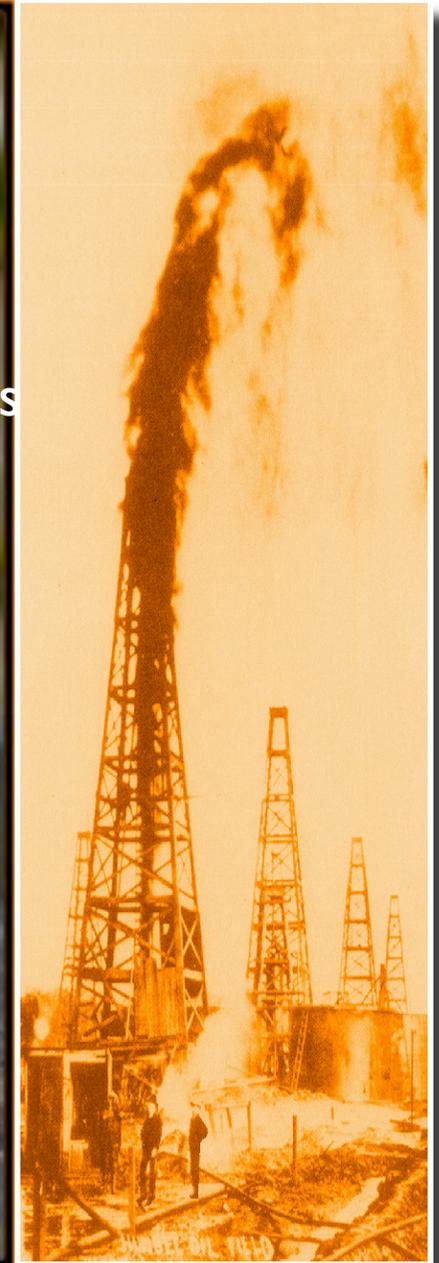


Cepulb-21 mars 2017
Séance du mardi

Les Hydrocarbures : état de la situation
Pic pétrolier, pic gazier, sans cesse reportés

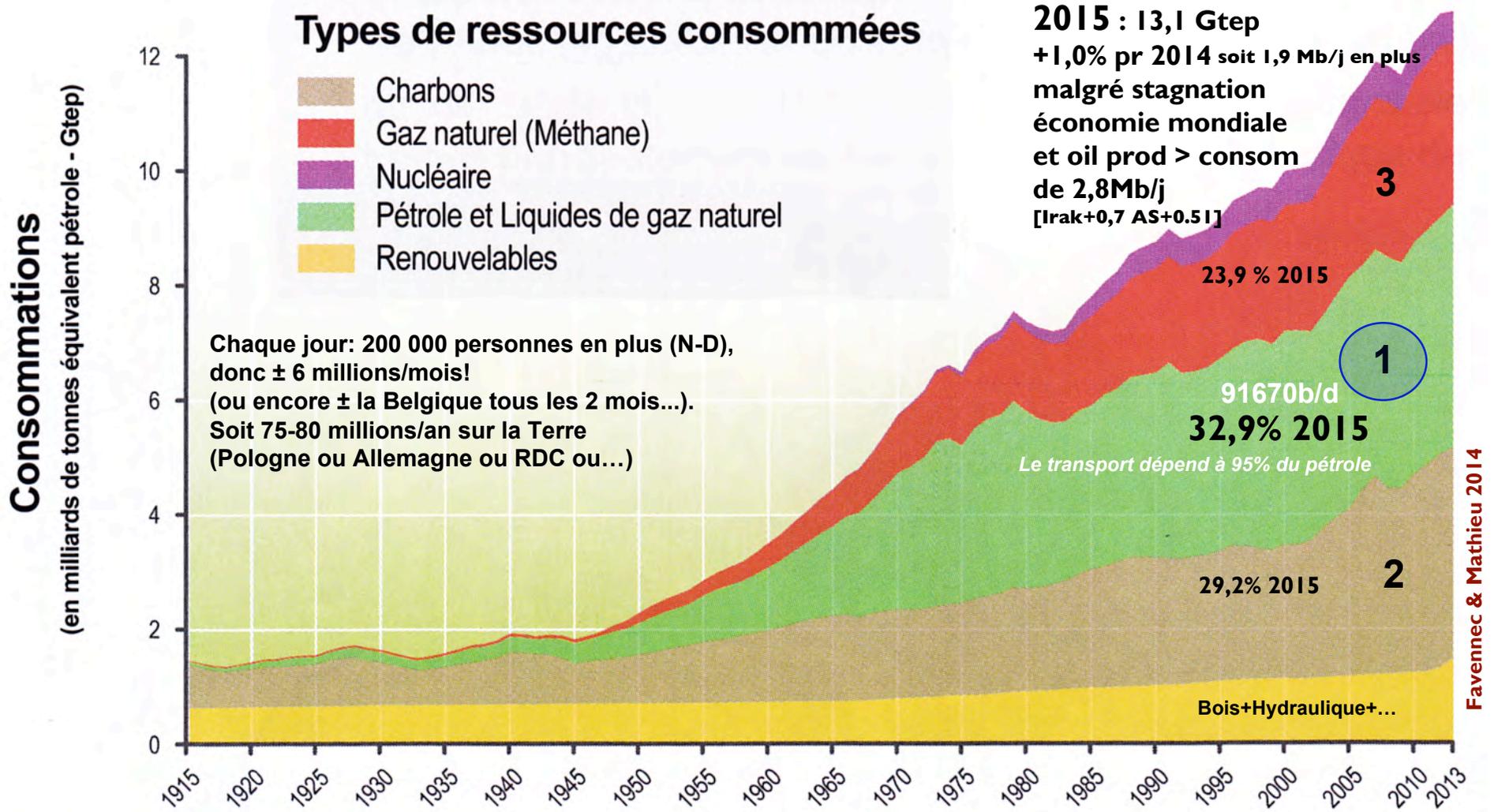
Dr. Prof. Alain Prémat
Université Libre de Bruxelles

apreat@ulb.ac.be
<http://apreat.ovh>



22?Gtep-2050

2015: 13,147 Gtep, soit ±12000 réacteurs nucléaires, auj ± 450 (+100-150?)



Evolution des consommations énergétiques mondiales depuis 1915

Total World	10940.0	11267.8	11617.3	11780.8	11598.5	12181.4	12450.4	12622.1	12873.1	13020.6	13147.3
-------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

<2Gtep/1915-1950 **10,9Gtep/2005**

13,1Gtep/2015

2015 in review BP June 2016 DONNEES LES PLUS RECENTES (en mars 2017)

Growth in global primary energy consumption remained low in 2015; and the fuel mix shifted away from coal towards lower-carbon fuels.



+1.0%

Growth of global primary energy consumption, well below the 10-year average of 1.9%.

+1.5%

Growth of Chinese primary energy consumption, the world's largest increment.



1 tep = ±42GJ
 = 100. 10⁹cal = 11,700 kWh
 1t ²³⁵U = ± 10000 tep
 1 cyclone Caraïbe = ± 100.10⁶ tep

Oil

+1.9mb/d oil
 Growth of global oil consumption.

32.9%
 Oil's share of global energy consumption, the first increase since 1999.

Natural gas

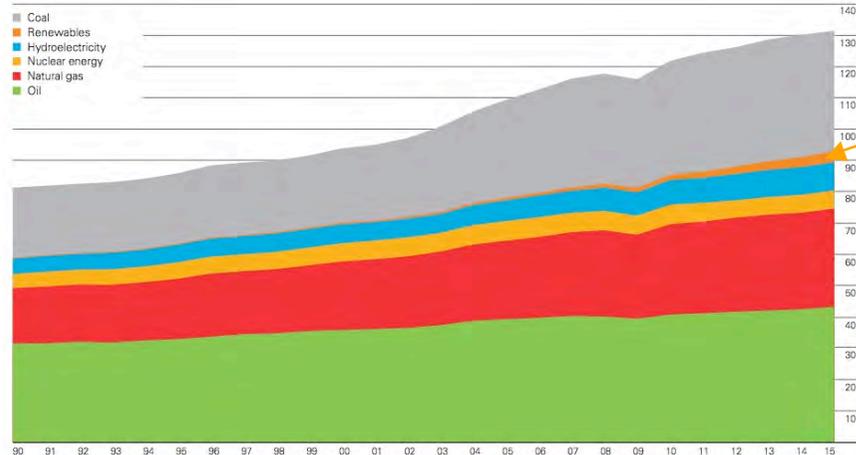
Coal

+5.4% gas
 Growth of US gas production, the world's largest increment.

-1.8% coal
 Decline in global coal consumption, the largest on record.

11000 mines
 =>5600 mines en 2020
 (prix = x2 en 2016)

World consumption
 Million tonnes oil equivalent



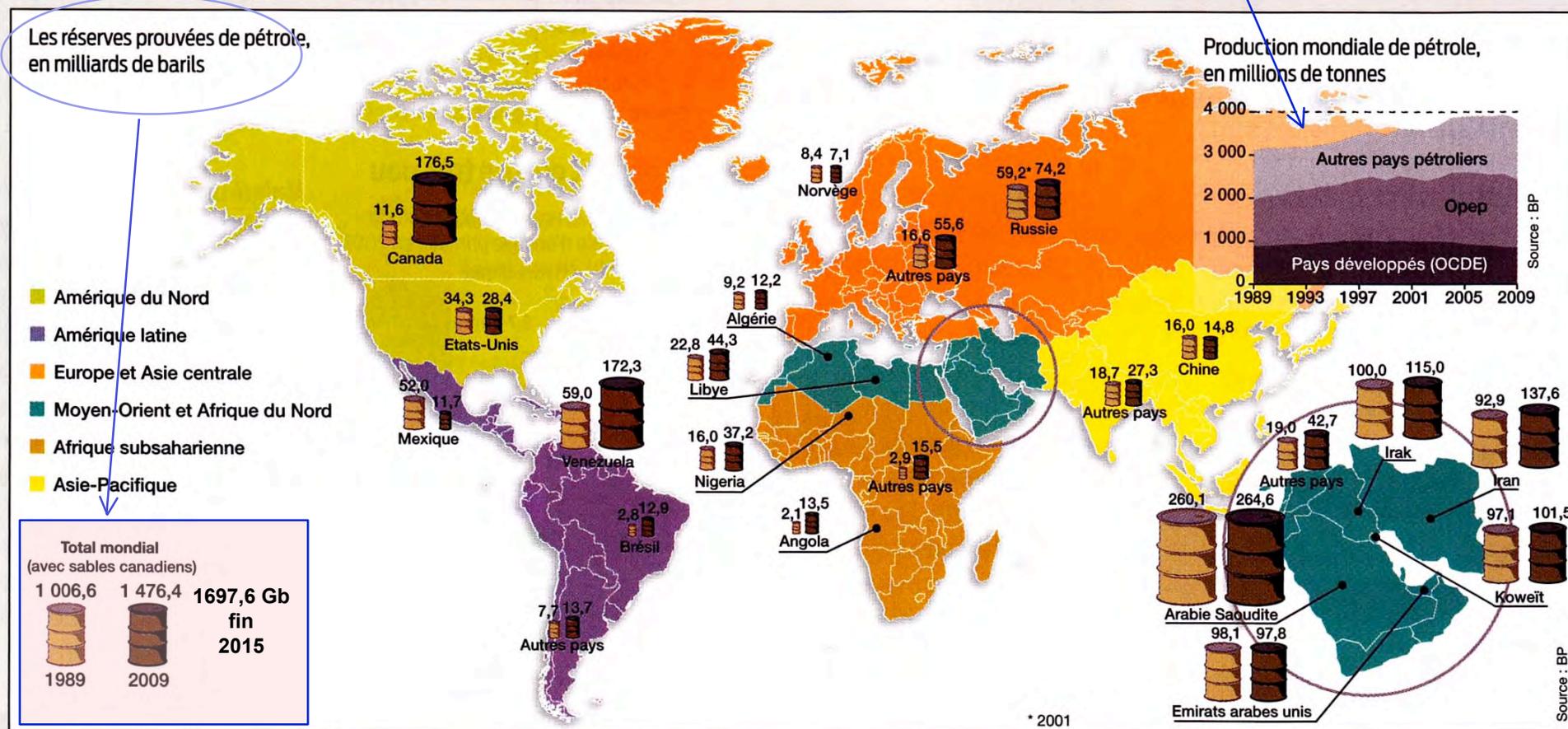
+213 = +15,2% terawatt-hours
 Growth in renewable power generation, the largest increment on record.

+0.1%
 Increase in global CO₂ emissions from fossil fuel use.

courantes-contingentes-à découvrir
1P-2P-3P C-SC-NC

≠ réserves

Le pétrole, bientôt la fin ?



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

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



Mardi 14 mars 2017 15:38

Le Cours du baril de pétrole en dollars: 47.47 \$ (-0.93 1.92%)

Le Cours du pétrole Brent en dollars: 50.55 \$ (-0.80 1.56%)

Prix du pétrole brut WTI

Prix du pétrole Brent



QUELQUES CONSIDERATIONS A NE JAMAIS PERDRE DE VUE MEME SI ...

A l'heure actuelle, aucune organisation indépendante n'a le mandat de contrôler [l'exactitude des réserves](#) annoncées par les compagnies pétrolières et les États.

[Les hydrocarbures non conventionnels](#) obligent à revoir la notion de "réserves".

Les réserves prouvées ont un impact sur la vie économique des sociétés pétrolières car elles influent directement sur leur valorisation boursière. Des entreprises de consulting sont payées par les entreprises pétrolières pour « certifier » leurs réserves. [Certains analystes dénoncent les conflits d'intérêt potentiels induits par ce système.](#)

La Society of Petroleum Engineers (SPE) a toutefois mis en place des règles communes pour que les sociétés pétrolières calculent leurs réserves en se conformant aux exigences de la SEC (Securities and Exchange Commission). [Certaines compagnies pétrolières privées ont surévalué leurs réserves dans le passé afin de valoriser leurs actifs.](#) Entre 1997 et 2002, le groupe Shell a par exemple gonflé ses réserves annoncées de 23% et a été condamné par la SEC à une amende de 120 millions de dollars.

[L'annonce de réserves peut ainsi reposer sur des considérations politiques ou stratégiques.](#) Certains analystes soupçonnent par exemple que des pays puissent annoncer leurs réserves « 2P » en les faisant passer pour leurs réserves prouvées (« 1P »). Notons que les réserves de l'Arabie Saoudite ont un niveau constant depuis plus de 20 ans malgré une production proche de 10 millions de barils par jour.

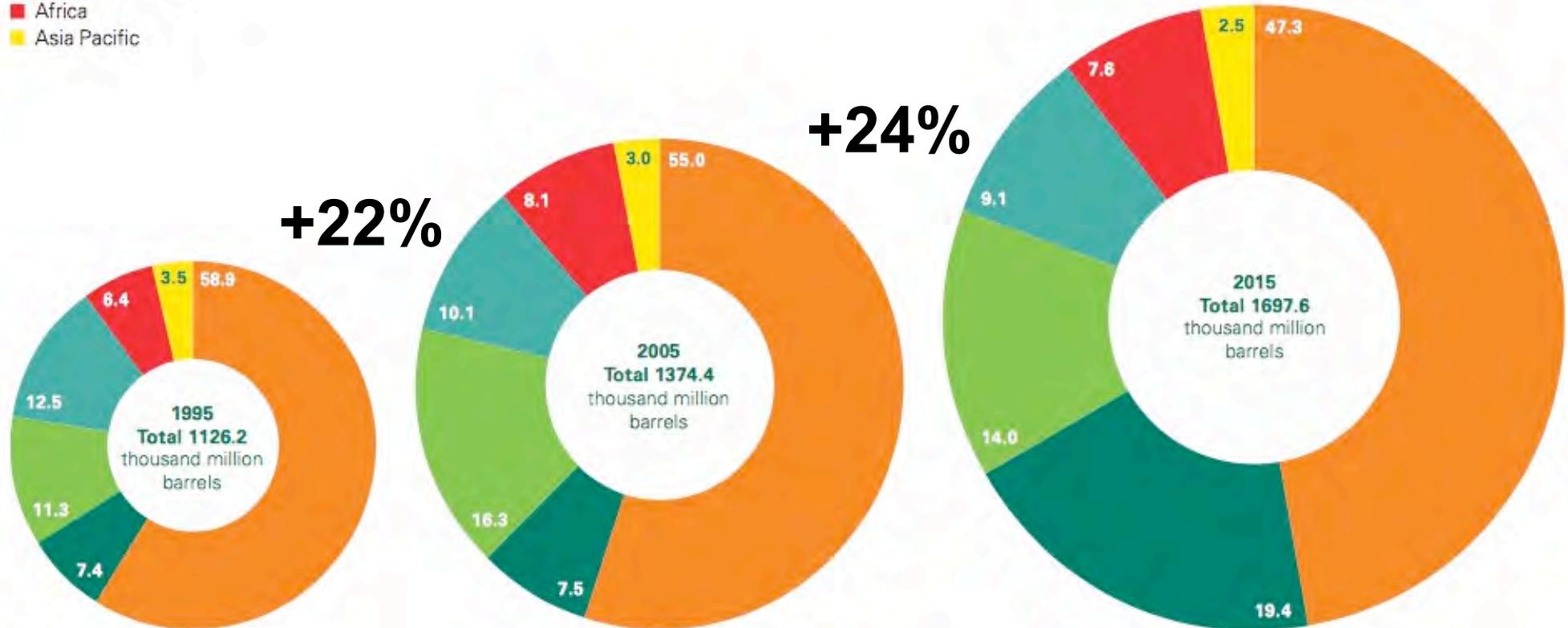
Les États sont les propriétaires des réserves de pétrole présentes sur leur territoire et dans les fonds marins n'excédant pas une distance de 200 miles marins (370,4 km) de leurs côtes, [à l'exception des États-Unis où ce sont les propriétaires du sol qui sont propriétaires du sous-sol.](#)

1P

Distribution of proved reserves in 1995, 2005 and 2015

Percentage

- Middle East
- S. & Cent. America
- North America
- Europe & Eurasia
- Africa
- Asia Pacific



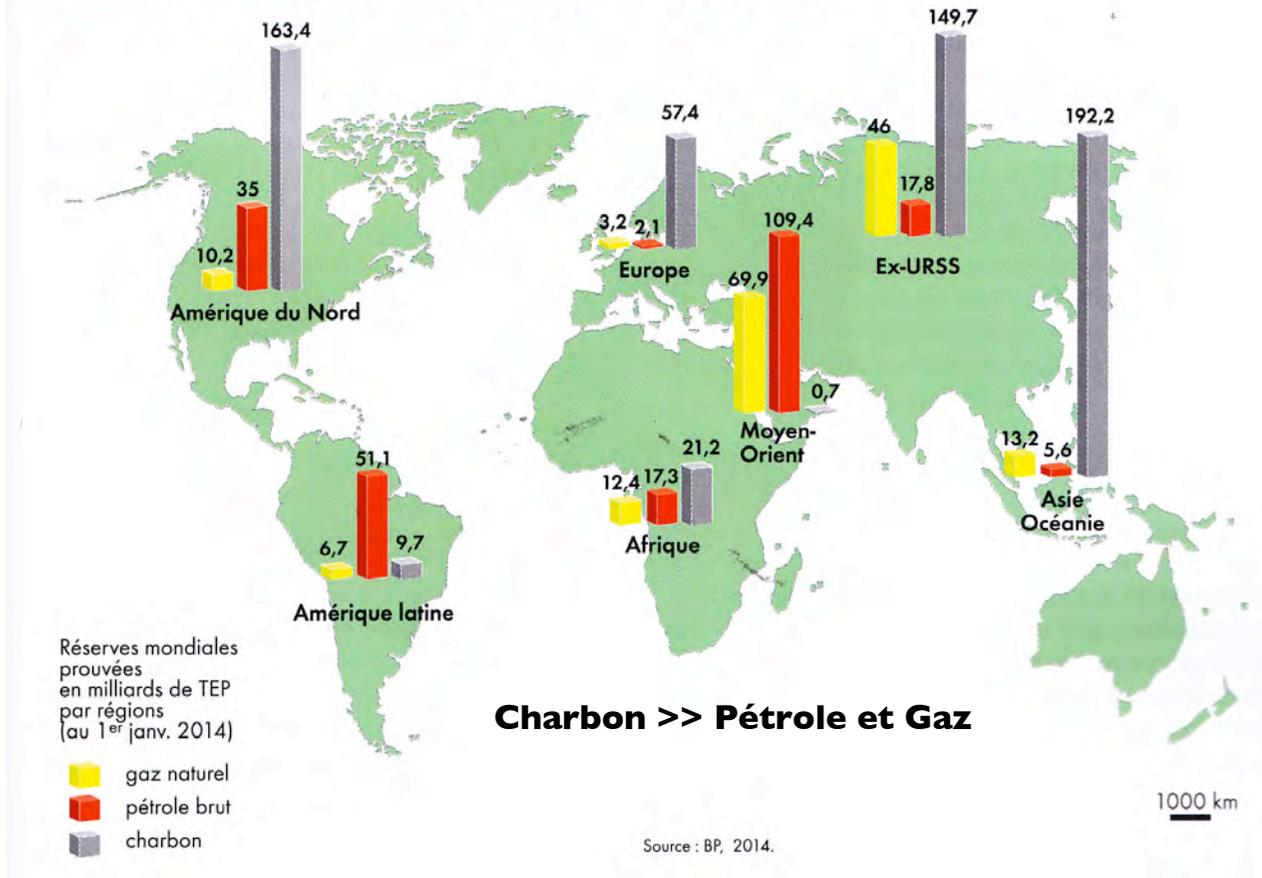
1697,6 Gb : 33,4 Gb = 91670 Mb/d (2015) = 51 ans (1P)

(nb = 1000 b/sec.... Une piscine olympique/15 sec ou 550pisc/conf)



HC c et 1P -2014-

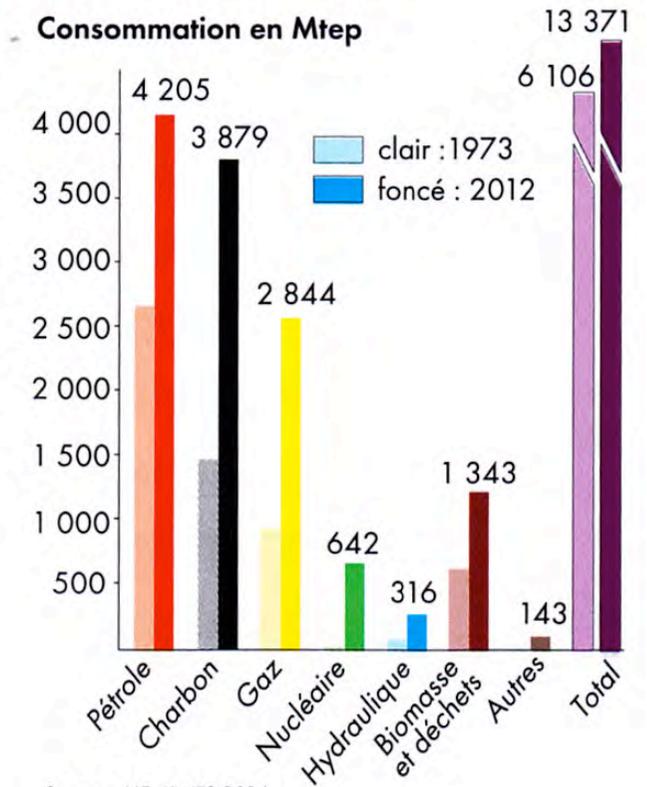
LES RÉSERVES MONDIALES PROUVÉES D'HYDROCARBURES ET DE CHARBON



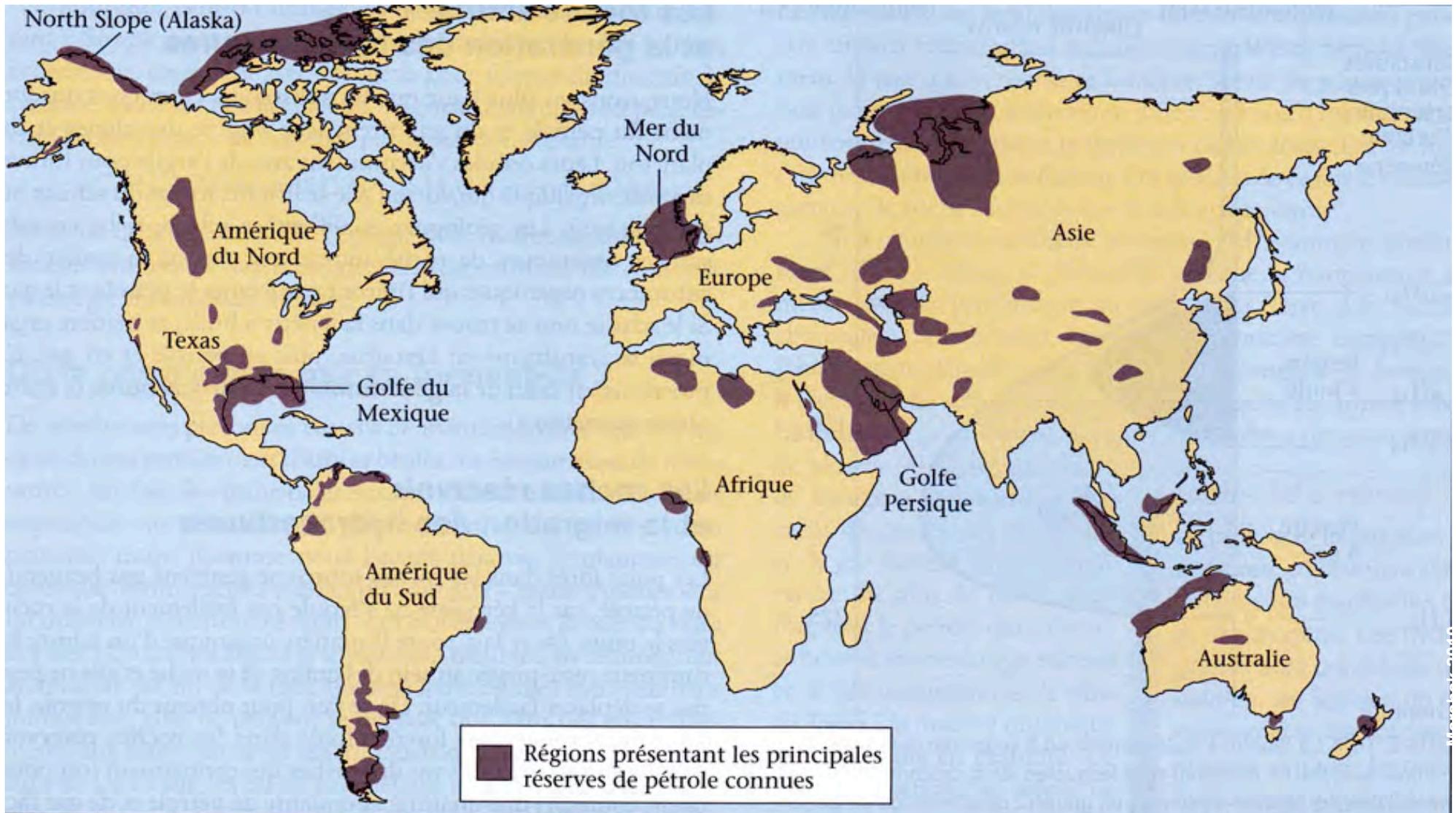
82% = fossile

91% hors 'bois'

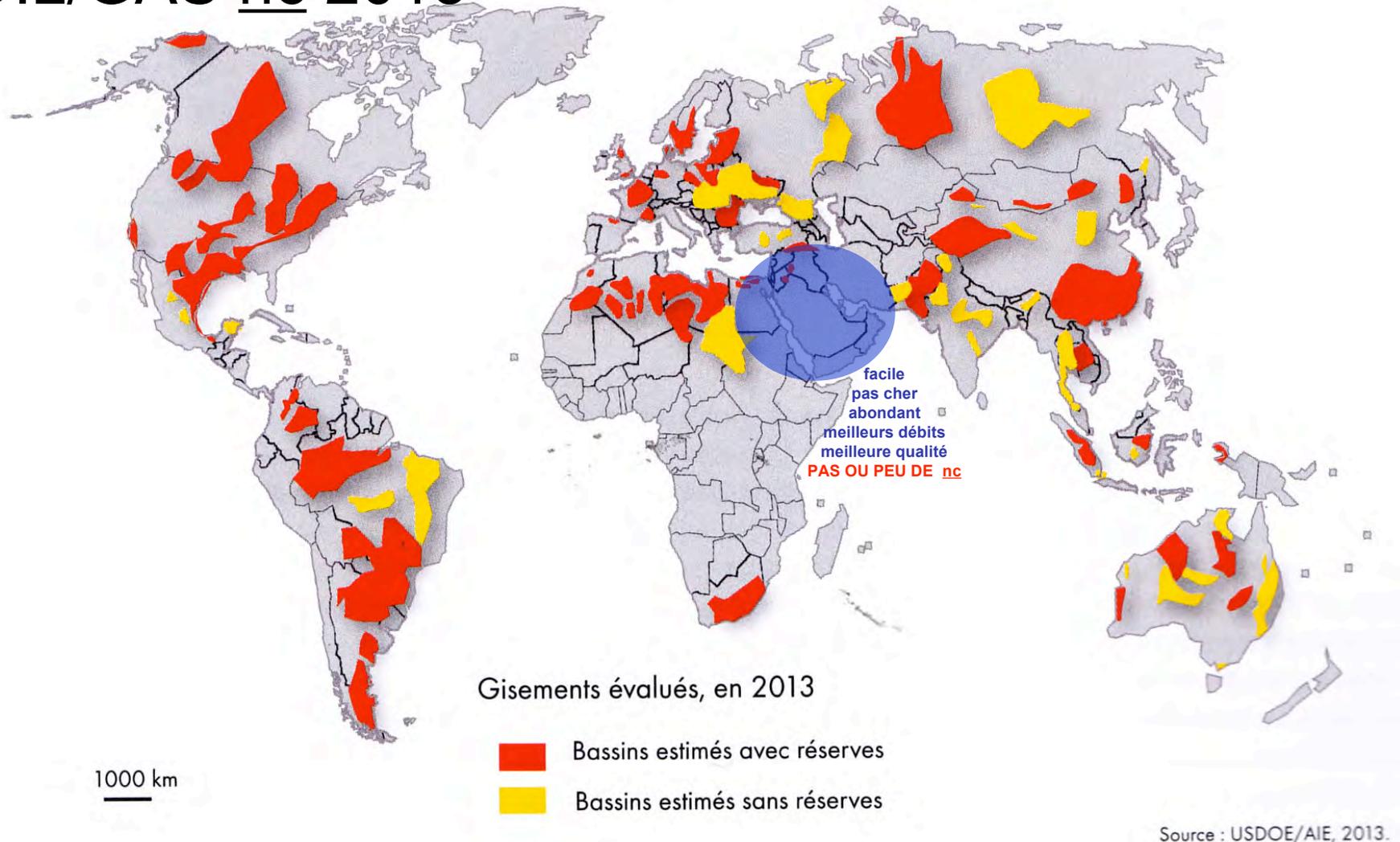
L'ÉVOLUTION DE L'ÉNERGIE PRIMAIRE PAR SOURCE



