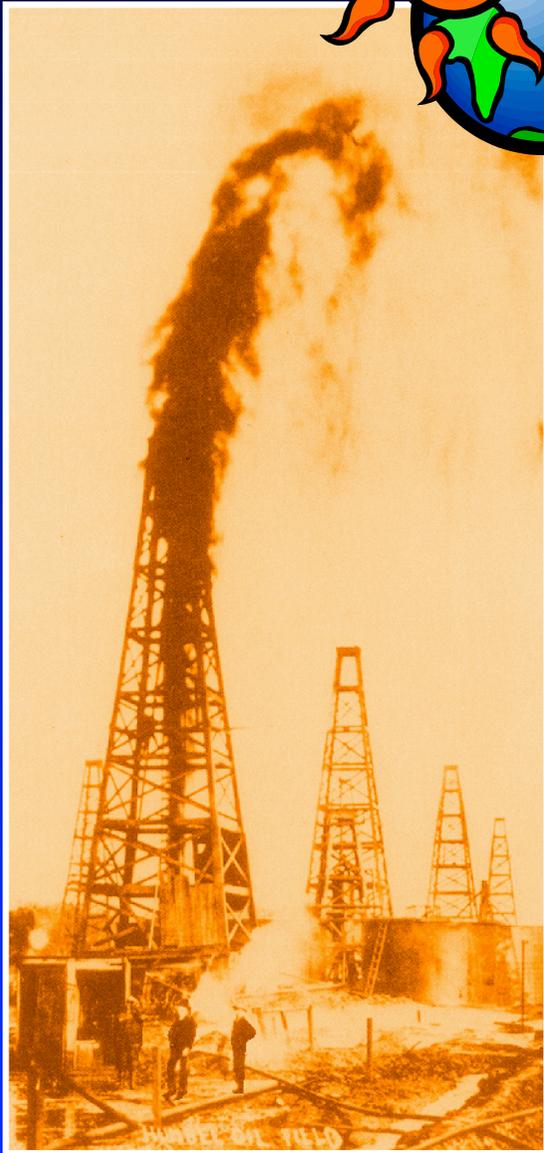


Gestion de l'énergie. La quadrature du cercle!



**L'ERE DU PETROLE
POUR COMBIEN DE TEMPS ENCORE?**

**Waterloo
le 8 janvier 2010
(partie 2/2)**

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

Mais d'où VIENT LE PETROLE?

MATIERE ORGANIQUE

Protéines

Carbo-hydrates

Lipides

....

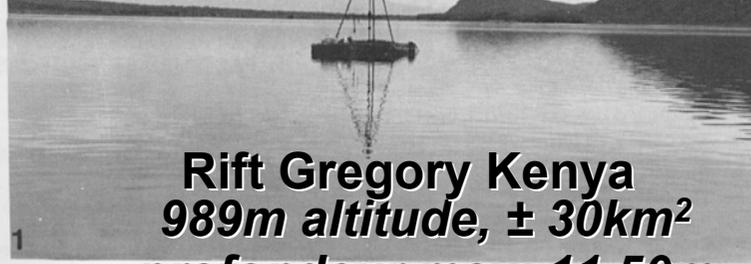


- + membranes
- + cuticules
- + pigments
- + graisse
- + sucres
- + ...

**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, $\pm 30\text{km}^2$
profondeur max: 11,50m



430 000 d'histoire sédimentaire

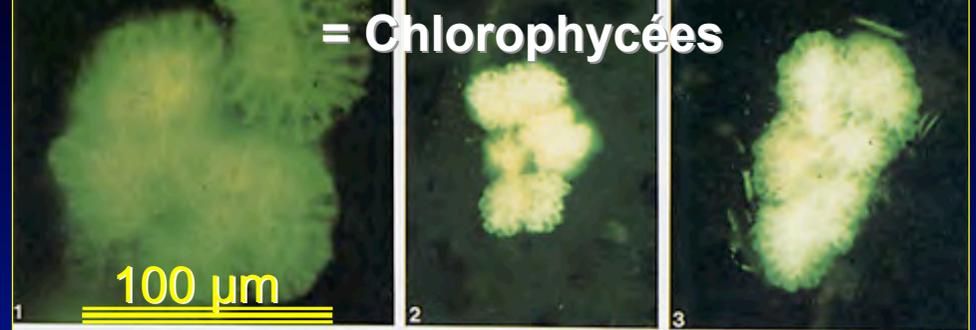
Carottages de 0 à 16 m

[entamés en 1977....]



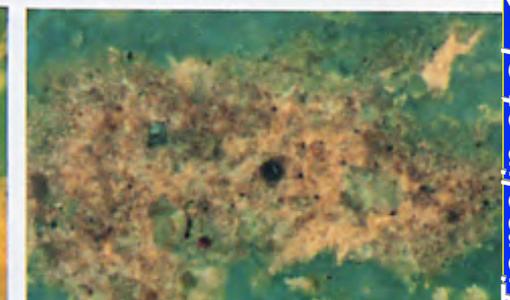
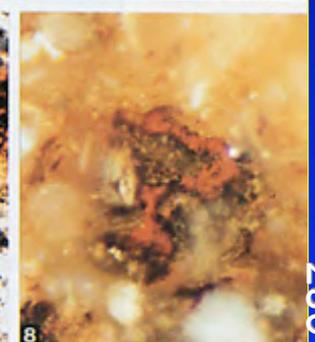
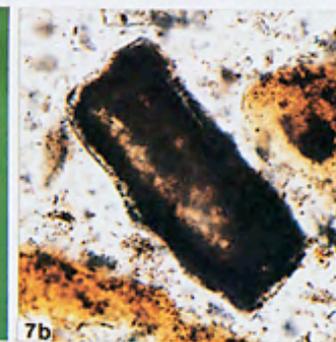
1-3 Algues *Botryococcus* (fluorescence)

= Chlorophycées



4-6 Algues Zygnématales (fluorescence)

= Algue verte?



+ Diatomées

Tiercelin et al., 1987

Enfin 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 C₁₀ à C₃₀

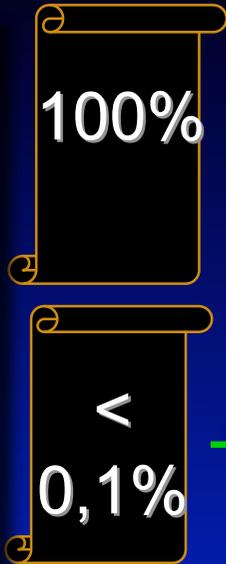
Les plantes supérieures terrestres = 30 à 50% cellulose, et 15 à 25% de lignine avec pour certaines de très abondants lipides

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

**D
E
V
E
N
I
R**

C-H-O-N



MATIERE ORGANIQUE

préservation = milieux de dépôt

KEROGENE

macromolécules carbonées résultant de la transformation MO par microbes anaérobies

transformation = 'cuisson'

HYDROCARBURES

'O/W'

'Oil / Window' 'Oil / Window'

enfouissement excessif = 'carbonisation'

...METAMORPHISME

de la MO?

C

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

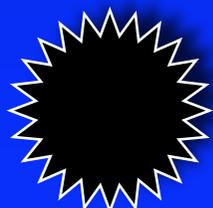
accumulée en ± 500 Ma, soit 20.000 t/an
qui échapperaient aux cycles de la Vie

[sur les 5.500 milliards disponibles, soit $0,5 \cdot 10^{-6}$ /an]



POURQUOI SI PEU?

car l'oxygène est presque partout et les micro-organismes aérobies biodégradent la matière organique morte [si pas d'O₂ libre, les bactéries 'anaérobies' vont le chercher dans les SO₄, NO₃....]



**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
sédiments $\ll 0.5\%$ M.O.



roches-mères
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

anaérobiose



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

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 NECESSAIRE

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

ensuite...

DEGRADATION THERMIQUE du KEROGENE

PÉTROLE



Restlé, 1986

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



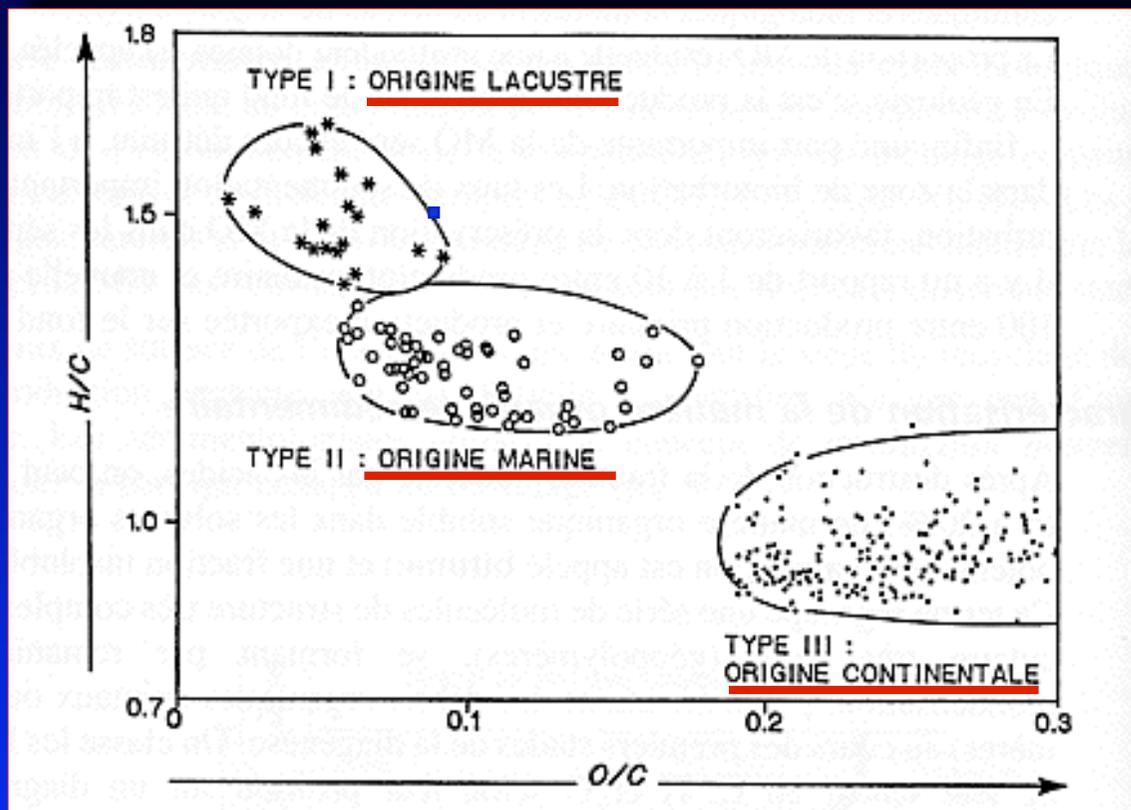
PREAT A Uib, Waterloo 01.2010

D
I
A
G
E
N
E
S
E

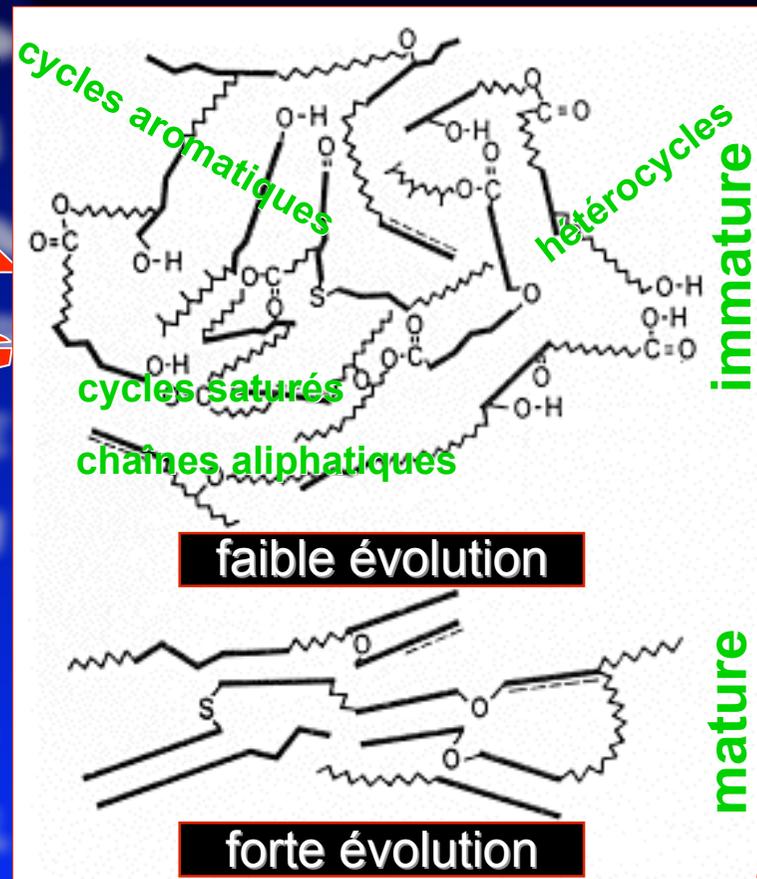
C
A
T
A
G
E
N
E
S
E

pour simplifier ...

