'agit de pays -----?

Les neuf pays

PETROLE C

- Arabie
- Iran
- Irak
- Venezuela
- Émirats
- Russie
- Koweït
- Libye
- Nigeria

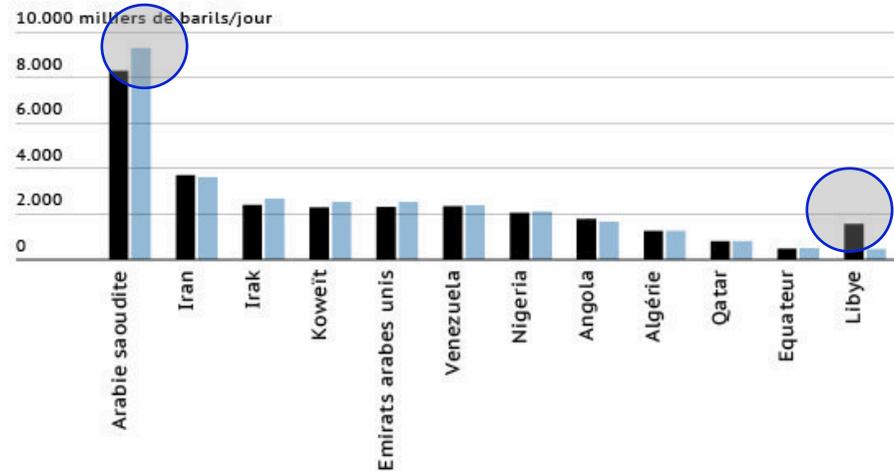
Il s'agit de pa

Production de pétrole dans les pays de l'OPEP en 2010 et 2011

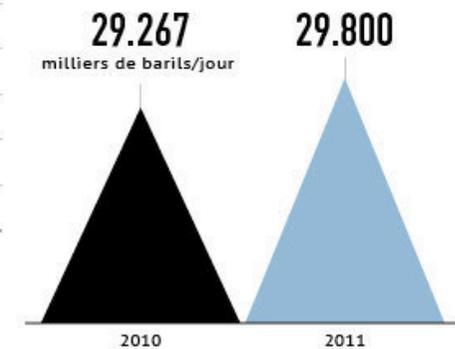
Evolution de la production journalière de pétrole en glissement annuel



Production journalière moyenne de pétrole brut dans les pays de l'OPEP



Production journalière moyenne de pétrole brut (l'ensemble des pays de l'OPEP)

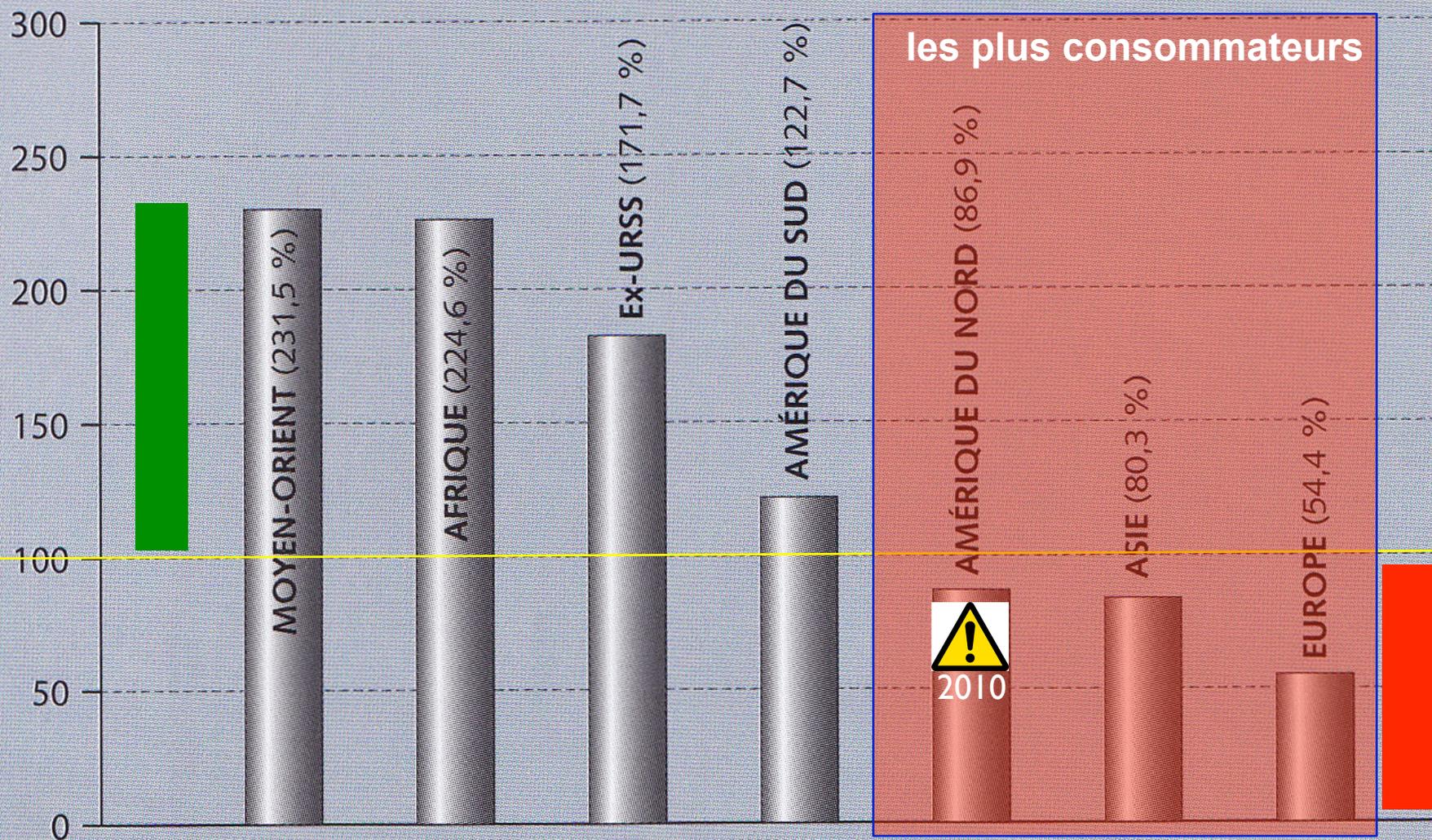


rapport mensuel de l'OPEP, février 2012

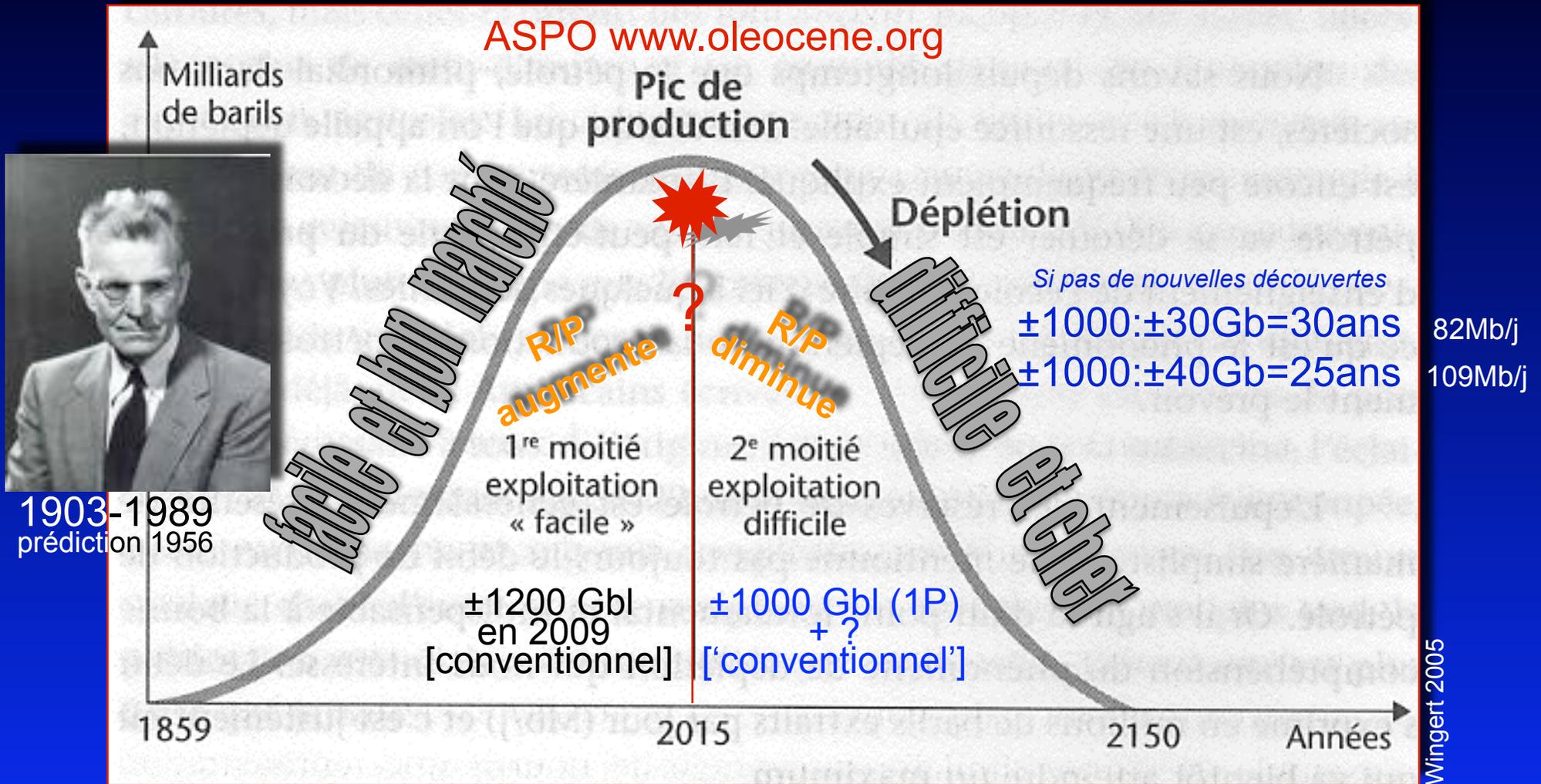
± 1/3

rod.
7%)
2%)
2%)
%)
6%)
2%)
9%)
5,1%)
%)

Le degré d'indépendance en termes d'énergie fossile en 2009 (en %)

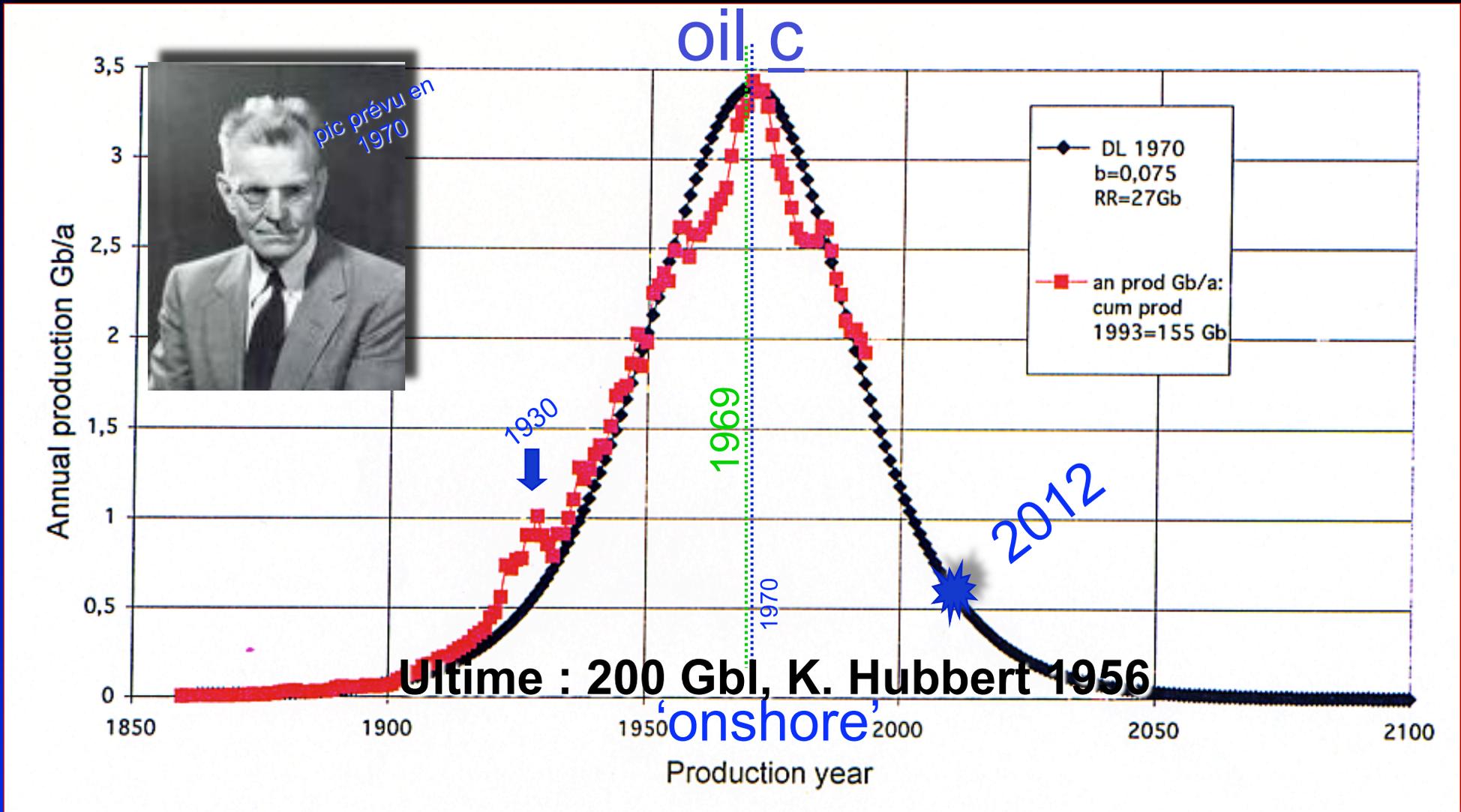


COURBE DE HUBBERT: CAS SIMPLIFIE DE LA COURBE DE PRODUCTION MONDIALE DE PETROLE c



Réserves disponibles au terme d'une année (Gt, Gbl...)
Production au cours de cette année (même unité)

48 Etats US: Courbe de Hubbert (en 'cloche'), modèle de déplétion



Campbell & Laherrère, 1994

Nb pic des découvertes USA: 1930' => bl = 4 cents < eau potable

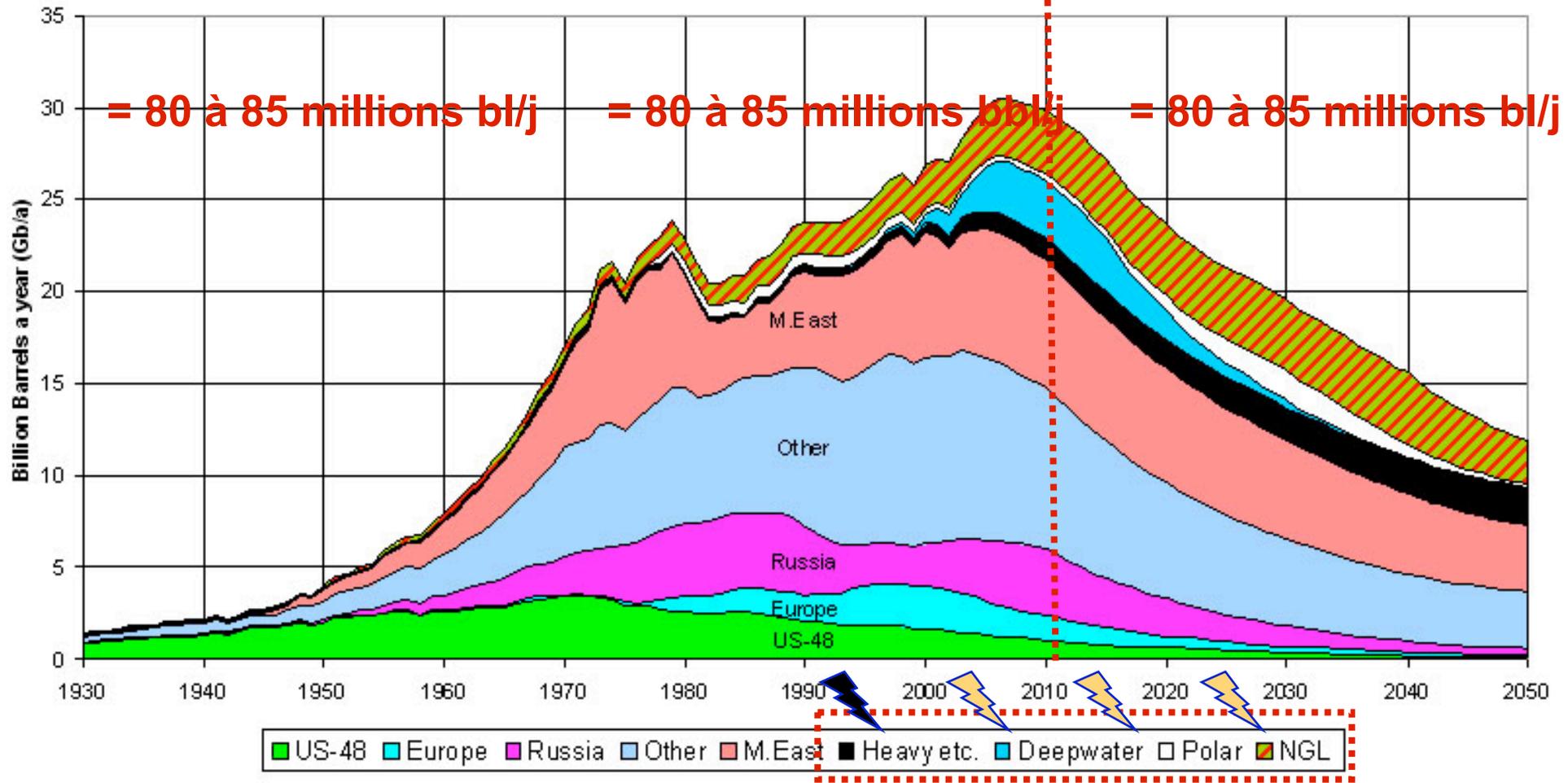
ULTIMES: 6000 (...) G bl c et 7000 G bl nc

<http://www.peakoil.net/>
OIL AND GAS LIQUIDS

2004 Scenario

IEA 2008 prévoit 104 Mb/J en 2030...

38Gb



Nb NGL = Gaz Naturel Liquéfié [-160°C pour le méthane] 'Revaporisation': 1m³ = 600 m³

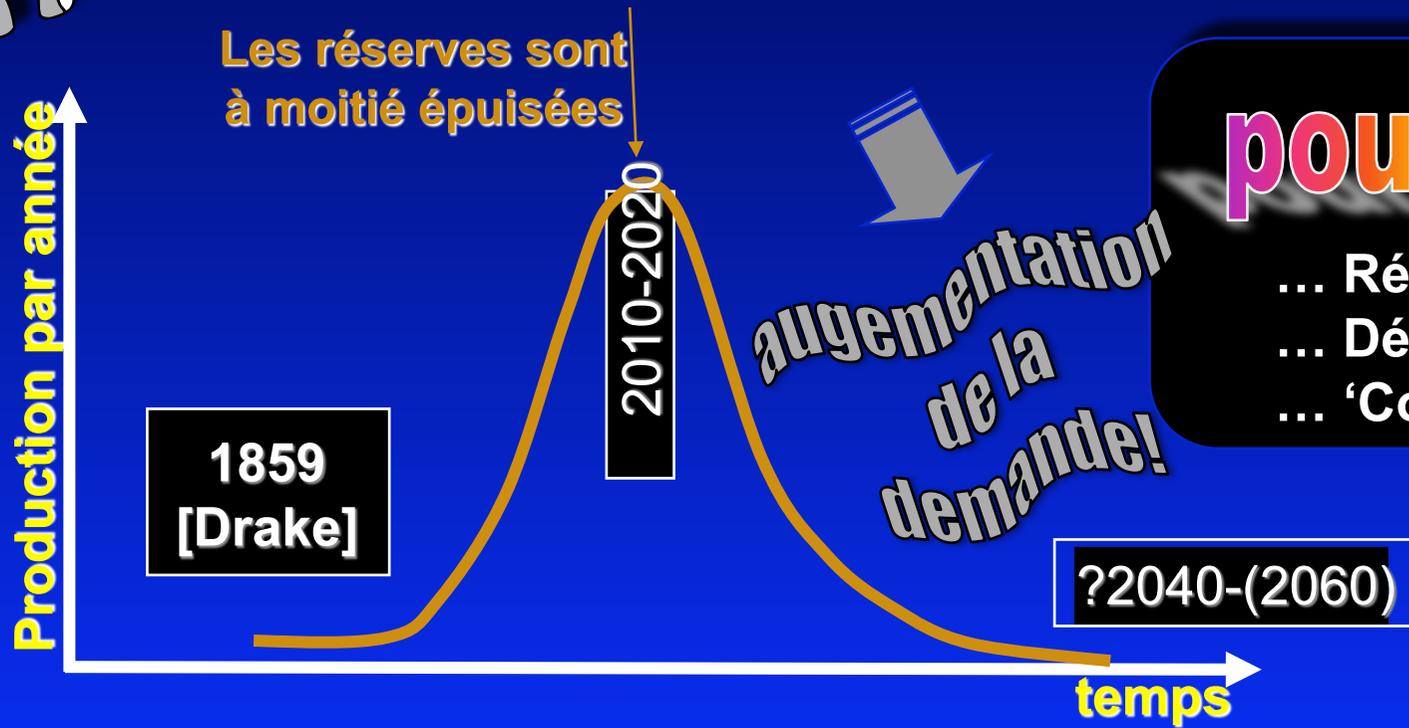
SC
nc
C

ULTIMES: 6000 (...) G bl c et 7000 G bl nc

avec ?280 Gt ou ± 2100 Gbbl [Rés 1P] LE MAXIMUM DE PRODUCTION SERAIT ATTEINT VERS 2010-2020...?