OIL c : connus depuis longtemps = géologie des bassins sédimentaires

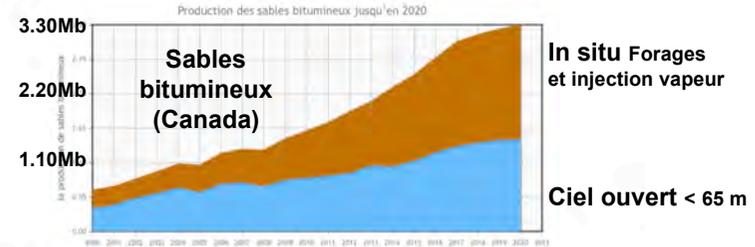


PRINCIPAUX GISEMENTS D'HUILE ET DE GAZ DE SCHISTE = 'shale oil and shale gas'
OIL/GAS nc 2013



EIA sees 80,000 b/d rise in March from major US onshore producing regions

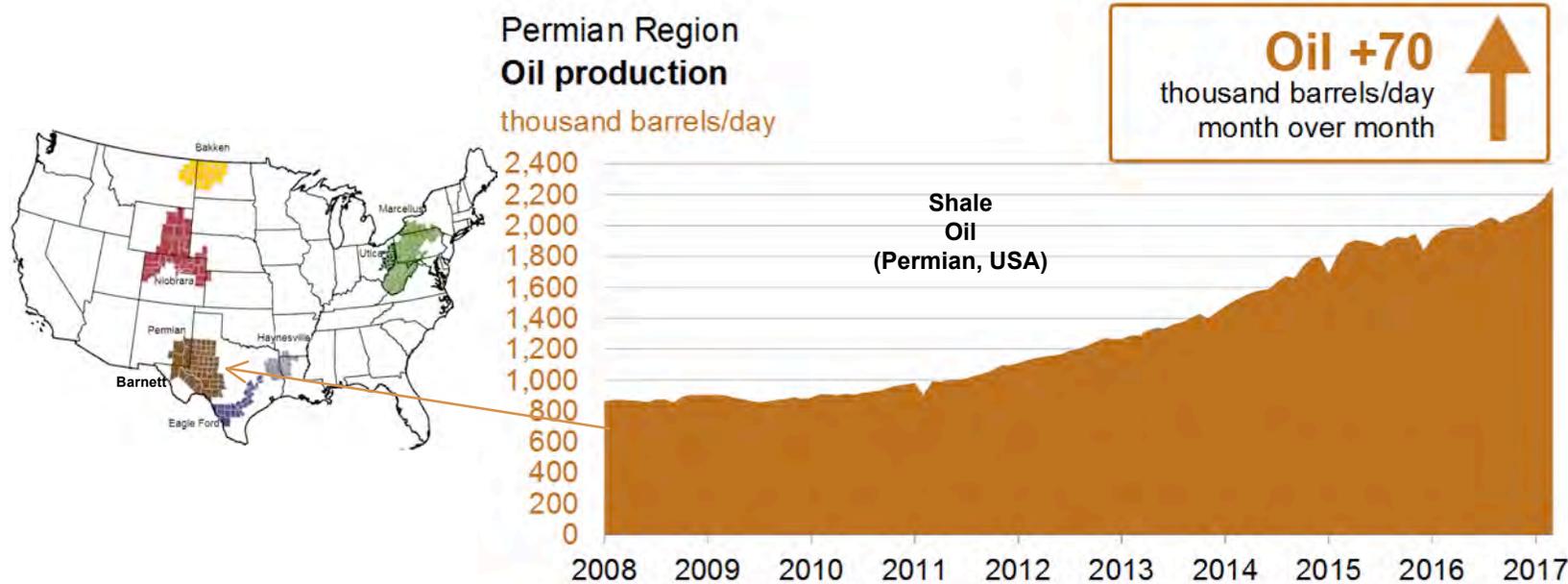
HOUSTON, Feb. 13
02/13/2017
By Matt Zborowski
OGJ Assistant Editor



The US Energy Information Administration projects crude oil production from seven major US onshore producing regions to climb 80,000 b/d month-over-month in March to 4.873 million b/d. **Oil prod USA 2015 = N°1 mondial**

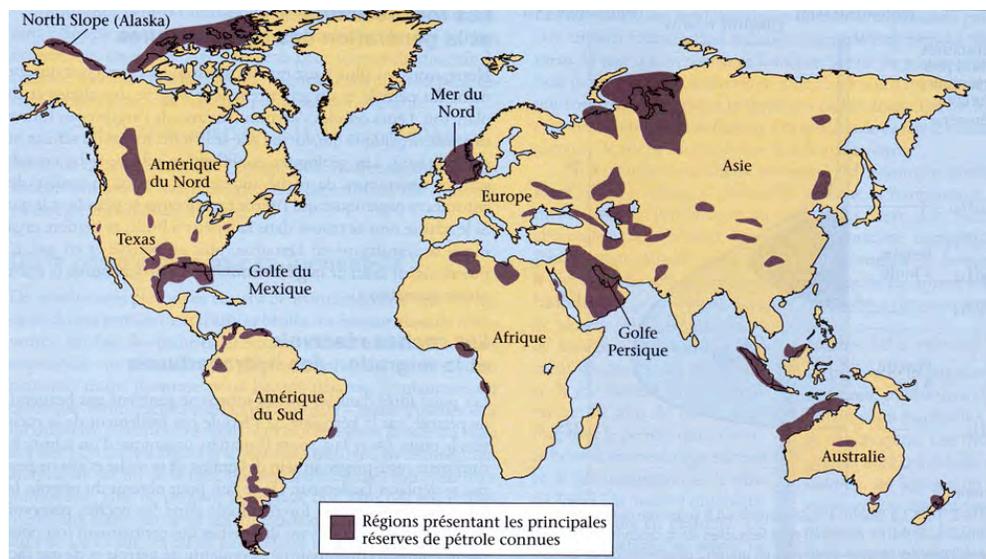
12704 Mbl/d (crude-tight-shale) on 91670 Mbl/d

The overall increase reflects additions of 70,000 b/d from the Permian basin and 14,000 b/d from the Eagle Ford shale, marking the South Texas region's first rise in [Drilling Productivity Report](#) data since late 2015.



<http://www.ogj.com/articles/2017/02/eia-sees-80-000-b-d-rise-in-march-from-major-us-onshore-oil-regions.html>

OIL c

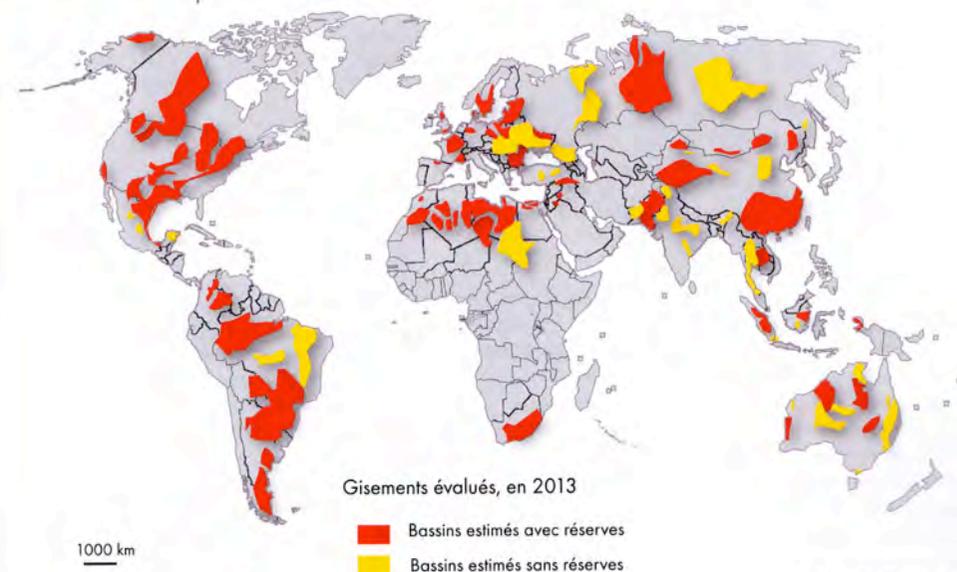


1. MONDE OPEP (2/3-3/4 des 1P)

6000 Gbl , taux de récupération (I,II,III) 30-35% (2015)

OIL/GAS nc 2013

PRINCIPAUX GISEMENTS D'HUILE ET DE GAZ DE SCHISTE



2. MONDE **N**OPEP Am N (Am S) (3/4 de la ressource)

7000G bl oil nc , taux de récupération 10% (2015)

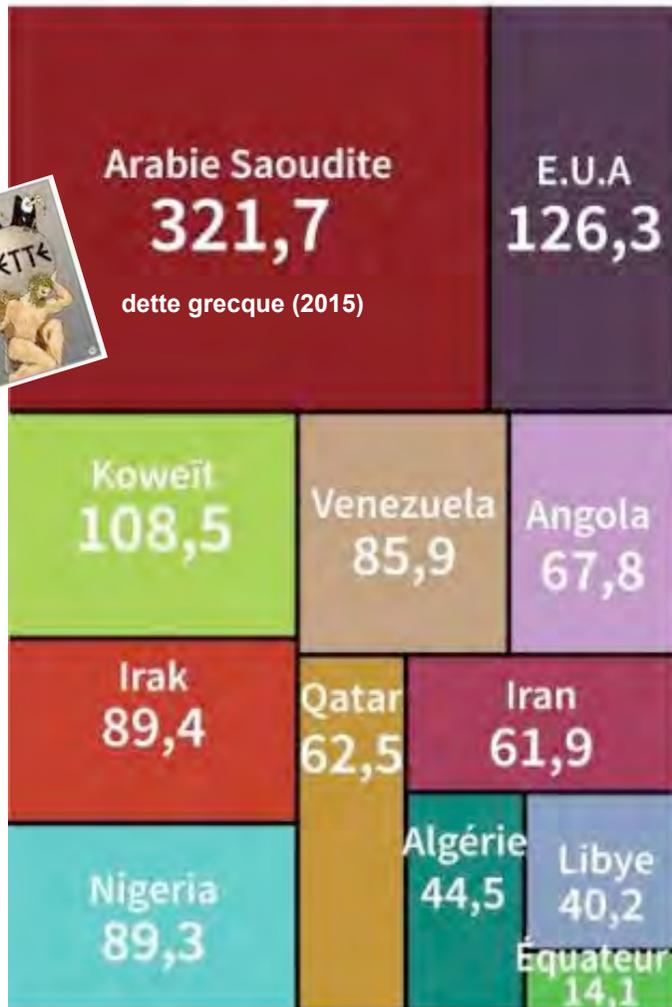
3. *Moyen Orient + Russie = ±2/3 Gaz c*

4. *Gaz nc : USA, Canada, (Argentine, Chine)*

Opep : exportations

Valeur en milliards de dollars (2013)

Total de l'Opep : 1 112 milliards de \$

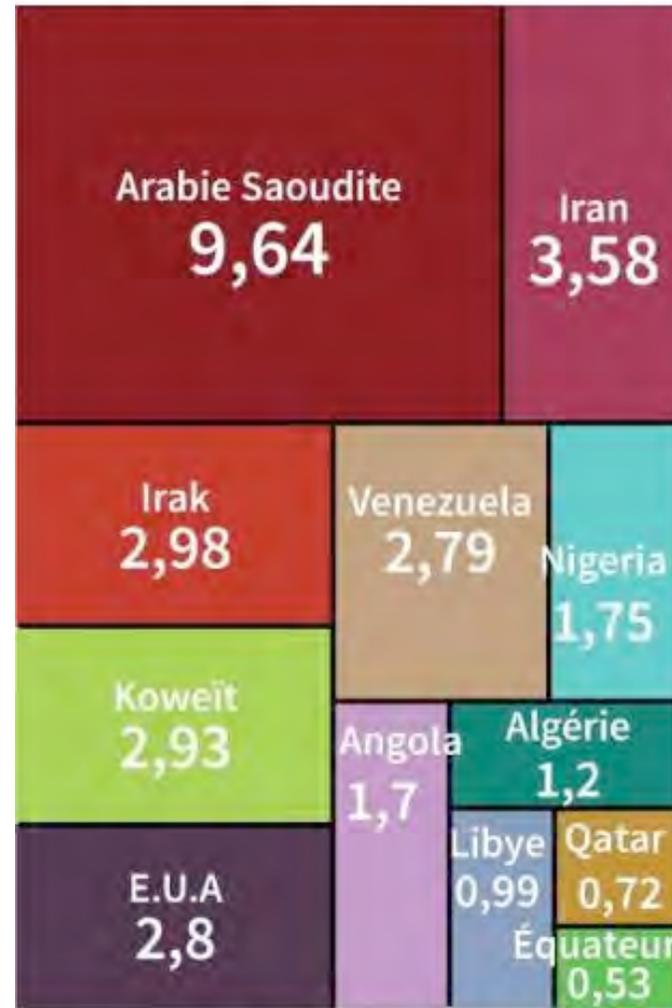


dette grecque (2015)

Production de l'Opep

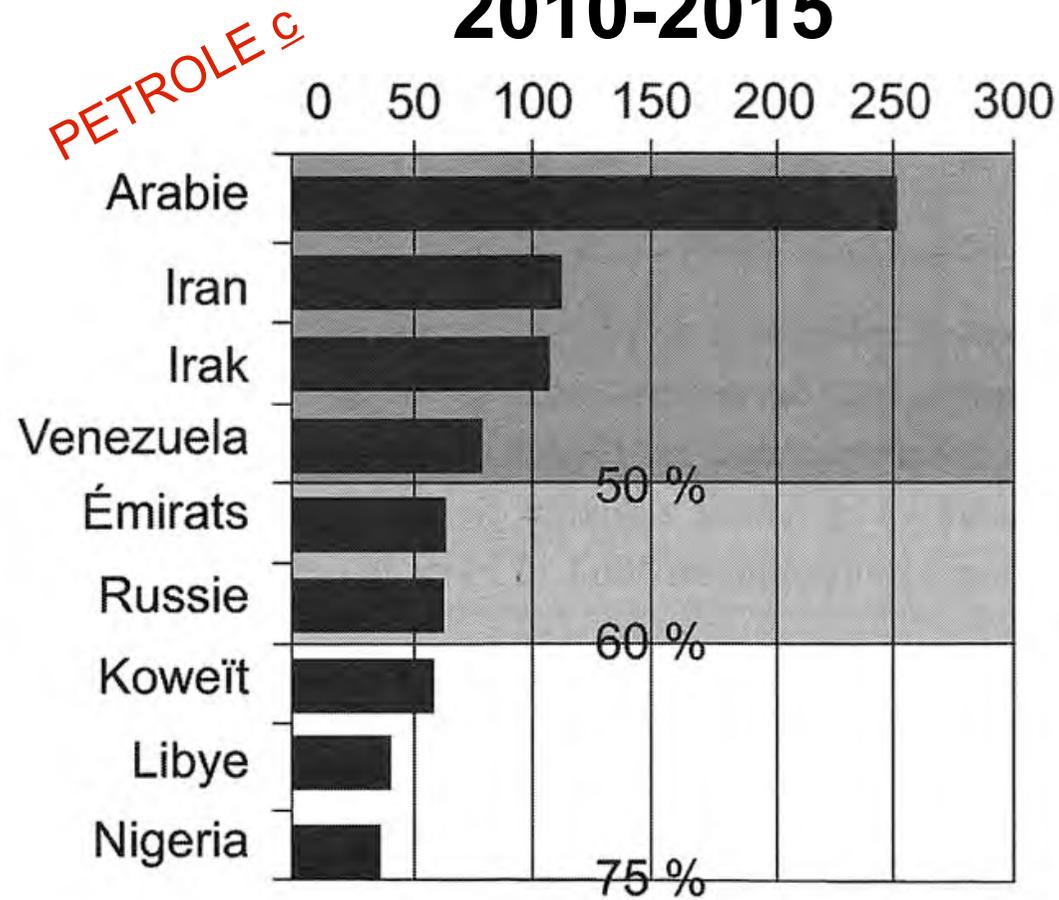
En millions de barrils/jour (2013)

Total de l'Opep : 31,6 millions mbj



Source : Opep

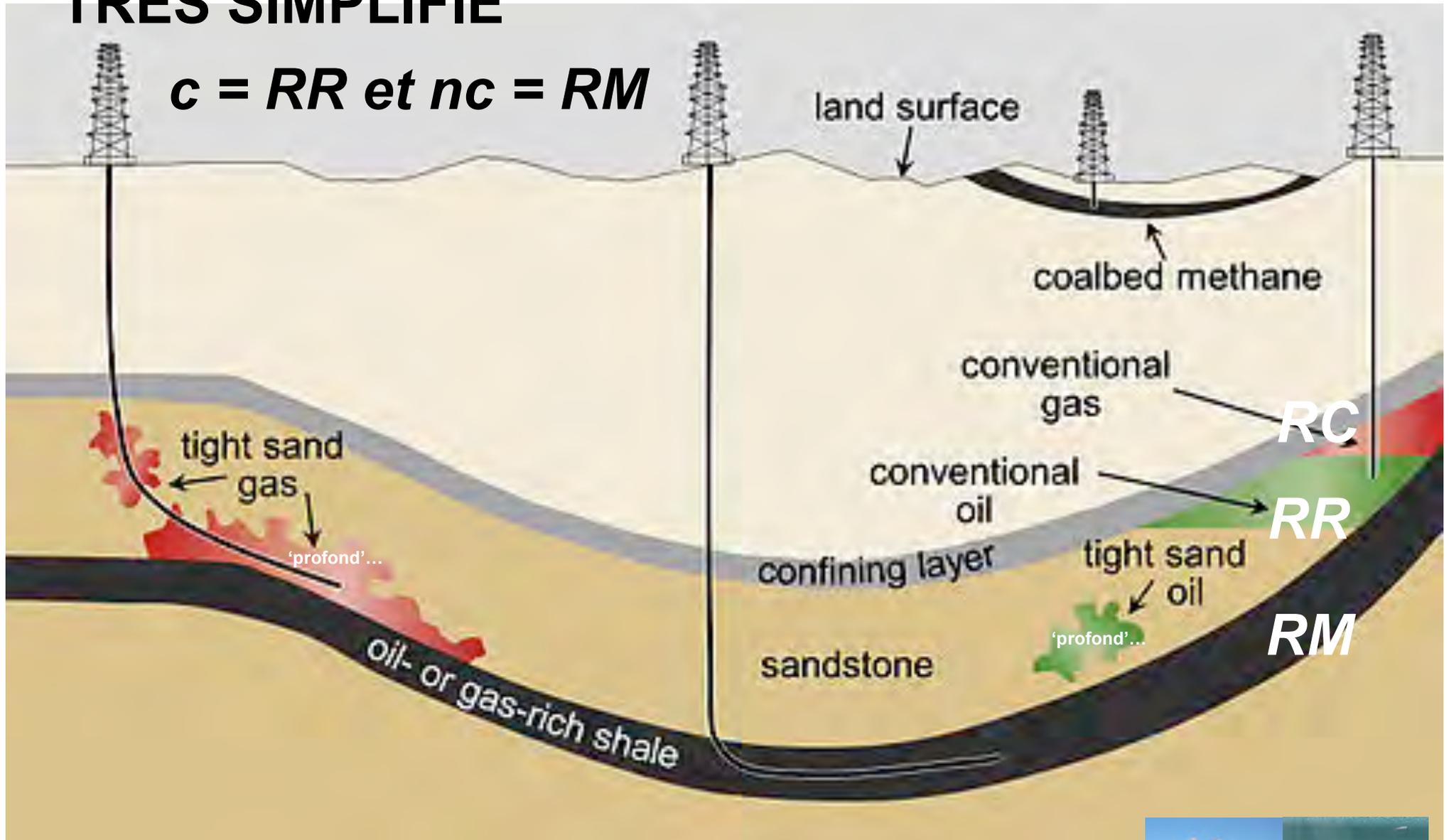
RESERVES OIL c 1P 2010-2015



« je les considère comme des pays ? »

TRES SIMPLIFIE

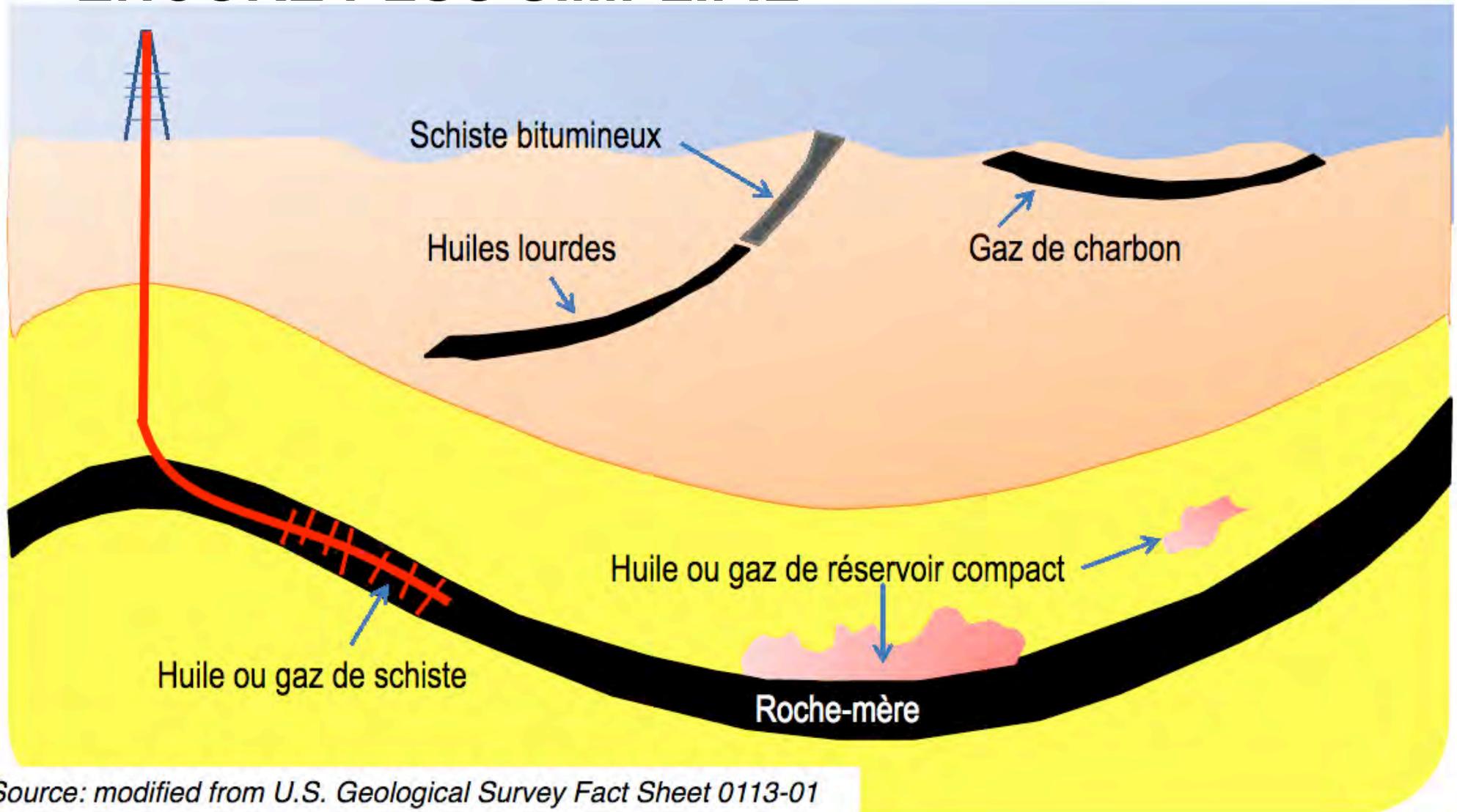
$c = RR$ et $nc = RM$

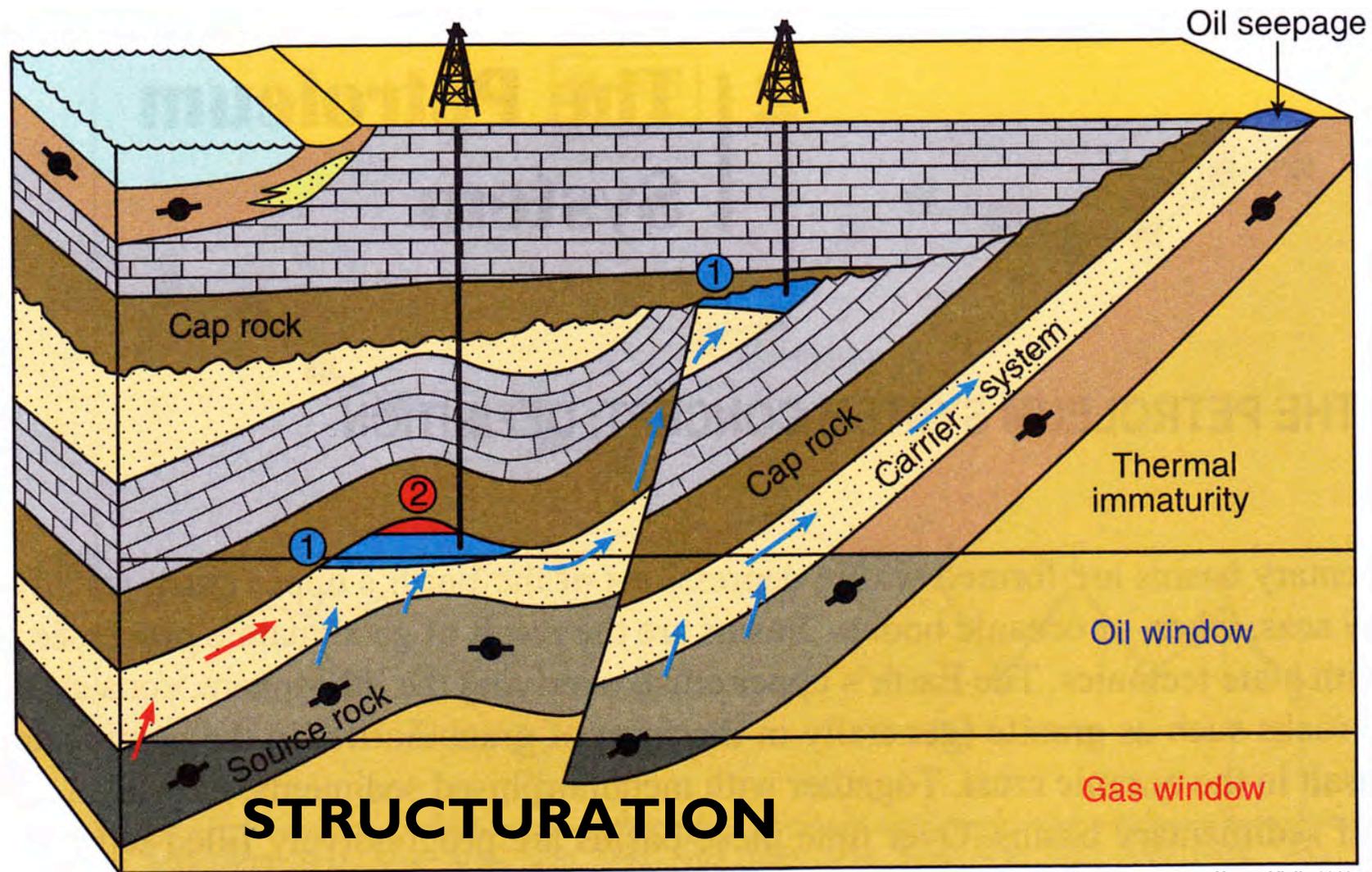


+ subconventionnel (infrasalifère)