les radicaux séparés donnent du CO₂, de l'H₂S et de l'eau



**D
I
A
G
N
O
S
T
I
C**



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

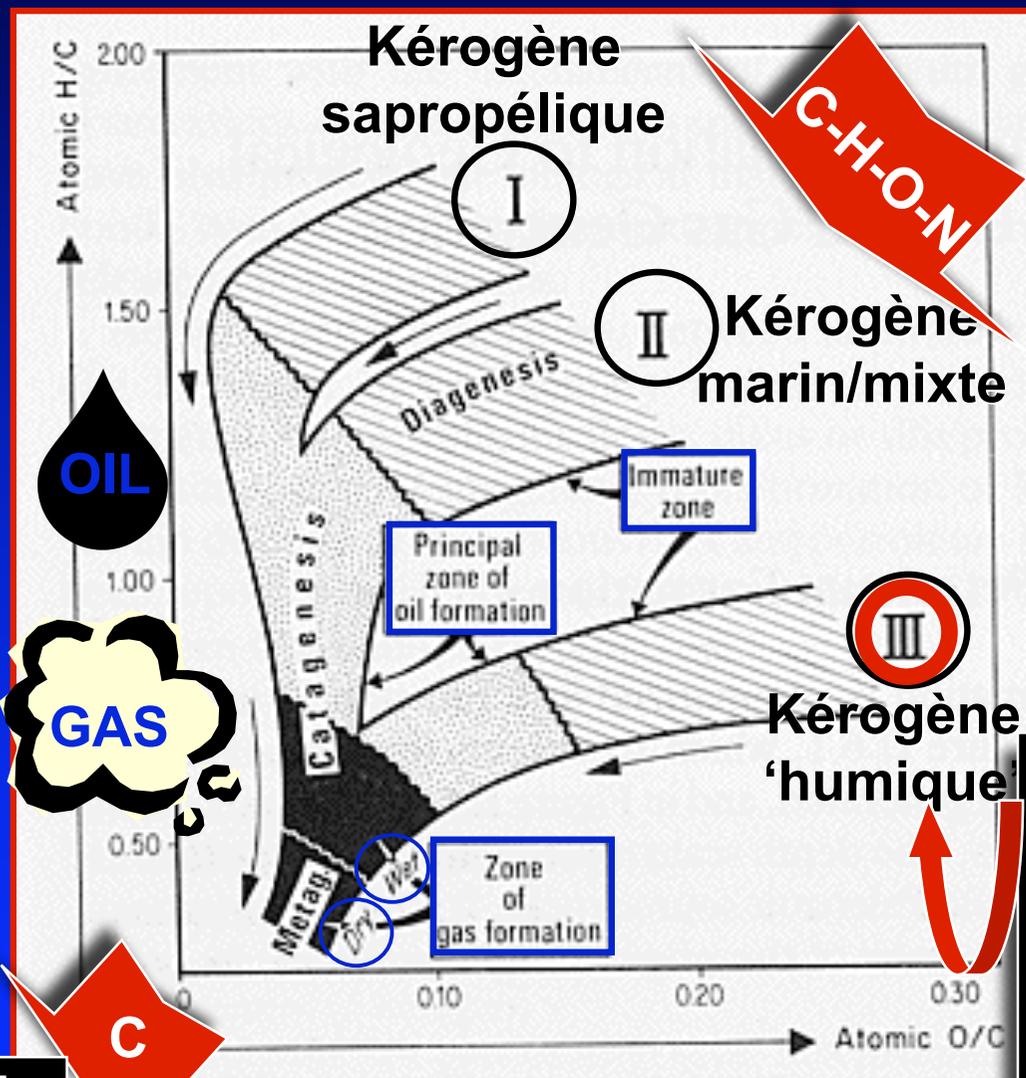
**A L'ORIGINE DANS LES SEDIMENTS
QUEL DEVENIR?**

Géopolymères

**= condensation-insolubilisation
à partir lipides, ac fulviques, humiques...**

EVOLUTION DU KEROGENE

DIAGRAMME DE VAN KREVELEN



DIAG



CATAG



METAG

OIL

GAS

C

GRAPHITE

lipides...



lignine...

<0,5 Charbon

0,5-2.0 Charbon
bitumineux

>2.0 Anthracite

DU KEROGENE AU PETROLE...

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

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 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
ZONE IMMATURE
CH₄ biogénique
CO₂, H₂O

M O W Z N G A - D

km±1,5
±6Ma **±12Ma**

GAZ HUMIDES O:W

M O W Z N G A T A C

km±4

les huiles formées sont en C₁₈-C₄₀

GAZ SECS

M O W Z N G A T E M

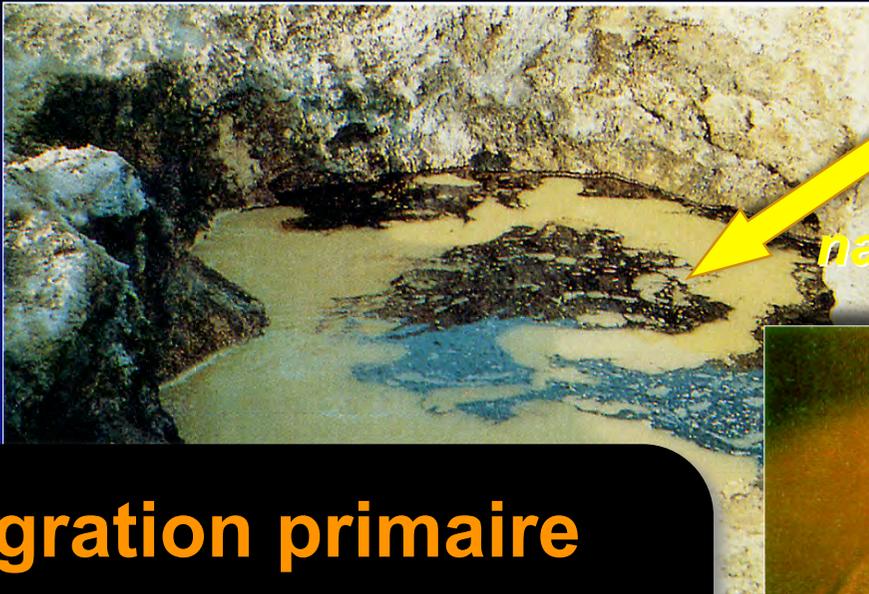
km±7

[...300°C]

'GRAPHITE'

MÉTAMORPHISME

bien souvent, cela débute...



nappe

**... par
des suitements naturels
d'hydrocarbures**

Migration primaire

Migration secondaire

et RR ...



microfracture



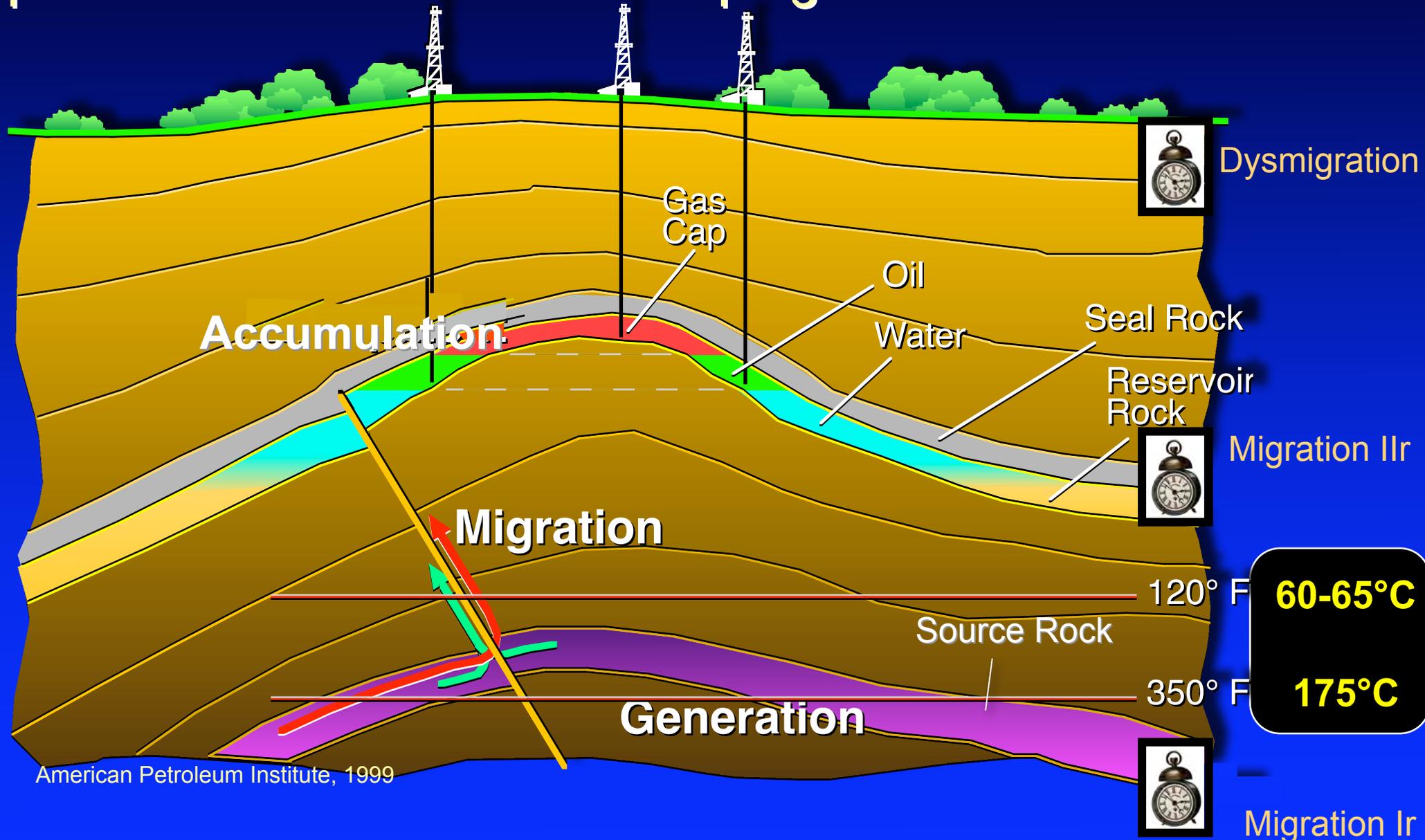
carottes de forage

... par des 'oil shows'

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

Processus dans Systèmes Pétroliers

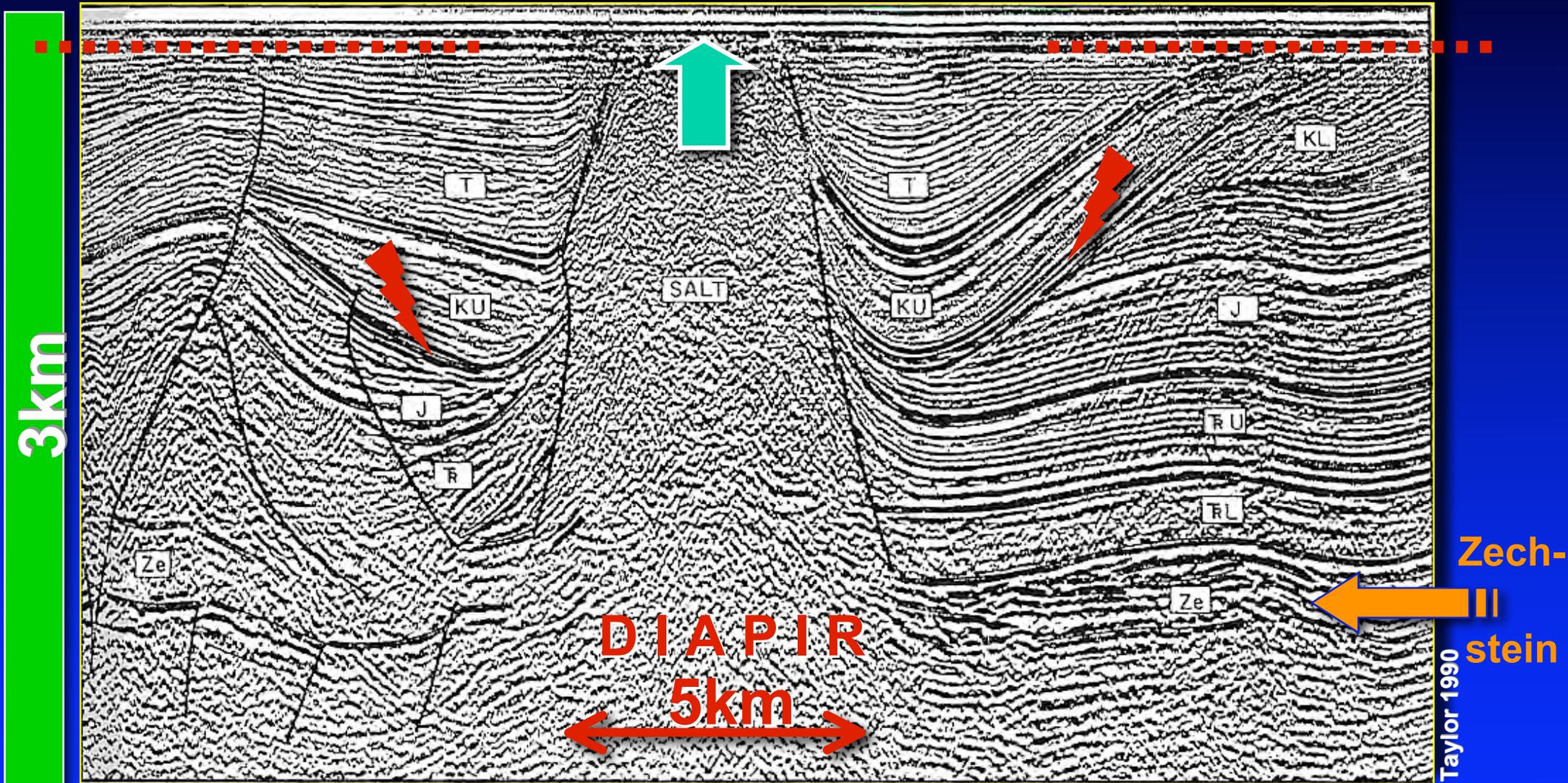
Le pétrole s'accumule dans des pièges structuraux fermés