Le pétrole 'bon marché' est fini
Le monde sera **ENCORE** plus dépendant
des pays producteurs du Moyen-Orient



pourquoi?

- ... Réserves
- ... Débits
- ... 'Cost Oil'



Fin
de l'exploitation ?

'dernière goutte' 2150...



Le pétrole 'bon marché' est fini Le monde sera **ENCORE** plus dépendant des pays producteurs du Moyen-Orient

Investissement (2012) par baril potentiel (restant à produire et à découvrir)

- 45 cents (US\$) Mer du Nord
- 20 cents (US\$) Am N
- ...
- 10 cents (US\$) Russie
- **5 cents (US\$) Moyen-Orient**

pourquoi?

- ... Réserves
- ... Débits
- ... 'Cost Oil'



'dernière goutte' 2150...

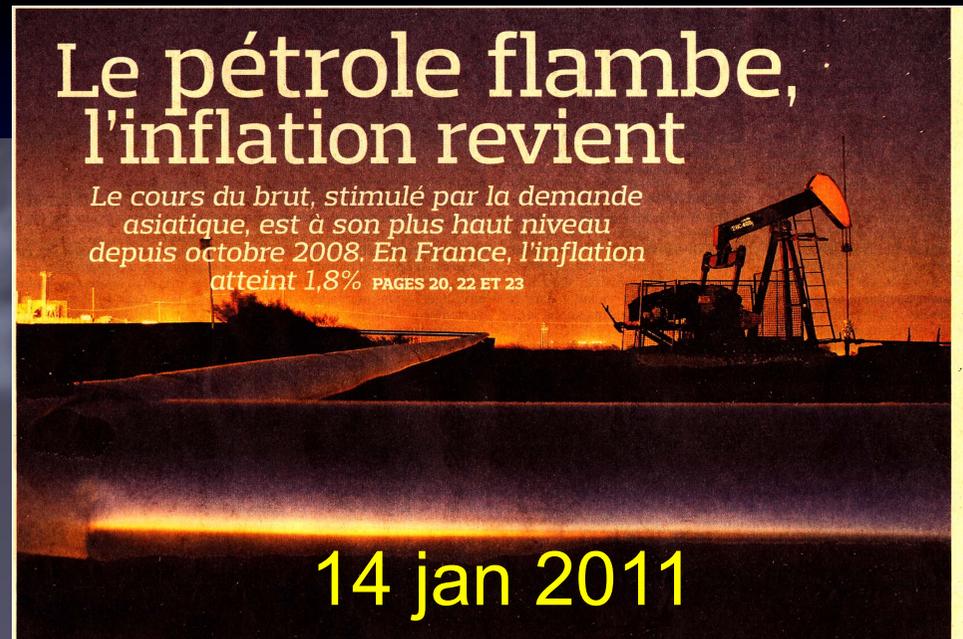
Jusqu'en 2035 (AIE) ?



Le pétrole 'bon marché' est fini

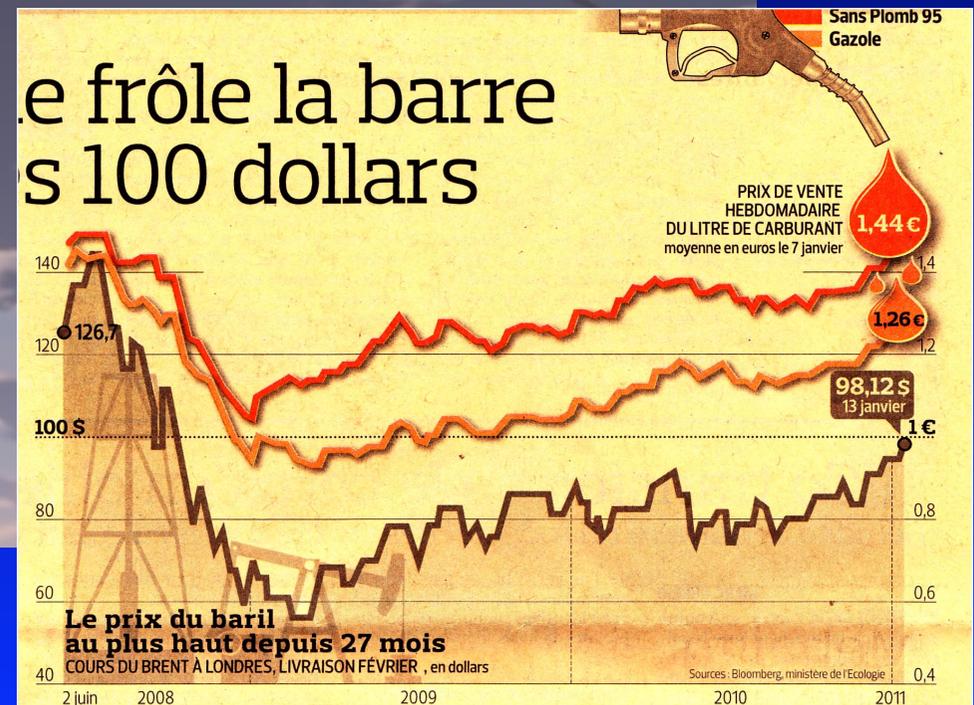
Le pétrole flambe, l'inflation revient

Le cours du brut, stimulé par la demande asiatique, est à son plus haut niveau depuis octobre 2008. En France, l'inflation atteint 1,8% PAGES 20, 22 ET 23

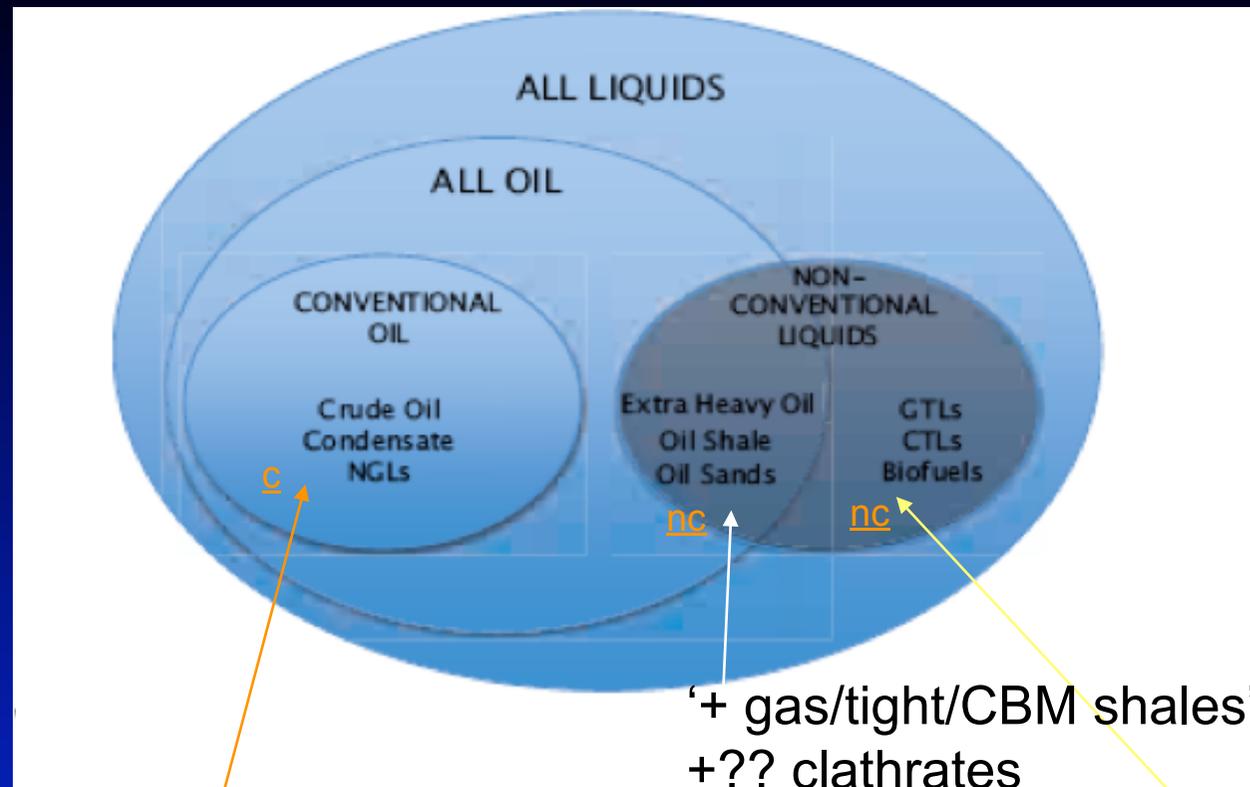


14 jan 2011

Le pétrole frôle la barre des 100 dollars



ULTIMES: 6000 (...) G bl c et 7000 G bl nc



IAE 2008



Crude Oil : brut (mélanges HC)

Condensate : huile très légère (C_{5+}) se condensant à partir de gaz naturels (p,T surface)

NGLs : HC légers liquides associés au gaz naturel (méthane-éthane, propane, butane)

Extra Heavy Oil : brut avec un d° API $< 10^\circ$ (gravité): très visqueux, injection vapeur

Oil Shales : schistes bitumineux (kérogène), doivent être pyrolysés ($>400^\circ\text{C}$)

Oil Sands: grès imprégnés d'huile extra-lourde ou lourde, 'mining' et procédés = syncrude

CTLs : fuel synthétique liquide obtenu par gazéification du charbon suivi par procédé Fischer-Tropsch

GTLs : fuel synthétique liquide obtenu par liquéfaction du méthane (Fischer-Tropsch, 1923)

Biofuels : fuels synthétiques obtenus par la biomasse (bio-éthanol, bio-diesel)

exploitables (économiques)	Découvertes		Non découvertes		
	produites	Réserves		Dans zones	
		prouvées	probables possibles	connues	inconnues
potentielles (subéconomique)			hypothétiques	spéculatives	
	>90% d'être produites		<90%		

F
A
I
S
A
B
I
L
I
T
É

← CONNAISSANCE GEOLOGIQUE 0

LA REGLE DES 3 'P' [prouvées-probables-potentielles]

Les réserves prouvées '1P' sont définies qualitativement et mesurées quantitativement à quelque 20% près par interpolation entre sondages et extrapolation limitée appuyées sur des données sismiques fidèles

= > 90% ... d'être réalisées

Les réserves probables '2P' sont estimées par extrapolation à partir d'un puits et de géophysique sur une structure, sur une ou plusieurs structures voisines bien connues géologiquement
Dans ce contexte: probable = 40 à 80% de chances de découvertes

= > 50% ... d'être réalisées

Les réserves ou ressources, possibles ou potentielles '3P' sont hypothétiques: < 40 % de découvertes, généralement 5 à 10%

= > 10% ... d'être réalisées

2003 (chiffres d'affaires)

1 **Royal Dutch/Shell** 269 milliards US \$

2 *Exxon Mobil* 237

3 *BP Amoco* 232,6

4 *Total* 131,6

5 *Chevron Texaco* 113

...



9 déc 2003, le responsable Explo-Prod écrit au PDG de Shell

‘ Je suis malade et fatigué de mentir à propos des problèmes concernant l’augmentation de nos réserves et des révisions à la baisse qui doivent être faites suite aux annonces précédentes, largement trop agressives et optimistes....’



nb La Royal Dutch/Shell est avec Exxon Mobil un des plus grands producteurs (> 4 millions bl/j)

Pourquoi? INCERTITUDES GEOLOGIQUES ET ...?

Exemple Récent

En 2002, BP annonce que les gisements inexploités de la Caspienne [prospectée en 90'] ne recélaient pas 200 Gbl comme espéré MAIS 39 Gbl d'un pétrole de mauvaise qualité! [trop de soufre] = géologie et bassins sédimentaires

nb 200 Gbl = total onshore USA, 220 = Russie, 75 = Europe, Moyen Orient = 680
(chiffres ASPO/2006 de prod estimée jusqu'en 2100)

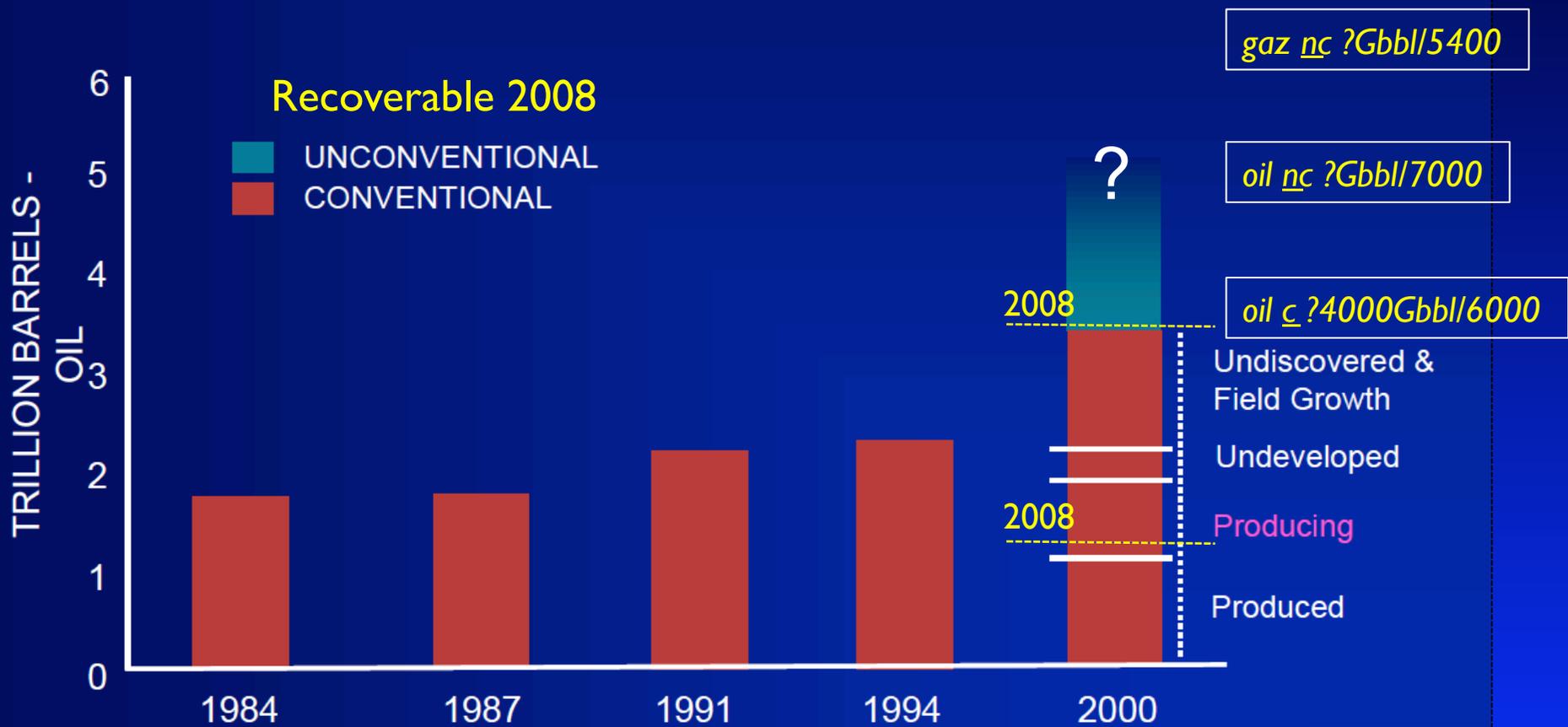
- Exemple Récent: le 9 janvier 2004, SHELL annonce que ses réserves étaient SURESTIMEES de 20% (son Président a dû démissionner, la Société étant sur-évaluée à la Bourse = finances...
- Exemple Récent: en 2002, la DOUMA a voté une loi: révéler les réserves de gaz et de pétrole russe est un crime passible de 7 ans de prison! = (géo)politique...



5 milliards
de bl en trop!

Estimated Global Oil Endowment

Potential Liquid Resource Base



Source: USGS, IHS

NPC 2008

Global Oil and Gas Study

Incertitudes

HYDROCARBURES

Bitumes

du latin bitus

ou Confusions

= bois résineux

Les bitumes ne sont pas des 'sables bitumineux'!

Les bitumes sont produits par raffinage du pétrole, ce sont donc des RESIDUS du RAFFINAGE

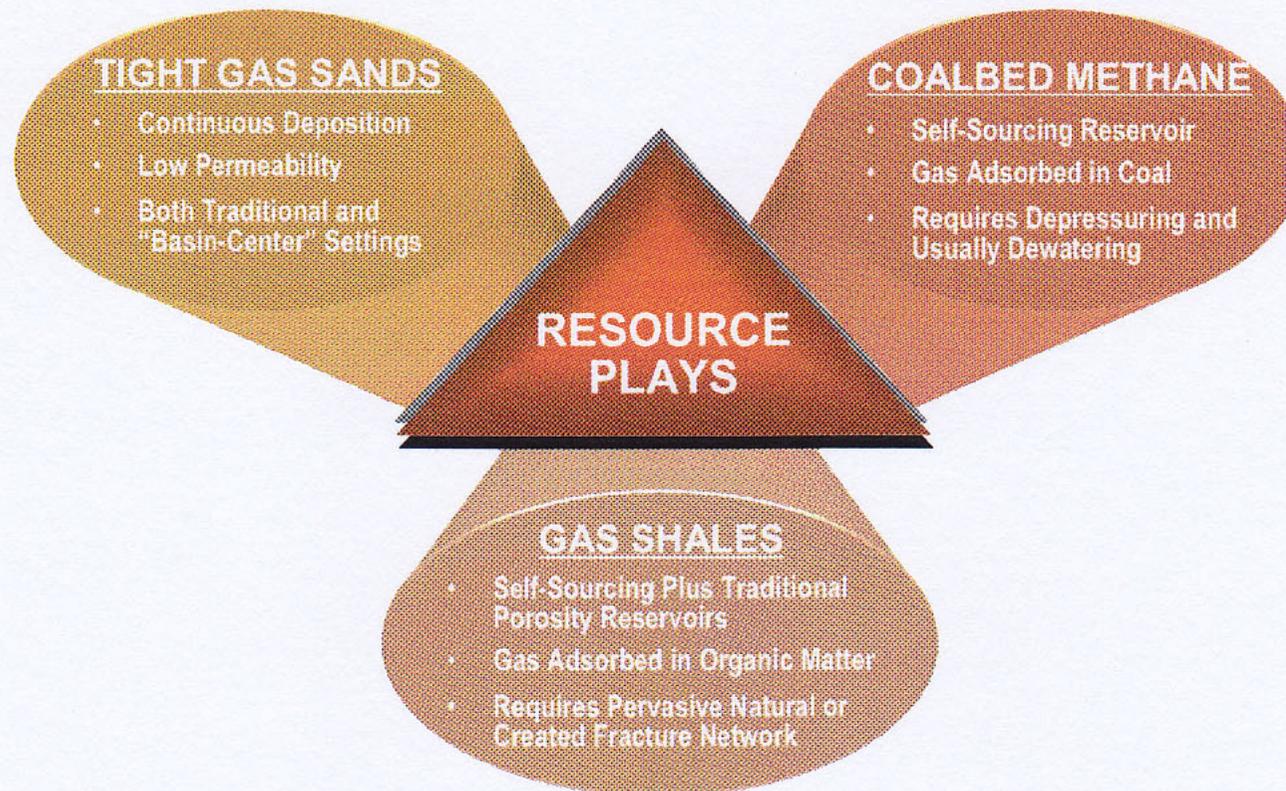
... ne pas confondre avec

- **les schistes bitumineux ou 'oil shales, bituminous shales'**
[Wyoming, Colorado -USA, Orénoque -Brésil]
[= pétrole 'jeune' -il n'y a pas de bitume!, ni tjrs de schiste!!]
- **les sables asphaltiques ou huiles extra-lourdes [Venezuela] et les sables bitumineux ou 'tar sands' [rivière Athabasca, Canada]**
[= oxydation bactérienne] et consistance 'Nutella!'...

