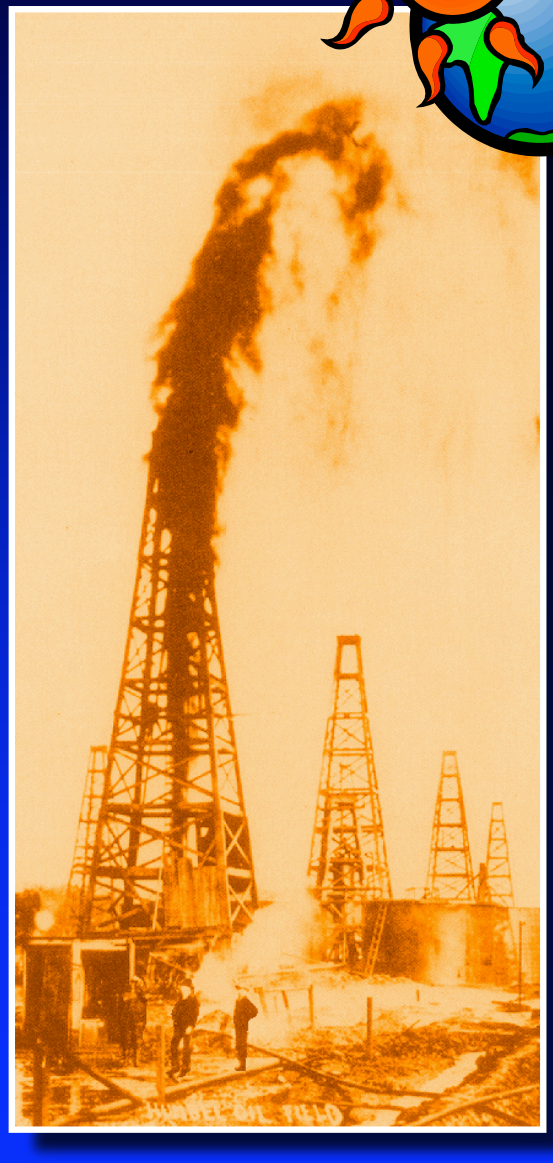
Gestion de l'énergie. La quadrature du cercle!



L'ERE DU PETROLE
POUR COMBIEN DE TEMPS ENCORE?

Jodoigne
Le 1 février 2011

Alain PREAT
Professeur géologie ULB
apreat@ulb.ac.be

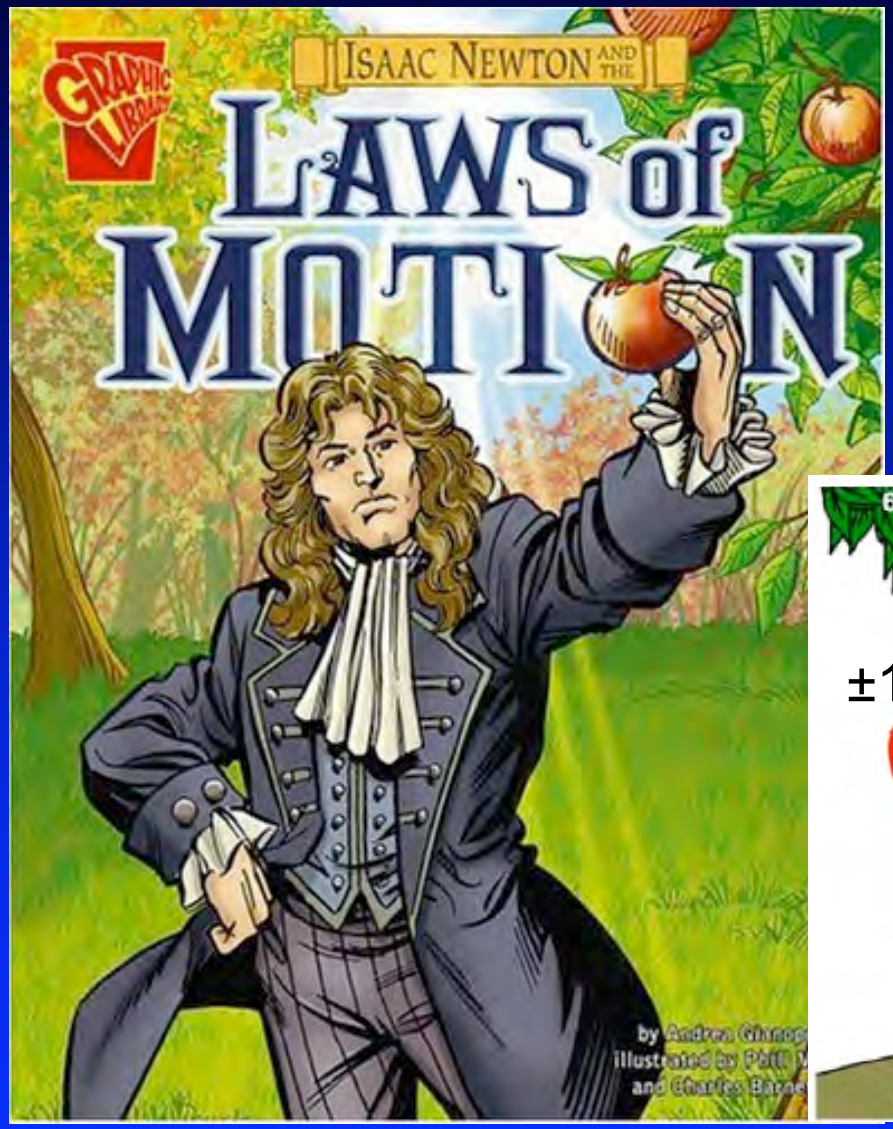
LES SOURCES D'ENERGIE PRIMAIRE

- **ENERGIES FOSSILES = énergies concentrées mais non renouvelables** [*E solaire stockée au cours des temps géologiques*]
  - ◊ **Charbon** ◊◊ **Pétrole** ◊◊◊ **Gaz naturel**
- **ENERGIES NUCLEAIRES = énergies très concentrées**
  - ◊ **Fission** [*Centrales nucléaires actuelles*] ◊◊ **Fusion** [...]

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

- **ENERGIES RENOUVELABLES = énergies diluées ou diffuses mais renouvelables**
  - ◊ **Hydraulique** ◊◊ **Solaire** ◊◊◊ **Eolienne**
  - ◊◊◊◊ **Biomasse** ◊◊◊◊◊ **Géothermie**

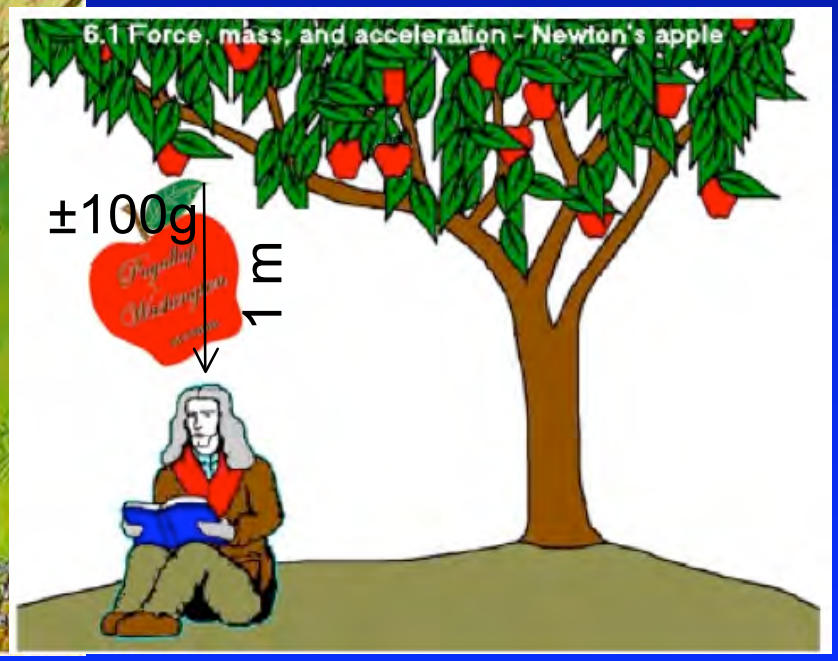
en 1h le Soleil déverse 'notre' Energie de 365 jours
soit 15000X notre consommation mondiale à chaque instant



L'unité de base de l'énergie dans le système international est le Joule qui est aussi l'unité de travail et de chaleur

=

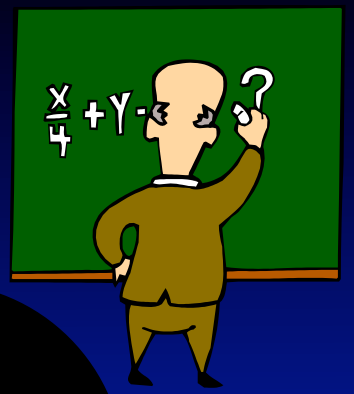
Travail d'une force de 1N dont le point d'application se déplace de 1m dans la direction de la force



- 1tep = ±42GJ =10^{10}cal ou ±11700kWh

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-millionnième de cal),
L'homme a besoin de 10^{7} 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 10^{18} J soit 100. 10^{6} tep*



1t ^{235}U ===>10 000 tep

1000m^3 gaz p_{atm} ===> 0,9 tep

1t charbon ===> 0,7 tep

1 Réacteur Nucléaire de 1GW$_e$

= 100km^2 solaire pv, soit 5000km^2 pour toute l'électricité en France
= 2 500 éoliennes (de 2MW) et 500km^2
= 50 000km^2 à partir géothermie
= 30 000km^2 à partir biodiesel (tournesol ou colza)

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

Tacona et al. 2009

Contexte général

5,7 % 2005

7,1 % 2009

Énergies renouvelables

5 %

Énergie hydraulique

Biomasse

Énergie solaire

Énergie éolienne

Géothermie

CONSOMMATION D'ENERGIE PRIMAIRE COMMERCIALE DANS LE MONDE EN 2008

	ENERGIE Gtep	2008	2007	1998
		12 Gtep (2009)	33%-27%-20% = 80% hors-bois	
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
			+ 1,176 (biomasse) + 0,057 (renouvelables)	
	TOTAL	11,3	11,1	± 9

5,7% 2005

7,7% 2009

2005

Bois 10%

Hydraulique 5%

Géothermie 0,5%

Biocarburants 0,1%

Éolien 0,05%

Solaire thermique <0,05%

Solaire photovoltaïque < 0,001%

Pour 2010: 13 Gtep prévu (en 2008) soit ±12000 réacteurs nucléaires (aujourd'hui ±450)

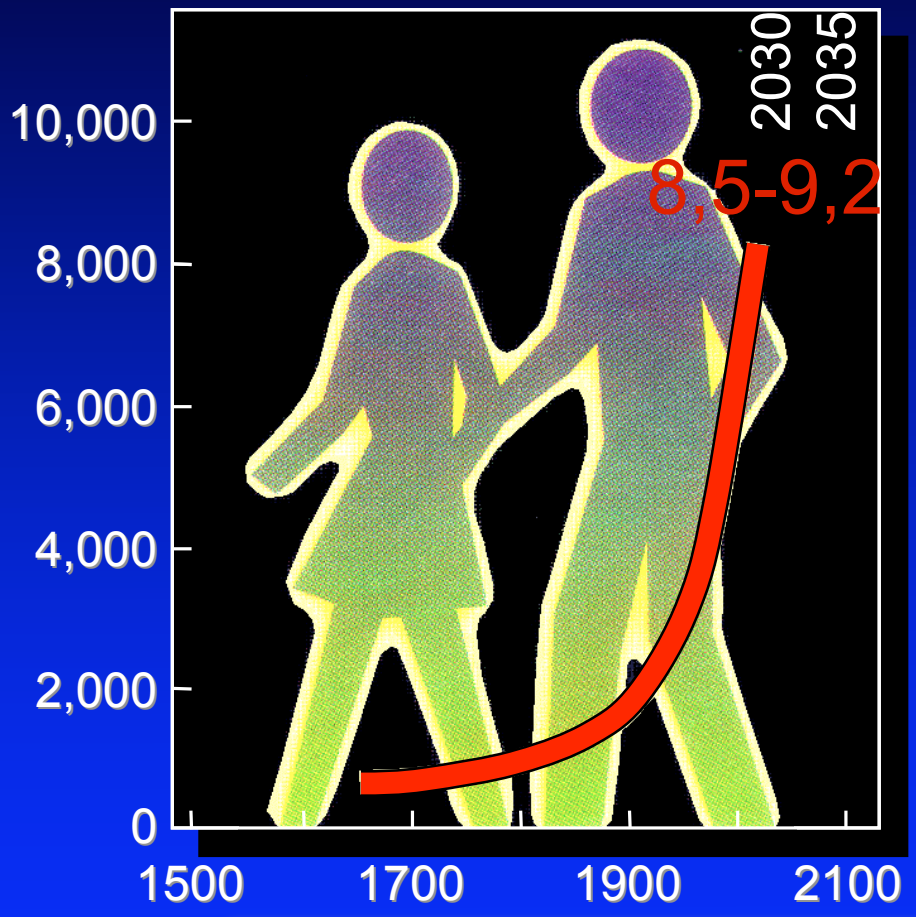
L'ordre de grandeur souhaité pour l'utilisation des ER en 2030: 1,5 sur ±17 Gtep soit ± 9%

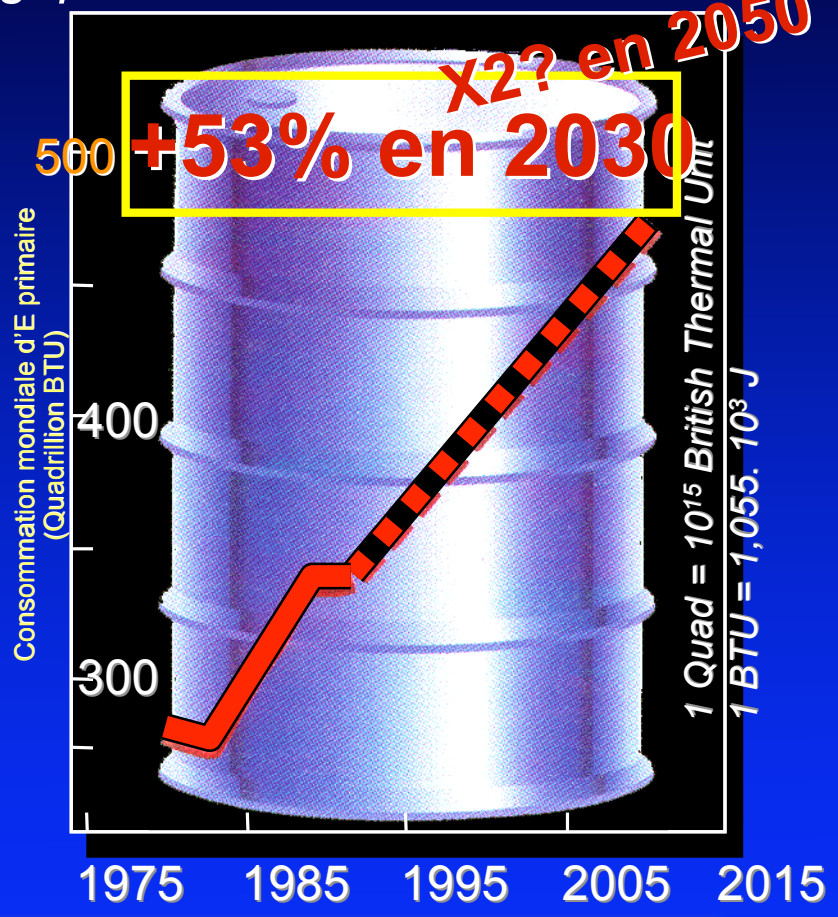
Population - Besoins en Energie

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

Chaque jour: 190 000 personnes en plus (N-D), donc ± 6 millions/mois!

ou encore ± 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

Population - Besoins en Energie

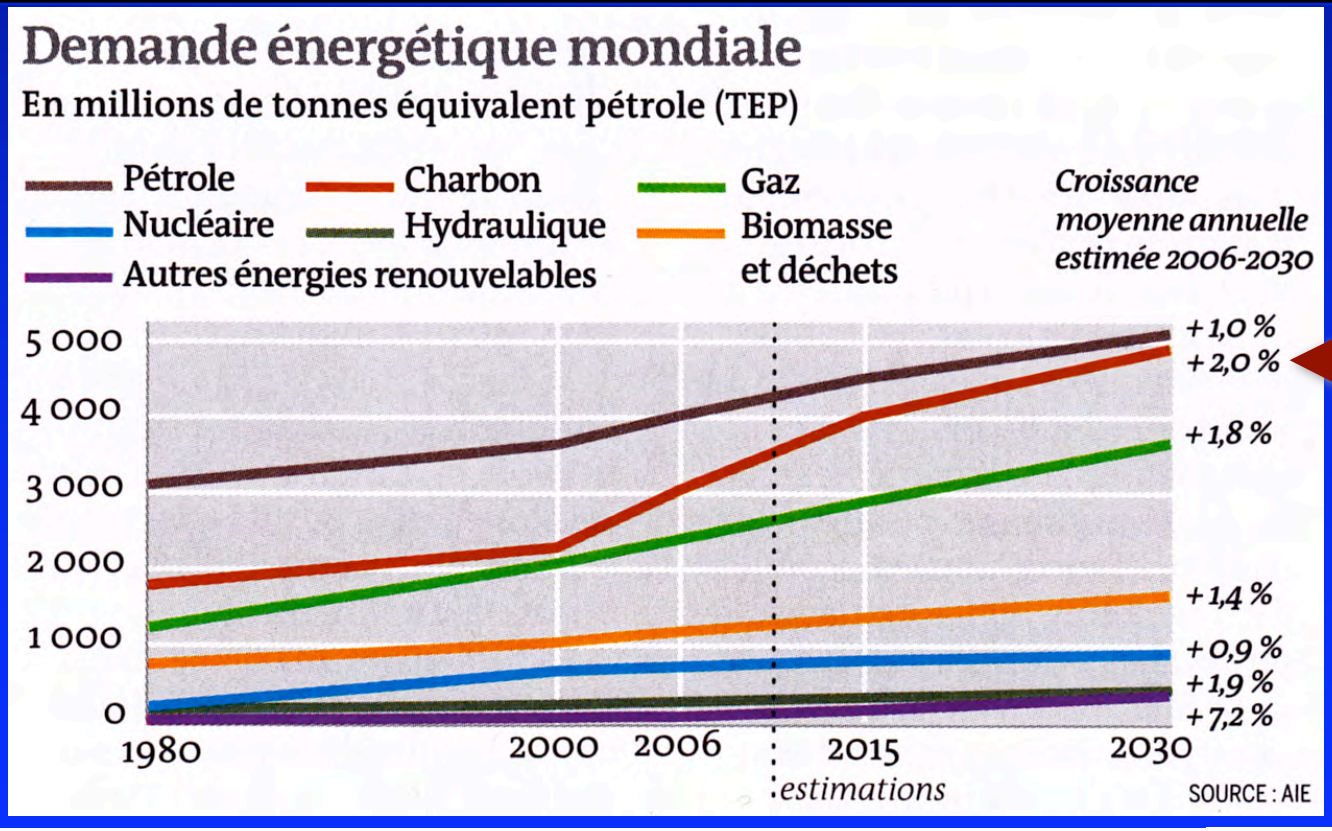
En 2008: CRISE et BBL = 147$!

1 Consommation mondiale PETROLE = -0,6%

2 Consommation mondiale CHARBON >2,5% (+4,9% entre 2000 et 2006) (charbon, pour la 6ème 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 (12Gtep)



soit +60% entre 2006-2030

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

Population - Besoins en Energie

2005 (selon AIEA-2007)

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

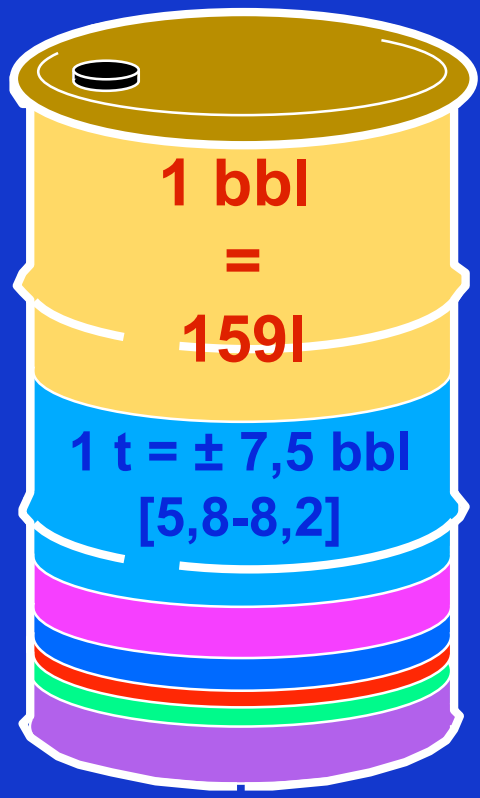
Nb: aux USA, 640 centrales thermiques au charbon, 140 sont prévues d'ici peu

depuis

2006 - ±85 M bbl/j

(75 c + 10 GL et Tar sands)

= travail 22 G esclaves pdt 24h

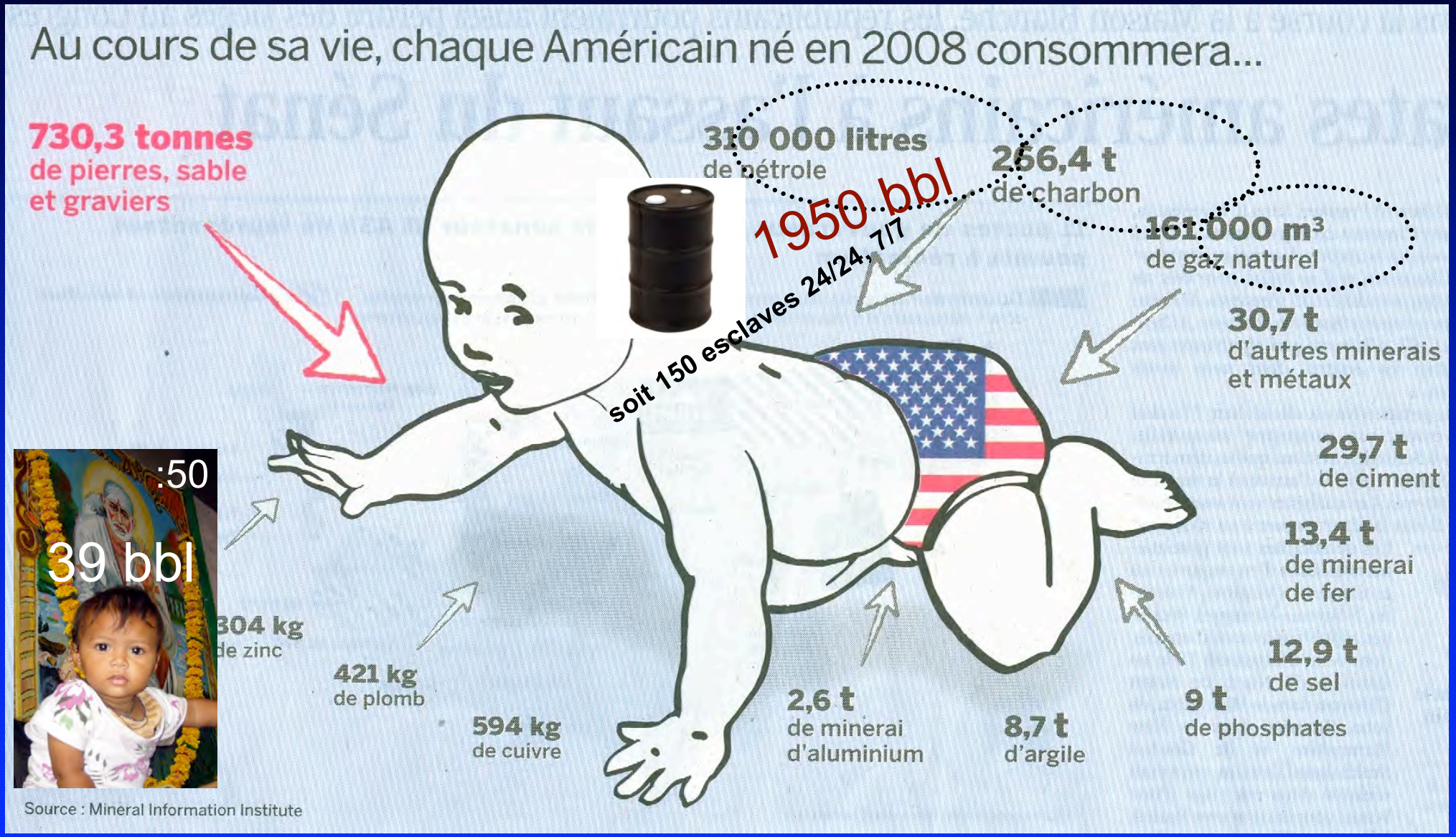


= 1000 bbl/sec

soit 5500/j

ou 550/conf

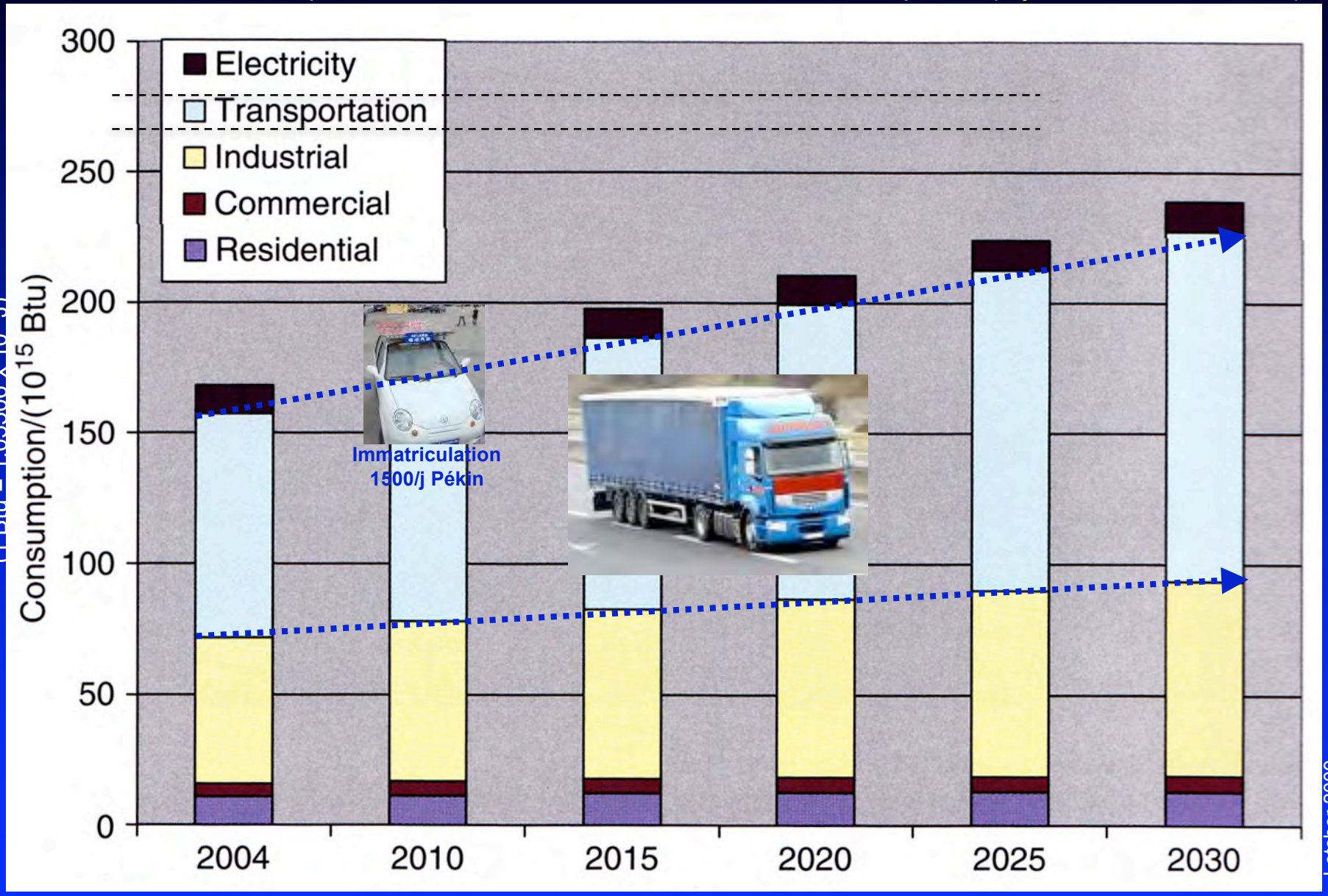
Population - Besoins en Energie



En 2006, la consommation moyenne primaire annuelle mondiale/habitant 1,7 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 ….