PREAT A Uib, Waterloo 01.2010

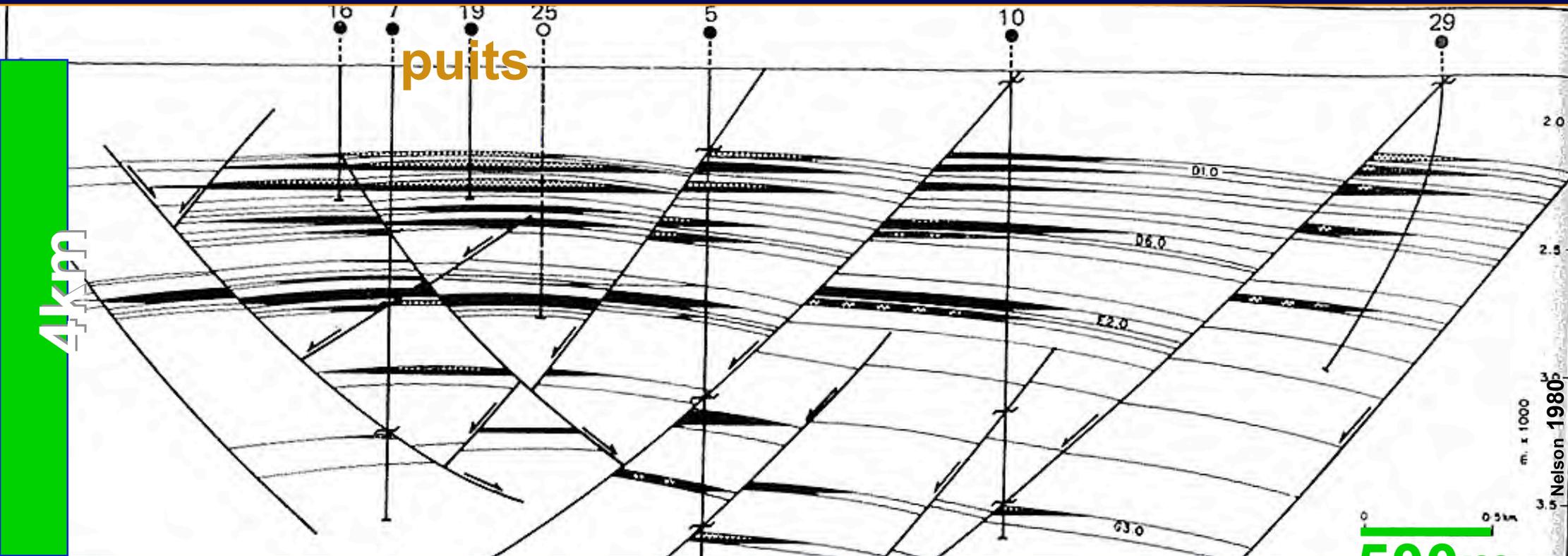
Profil sismique réflexion, Mer du Nord

[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...



500m

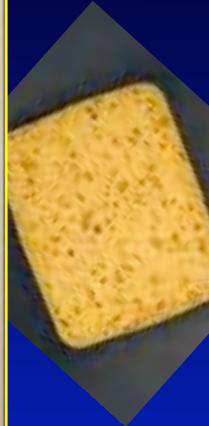
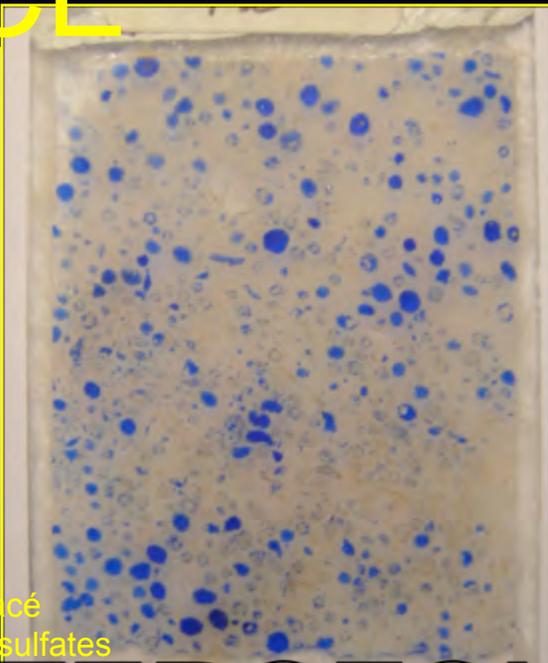
'Nembe Creek Structure' = anticlinal complexe 15kmL X 6km [Nigeria]
fortement faillé (réseaux conjugués) ==> blocs faillés

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

CRETAGE



Angola - Crétacé
Oolites-oncolites+sulfates



Gabon- FOU-232

NEOPROTEROZOIQUE = PRECAMBRIEN



Gabon NDE-1065

19-09-2008

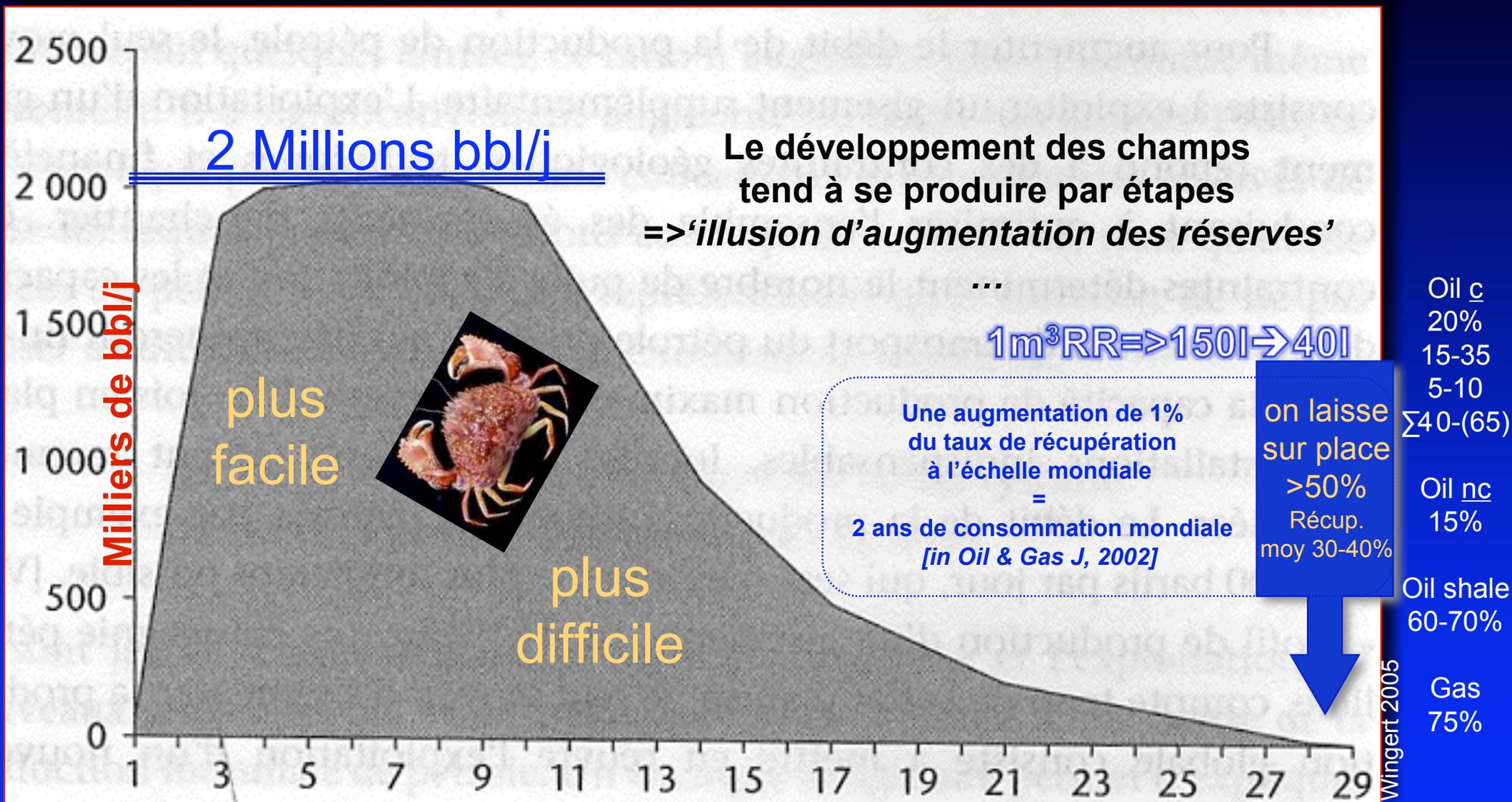


Préat 2008

26-08-2006



PROFIL TYPE DE PRODUCTION D'UN GISEMENT

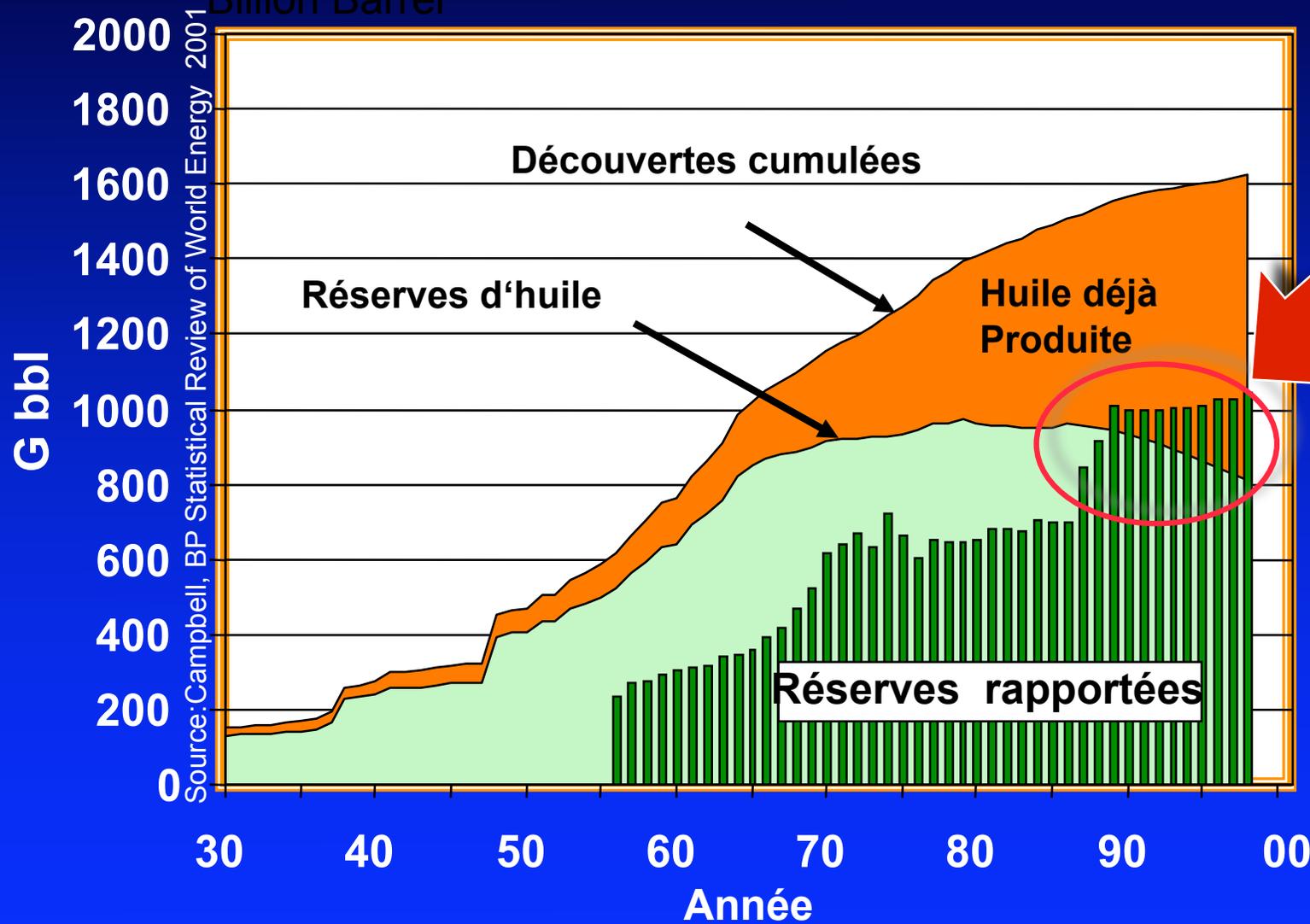


Ex. d'un champ géant de 10 Gbbl étalé sur 30 ans avec un maximum de 2 Mbbbl/jour. La courbe n'est pas symétrique...