BASSINS SEDIMENTAIRES

What Is Unconventional Gas?

Three natural gas sources comprise today's unconventional gas. Methane hydrates, a fourth candidate, is not yet ready for "prime time".



GRANDES EXTENSIONS, GRANDS VOLUMES
valables pour toutes les périodes géologiques

GAZ 'NON CONVENTIONNELS'

TIGHT GAS SANDS : piégés dans des roches 'dures', non poreuses et imperméables (grès, calcaires) = 'Sands' => chenaux, barres... = degré d'interconnection (sismique, paléogéographie, modélisation et géométrie '3D')

COAL BED METHANE : piégé dans les veines ou filons '(seams)' liés aux gisements de charbon, dans les gisements mêmes (= 'grisou') ou dans les encaissants proches. Le gaz est surtout adsorbé sur la surface du charbon ou la matière organique qui peut ainsi 'stocker' de 2 à 3 fois plus de volume de gaz par unité de volume de roche dans les gisements conventionnels.

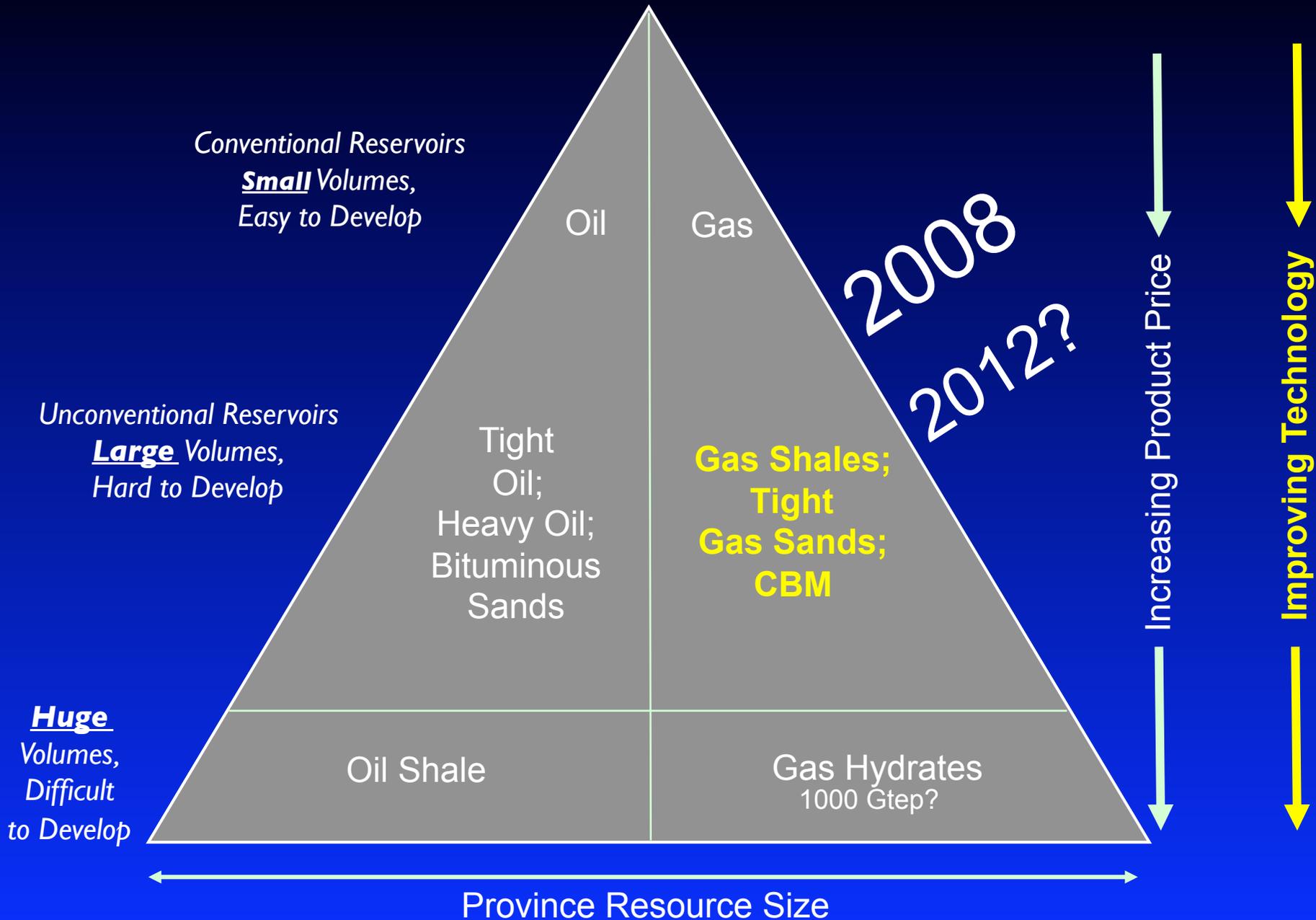
GAS SHALES : piégé dans des roches très fines, riches en matière organique, imperméables, non poreuses = argillites, marnes et shales.

⇒ très bien étudiées aux USA

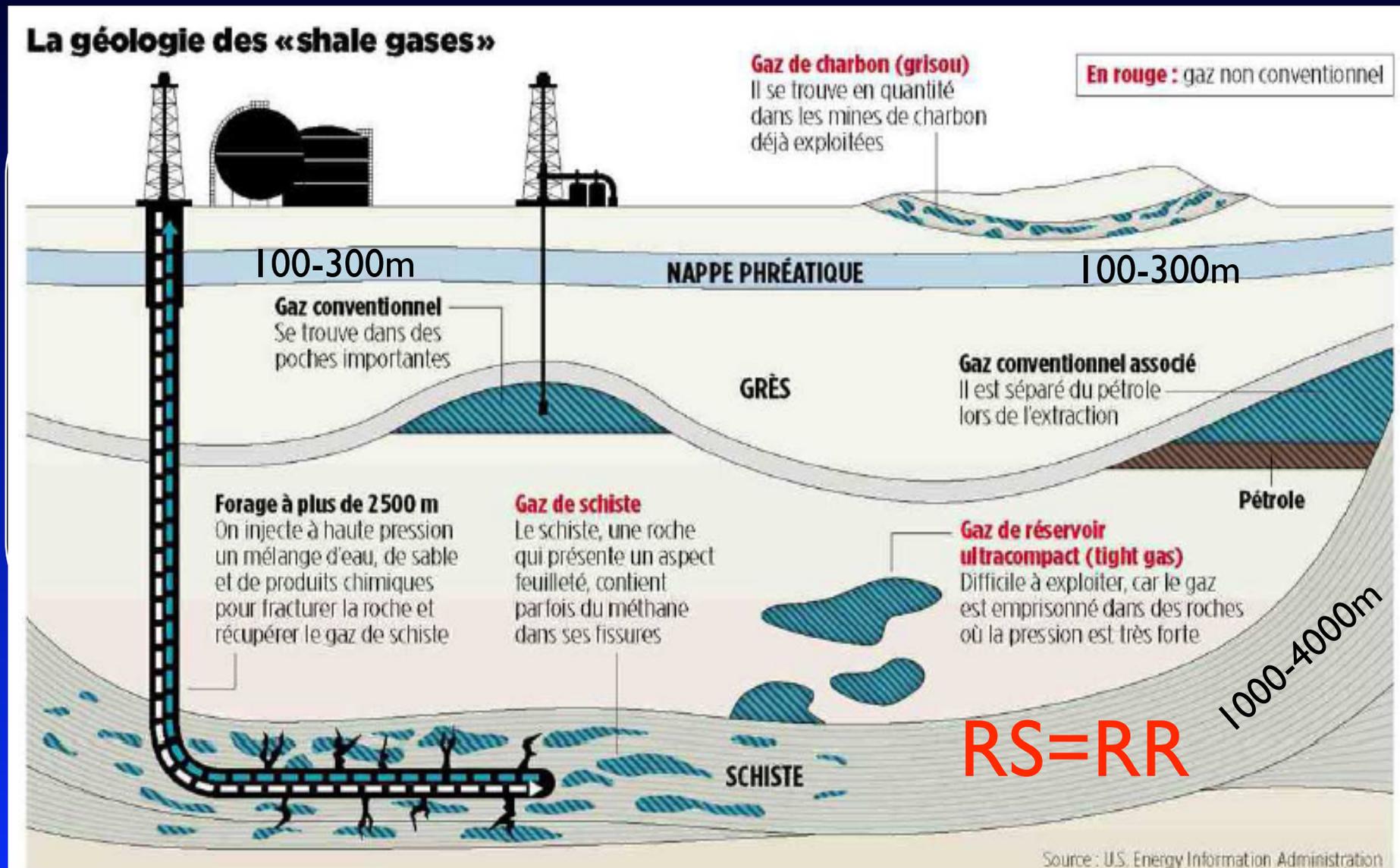
⇒ = the '**MAGNIFICENT SEVEN**' ('GIP' : 5146tcf => recoverable 715tcf en 2010, soit ± 105 Gboe ± Irak 115 (1P, 2010) et < Arabie Saoudite 264 (1P, 2010)

?GAS HYDRATES :? >>

The Resource Pyramid

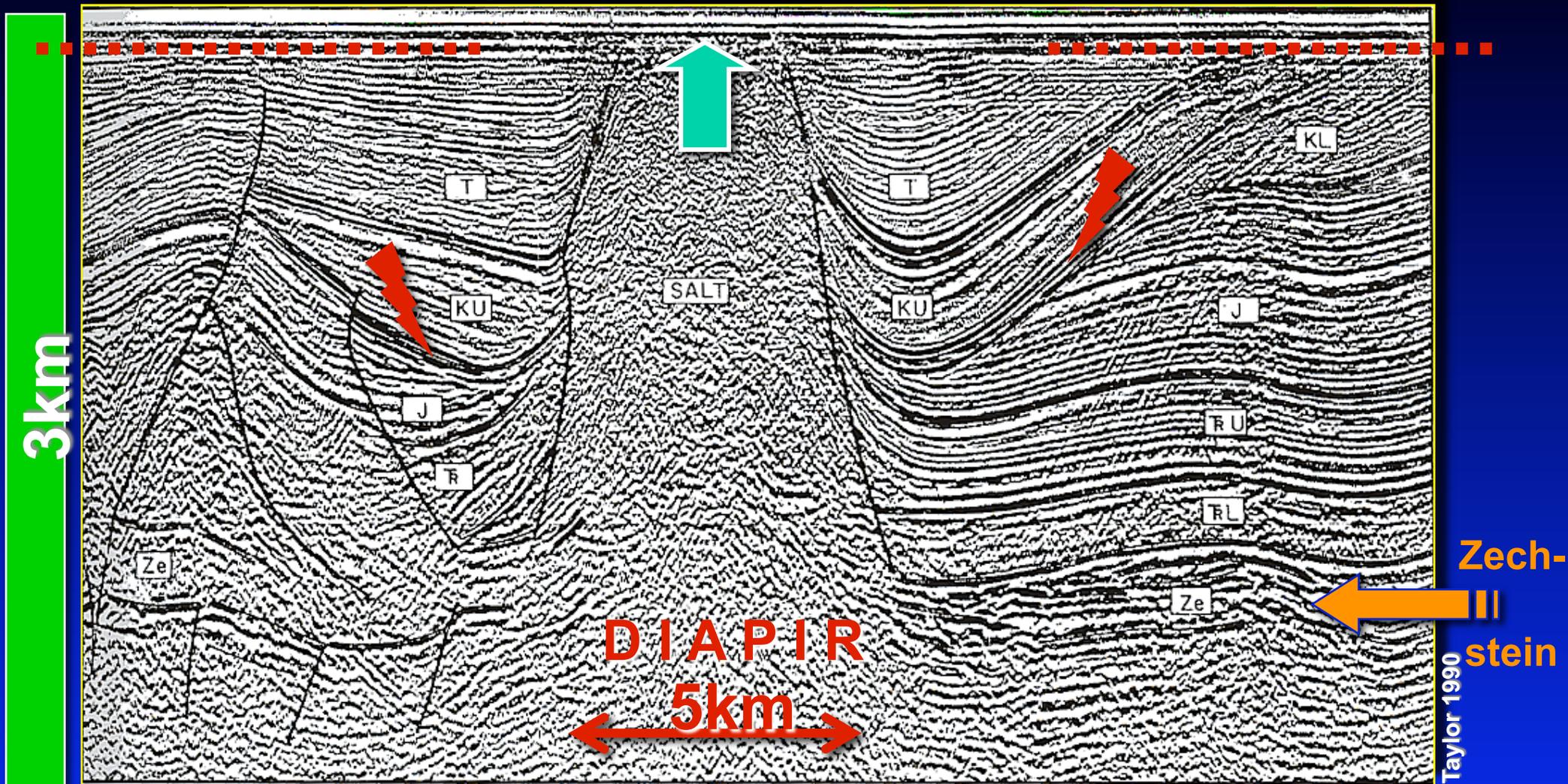


TRES SIMPLIFIE



Profil sismique réflexion, Mer du Nord

[25kmX3km, résolution ± 15 m]



Zechstein = gde mer épicontinentale Pm sup [245Ma]

Halocinèse Crétacé - Tertiaire inférieur [135-55Ma]

BASSINS SEDIMENTAIRES RESSOURCES 'GIP'

en 2006

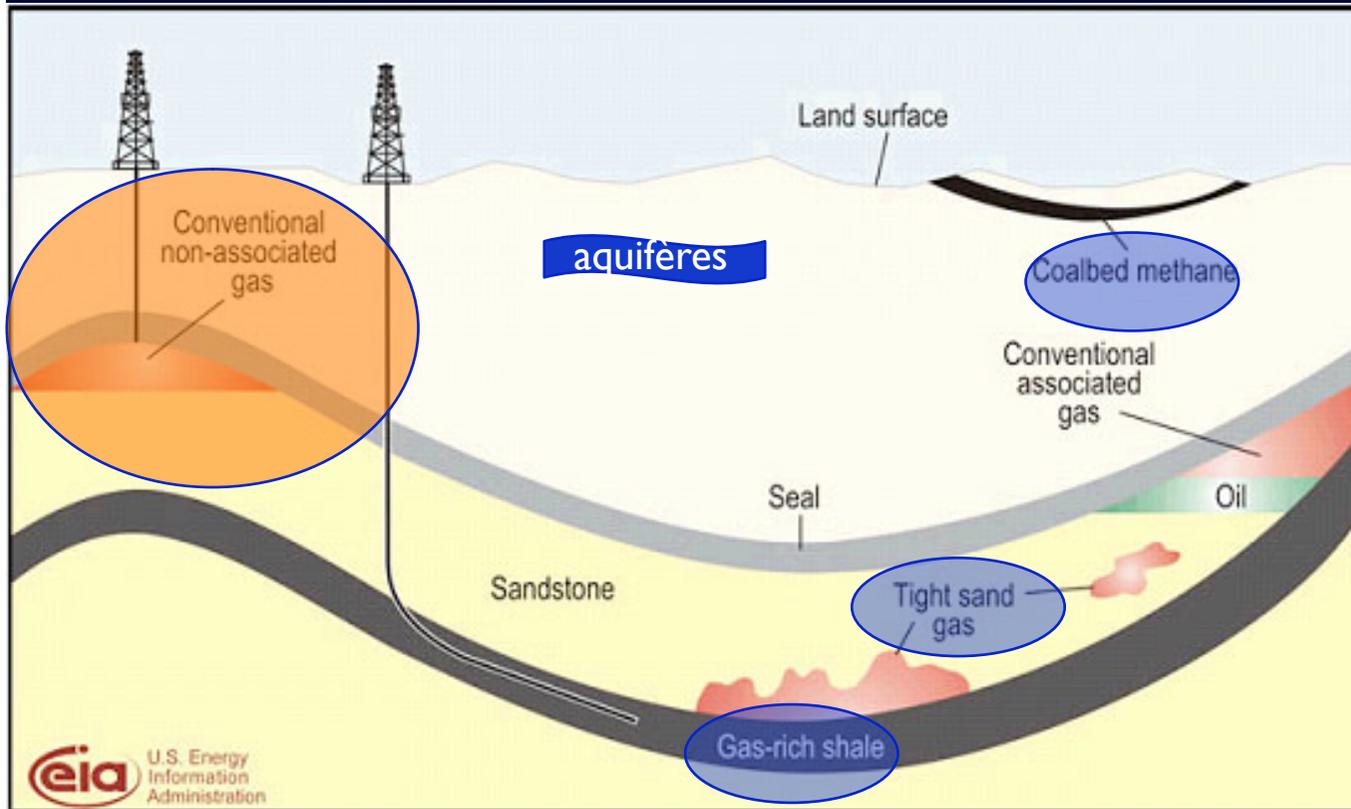


TABLE 1—TABLE 1—DISTRIBUTION OF WORLDWIDE UNCONVENTIONAL-GAS RESOURCES (AFTER ROGNER 1996, TAKEN FROM KAWATA AND FUJITA 2001)

Region	Coalbed Methane (Tcf)	Shale Gas (Tcf)	Tight-Sand Gas (Tcf)	Total (Tcf)
North America	3,017	3,840	1,371	8,228
Latin America	39	2,116	1,293	3,448
Western Europe	157	509	353	1,019
Central and Eastern Europe	118	39	78	235
Former Soviet Union	3,957	627	901	5,485
Middle East and North Africa	0	2,547	823	3,370
Sub-Saharan Africa	39	274	784	1,097
Centrally planned Asia and China	1,215	3,526	353	5,094
Pacific (Organization for Economic Cooperation and Development)	470	2,312	705	3,487
Other Asia Pacific	0	313	549	862
South Asia	39	0	196	235
World	9,051	16,103	7,406	32,560

1500Gboe 2700 1200

5400 Gboe

- + schistes bitumineux 2800Gboe/rec?
- + tar sands, extra heavy oil ±3000/rec?750

BASSINS SEDIMENTAIRES

en 2006

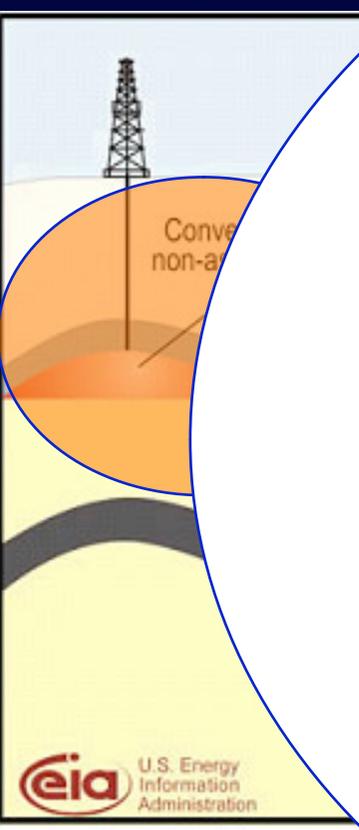
DISTRIBUTION OF WORLDWIDE
RESOURCES (AFTER ROGNER
MATA AND FUJITA 2001)

Category	Gas (Tcf)	Tight-Sand	Total (Tcf)
1	1,371		8,228
2	1,293		3,448
3	353		1,019
4	78		235
5	901		5,485
6	23		3,370
7	784		1,097
8	353		5,094
9	705		3,487
10	313	549	862
11	0	196	235
12	251	16,103	7,406
13	500Gboe	2700	1200

CHIFFRES A MANIER
AVEC PRUDENCE...
mais A.S. = 260Gbl!