En 2009 : 97% du transport dépend du pétrole

En 2009: seuls 2% de Chinois possèdent une voiture => 3,5 M voitures à Pékin sont à prévoir (auj 1voiture/minute à Pékin!)



En 2009: 476.194 voitures NEUVES ont été immatriculées en Belgique soit 1305/j (= -11% pr 2008) soit ±1voiture/min

En 2010: transport en Belgique = 27 millions de litres/jour: soit ± 170 000 bbl/jour (60% pour l'Etat)

2009

1/3 de l'E mondiale = transport

700 millions auj

3$ bbl avant 1973
18,50$ 1985-2000
41,60$ 2000-2007
98,50$ 2008

X4

La demande pétrole c = +1,1%an
Déclin production? 5%

?

1,2 milliards 2020
2,9 milliards 2050

. . . c o u r t e s y n t h è s e . . .

En 2003: consommation E mondiale = 12 TW
[soit l'équivalent de 12 000 réacteurs de 1 GW]
Prévision pour 2050: 24 TW, stabilisation?

Pour comparer, les 'RESERVES' [ordre de grandeur…] *[=prouvées]*

Pétrole 1200TW/24 = 40 à 50 ans, Gaz 1200TW/24 = 50 à 70 ans
Charbon 4800TW/24 = 200 ans ou plus

Nucléaire à neutrons lents (U^{235}) = 3000TW/24 = 40-50 ans *C. Steffens, 2010 (com. pers.)+Areva, EDF*

Nucléaire à neutrons rapides (U^{238}, Th^{232}) = 30 000TW/24 = 200-250 ans

Fusion thermonucléaire deutérium-tritium: non maîtrisée, rentabilité?
quelques 10^3 ans, limitée par la quantité de lithium

Fusion thermonucléaire deutérium-deutérium: encore beaucoup plus difficile,
Utopique? [Il faut atteindre une T° de 100 millions de d°…], quelques 10^9ans!

Nb l'E totale émise par les réacteurs a augmenté de moins de 6% pendant les 10 dernières années (soit < 1%/an, en comptant à partir de 2003)

Reeves, 2003

Pour comparer, les 'Energies Renouvelables'

Hydraulique, Eolienne, Chauffage solaire, Photovoltaïque… = 10^9 ans
mais rendement énergétique ENCORE trop faible…

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

3à4 %

une alternativ *TRES SERIEUSE*

= SOBRIETE

25 %

ou ¼ production mondiale

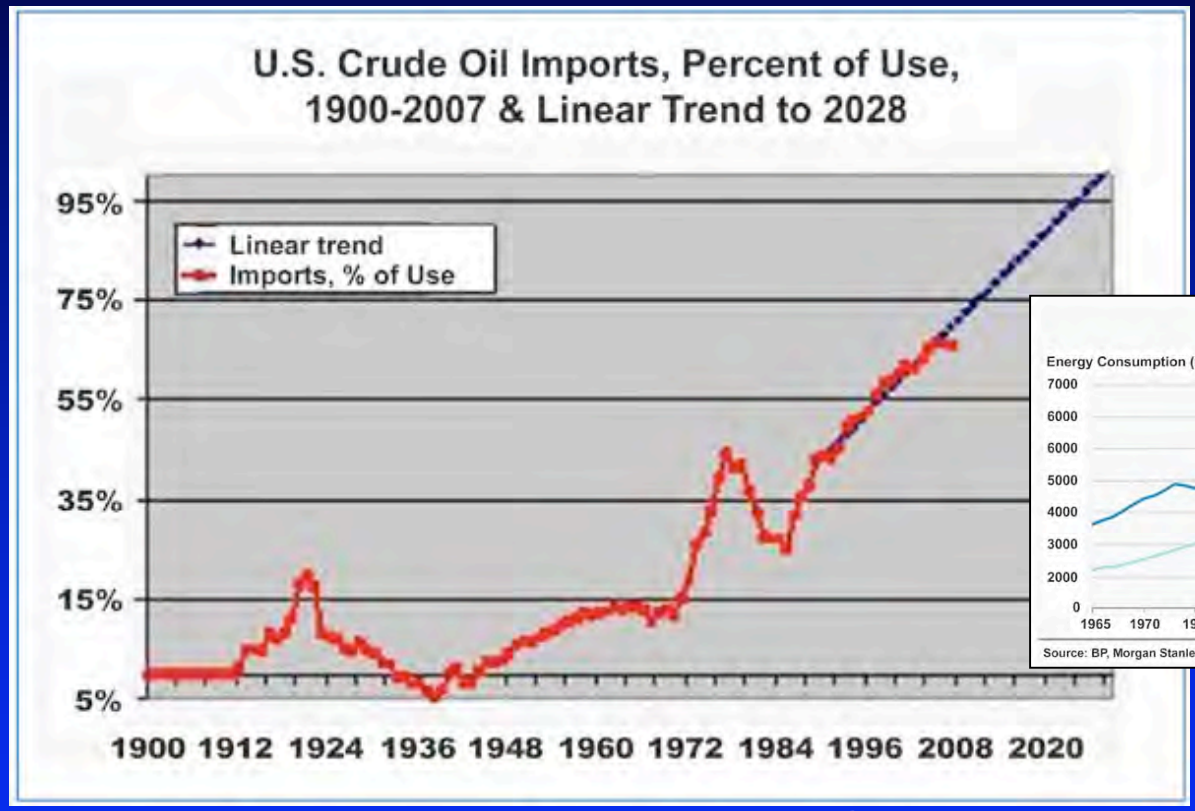
En 2008, 2009 les USA importent 60% de leur pétrole....

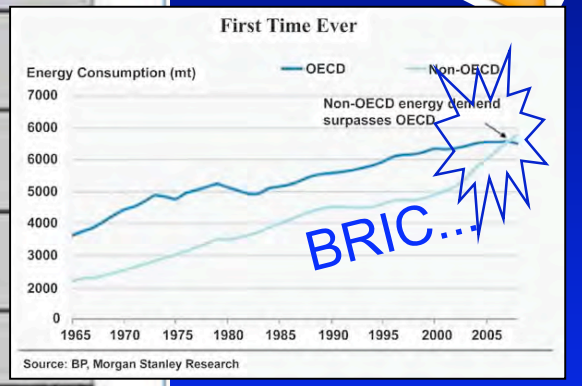
Le TOP10 des consommateurs de pétrole en 2008

2008	Mbbl/d
USA	19,4
Chine+HK	8,3
Inde	4,8
Japon	4,8
Russie	2,7
Allemagne	2,5
Brésil	2,4
Corée Sud	2,3
Canada	2,3
Arabie S.	2,2
	49,7

∑±85

BP 2009





Même type de graphique pour la Chine depuis son décollage économique

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

En attendant = casse- tête énergétique
Population = Besoins en Energie

• Auj: nous consommons 3 à 4 bbl [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. 10^6 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

2 nov 2007

7 novembre 2007 : 98 $ (NY, Singapour)

- déplétion (diminution production)
- demande asiatique
- tension géopolitique (Turquie/Irak)
- spéculation

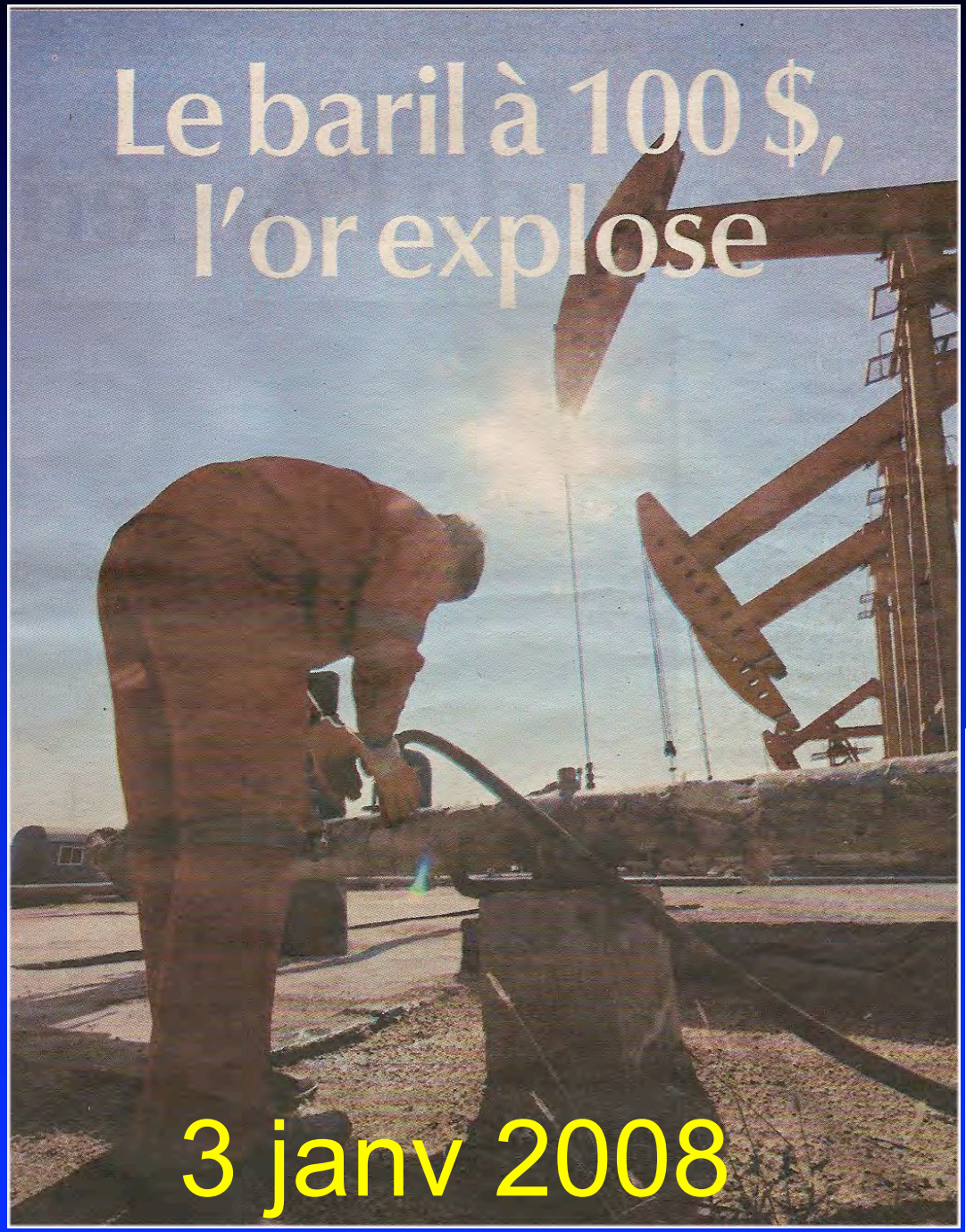
...

PAS DE CATASTROPHE CLIMATIQUE, NI DE GUERRE(S) ...

« grain de sable ».... >100$
[seuil symbolique]
... 200 $, ... 300 $

Que faire? ° sobriété ° transport....
En l'absence d'une vraie politique:
Riches >< Pauvres

Ex: en 2001, question à V Poutine
« avec abolition des subventions sociales que deviendront tous les misérables (*sic*) empochant 30€/mois? »
Rép: « Ils mourront, monsieur, ils mourront ...»



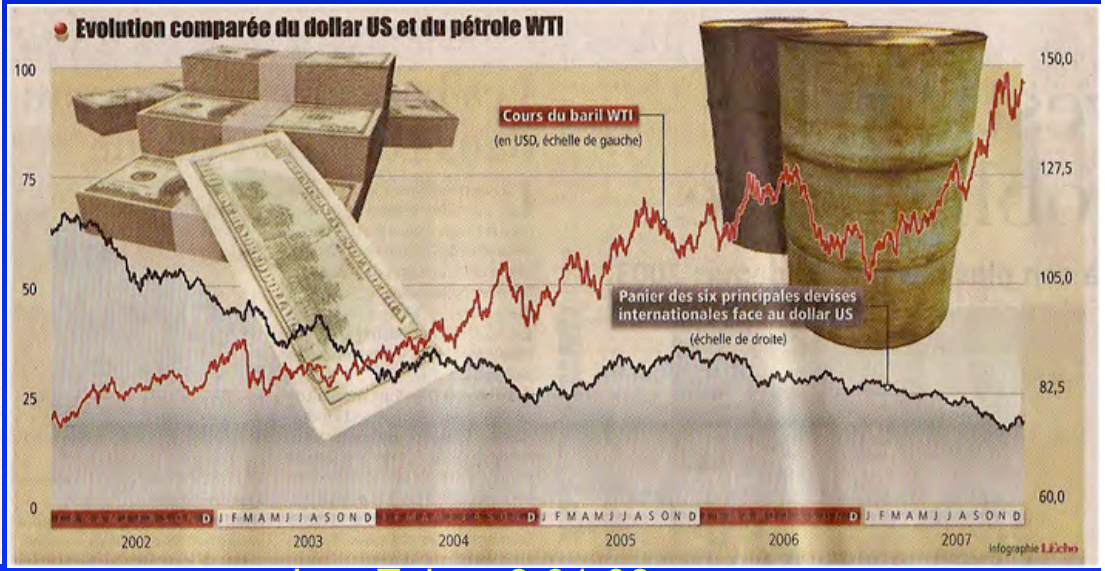
La Libre Belgique

3 janvier 2008

- nouvelles violences Nigéria
  [premier producteur africain]
- Pakistan (assassinat Bhutto)
- Hiver froid USA (chute des stocks)
- Pas d'augmention production OPEP
  [sinon diminution rentrées financières]

nb 21 fév 2008: 100,10 $ 'durablement'?
26 fév 2008: 101,40 $ 'durablement'?
28 fév 2008: 101,45 $ 'durablement'?
7 mars 2008: 105,42 $ 'durablement' ?

'rien de spécial'

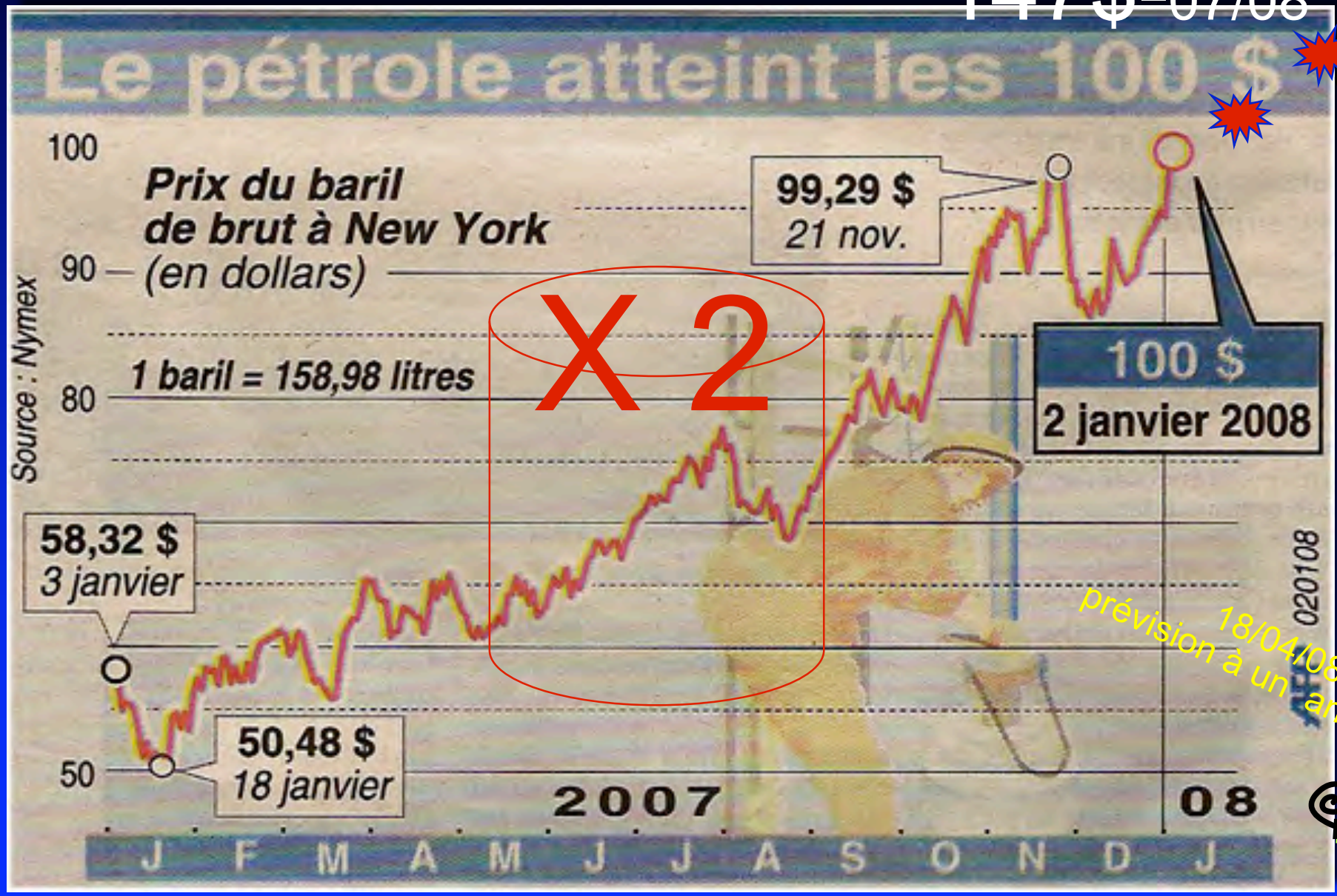


Les Echos 3.01.08

3 janv 2008

La Libre Belgique

147$ – 07/08



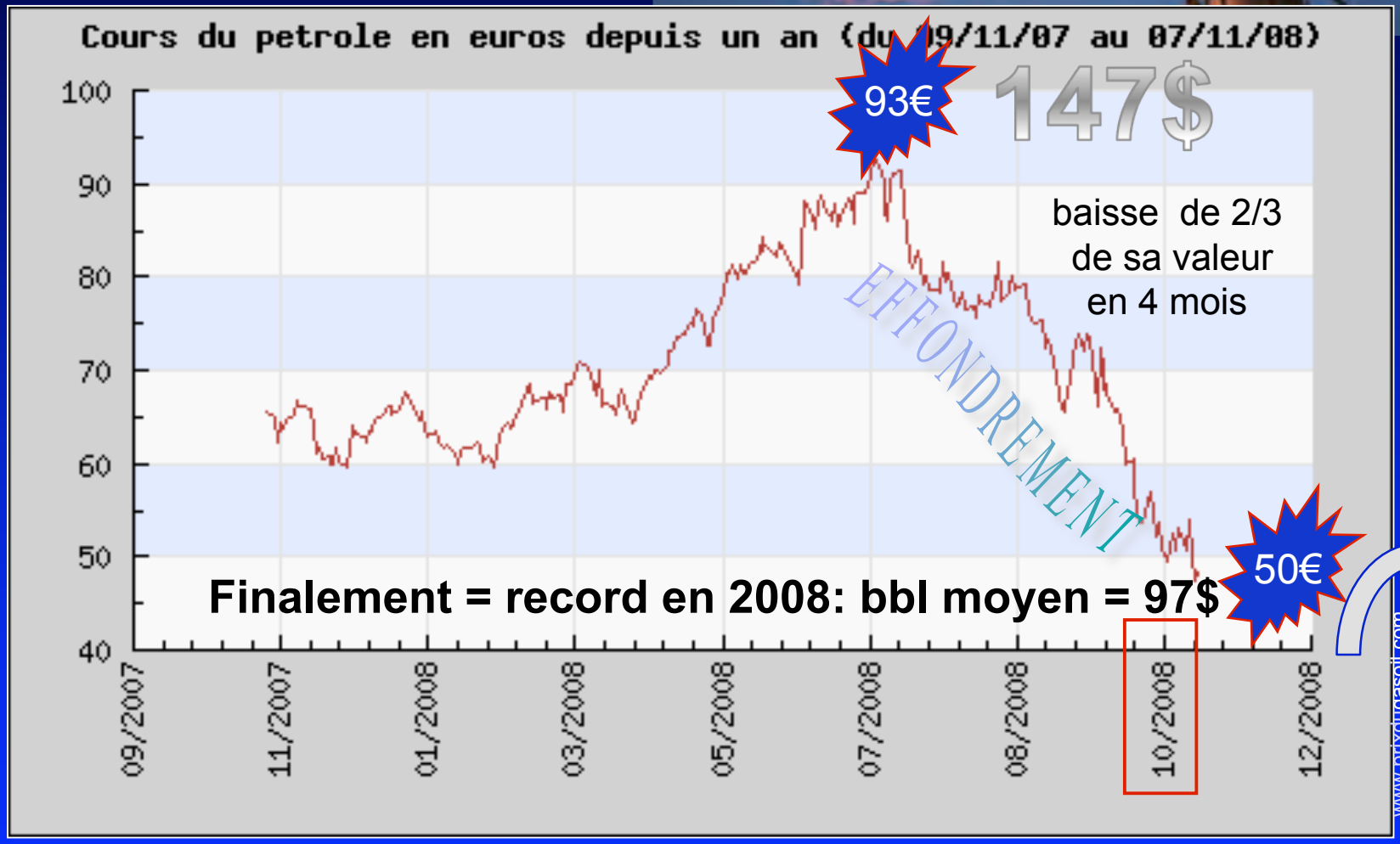
prévision à un an: 132 $ – 2/03/08

±45$

prévision à un an: 149 $ – 18/04/08

±45$

Les prévisions du 3 janvier 2008 ... se sont avérées ...



?

50$

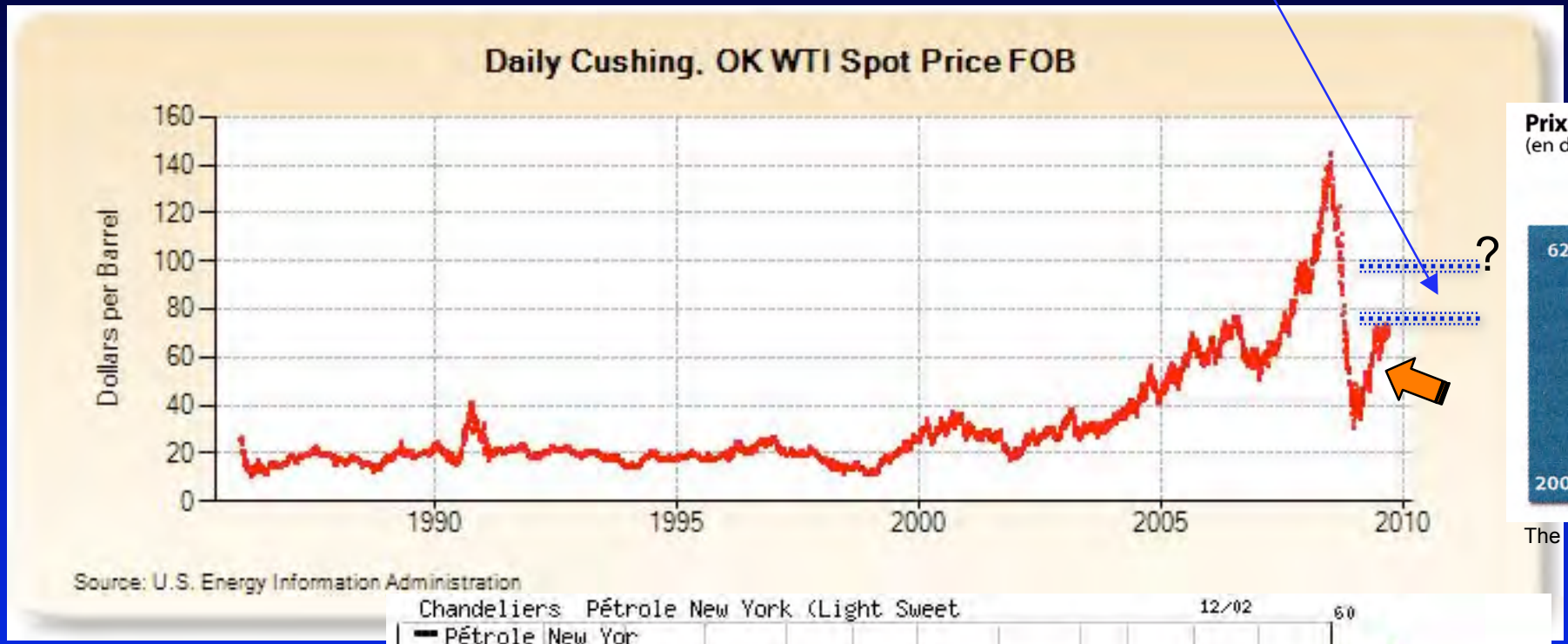
± 35$ - 40$
début 2009

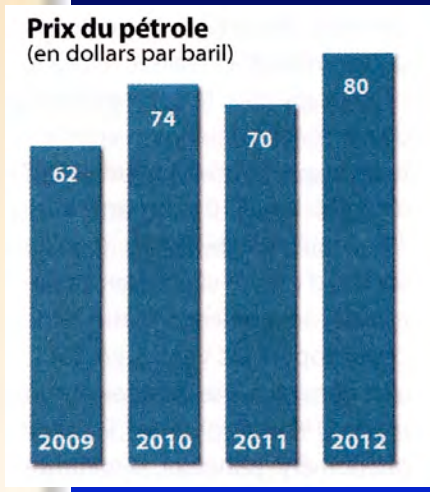
www.prixdugasoil.com

La demande de produits pétroliers a baissé de 7,1% aux Etats-Unis sur les quatre semaines (octobre) par rapport à l'année précédente

OPEP: diminuer rapidement les quotas…. ?

fin 2009 = ‘couloir’ 80- ?100$





The Economist-Trends déc 2009

début 2009

‘couloir’ 35-50$

(court terme 1-3 mois)

cela n’a pas perduré

=> nouveau couloir

80$ à?100$

+ spéculation:

Déc 2008 1bbl = 33$

Nov 2009 = x2

14 jan 2011 – 98,85$

FIGARO

"Sans la liberté de blâmer il n'est point d'éloge flatteur" Beaumarchais

En vente aujourd'hui au prix de 4,90 €

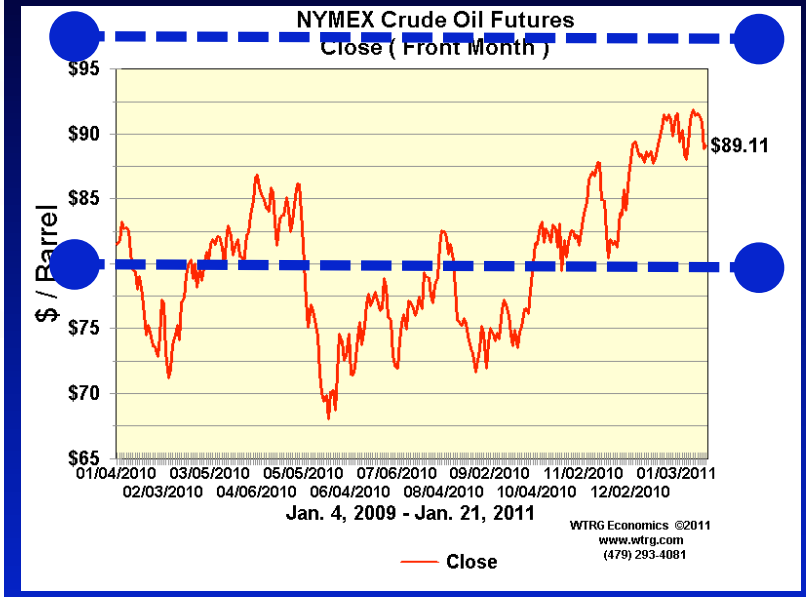
a Concorde : que va hôtel de la Marine ?