Réservoirs non-conventionnels d'hydrocarbures ENCORE PLUS SIMPLIFIÉ

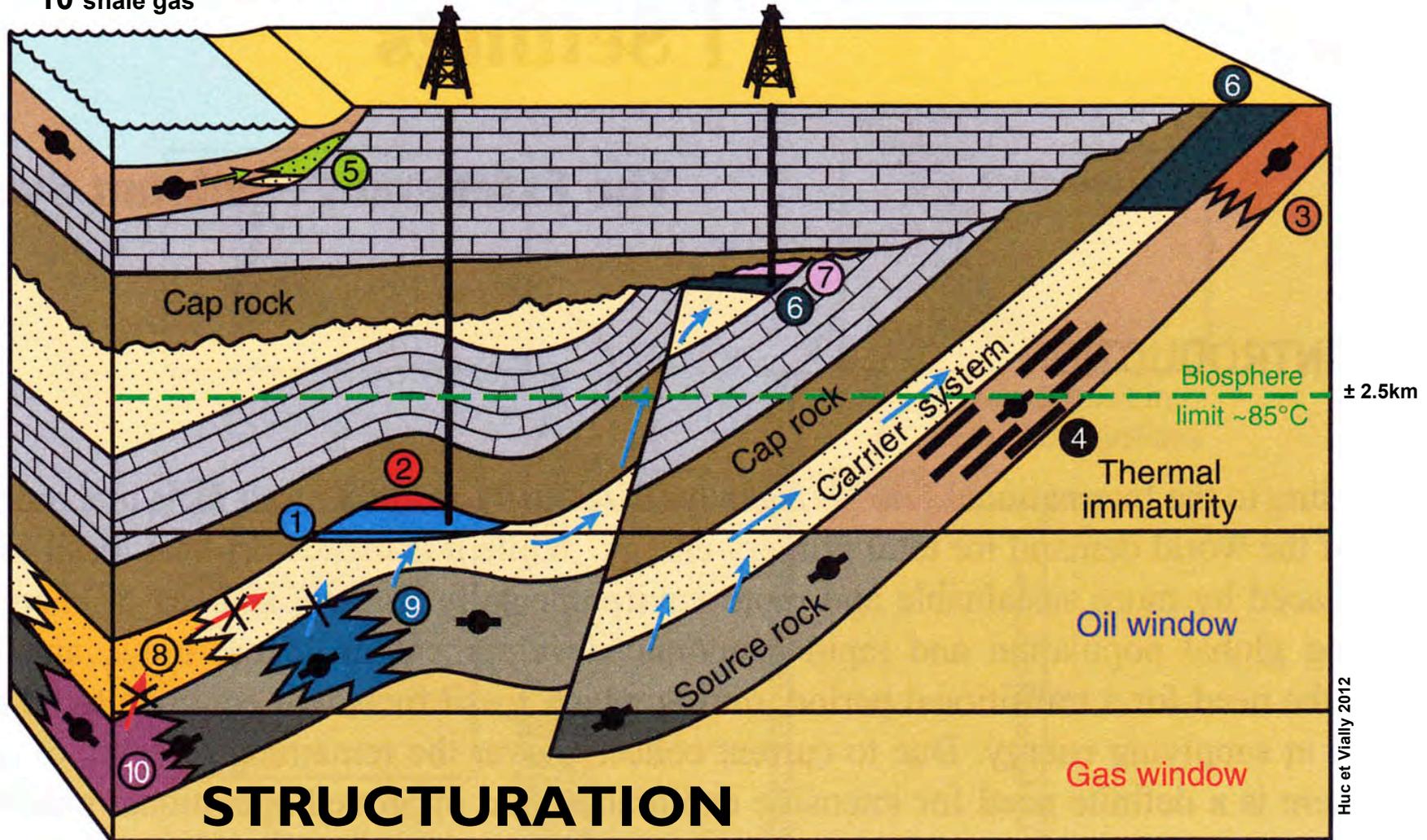




Huc et Vially 2012

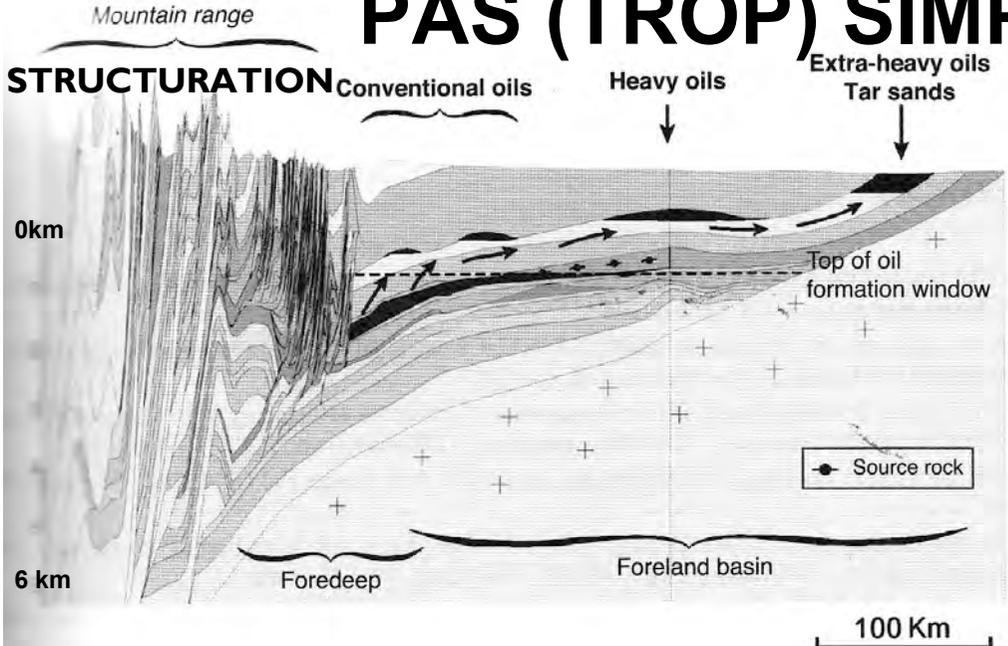
EXTENDED PETROLEUM SYSTEM

- 1 oil c 2 thermogenic gas c 3 oil shale OM I&II 4 coal seams OM III 5 primary biogenic gas
 6 heavy/extra heavy oils, bitumen 7 secondary biogenic gas 8 tight gas 9 tight oil/oil from source rock
 10 shale gas



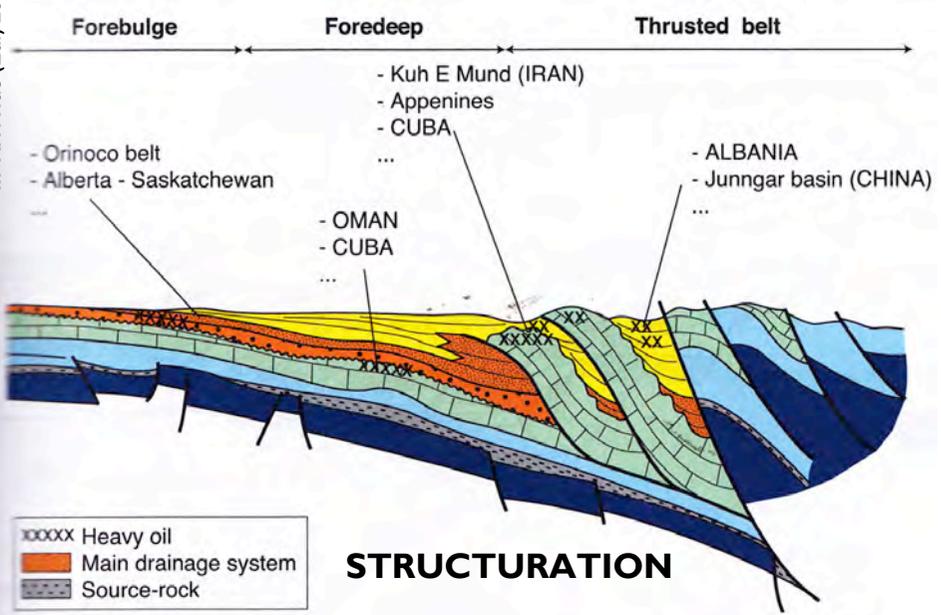
Huc et Vially 2012

PAS (TROP) SIMPLIFIE ...

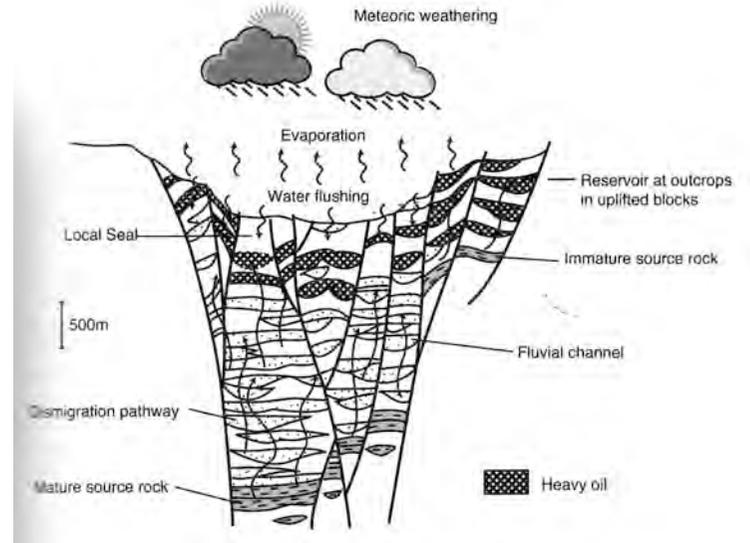


Foreland basins = most favorable situation
 Ex : Alberta province, Eastern Venezuela (Orinoco)
 (world's major heavy oil provinces)

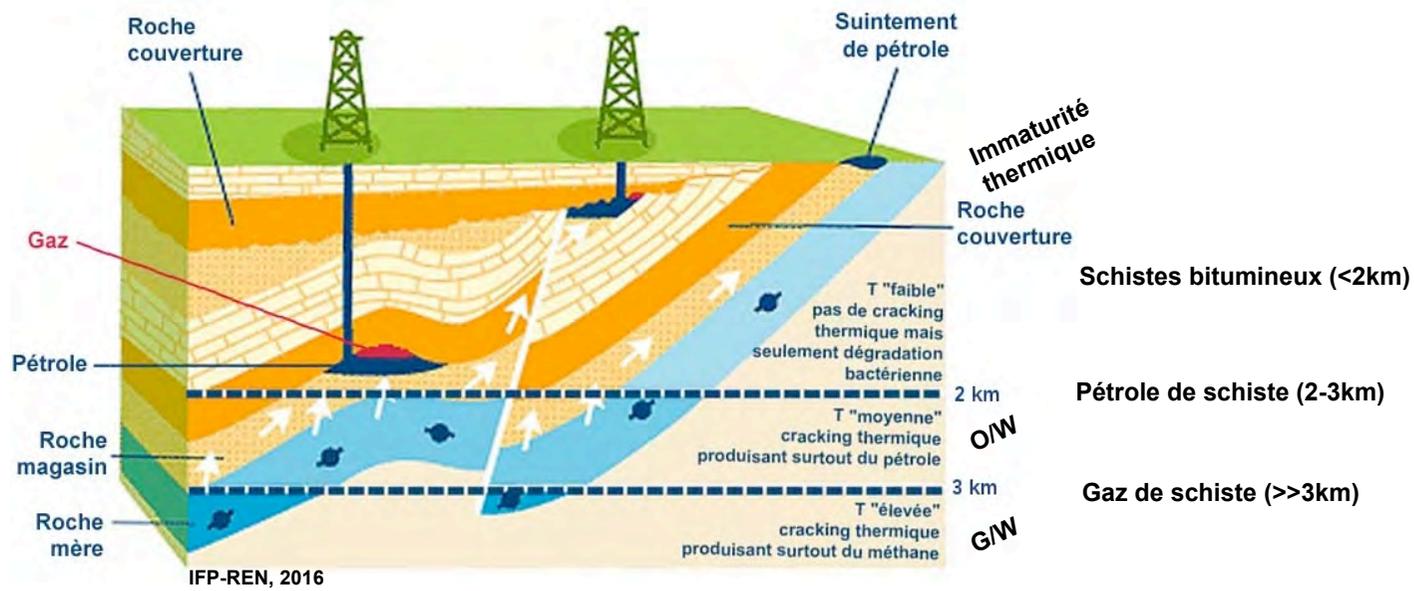
in A.Y. Huc (Ed.) 2011



The oil migrated from the foredeep to the forebulge through fluvial sands draping the foreland basal unconformity. Biodegradation occurred at shallow depth. Reservoirs may be latterly buried.... or uplifted in the thrust belt with their heavy oil products. Vertical dismigration and surface alteration may also occur....



SYSTEME PETROLIER : RESERVOIRS CONVENTIONNELS ET NON CONVENTIONNELS (ANTICLINAL FAILLE, CAS LE PLUS FRÉQUENT CAR LE PLUS SIMPLE A TROUVER)



Schistes bitumineux (<2km)

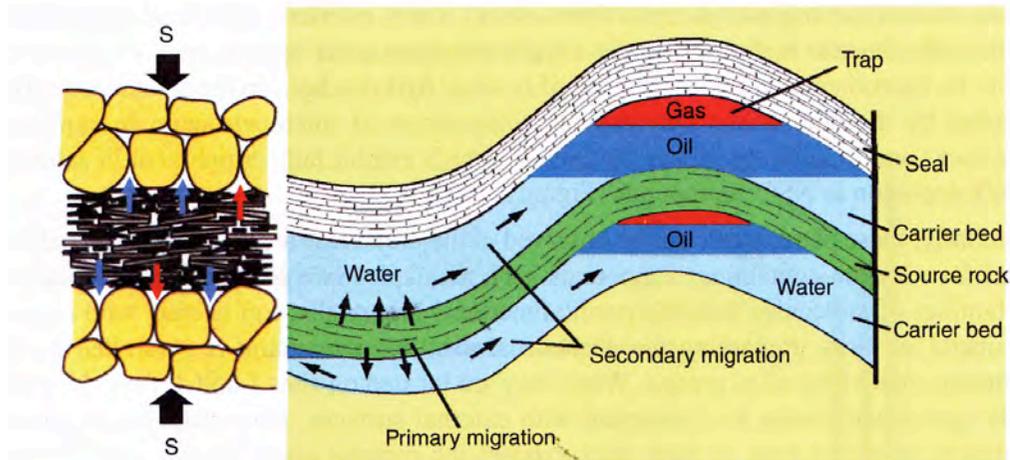
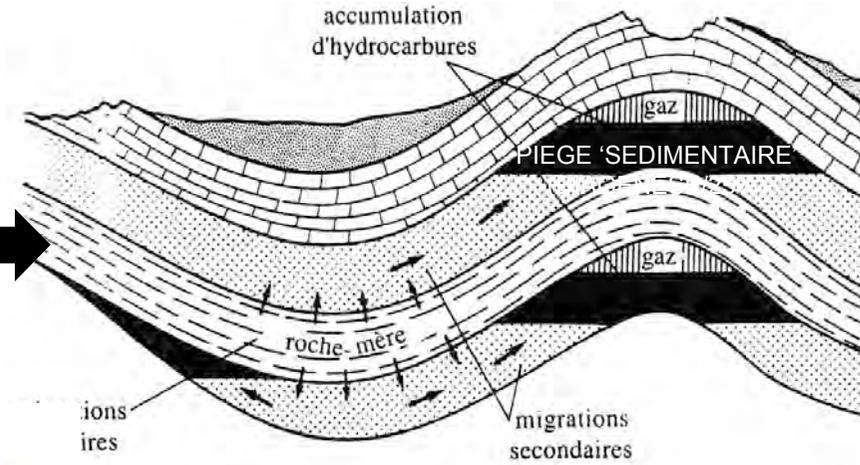
Pétrole de schiste (2-3km)

Gaz de schiste (>>3km)

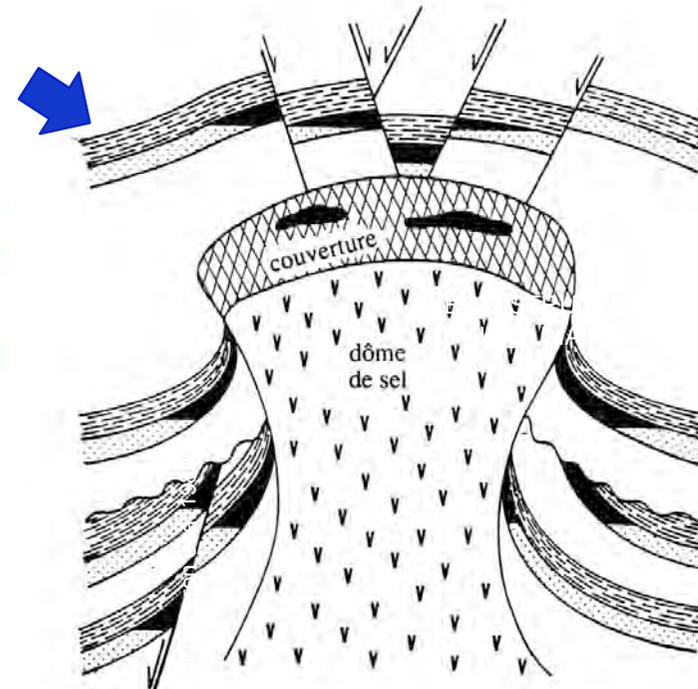
Overmature

SYSTEME PETROLIER

STRUCTURATION TECTONIQUE ou SEDIMENTAIRE



Si migration vers le bas, la Rsce = Rcvture

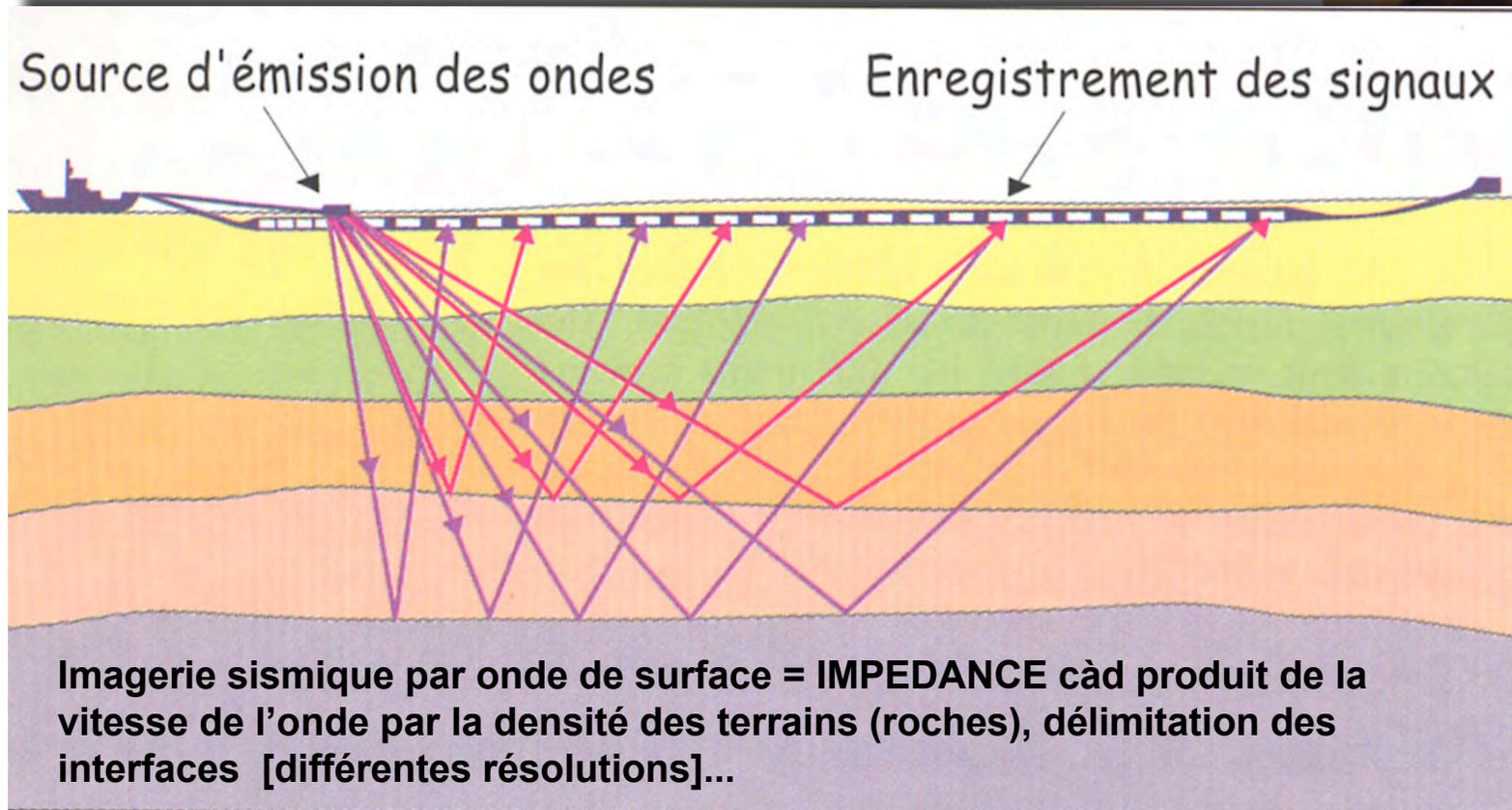
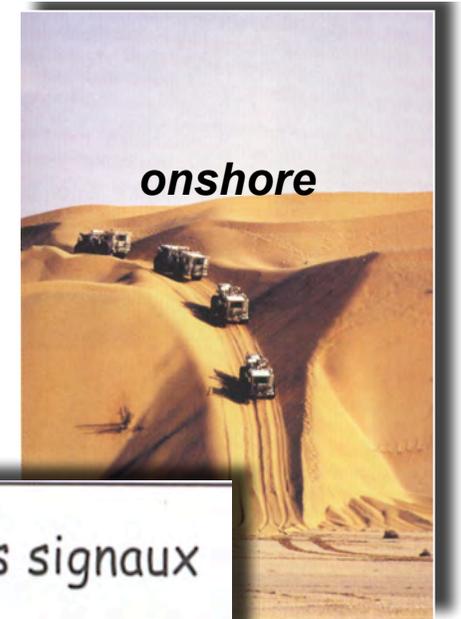




SISMIQUE REFLECTION

lever les incertitudes géologiques...

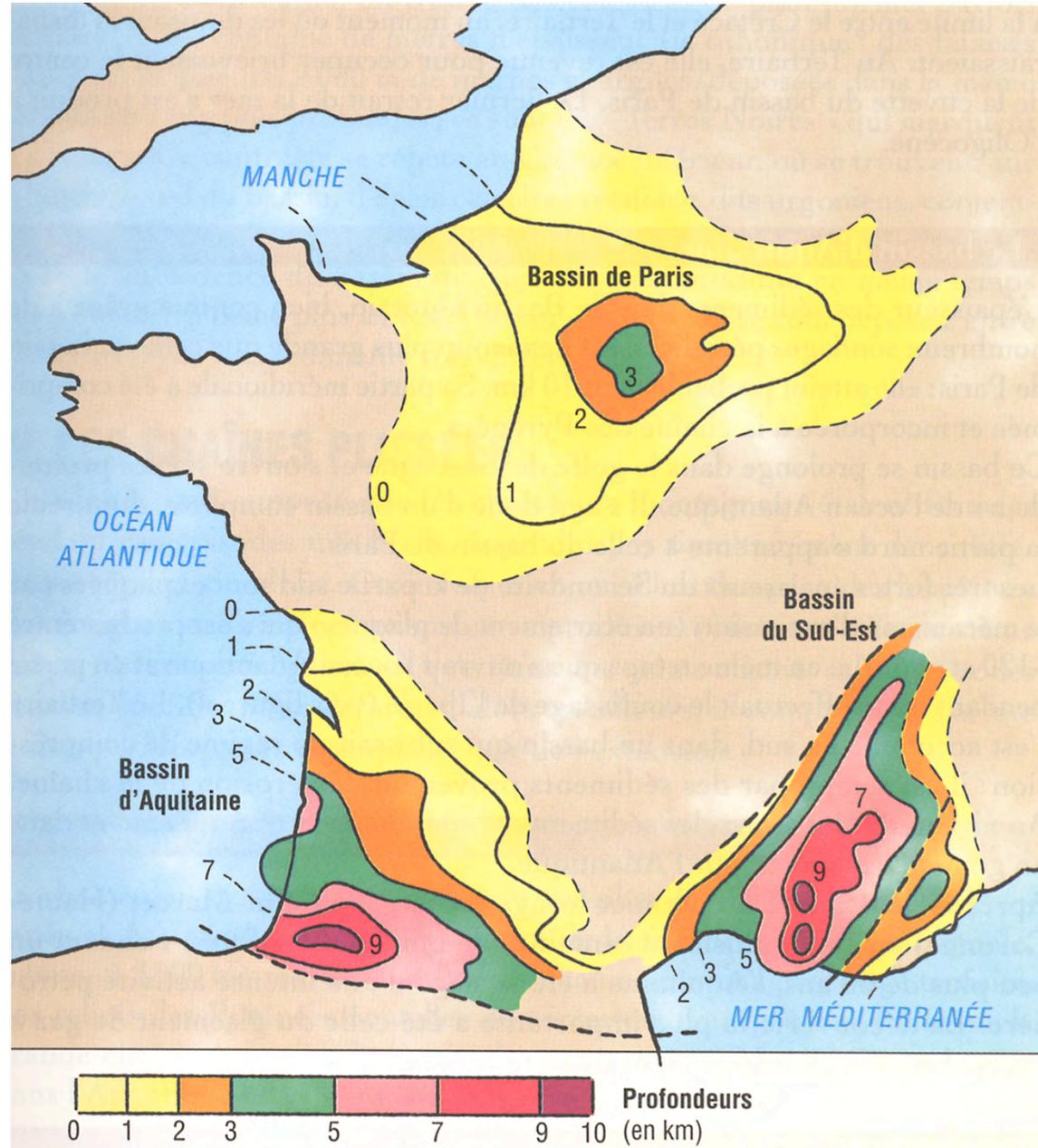
[=9/10ème du budget explo]



Bois de la Tour

TRIAS-ACTUEL
'intracratonique

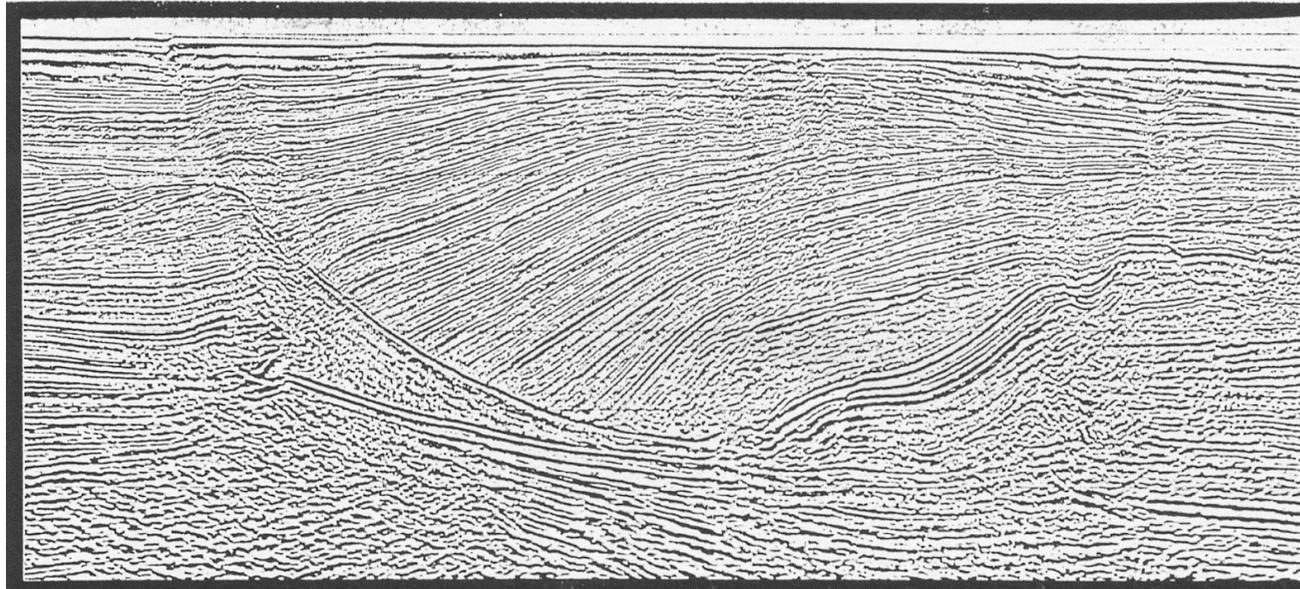
Extension Atl
Coulissage
Ibérie



Sabouraud 2004

Tr-K
Extension
Compression
(Pyrénées
et Alpes)

STRUCTURATION SEDIMENTAIRE

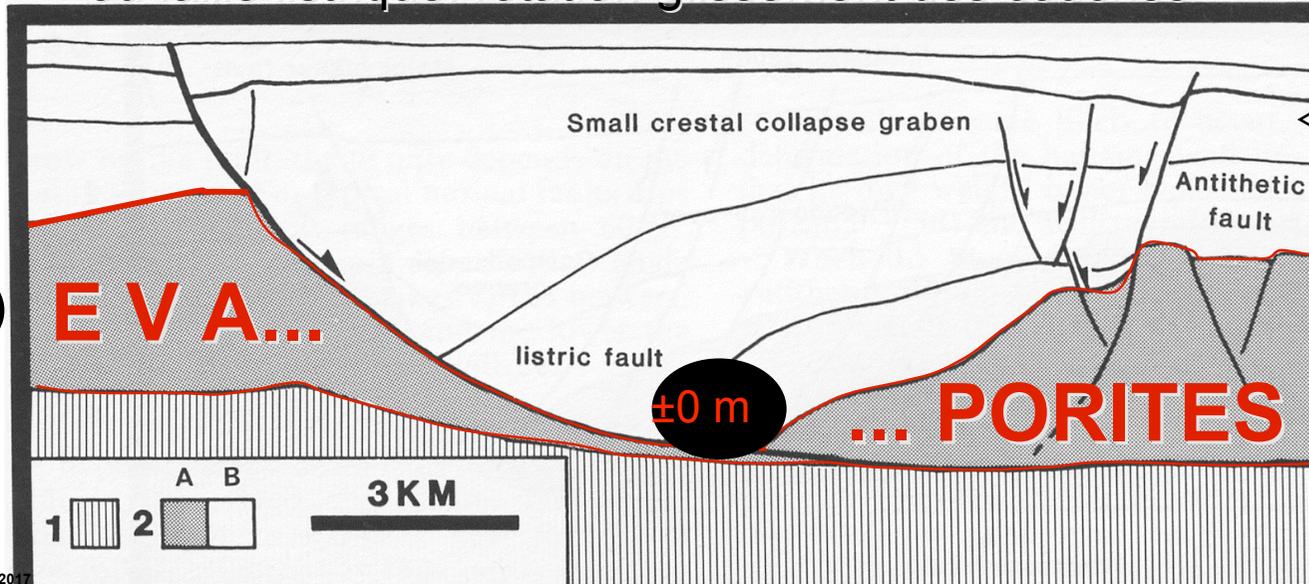


5 km



Extension (rift) le long d'une faille courbe ou faille listrique: rotation-glissemment des couches