5400
Gboe

bitumineux 2800Gboe/rec?
+ tar sands, extra heavy oil ±3000/rec?750

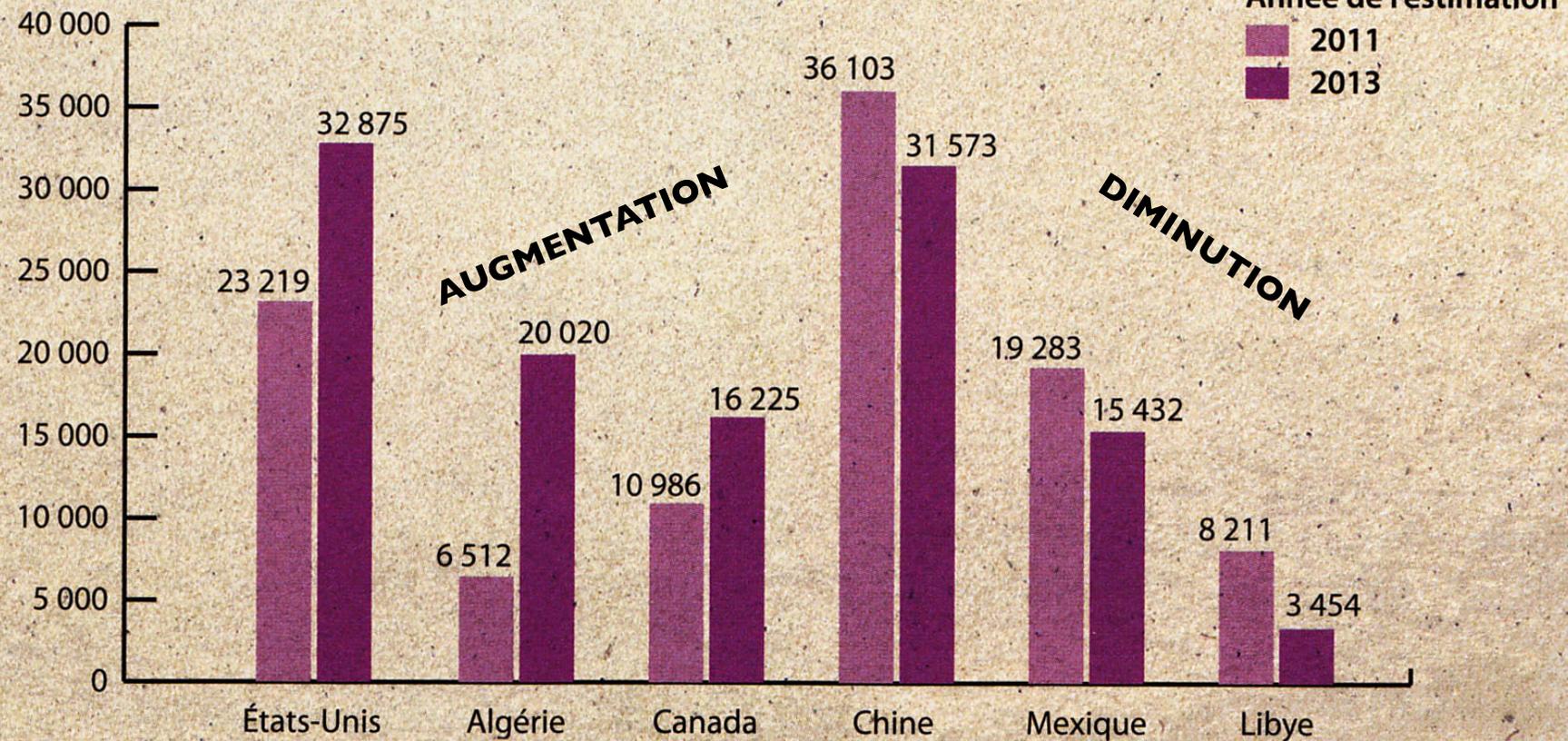


Réserves de gaz nc 'gaz de schiste'

www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas

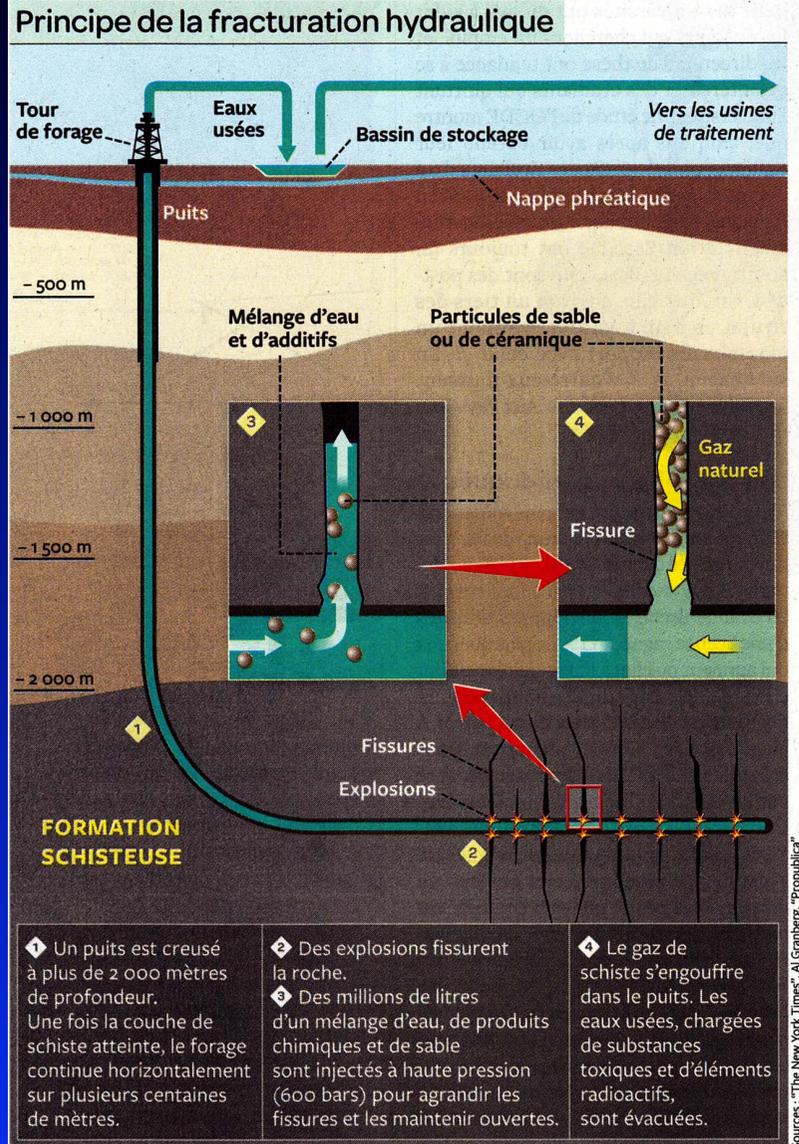
Bonnes et mauvaises surprises

Réserves prouvées en km³

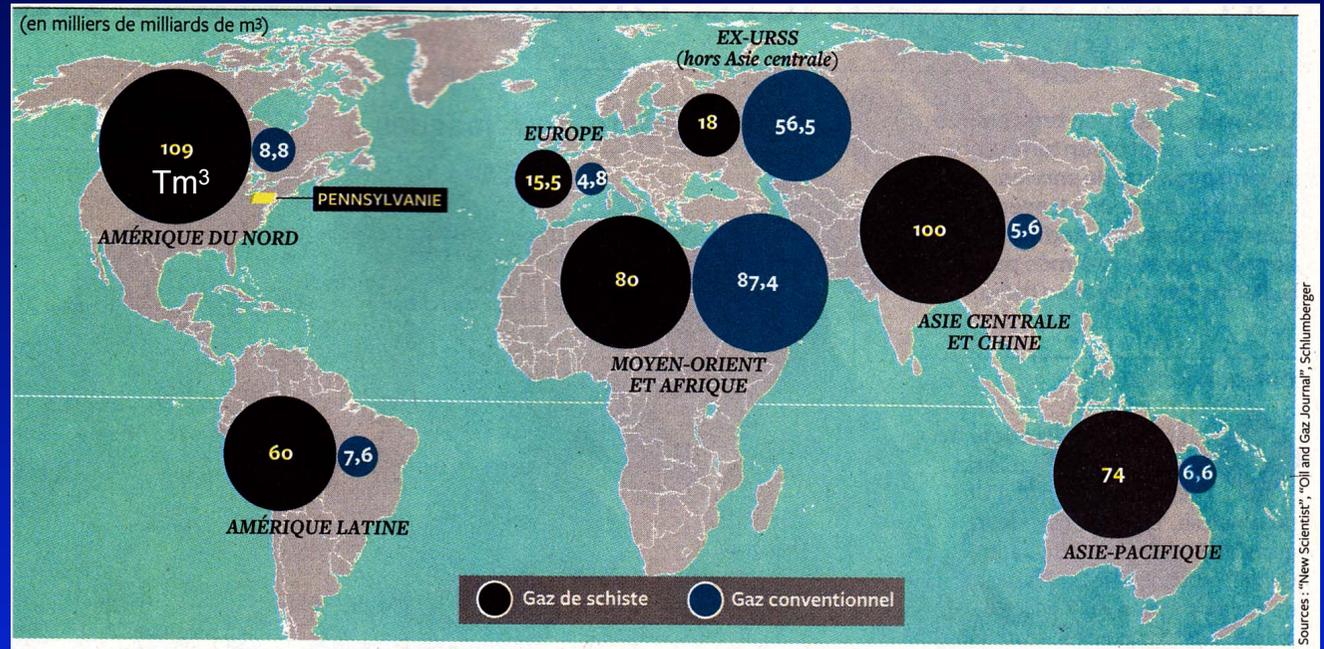


GAZ DE 'SCHISTE' = gaz de marnes ou gaz de pélite

Un puits horizontal tous les 1 à 4 km



Réserves comme le gaz c ou > soit 500.Tm³ >2700Gboe
 Mieux réparti que le gaz c
 > 100 ans? (USA) et Chine = 1A.S. prouvé...



'FRACKER' = fracturation hydraulique

10 à 15.000 m³ eau (sable+additifs)/forage

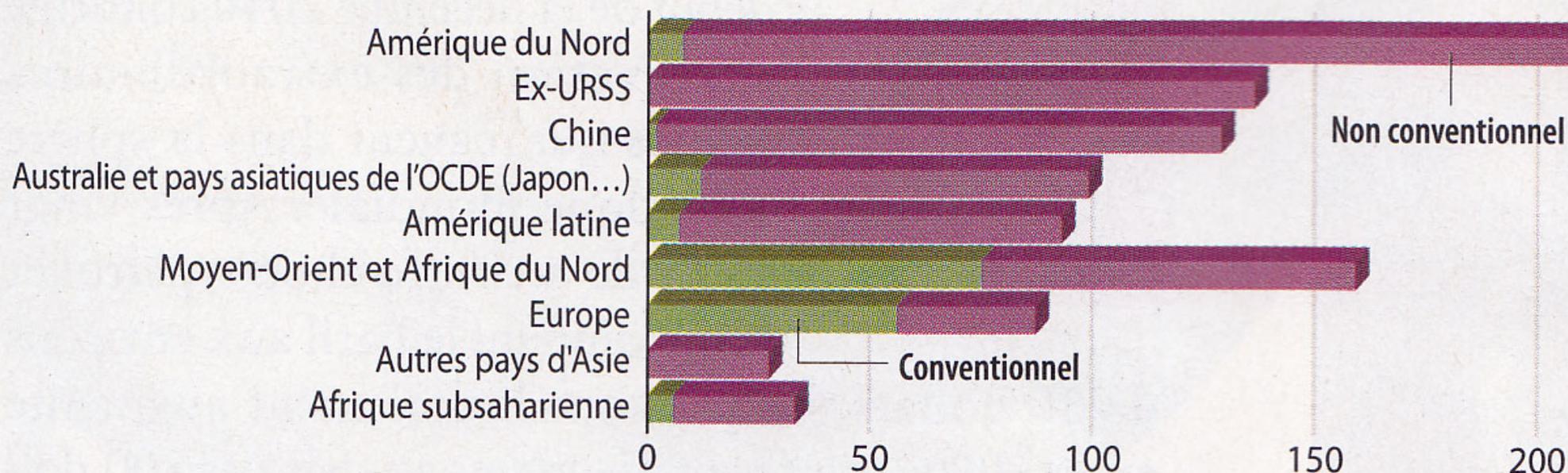
2009 : 493 000 puits USA [93 000 Texas, 71 000 Pennsylvanie)

2010: 3000 permis d'exploitation en Pennsylvanie (117 en 2007)

Attention car problèmes environnementaux (benzène, toluène, radioactivité...)

Les gisements de gaz non conventionnels quintuplent les réserves de gaz

Réserves de gaz conventionnel et non conventionnel (en milliards de tep)



Source : Rogner 1997 repris par AIE et Ifri, 2010

Burma's
historic
vote

ARAB SPRING
Islamists
move to the
center

Britain has
a banker
problem

10
Questions
for Angelina
Jolie

April 9, 2012

TIME

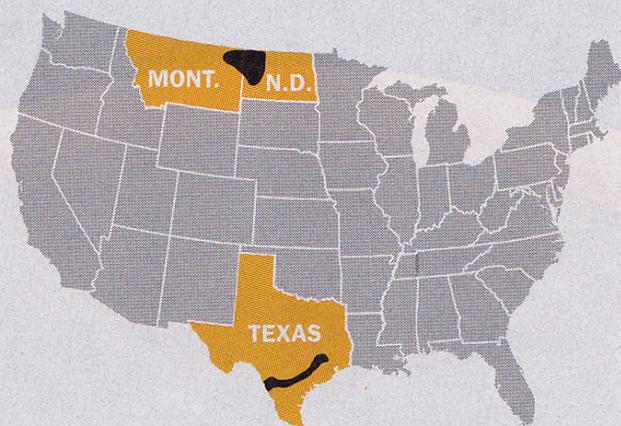
THE TRUTH ABOUT OIL

New breakthroughs
are actually increasing
global supplies.
But the era of cheap
oil may be gone forever

By Bryan Walsh



= 2.4 million bbl/d by 2020?



= Kuwait equivalent



exploité depuis 1990' (USA)

TIGHT OIL

BACKGROUND

Light crude oil that is bound tightly in **formations of relatively permeable shale**. Wells are drilled vertically and then horizontally into the shale layer. Hydraulic fracturing is used to break the rock underground, and oil flows up the well

ENVIRONMENTAL IMPACT Tight oil requires fracking, which involves **injecting millions of gallons of water mixed with chemicals deep**

into the ground.

There can be a risk of contamination to groundwater, though there have been no proven cases yet. Burning of excess methane from tight-oil wells can cause air pollution

RESERVES Up to **300 billion** barrels globally

COST OF PRODUCTION **\$50** per barrel

ARCTIC OFFSHORE

BACKGROUND

As climate change melts Arctic sea ice, **vast areas of water that were once blocked are now opening for offshore drilling and oil shipping**. Call it the unexpected climate-change dividend

ENVIRONMENTAL IMPACT Even though the sea ice is melting, Arctic waters remain incredibly treacherous, with icebergs and storms threatening drilling ships. **Any oil spill**

would be much **harder to clean up in the freezing water than in the warmth of the Gulf**, and the remoteness of the Arctic means that it would be difficult to stage a massive spill response

RESERVES Estimated **90 billion** barrels

COST OF PRODUCTION Unclear but likely **above \$100** a barrel

equivalent
Koweit

USGS 2009

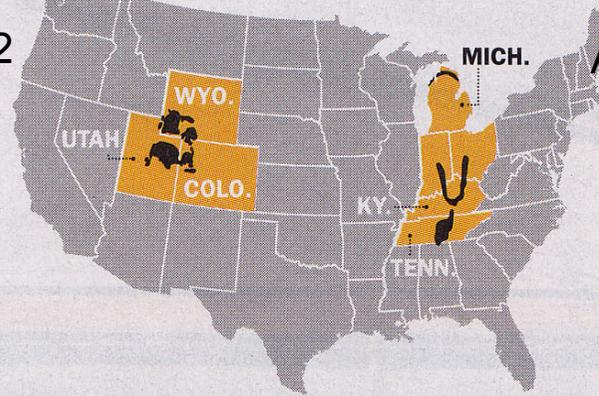
30% gaz non découvert
13% pétrole non découvert
(à l'échelle mondiale)
= offshore < 500 m
(USA, Canada, Norvège, Danemark, Russie)

= Kuwait equivalent



April 9, 2012

Bakken' Boom' N-Dakota
98,000bbl/d(2005)->510,000bbl/d(2011)



April 9, 2012

1.7 million bbl/day ->4.8 in 2035
= >Iran's current output)



PRESALT DEEPWATER

BACKGROUND

Reservoirs of oil found **below thick layers of salt beneath the ocean floor that were deposited more than 150 million years ago.** Requires offshore drilling through nearly 3,000 m of water, additional rock and more than 1,500 m of salt

ENVIRONMENTAL IMPACT The presalt reservoirs represent some of the most technologically challenging

offshore drilling. The wells are deeper than the Gulf of Mexico well that led to the BP oil spill in 2010. **A blowout would be incredibly difficult to control**

RESERVES
50 billion to 100 billion barrels

COST OF PRODUCTION
\$45 to \$65 a barrel

OIL SHALE

BACKGROUND

Shale that contains **a solid bituminous material called kerogen.** The rock has to be mined and then heated to a high temperature to separate the oil from the shale

ENVIRONMENTAL IMPACT The cost of mining and processing oil shale is still too high to make the process worthwhile. Oil shale requires significant

amounts of land and water and produces toxic tailings. Oil-shale crude also has a larger greenhouse-gas footprint than conventional oil

RESERVES
800 billion barrels, though estimates remain uncertain

COST OF PRODUCTION
Over \$100 a barrel

OIL SANDS

BACKGROUND

Loose sand or sandstone that's saturated with **a dense and viscous form of petroleum called bitumen.** The oil sands are exploited either through vast open-pit mines or through in situ wells that process the bitumen underground

ENVIRONMENTAL IMPACT Open-pit oil-sands mines **leave large piles of toxic tailings that can pollute nearby water sources.**

Gasoline from oil sands results in **10% to 15% more greenhouse-gas emissions per barrel than conventional oil** because of the additional energy needed to refine it

RESERVES
169 billion recoverable barrels

COST OF PRODUCTION
\$50 to \$75 per barrel

Burma's
historic
vote

ARAB SPRING
Islamists
move to the
center

Britain has
a banker
problem

10
Questions
for Angelina
Jolie

April 9, 2012

TIME

THE TRUTH ABOUT OIL

New breakthroughs
are actually increasing
global supplies.
But the era of cheap
oil may be gone forever

By Bryan Walsh



THE FUTURE OF OIL
EXTREME OIL—FROM THE DEEP
ATLANTIC TO THE ARCTIC,
FROM FRACKING IN THE U.S. TO
SANDS IN CANADA—IS REPLACING
DWINDLING SUPPLIES.
BUT IT COMES AT A HEAVY ECONOMIC
AND ENVIRONMENTAL COST