Le baril de pétrole frôle les 100 dollars

La reprise mondiale stimule la demande de brut, dont le cours approche ses records de 2008.

UN DÉBUT d'hiver froid en Europe et en Amérique du Nord, des changes nerveux et une demande asiatique insatiable forment un cocktail efficace pour pousser les cours du brut à près des 100 dollars le baril. Le phénomène se répercute à la pompe, où le sans-plomb, en particulier, approche de ses records de 2008. Les chiffres de l'inflation s'en ressentent aussi, tant en France qu'en Europe, ce qui ne manque pas d'inquiéter la BCE. PAGES 20 ET 23

100 $
98,12 $
Cours du Brent
octobre 2008
janvier 2011



90 / 10

(07 Janv) 2010: 83$ soit +80% en un an...

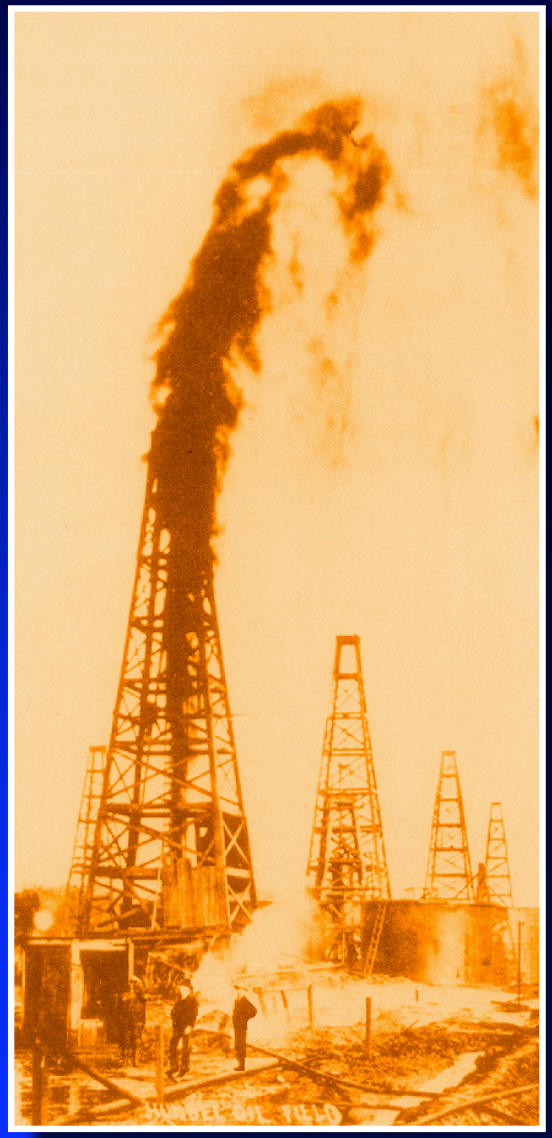
- froid (-1°C = 5% E)
- 'reprise économique'
- repli € vs $

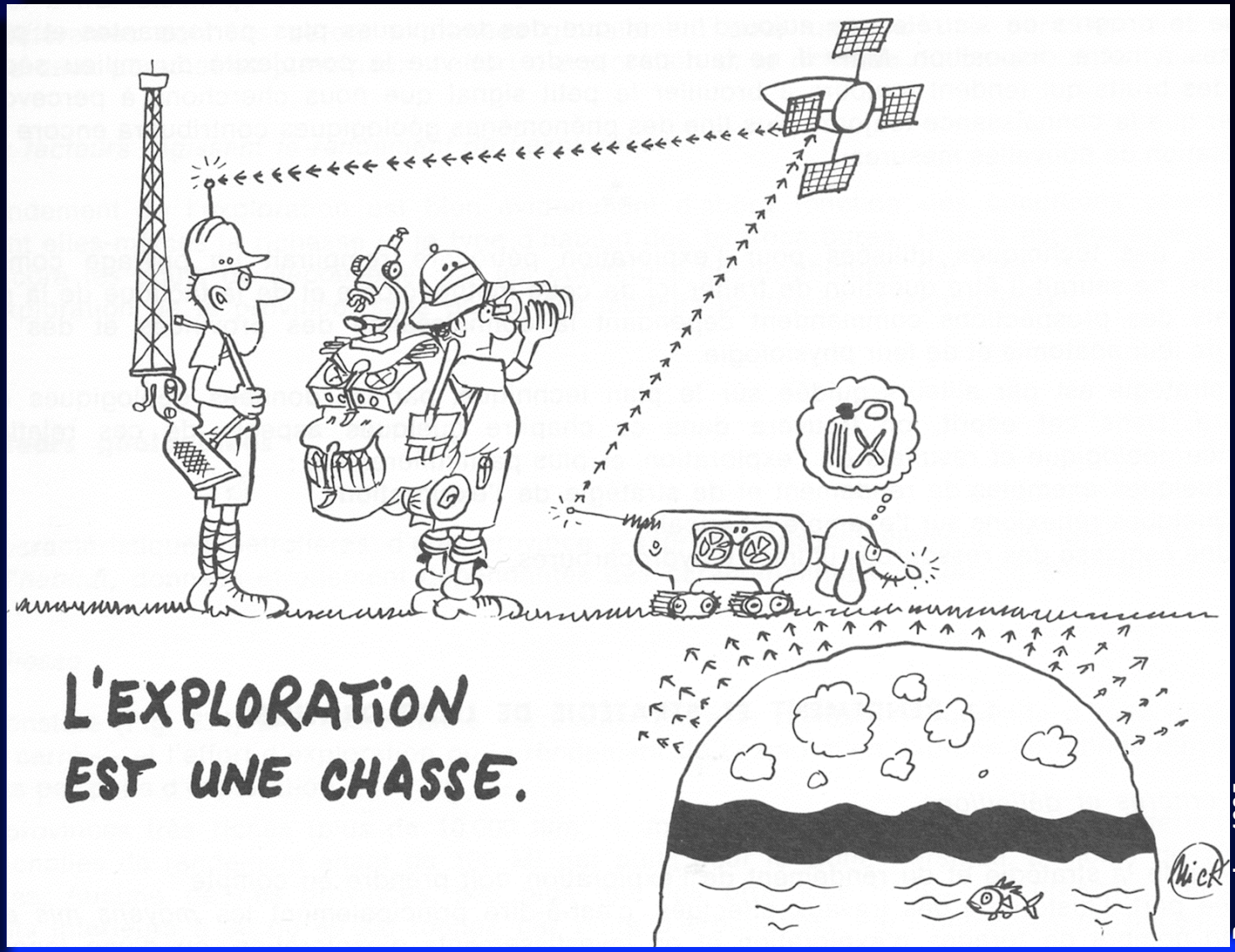
VOLATILITE DES PRIX : court terme
1997 /1998 1bbl = 9$
Fin 2007 1bbl = 100$
Consommation x11?, Production :11?

= spéculation (transactions financières = 15x transactions physiques)

= crise asiatique (augm prod et baisse demande) >< hausse demande et menaces approvisionnements
[Irak, difficultés loukos, instabilité Venezuela et Nigeria]

La Recherche de l'Energie…





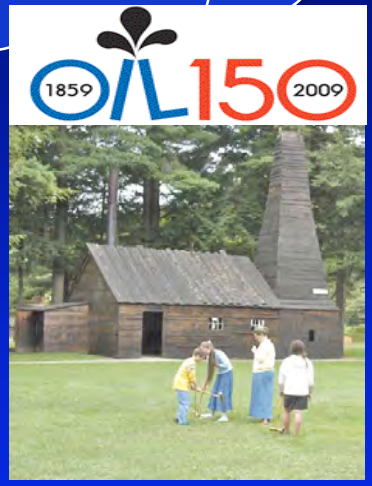
Réserves=Incertitudes Géologiques, Technologiques et Géopolitiques

Réserves = Incertitudes Géologiques…

28-08-1859

Reproduction d'une gravure représentant le forage du 'colonel' Drake à Oil Creek, 28/08/1859

mort pauvre en 1880 après ….
avoir spéculé sur le marché pétrolier…



Venue d'huile de très bonne qualité à 70 pieds avec un débit variant de 10 à 25 barils/jour (1,6 à 6,5 m^3/j) et 300t en 1859

…le 1er juin 1860: 19 puits sur Oil Creek + 8 sur deux autres sites et 25 000t en 1860

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’envion 70 000 gisements d’hydrocarbures

Light Texas Crude
Palo Pinto Field
North Texas

Heavy Texas Crude
Humble Oil Field
Southwest Texas

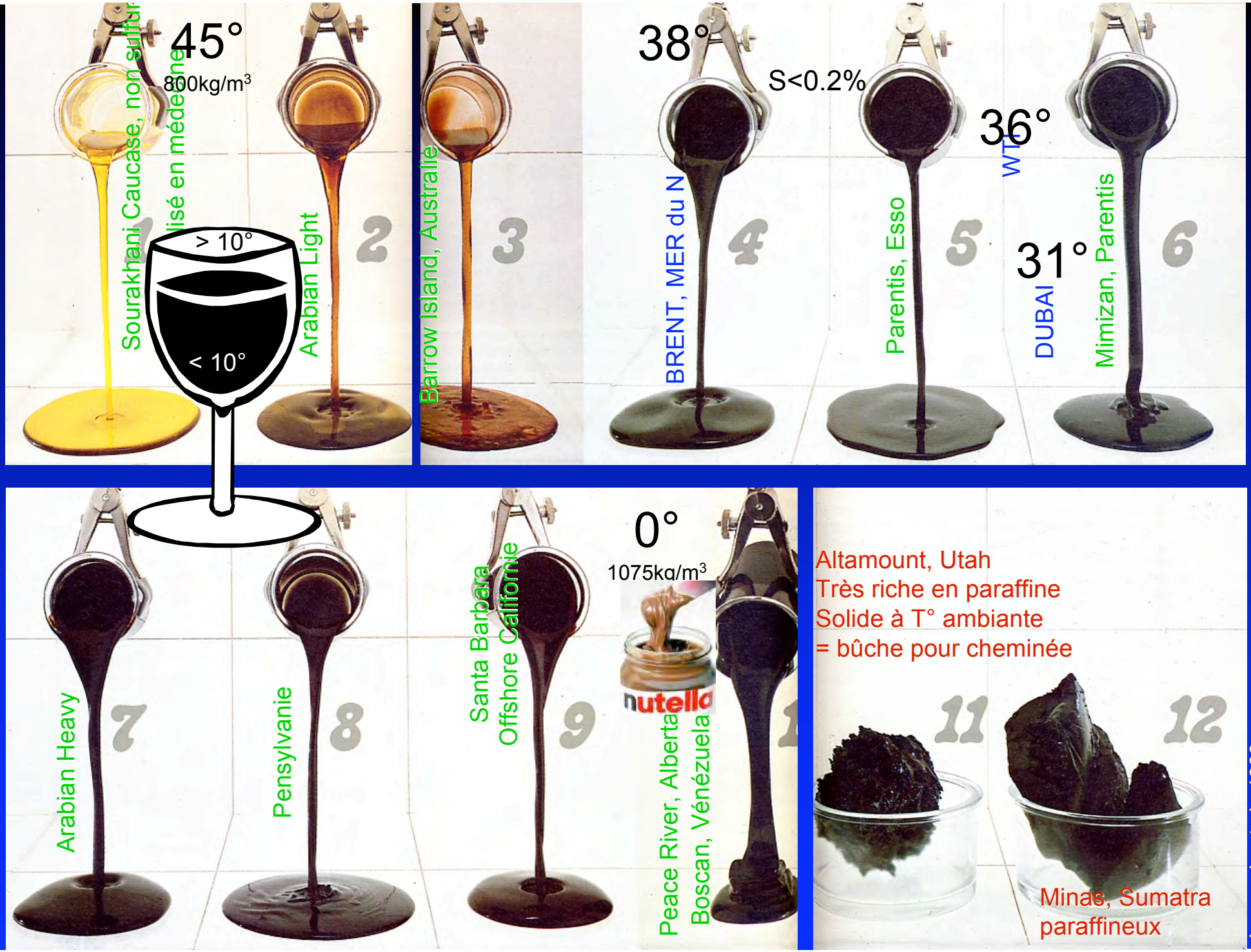
Brent : Eur-Afr
Dubaï : Asie
WTI : Am
+
...

1 bbl
=
159l

American Petroleum Institute, 1999

‘léger’
‘moyen’
‘lourd’
‘extra-lourd’

BRUTOTHEQUE EXXON



A PREAT-ULB Jodoigne fév 2011

Organigramme simplifié du raffinage du pétrole brut pour la production de carburants

Pétrole brut → **épuration** → **distillation**

Sels (qq g à qq kg/tonne)
Soufre...
...

- **Gaz** 4% — ±180°
- **Essences Solvant léger** 46% — ±250°
- **Kérosène** 10% — ±360°
- **Gazole** 27%
- **Résidus** — >500° — craquage

T°

Dubois 2007

Les Etats producteurs exportateurs ne raffinent que très peu
1. *USA 20,1% mondial soit ±850 millions de tonnes (2004)*
2. *Chine 6,9%, 3 Russie 6,4%, ... 9. Arabie Saoudite 2,4%*

Les capacités de raffinage sont utilisées auj (2007) à leur maximum [92%] et ne suivent donc pas le rythme de la progression pétrolière 2003-2004: 0,8% >< 4,4%
===> ouragan Katrina ...

nb investissement raffinerie stoppée depuis 1976 aux USA!
[une raffinerie moderne de gde capacité = 2,5 milliards de $]

→ **nb pétrochimie: 900 à 2000°C**

Incertitudes Géopolitiques

RAFFINAGE

Usa96%, Monde92% [2006]

TRANSPORT MARITIME

- **7200 supertankers sous pavillons de complaisance [5 états possèdent en tonnage 50% de la flotte pétrolière mondiale]**
- **fort viellisement de la flotte pétrolière**
- **?pénurie des tankers *vs* demande pétrolière croissante**

- En 2007-2008, l'écart entre la capacité de production et la demande est d'environ 2 %
  > 'grain de sable' =cyclone, =troubles (au Nigéria...) etc.
- 85% de la production mondiale = Compagnies NATIONALES
  - Refus d'investir ... car pas d'incitation (l'argent rentre de toute façon)
  - 80 % plates-formes 'rouillées' (pas d'entretien quand le bbl était bas....)
- 500 rigs à refaire = investissement de 250 G$ ....(+ prix du Fe)
- goulets d'étranglements transport maritime ('accident', crises…) = détroit Ormuz etc.

HYDROCARBURES
Bitumes
du latin bitus
= *bois résineux*

Incertitudes ou Confusions

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!'…

Sables Athabasca, Sc et Av 2005

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

1903-1989
prédiction 1956

ASPO www.oleocene.org

Milliards de barils

Pic de production

facile et bon marché

R/P augmente

?

R/P diminue

Déplétion

difficile et cher

1re moitié exploitation « facile »

2e moitié exploitation difficile

Si pas de nouvelles découvertes

±1200:±30Gb=40ans 82Mb/j

±1200:±40Gb=30ans 109Mb/j

±1000 Gbbl [conventionnel]

±1200 Gbbl+ ? ['conventionnel']

St-Laurent 12600m³/s pdt 11ans

1859 2015 2150 Années

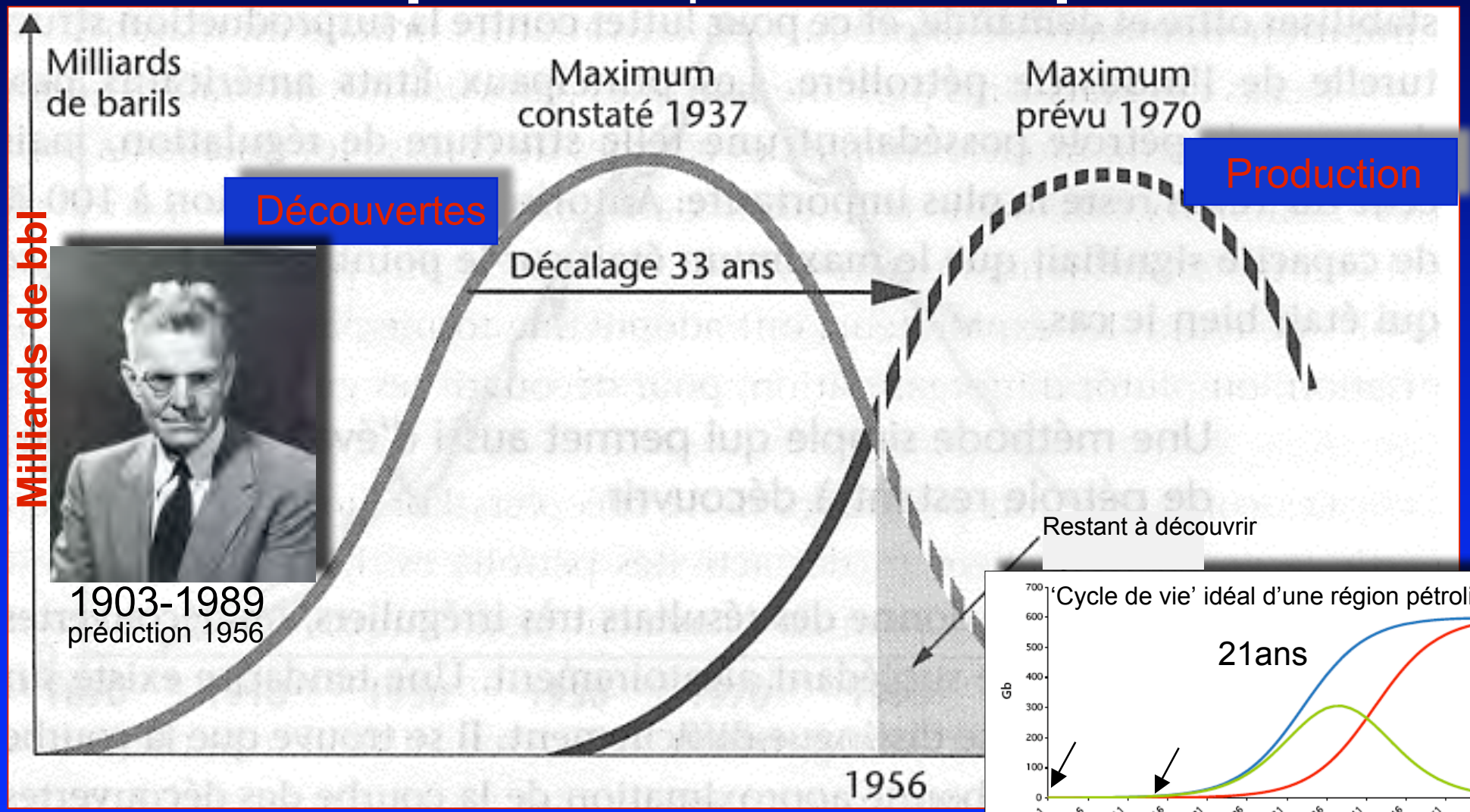
Wingert 2005

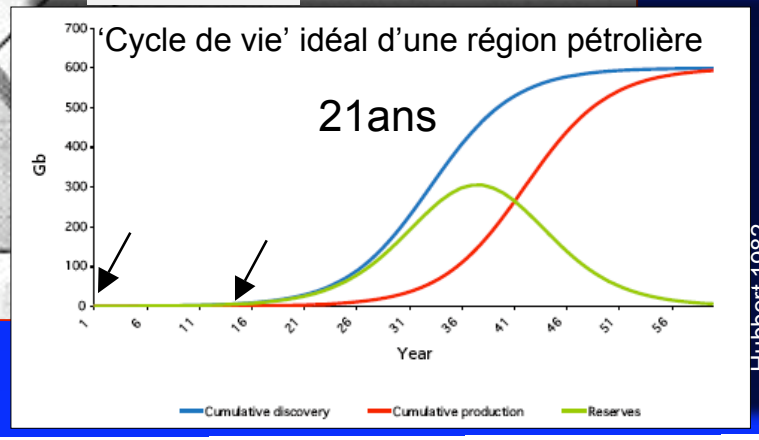
Réserves disponibles au terme d'une année (Gt, Gbbl…)

Production au cours de cette année (même unité)

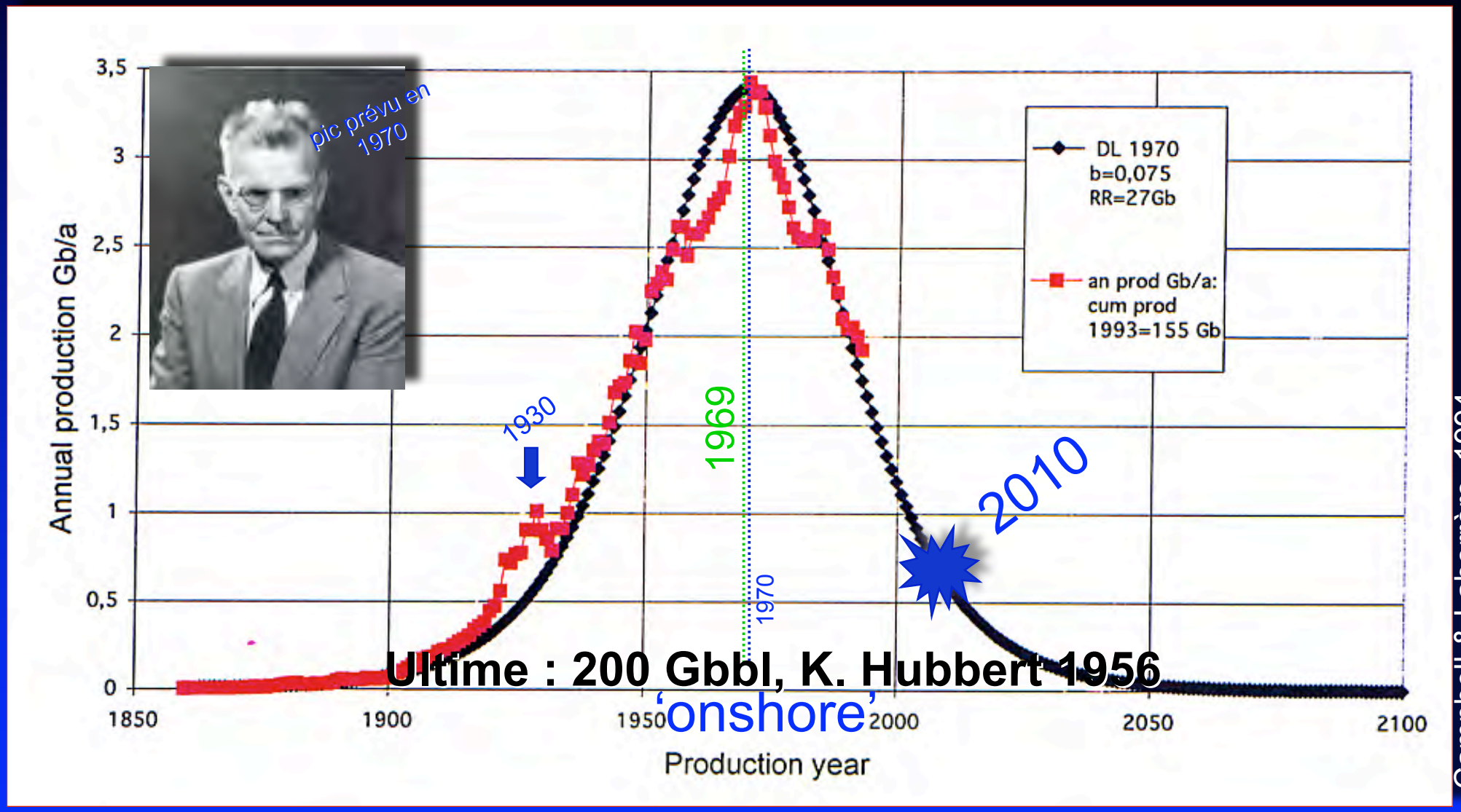
PRINCIPE DE LA THEORIE DES COURBES DE HUBBERT POUR LES ETATS-UNIS [48 ETATS]

[Données simplifiées à l'extrême]





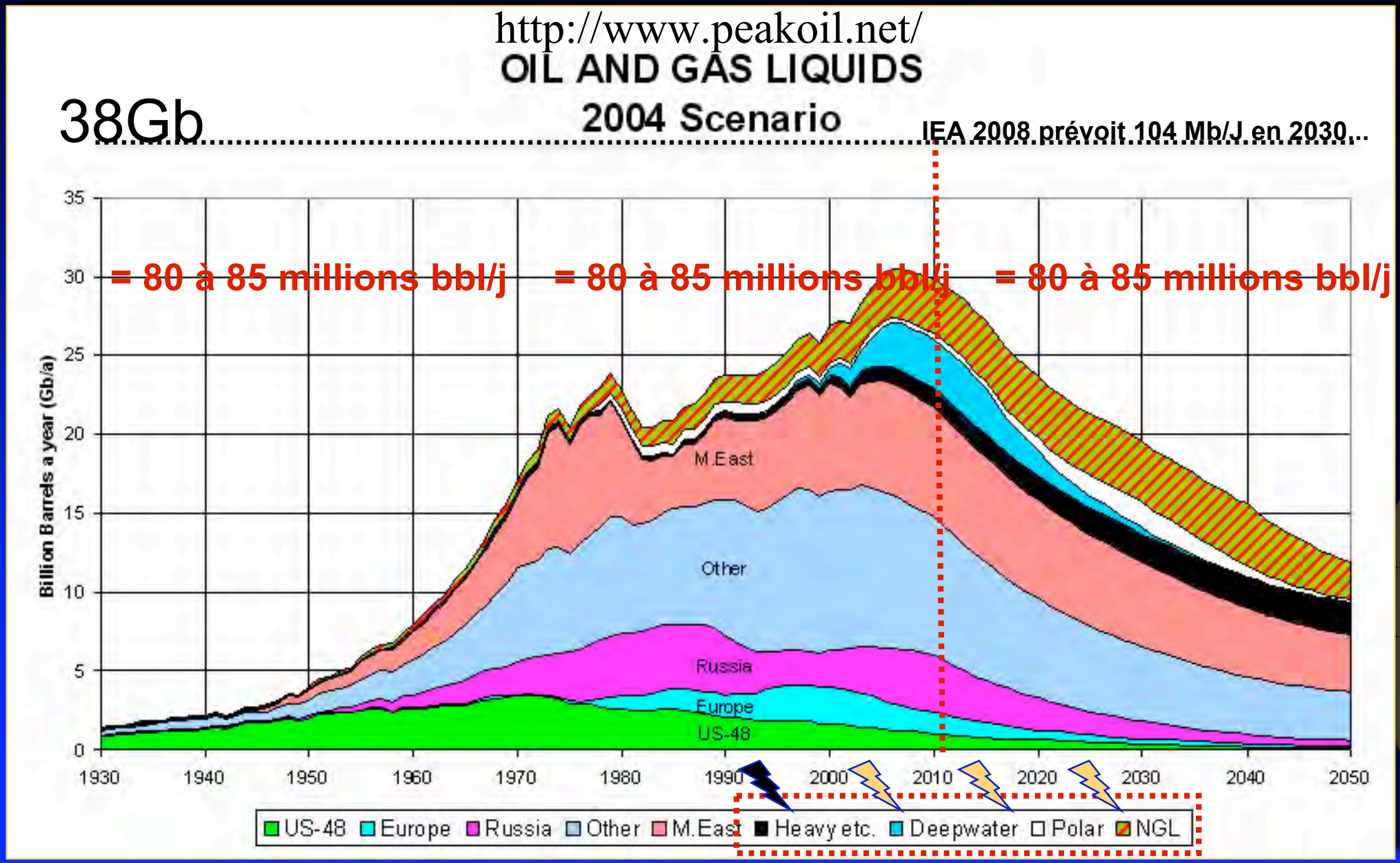
48 Etats US: Courbe de Hubbert (en 'cloche'), modèle de déplétion