TWT



5 km

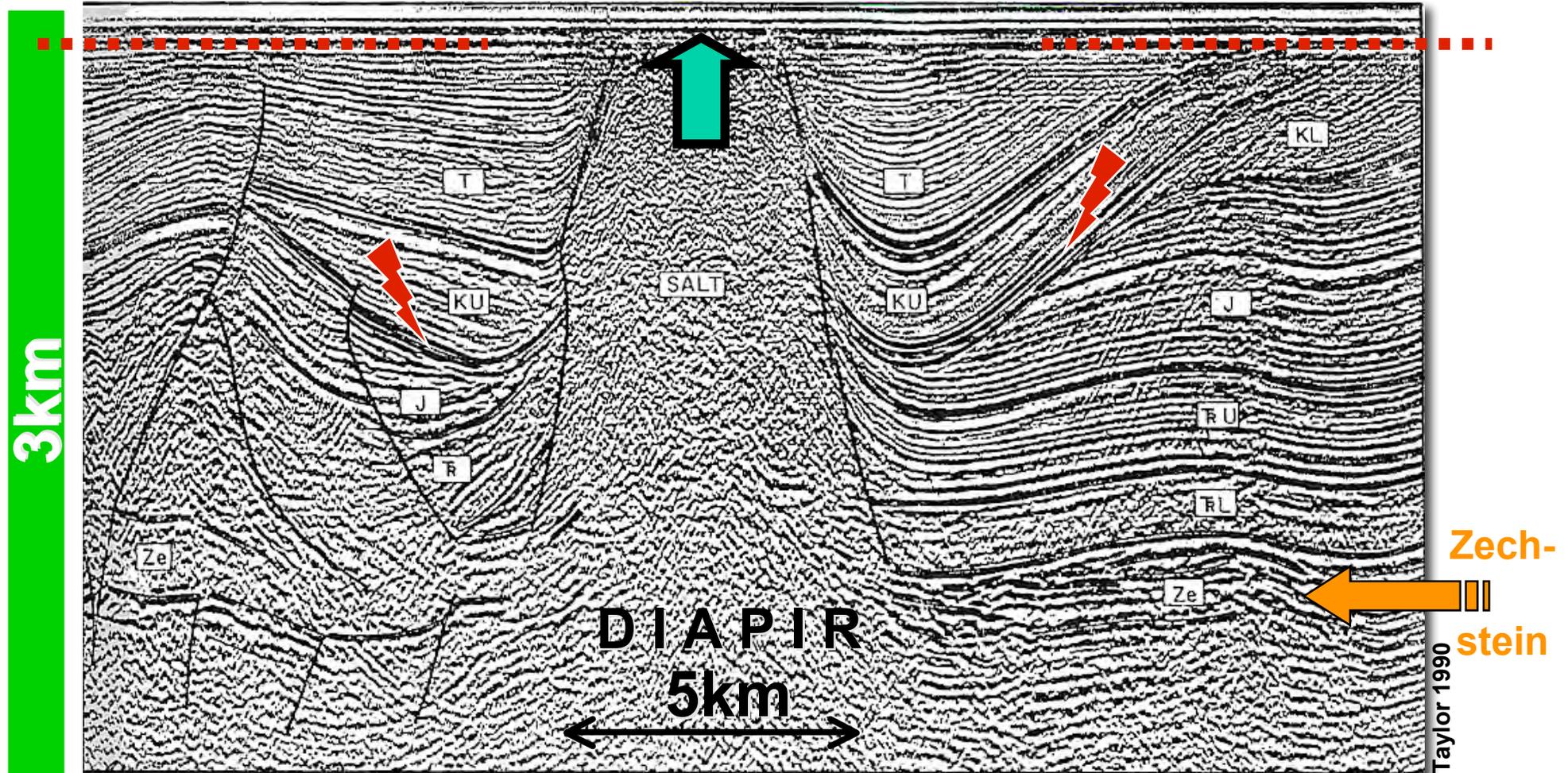
Failles planes et verticales

2 km

Faure & Chermette 1989

STRUCTURATION SEDIMENTAIRE

Halocinèse Crétacé - Tertiaire inférieur [135-55Ma]

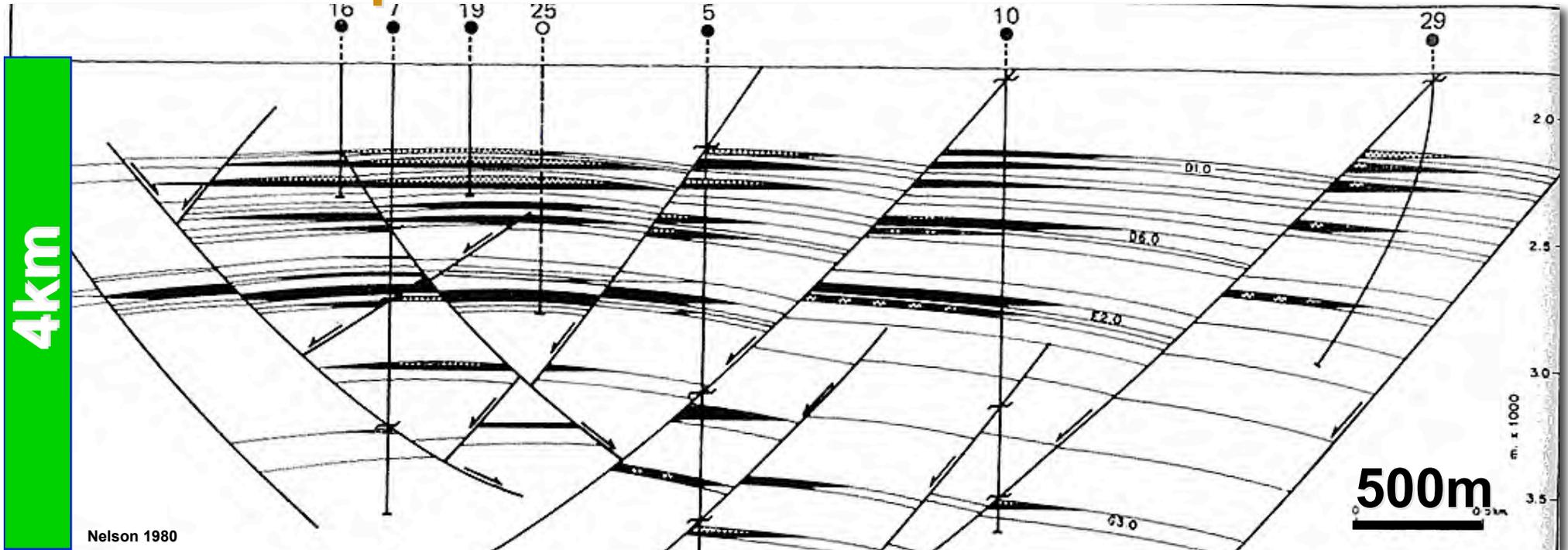


Zechstein = gde mer épicontinentale Pm sup [245Ma]
Profil sismique réflexion, Mer du Nord

[25kmX3km]

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

puits

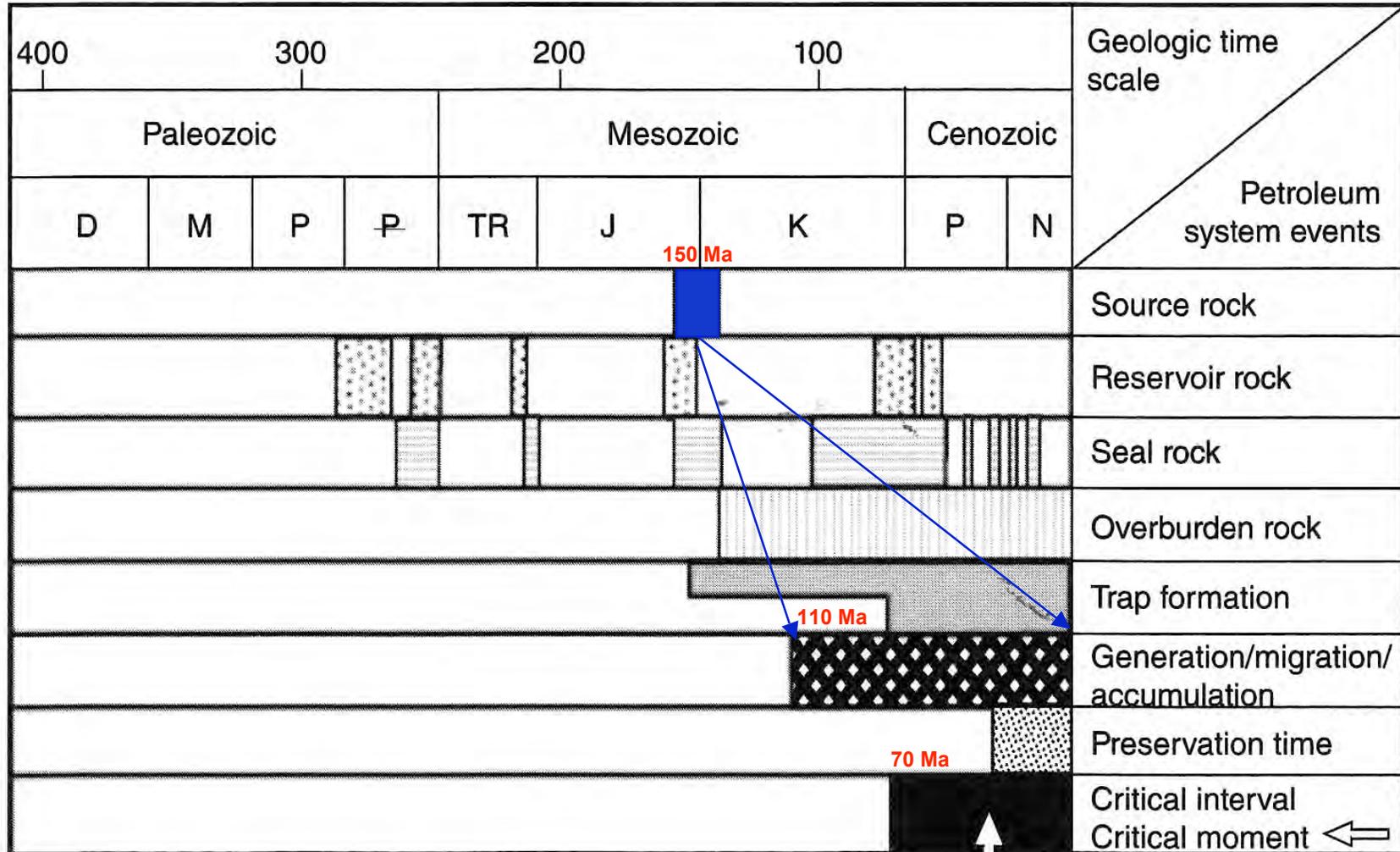


Nembe Creek Structure = anticlinal complexe 15kmL x 6kmI
fortement faillé (réseaux conjugués) => blocs faillés

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

EXEMPLE D'UN SYSTEME PETROLIER

Chronologie des événements dans le Graben Central, Mer du Nord



Magoon & Dow, AAPG, 1994

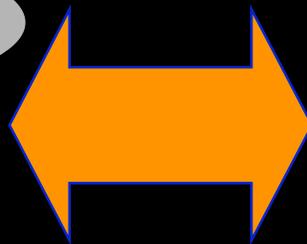
PIEGE conventionnel

avec

***RSce**

RR

Rcvture



Structuration

***PIEGE non conventionnel**

$c = RR$ et $nc = RM$

- Although there is no strict definition covering all non-conventional oils and gases, this term is generally considered today to cover all those hydrocarbons that are difficult to extract, either because they are found in very low permeability horizons, or because their nature makes them difficult to produce.

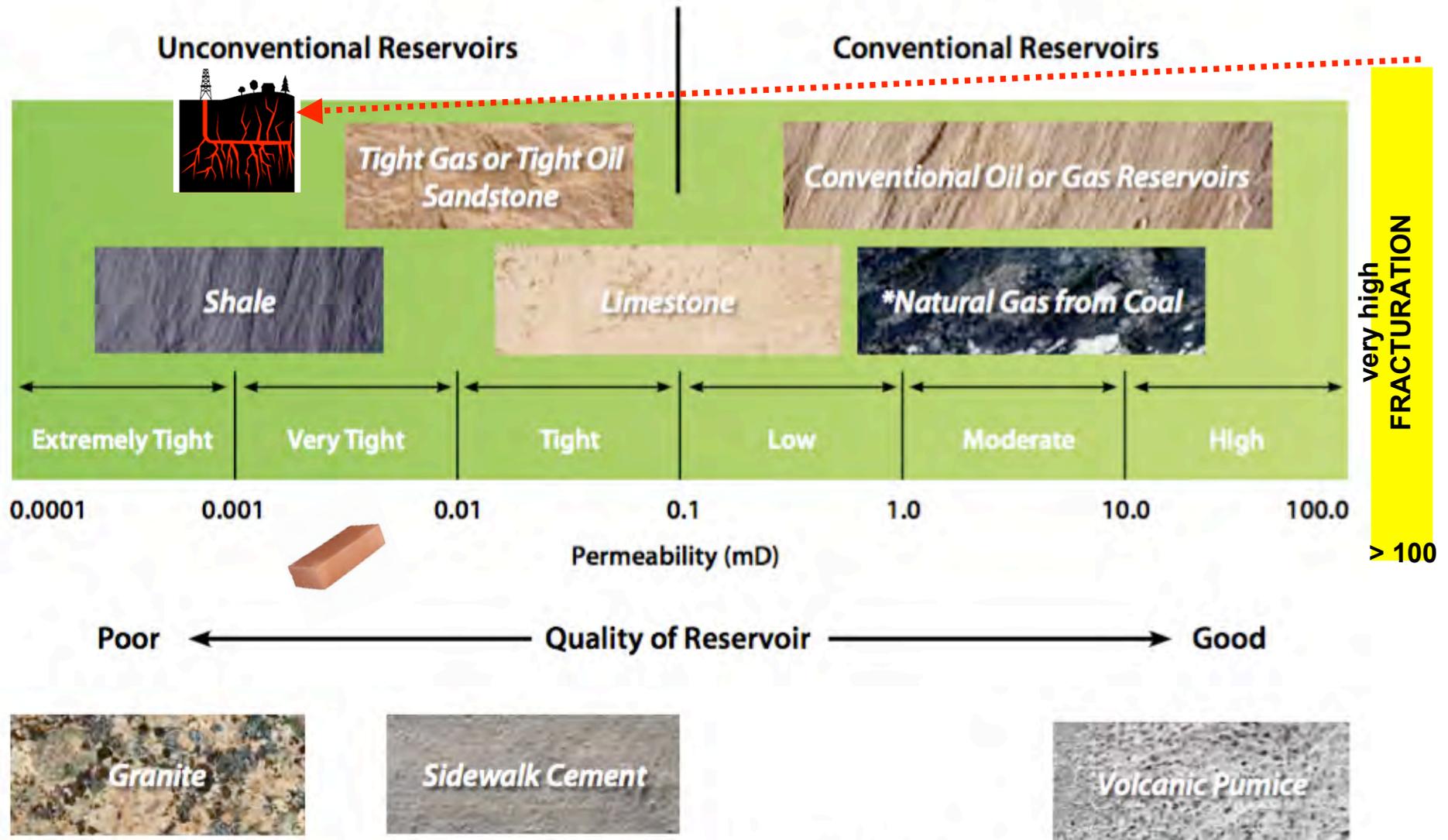


In terms of liquids, this means **heavy and extra-heavy oils, tar sands, shale oils and tar shales;**

For natural gas, it means **tight gas from compact reservoirs, coalbed methane gas, shale gas and in the long term methane hydrates.** Because they are found in very low permeability horizons, or because their nature makes them difficult to produce.

Over the last twenty years, the growth in non-conventional oils has accounted for a large proportion of the renewal and increase seen in global reserves

- http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/Complete_WER_2013_Survey.pdf



* Natural Gas from Coal reservoirs are classified as unconventional due to type of gas storage

Le Brut - “L’Or Noir”

Le ‘pétrole’ entre en composition majeure dans près de 300 000 produits (pétrochimie = 8%)
Le brut est exploité à partir de plus de 70 000 gisements majeurs d’hydrocarbures

Light Texas Crude
Palo Pinto Field
North Texas

Heavy Texas Crude
Humble Oil Field
Southwest Texas

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

1 bl = 159l
1t = 5,8-9,3 [7,6]

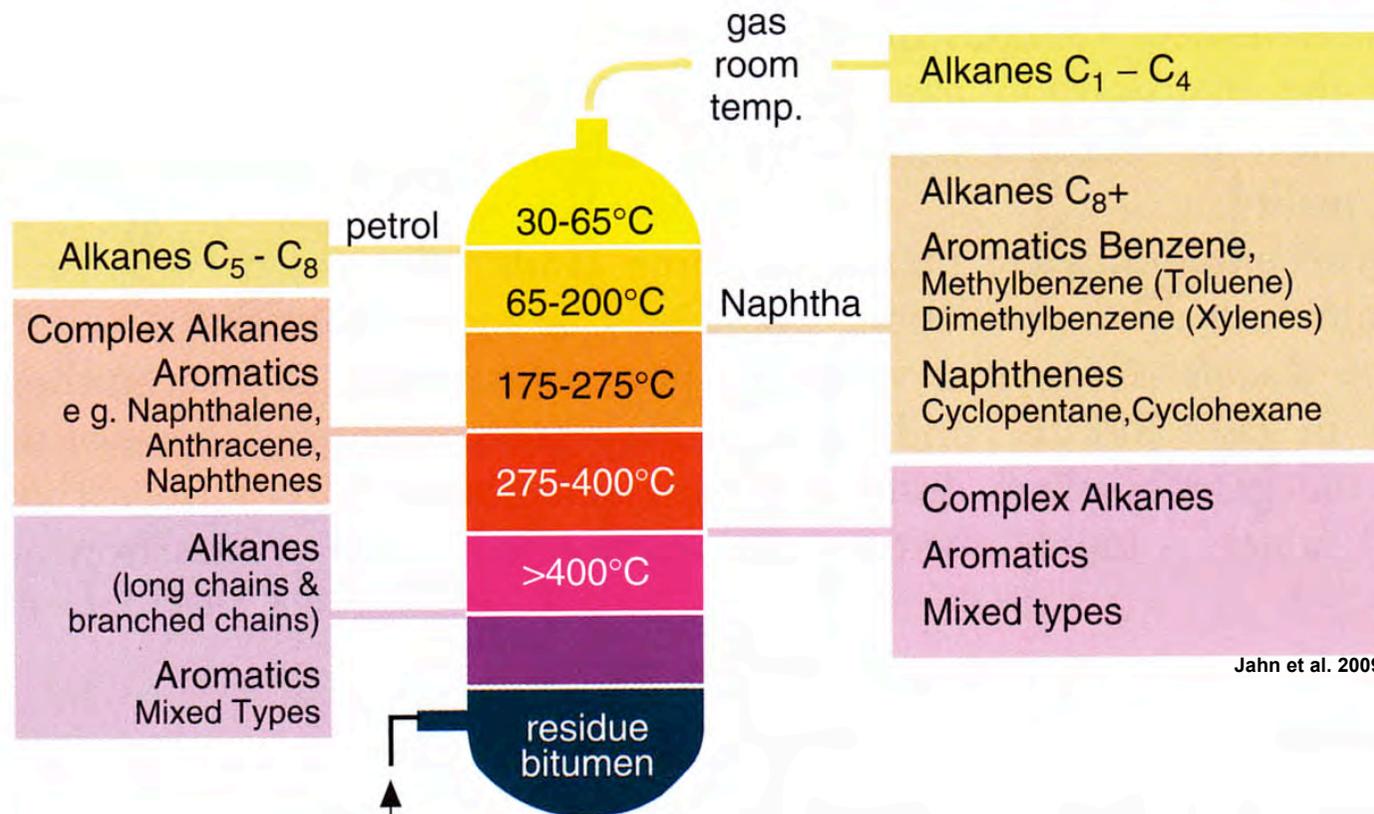
léger
moyen

lourd
extra-lourd

American Petroleum Institute, 1999

DISTILLATION FRACTIONNEE DU BRUT ('CRUDE OIL')

Il y a 18 différentes grandes familles de brut ... se ramenant à trois groupes (alcane, naphthène, aromatique)



**B
R
U
C
H
O
H
E
I
F
E
Q
E
C
U
E
X
N
O
N**



Sweet Crude <1% -

**M
R
T
C
O
S
+**

Sour Crude >1%

Leygonie et al., 1983

API gravity = (141.5/specific gravity à 15,5°C) – 131.5

Light crude : API > 31,1° i.e. specific gravity 's.g.' < 0.87

Medium crude : API 22.3-31.1°, s.g. 0.87-0.92

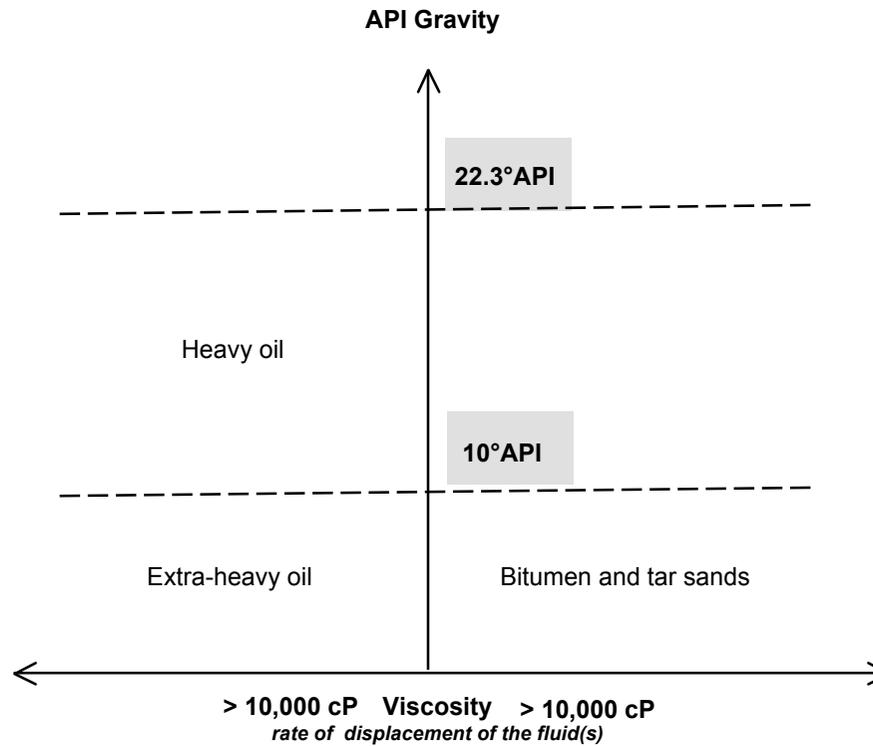
Heavy crude : API < 22.3, s.g.>0.92, viscosity > 10 cP

Heavy oil : see diagram

Extra-heavy oil : see diagram, (s.g. >1 => >pure water)

Natural bitumen : see diagram, (s.g. >1 => >pure water)

Crudes : 20° API (extra heavy) – 60° API (extra light)



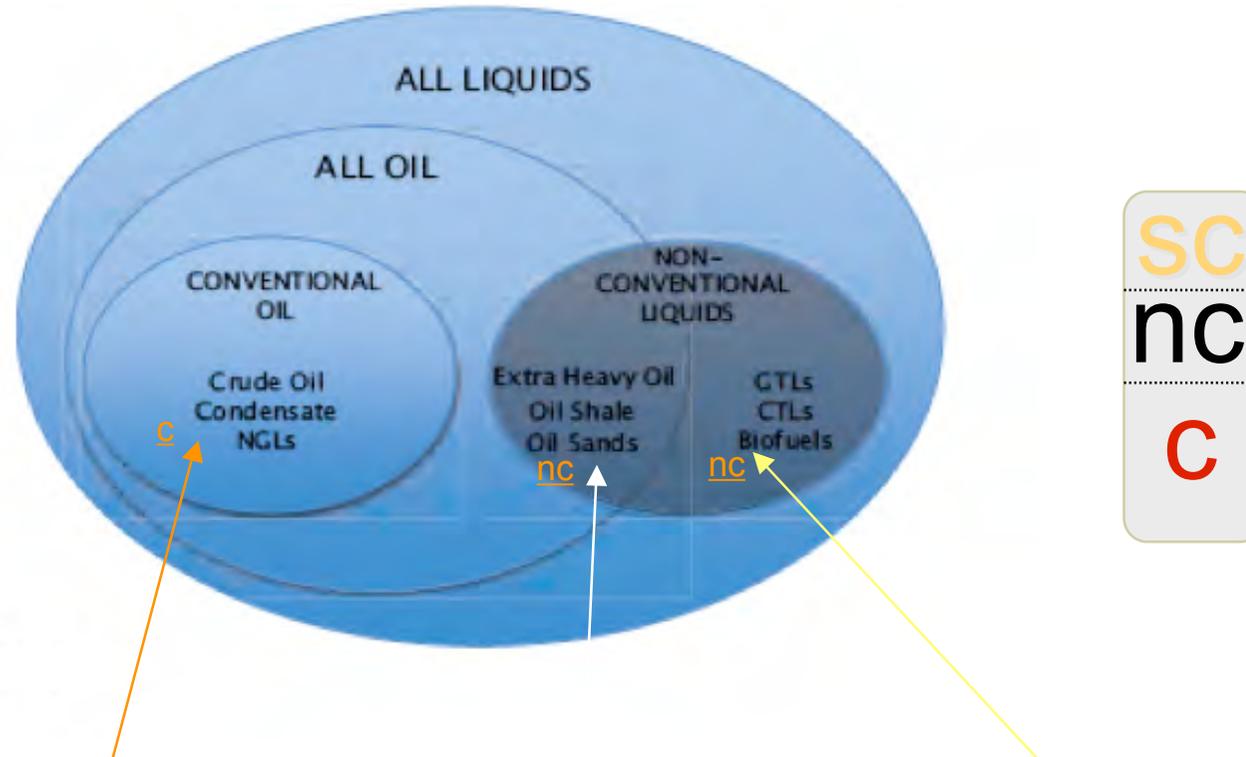
**Gilsonite: 99,9% HC,
Utah, Colorado, USA
point de fusion 150°C
Idéal pour 'asphalte'**



**La viscosité de l'eau à 20 °C est de 1 cPo (centipoise) soit 1 mPa.s.
Nb Gravité 10°API = eau = heavy oil**

RESSOURCES: 6000 (...) Gb c et 7000 Gb nc

Récupérables, rentables ou non



Crude Oil : brut (mélanges HC, C_3 à C_{40})

Condensate : huile très légère (C_{5-15}) se condensant à partir de gaz naturels (p,T surface)

NGLs : HC légers liquides associés au brut (éthane, propane, butane, pentane)

S Extra Heavy Oil : brut C_{40} à C_{300} : très visqueux, injection vapeur, ébullition $>550^\circ\text{C}$ = 'syncrude'

S Oil/Tar Sands: grès imprégnés d'huile (extra)-lourde ou bitume, 'mining' et ébullition $>550^\circ\text{C}$ = 'syncrude'

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

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

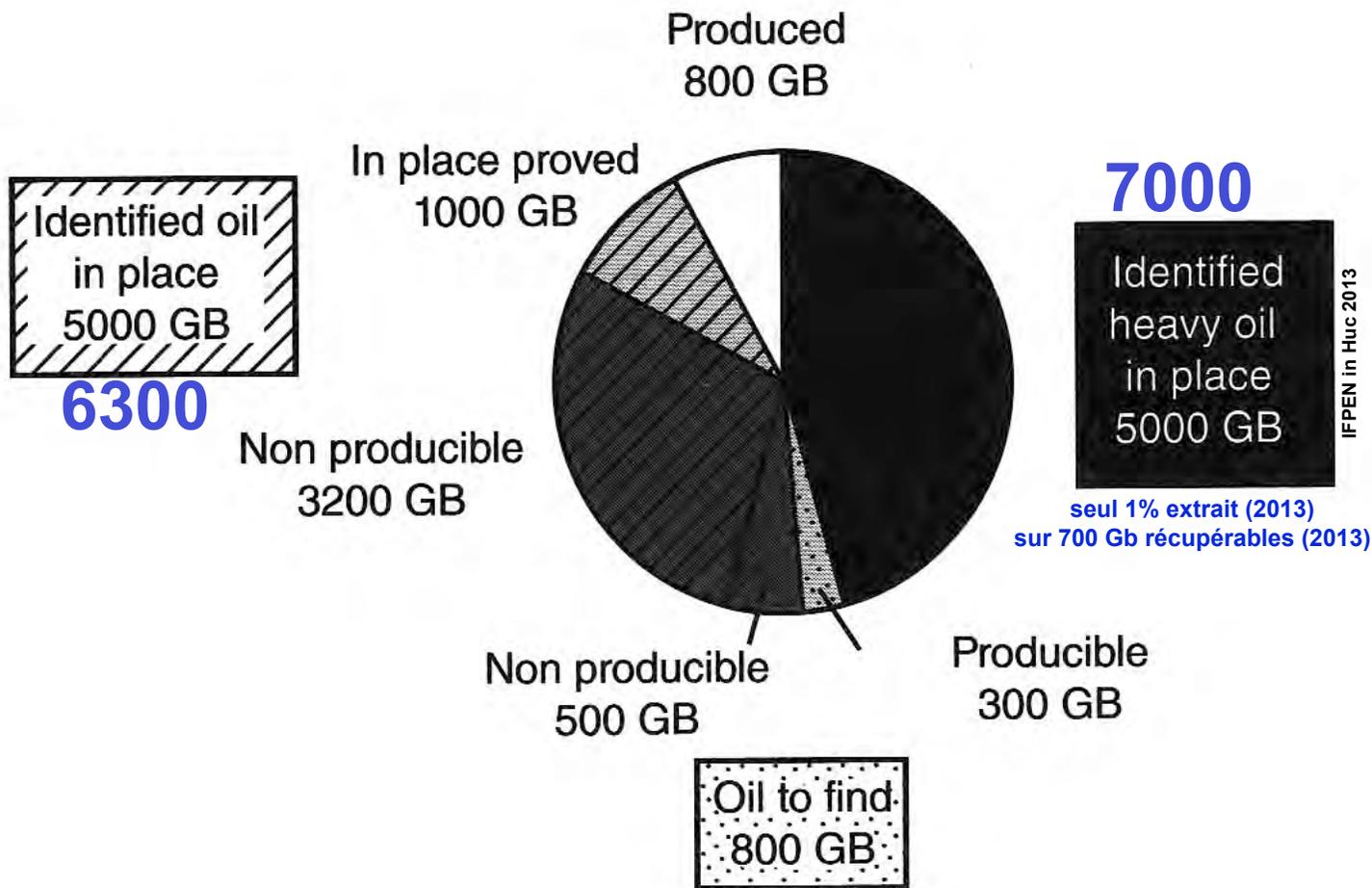
GTLs : fuel synthétique liquide obtenu par liquéfaction du méthane (Fischer-Tropsch, 1923)

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

+hydrates de méthane \gg HC (? $> 100 \times$ les réserves prouvées de gaz naturel conventionnel)

Dégradation microbienne très active jusqu'à 65°C, active jusqu'à 80°C (1500-3000m)

> 90°C = 'champs stérilisés'



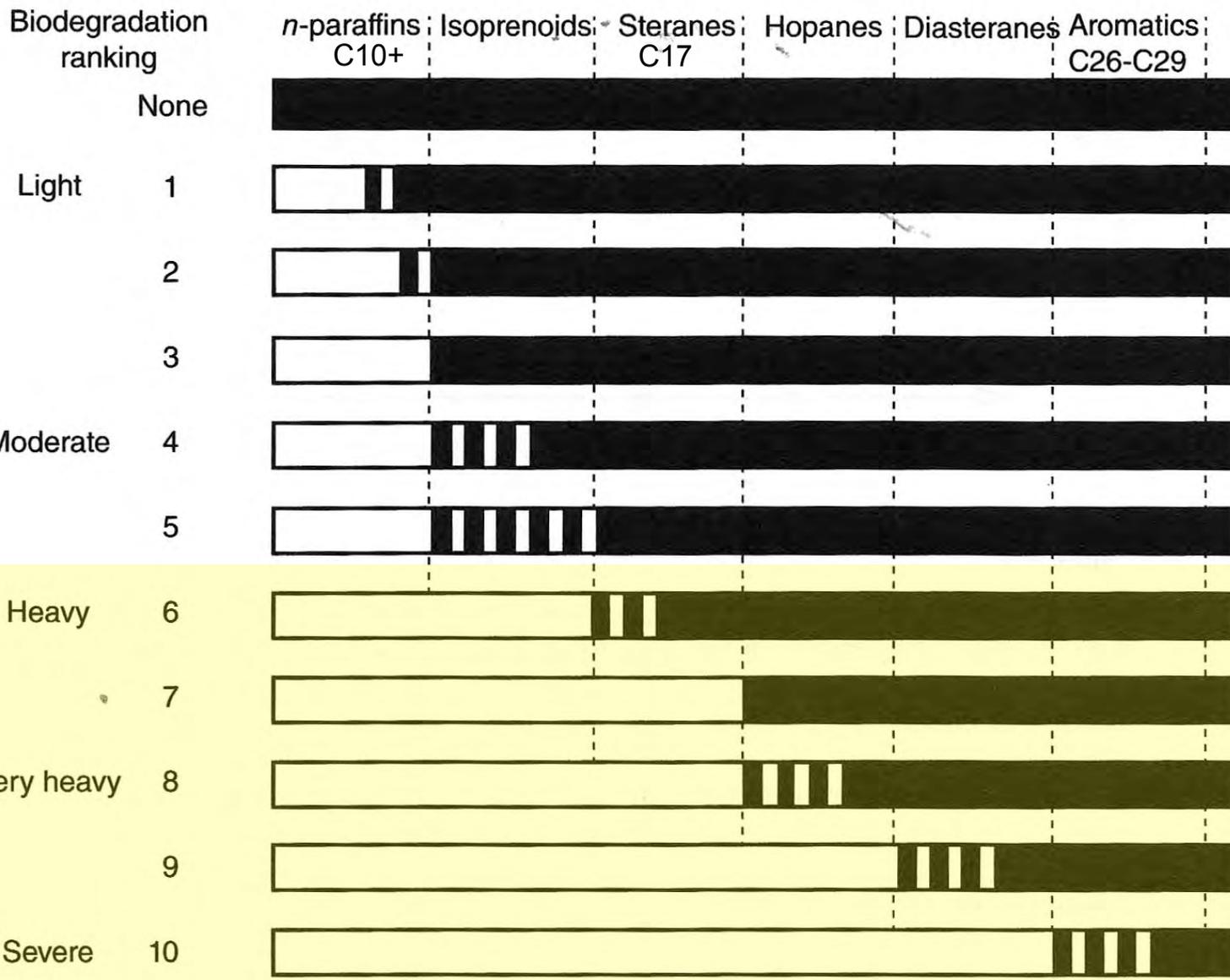
> 50%
=
**Canada
Venezuela**

LES SABLES ASPHALTIQUES
AU CANADA



Source : SH d'après Ressources Naturelles Canada, 2000.