BY BRYAN WALSH

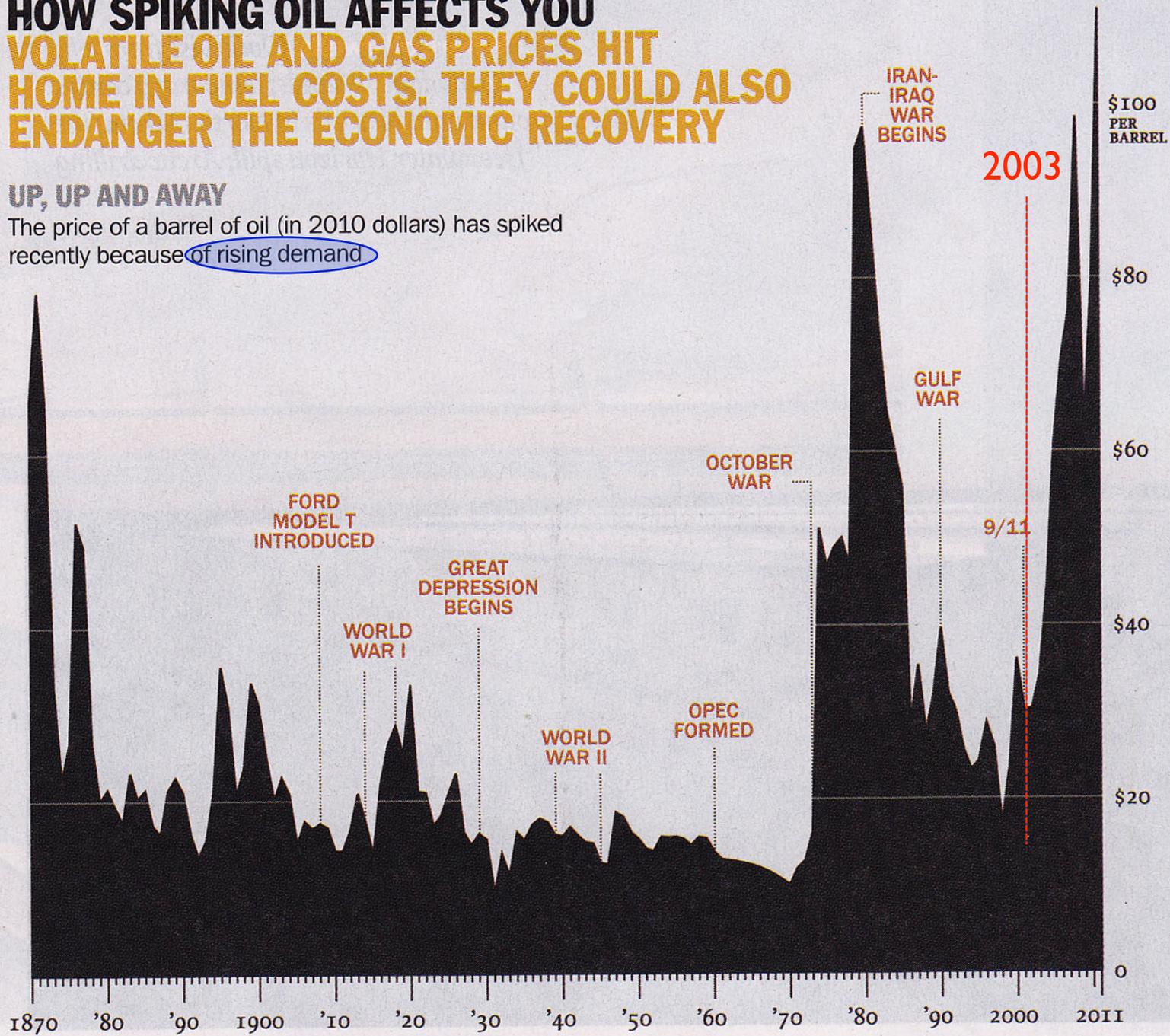


HOW SPIKING OIL AFFECTS YOU

VOLATILE OIL AND GAS PRICES HIT HOME IN FUEL COSTS. THEY COULD ALSO ENDANGER THE ECONOMIC RECOVERY

UP, UP AND AWAY

The price of a barrel of oil (in 2010 dollars) has spiked recently because of rising demand

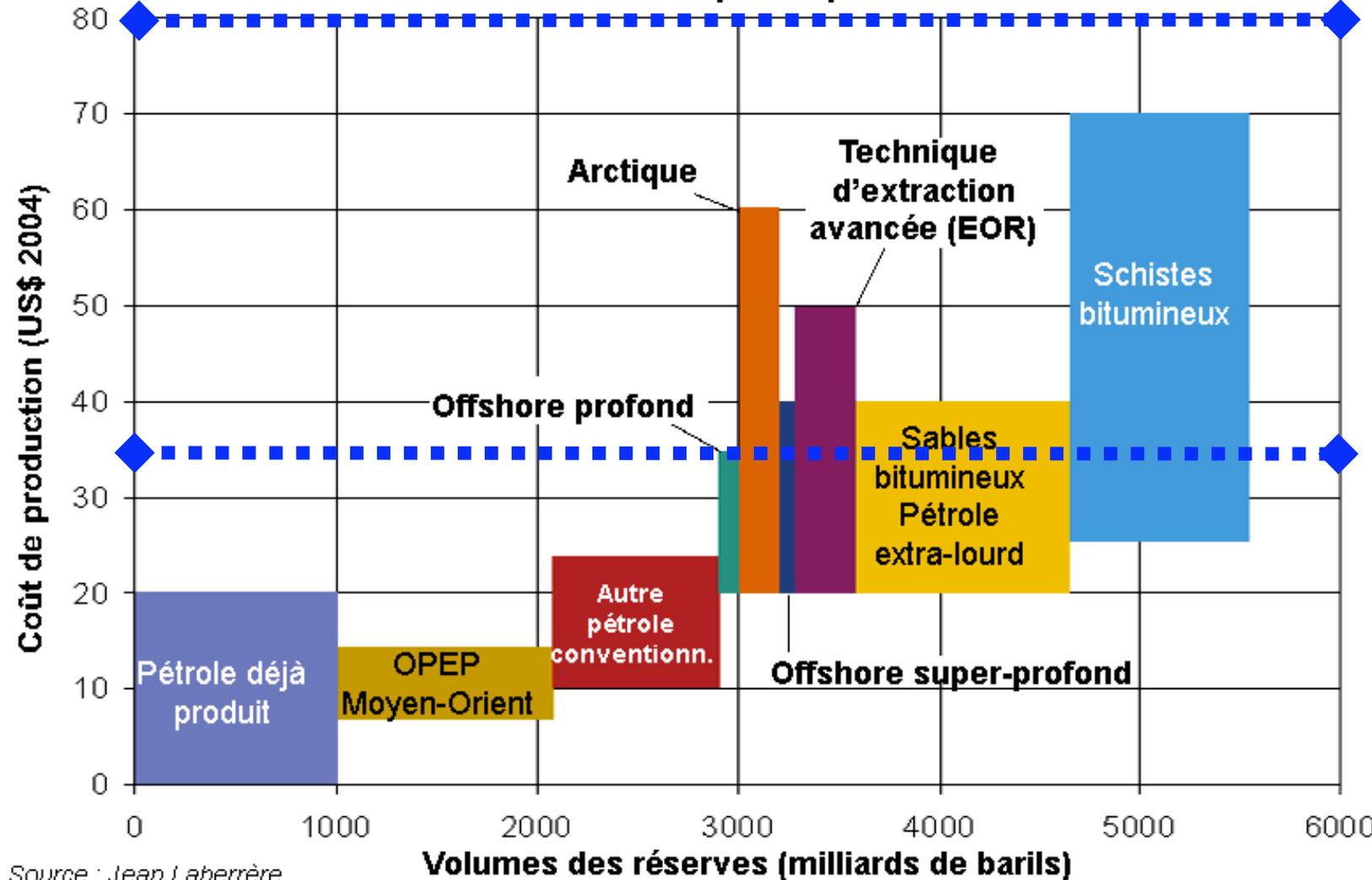


ULTIMES: 6000 (...) G bbl c et 7000 G bbl nc

90

fév2011

EIA (2005) : d'énormes réserves de pétrole sont disponibles à des coûts économiques supérieurs



Début 2010

Fin 2008/
Début 2009

ex:

pétrole
lourd ou
sables
bitumineux
du Canada
= 1750 Gbbl
dont aujourd'hui
10% = réserves

1,8 Gb déjà
produits en 2007

déjà exploités
en 1930'

Source : Jean Laherrère

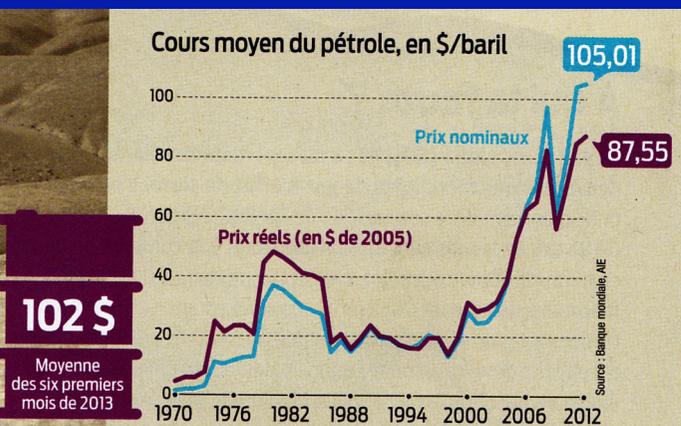
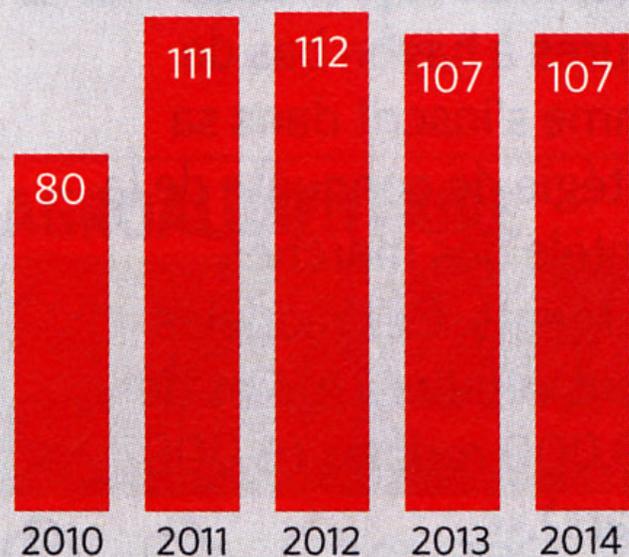
différent de ressources!

Ici = ± ultimate recoverable resources

Prix du pétrole

Cours du Brent

(moyenne annuelle, en dollars/baril)



Coûts de production estimés, en \$/baril

Moyen-Orient et Afrique du Nord (gisements conventionnels)

6-28

Récupération assistée du pétrole (par injection de CO₂)

30-80

Offshore profond et ultra-profond

32-65

Gisements arctiques

32-100

Huiles extra-lourdes/sables bitumineux

32-68

Pétrole de schiste

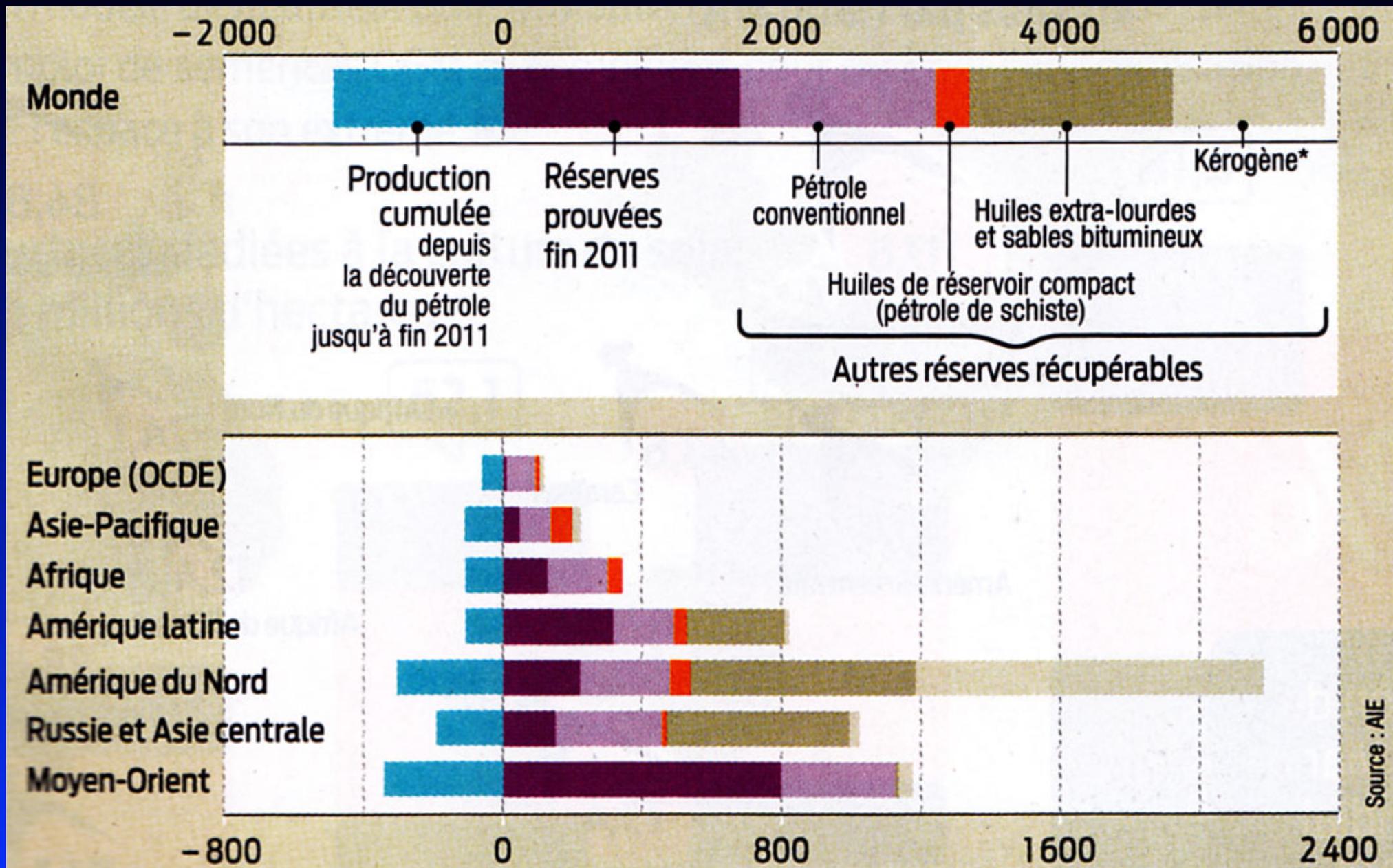
52-113

Conversion du charbon en carburant

60-113

Source : Banque mondiale, AIE

Ressources pétrolières récupérables en 2011, Gbl



Réserves '1P'



Réserves '2P', '3P'

> 200 ans



> 100-250 ans (nc) AIE 2011

=> récupérable = ? 300 soit 3 à 5 fois réserves oil 1P Arabie ? 400 ou ? > Tm³

taux de récupération en 2011: 10-20% => 25-40%

> 70 ?ans ou + (avec nc)

+ clathrates?

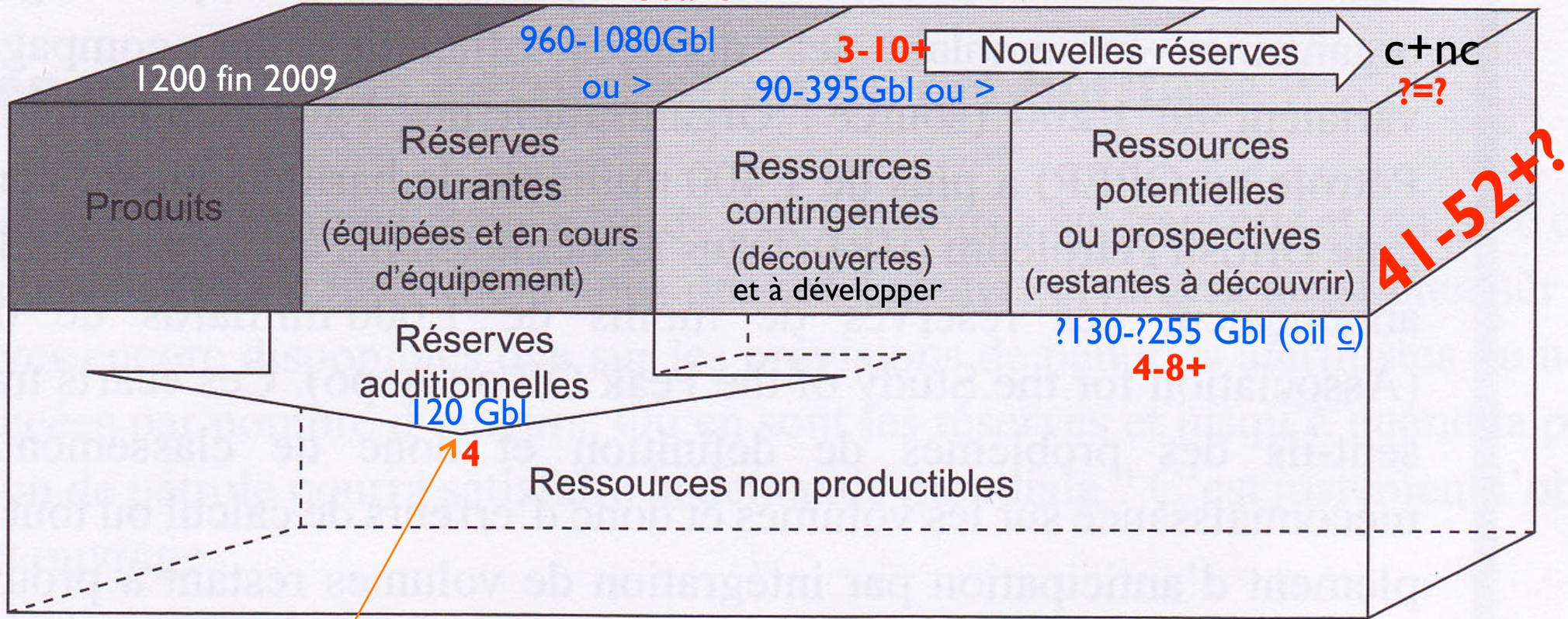


Pour L

C

Situation début 2009 : 40 000 gisements, 400 compagnies, > 90 pays
nb Production 2009 : 30 Gbl (-1,5% pr 2008 = diminution exceptionnelle)