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

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

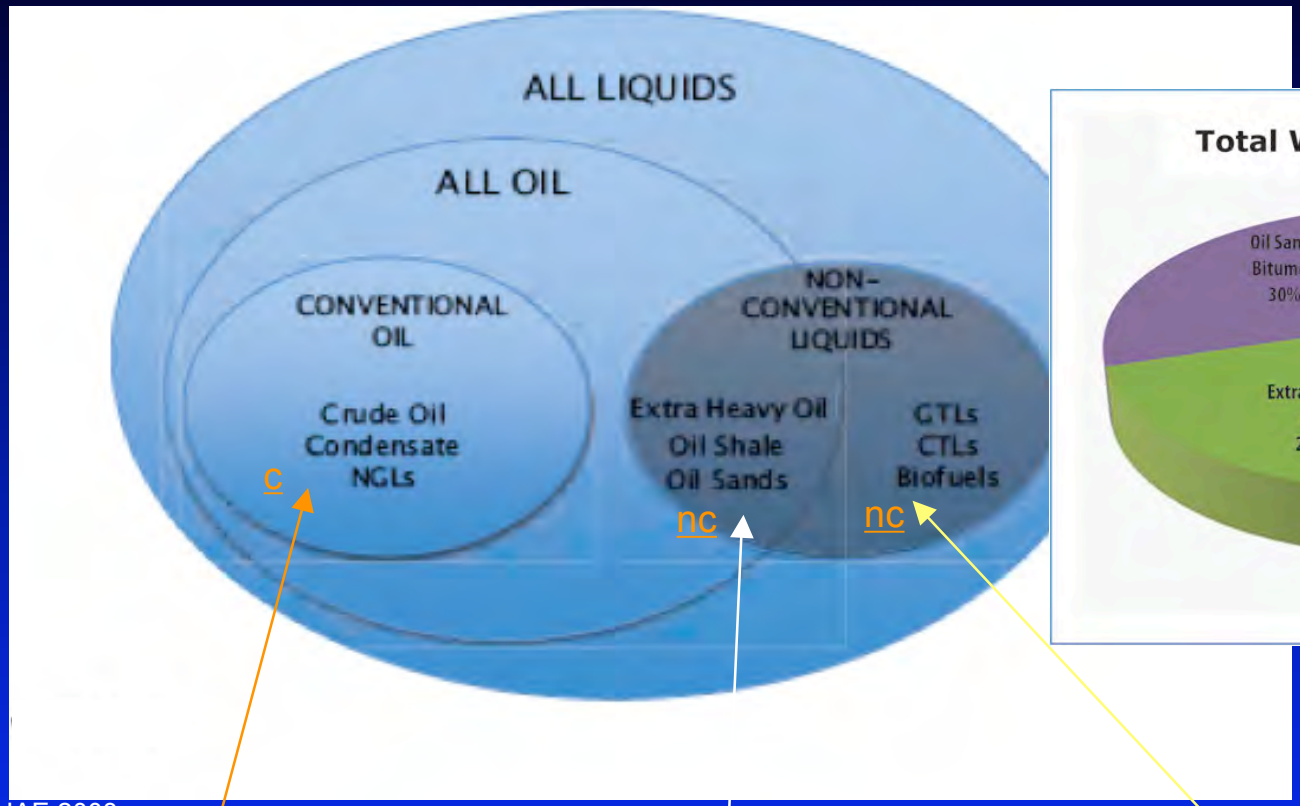
http://www.peakoil.net/



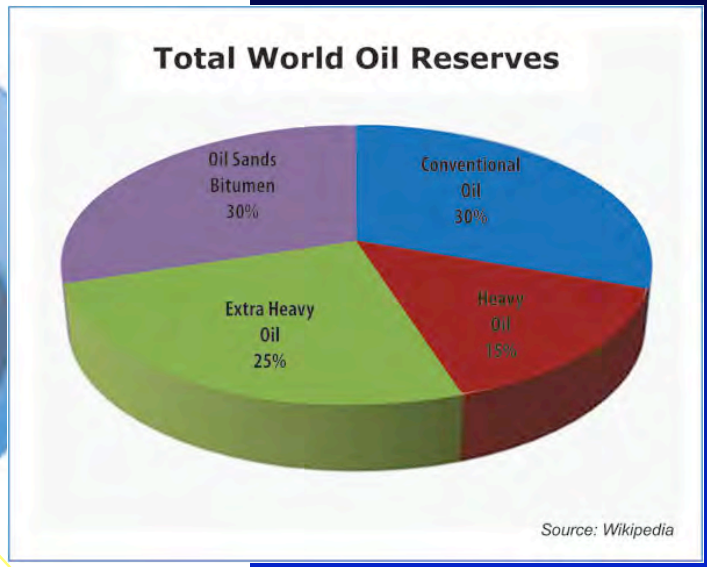
sc
nc
c

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

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

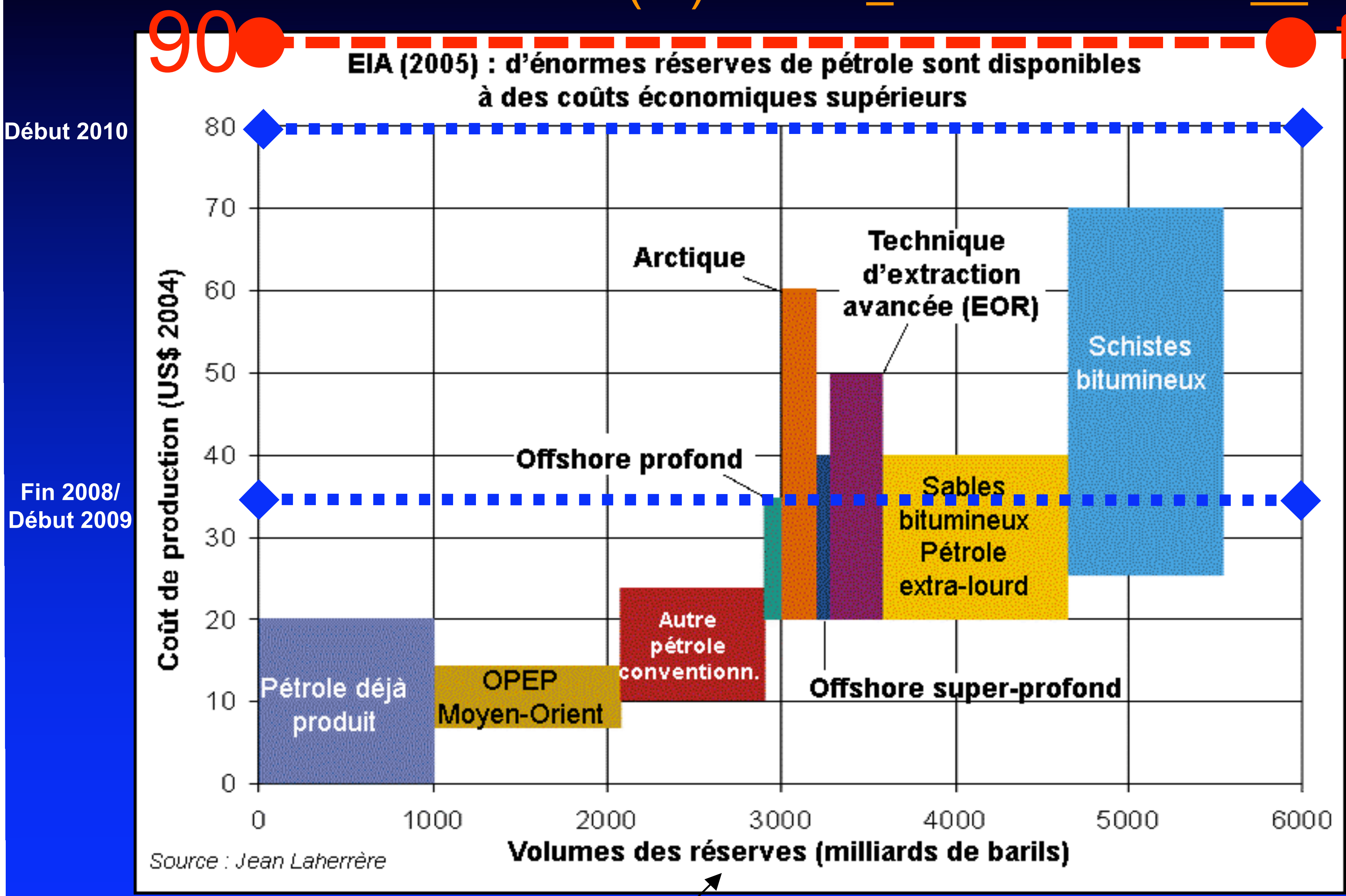


IAE 2008



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° (gravité): très visqueux, injection vapeur
Oil Shales : schistes bitumineux (kérogène), doivent être pyrolisés (>400°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)

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



ex:

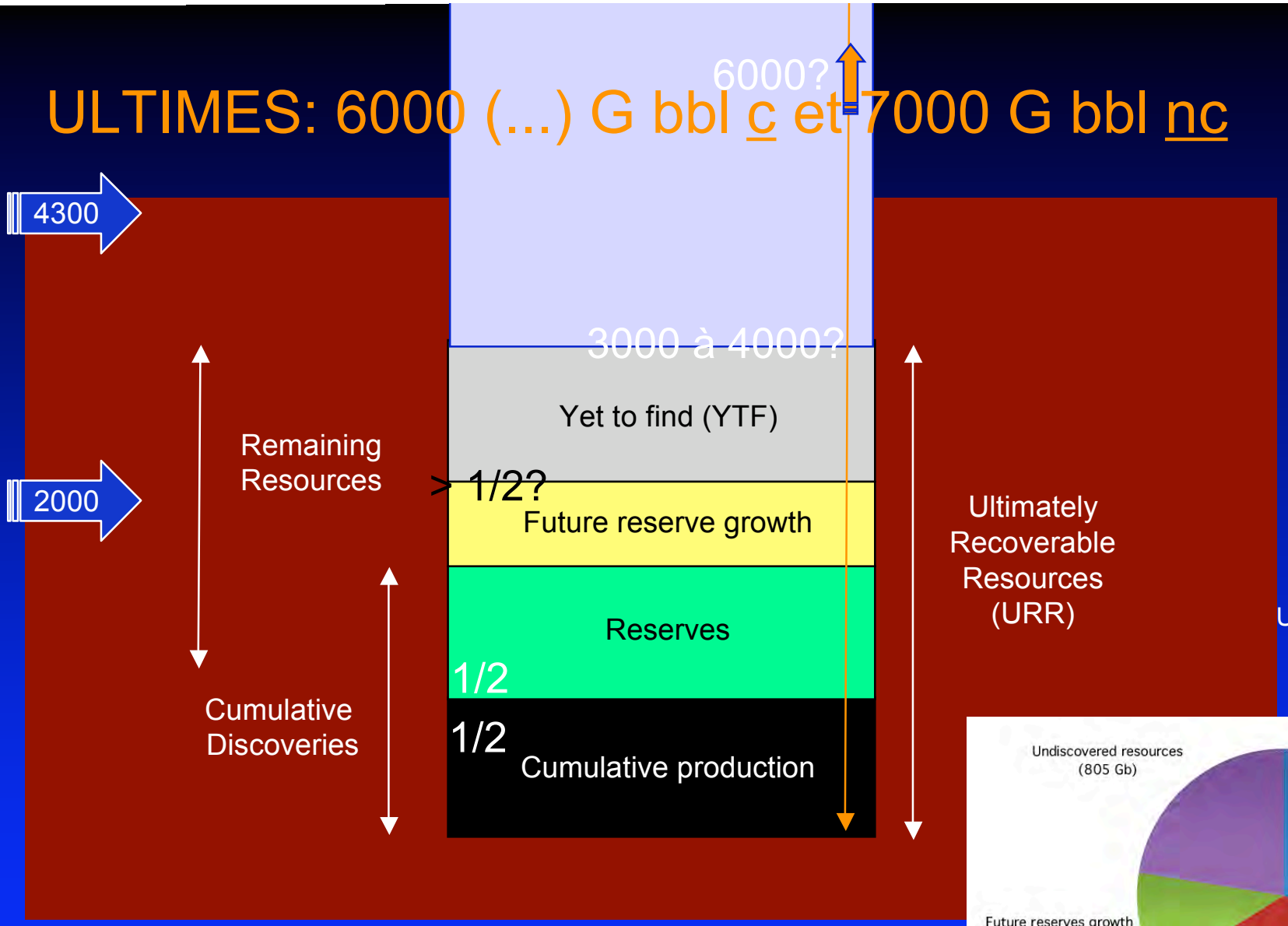
pétrole lourd ou sables bitumineux du Canada =1750 Gbbl dont aujourd'hui 10% = réserves

1,8 Gb déjà produits en 2007

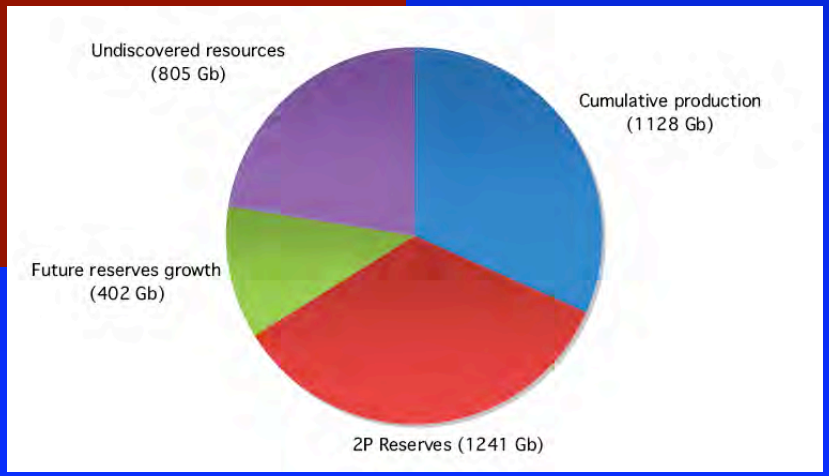
déjà exploités en 1930'

différent de ressources!
Ici = ± ultimate recoverable resources

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



URR = economically extractable



IEA 2008 BP 2008

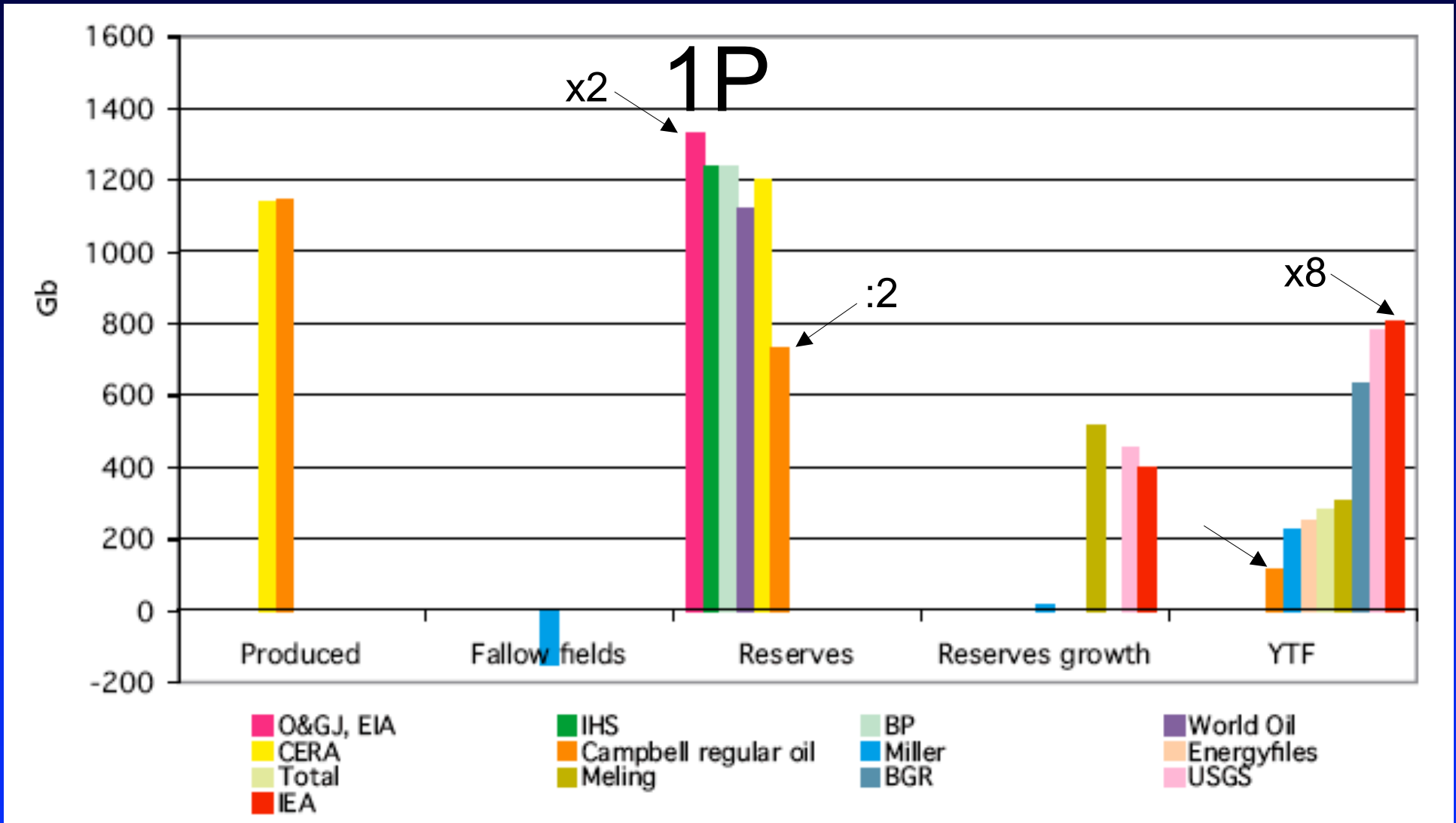
2009 : URR oil c 2000-4300 Gb (2-4X cumulated prod up to 2007)

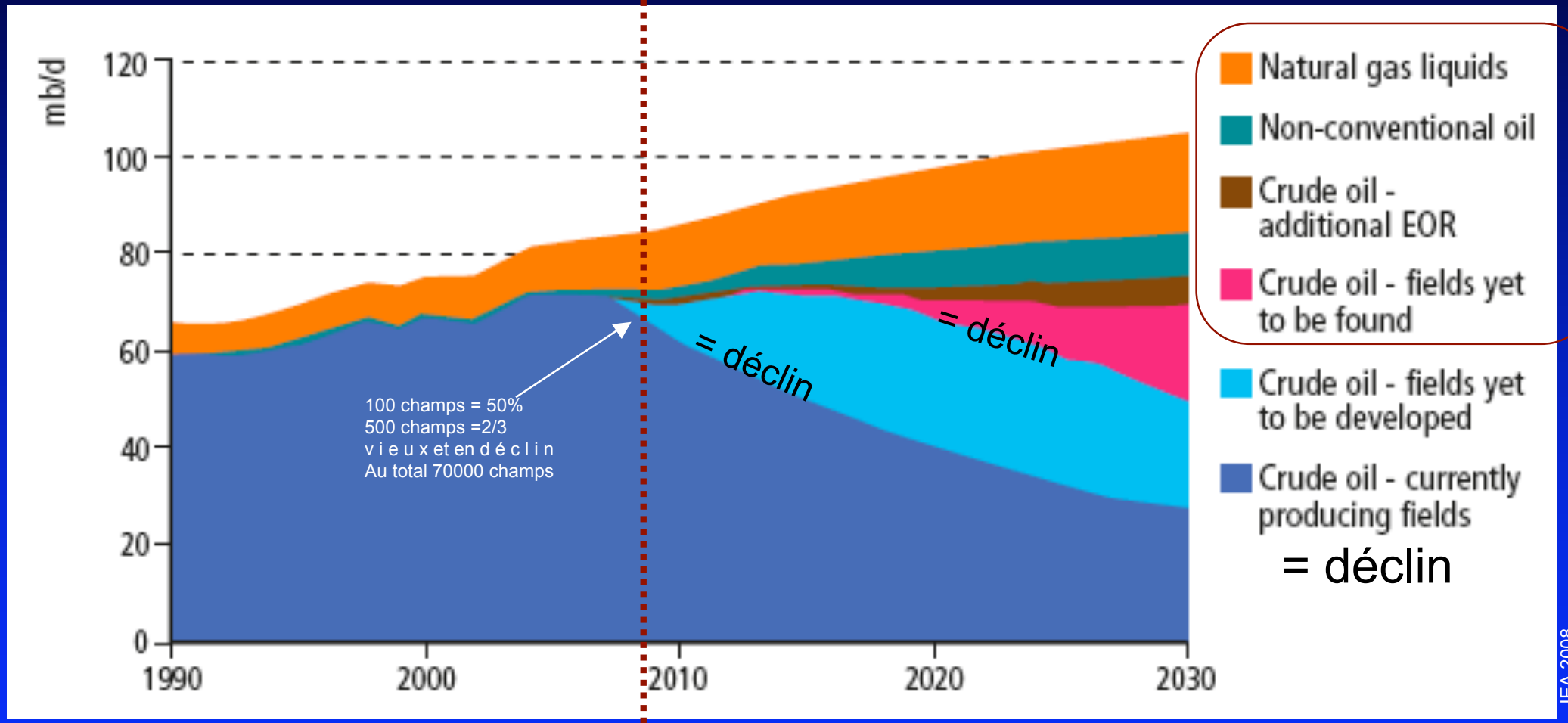
Remaining recoverable resources oil c : 870-3170 Gb

(Max = 4Xmin)

RECOVERABLE OIL c

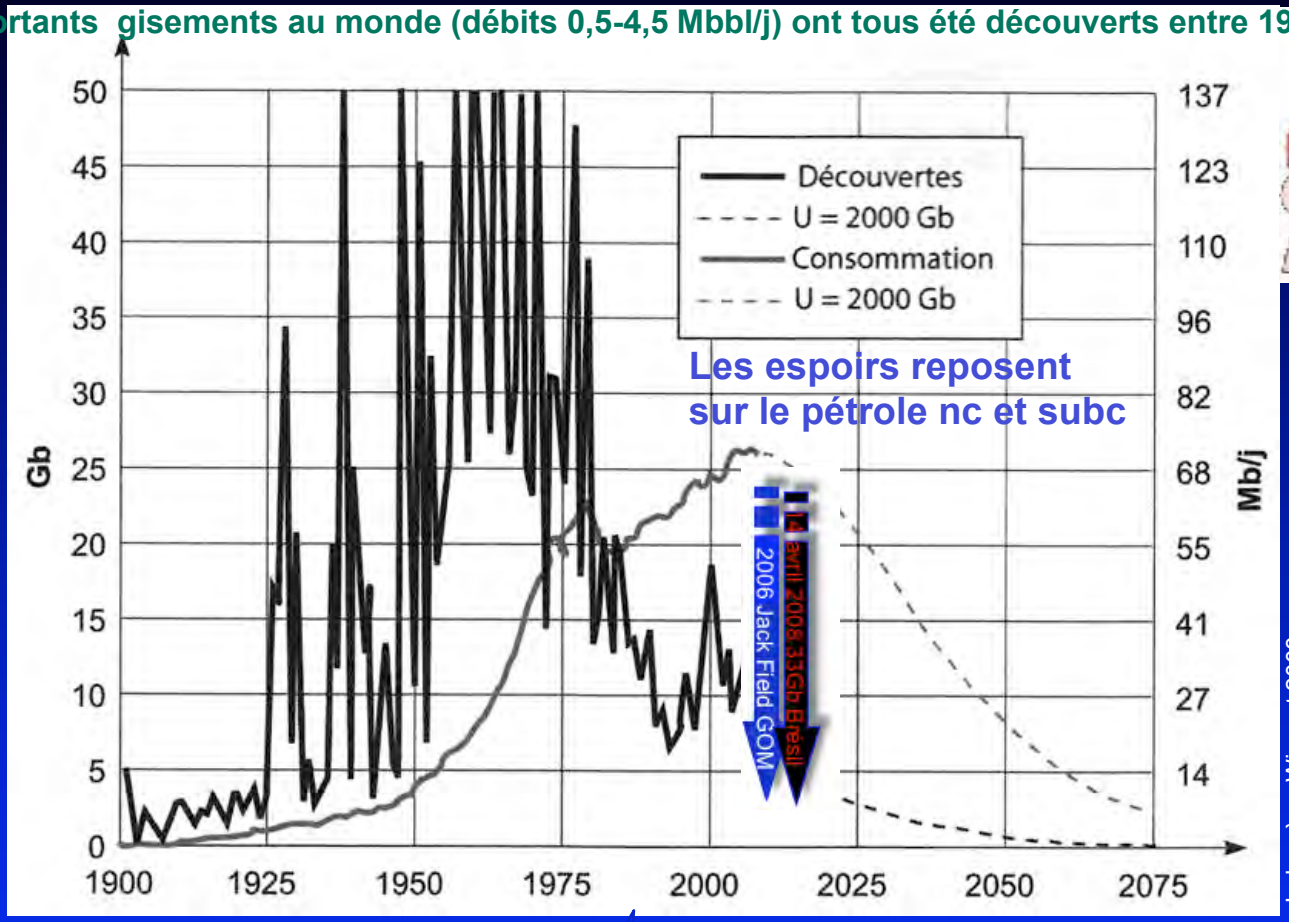
(IEA, 2008, UK Energy Centre 2009)



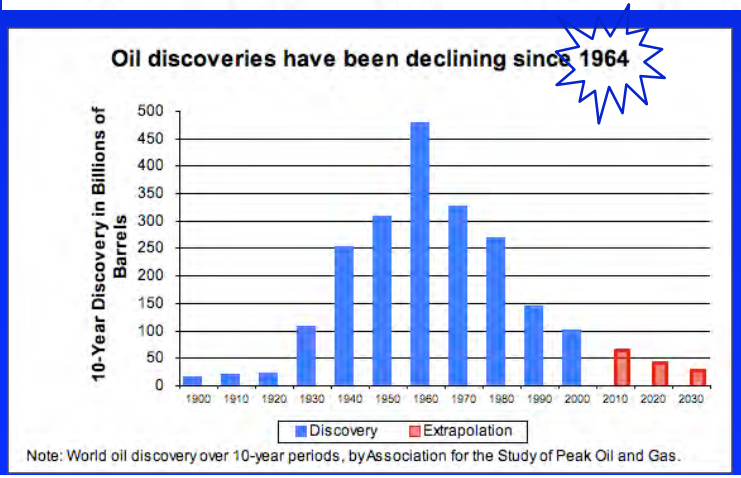

mb/d
120
100
80
60
40
20
0
1990
2000
2010
2020
2030
100 champs = 50%
500 champs =2/3
v i e u x et en d é c l i n
Au total 70000 champs
= déclin
= déclin
Natural gas liquids
Non-conventional oil
Crude oil - additional EOR
Crude oil - fields yet to be found
Crude oil - fields yet to be developed
Crude oil - currently producing fields
= déclin
IEA 2008

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

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



Laherrère, Wingert 2008



Il existe 40000 accumulations,
réparties dans 70000 champs hiérarchisés

Production 2008
à partir de 1001 CHAMPS MAJEURS ou GEANTS

le marché réel = la production

Sur les 192 pays de la Planète, 30 produisent du pétrole significativement et seuls 17 d'entre eux exportent plus de 500.000 bbl/j ==> la géographie ET la politique limitent les choix. Les importateurs diversifient les approvisionnements, chacun à partir d'une dizaine de pays ou moins...