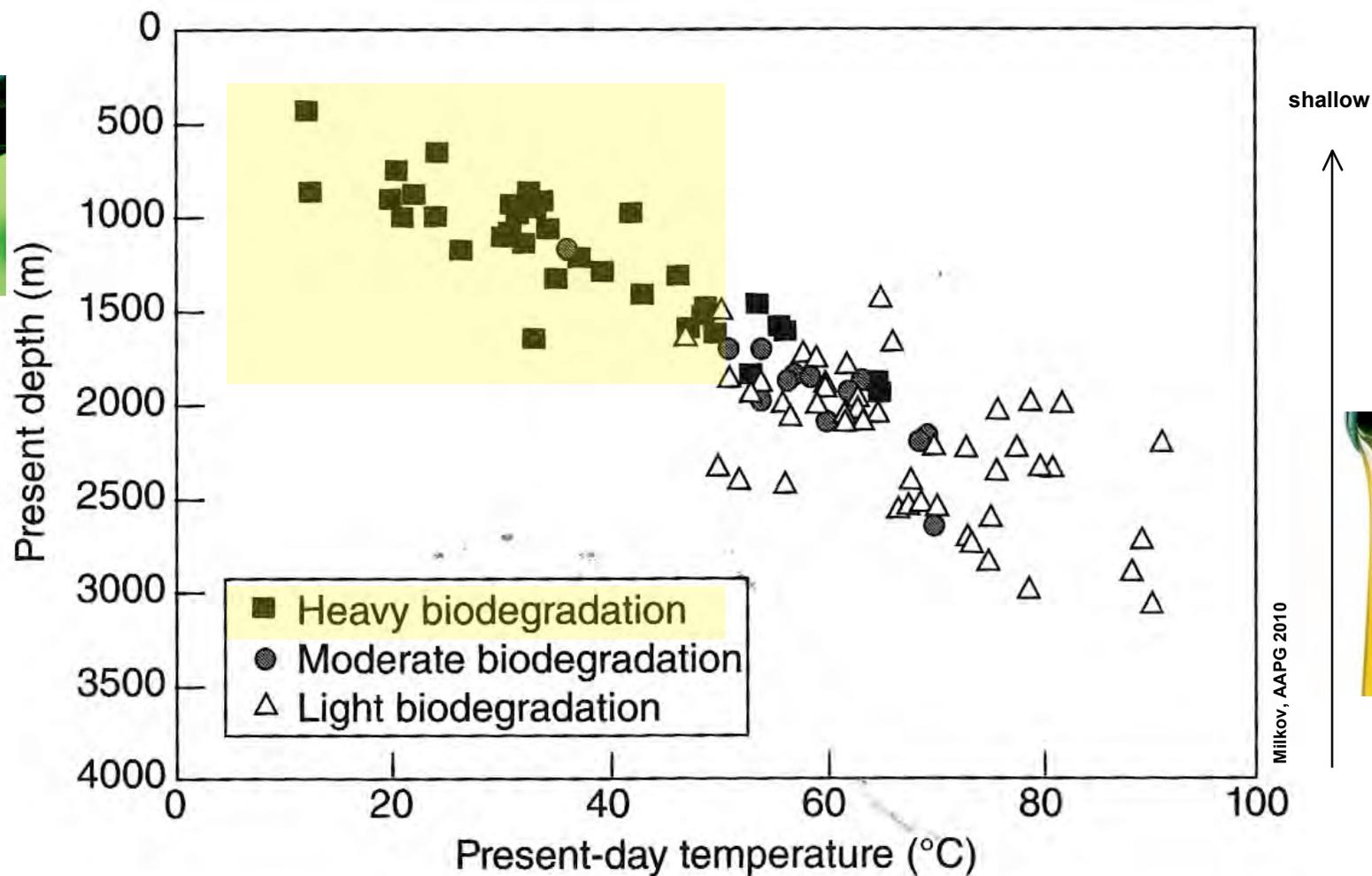
En 2015, les ressources récupérables de pétrole non-conventionnel sont évaluées par l'AIE à 3,3 trillions de barils y compris les sables bitumeux, ces derniers en représentant 57%...



Peters et al 2005



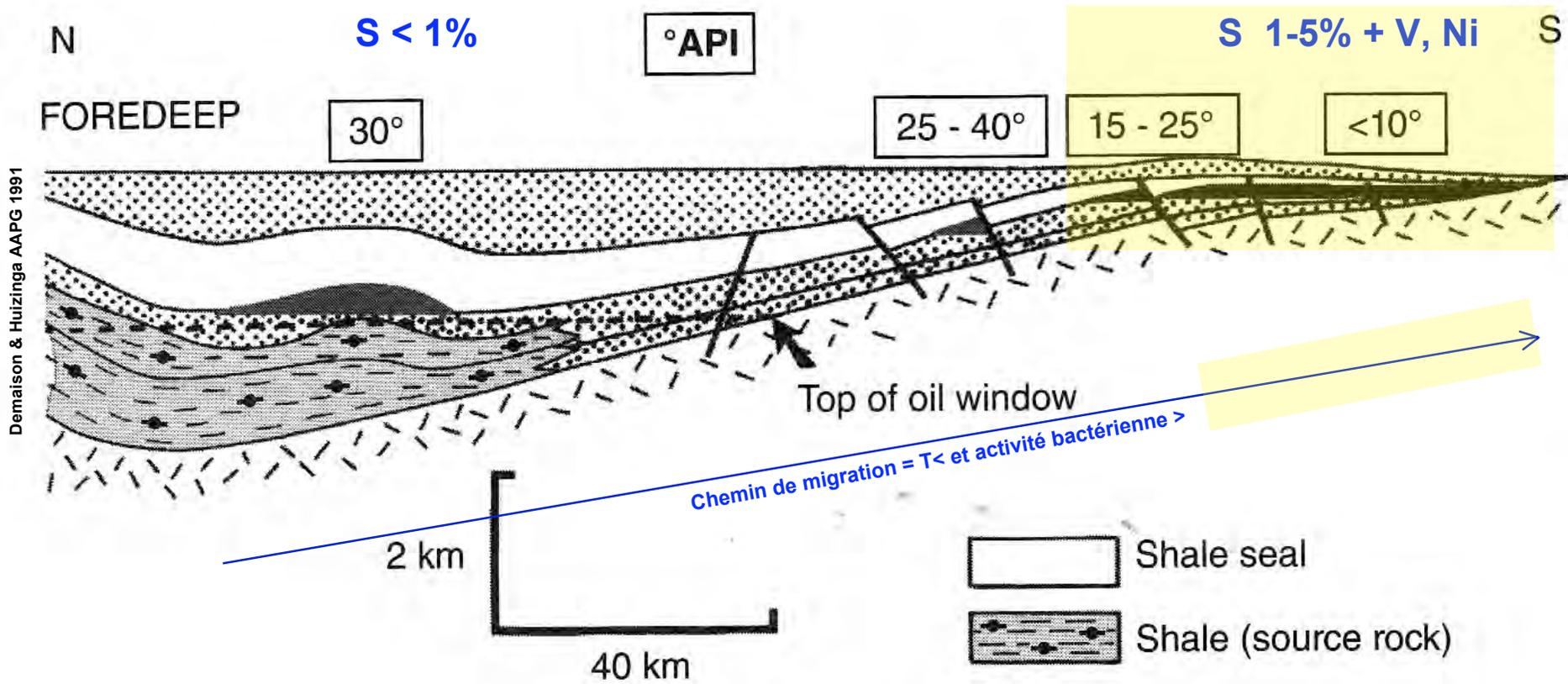
CENOMANIEN, SIBERIE OUEST



Nb Egalement à faible profondeur = **invasion eaux météoriques** avec dissolution minéraux (roches) et **apports nutriments** (P, N) et augmentation activité bactérienne avec dégradation HC accrue...

EASTERN VENEZUELA FORELAND BASIN

Bassin Maturin, COLLISION OBLIQUE PLAQUES CARAÏBES ET AMÉRIQUE DU SUD
 Upper K loaded by the Serrania and Monagas Foreland thrust belts



RSce : Crétacé Supérieur (Querecual Fm, in the foredeep)

Conditions de surface (1 atmosphère et 15°C)

GAZ	LIQUIDES
------------	-----------------

Gaz pauvres Gaz riches

Gaz sec	Gaz humides
---------	--------------------

Hydrocarbures : $C_{(n)}H_{(2n+2)}$

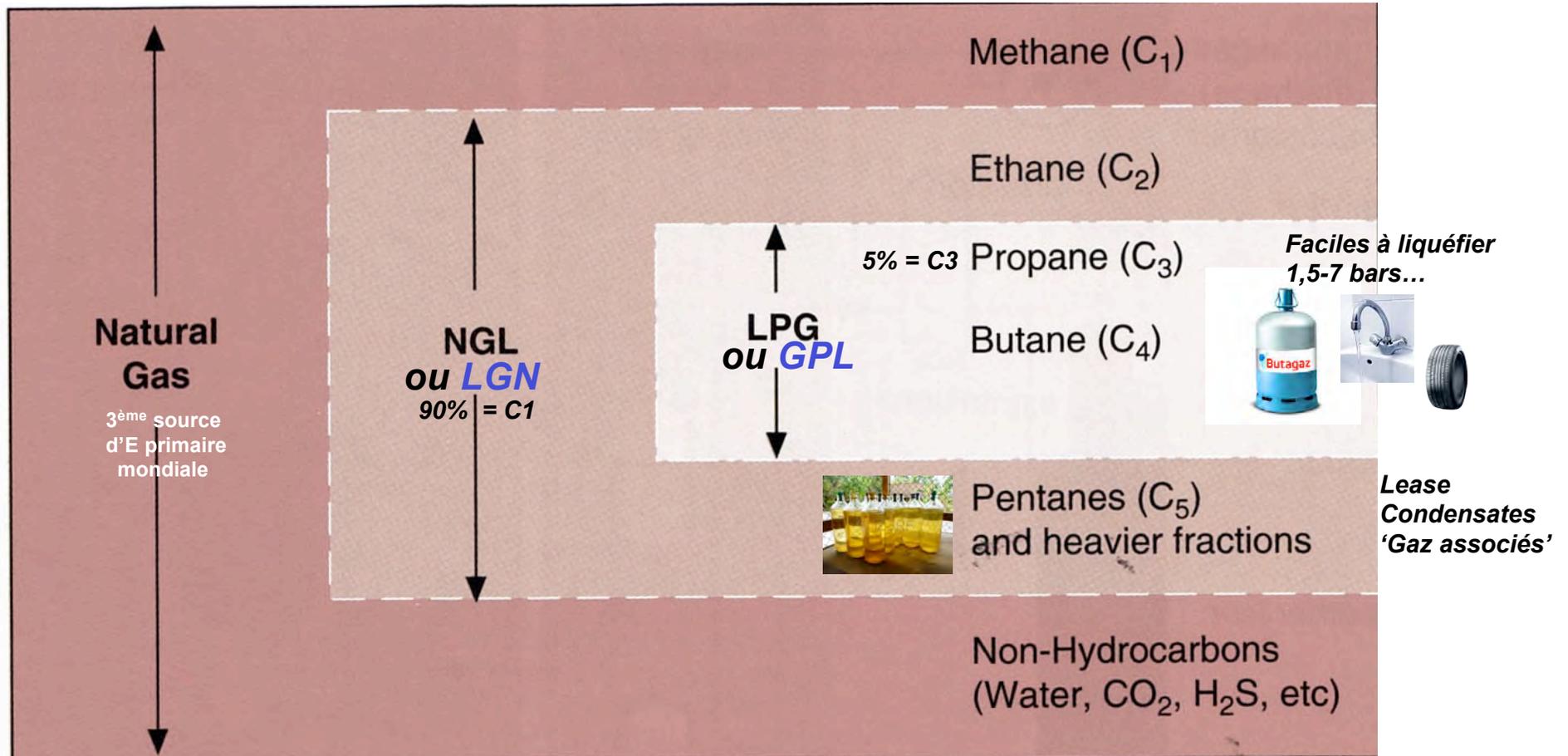
161°C	METHANE	ETHANE	PROPANE	BUTANE	PENTANE	HEXANE	HEPTANE	OCTANE	NONANE	DÉCANE	UNDÉCANE	DODÉCANE	TRIDÉCANE	TÉTRADÉCANE	PETROLE	
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}		C_{15+}
					CONDENSATS											
					Condensats de gaz naturel											
	GNL															
					Liquides de gaz naturel											
					GPL											

LNG/**GNL** (C1) IS NOT NGL (C2-C5+)

LNG by refrigerated tanker rather than by pipeline (cooled to -161°C , compressed x600)

LPG: liquified petroleum gas in bottled gas ... to sell in remote areas

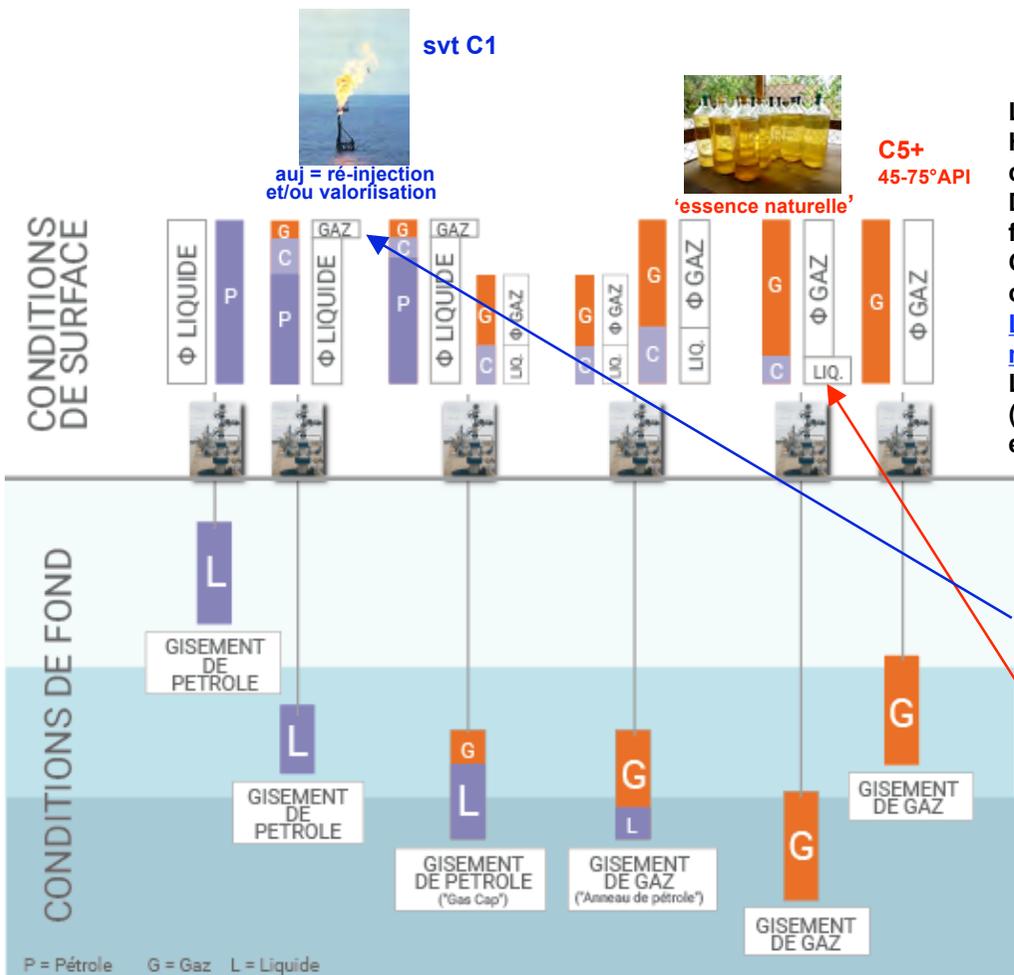
Nb LNG = GPL Gaz de pétrole liquéfié



Jahn et al. 2009

GNL gaz naturel liquéfié LGN liquides de gaz naturels GPL gaz de pétrole liquide

PARTS DES PHASES LIQUIDES ET GAZEUSES DES HYDROCARBURES EN CONDITIONS DE FOND ET DE SURFACE



Roland Vially IFP_REN, <http://www.ifpenergiesnouvelles.fr/IFPEN/En-bref>

La distinction entre hydrocarbures liquides et gazeux est finalement très compliquée. Historiquement, l'exploitation des hydrocarbures a commencé par celle du pétrole (étymologiquement « l'huile de pierre ») au sens large du terme. Dans les classifications des hydrocarbures, on a alors distingué cette phase liquide facilement valorisable de la phase gazeuse plus difficilement exploitable. Cette distinction apparemment évidente basée sur la nature de leur phase, est compliquée dans le cas de fluides complexes comme les hydrocarbures. La nature de la phase d'un fluide dépend directement de sa composition mais aussi de la pression et de la température que l'on considère.

La figure illustre cette complexité, entre les hydrocarbures en « conditions de fonds » (tels qu'ils se trouvent dans les gisements) et les hydrocarbures que l'on produit en tête de puits aux conditions de surface qui se rapprochent des conditions « standards » (pression d'une atmosphère et température de 15°C).

Ainsi, un gisement de « pétrole » en profondeur soumis à une pression de 300 atmosphères et une température de 110°C va pouvoir relâcher des hydrocarbures gazeux en surface alors que ces mêmes composés étaient dissous dans la phase liquide en profondeur : on parlera alors de « gaz associés ». Un gisement de gaz en profondeur va quant à lui pouvoir fournir en surface des hydrocarbures liquides qualifiés de « condensats ». Ces transformations sont d'autant plus complexes que l'apparition en surface (ou lors de la remontée vers la surface) d'une nouvelle phase va modifier l'équilibre du fluide, entraînant des modifications physiques (augmentation de la densité et de la viscosité) ou chimiques pouvant être responsables de la précipitation de composés lourds comme les résines ou les asphaltènes.

Cette complexité entre les conditions de fond et de surface explique en partie les incertitudes sur les ressources en place (estimation de la part de gaz dans le pétrole ou de la part de liquide dans le gaz une fois ramenés en surface). Les données de production, qui se réfèrent aux conditions de surface, ne devraient en revanche pas être affectées par ces incertitudes.

Le gaz naturel ou gaz de ville: méthane (C1) CH₄

Les liquides de gaz naturels LGN : éthane, propane, butane (C2 à C4)

restent des gaz à T° ambiante, mais sont liquéfiés par cryogénie

butane et propane = GPL (gaz de pétrole liquéfié), **lease condensates** = C5 et > C5...= 'gaz associés' aux gisements de pétrole

Les condensats : fraction légère allant du pentane (C₅H₁₂) à l'octane (C₈H₁₈)

ils ne sont pas liquides dans les gisements, mais gazeux (effet T°) et se condensent lorsqu'ils sont refroidis par la détente à la sortie du puits et sont alors liquides

Le pétrole brut (ou **crude**), état liquide dans le gisement,

coule librement sous pression au début de l'exploitation d'un puits et par pompage

Les pétroles extra-lourds, très visqueux (**heavy crude oil**).

produit via des opérations d'ajout d'hydrogène et d'injection de vapeur et/ou de solvants

Les schistes bitumineux (**oil shales**), roche sédimentaire riche en kérogène (>20%)

engendre de l'huile par distillation thermique (500-600°C), rendement minimum 5%, exploités minière

Les gaz de schiste (**shale oil**), roche : méthane (C1) CH₄

gaz de roche-mère, perméabilité < brique, nécessite une fracturation (hydraulique)

Les **tight oil/tight gas**

dans roches compactes (shales/grès), nécessite une fracturation (hydraulique)

Le gaz de houille ou grisou (coal bed methane **CBM**), pas de fracturation

Les sables bitumineux (**tar/oil sands**), mélange sable-argile-eau-huile extralourde

=? fraction 'lourde' après dégradation (bactérienne) de pétrole brut, exploitation minière, gdes surfaces à toutes pfdeurs

Généralement <1000m car ces bactéries ne survivent pas à plus de 50/55°C

CTL (**coal to liquid**), liquéfaction du charbon (combustion incomplète, oxydation partielle)

à 1000°C en présence d'eau, on obtient ... CO+2H₂ se recombinaient en méthanol (CH₃OH), 1/2 pouvoir calorifique essence, également procédé Fischer-Tropsch, catalyse (avec Fe ou Co) du CO et H₂ donnant le syncrude (HC liquide synthétique)

HC nc

Hydrocarbures non conventionnels	Méthodes de production	Recherches & développements
- Sables bitumineux (pétrole) - Schistes bitumineux (pétrole)	Carrières	Réduction de l'empreinte environnementale des techniques d'extraction
- Coal-mine méthane (gaz) - Schistes bitumineux (pétrole)	Mines	
- Coalbed méthane (gaz) - Sables bitumineux (pétrole) - Huiles lourdes et extralourdes (pétrole) - Hydrates de méthane (gaz) - Pétrole de schistes (pétrole) - Gaz de schistes (gaz) - Pétrole et gaz de réservoirs compacts (pétrole, gaz)	Forages complexes + Fracturation hydraulique	Empreintes au sol Émissions de gaz à effet de serre (ACV) Cycle de l'eau Nuisances liées à l'activité de production

Source : IFPEN

GAZ de SCHISTE = mauvaise traduction de l'anglais
'shale gas'

'Shale' mot anglais, n'a pas de traduction simple en français
un 'shale' est une roche sédimentaire litée à grain très fin, en général argileuse ou marneuse;

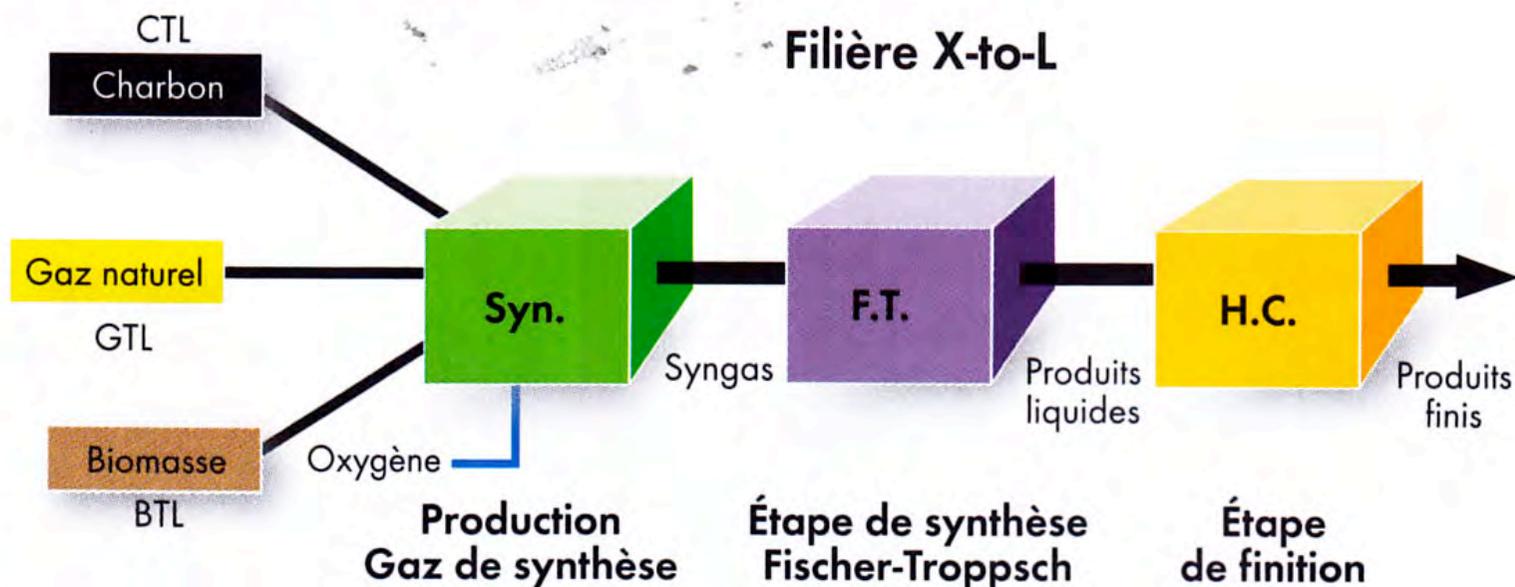
'Schiste' *s.l.* (à éviter!) = toute roche susceptible de se débiter en feuillet
⇒ aussi bien un schiste métamorphique (= *schist* en anglais)
⇒ qu'une roche présentant un clivage ardoisier (= *slate* en anglais)
⇒ ou bien une 'pélite' (argile, argillite) feuilletée (= *shale* en anglais);

'Schiste' *s.s.* = roche ayant acquis une schistosité sous l'influence de contraintes tectoniques, processus tectono-métamorphiques.



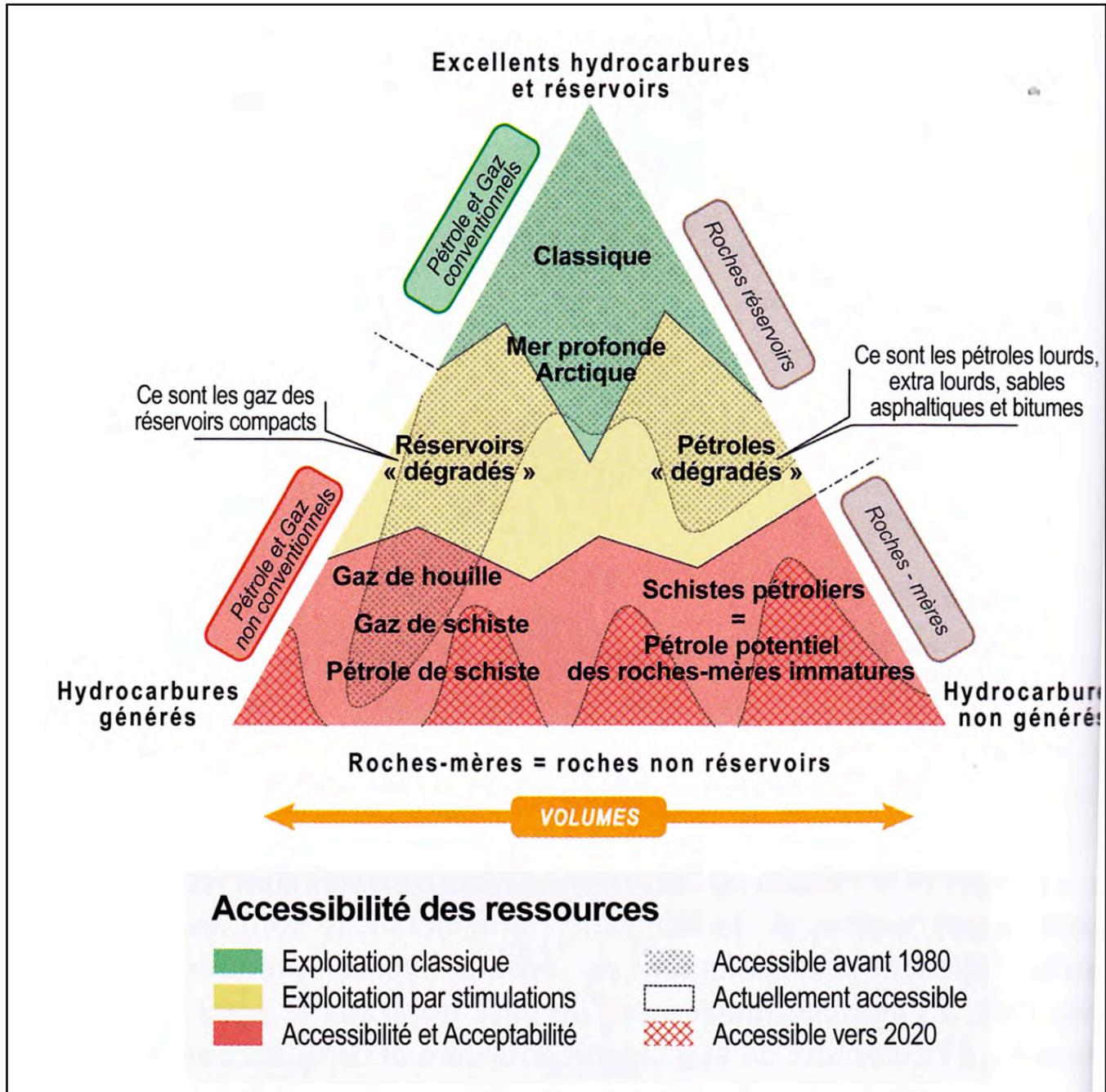
CONCLUSION: 'gaz de schiste' contenu dans des argiles et marnes litées, SEDIMENTAIRES
= 'GAZ de MARNES' OU 'GAZ DE PELITES'

LES DIFFÉRENTS TRAJETS DE LA FILIÈRE « X-TO-L »



Source : A Rojey IFP 2007.