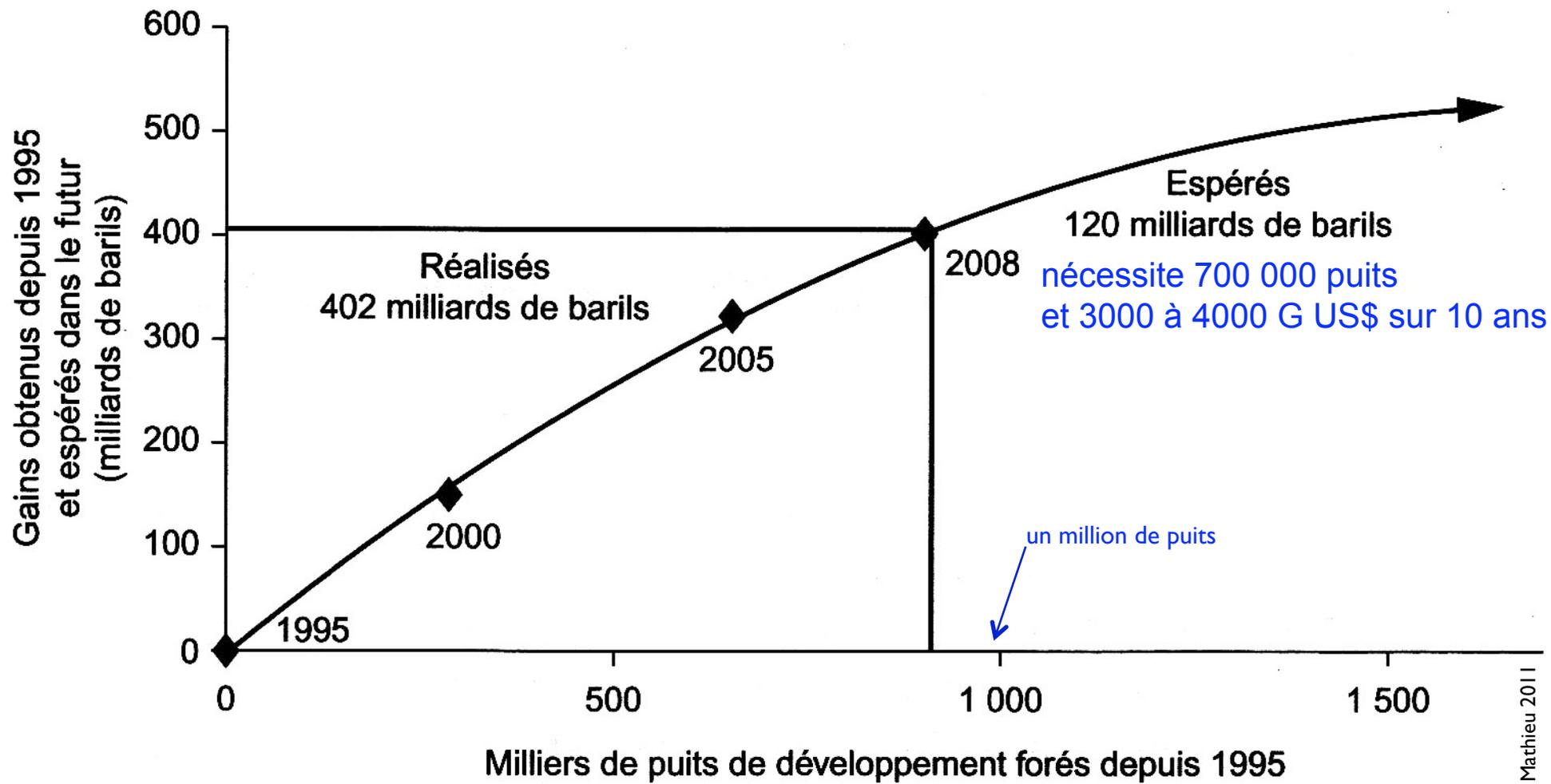
30ans min



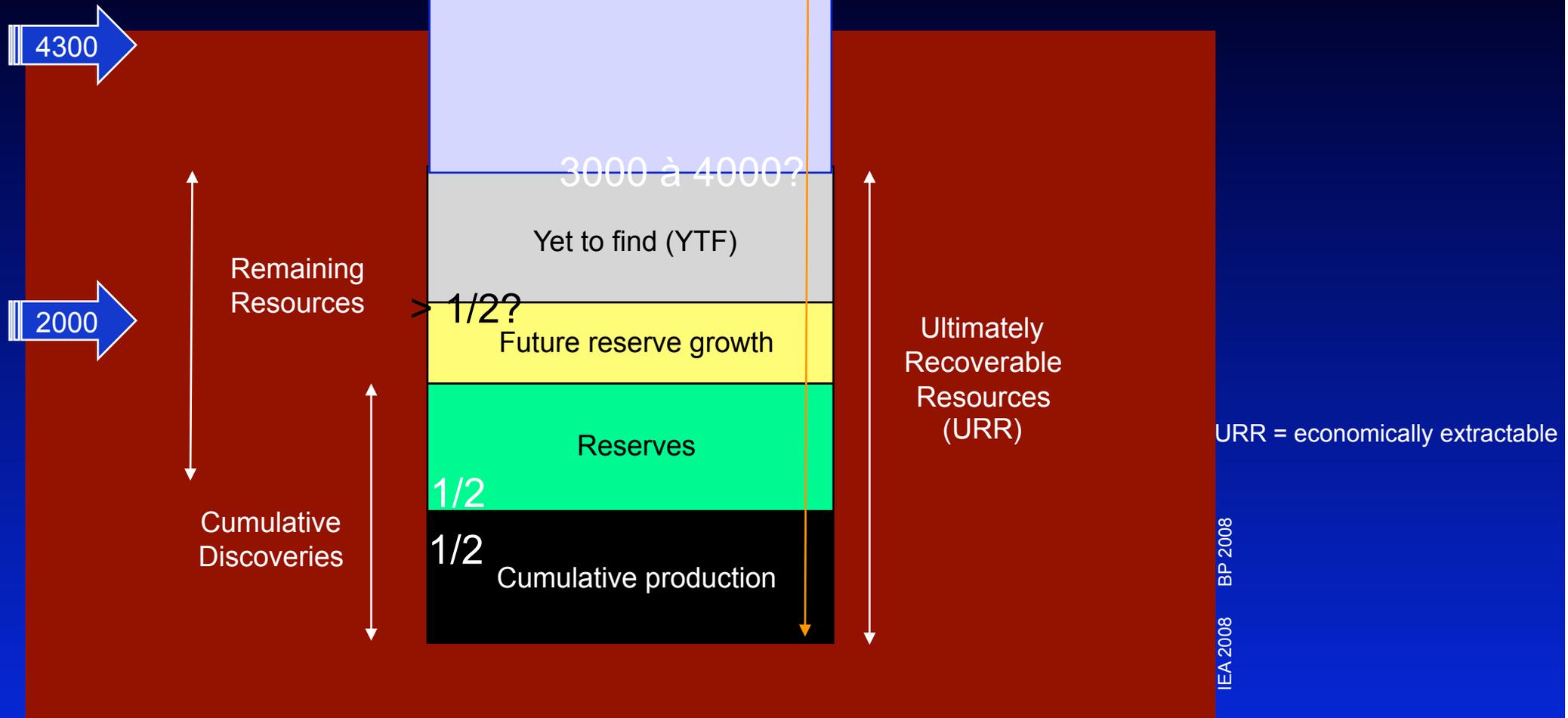
Mathieu 2011

nécessite environ 700 000 puits complémentaires (investissements...)

nb pour l'USGS, toutes les productions futures sont nettement plus élevées



ULTIMES: 6000 (...) Gbl c et 7000 Gbl nc



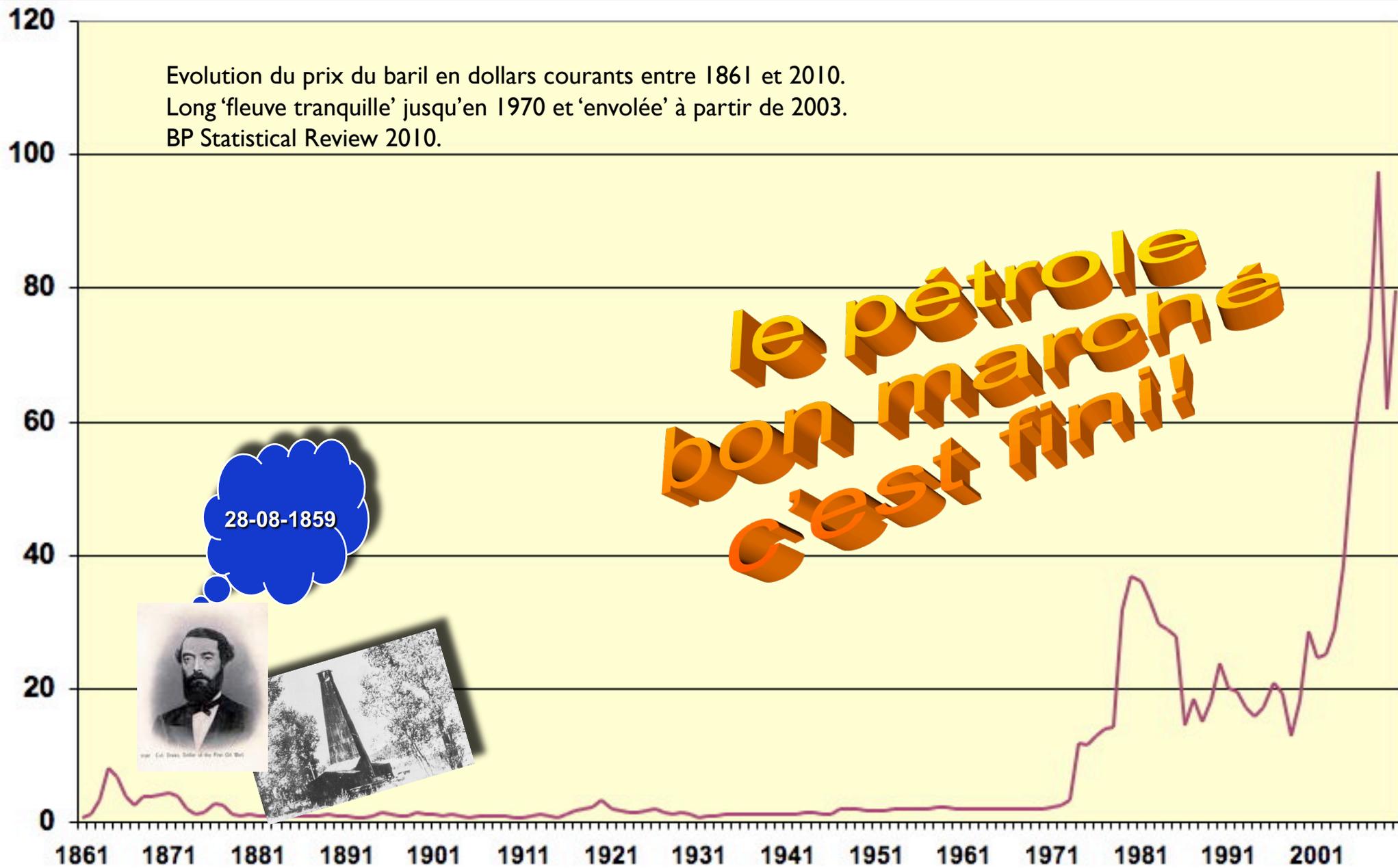
2009 : URR oil c 2000-4300 Gbl (2-4X cumulated prod up to 2007)
 Remaining recoverable resources oil c : 870-3170 Gbl
 (Max = 4Xmin soit 1:4)

OIL PEAK

	ASPO	AIE	USGS	'optimistes'	
1990'	2014-2018	<2030	2037	2060	jamais

+10?ans GAS PEAK

+40?ans COAL PEAK

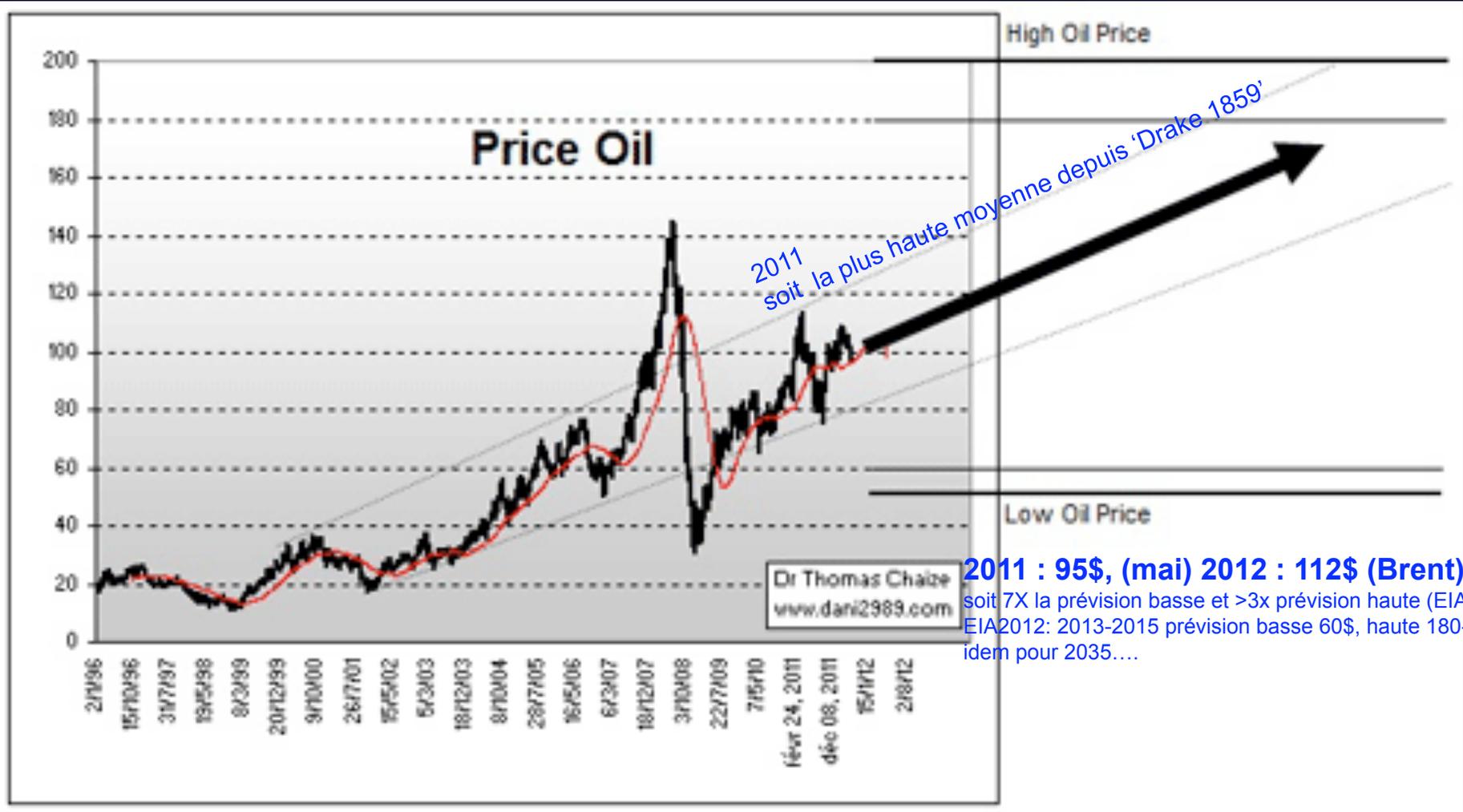


Evolution du prix du baril en dollars courants entre 1861 et 2010.
Long 'fleuve tranquille' jusqu'en 1970 et 'envolée' à partir de 2003.
BP Statistical Review 2010.

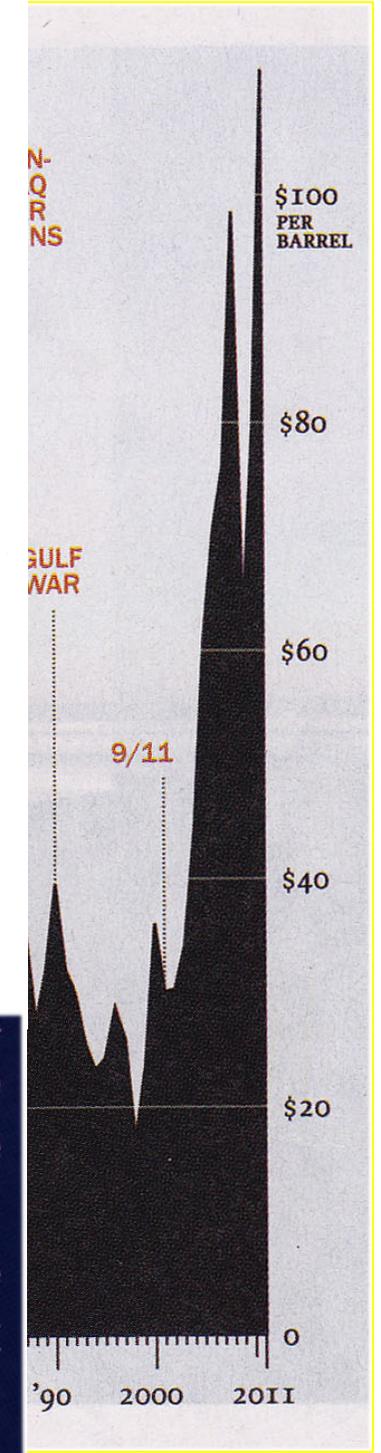
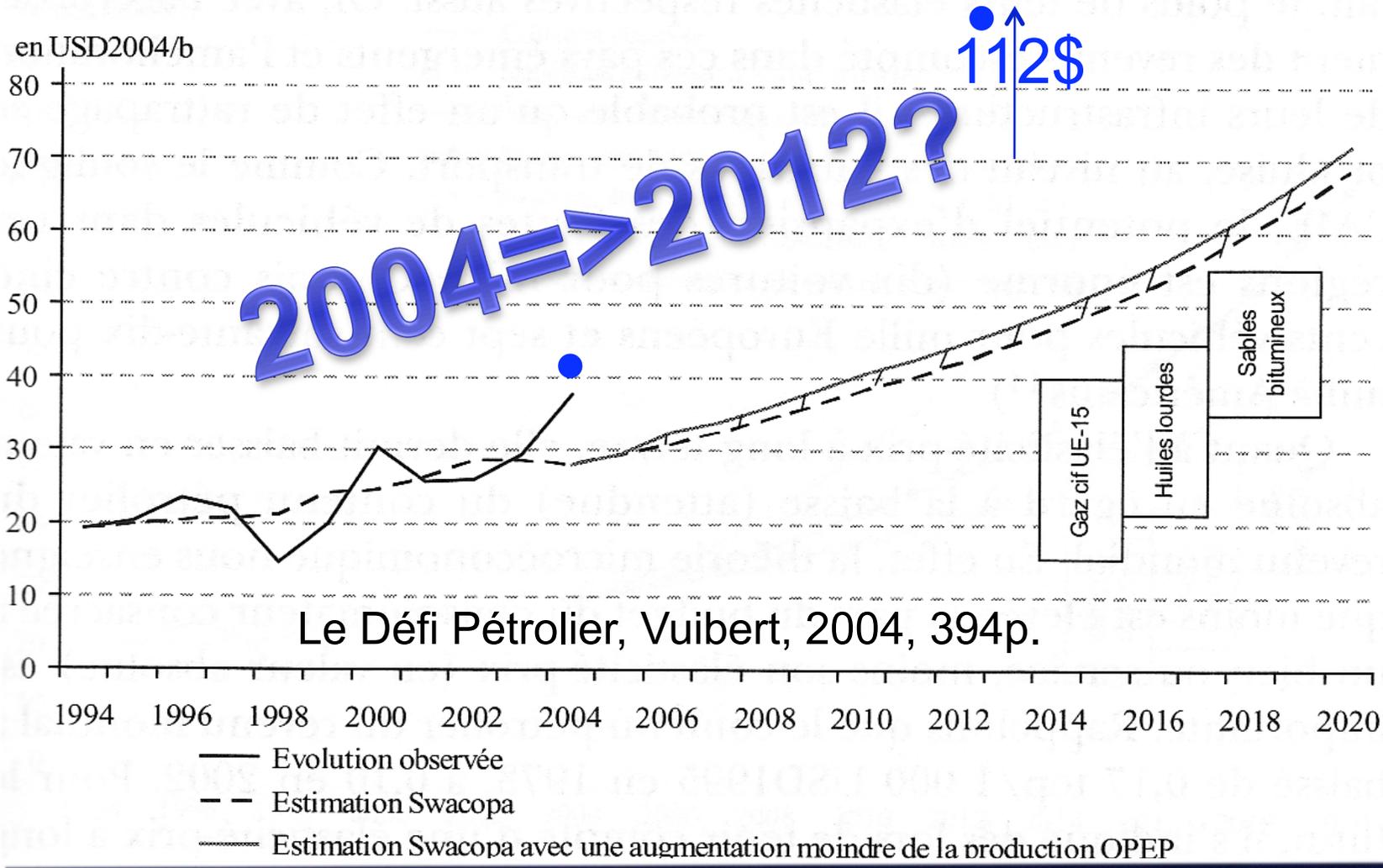
le pétrole
bon marché
c'est fini!

28-08-1859



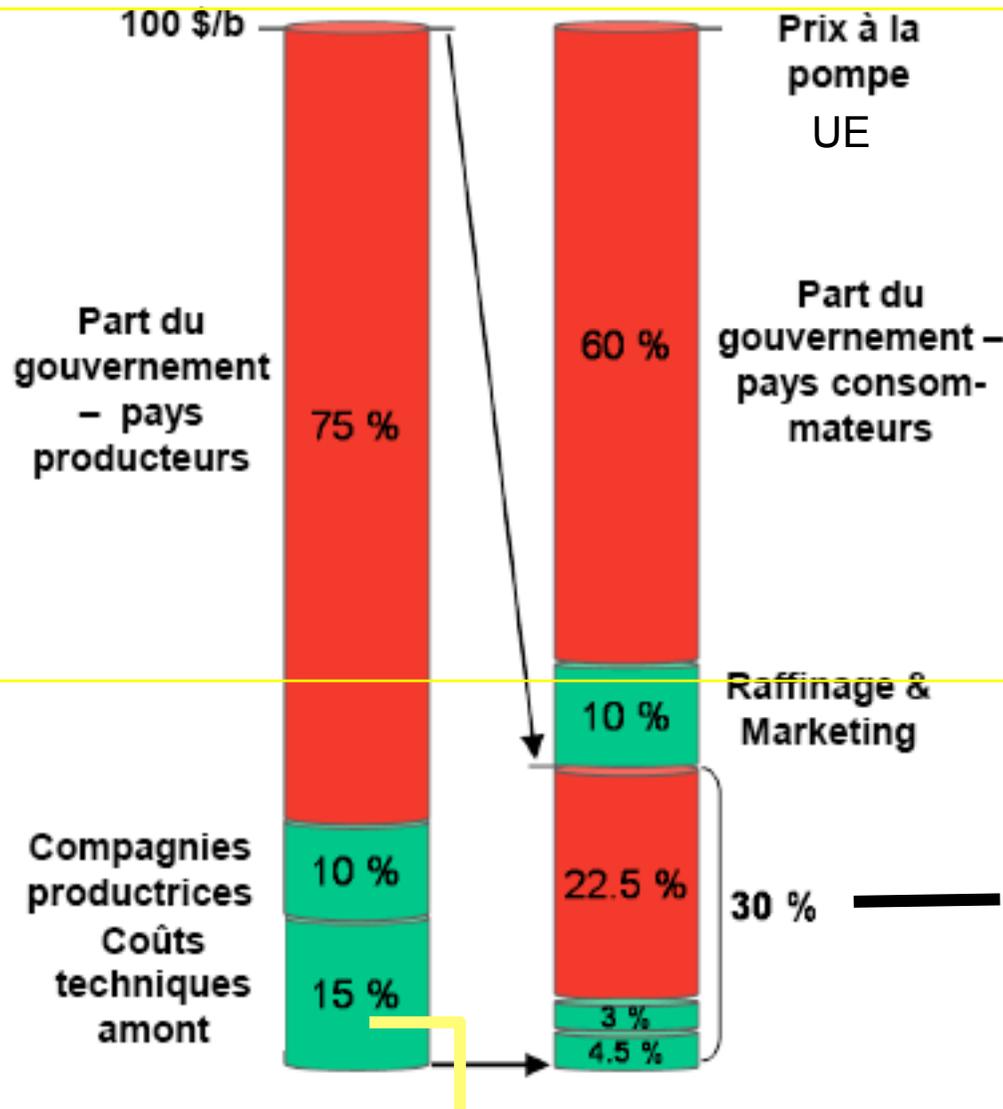


2011 : 95\$, (mai) 2012 : 112\$ (Brent)
 soit 7X la prévision basse et >3x prévision haute (EIA 1996)
 EIA 2012: 2013-2015 prévision basse 60\$, haute 180-200\$
 idem pour 2035....