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



Différence
entre
la réalité
et les réserves
rapportées

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

FAISABILITE

← 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

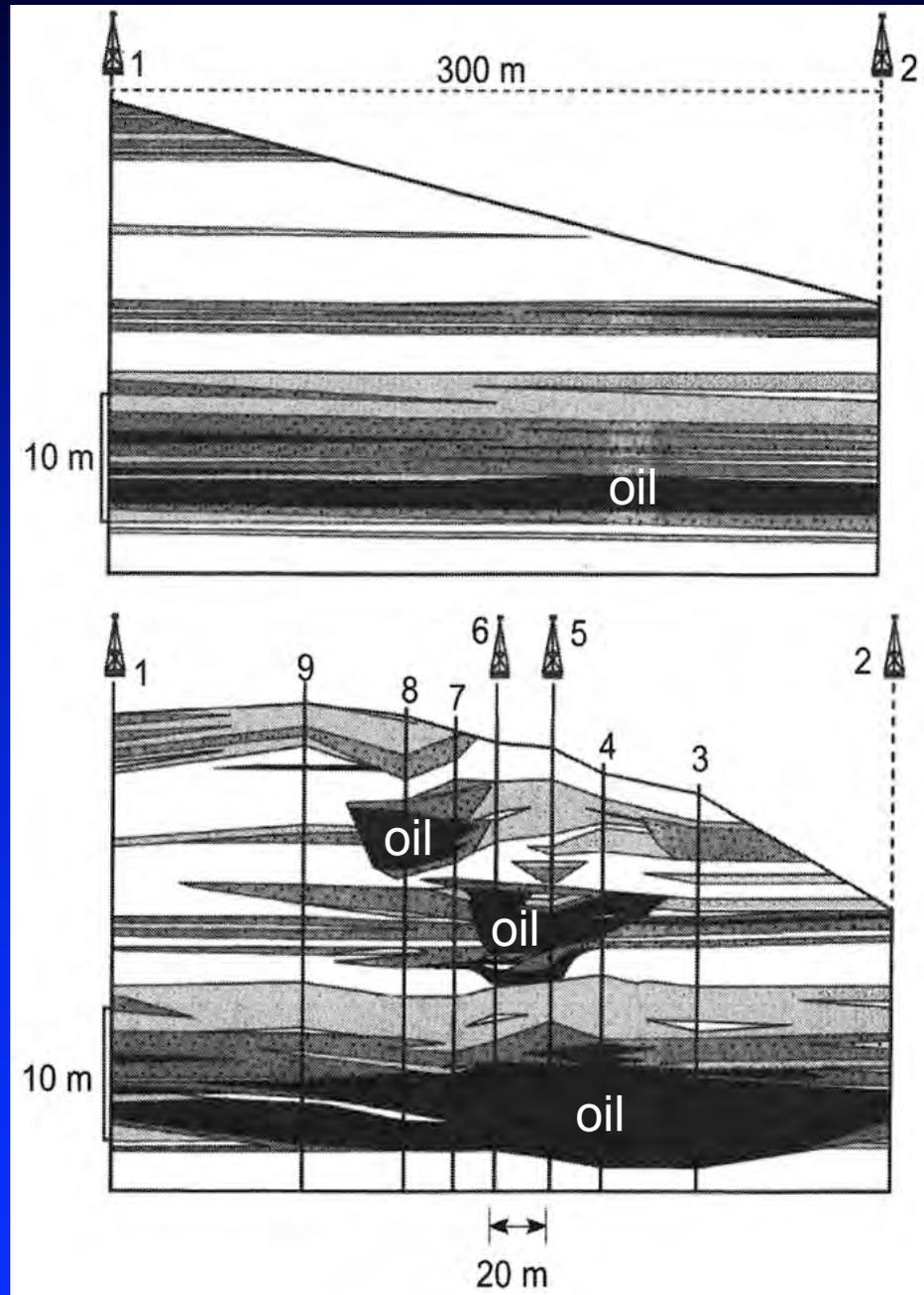
= > 50% ... d'être réalisées

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

= > 10% ... d'être réalisées

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

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



2 forages
Modèle peu réaliste (ici)

9 forages supplémentaires
Modèle plus réaliste (ici)

Ravenne in Durand, 2009

Des Ressources aux Réserves

Charbon > 900 Gt
 7000 G bbl nc [4000 sables asph+3000 sch bit]
RESSOURCES
 10000 à 12000 G bbl c

Bouillard JN, IFP 2002

Accessibles à l'exploration

Non accessibles à l'exploration

Identifiées

Non identifiées

Techniquement productibles

30% c
 de 10-12000
 = 3000 à 4000

dont 1/3 déjà extrait à ce jour
RESTE
 2000 à 3000 Gb

Techniquement non productibles

Economiquement rentables

1P-2P

Economiquement non rentables

P-2P-3P

RESERVES

= P jusqu'à 2025
 2,0 à 2,2 G bbl

soit 32 à 42 ans suivant les fourchettes et à raison de 30 G bbl/an pour 1,2 Gbbl (1P) en 2008



Ressources: quantités en place dans la croûte terrestre (identifiées ou non)
 Réserves: HC récupérables, commerciables dans les conditions actuelles du marché

FINALEMENT

< 100 \$... > 100 \$

concept fluctuant
(technique, économie)

volume fixe
difficile à évaluer

RESERVES
PROUVEES

RESERVES
ULTIMES

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

RESSOURCES

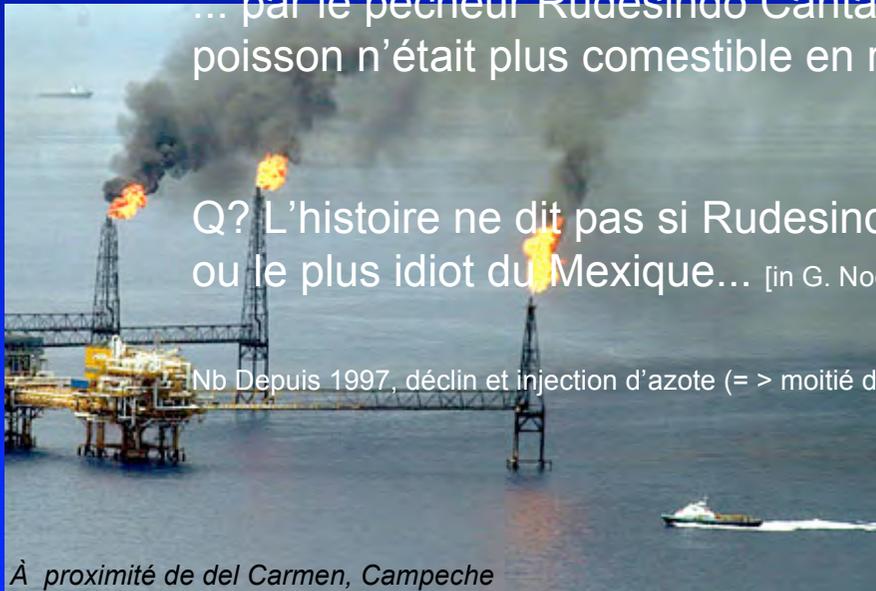


Les réserves développées prouvées: le poisson est dans votre barque, vous l'avez pesé. Vous pouvez le sentir et vous allez le manger. **Les réserves non développées prouvées:** le poisson a mordu à l'hameçon et vous êtes prêt à le sortir de l'eau. Vous pouvez même en évaluer la grosseur (il a toujours 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.



1971: Découverte du gisement de CANTARELL au Mexique (Pemex),
OFFSHORE, N°3 MONDIAL, à 80 Km de la Baie de Campêche ...

... par le pêcheur Rudesindo Cantarell [1914-1997] qui s'était plaint aux autorités que son poisson n'était plus comestible en raison de la pollution, car huile sur les filets!



Q? L'histoire ne dit pas si Rudesindo a été le pêcheur le plus riche
ou le plus idiot du Mexique... [in G. Noels, 2009]

Nb Depuis 1997, déclin et injection d'azote (= > moitié de l'azote consommé mondialement) pour soutenir la production.

À proximité de del Carmen, Campeche

« En la miseria y olvidado por Pemex, murió Rudesindo Cantarell, descubridor de la zona petrolera más importante de México. (Petróleo Mexicanos)(TT: In poverty and forgotten by Pemex, Rudesindo Cantarell died, discoverer of the most important petroleum zone in Mexico) (TA: Mexican Petroleum) » 7/05/1997

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 agressives 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 ...



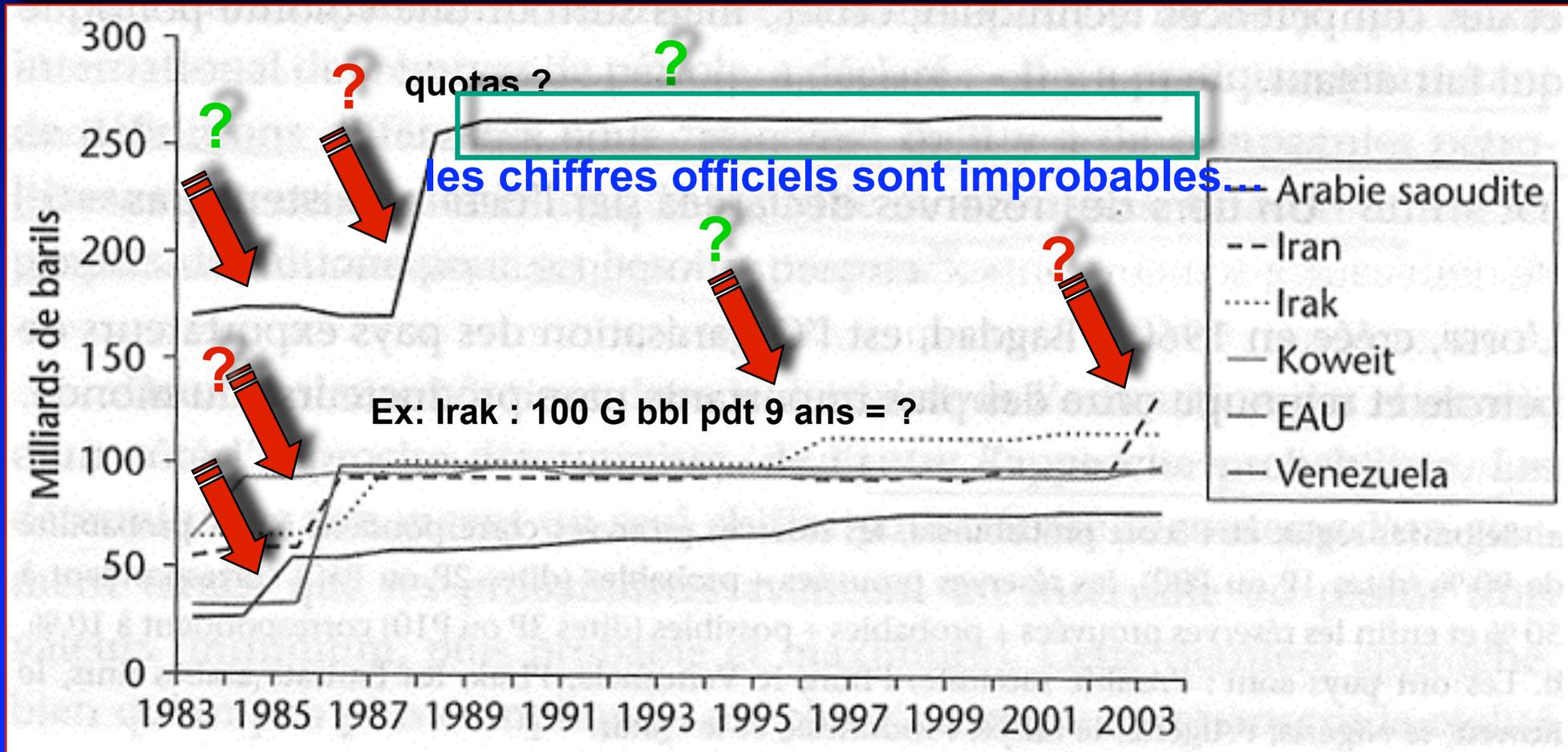
All numbers are wrong...
that much we know.

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...



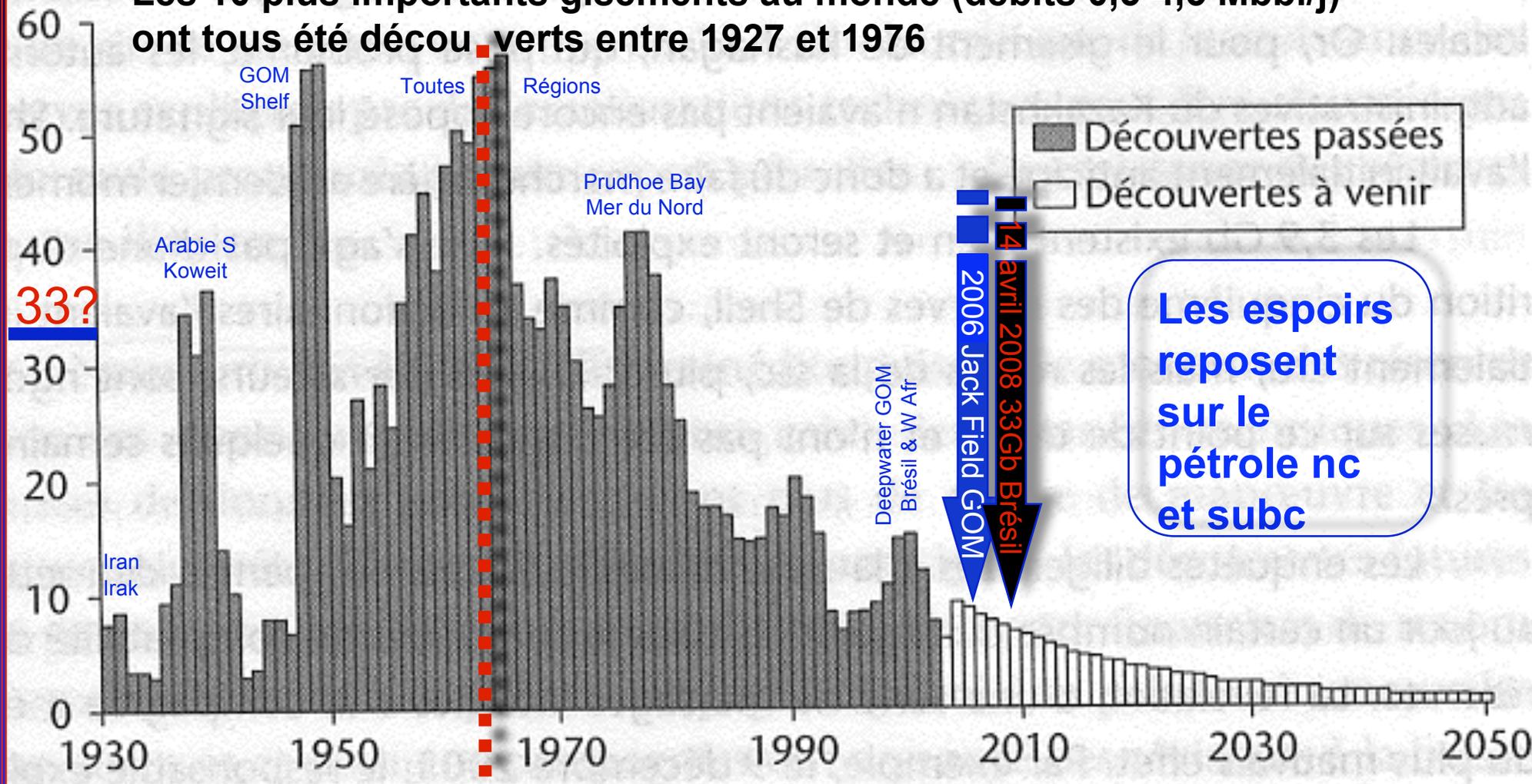
? Hausses après contre-choc pétrolier de 1986