PRODUCTEURS

1. **Arabie Saoudite 8,03 millions bbl/j *avec 1560 puits [2001]***
2. **Russie 7,05**
3. **USA 5,80 *avec 563.160 puits [2001]***
   Rendement moyen annuel d'un puits 1985: 2,2.10^{3}t soit 44bbl/j ou 0,08l/s <0,1l/s

4. **Iran 3,72 Rendement moyen annuel d'un puits 1985: 1514,5.10^{3}t soit 30.500bbl/j ou 56l/s**

...

[le plus grand champ du monde: Ghawar = 50% production Arabie S.]

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

avec ?280 Gt ou ± 2100 Gbbl [Rés P] 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'

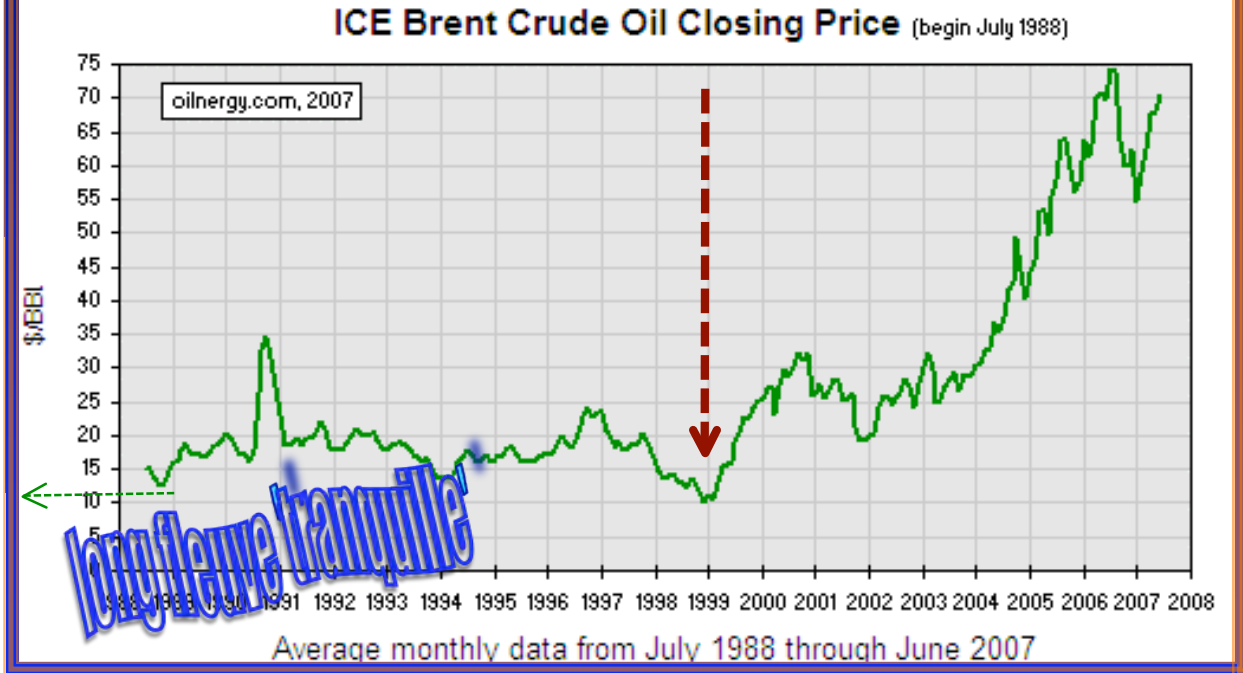
Fin de l'exploitation ?

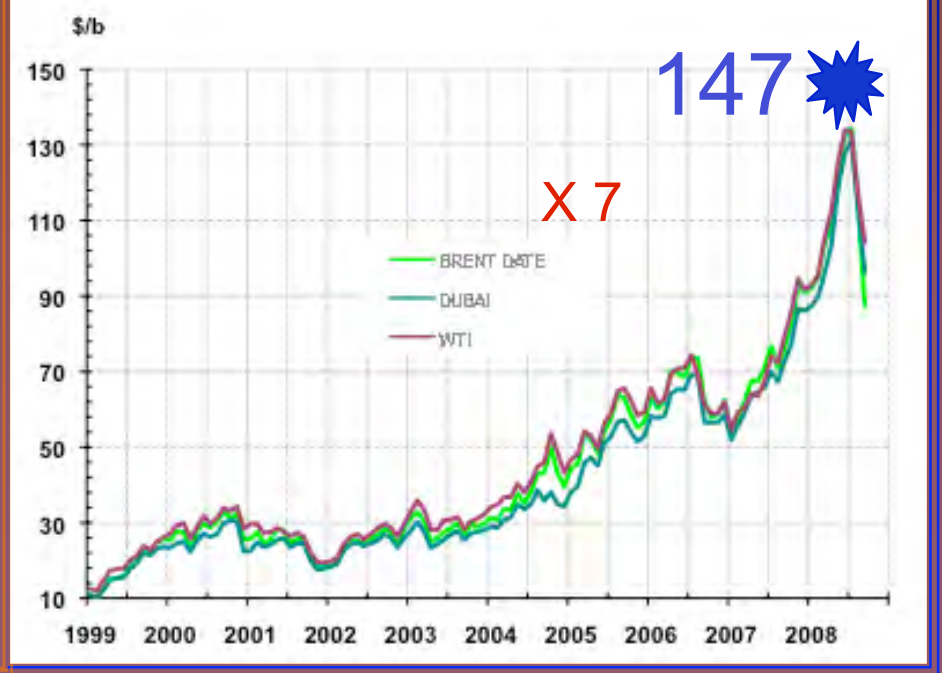
'dernière goutte' 2150...

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

avec ?280 Gt ou ± 2100 Gbbl [Rés 1-2-3P] LE MAXIMUM DE PRODUCTION SERAIT ATTEINT VERS 2010-2020…?

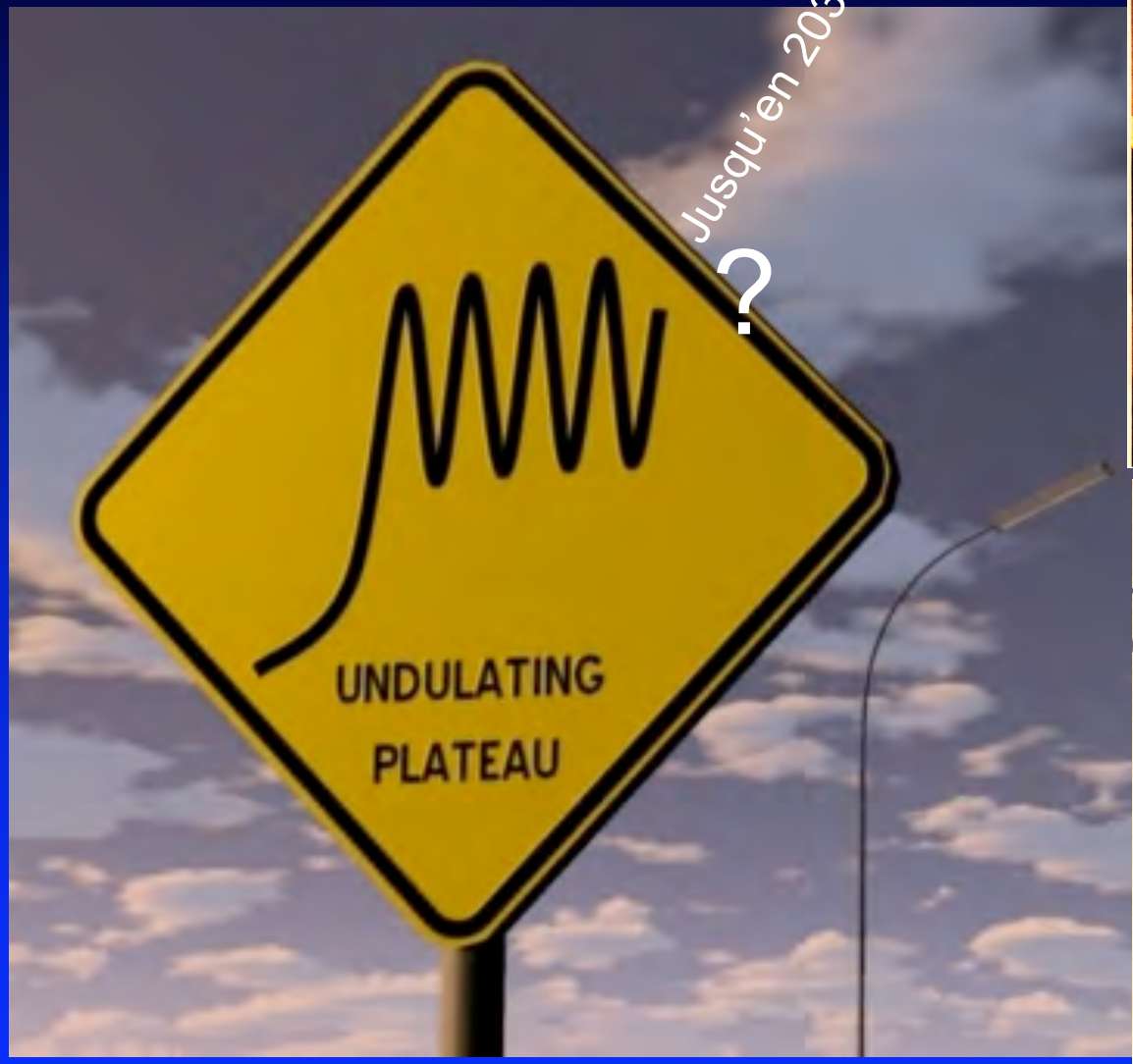
Le pétrole 'bon marché' est fini
Le monde sera ENCORE plus dépendant
des pays producteurs du Moyen-Orient



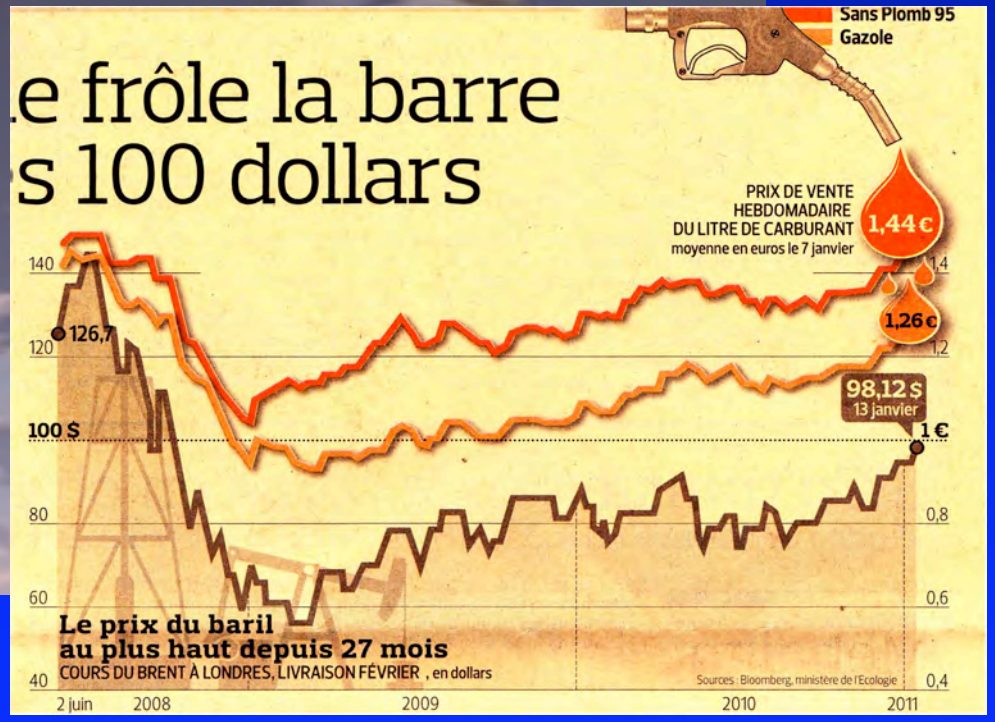


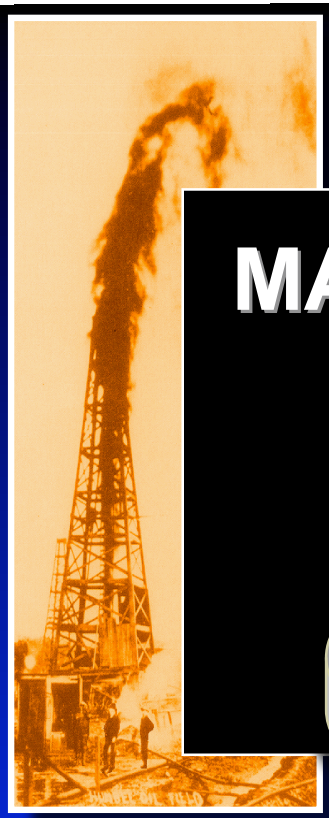
Nb de 1859 à fin XXè s. : hausse de production moyenne annuelle = 2%

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



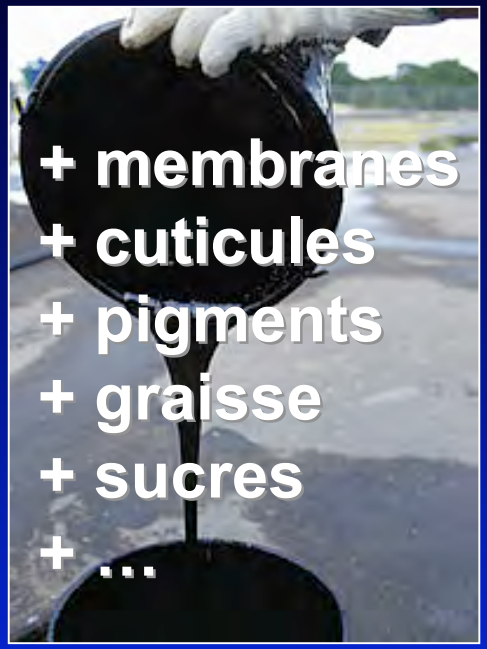
Jusqu'en 2035 (AIE) ?





Mais d'où VIENT LE PETROLE?

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, 2µ-1mm]

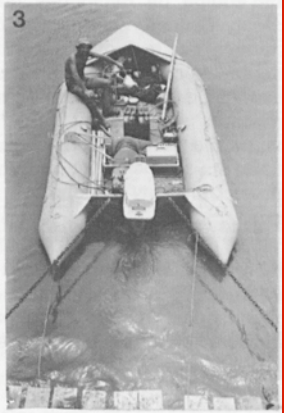
Certaines diatomées excrètent des gouttelettes d'huile pour augmenter leur flottabilité! Elles contiennent jusqu'à 70% de lipides (poids sec)

L'hémi-graben de Baringo-Bogoria

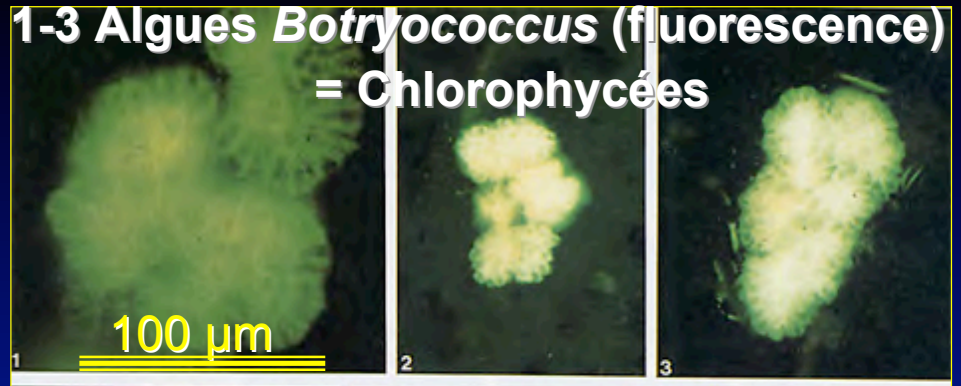
Rift Gregory Kenya
989m altitude, ± 30km²
profondeur max: 11,50m

30 000 d'histoire sédimentaire

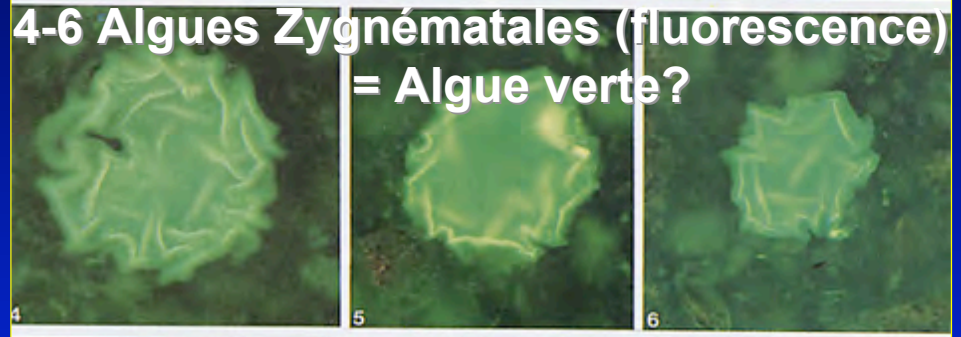
Carottages de 0 à 16 m
[entamés en 1977…]

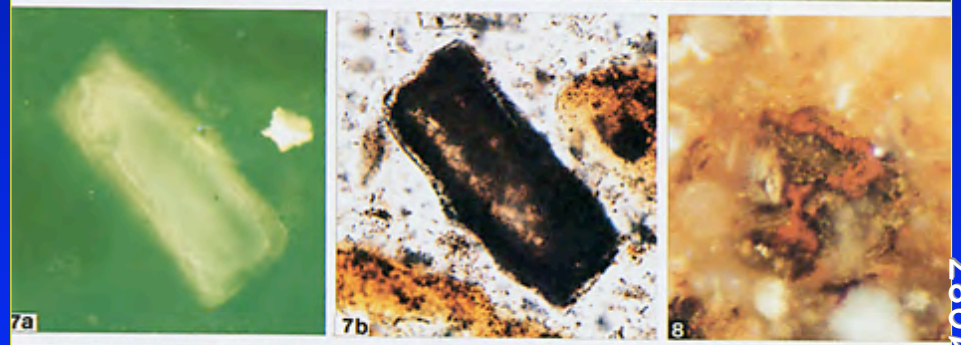


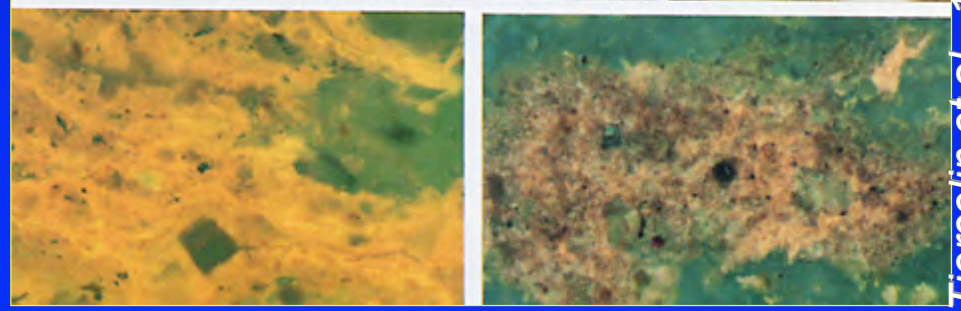
1-3 Algues *Botryococcus* (fluorescence) = Chlorophycées



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







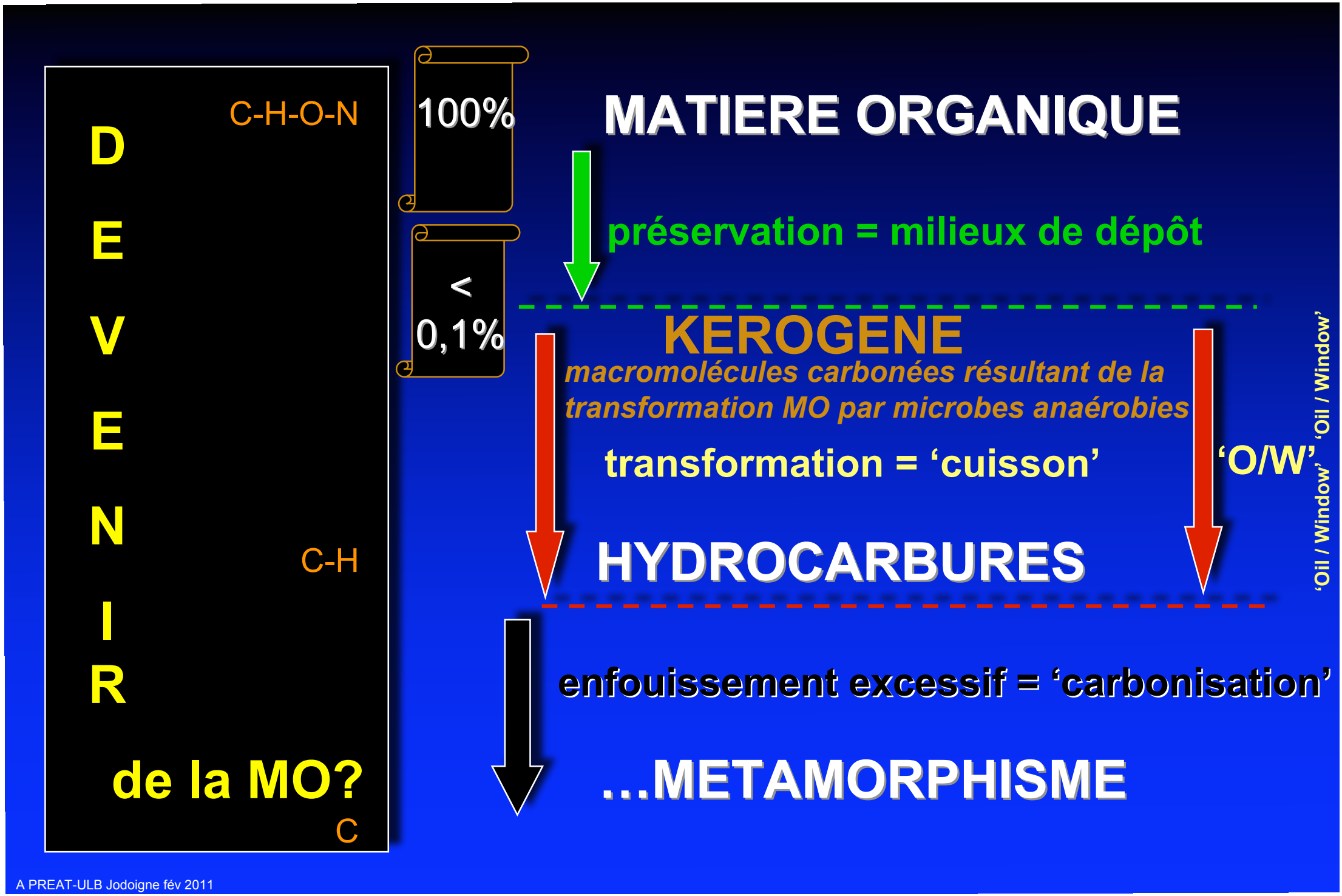
Tiercelin et al., 1987

+ Diatomées

Finalement la biomasse est composée d'un petit nombre de grands groupes d'organismes

Les planctons marin et lacustre **= Algues microscopiques avec 50% protéines, 25% carbohydrates, 5% lipides**
[les Diatomées sont beaucoup plus riches en lipides]
Les bactéries **= surtout 'eau' + protéines, et jusqu'à 10% de lipides formant les HC C_{10} à C_{30}**
Les plantes supérieures terrestres **= 30 à 50% cellulose, et 15 à 25% de lignine avec pour certaines de très abondants lipides**

La matière organique issue du plancton, des algues et des bactéries, sédimente sur place ou sur la même verticale = AUTOCHTONE
La matière organique issue des plantes est amenée dans les bassins de sédimentation (vent, fleuves..) = ALLOCHTONE


DEVENIR de la MO?
C-H-O-N
C-H
C
100%
< 0,1%
MATIERE ORGANIQUE
préservation = milieux de dépôt
KEROGENE
macromolécules carbonées résultant de la transformation MO par microbes anaérobies
transformation = 'cuisson'
'O/W'
'Oil / Window'
'Oil / Window'
HYDROCARBURES
enfouissement excessif = 'carbonisation'
…METAMORPHISME

Les combustibles fossiles sont le résultat d'une minuscule 'épargne' de MO à partir d'immenses cycles (...)

HC

= 10.000 milliards de tonnes de carbone fossile

accumulée en ± 500 Ma, soit 20.000 t/an
qui échapperaient aux cycles de la Vie
[sur les 5.500 milliards disponibles, soit $0{,}5.10^{-6}$/an]

O_2

POURQUOI SI PEU?
car l'oxygène est presque partout et les micro-organismes aérobies biodégradent la matière organique morte [si pas d'O_2 libre, les bactéries 'anaérobies' vont le chercher dans les SO_4, NO_3….]

quand l'oxygène libre et combiné sont épuisés,
LA CONSERVATION DE LA M.O. DEVIENT INFINIE!

pour former une roche-mère il faut conserver la matière organique

PAS EVIDENT …

à la mort des organismes 99,9% du C est recyclé dans la chaîne alimentaire

il reste 0,1% qui s'échappe
et est piégé dans les sols et les sédiments

…et pour qu'une roche (ancien sédiment) devienne une roche-mère
elle doit contenir au minimum 2% de matière organique

en moyenne		roches-mères
sédiments << 0.5% M.O.	⟷	2-10% ou >

POUR CELA IL Y A TROIS POSSIBILITES… 1, 2, 3

OU CELA A T'IL LIEU? = dans des milieux très confinés

où l'oxygène de l'air n'a pas accès…

sédiments fins et compacts des fonds de mer ou de lacs

1. Embouchure fleuve tropical, delta….

Deltas du Niger, du Mississippi, du Gange, de Mahakam…

2. Zones d'upwelling

Pérou (cf pêche vs EU), SO Afrique (Angola), Baie de Walvis, Côtes du Chili et de Californie…

Il se forme un sédiment très riche contenant 4 à 7% de matière organique.