Sadek BOUSSENA est ancien président de l'OPEP et ancien ministre algérien de l'Énergie. Jean-Pierre PAUWELS est membre du comité de direction de la Banque nationale de Belgique et ancien président de la société gazière nationale Distrigaz. Catherine LOCATELLI est docteur en sciences économiques de l'université Pierre Mendès-France de Grenoble et chargée de recherche CNRS. Carine SWARTENBROEKX est conseiller à la Banque nationale de Belgique.

Le prix du brut en 2009-2011



$$100\$ \times 87.10^6 \times 365 = \pm 3.10^{12}\$/\text{an}$$

ou ± 9 milliards $\$/\text{jour}$ (X159)

A.S. 1/10è
1bbl brut = 159l

C'est presque la même chose!

Qui gagne?
1-2-3

AIE: investissement en E
2007-2030 = $\pm 1.10^{12}/\text{an}$

P Mauriaud TOTAL

30% du coût à la pompe

coût moyen mondial

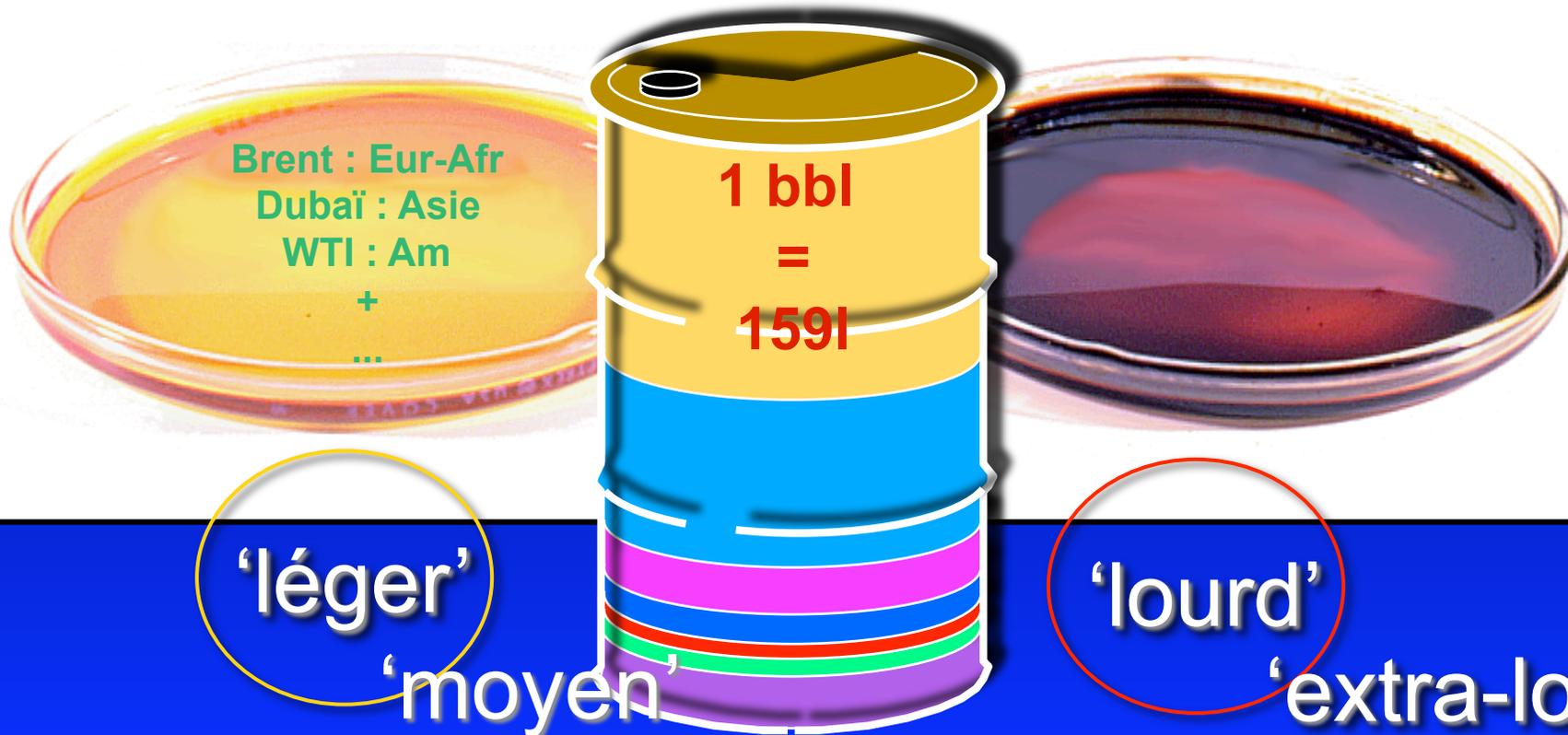
Le Brut - "L'Or Noir"

Le 'pétrole' entre en composition essentielle dans près de 300 000 produits (pétrochimie = 8%)
Le brut est exploité à partir d'environ 70 000 gisements d'hydrocarbures



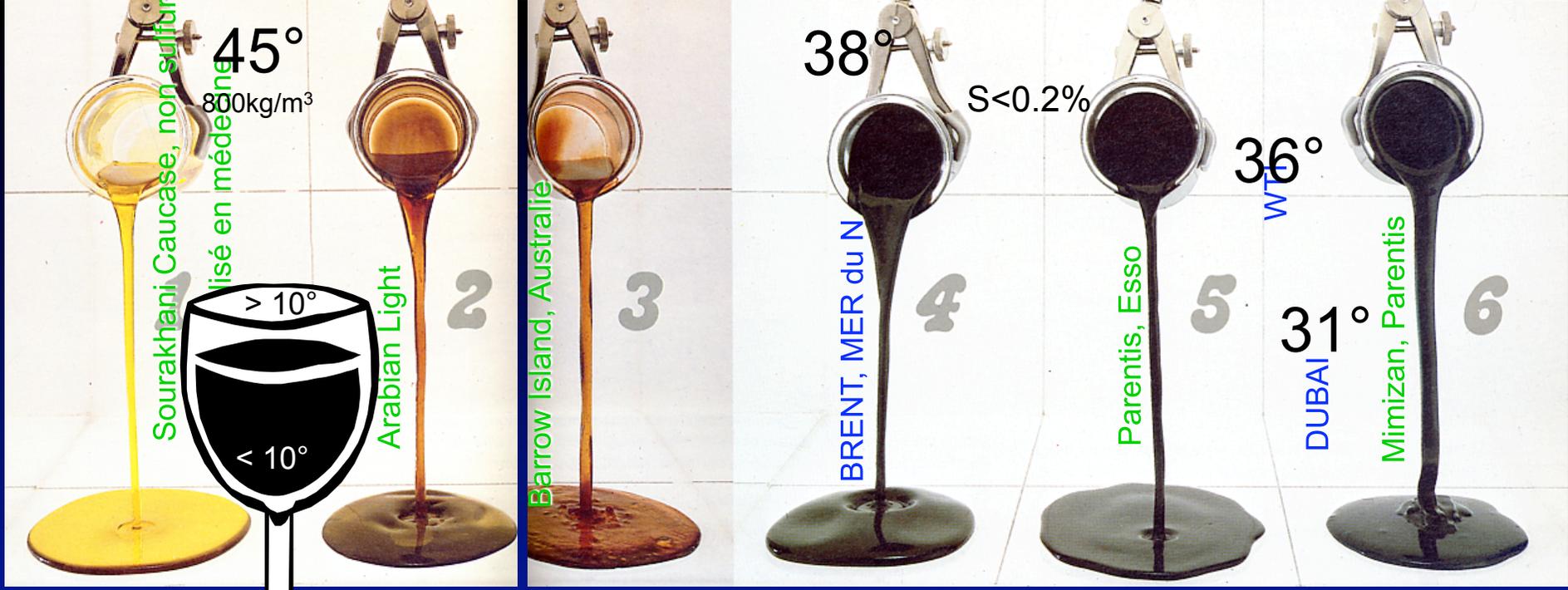
Light Texas Crude
Palo Pinto Field
North Texas

Heavy Texas Crude
Humble Oil Field
Southwest Texas

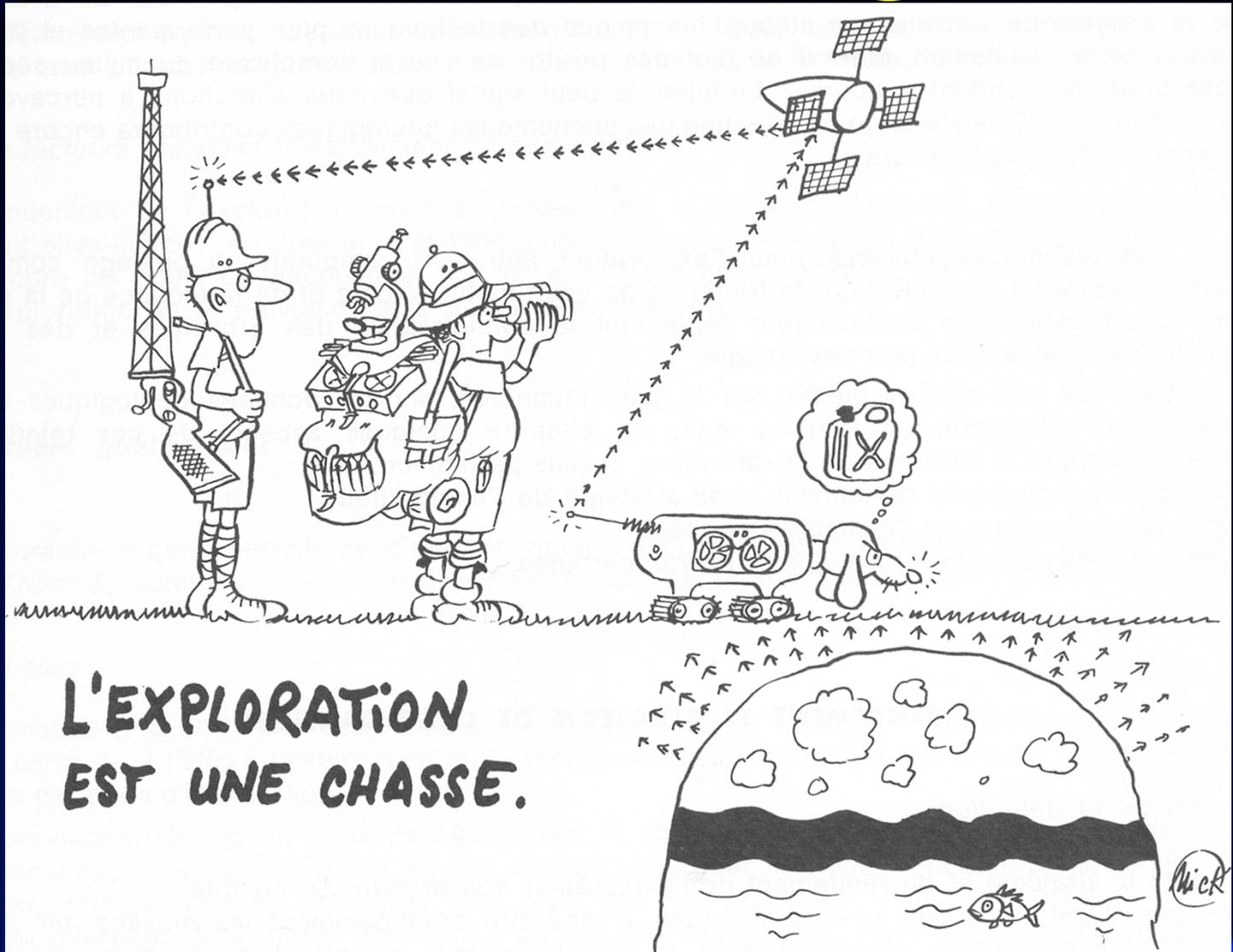


American Petroleum Institute, 1999

NOXEXEMEHOICRBB



La Recherche de l'Energie...



Perrodon 1985

Réserves=Incertitudes Géologiques, Technologiques et Géopolitiques

Mais d'où VIENNENT LE PÉTROLE ET LE GAZ?



MATIERE ORGANIQUE

Protéines

Carbo-hydrates

Lipides

....



C'est la majeure partie des constituants organiques [jusqu'à 70%]
susceptibles de se transformer en pétrole
Ils sont abondants dans les ALGUES, et spécialement les
BOTRYOCOCCACEES et les DIATOMEES [phytoplancton, 2 μ -1mm]

*Certaines diatomées excrètent des gouttelettes d'huile pour
augmenter leur flottabilité! Elles contiennent jusqu'à 70% de lipides (poids sec)*

L'hémi-graben de Baringo-Bogoria



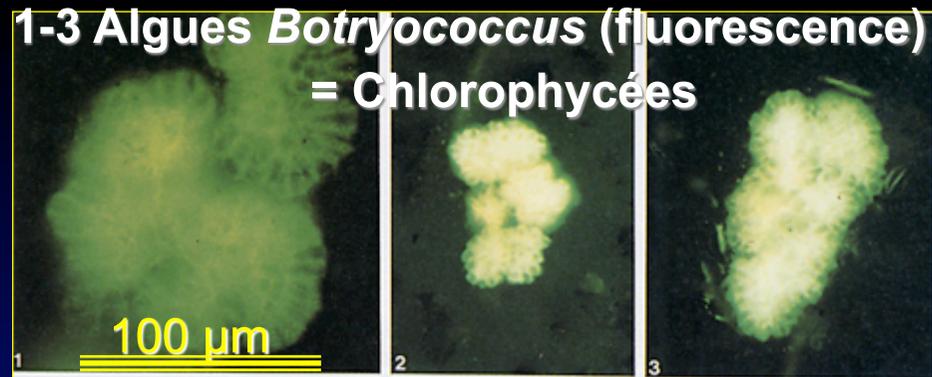
Rift Gregory Kenya
989m altitude, $\pm 30\text{km}^2$
profondeur max: 11,50m



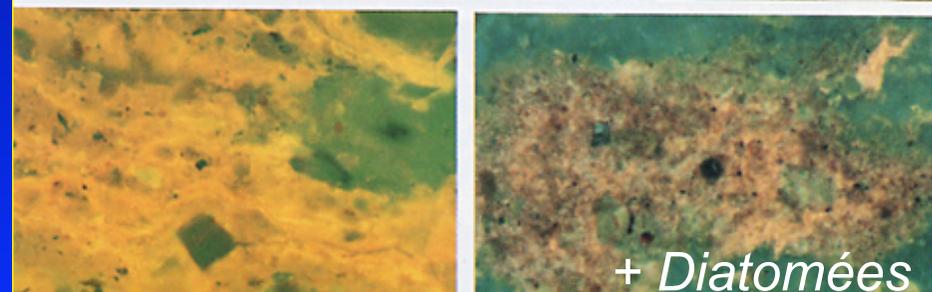
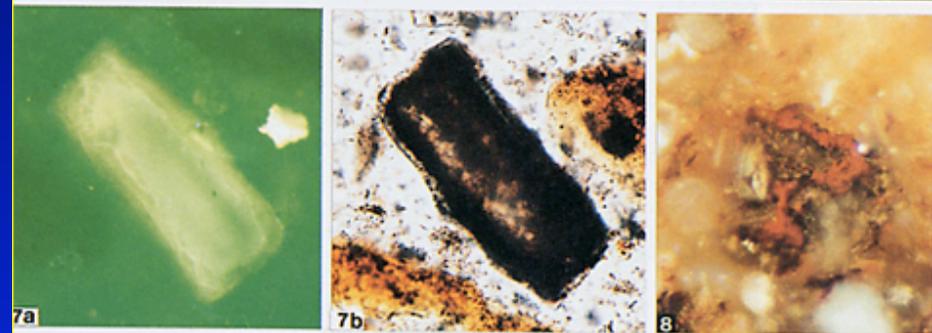
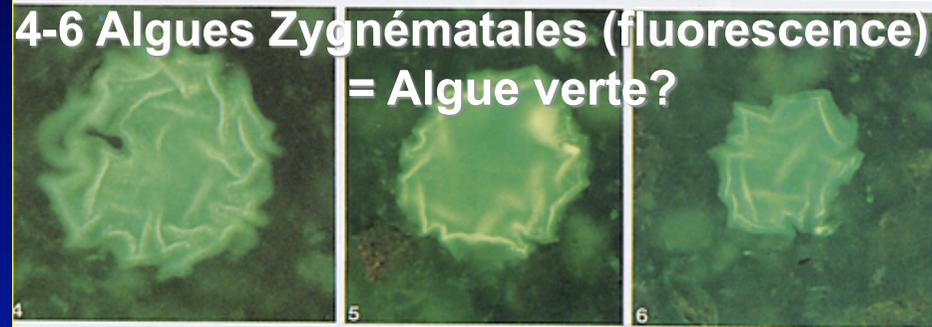
30 000 d'histoire sédimentaire
Carottages de 0 à 16 m



1-3 Algues *Botryococcus* (fluorescence)
= Chlorophycées



4-6 Algues Zygnématales (fluorescence)
= Algue verte?



= formation du kérogène

RENDEMENT...

un chiffre méconnu ...

**POUR OBTENIR UN LITRE D'ESSENCE
IL AURA FALLU QUE 23 TONNES DE
MATIERES ORGANIQUES SOIENT
TRANSFORMEES SUR UNE PERIODE
D'AU MOINS 1 MA**



MASON B Oct. 2003, Nature, Plant-to-oil Equation Point Up Unsustainable Profligacy

GENESE DU PETROLE = DIAGENESE + CATAGENESE

**le kérogène n'est pas le pétrole
POUR CELA IL FAUT**

de la chaleur ($T^{\circ} = 10'-100''^{\circ}$)
du temps (géologique = 10' Ma)

ensuite seulement
-si tout va bien-
un piège

cela fonctionne grâce à la
subsidence

(pression+gradient géothermique)

Roche Source
riche en Matière Organique



Maturation Thermique
de la Matière Organique



HUILE

**D
I
A
G
E
N
E
S
E**

**C
A
T
A
G
E
N
E
S
E**



DU KEROGENE AU PETROLE...

...pas de problème... les temps géologiques sont 'immenses'!

- -600 m, 41°C 'chaleur douce'
- le kérogène se décompose, le CO₂ s'en va (décarboxylation), l'H₂O s'en va (déshydratation)...
- le sédiment s'enfonce de plus en plus
- la température augmente suite au gradient géothermique
=1°C tous les 30 à 40 m environ

et le sédiment est porté à 60°C à 1200 m et à 120°C à 3000 m

=

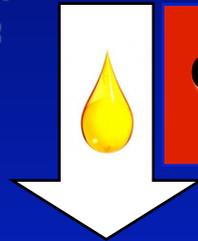
FENETRE A HUILE 

DU KEROGENE AU PETROLE...

...pas de problème... les temps géologiques sont 'immenses'!