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

DECOUVERTES MONDIALES DE PETROLE

Les découvertes mondiales ont atteint leur sommet en 1965

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



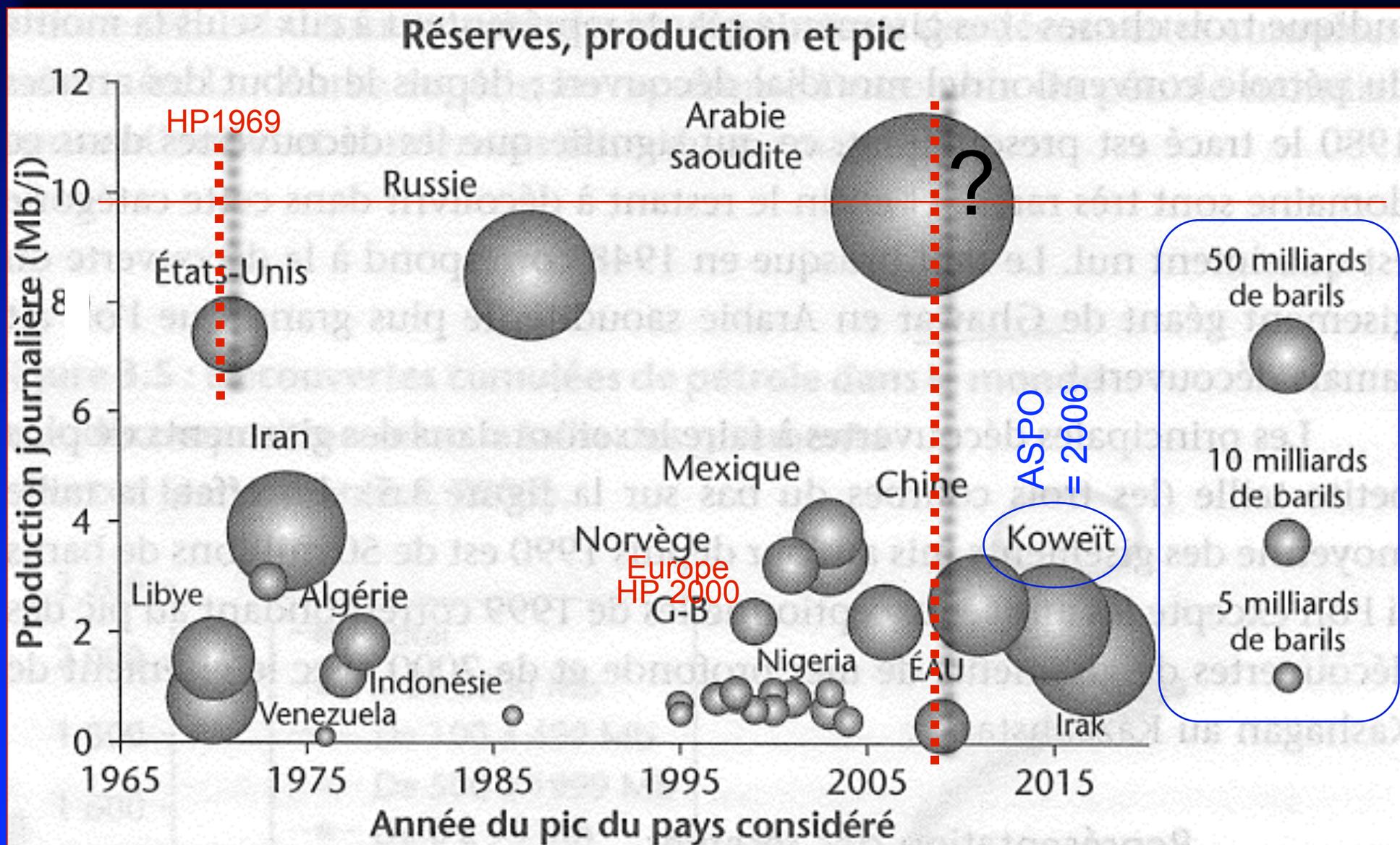
... mais attention! Réserves n'est pas égal à Production...

1965

Nb il existe 4000 accumulations, réparties dans 7000 champs hiérarchisés
Production 2008 à partir de 1001 CHAMPS MAJEURS ou GEANTS

G bbl

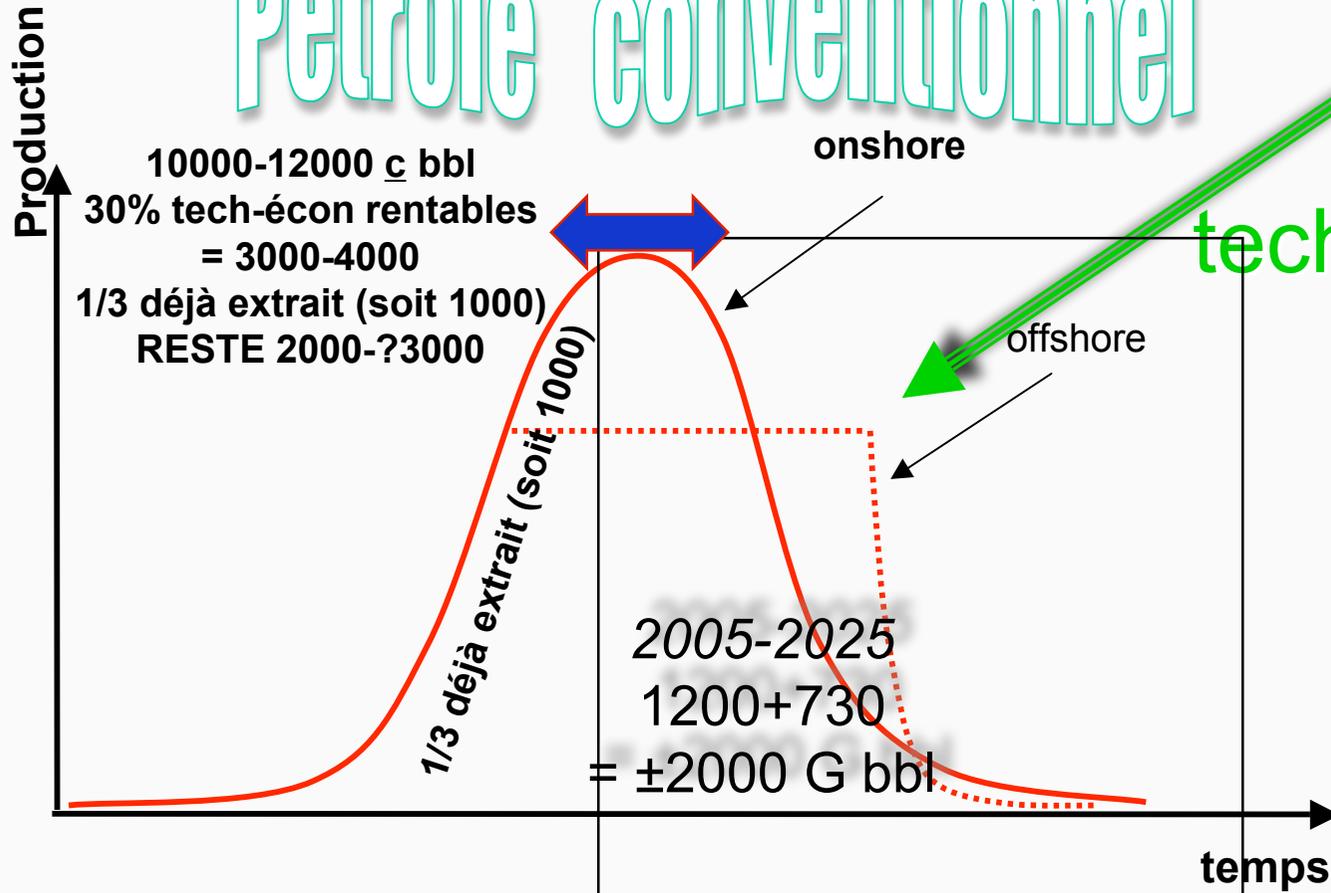
RESERVES DE PETROLE PAR PAYS [les 30 premiers] AVEC DATE DU PIC ET PRODUCTION JOURNALIERE



Réserves = Incertitudes Technologiques...

Production d'huile: la courbe en cloche

Pétrole conventionnel



progrès technologiques

Exemples: Forages Etendus et Forages Horizontaux

+ ...

Planète $\times 10^3$
 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 $\times 10^3$

AIE 2005, IEO 2005 etc

Forages 'Etendus' (directionnels ou hztaux)

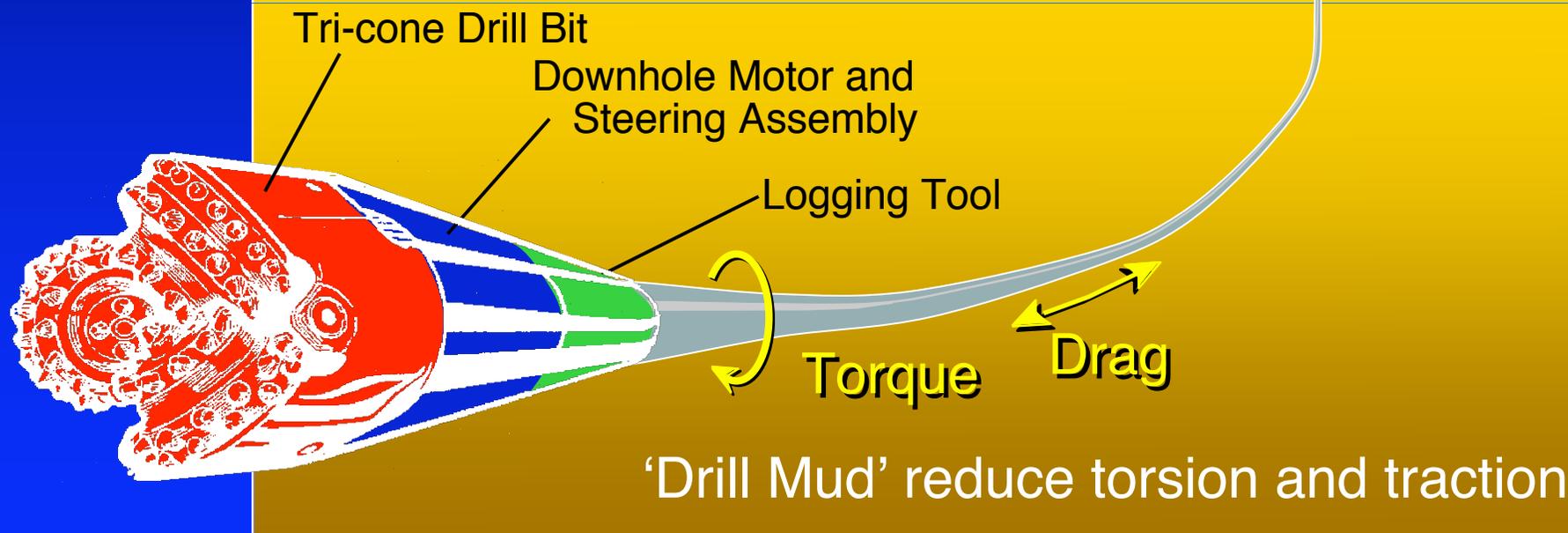
La technologie permet des gains dans les puits plus difficiles

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

1998-Argentine

FORAGES A GRANDS 'DEPARTS': PUIITS DEVIES OU HORIZONTALAUX
gisement d'ARA en Terre de Feu: 1seul! 'puits' de 11 184m (foré) à 1 695m