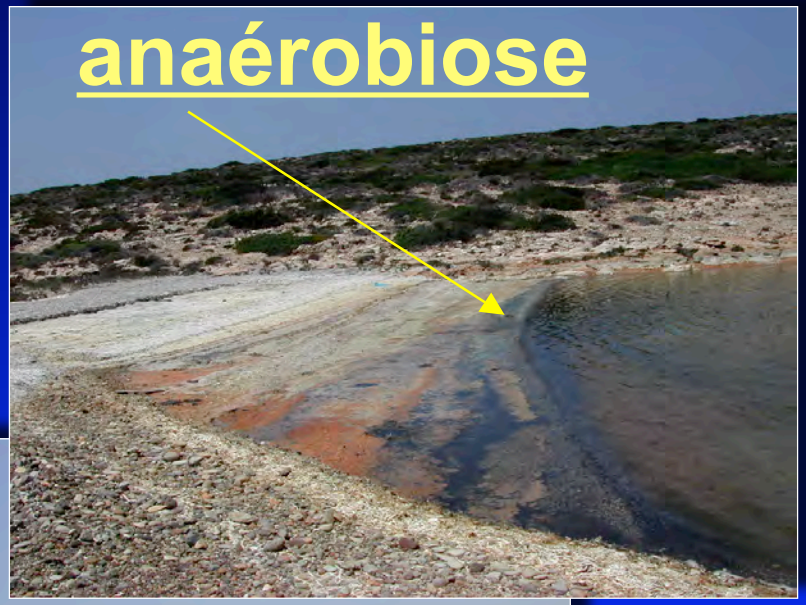
3. Anaérobioses

Mer Noire, Mer Baltique, Caspienne, Golfe de Californie, Lagune de Maracaibo…

Ex: Mer Noire >3% MO et >0,2g C/m²/j

HERBIERS à POSIDONIES

Cyclades, Grèce, 2003



Il faut à la nature un min. de 1 à 2 Ma pour former 1 l de pétrole et au minimum 10 Ma pour constituer un GISEMENT

sédiment réduit

Préat, 2003

RENDEMENT…!

un chiffre méconnu …

POUR OBTENIR UN LITRE D'ESSENCE,
IL AURA FALLU QUE 23 TONNES D'
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

CONCLUSION

ROCHE MERE = CONDITION NECESSAI

le kérogène est le précurseur des HC

= DEGRADATION

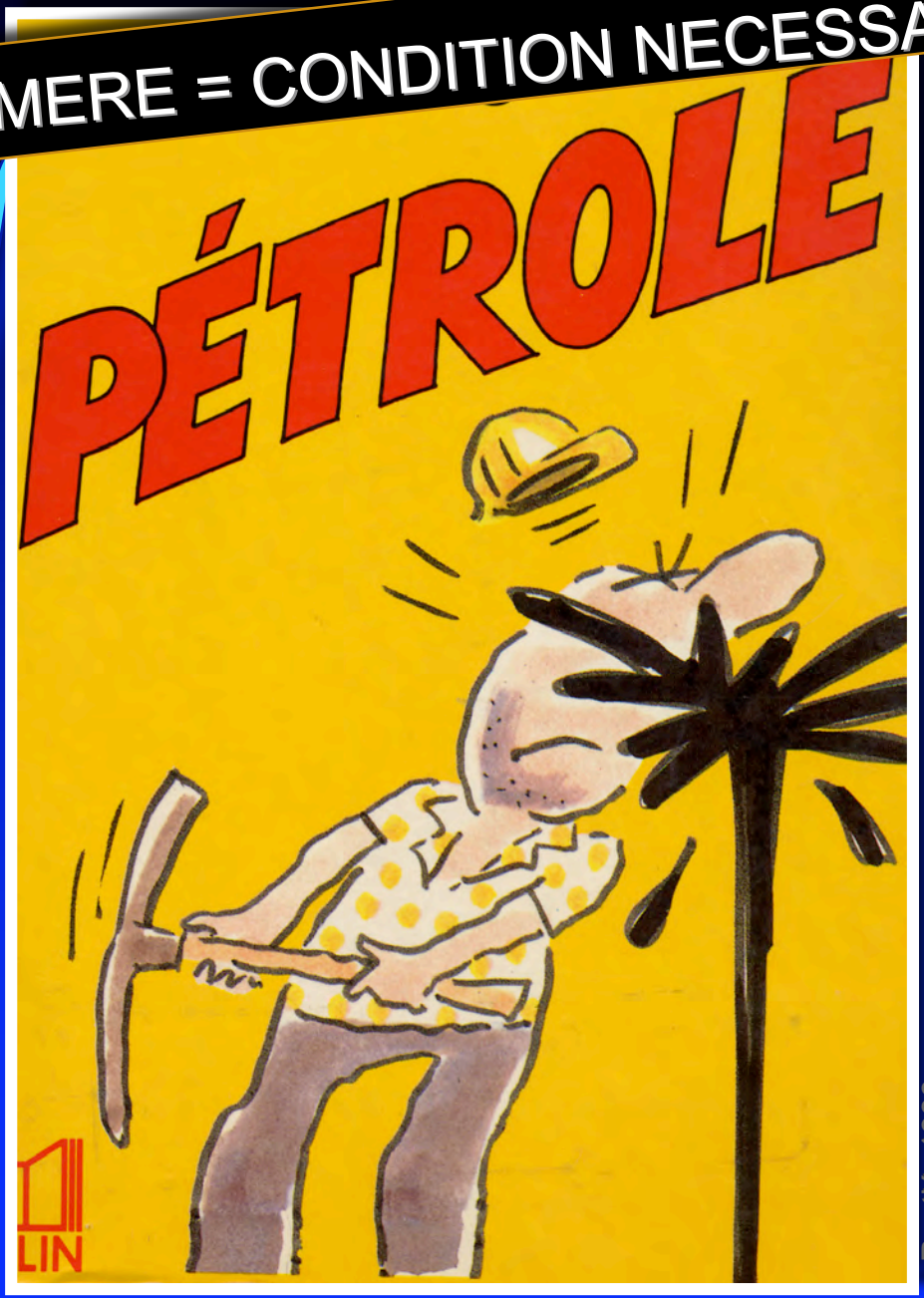
POLYCONDENSATION

INSOLUBILISATION

de la MO attaquée par les micro-organismes

[bactéries et fungi]

dès les premiers cm d'enfouissement



e n s u i t e . . .

DEGRADATION THERMIQUE du KEROGENE

GENESE DU PETROLE = DIAGENESE + CATAGENESE

DIAGENESE

CATAGENESE

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

de la chaleur (T° = 10'-100'°)

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**

A PREAT-ULB Jodoigne fév 2011

DU KEROGENE AU PETROLE…

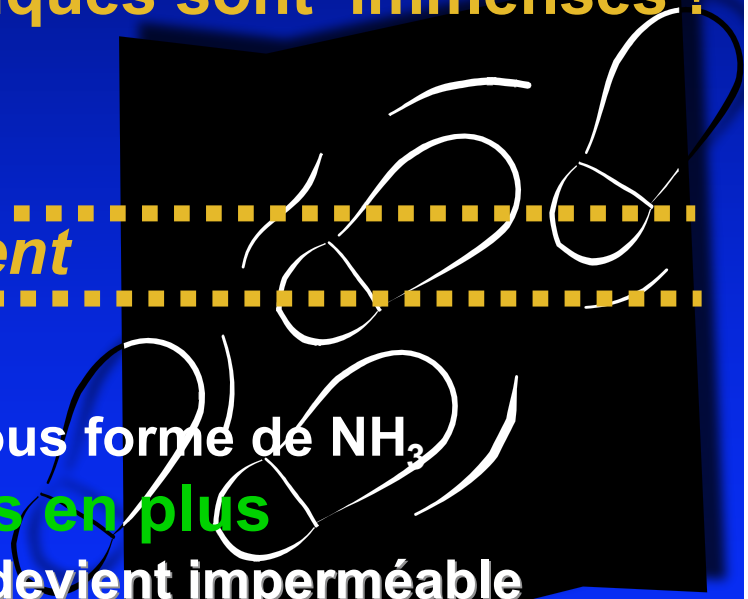
DIAGENESE

la M.O. [=le kérogène] 's'enfonce' suite à la subsidence…

PAS TRES VITE = de 0,005 mm/an à un MAX de 0,5 mm/an

soit entre 5 m et 500 m par million d'années

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



suivons 'pas à pas' cet enfouissement

- de -3 à -10m: milieu 'abiotique'

-en qq 10'm le kérogène perd tout son azote sous forme de NH_3

- ensuite le sédiment s'enfonce de plus en plus

-la pression augmente, le sédiment compacté devient imperméable

-l'eau intersticielle est expulsée, une faible partie reste dans les pores

-la température augmente doucement

DIAGENESE

DU KEROGENE AU PETROLE…

…pas de problème… les temps géologiques sont ‘immenses’!

- **-600 m, 41°C ‘chaleur douce’**

-le kérogène se décompose, le CO_2 s’en va (décarboxylation), l’H_2O 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…

DIAGENESE

CATAGENESE

…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 petits ‘morceaux’ qui dépassent des grosses molécules de géopolymère

c’est la CATAGENESE càd …

…la formation du PETROLE

le ‘jus’ de kérogène mature et donne donc le pétrole

km0

km±1,5

±6Ma

±12Ma

km±4

km±7

DIAGENESE

ZONE IMMATURE
CH_4 biogénique
CO_2, H_2O

CATAGENESE

GAZ HUMIDES O:W

METAGENESE

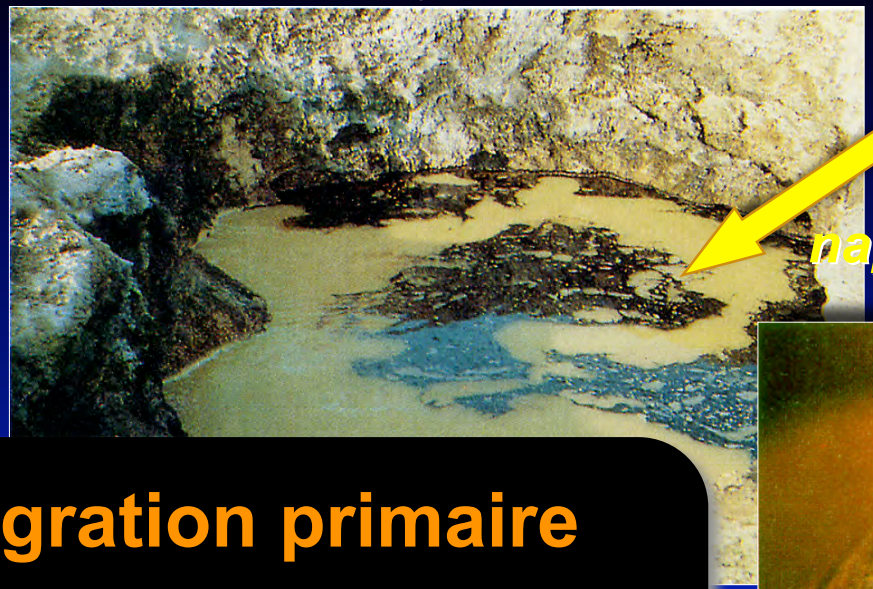
GAZ SECS

les huiles formées sont en C_{18}-C_{40}

METAMORPHISME

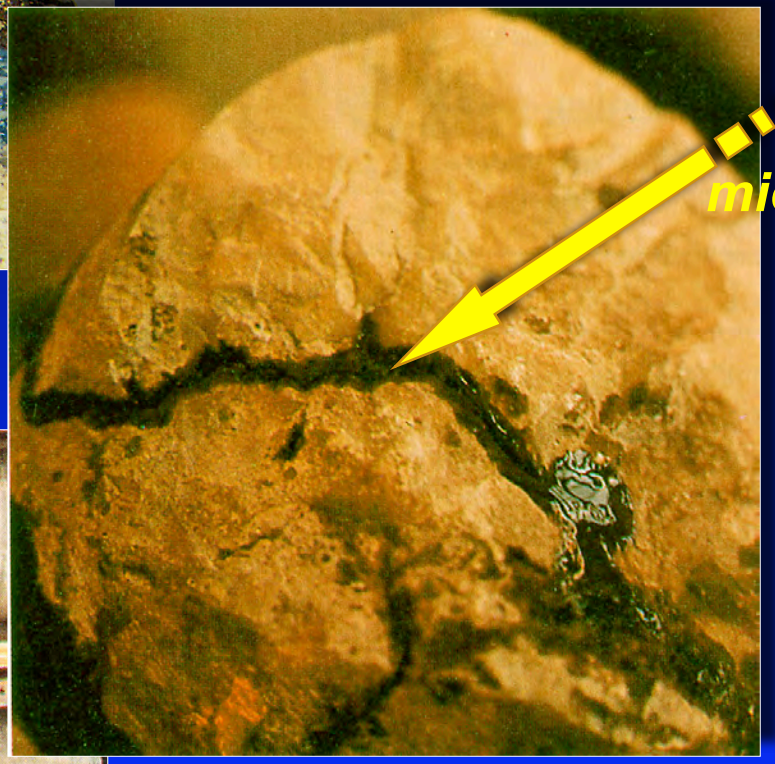
[...300°C]
'GRAPHITE'

bien souvent, cela débute…



nappe

… par des suitements naturels d'hydrocarbures

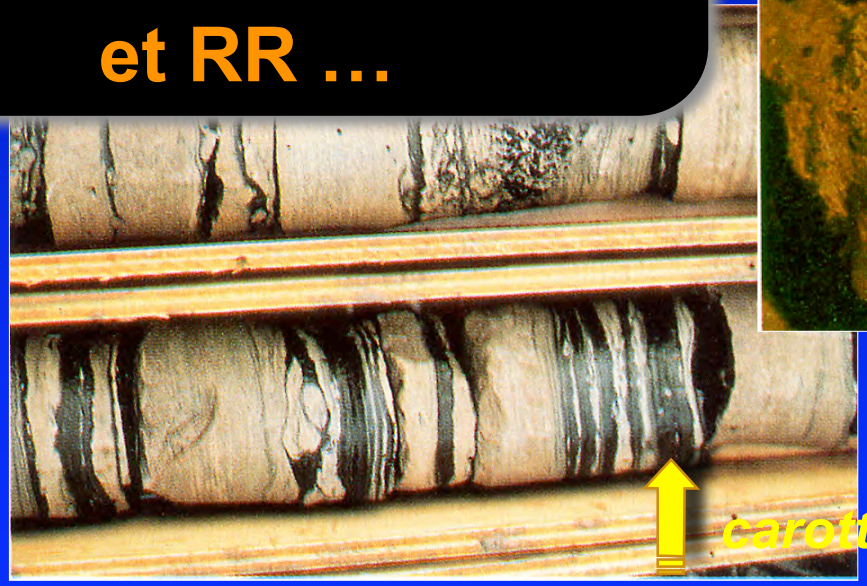


microfracture

Migration primaire

Migration secondaire

et RR …



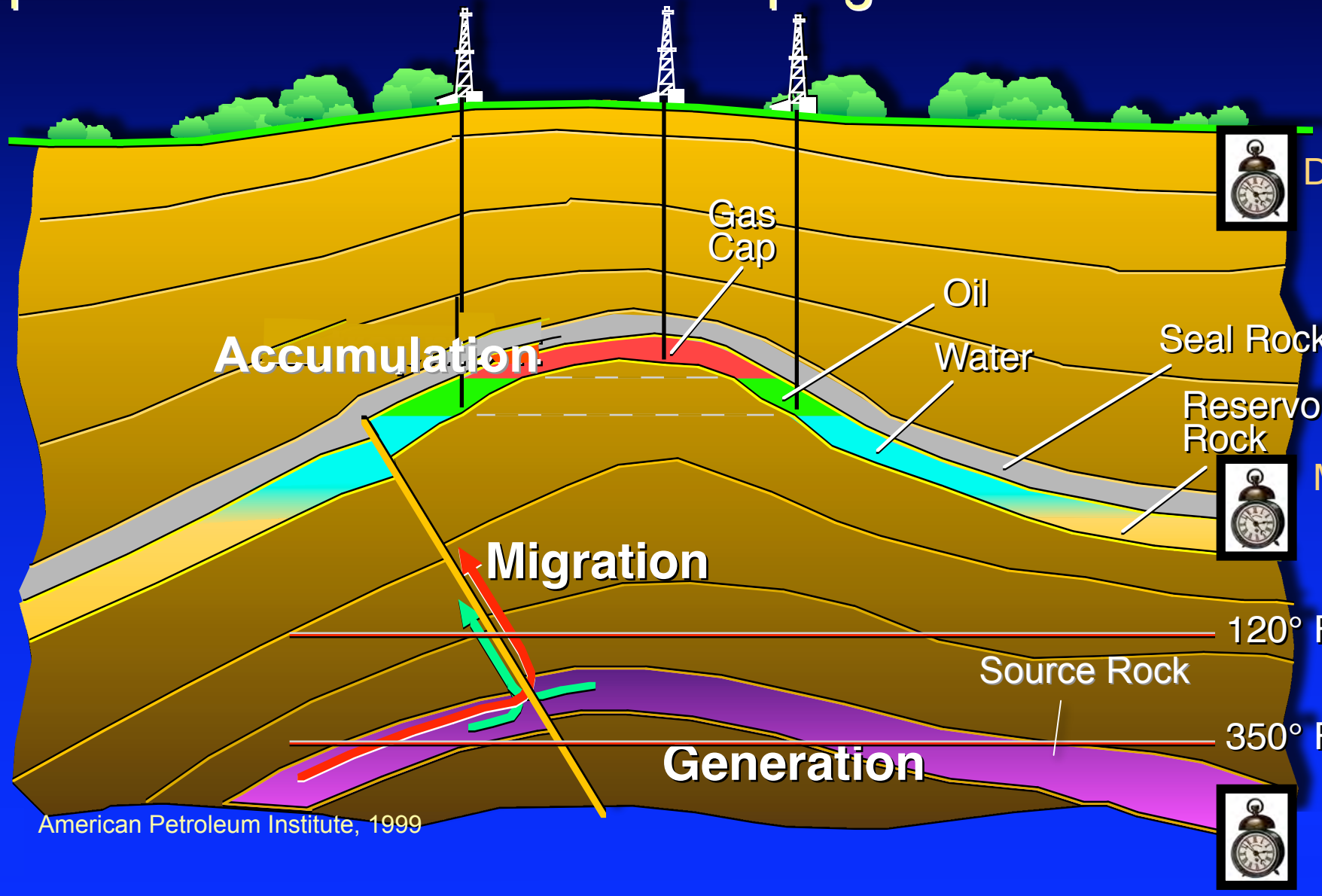
carotttes de forage

… par des 'oil shows'

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

Processus dans Systèmes Pétroliers

Le pétrole s' accumule dans des pièges structuraux fermés



Dysmigration

Migration IIr

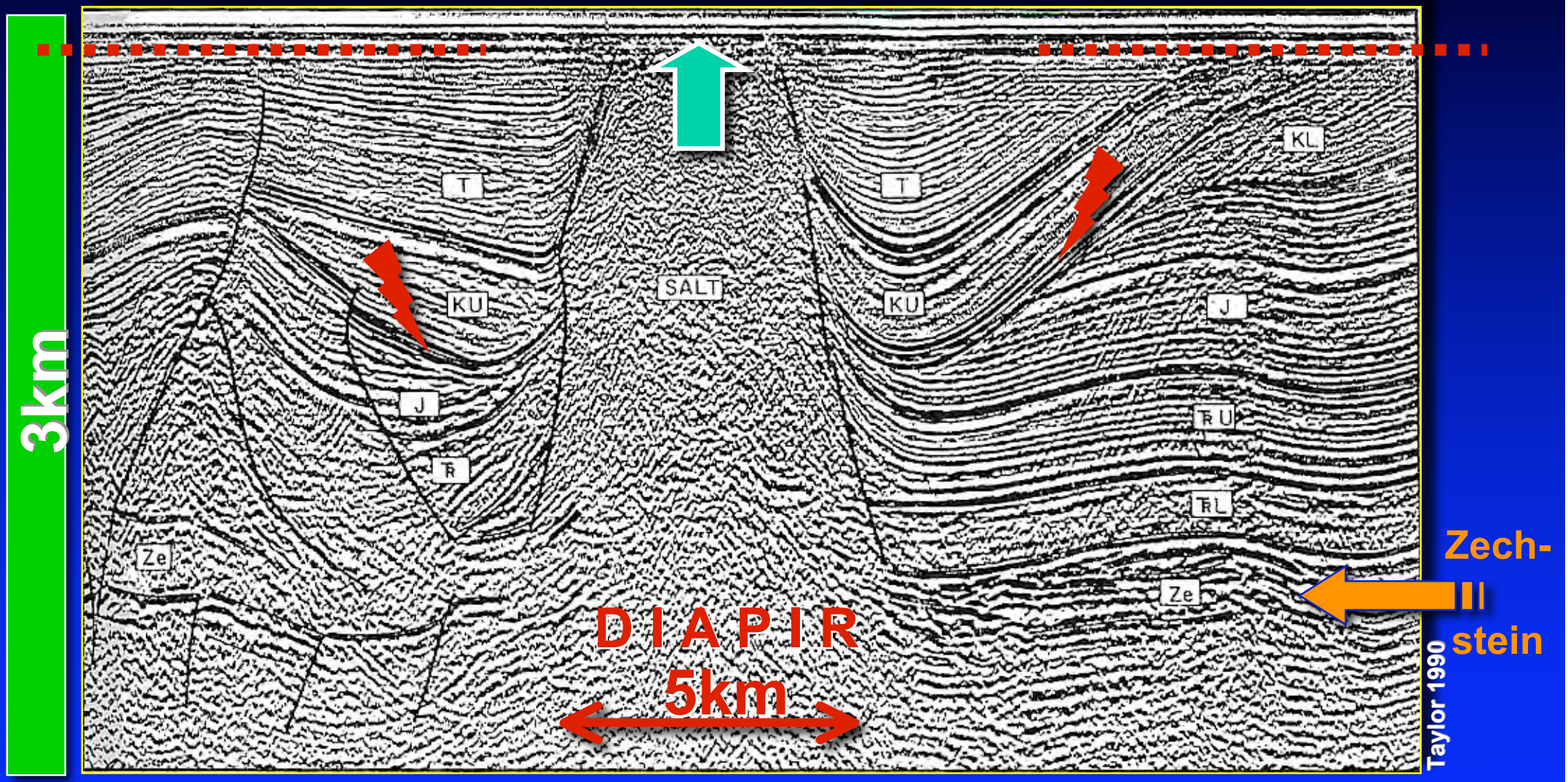
60-65°C

175°C

Migration Ir

Profil sismique réflexion, Mer du Nord

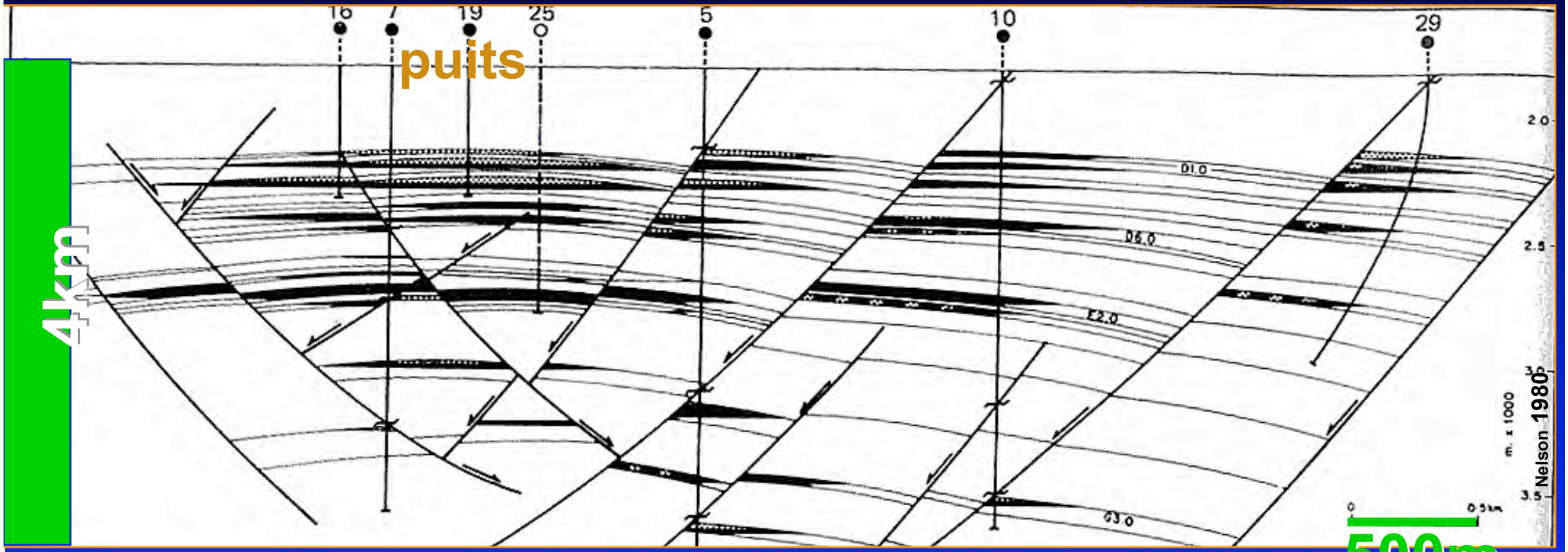
[25kmX3km, résolution ± 15 m]



Zechstein = gde mer épicontinentale Pm sup [245Ma]

Halocinèse Crétacé - Tertiaire inférieur [135-55Ma]

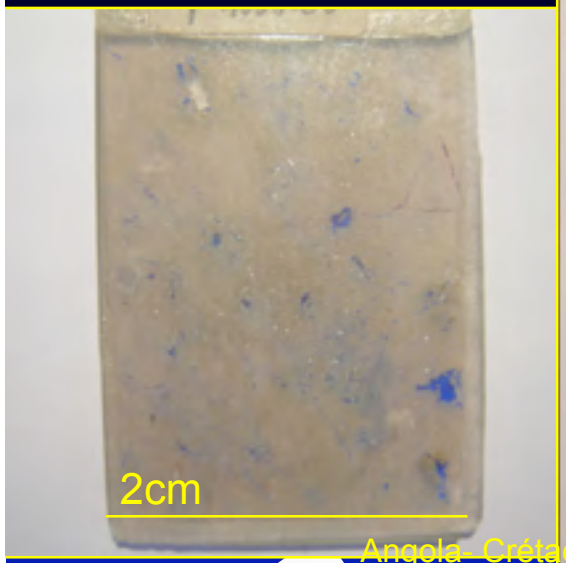
Pour une bonne interprétation structurale, l'espacement sismique doit être proche de la plus petite distance entre les failles…

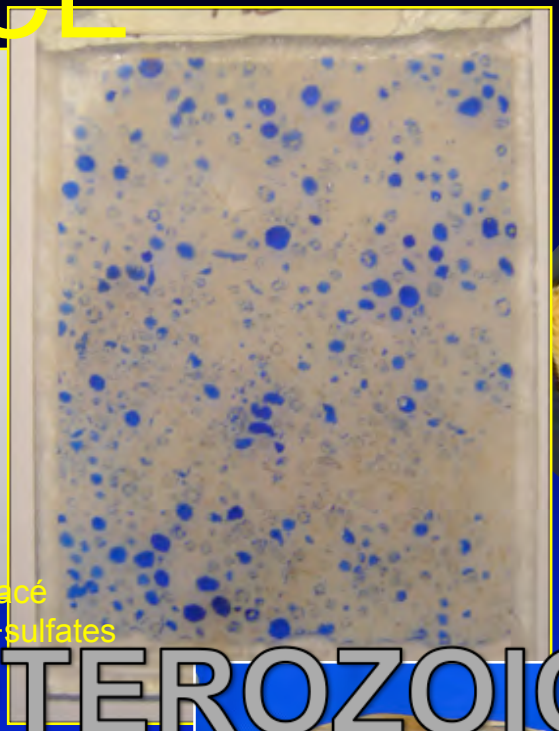


'Nembe Creek Structure' = anticlinal complexe 15kmL X 6kml [Nigeria]
fortement faillé (réseaux conjugués) ===> blocs faillés

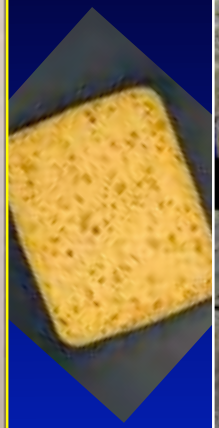
NET OIL SDST = 11 intervalles totalisant 145 m
NET GAS SDST = 8 intervalles totalisant 87 m

CRETACE





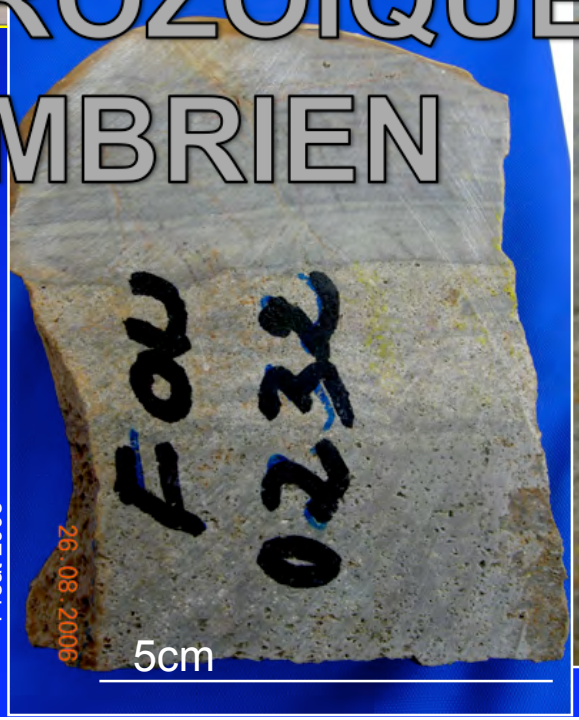
Angola- Crétacé
Oolites-oncolites+sulfates