Les « X-to-L ». Il est possible de fabriquer des carburants liquides (L) en se passant de pétrole, mais alors, bien souvent, il faut y mettre plus d'énergie qu'on n'en récupérera en utilisant ces carburants. On part de charbon (C-to-L), de gaz (G-to-L) ou de biomasse (B-to-L). Tous les « X-to-L » commencent par la fabrication de gaz à l'eau ($\text{CO} + \text{H}_2$) suivie de synthèses diverses.



Mais d'où VIENT LE PETROLE?

MATIERE ORGANIQUE

Protéines

Carbo-hydrates

Lipides

....

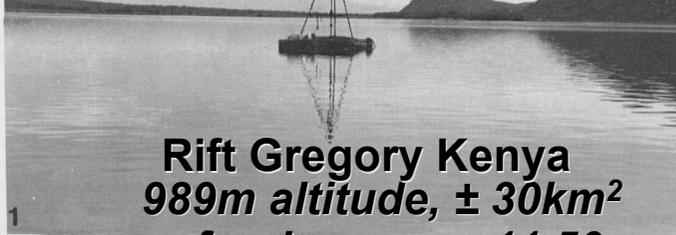


- + membranes
- + cuticules
- + pigments
- + graisse
- + sucres
- + ...

**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)*

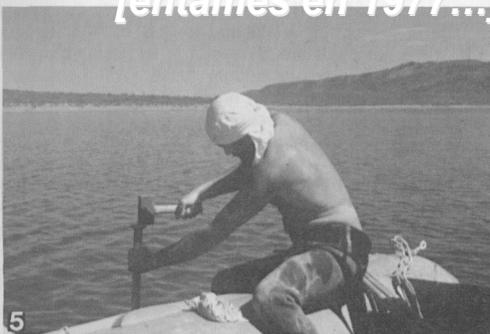
Le demi-graben de Baringo-Bogoria



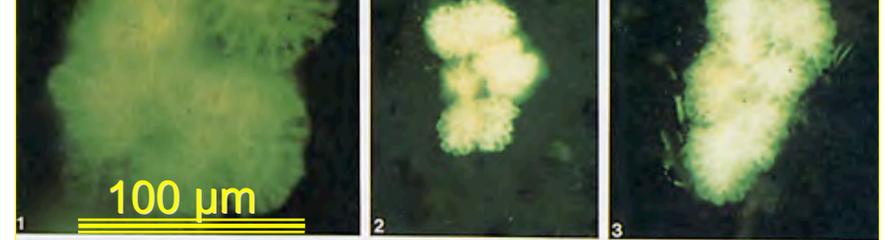
Rift Gregory Kenya
989m altitude, $\pm 30\text{km}^2$
profondeur max: 11,50m



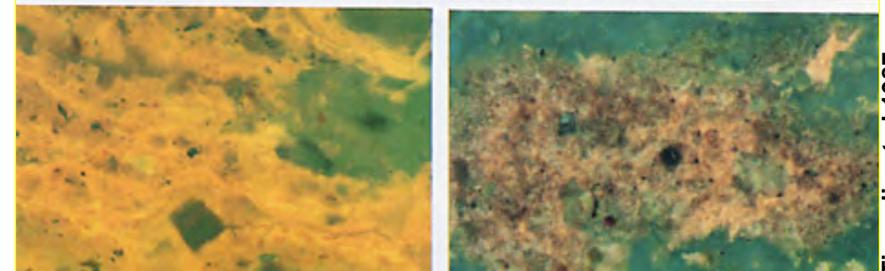
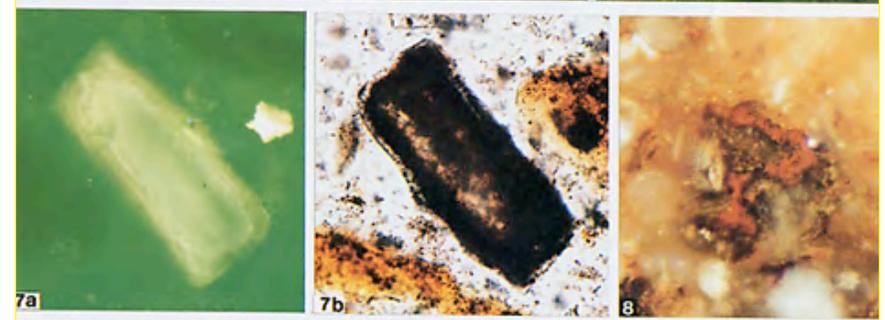
430 000 d'histoire sédimentaire
Carottages de 0 à 16 m
[entamés en 1977...]



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



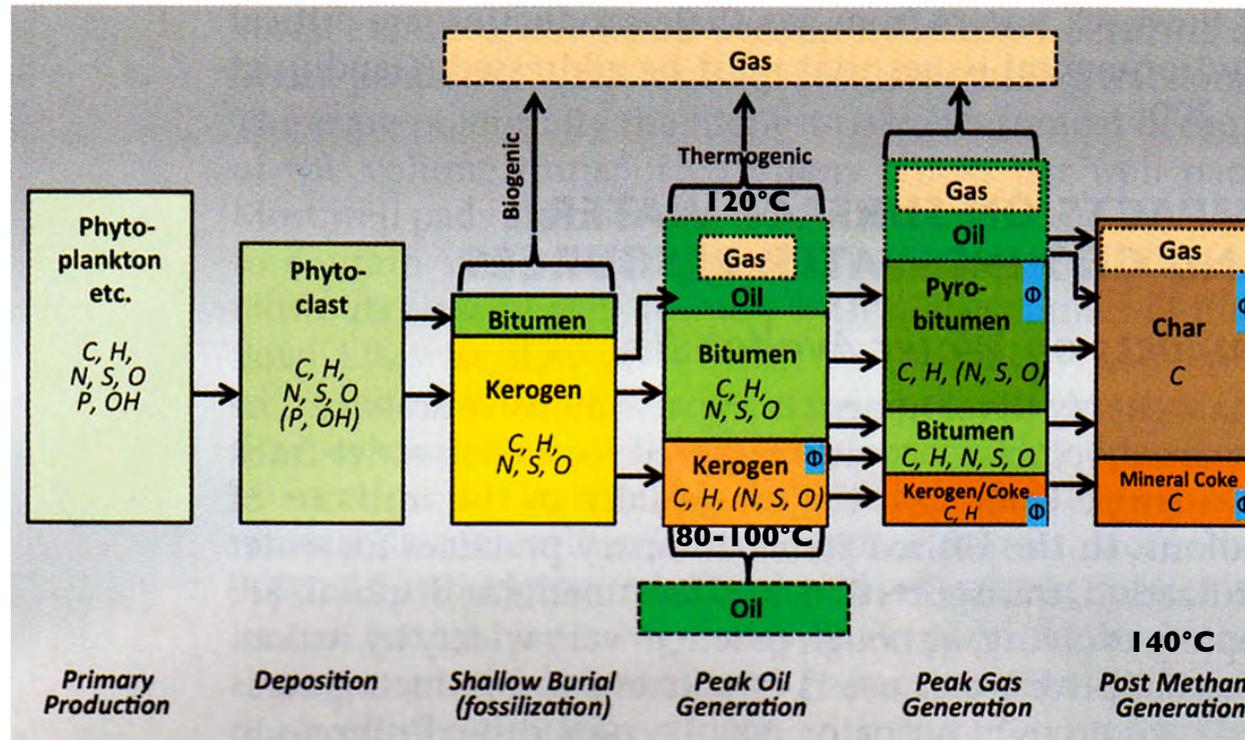
4-6 Algues Zygnématales (fluorescence)
= Algue verte?



Tiercelin et al 1987

MATIERE ORGANIQUE – ROCHE MERE

----->
 Evolution bassins sédimentaires (géologie) = enfouissement (= subsidence)

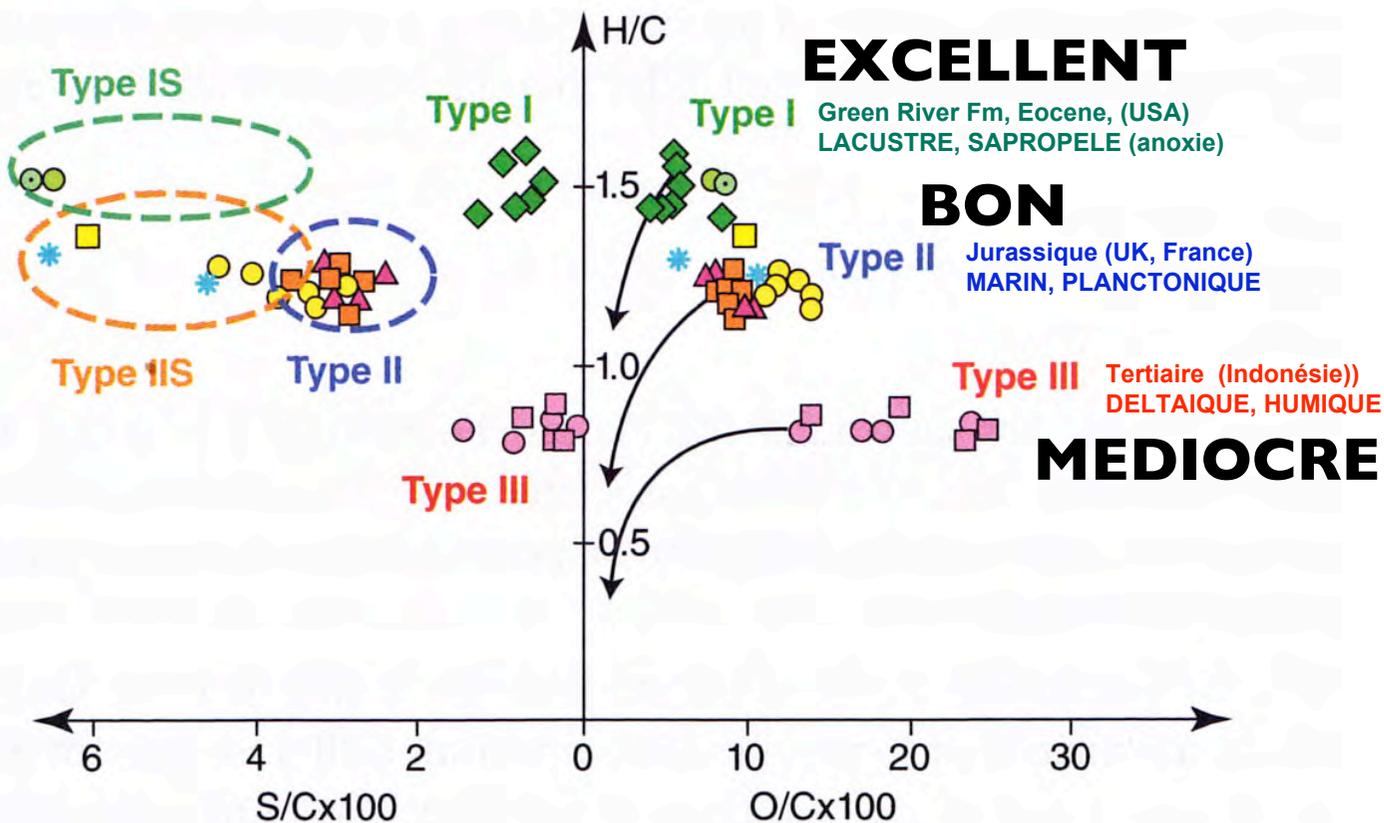


Bohacs et al. 2013

Arhtur & Cole 2014

PHI = porosité (encaissant)

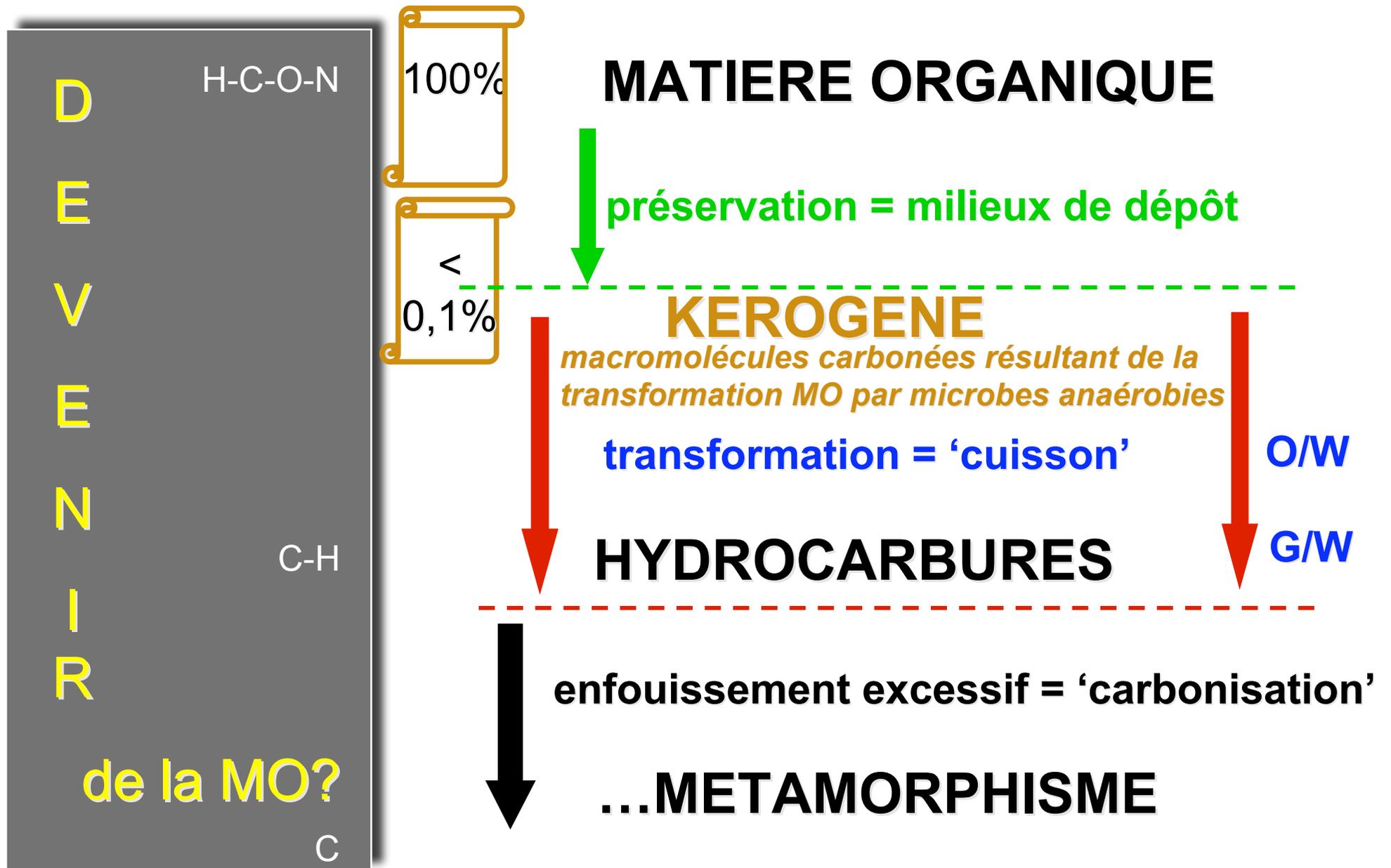
solid boxes = solid matter
 dotted boxes = fluids in pores in rocks
 dashed boxes = expelled fluids (oil-gas)



◆ GRS . Eocene (USA)	● Monterey FM. Miocene (USA)
* Carbonate SR. Cenomanian (Middle East)	▲ Toarcian shale . Paris Basin (France)
■ Blackstone, U. Jurassic, (UK)	● Coals, Mahakam delta, Miocene (Indonesia)
■ Kimmeridgian Shale. Dorset (UK)	■ Organic Shales, Mahakam delta, Miocene (Indonesia)
● Orbagnoux, U. Jurassic, (France)	● Qaidam basin, Oligocene, (China)

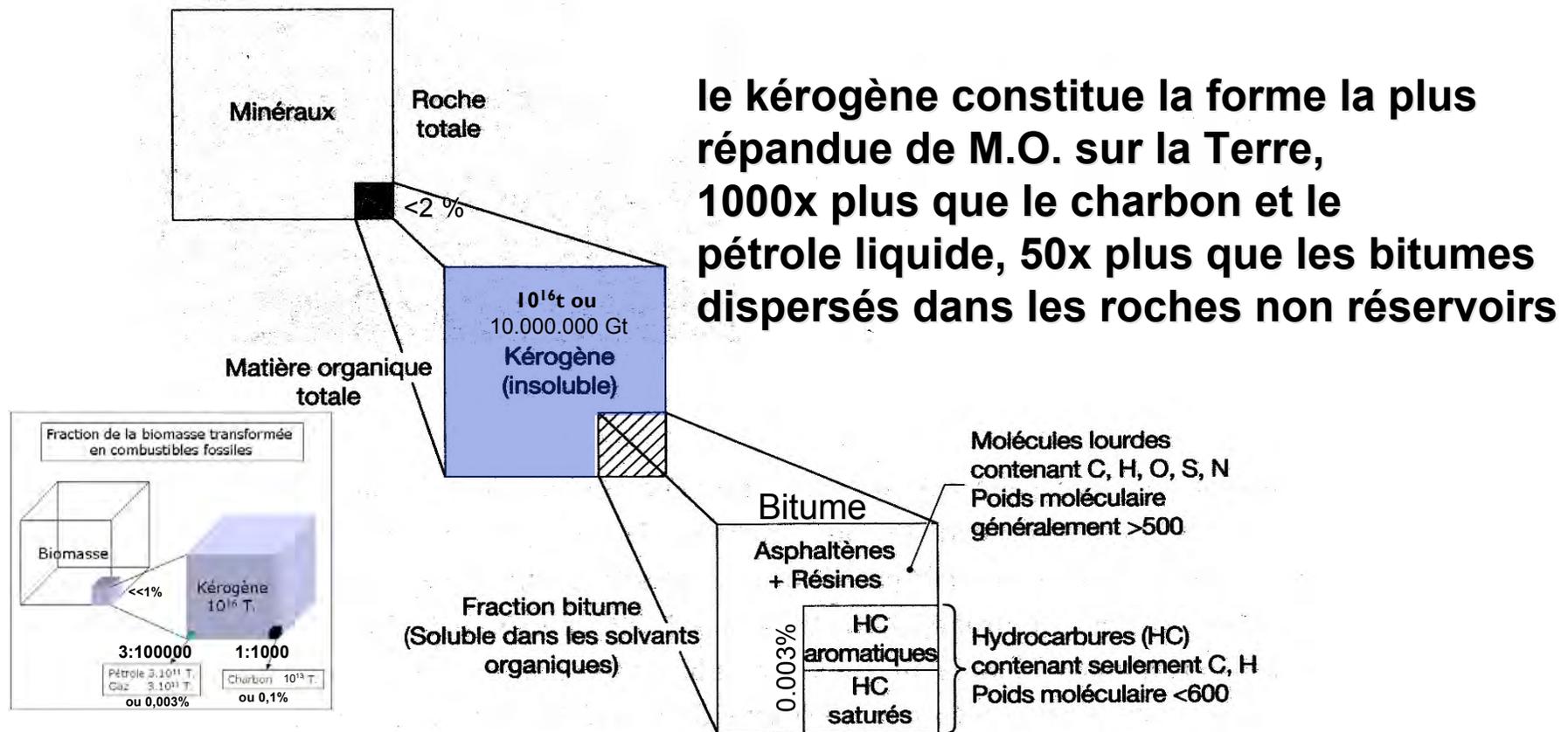
Huc 2013

Diagramme de Van Krevelen



Kérogène : fraction organique insoluble dans les solvants organiques ≠ Bitume (soluble)

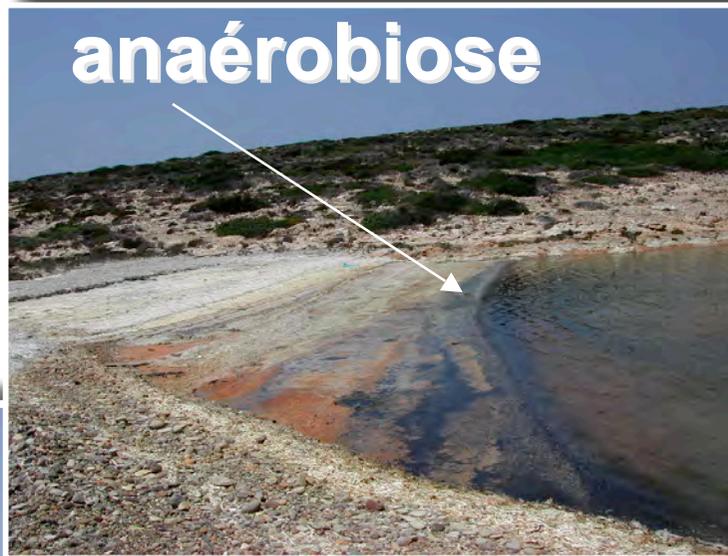
Le kérogène est 10 000 [10^{16} t] plus abondant que la MO vivante [10^{12} t] malgré que 0,01 (à 1%) de la production primaire soit fossilisée
⇒ importance des 'temps' géologiques pour les accumulations...



Le kérogène se trouve à l'état très dispersé dans les roches anciennes càd <<2%. Certains schistes bitumineux en contiennent jusqu'à 40%...

HERBIERS à POSIDONIES

Cyclades, Grèce, 2003



RENDEMENT

un chiffre méconnu ...

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



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

GENESE DU PETROLE = DIAGENESE + CATAGENESE

D
I
A
G
E
N
E
S
E

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

de la chaleur ($T^\circ = 10' - 100''^\circ$)
du temps (géologique = $10' \text{ Ma}$)
cela fonctionne grâce à la
subsidence
(pression + gradient géothermique)
 $1^\circ\text{C}/33\text{m}$, perte CO_2 , H_2O , NH_3

-si tout va bien-
un piège

C
A
T
A
G
E
N
E
S
E



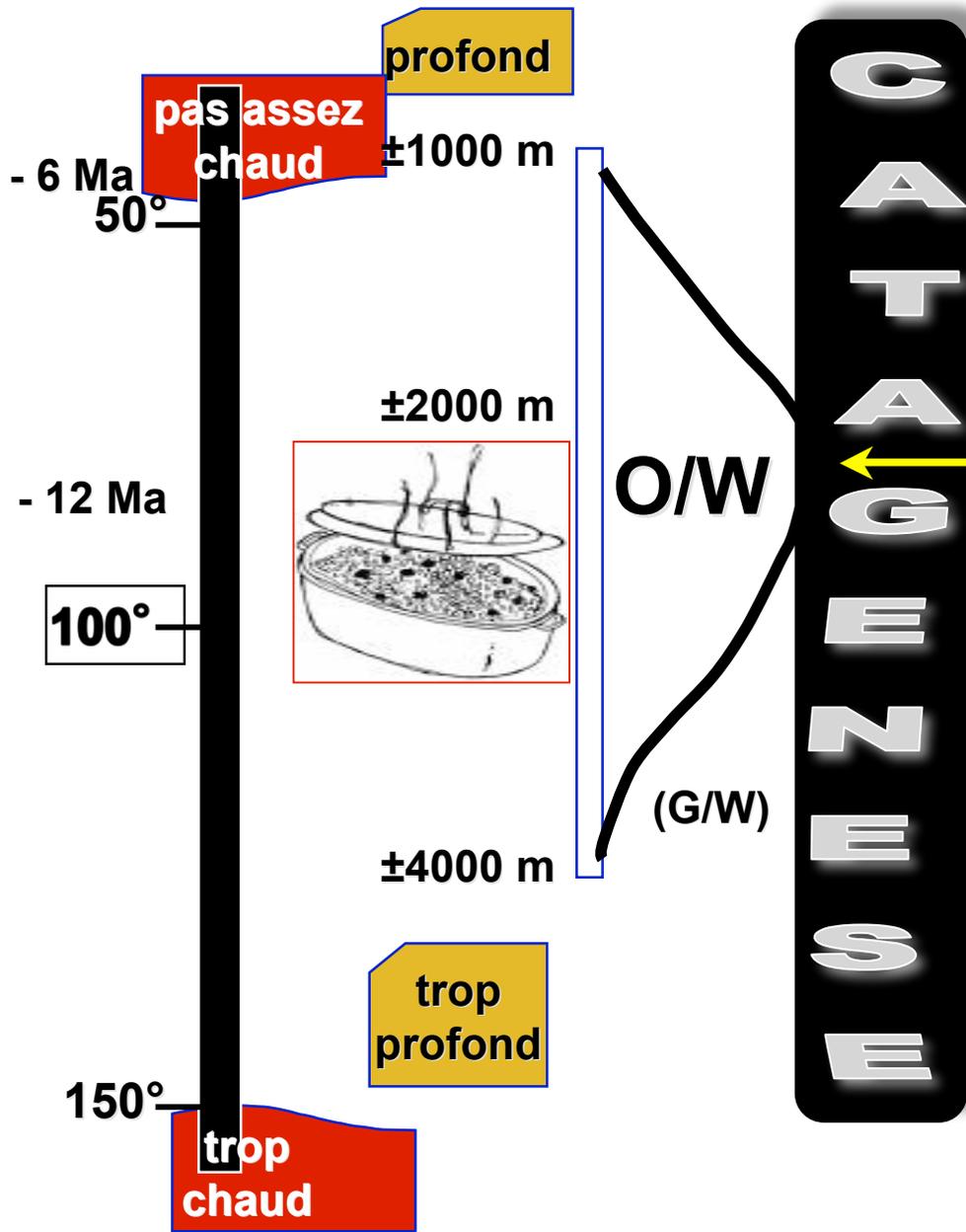
Roche Source
riche en Matière Organique



Maturation Thermique
de la Matière Organique



HUILE



il y a une T° optimale de MATURATION
 courbe de production
 du pétrole
 [LOI DE LOPATIN]

MATURE

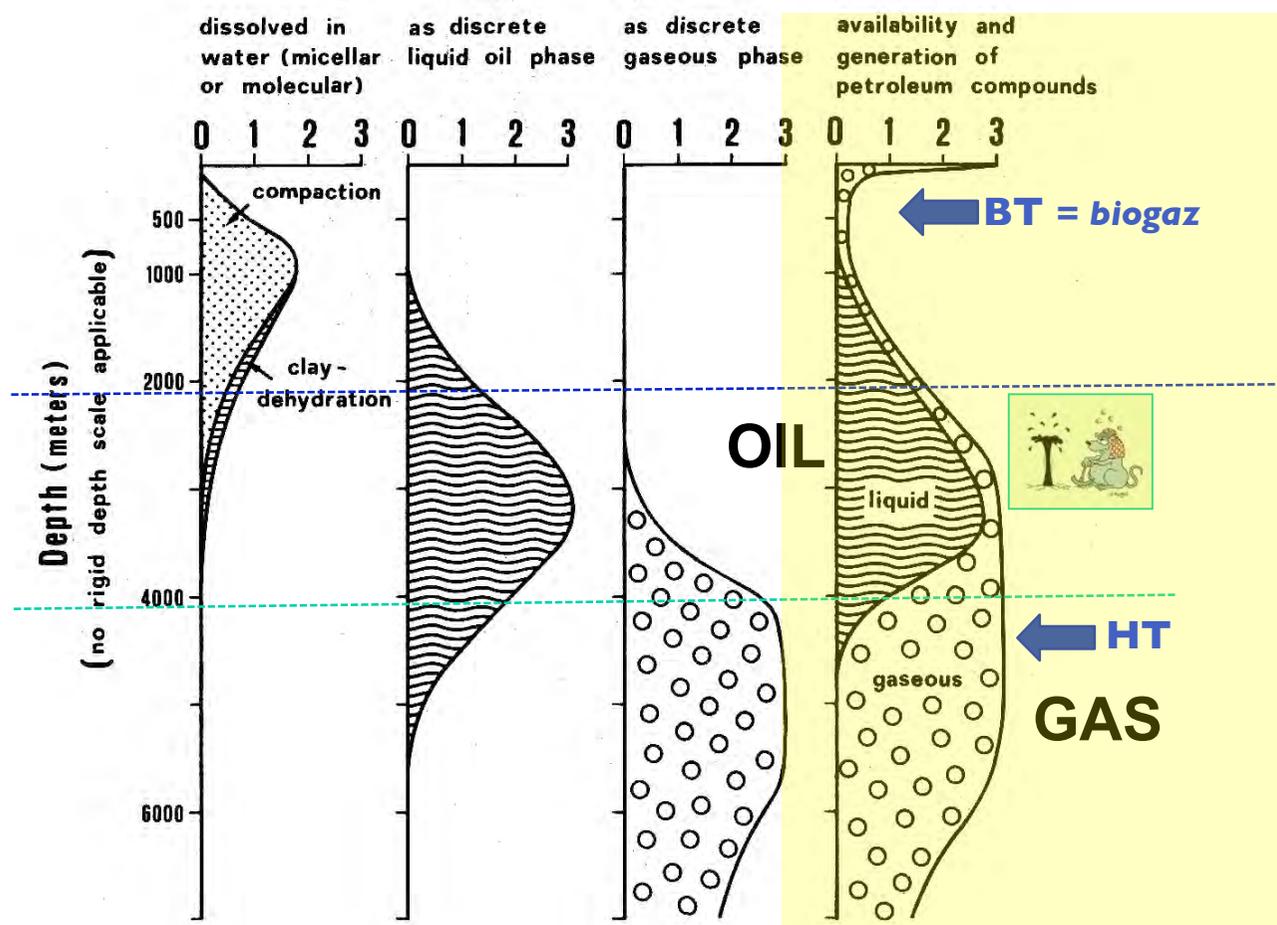
immature

'overmature'