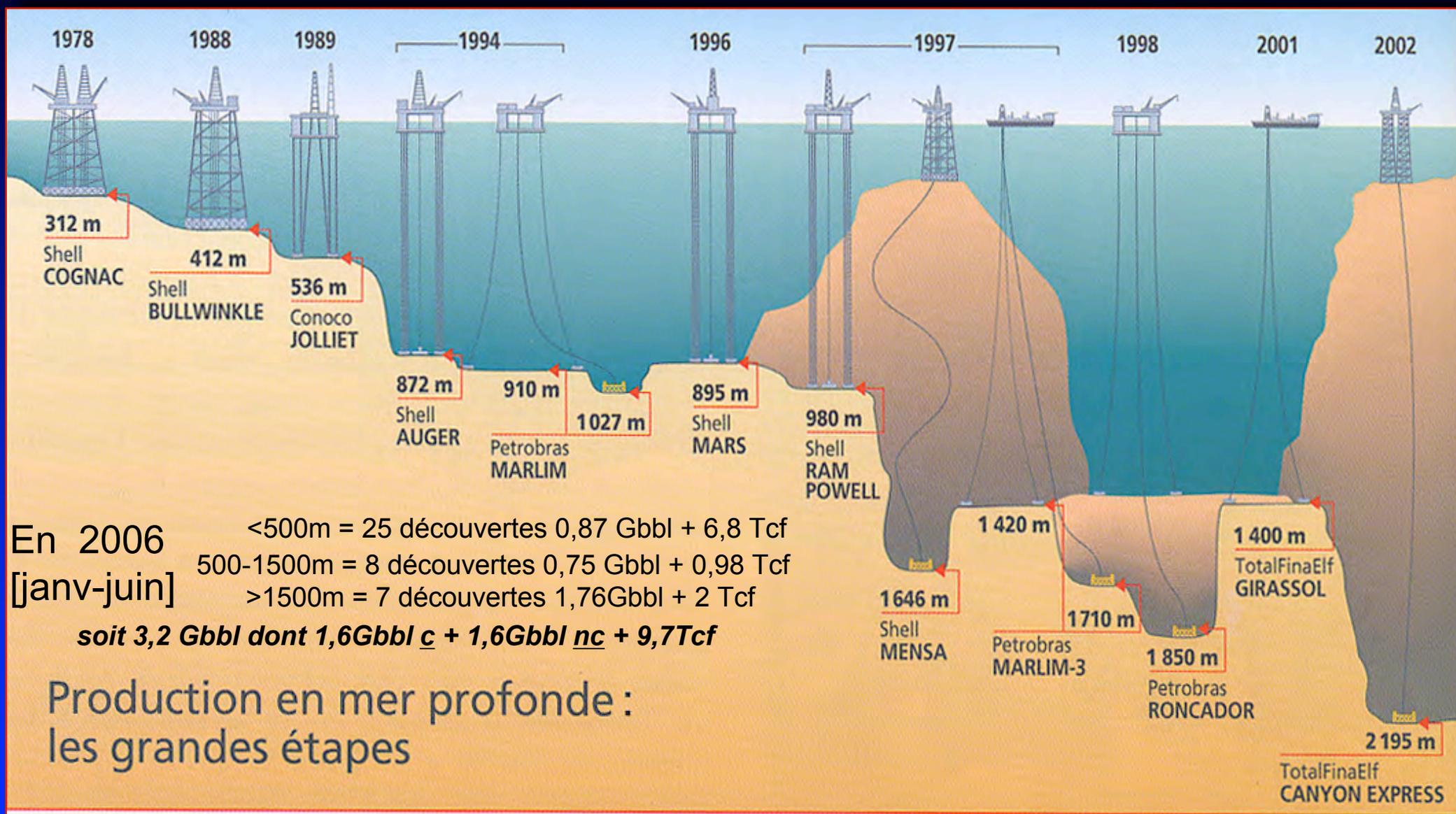
Exxon: Investissements 600 millions \$
nouvelles technologies forages



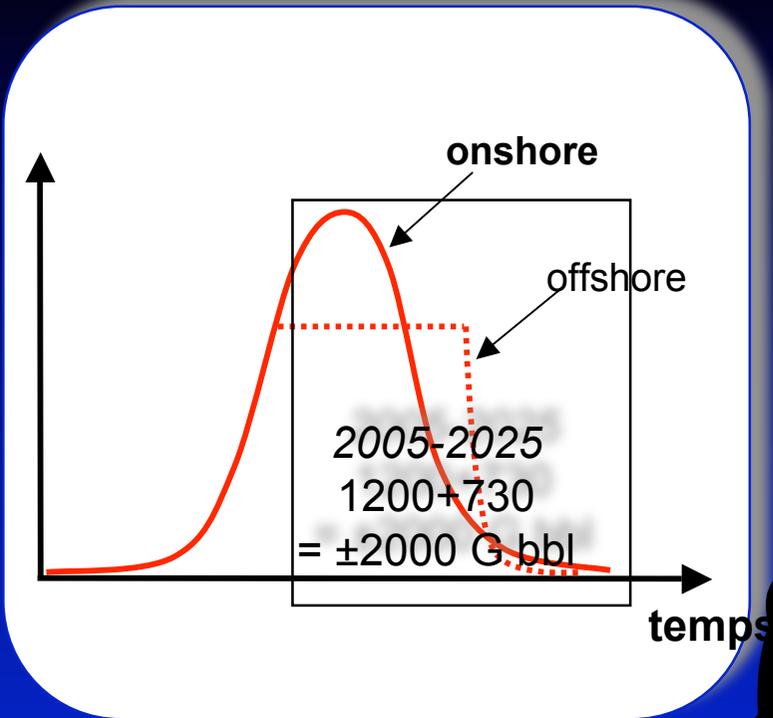
1891? premiers essais ...

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

VERS L'ULTRA-PROFOND > 3000 m



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



POURQUOI?
voyons les chiffres...



90-95%

...des réserves mondiales *PROUVEES*

PETROLE _c

Réserves Prouvées
2004/2005
[±5%?]

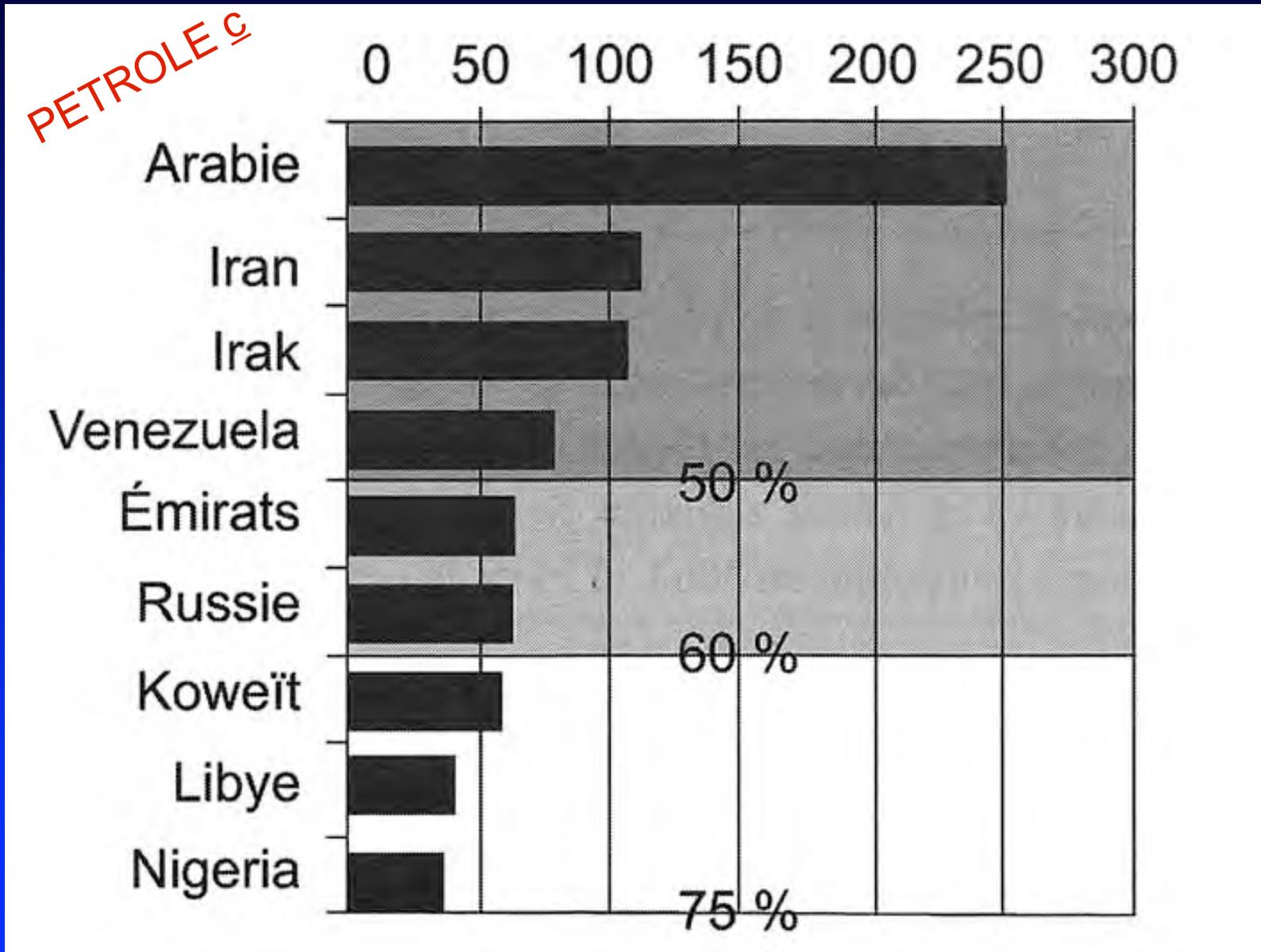
Rés Prouvées	Oil Gb	%	Gas %
Arabie Saoudite	267,9	20,7	3,8
Canada	183,0	14,1	< 1
Iran	128,7	9,9	15,3
Irak	117,7	9,1	1,8
Koweit	101,3	7,8	< 1
Emirats Ar Unis	100,1	7,7	3,4
Venezuela	79,6	6,1	< 1
Russie	61,4	4,7	26,7
Libye	36,8	2,8	< 1

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



Images Econ du Monde 2005

Les neuf pays possédant 75% des réserves prouvées



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



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: $2,2 \cdot 10^3$ t soit 44bbl/j ou 0,08l/s **<0,1l/s**

4. Iran 3,72 Rendement moyen annuel d'un puits 1985: $1514,5 \cdot 10^3$ t soit 30.500bbl/j ou **56l/s**

...

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



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
600Gbb? 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)

Bobin et al., 2001; Ngó, 2002

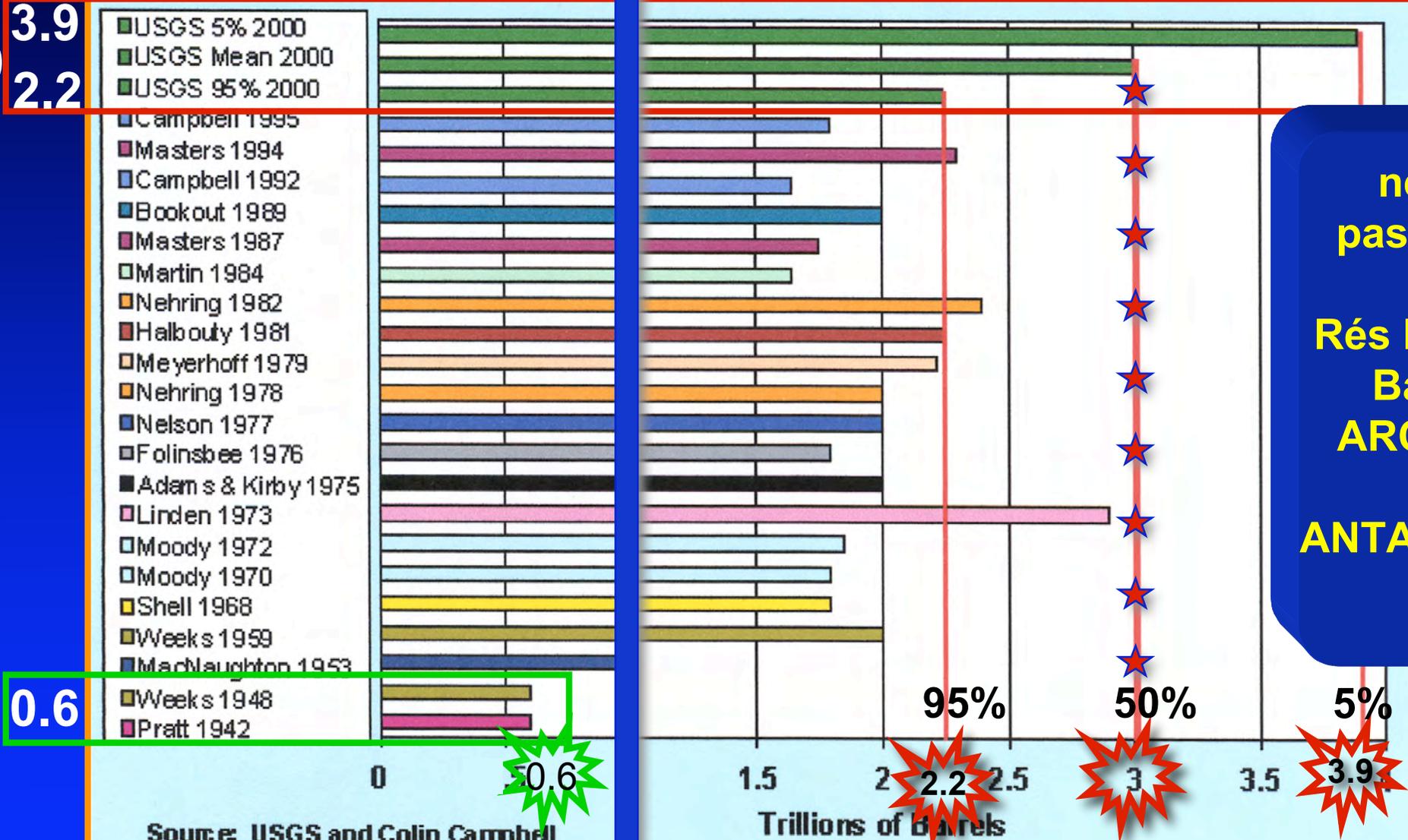
	épuiement dans		Réserves ULTIMES = hors technologie et économie actuelles
PETROLE <u>c</u>	40 ans	min.	120-140
GAZ	70 ans		150-300
CHARBON	227 ans		<400
CLATHRATES	?10x Oil <u>c</u>		+nc
			120-130

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

2008

==> USGS-EIA: scénario 'optimiste': H'P le +probable en 2037!