Gabon- FOU-232

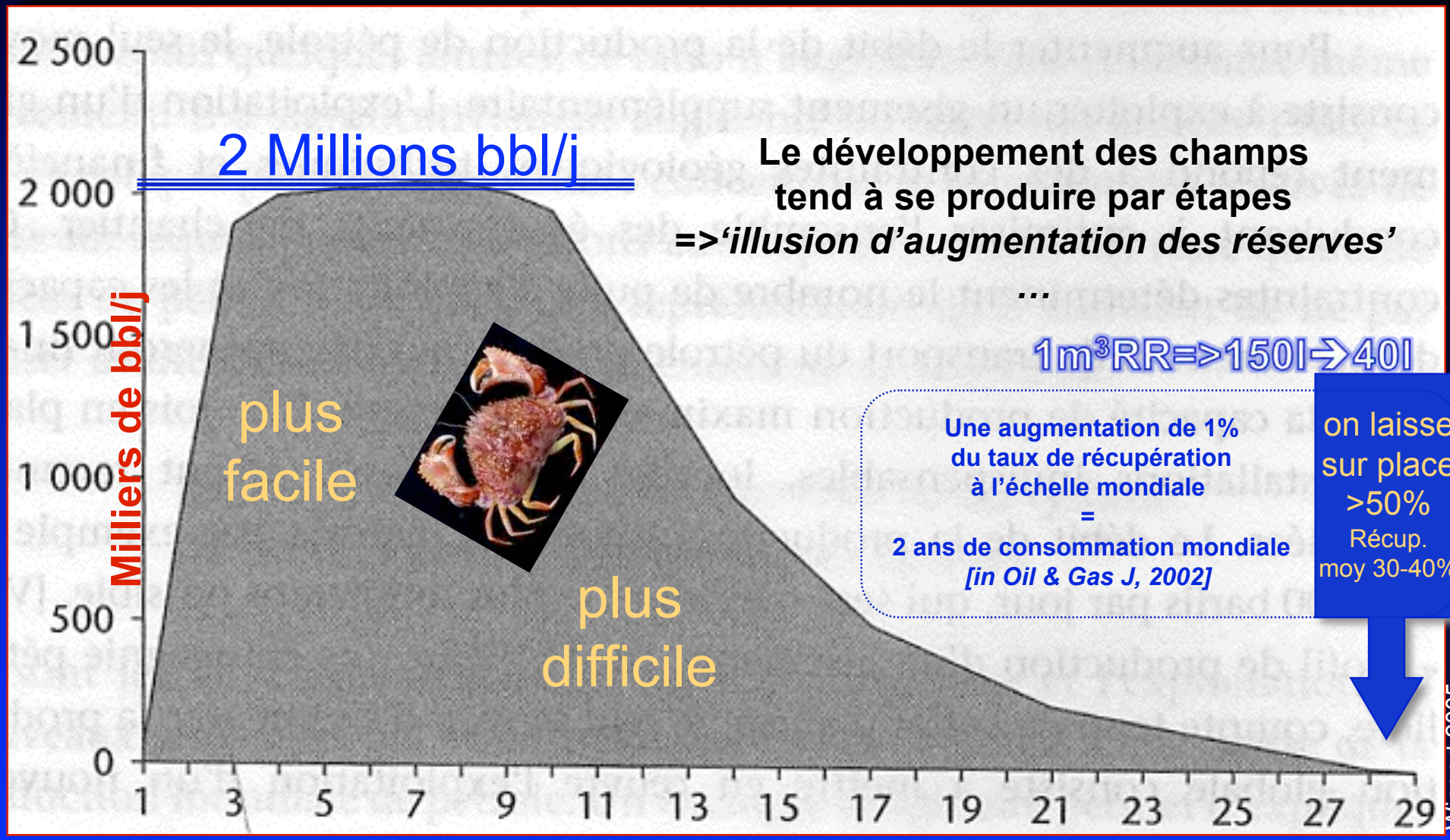
NEOPROTEROZOIQUE
= PRECAMBRIEN

Gabon NDE-1065



Préat 2008

PROFIL TYPE DE PRODUCTION D'UN GISEMENT



Le développement des champs tend à se produire par étapes
=>*'illusion d'augmentation des réserves'*
…

1m³RR=>150l→40l

Une augmentation de 1% du taux de récupération à l'échelle mondiale = 2 ans de consommation mondiale *[in Oil & Gas J, 2002]*

on laisse sur place >50%
Récup. moy 30-40%

Oil c
20%
15-35
5-10
Σ40-(65)

Oil nc
15%

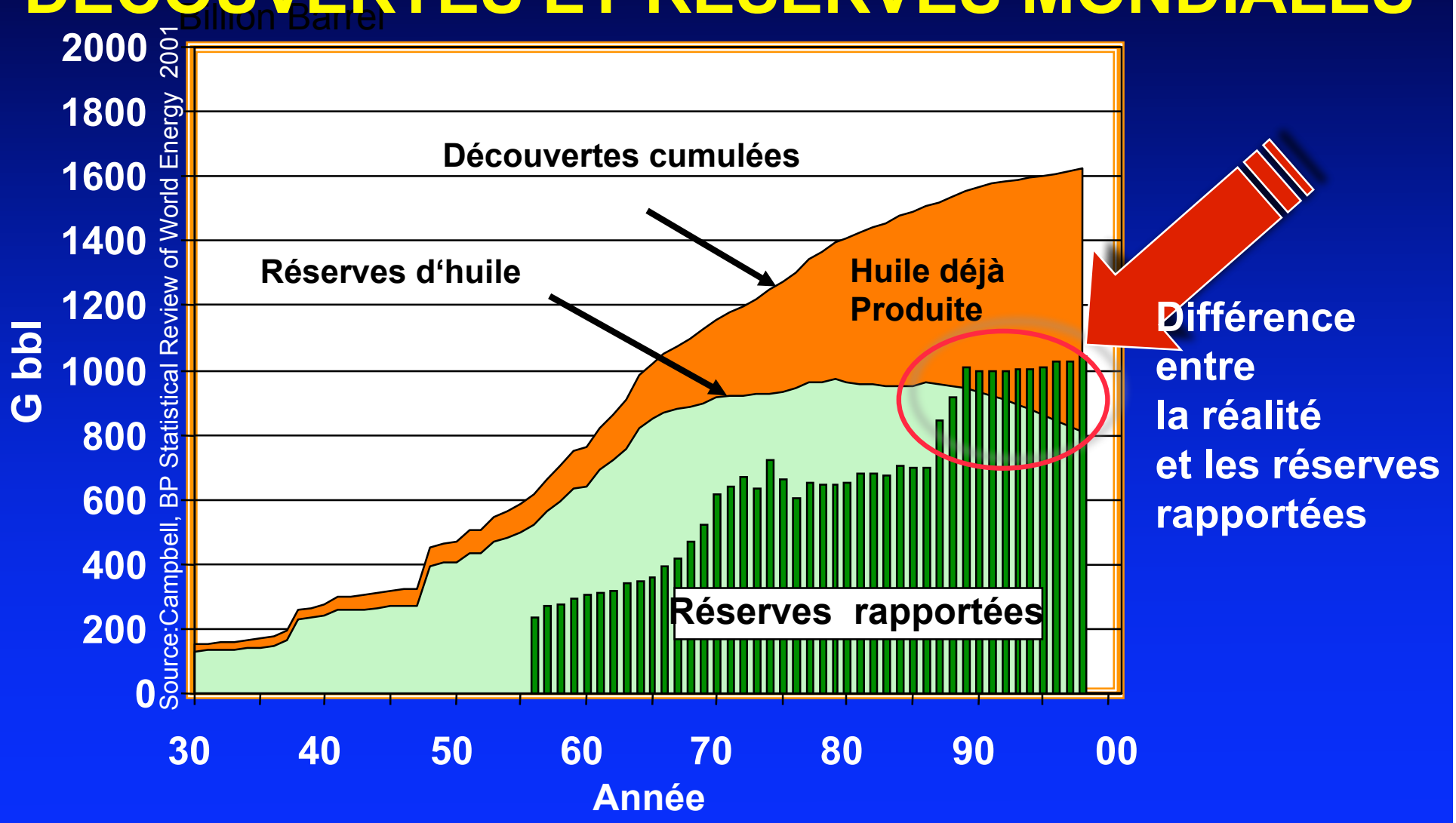
Oil shale
60-70%

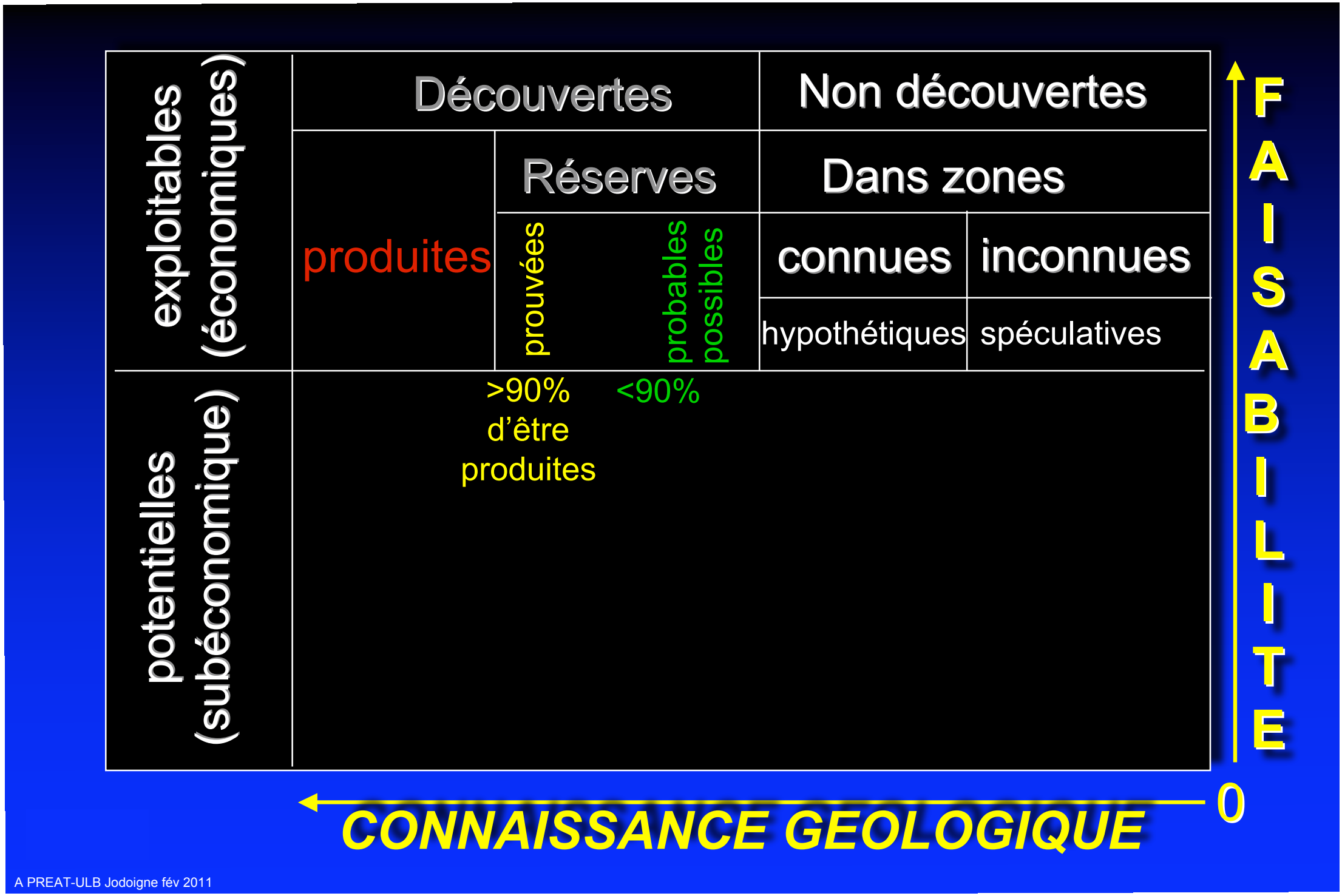
Gas
75%

Ex. d'un champ géant de 10 Gbbl étalé sur 30 ans avec un maximum de 2 Mbbl/jour. La courbe n'est pas symétrique…

La diminution de la pression est de 12,5% (moy)/an en Mer du Nord (analyse de 77 champs)
Le taux global de déclin 'mondial' est de 5 à 6%...

DECOUVERTES ET RESERVES MONDIALES




exploitables (économiques)
potentielles (subéconomique)
Découvertes
Non découvertes
Réserves
Dans zones
produites
prouvées
probables
possibles
connues
inconnues
hypothétiques
spéculatives
>90% d'être produites
<90%
FAISABILITE
0
CONNAISSANCE GEOLOGIQUE

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

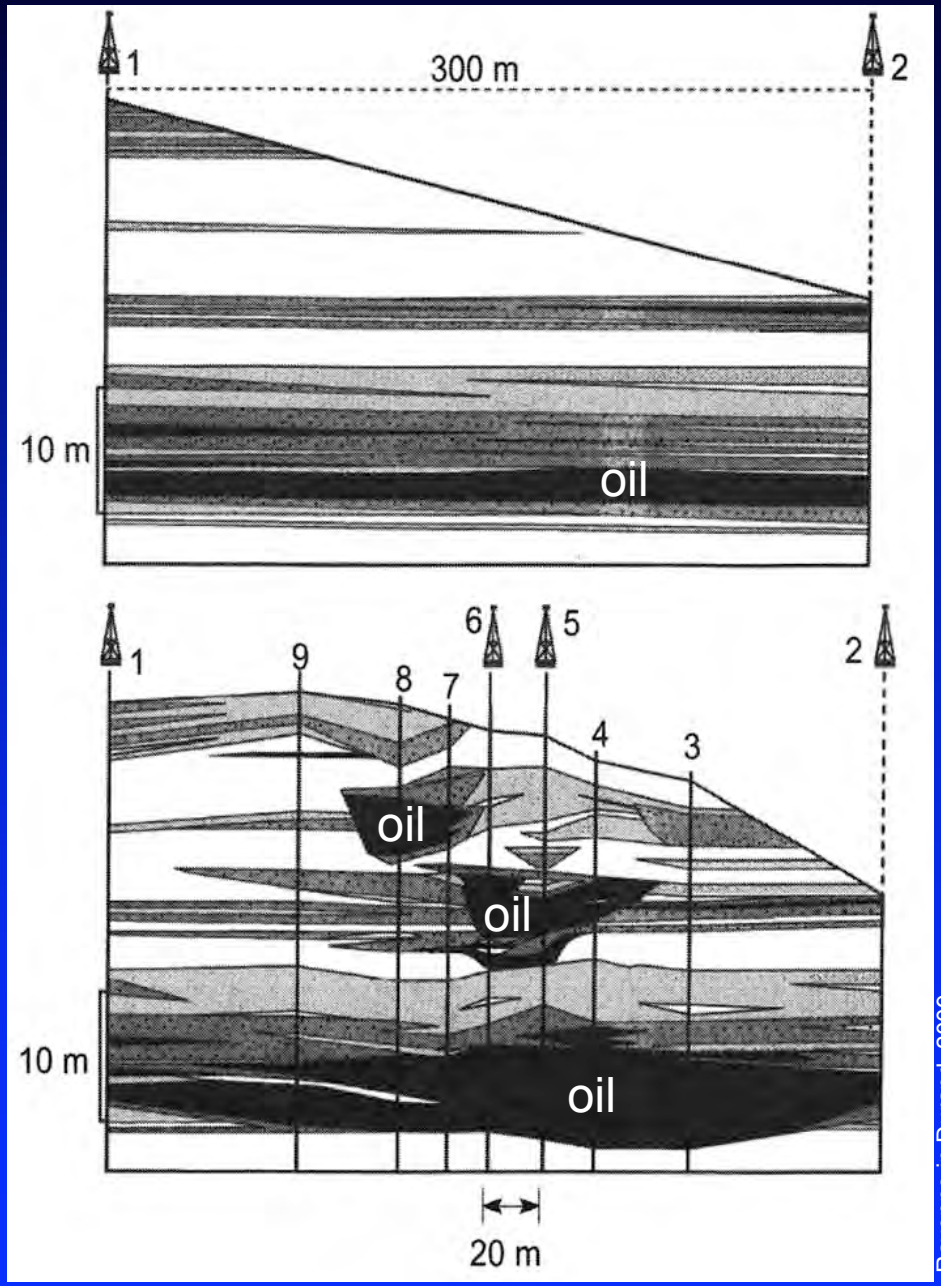
= > 50% … d’être réalisées

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

= > 10% … d’être réalisées

LA REGLE DES 3 ‘P’ [prouvées-probables-potentielles]

Cas d’un corps gréseux
(géométrie, porosité....)



Ravenne in Durand, 2009

2 forages
Modèle peu réaliste (ici)

probables?

9 forages supplémentaires
Modèle plus réaliste (ici)

prouvées

FINALEMENT

< 100 $ ... >100$

concept fluctuant (technique, économie)

volume fixe difficile à évaluer

RESERVES PROUVEES

RESERVES ULTIMES

RESSOURCES

on passe de l'un à l'autre dans les deux sens

Les réserves développées prouvées: le poisson est dans votre barque, vous l'avez pesé. Vous pouvez le sentir et vous allez le manger. **Les réserves non développées prouvées**: le poisson a mordu à l'hameçon et vous êtes prêt à le sortir de l'eau. Vous pouvez même en évaluer la grosseur (il a toujours l'air plus gros dans l'eau que dans la réalité!). **Les réserves probables** : Il y a des poissons dans le lac. Vous en avez même pêchés hier. Peut-être même pouvez-vous les voir, mais vous n'en avez pas attrapés aujourd'hui.

Les réserves possibles: Le lac existe. Certains vous ont même dit qu'il recèle des poissons. Mais votre barque est toujours sur sa remorque et vous préférez aller jouer au golf.

In Legault A 2007

Pourquoi?

INCERTITUDES GEOLOGIQUES ET …?

Exemple Récent
En 2002, BP annonce que les gisements inexploités de la Caspienne [prospectée en 90'] ne recélaient pas 200 G bbl comme espéré MAIS 39 G bbl d'un pétrole de mauvaise qualité! [trop de soufre] = géologie et bassins sédimentaires
nb 200 Gbbl = total USA, 220 = Russie, 75 = Europe, MO = 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 bbl en trop!

nb les réserves détenues par les Cies pétrolières = 'seulement' 5 à 15 %

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 aggressives et optimistes….’

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

Réserves = Incertitudes Géopolitiques...

The Oil Market's Future in the Long Term ...

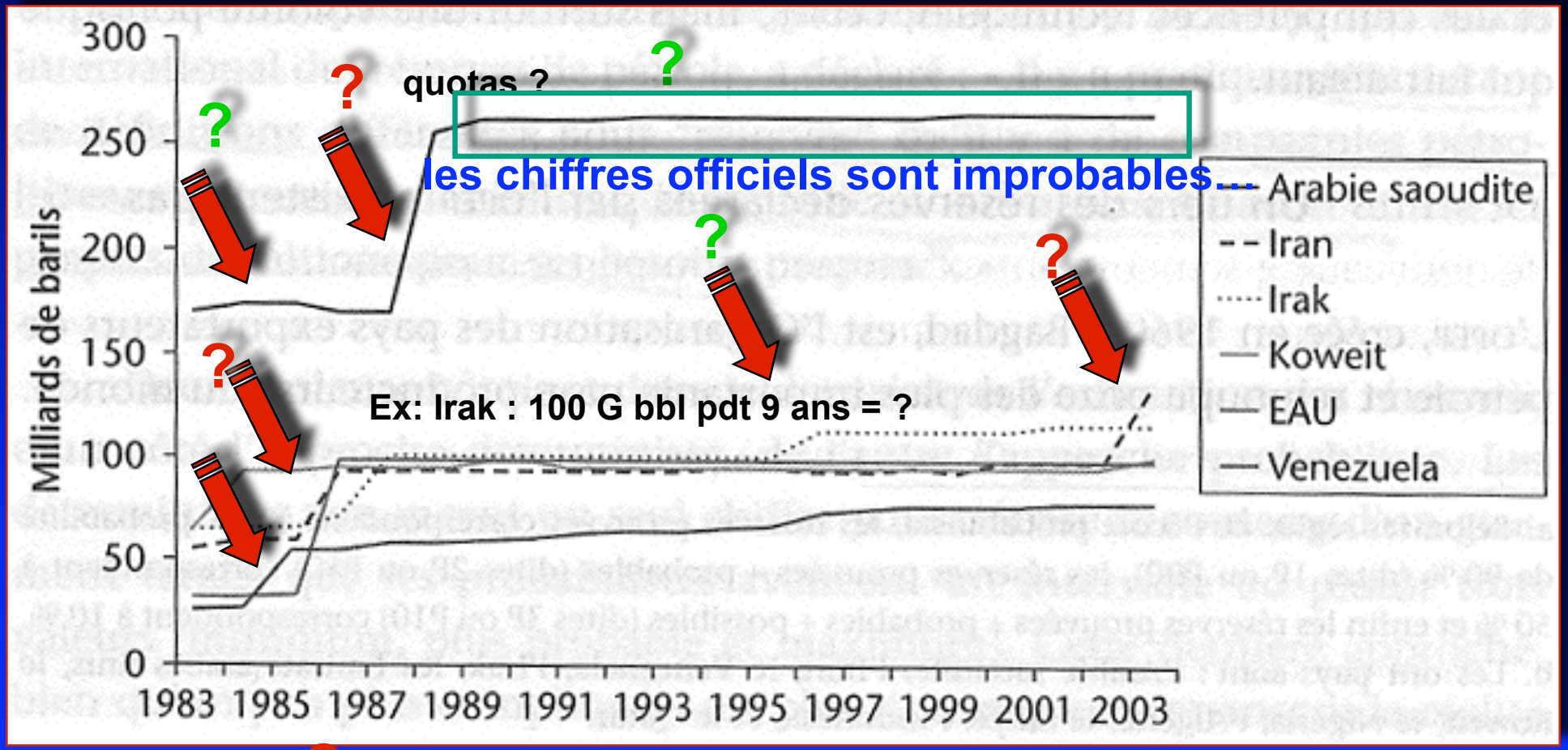
All numbers are wrong...
that much we know.

THE ONLY QUESTION IS:
BY HOW MUCH?

RESERVES DECLAREES DES PRINCIPAUX PAYS 'OPEP'

? Hausses soudaines des réserves annoncées fin 80'

? Montant des réserves inchangé sur de longues périodes
comme si les nouvelles découvertes compensaient TOUJOURS la production…



? Hausses après contre-choc pétrolier de 1986

[effondrement bbl = :2! = 'paper barils', finalement existaient vraiment!]

Réserves = Incertitudes Technologiques...

ultime

Planète 20G bep

10G c

5 à 10G Récupérable

Rés Prouv 2,2G

Rés Prouv 1995-2025 1,2G bbl

Croissance Rés Prouv 2005-2025 0,73G bbl

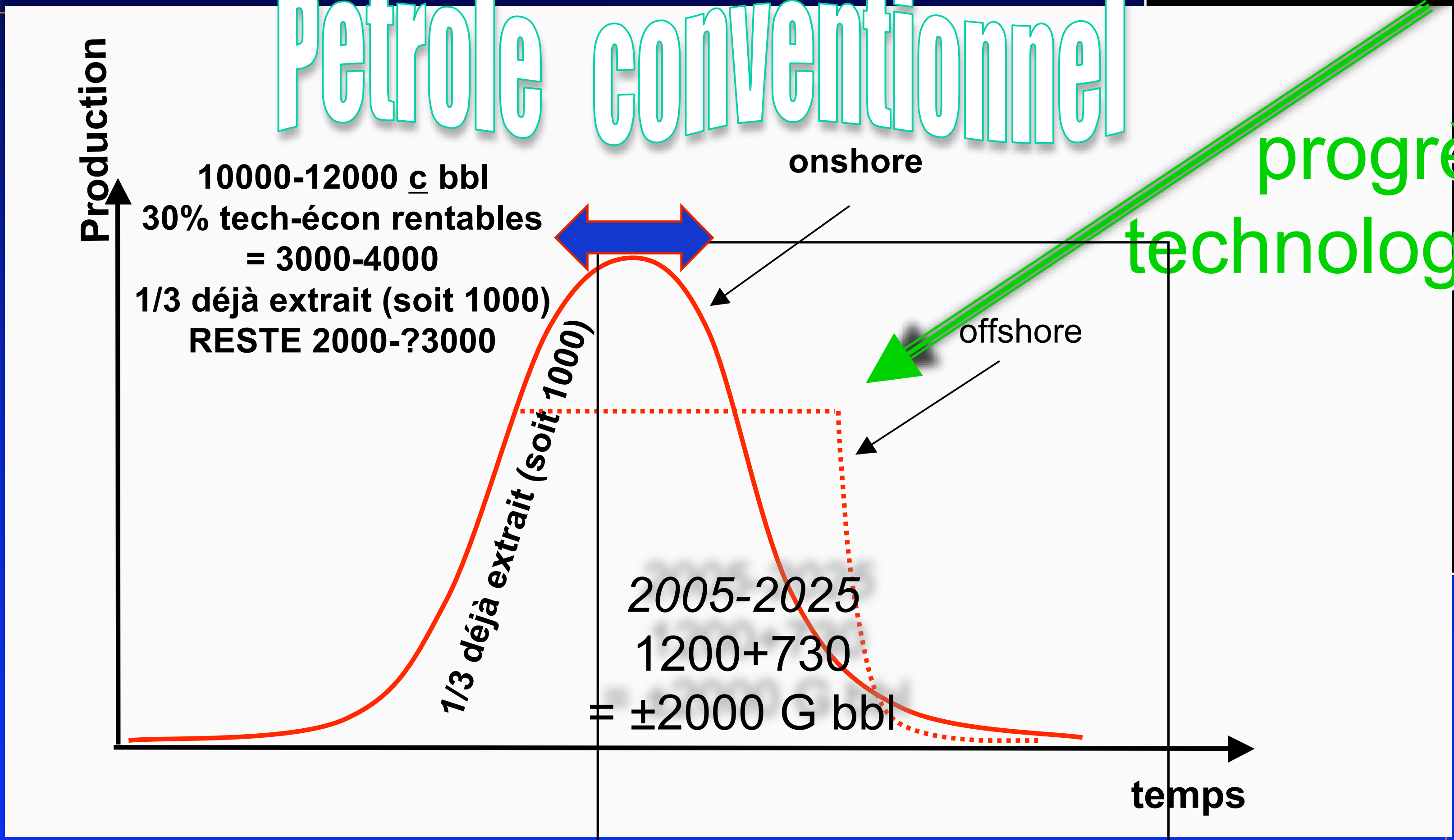
x10³

x10³

AIE 2005, IEO 2005 etc

Production d'huile: la courbe en cloche

Pétrole conventionnel



progrès technologiques

Exemples: Forages Etendus et Forages Horizontaux

+...