Chances for mode of primary migration depending on different parameters

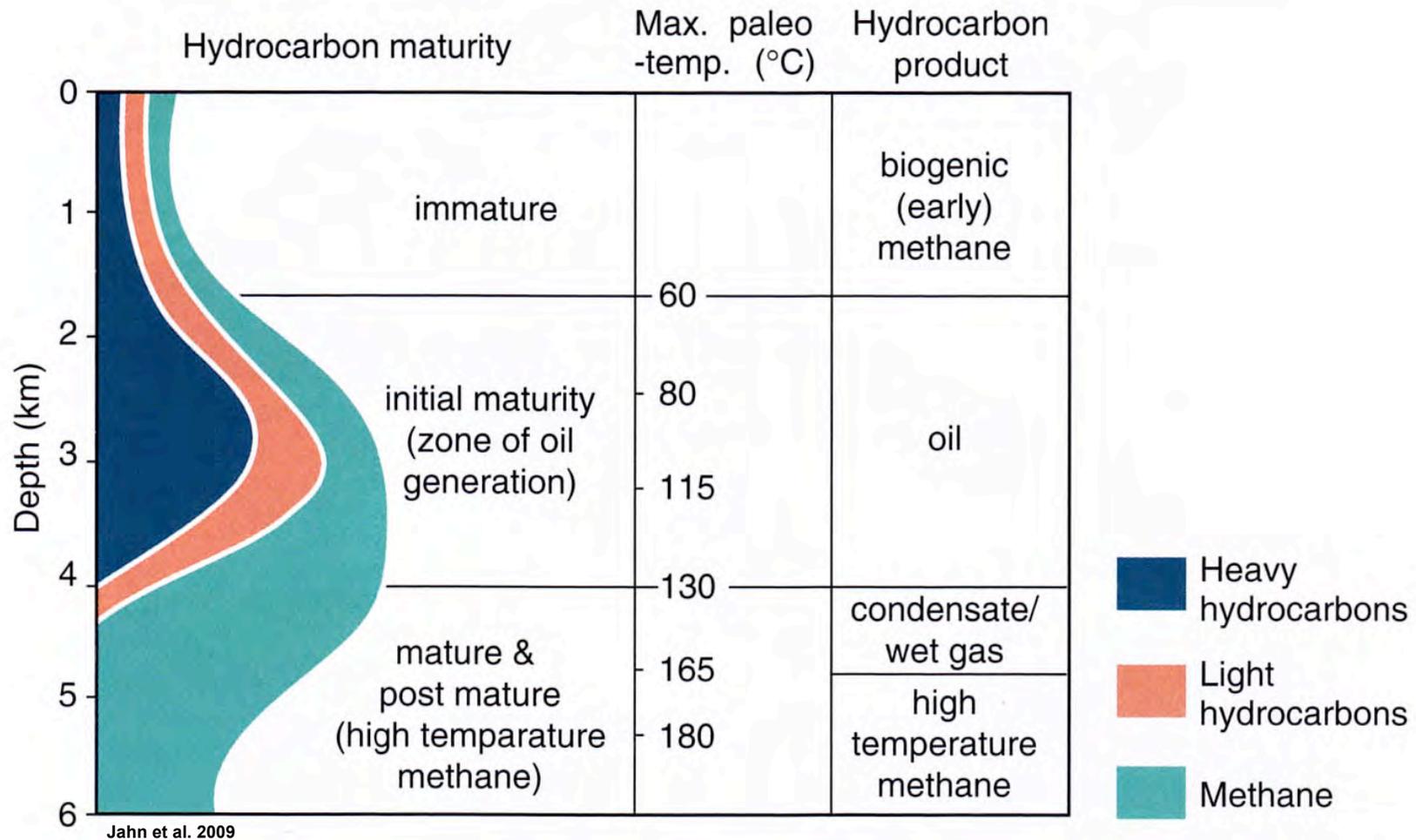
surtout profondeur enfouissement
roche-mère

- 6 Ma
60°
- 12 Ma
120°
↓
[150° ou >]



chances: 0 = none
1 = small
2 = good
3 = excellent

Tissot & Welte 1978



**1 à 3% des HC générés sera effectivement piégé et préservé dans des gisements exploitables d'huile et de gaz
Le RESTE est perdu dans les chemins de migration, les petites accumulations diffuses et fuites vers la surface**

Nb Tous les HC générés représentent seulement 0,1% du kérogène



IRAK-03/2011



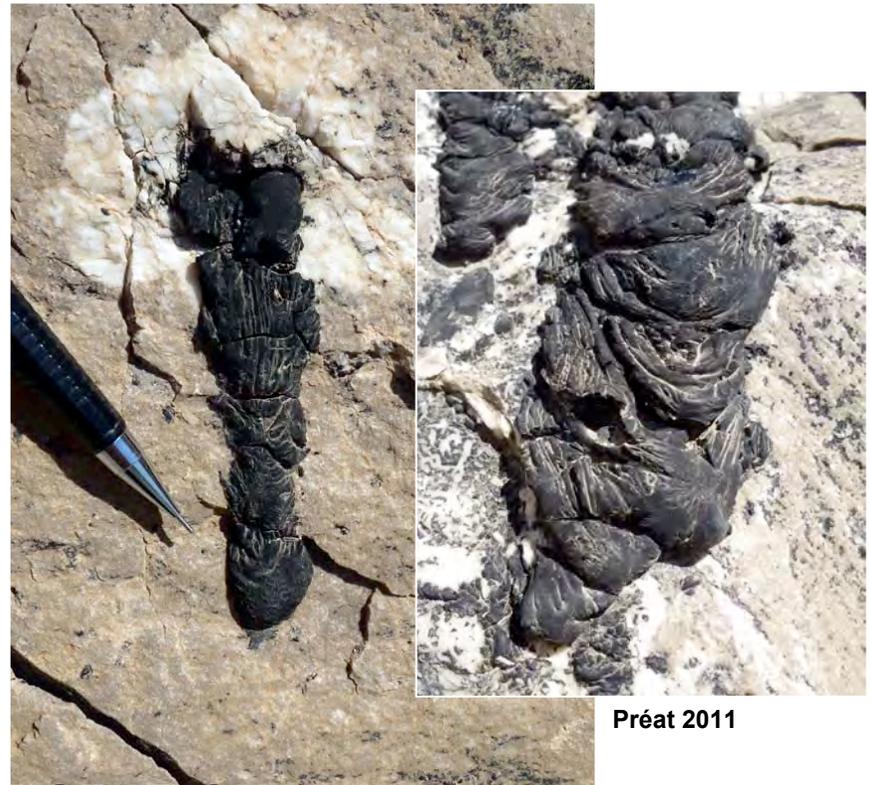
O
I
L
S
H
O
W



Préat 2011



IRAK-03/2011



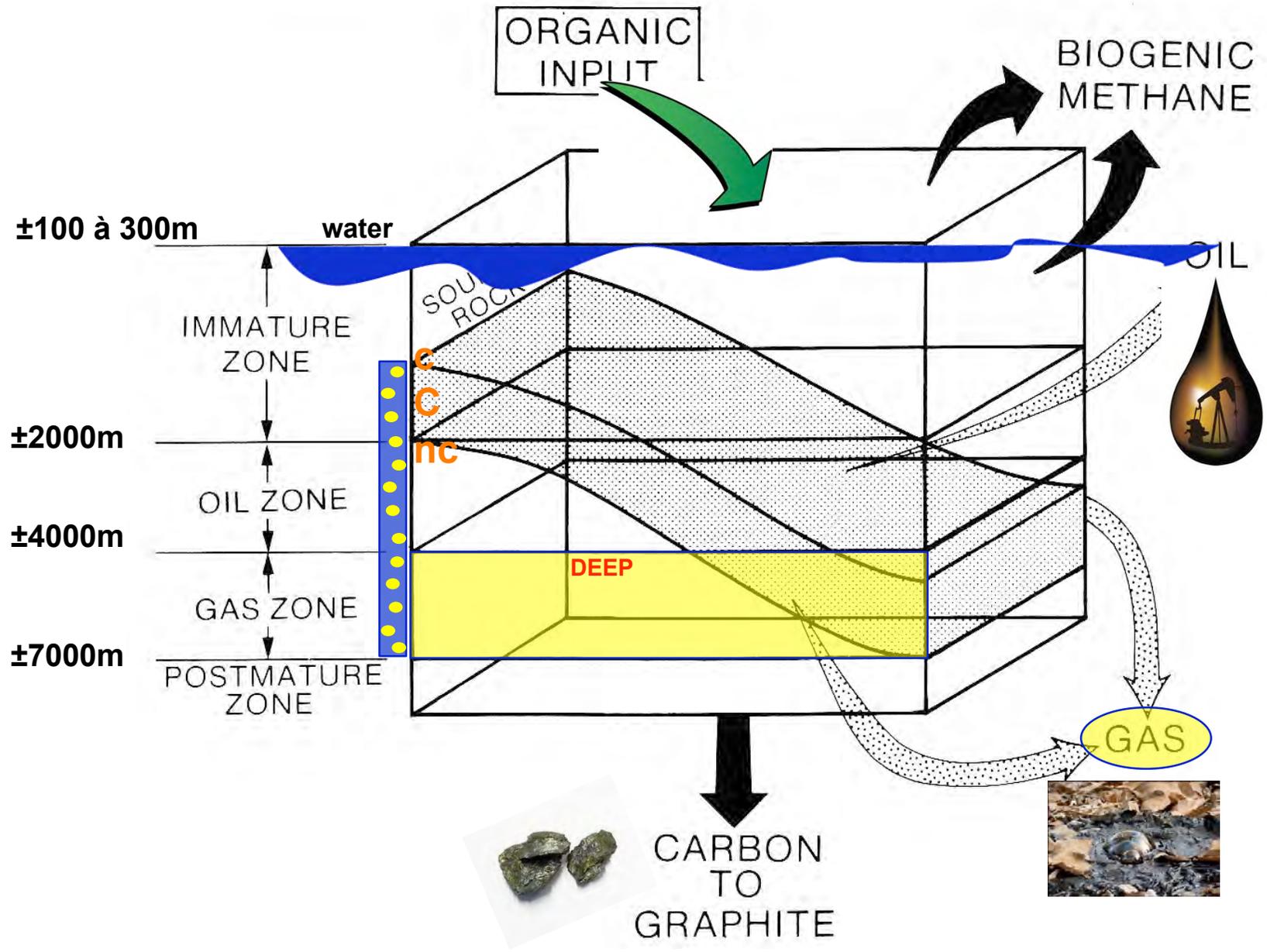
Préat 2011

OIL SHOW or DYSMIGRATION

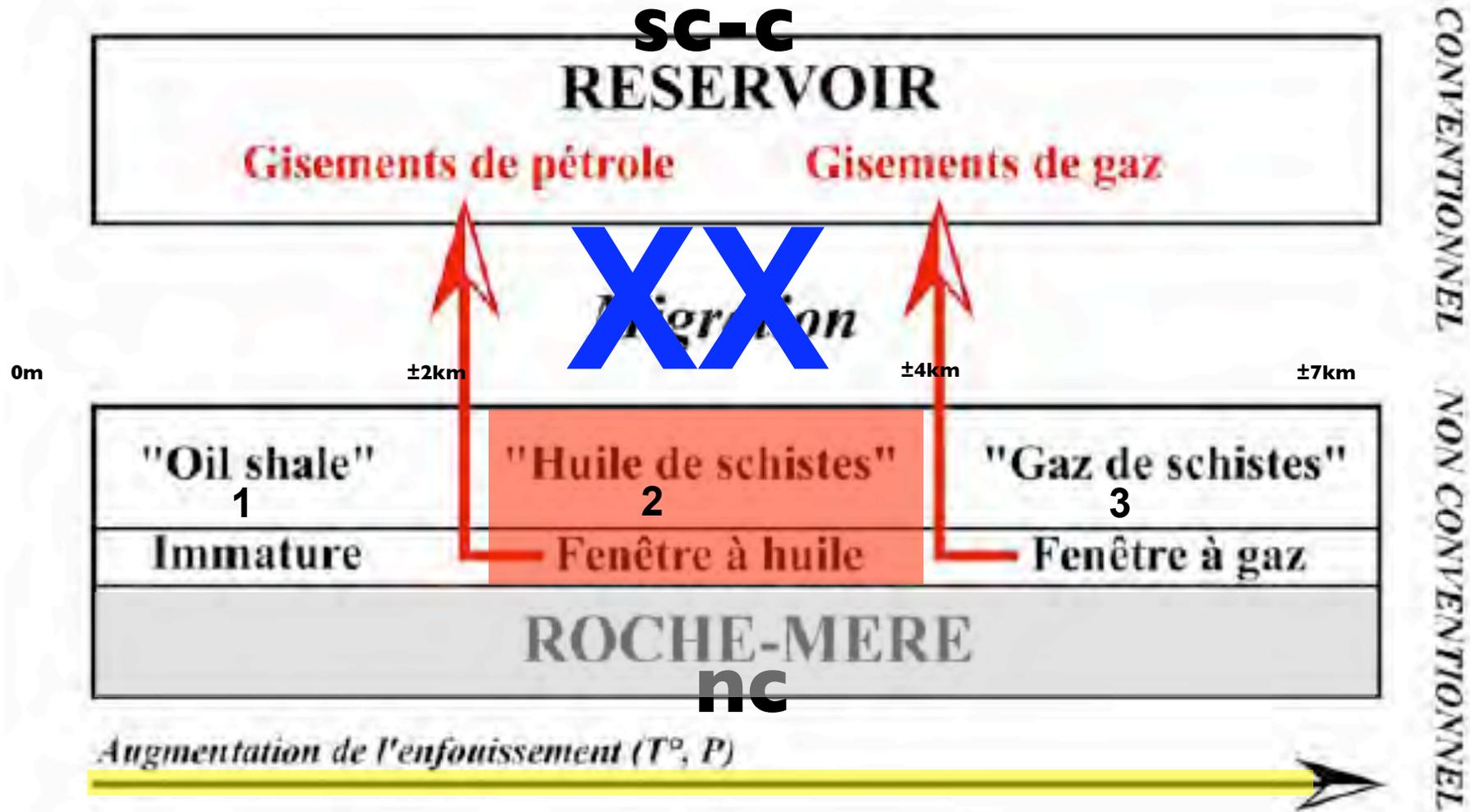


A. PREAT, ULB/CEPULB-21/03/2017





Brooks et al 1987



1. oil shale (bituminous)
= KEROGEN (nc)

2. shale oil
= MATURE (nc)

3. shale gas
= gas window (nc)

ATTENTION!!!

OIL SHALE \neq SHALE OIL



'shallower/immature'
= 'schistes bitumineux'
= uniquement kérogène (>20%)



'deeper/oil-window'
= 'huile de schiste'

HYDROCARBURES

Bitumes

du latin bitus

= bois résineux

Les bitumes ne sont pas des 'sables bitumineux'!

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

... ne pas confondre avec

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



RESERVES = ??

liées au prix que l'on veut bien mettre pour l'accès à la ressource

==> si le prix d'achat augmente, les réserves **AUSSI** !



une augmentation des prix peut induire une baisse de consommation

une baisse des prix peut induire une augmentation de la consommation

1-2-3

finalement on distingue trois quantités

1. Quantité de pétrole **DEJA EXTRAITE** c'est la grandeur la plus sûre
2. Quantité de pétrole **SUPPLEMENTAIRE** à extraire à partir des puits existants grâce aux progrès de la technologie
... certains gisements connus ne sont pas encore exploités
3. **EVALUATION** du pétrole à découvrir

Estimations sont pondérées d'un facteur de probabilité \pm grand selon que l'on est optimiste ou pessimiste + 'distortions non scientifiques = politiques...'

L'EVALUATION DES RESERVES

est donc pleine d'incertitudes et d'inconnues

- d'ordre géologique = caractéristiques des bassins et zones à explorer
- d'ordre technique = progrès des méthodes et outils de prospection
- d'ordre économique = prix du brut, fiscalités, conditions politiques

Les RESERVES COURANTES

Volumes extractibles selon les conditions techniques et économiques du moment et contenus **dans les seuls gisements en production et en cours de développement**

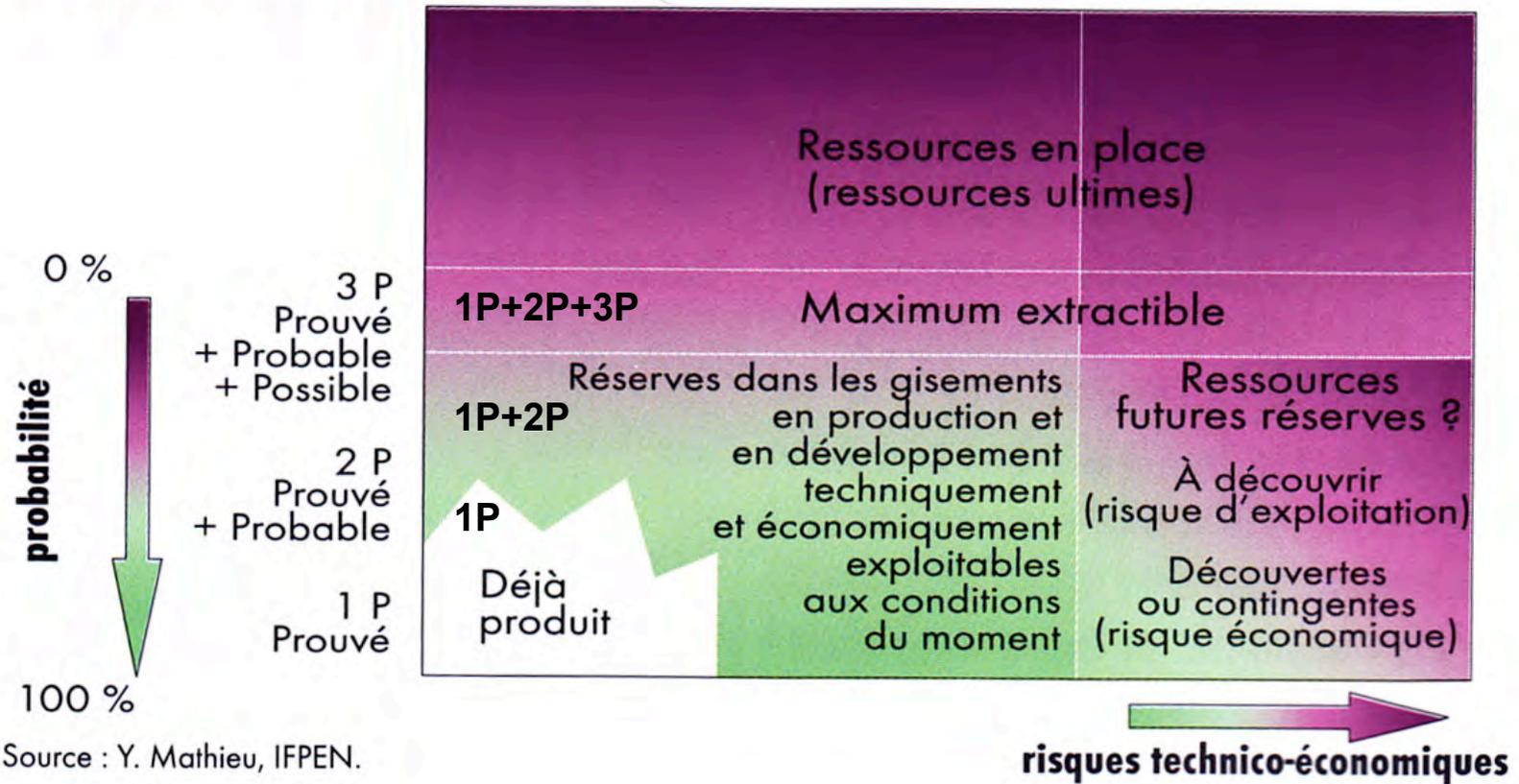


Les RESSOURCES

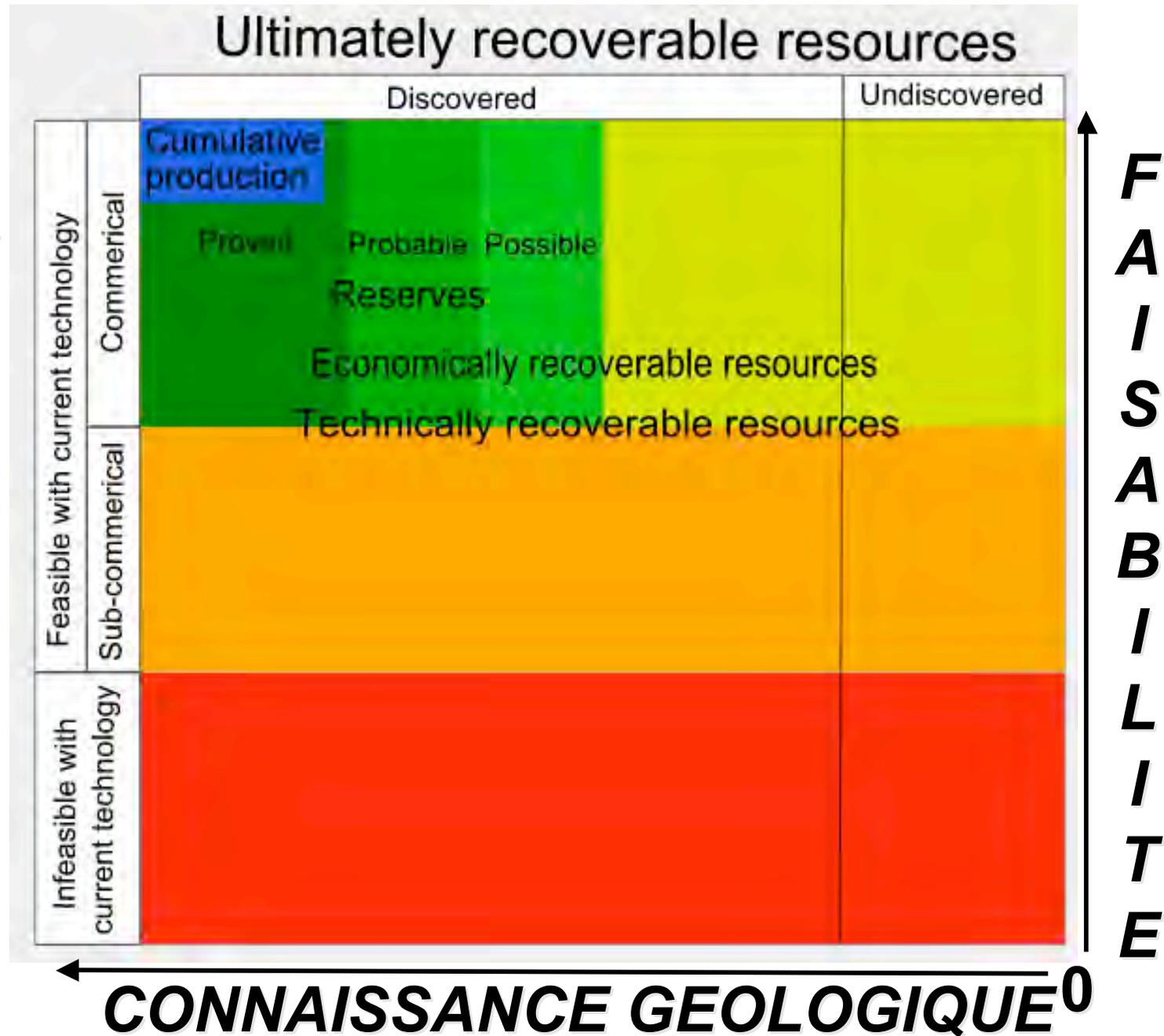
- Tous les autres volumes encore contenus dans la Nature. **Pour qu'ils deviennent des réserves, il faut qu'ils soient équipés ou en cours d'équipement** pour être produits
- On distingue plusieurs types de ressources qui sont toujours estimées suivant les conditions techniques et économiques du moment sauf, pour les ressources initiales en place qui englobent tout ce que la Nature a préservé en son sein
 - = **ressources contingentes** (connues, mais pas de plan de développement (car pas de permis d'exploration/exploitation.... –géo-politique ou autre raison)
 - = **ressources potentielles ou prospectives** (à découvrir, ex. sismique)
 - = **ressources non productibles** (technique, économique, environnement)
 - + **réserves additionnelles** (exemple EOR)



RÉSERVES ET RESSOURCES

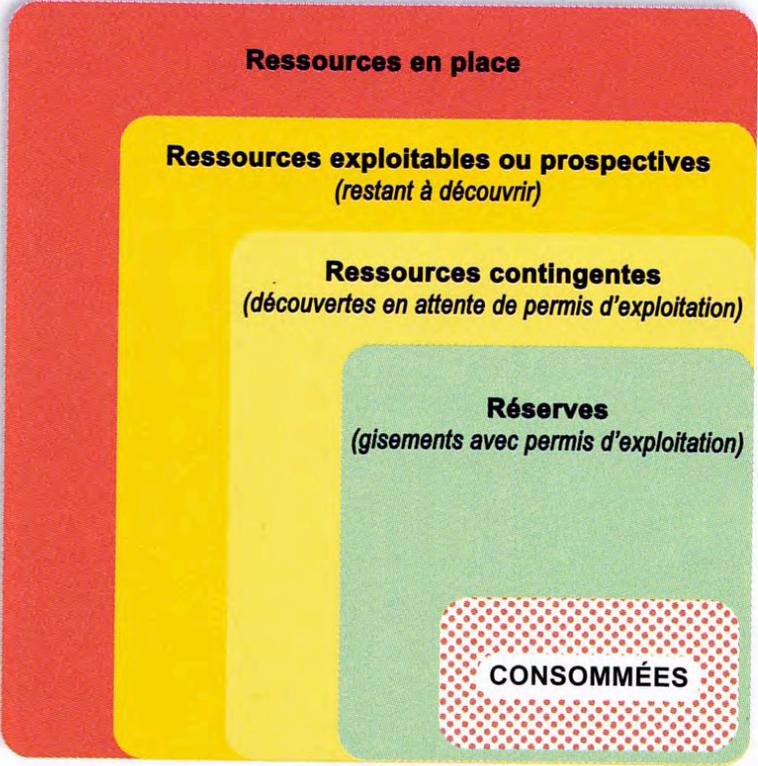


REGLE DES 3P



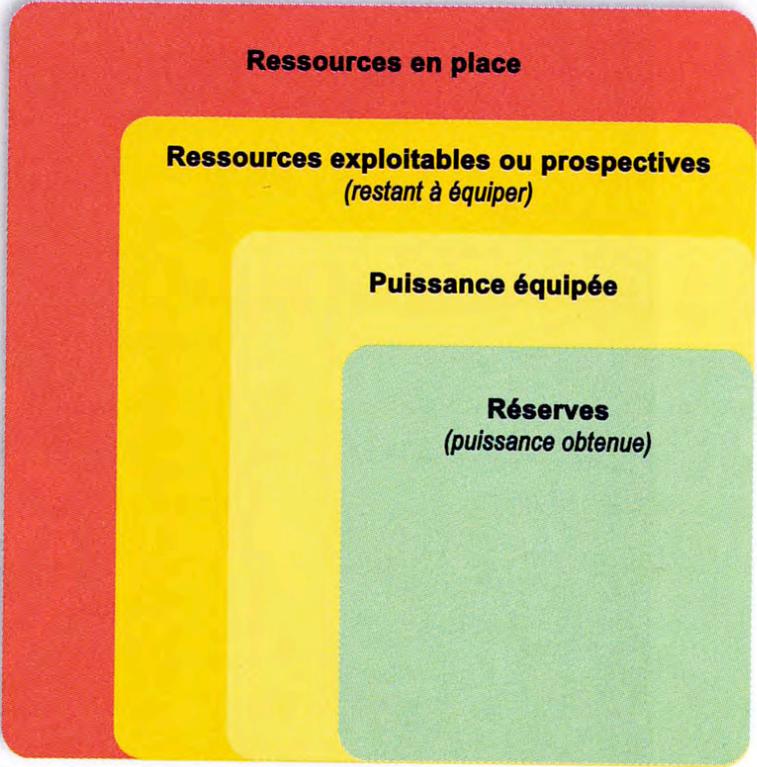
NON RENOUVELABLES

Pétrole, Gaz naturel, Charbons, Uranium, etc.



RENOUVELABLES

Solaire, Éolien, Hydraulique, etc.