Published Estimates of World Oil Ultimate Recovery



Source: USGS and Colin Campbell

1 trillion = 1000 milliards bbl

ne tient pas compte des Rés Prouvées Bassins ARCTIQUE et ANTARCTIQUE

3.0

0.6

1.0

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!

CANADIAN (TAR) OIL SANDS : 1750 Gbbl ultimes

ATHABASCA, FORT McMURRAY, COLD LAKE, PEACE RIVER -ALBERTA

2004
US Dept of Energy
reconnait
des réserves 1P
de
200 G bbl oil

=

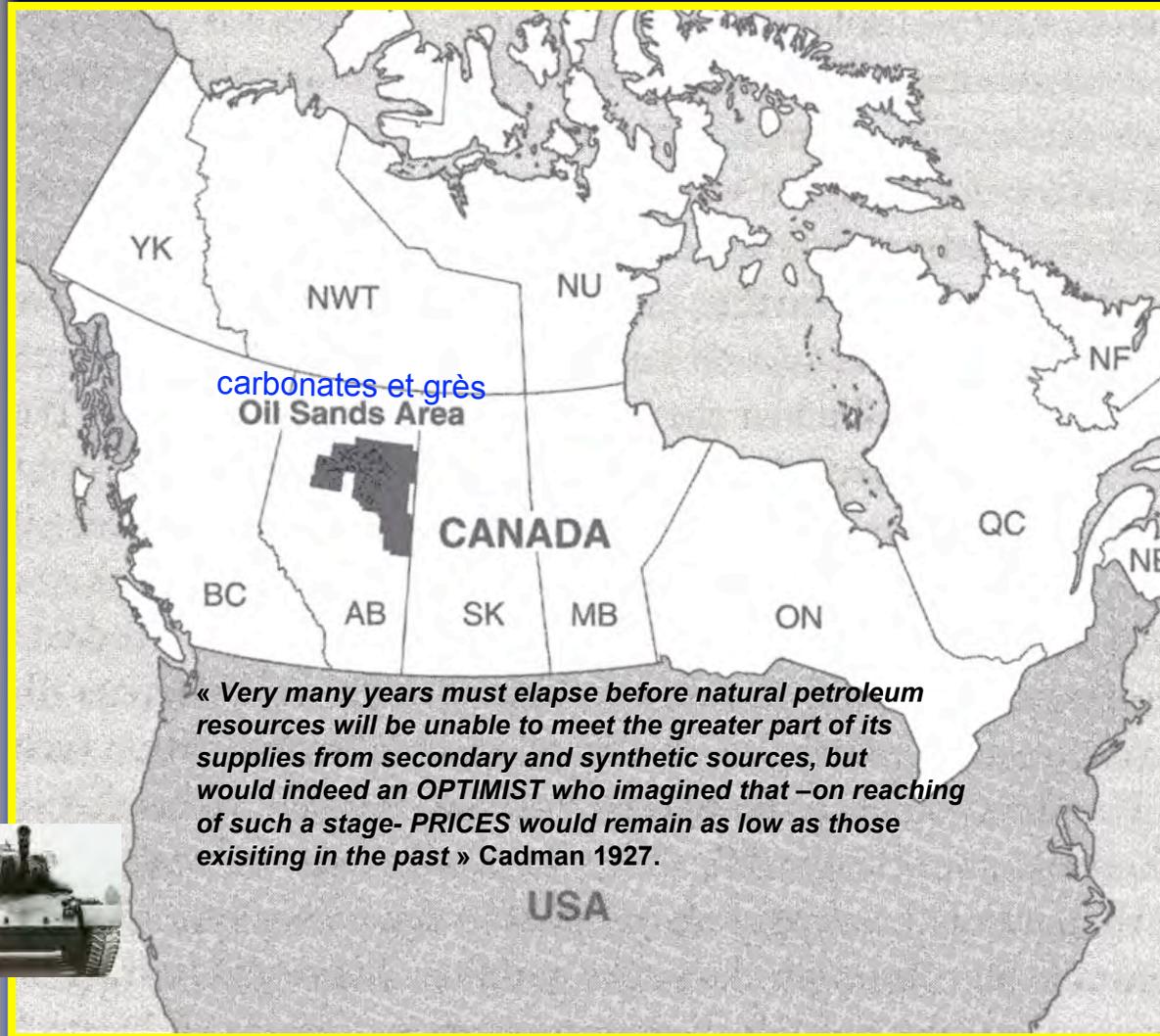
seconde plus
grande
accumulation
après
Arabie S

vrai si bbl > 35 \$
crise financière
2008 > 80\$?



2008

?600G bbl ultimes réc
11-12%, 20 à 50 ans
Sface > Belgique
600 cies



Sir John CADMAN's prophecy,
chairman of Anglo-Persian
Nov 2 - 1927

1927
Cadman's
Prophecy
=
?
c ==> nc

+? Biofuels USA
+? Chine >30
réact. nucléaires
+? LNG Japon...

this predates Hubbert's work by 30 years...

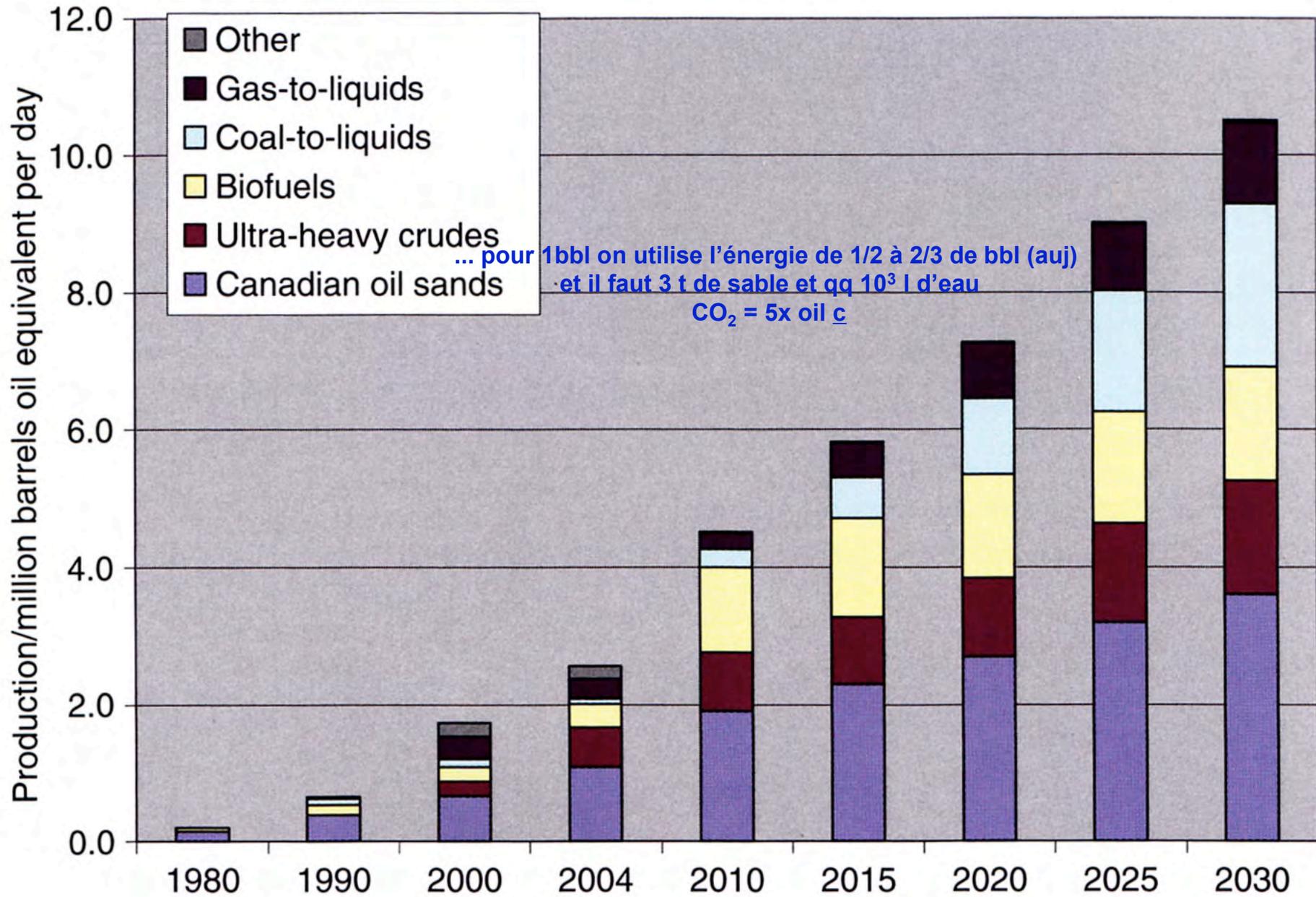
Investissement : 70G \$ sur 10 ans

Prospective: 3,0 millions bbl/j en 2015 [auj = 1,0 M bbl/j]

Nb Venezuela: idem [oil sands] mais politiquement incertain...

Nb USA: oil shales Colorado et Utah...

Nov 2009: rentable si bbl > 65\$



CLASSEMENT DES PAYS PAR LEUR POTENTIEL ENERGETIQUE

* = 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\$ 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 $\pm 45\$$ (début 2005) à $\pm 65\$$ (fin 2005)

SCENARIO PROBABLE A MOYEN TERME = XXI^e 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, 30.10⁶km²,
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...!

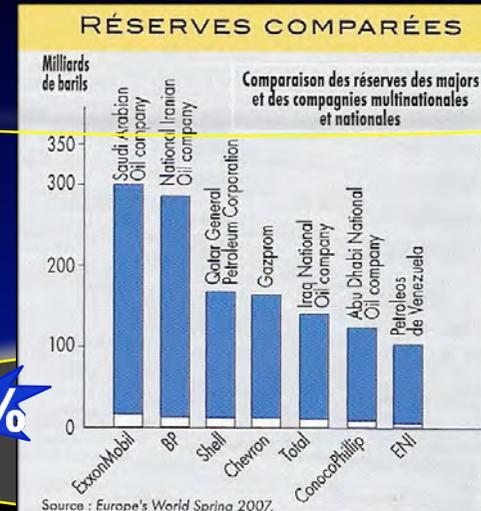
etc...

MOYEN TERME

'Force de frappe des *majors* (multinationales)'

		G \$ [2002]
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
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)





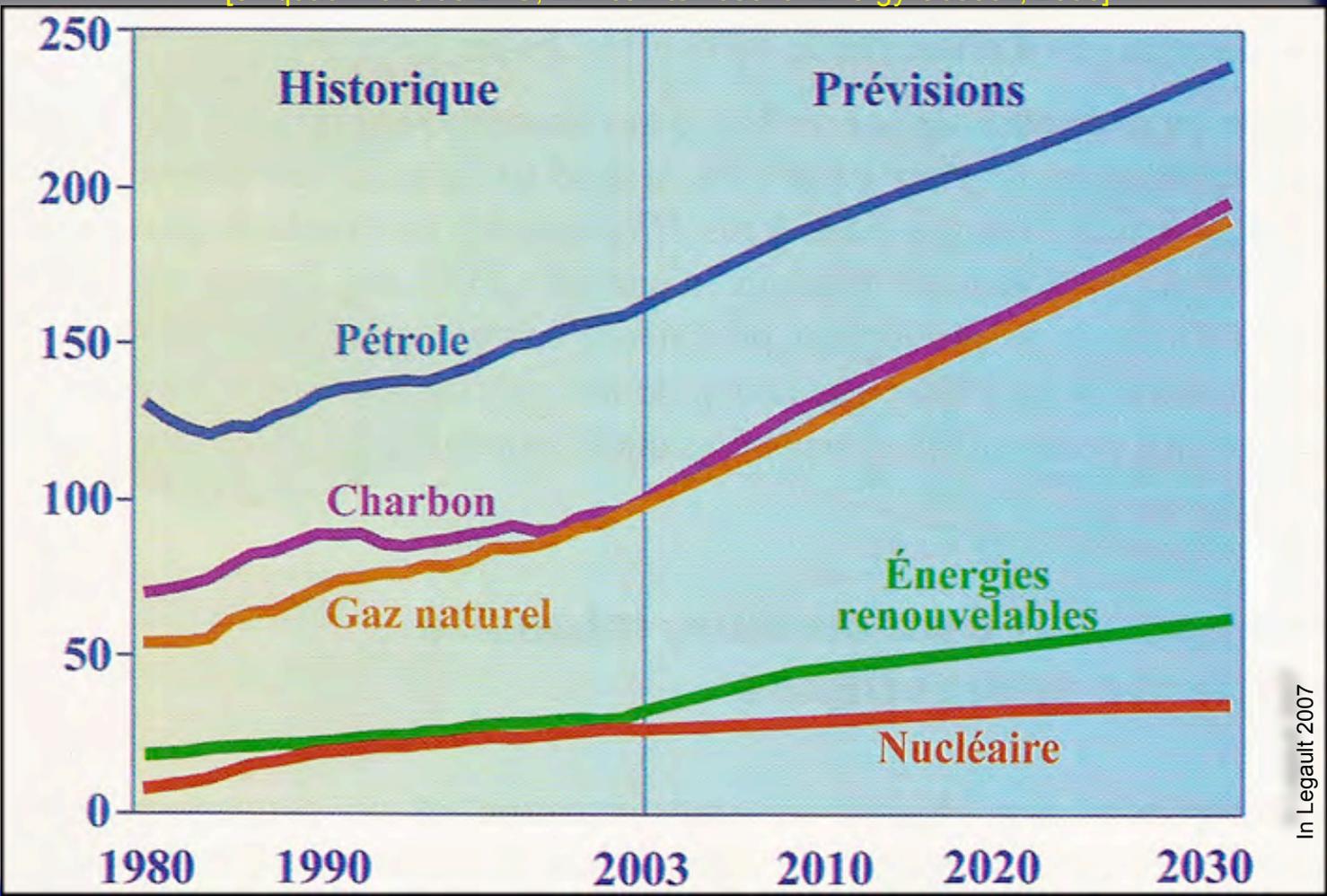
CONCLUSION

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



CONSOMMATION MONDIALE ENERGIE PRIMAIRE

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



In Legault 2007

AUJ. 2009

1. RETARD D'INVESTISSEMENT

[Raffinage...]