Forages ‘Etendus’ (directionnels ou hztaux)

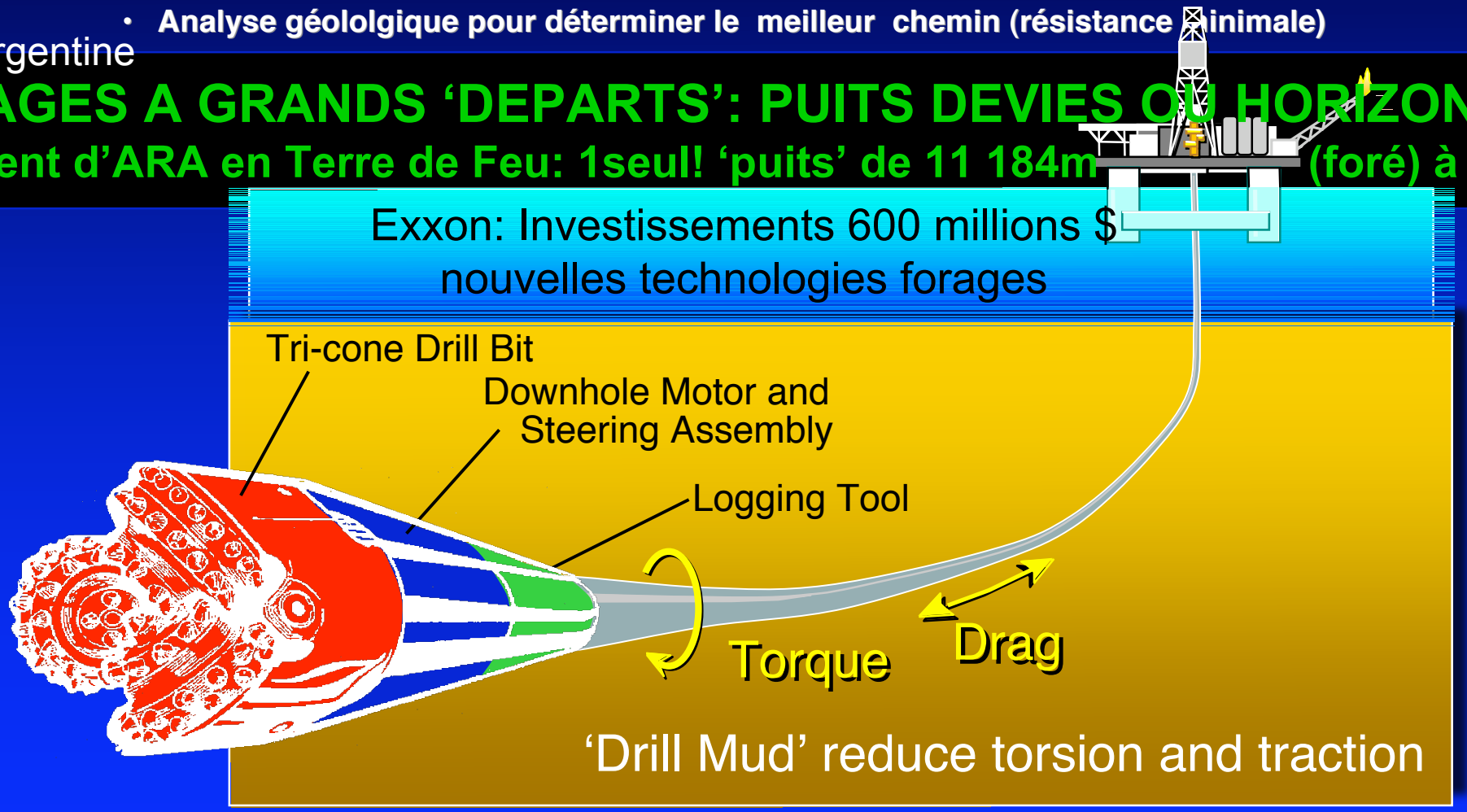
La technologie permet des gains dans les puits plus difficiles

- Diminution de la friction
- Analyse géololgique pour déterminer le meilleur chemin (résistance minimale)

1998-Argentine

FORAGES A GRANDS ‘DEPARTS’: PUITS DEVIES OU HORIZONTAUX

gisement d’ARA en Terre de Feu: 1seul! ‘puits’ de 11 184m (foré) à 1 695m

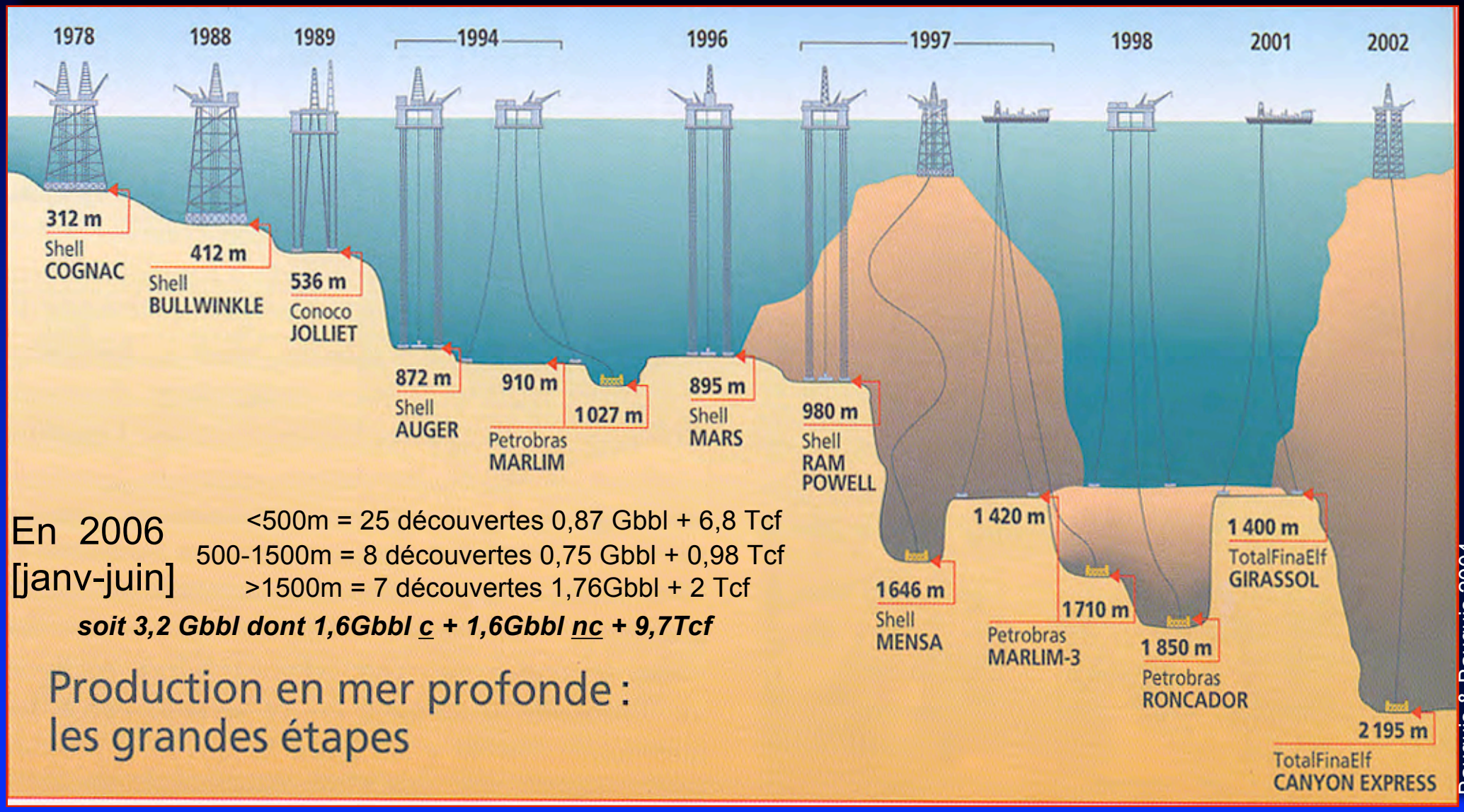


1891? premiers essais …

1985: premier puits [craie, USA]-1990 = 1500 puits [Monde]-2000 = ± 20.000puits [id]

A PREAT-ULB Jodoigne fév 2011

VERS L'ULTRA-PROFOND > 3000 m



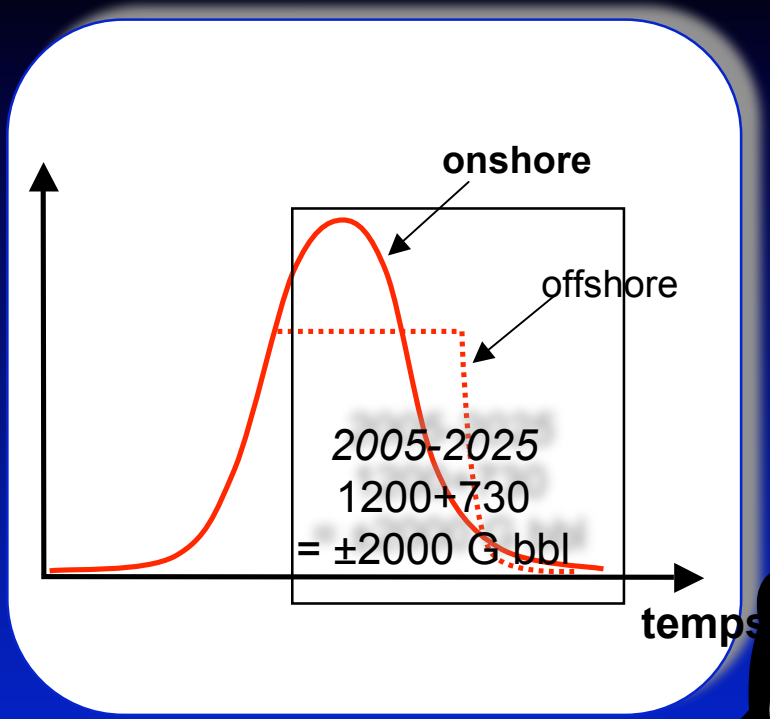
En 2006 [janv-juin]

<500m = 25 découvertes 0,87 Gbbl + 6,8 Tcf
500-1500m = 8 découvertes 0,75 Gbbl + 0,98 Tcf
>1500m = 7 découvertes 1,76Gbbl + 2 Tcf

soit 3,2 Gbbl dont 1,6Gbbl c + 1,6Gbbl nc + 9,7Tcf

Production en mer profonde : les grandes étapes

En 2000, l'offshore 'profond' >200m représentait 20%
En 1970, il représentait un peu moins de 5%



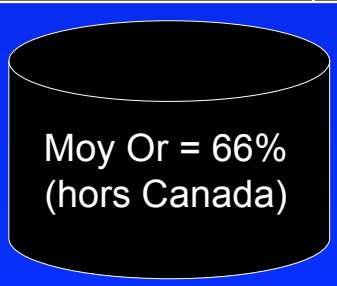
POURQUOI?
voyons les chiffres…

…des réserves mondiales PROUVEES

PETROLE c

Réserves Prouvées 2004/2005 [±5%?]

Rés Prouvées	Oil Gb	%	Gas %
Arabie Saoudite	267,9	20,7	3,8
Canada	183,0	14,1	< 1
Iran	128,7	9,9	15,3
Irak*	117,7	9,1	1,8
Koweit	101,3	7,8	< 1
Emirats Ar Unis	100,1	7,7	3,4
Venezuela	79,6	6,1	< 1
Russie	61,4	4,7	26,7
Libye	36,8	2,8	< 1



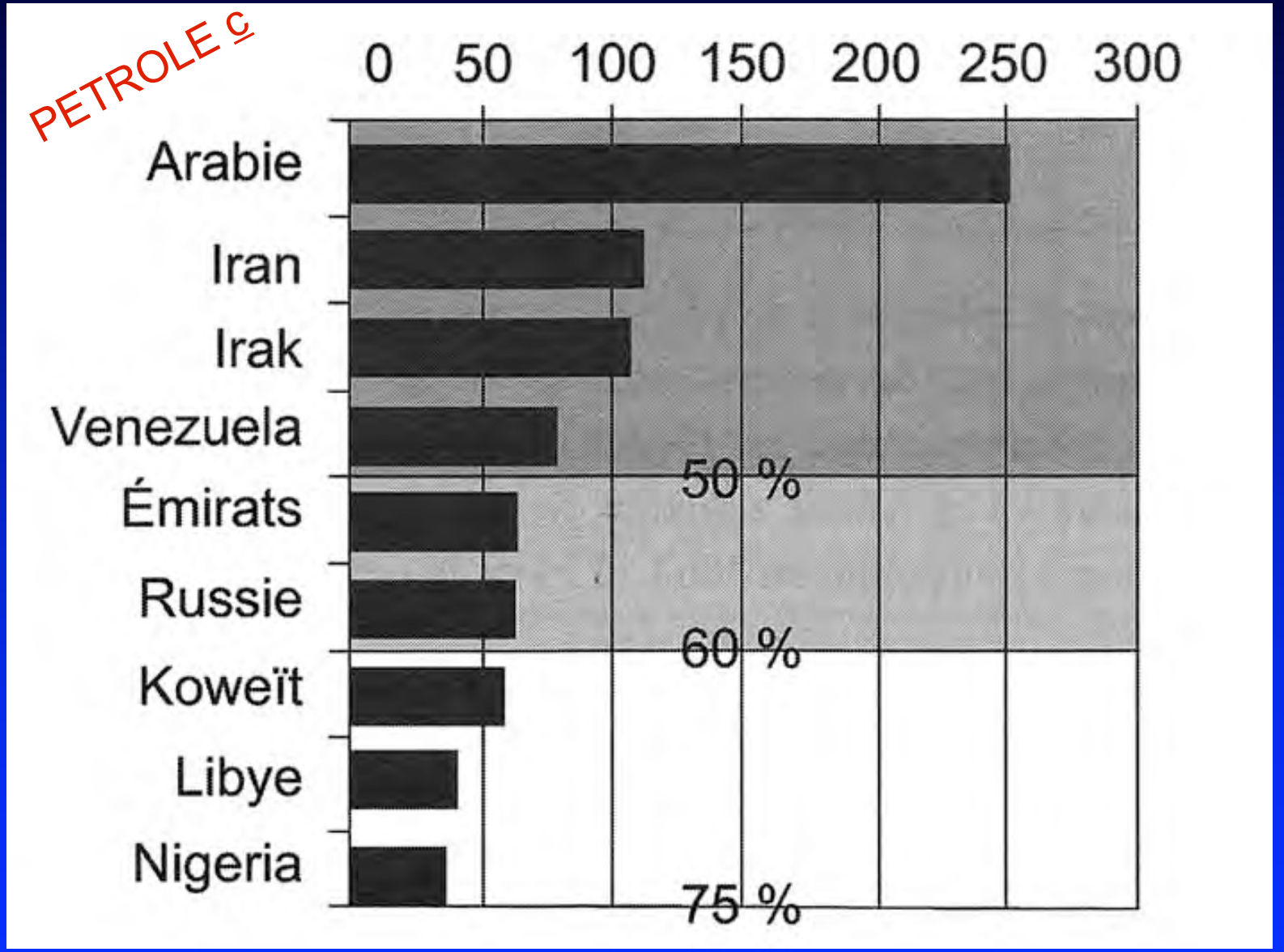
Rés Prouvées	Oil Gb	%	Gas %
Nigeria	25,6	2,0	2,8
USA	23,2	1,8	2,9
Chine	18,7	1,4	< 1
Mexique	16,0	1,2	1,8
Norvège	10,7	0,8	1,3
Algérie	8,7	0,7	2,5
Qatar			14,5
Australie			2,3
Indonésie			2,1

Réserves 1P mondiales: 1200 G bbl c soit+79% 1980-2005

Images Econ du Monde 2005

Les neuf pays possédant 75% des réserves prouvées

PETROLE c



Mathieu IFP in Durand 2009

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

PETROLE nc (taux de récupération 10 à 20%)
[±7000Gb 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

2008
600Gbbl? récupérables
20 à 50 ans production
porosité 11-12%
Alberta: 600 cies (oil)
prix revient 2008: 40$
>70$ avec la crise!

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

Moyen Orient + Russie = ±2/3 Gaz
[Producteurs Gaz 2008: 1 Russie, 2USA, 3Canada, 4 Iran]

scénario le plus probable du futur (P90)

	épuisement dans		Réserves ULTIMES = hors technologie et économie actuelles
PETROLE c	40 ans	min.	120-140
GAZ	70 ans		150-300
CHARBON	227 ans		<400
CLATHRATES	?10x Oil c		+nc 120-130

Bobin et al., 2001; Ngô, 2002

2000': les combustibles fossiles représentent, 80 à 90 % de la consommation d'énergie primaire commerciale mondiale

ASPO

L'ANNEE 2010: LA PLUS SOUVENT AVANCEE POUR LE PIC DE LA PRODUCTION PETROLIERE c

[Gaz ± 2030..., Charbon entre 2035 et 2055...]

ensuite c'est l'année 2020...

(USGS = 2037)

OPEP

'MAJOR'

K Deffeyes (U. Princeton, expert pétrolier à la suite de K Hubbert) Thanksgiving Day 2005 EST LE JOUR du pic pétrolier mondial avec 1000,6 G bbl produit depuis le début de l'ère du pétrole!

CLASSEMENT DES PAYS PAR LEUR POTENTIEL ENERGETIQUE

	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

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

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

Renardet 2004

11 Allemagne (surtout charbon), 12 Iran (surtout gaz), 13 Ukraine (charbon), 14 Irak (pétrole), 15 Pologne (charbon) 16 Qatar (gaz), 17 Koweit (pétrole), 18 Emirats arabes (pétrole-gaz).

Total n°18 = 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$ bbl/an!

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

SCENARIO PROBABLE A MOYEN TERME = XXIè s

1. **Optimiser la production dans les zones matures**

   auj: 70% prod. mondiale = champs mis en production il y a > 20ans

   (sismique 4-D, ré-entrées par drains hztaux)

2. **Champs marginaux et satellites situés à proximité des connus**

   auj: on profite des infrastructures existantes + gisements difficiles HP/HT

3. **Offshore profond et ultraprofond**

   •profond = >500m, 30% prod. mondiale en 2004 avec 2000 puits, 30.$10^6$$km^2$, seulement 5% de permis,
   TRIANGLE D'OR: BRESIL-MEXIQUE-ANGOLA(NIGERIA), 80% RR identifiées par 500-1500m d'eau

   •ultraprofond = 1500-3000m (300bars), 8% prod. mondiale en 2010?,

4. **Zones arctiques (polaires)**

5. **Pétroles nc**

   sables asphaltiques (bitume) et huiles extralourdes = oxydation bactérienne

   + schistes bitumineux = MO incomplètement transformée

   ===> taux de récupération 2004 = 8% ===>?25% en 2020

   ===> en 2004: différence prod. bbl Mer du N et huiles nc Orénoque = 3$/bbl

TECHNOLOGIE...

Exemples 'historiques'

1. au milieu des années 1980, le coût technique de production d'un bbl de pétrole en mer par > 200 m de fond était estimé à 13-15$

===> en 2005 = 5 à 7$

2. Le taux de récupération qui ne dépassait pas 20% dans les années 1960 est maintenant de 30%. Le passage de 30 à 38%, réalisable dans les 25 années à venir permettrait d'accroître les réserves de 500 G bbl

... soit l'ordre de grandeur
de l'ensemble des réserves détenues par l'Arabie Saoudite...!

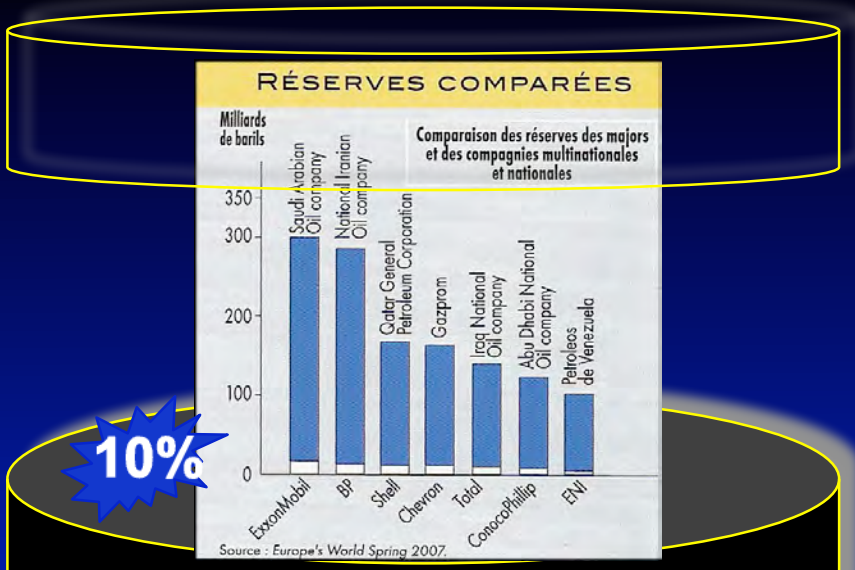
etc…

MOYEN TERME

‘Force de frappe des *majors* (multinationales)’

			G $ [2002]
1	Wall-Mart *USA*	distribution	233,3
	ExxonMobil *USA*	pétrole	191,7
	General Motors *USA*	automobile	178,2
	Royal Dutch Shell *PB/UK*	pétrole	171,2
	BP *UK*	pétrole	170,5
	Ford *USA*	automobile	155,1
	Daimler-Chrysler *All/USA*	automobile	149,5
	General Electric *USA*	conglomérat	125,6
	Toyota *Jap*	automobile	119,8
	Mitsubishi *Jap*	automobile	103,0
	Total *France*	pétrole	102,5
	Mitsui *Jap*	chimie	102,3
13	Chevron Texaco *USA*	pétrole	94,0

in A Nonjon 2007



Les 5 premières Cies mondiales d’HC
= ±1000 G $
- = > 10è PIB mondial
- Shell plus puissant que l’Autriche (n°20)

En 2006: Exxon-Mobil = major 1
avec 450 G $ (>PIB Belgique ±393 G $)

en 2004 : les 15 premières Cies pétrolières avec > 1500 G $ environ le PIB Chine (n°7)

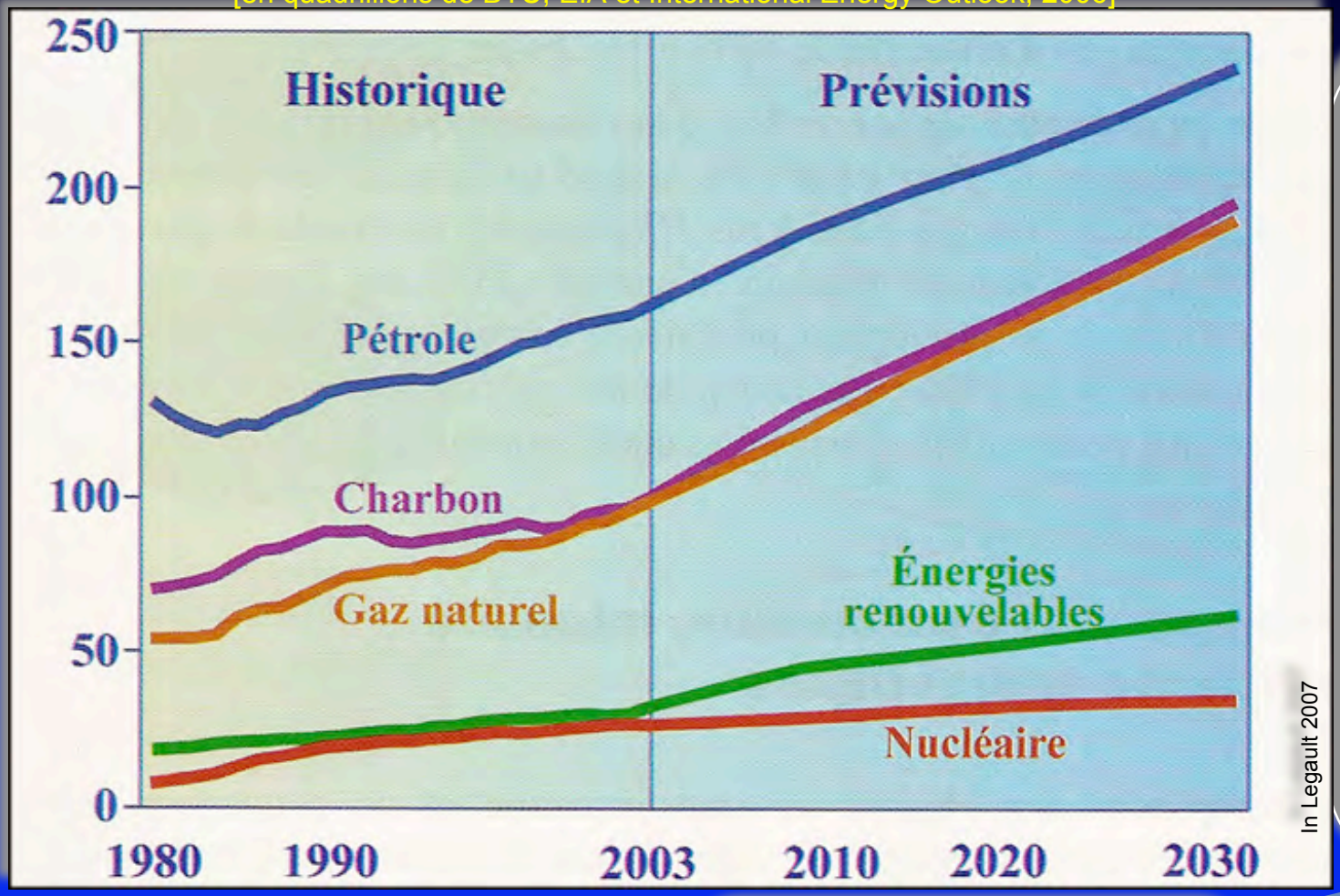
CONCLUSION

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

http://www. peakoil.net

CONSOMMATION MONDIALE ENERGIE PRIMAIRE

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



AUJ. 2011

1.RETARD D'INVESTISSEMENT

[Raffinage....]

2. DEMANDE DURABLE

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

3. INSTABILITE Z. PRODUCTRICES

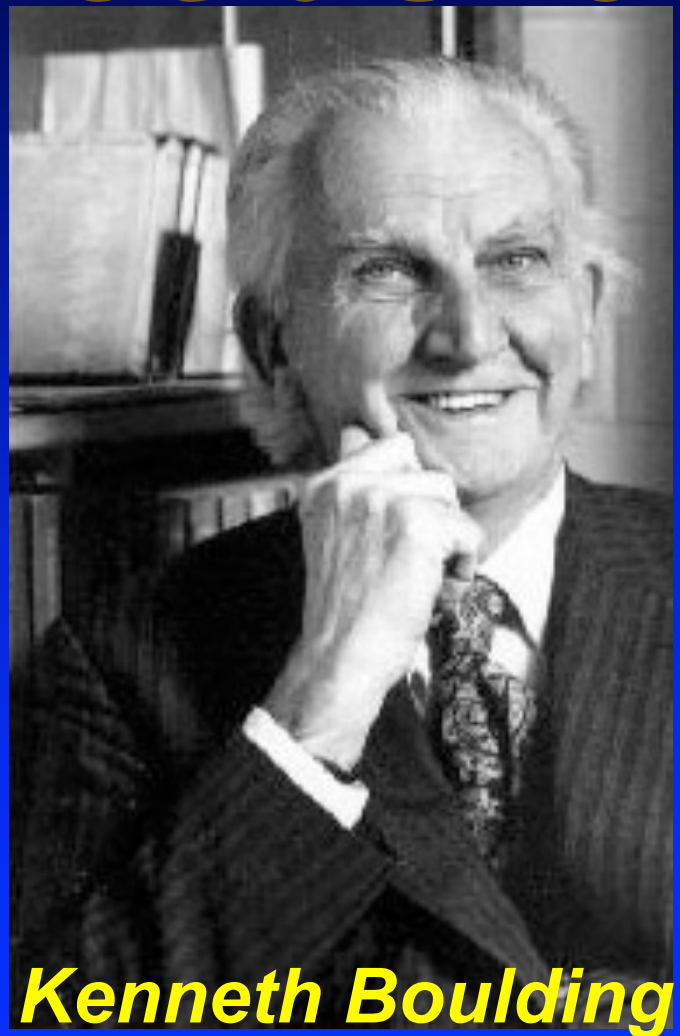
Chine... 150 aéroports
Malaga... 400/j

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

+ 71 %
en
27 ans

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

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 »