= FENETRE A HUILE

le kérogène se casse et libère des molécules plus petites: marqueurs biologiques piégés dans le réseau et autres composés polaires (petits acides, résines, asphaltènes...) inclus dans les grosses molécules de géopolymère= 'CRAQUAGE'



c'est la **CATAGENESE**
càd ...

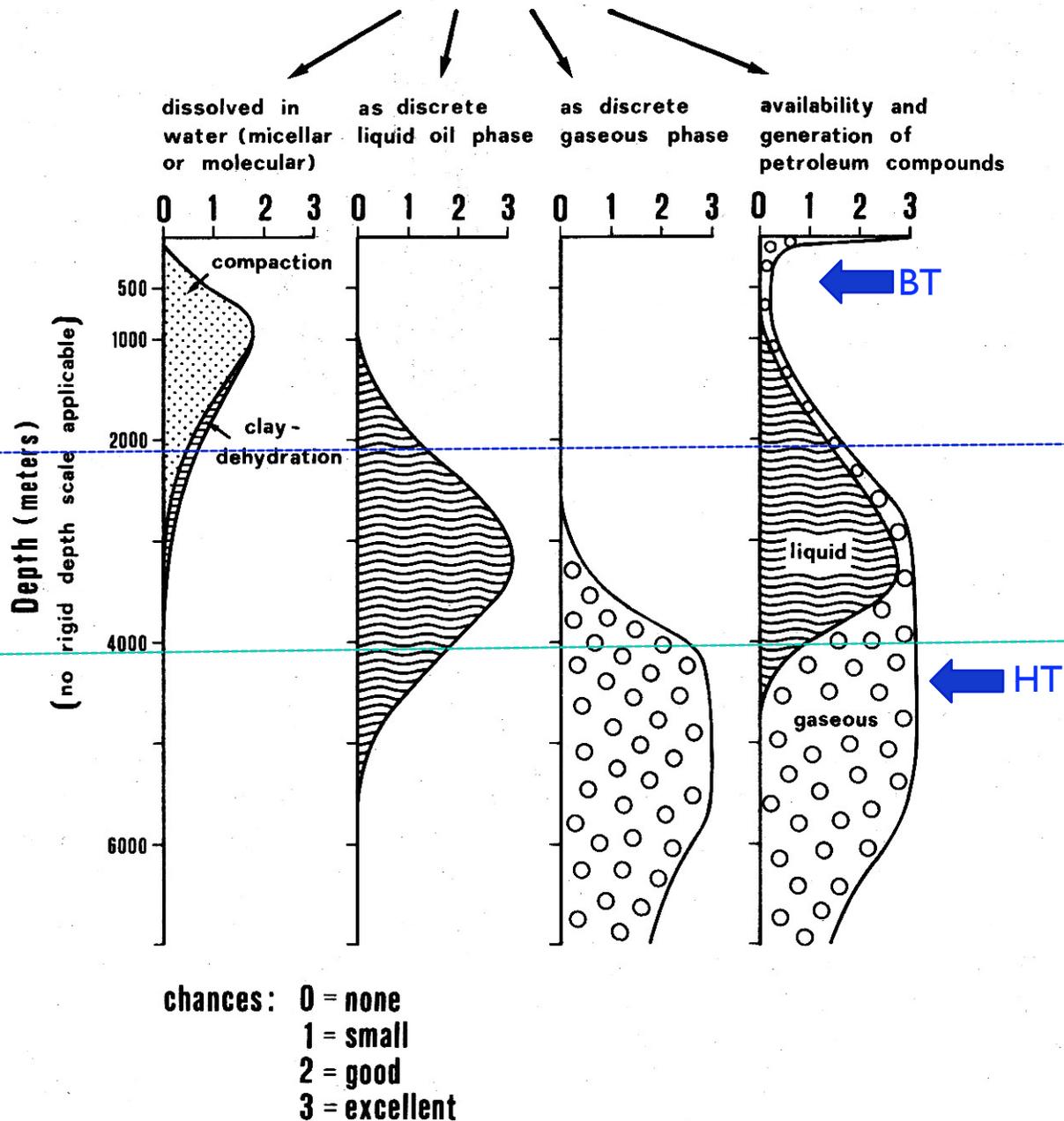
...la formation du **PETROLE**

le 'jus' de kérogène mature et donne donc le pétrole



= FENETRE A GAZ

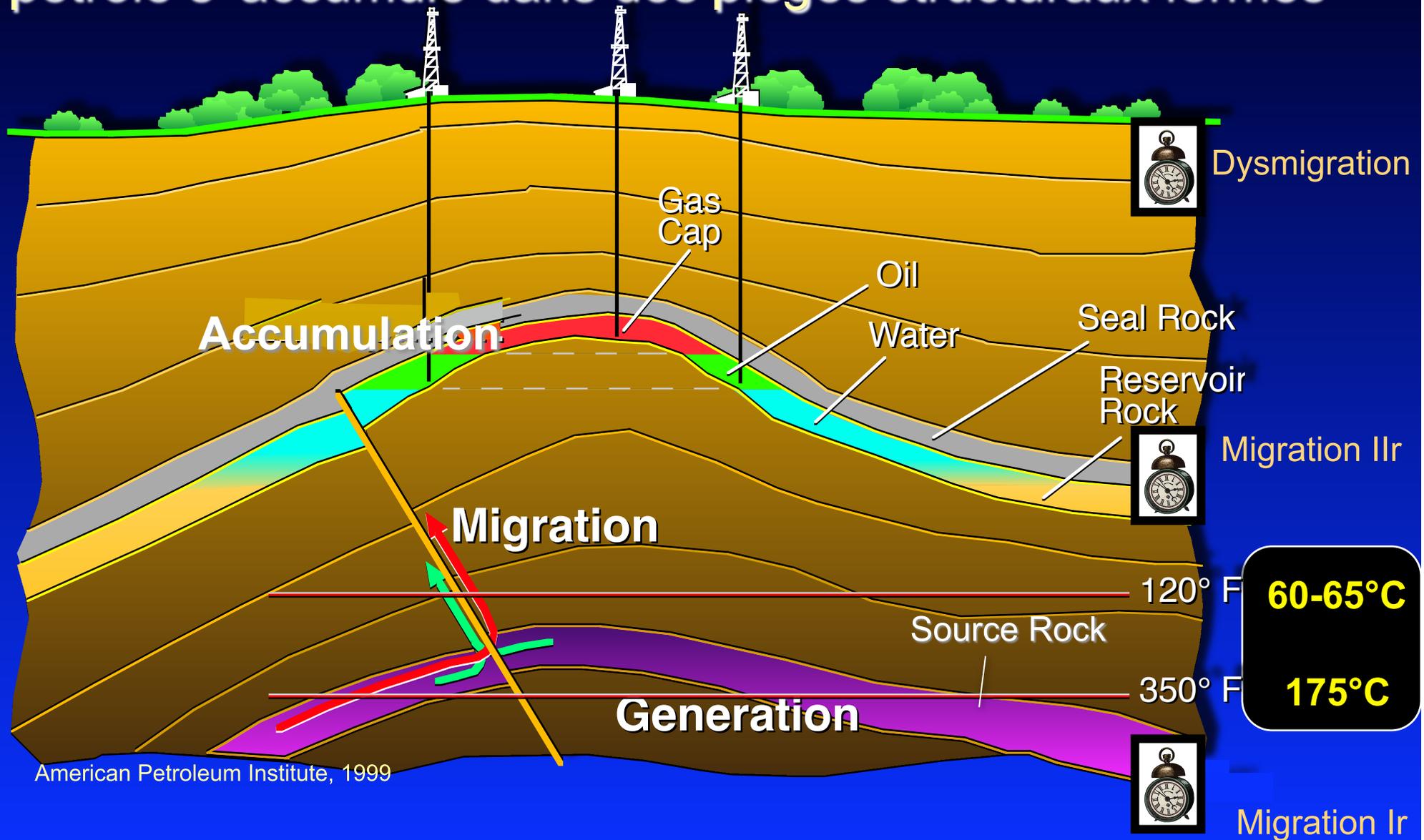
Chances for mode of primary migration depending on different parameters

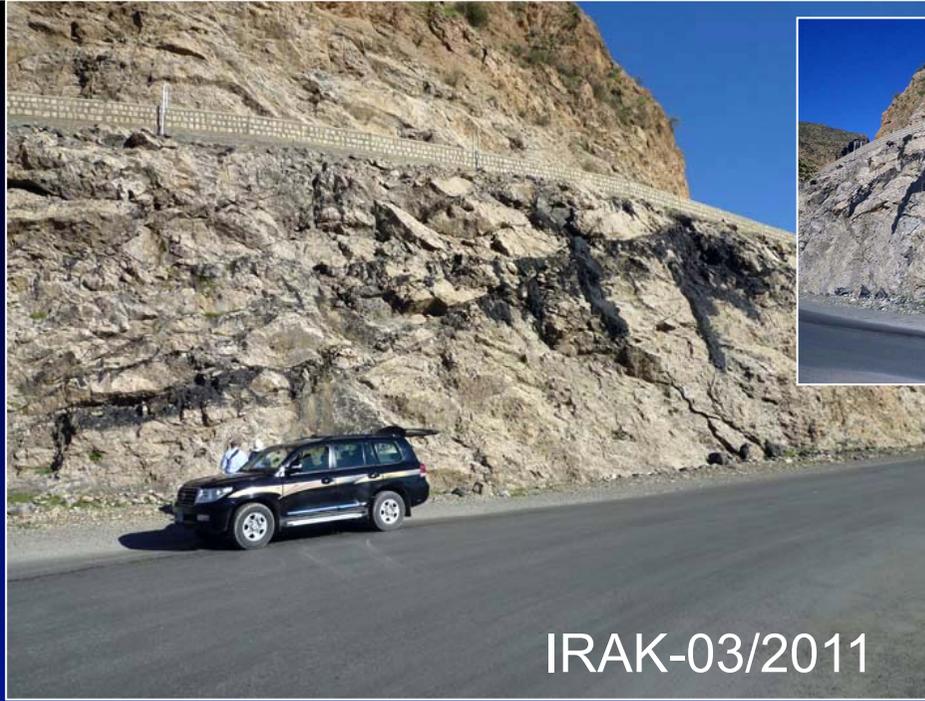


R a p p e l: Réserves = Incertitudes Géologiques ...

Processus dans Systèmes Pétroliers

Le pétrole s'accumule dans des pièges structuraux fermés





IRAK-03/2011



O
I
L
S
H
O
W

Préat 2011

IRAK-03/2011



Préat 2011

OIL SHOW or DYSMIGRATION



CLASSEMENT DES PAYS PAR LEUR POTENTIEL ENERGETIQUE (hors gas shales et clathrates)

* = pétrole lourd, ** = sables bitumineux,
° = chiffres modifiés par l'auteur

	Rés en Gtep =>	Pétrole	Gaz	Charbon	U	total
1	Etats-Unis	3,8	4,7	122,0	3,2	133,7
2	Russie	8,2	42,8	68,7	1,6	121,3
3	Chine	2,4	1,4	58,9	0,1	62,9
4	Inde	0,7	0,7	55,6		57,0
5	Venezuela	11,2°+41*	4	0,3		56,5
6	Australie	0,4	2,3	41,6	8,6	52,9
7	Afrique Sud			33,0	3,4	36,4
8	Canada	0,9+ 25**	1,5	3,3	4,0	34,7
9	Kasakhstan	1,2	1,7	21,7	7,9	32,5
10	Arabie Saoud.	25,1°	5,7			30,8

Renardet 2004
Source: BP, Rev annuelle sur l'énergie et OCDE

11 Allemagne (surtout charbon), **12 Iran** (surtout gaz), **13 Ukraine** (charbon), **14 Irak** (pétrole), **15 Pologne** (charbon) **16 Qatar** (gaz), **Total n°18**
17 Koweït (pétrole), **18 Emirats arabes** (pétrole-gaz). ← **= 10,4**

ANALYSE DES DONNEES DU TABLEAU

- 1. Les Etats-Unis ont EGALEMENT l'avantage de la technologie et de l'efficacité dans les techniques d'exploitation
La Russie a L'AVANTAGE de la diversification dans ses sources**
- 2. Trois pays européens sont riches en charbon (All, 'Ukr', Pologne)**
- 3. Quelques pays (Australie, Kazakhstan, Canada) ont des réserves assez diversifiées AU CONTRAIRE du Venezuela**
- 4. Le Moyen Orient a des ressources énergétiques assez élevées, MAIS constituées exclusivement d'hydrocarbures.**

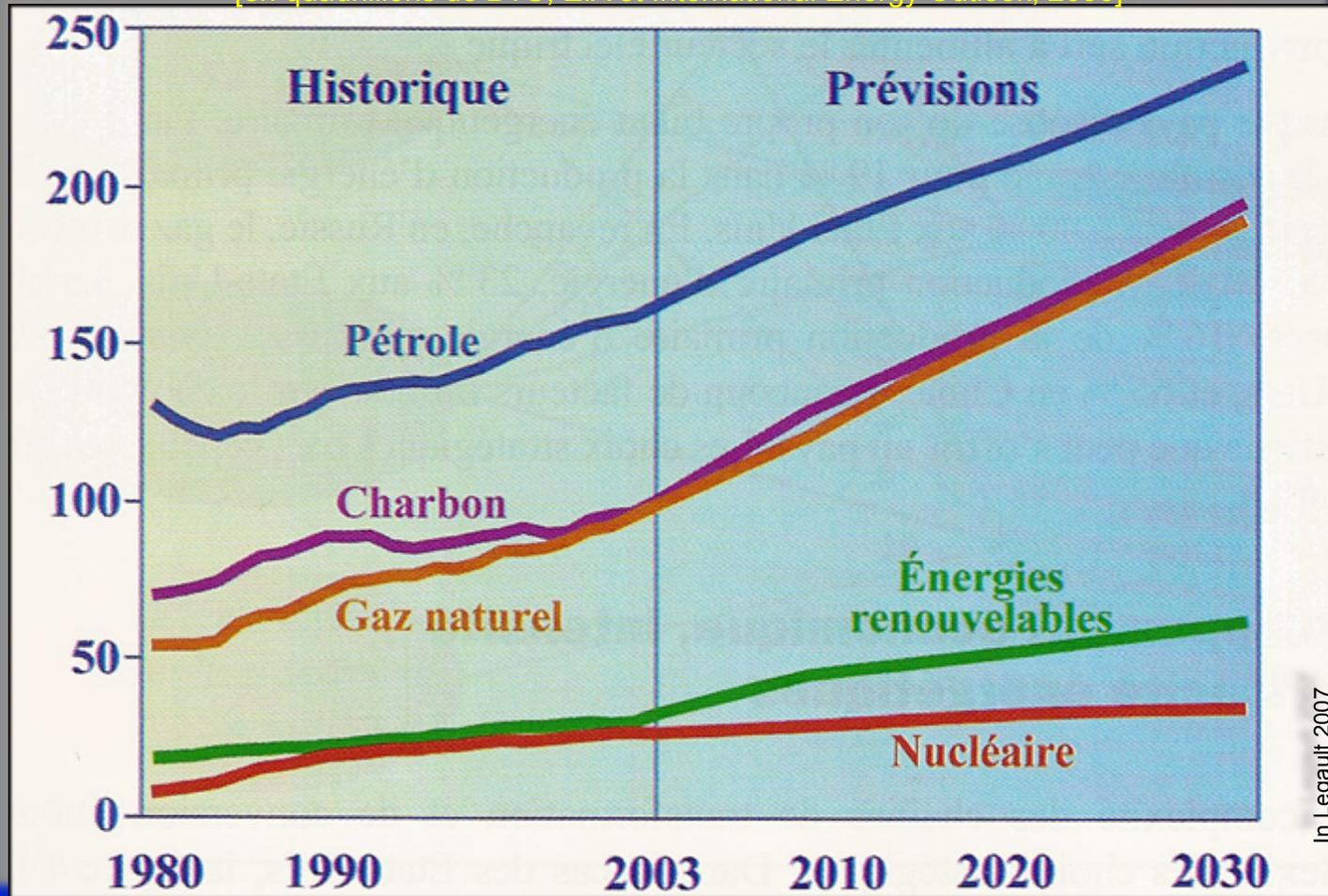
RESUME ET SCENARIO PROBABLE A COURT TERME

1. 50'-60': période d'abondance du pétrole
2. 80' : cohabitation du pétrole avec d'autres sources d'énergie
= période d'abondance relative
3. 2010 : transition conventionnel - non conventionnel (nc)?
Nb le coût de production des pétroles nc diminue
de 0,5-1\$ bl/an!

la plupart des Cies pétrolières évaluent la rentabilité de leurs investissements sur base d'un bl à 18\$, et même à 16\$ pour BP, en 2005.
En 2005: 1 bl de $\pm 45\$$ (début 2005) à $\pm 65\$$ (fin 2005)

CONSOMMATION MONDIALE ENERGIE PRIMAIRE

[en quadrillions de BTU, EIA et International Energy Outlook, 2006]



In Legault 2007

AUJ. 2011

1. RETARD D'INVESTISSEMENT

[Raffinage...]

2. DEMANDE DURABLE

[Croissance soutenue pays émergents, Chine, Inde...]

3. INSTABILITE Z. PRODUCTRICES

+ 71 %

en

27 ans

... avec les 2/3 = pays en voie de développement



Chine... 150 aéroports
Malaga... 400/!

24000 avions/24h/2007
Soit ±7 avions/sec

2010 : un milliard de personnes ont voyagé...



il y a en permanence 500 000 personnes en vol!

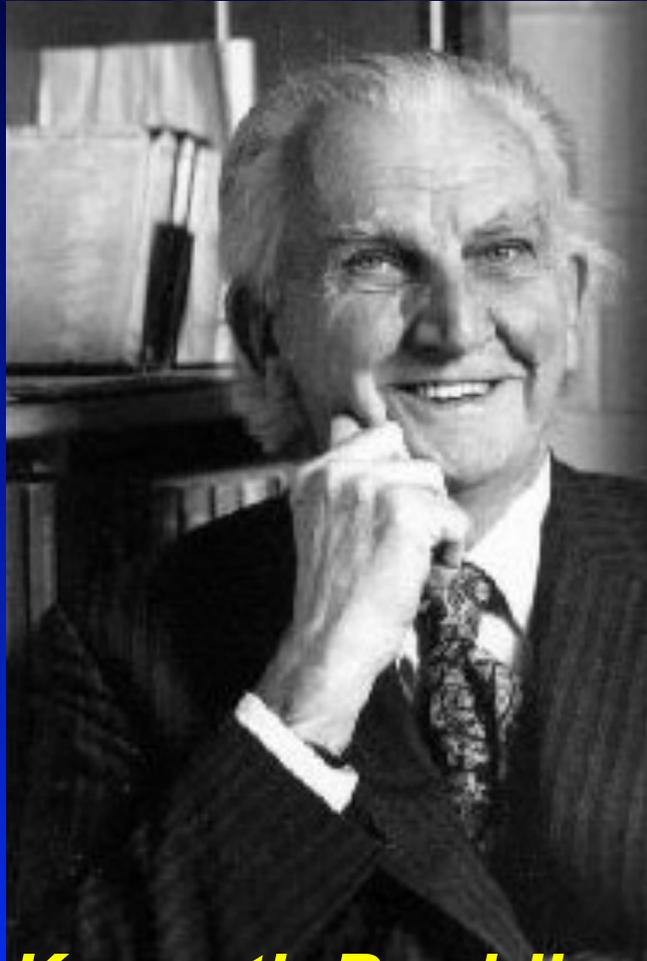


CONCLUSION

**LE XXIème SIECLE DEVRAIT VOIR LE PIC
PUIS LE DECLIN DE LA PRODUCTION
PETROLIERE MONDIALE, MAIS CE DECLIN
SERA PROBABLEMENT TRES PROGRESSIF
CAR IL S'ACCOMPAGNERA DE HAUSSES DE
PRIX QUI PERMETTRONT D'EXTRAIRE
NOUVELLES RESERVES A PARTIR DE
RESSOURCES DEJA DECOUVERTES**



le mot de la fin...



Kenneth Boulding

1910-1993

President de l'American Economic Association



Le mot de la fin...

'Toute personne croyant qu'une croissance exponentielle peut durer indéfiniment dans un monde fini est soit un fou, soit un économiste'

Kenneth Boulding

1910-1993

President de l'American Economic Association

Egalement King Hubbert « Notre ignorance n'est pas aussi vaste que notre incapacité à utiliser ce que nous savons »