2. DEMANDE DURABLE

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

3. INSTABILITE Z. PRODUCTRICES

+ 71 %
en
27 ans

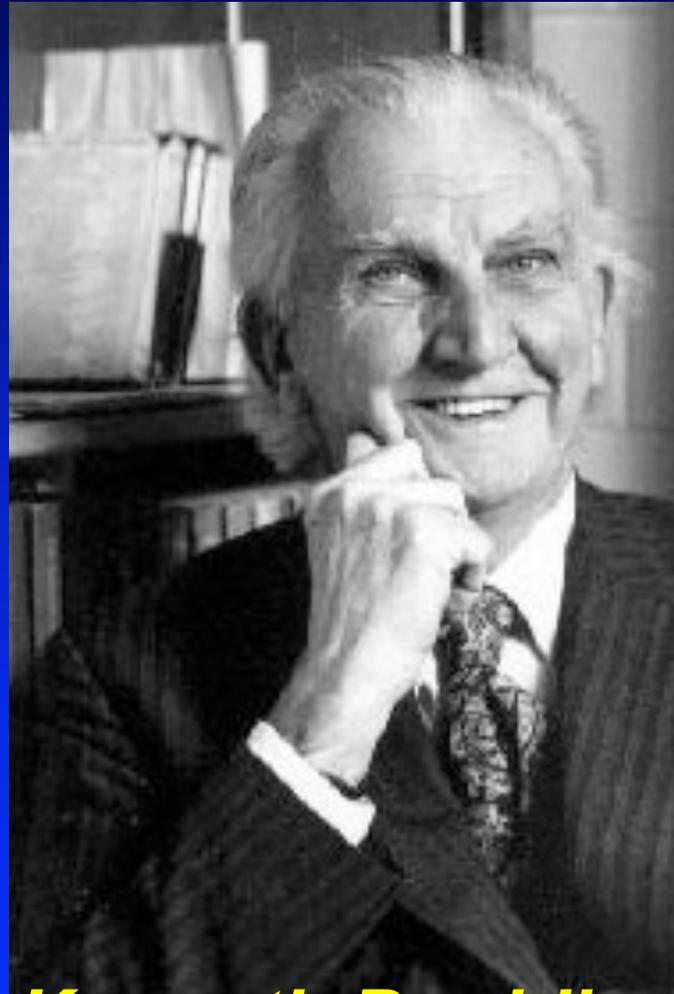
... avec les 2/3 = pays en voie de développement



Chine... 150 aéroports
Malaga... 400+

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

le mot de la fin...



Kenneth Boulding

1910-1993

President de l'American Economic Association



le mot de la fin...

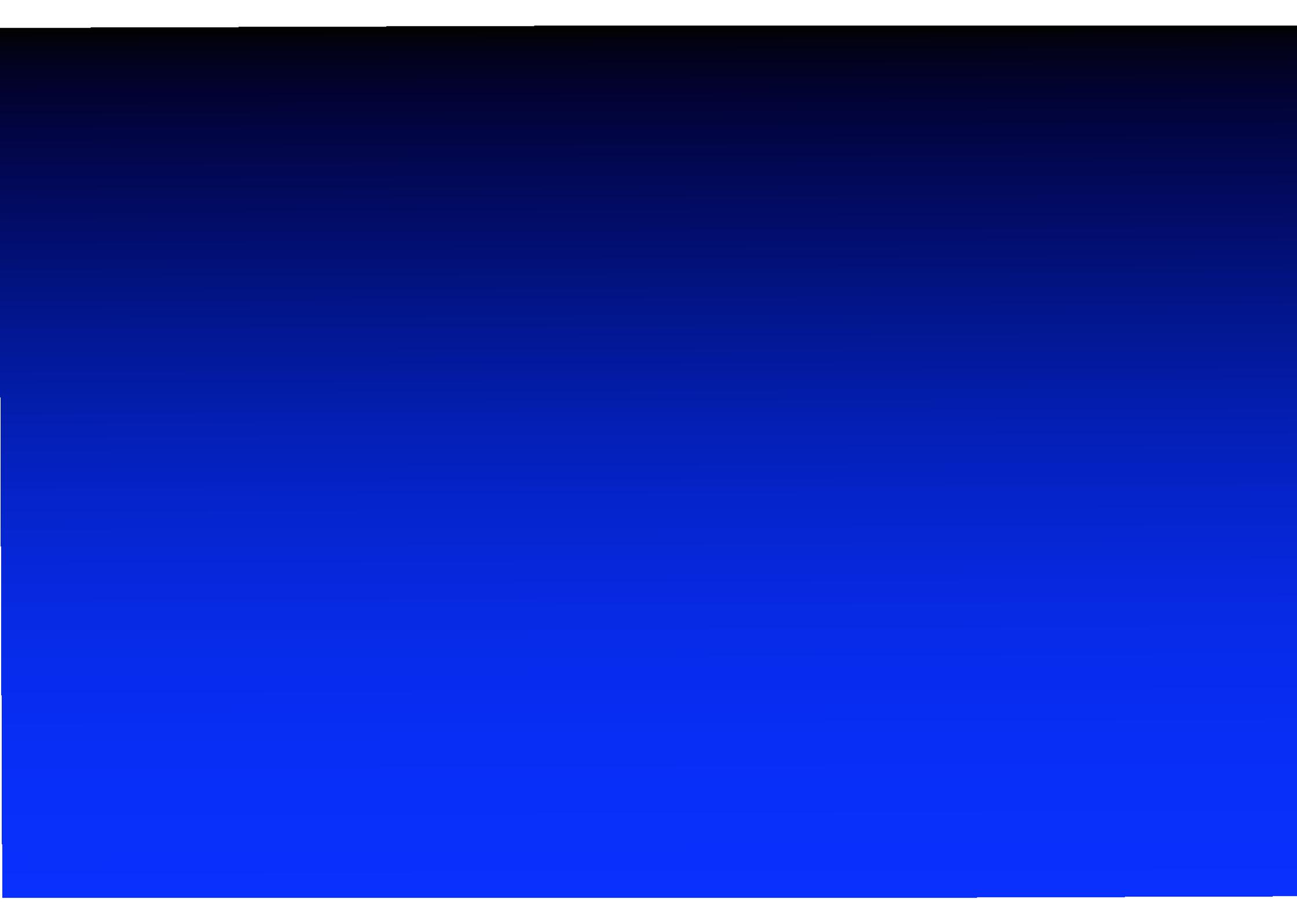
‘Toute personne croyant qu’une croissance exponentielle peut durer indéfiniment dans un monde fini est soit un fou, soit un économiste’

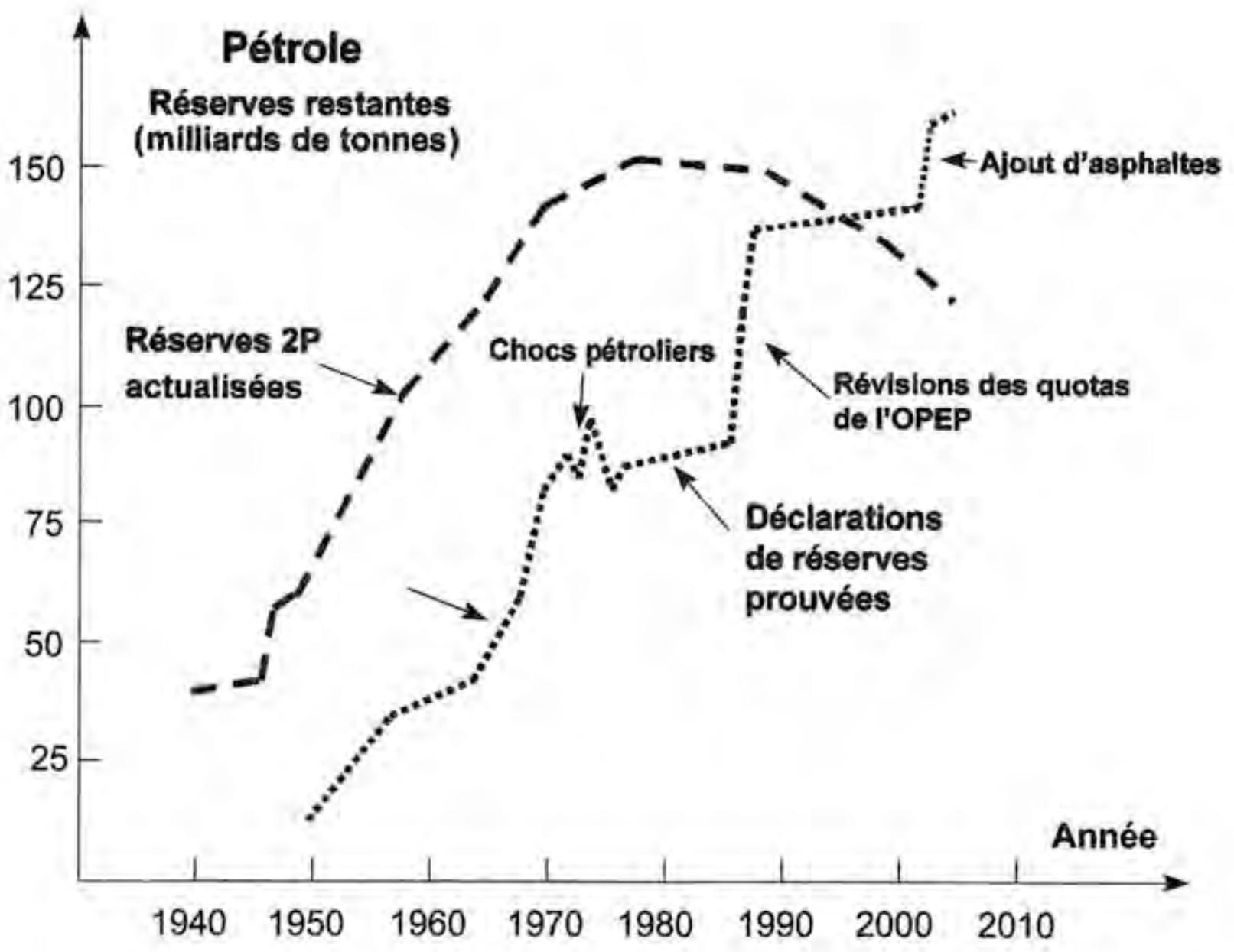
Kenneth Boulding

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 »





Le TOP10 des consommateurs de pétrole en 2008

	Mbb/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

BP 2009

Réserves stratégiques

722 Mbb/d sur 727 en 2009

← 727/727 prévu en 2010 (soit 62 jours d'importation)

Objectif: 1 Gbb/d soit 85 jours d'importation)

← 272 Mbb/d = 30 jours

← 15 jours

← 320 Mbb/d avec la Corée (accord) = 82 jours

← Exportateur net

← 90 jours

←

←

← Exportateur net

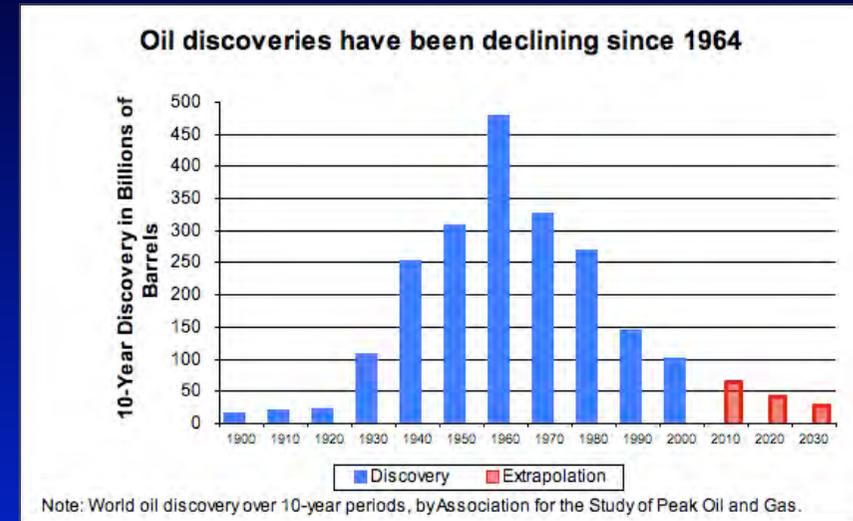
← Exportateur net



Réserves stratégiques y compris Belgique et Europe...
La constitution des réserves stratégiques dépend du prix du bbl

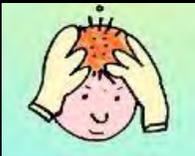
Auj: nous consommons 3 à 4 bbl [1] pétrole pour 1 [5, 1960] découverts

Depuis 1980, les découvertes de pétrole DIMINUENT de ± 2 Gtep/an alors qu'AVANT 1980, elles augmentaient de ± 5 à 6 Gtep/an



La 'stabilité' des découvertes masque la diminution de la taille moyenne unitaire des nouveaux gisements: elle est passée de 300 millions bbl éq.p. avant 1975 à 50 millions bbl éq.p. depuis lors on 'trouve' surtout que de petits gisements ... malgré qq annonces spectaculaires

= problème de l'offre : < demande! en 2008



la demande augmente chaque année de 1,5 Mbb/j
l'offre diminue de 4 à 5 Mbb/j car diminution production champs
=> il faudrait ± 6 Mbb/j pour maintenir l'équilibre...