La dimension des carrés est indépendante des volumes concernés

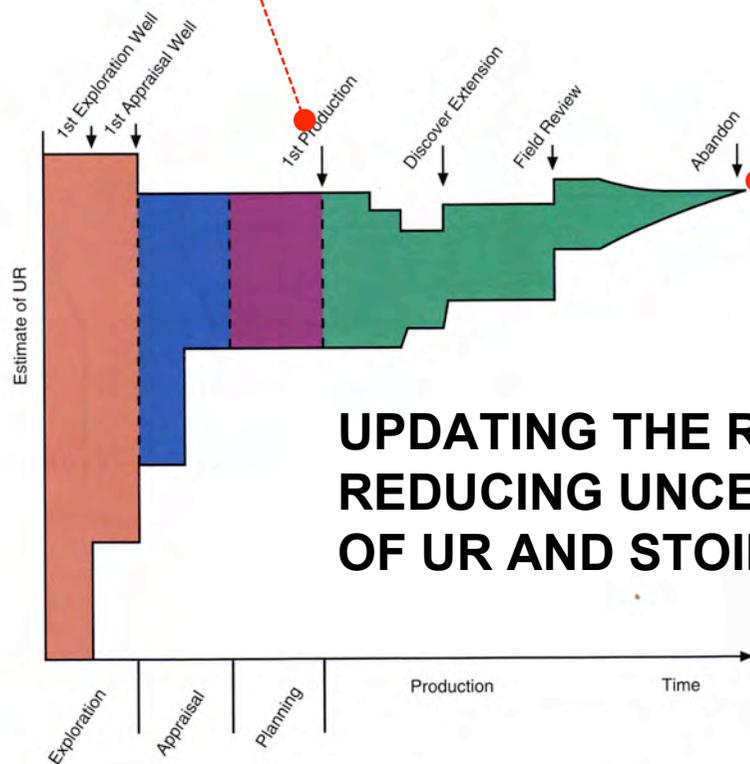
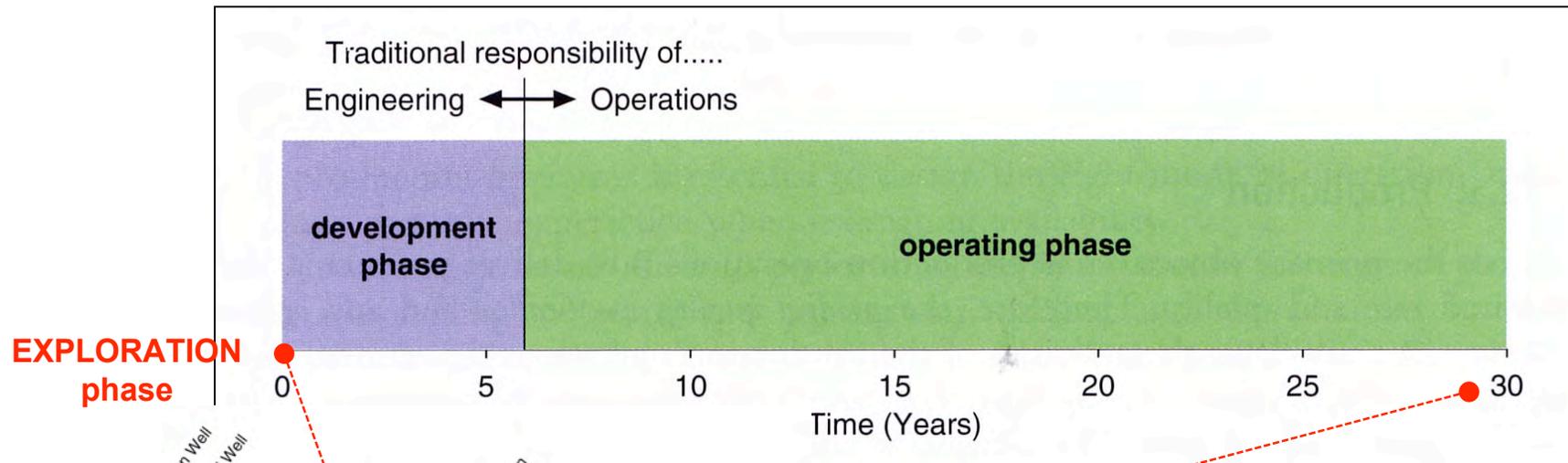
Non renouvelables

- Restantes
- Exploitables
- Inexploitables
- Consommées

Renouvelables

- Effectives
- Exploitables
- Totales

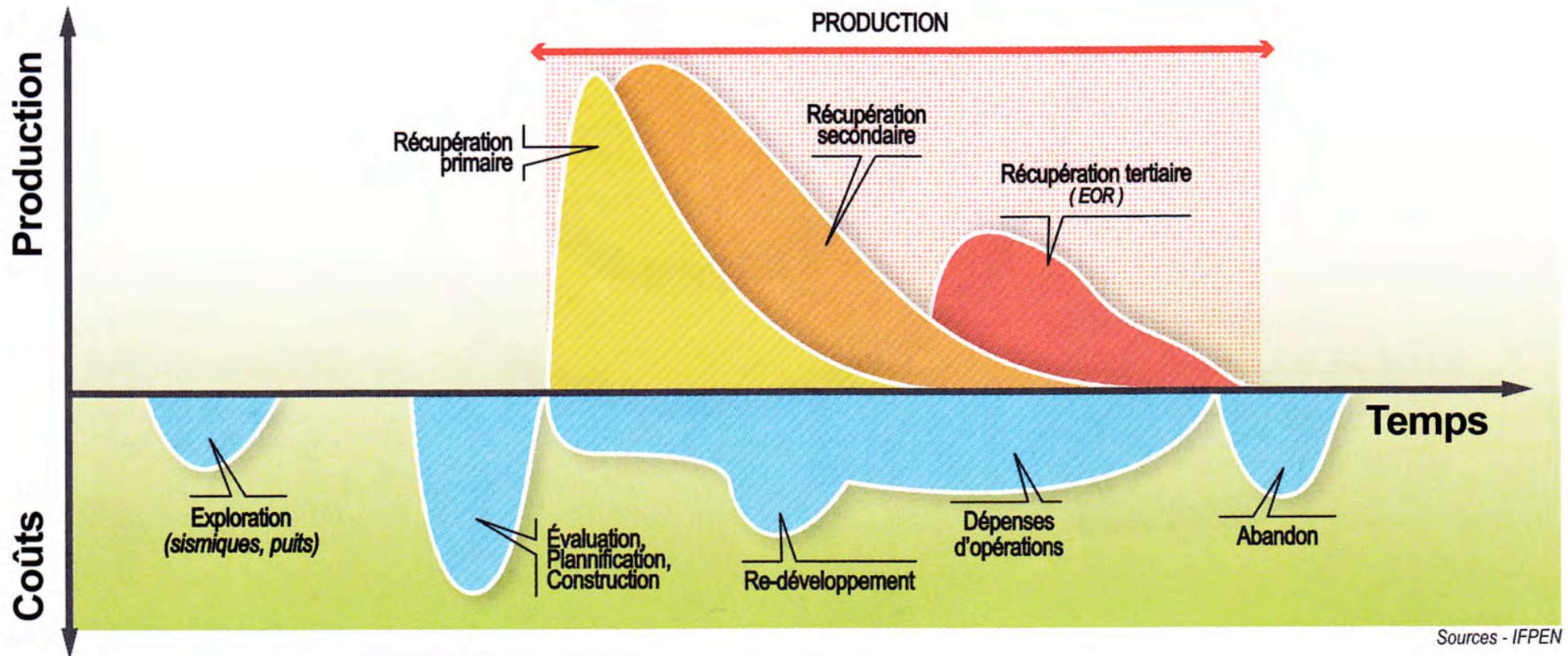
PRODUCTION OPERATIONS AND MAINTENANCE



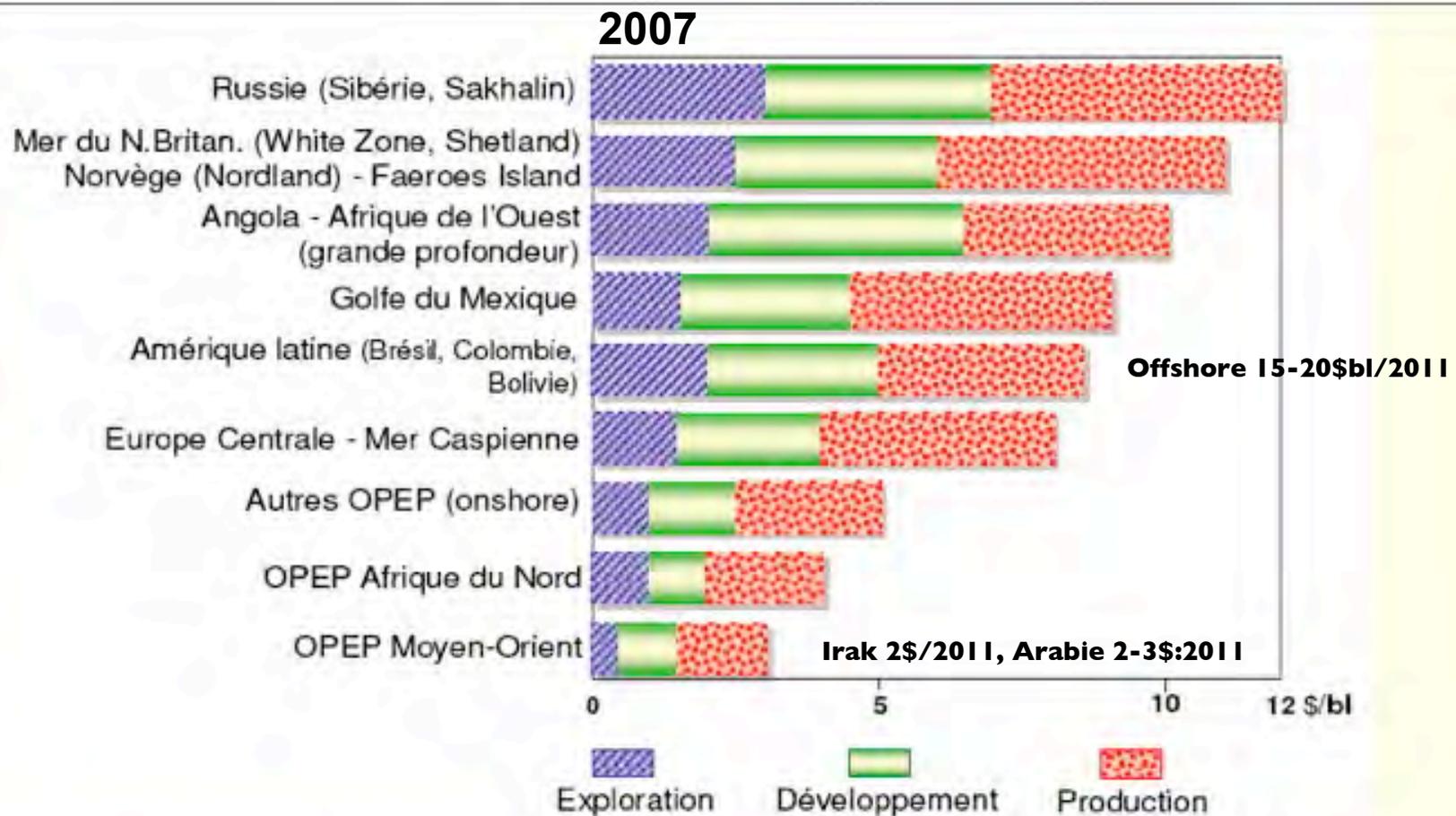
**UPDATING THE RESERVOIR MODEL
REDUCING UNCERTAINTIES IN THE ESTIMATE
OF UR AND STOIP (here UR was reduced)**

UR ultimately recovery
STOIP stock tank initially in place
Jahn et al. 2009

RECETTES ET DEPENSES CHAMP PETROLIER (20 à 30 ANS)



Coûts techniques (amont.....aval) > < Recettes production



Structure du coût technique d'extraction d'un baril pour le pétrole conventionnel, en dollars. Le "développement" est la phase où se construit l'infrastructure d'extraction du pétrole. 10 dollars par baril \approx 5 euros par MWh.

Source : ADL, Long term Outlook, 1999, In Bauquis & Babusiaux, Académie des Technologies, 2007

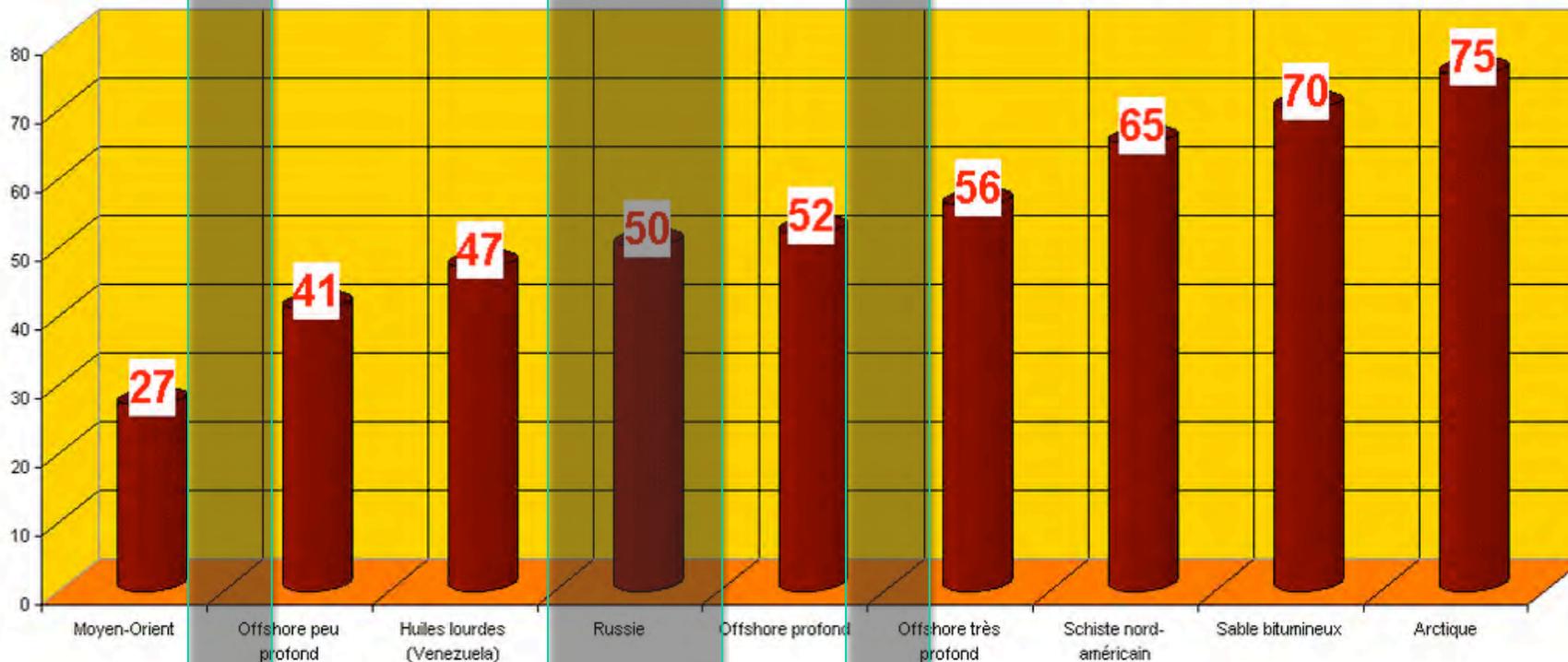
aujourd'hui

2016
 cours du baril
 35,016 \$
 04/03/2016

2016
 cours du baril 48.71 \$ (wti)
 cours du baril 53,23 \$
 05/03/2016



Coût de production d'un baril de pétrole, en dollars - Source: Alternatives économiques février 2015



2015

2015



<http://www.usinenouvelle.com/article/infographie-quels-sont-les-pays-les-plus-penalises-par-la-baisse-du-petrole.N431762>

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% ... '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%

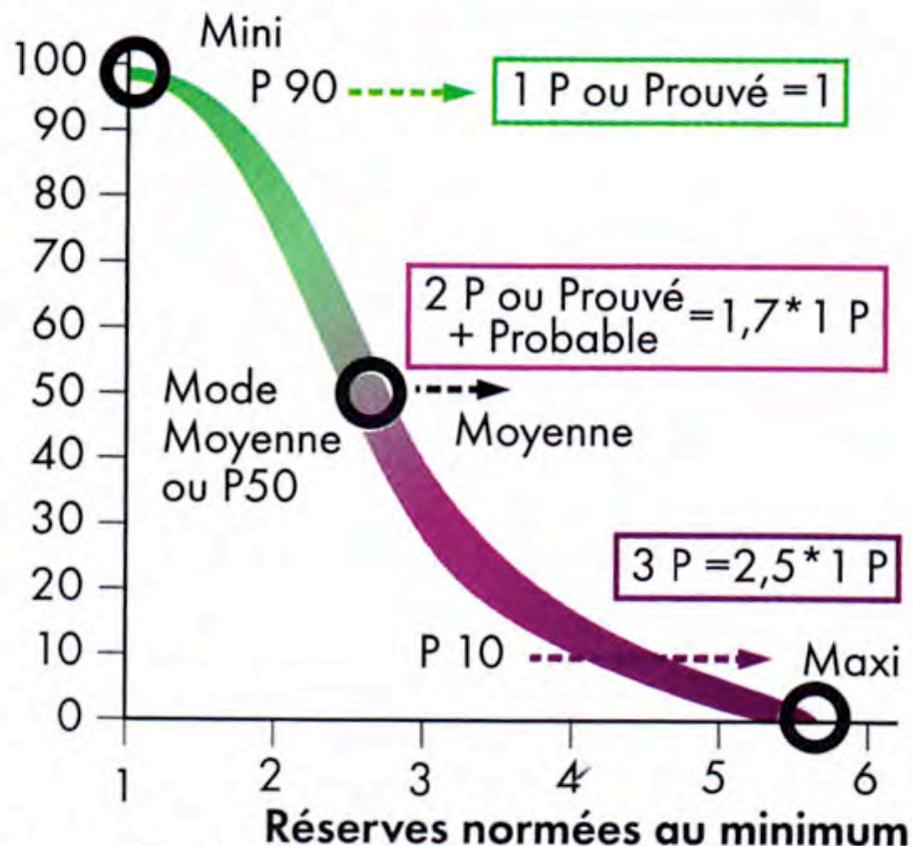
= > 10% ... d'être réalisées

LE CALCUL DES RÉSERVES SUR LES GISEMENTS

LA REGLE DES '3P' : **pro**uvé-**prob**able-**pos**sible

Ressources **DECOUVERTES** : courantes et contingentes

Probabilités, en %



1 Gb
conditions
les plus
défavorables

1,7 Gb
conditions
le plus souvent
rencontrées (in fine)

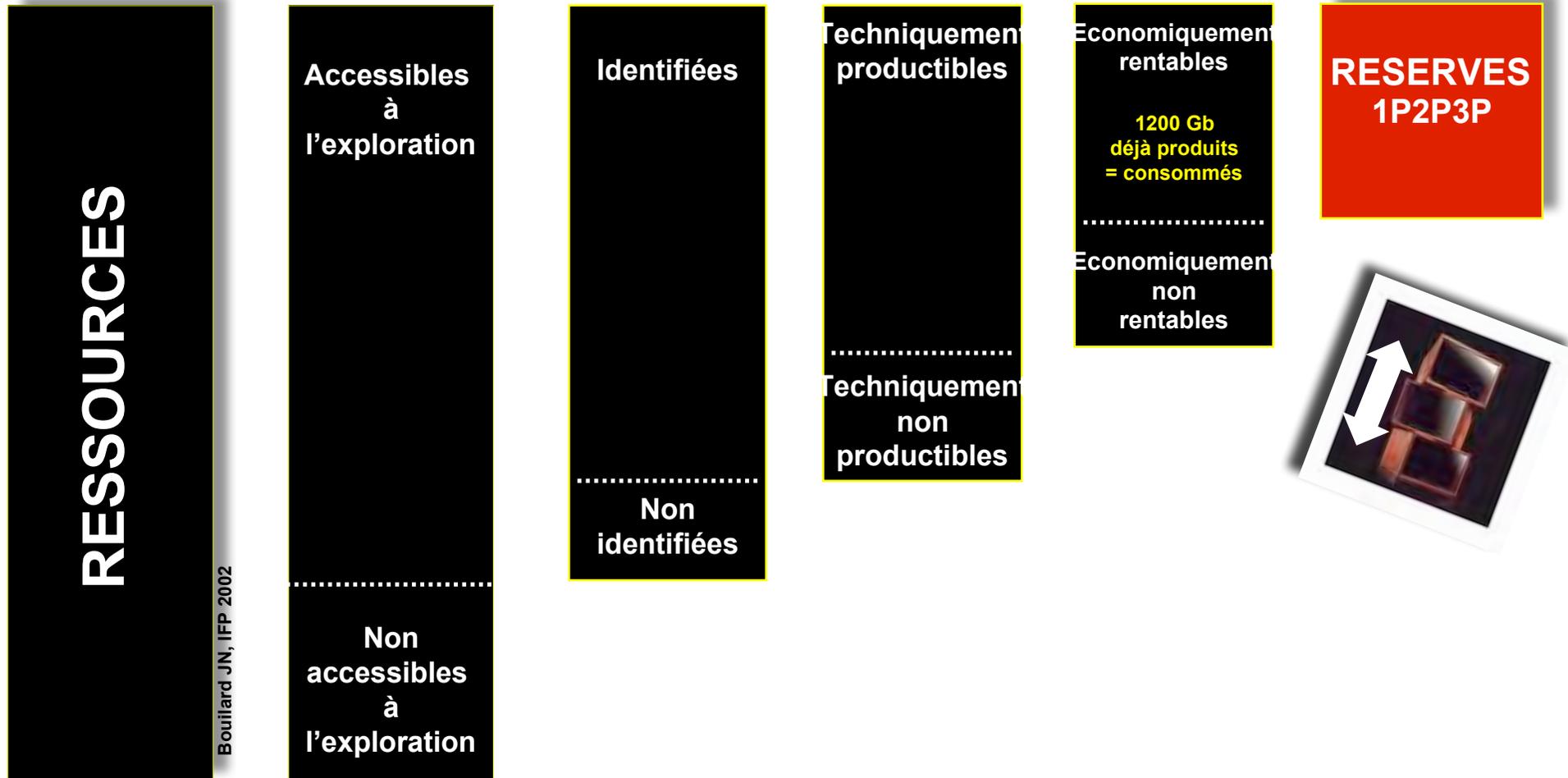
4,2 Gb
conditions
optimales

2015 1P = 1697,6 Gb



Source : Y. Mathieu, IFPEN.

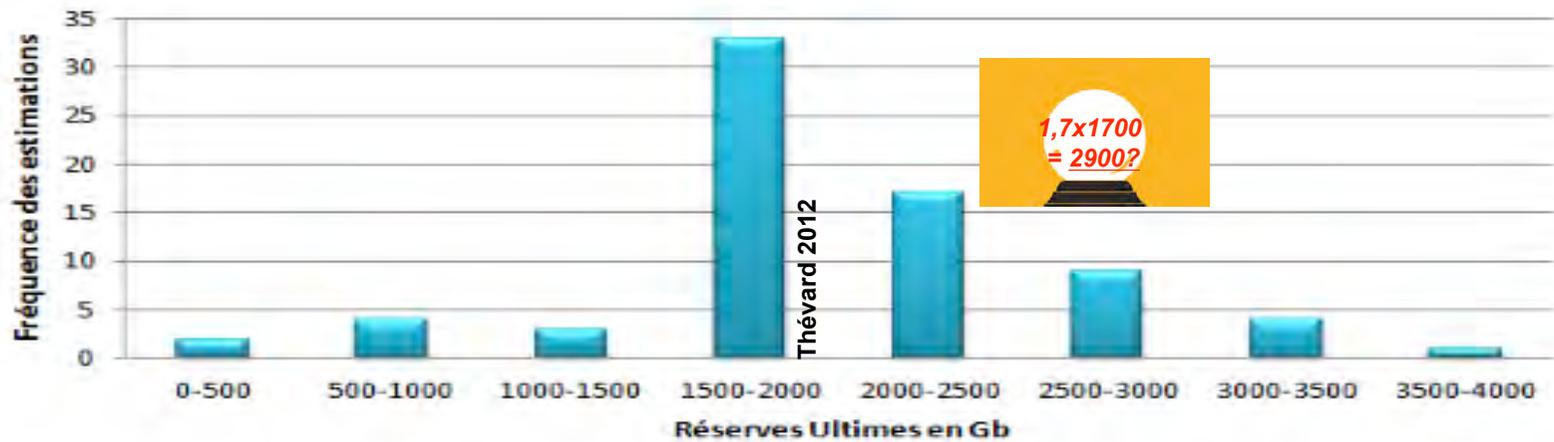
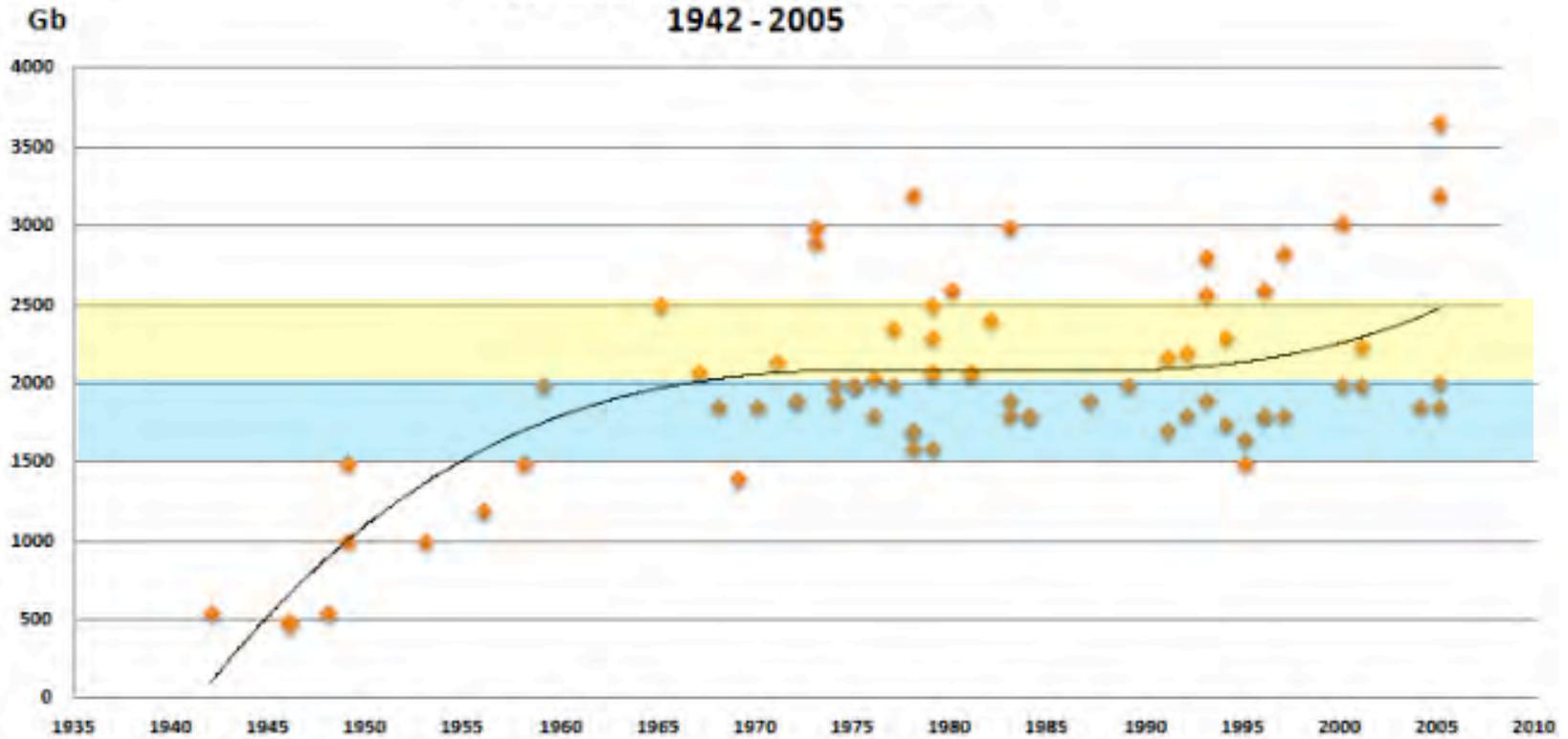
Des Ressources aux Réserves



Ressources: quantités en place dans la croûte terrestre (identifiées ou non)

Réserves: HC récupérables, commerciables dans les conditions actuelles du marché

(URR = RECUPERABLES)
Estimations des réserves ultimes
1942 - 2005



FINALEMENA

< 100 \$... > 100 \$

concept fluctuant
(technique, économie)

volume
difficile à évaluer

RESERVES
PROUVEES

RESERVES
ULTIMES

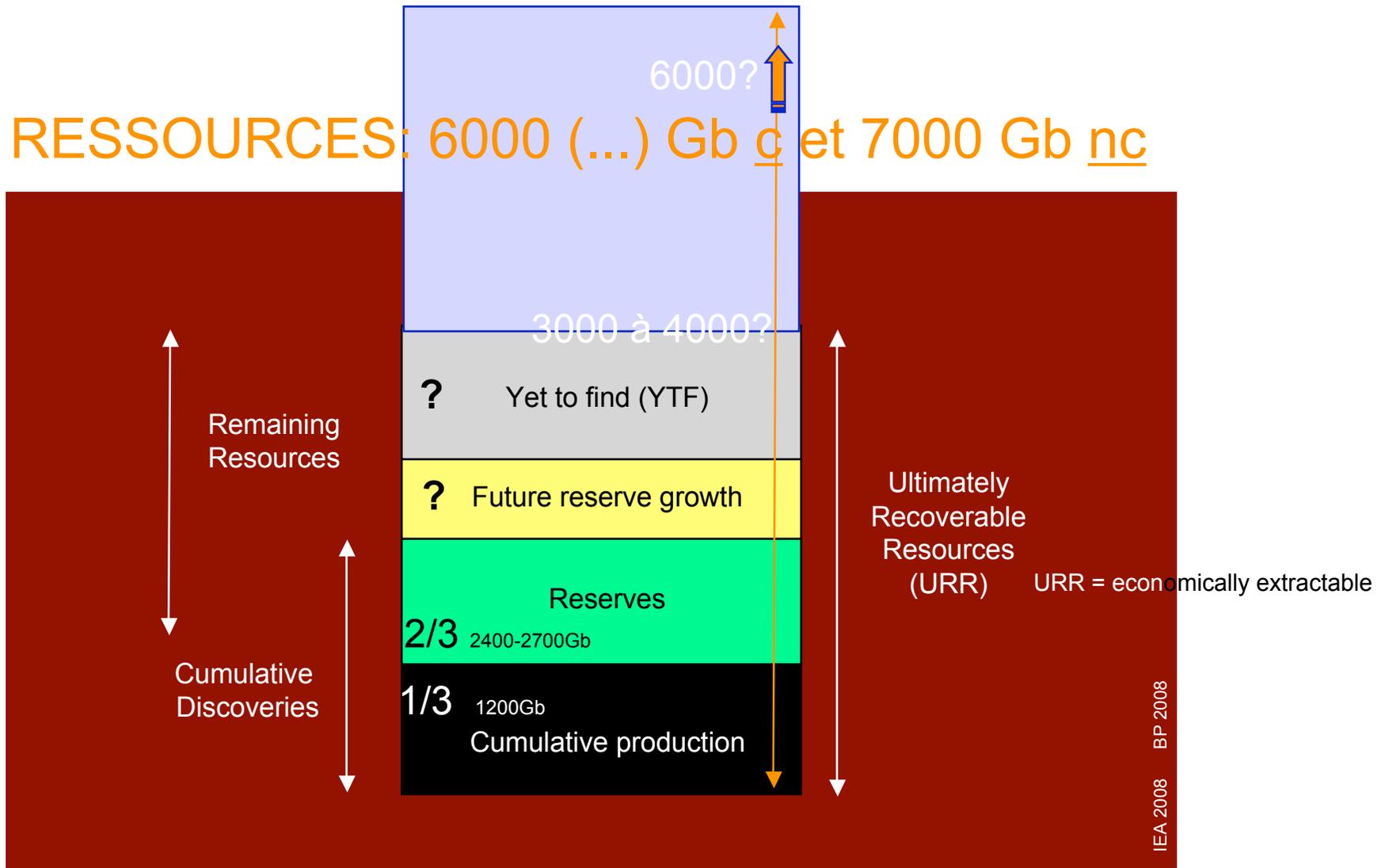
on passe de l'un à l'autre
dans les deux sens

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.

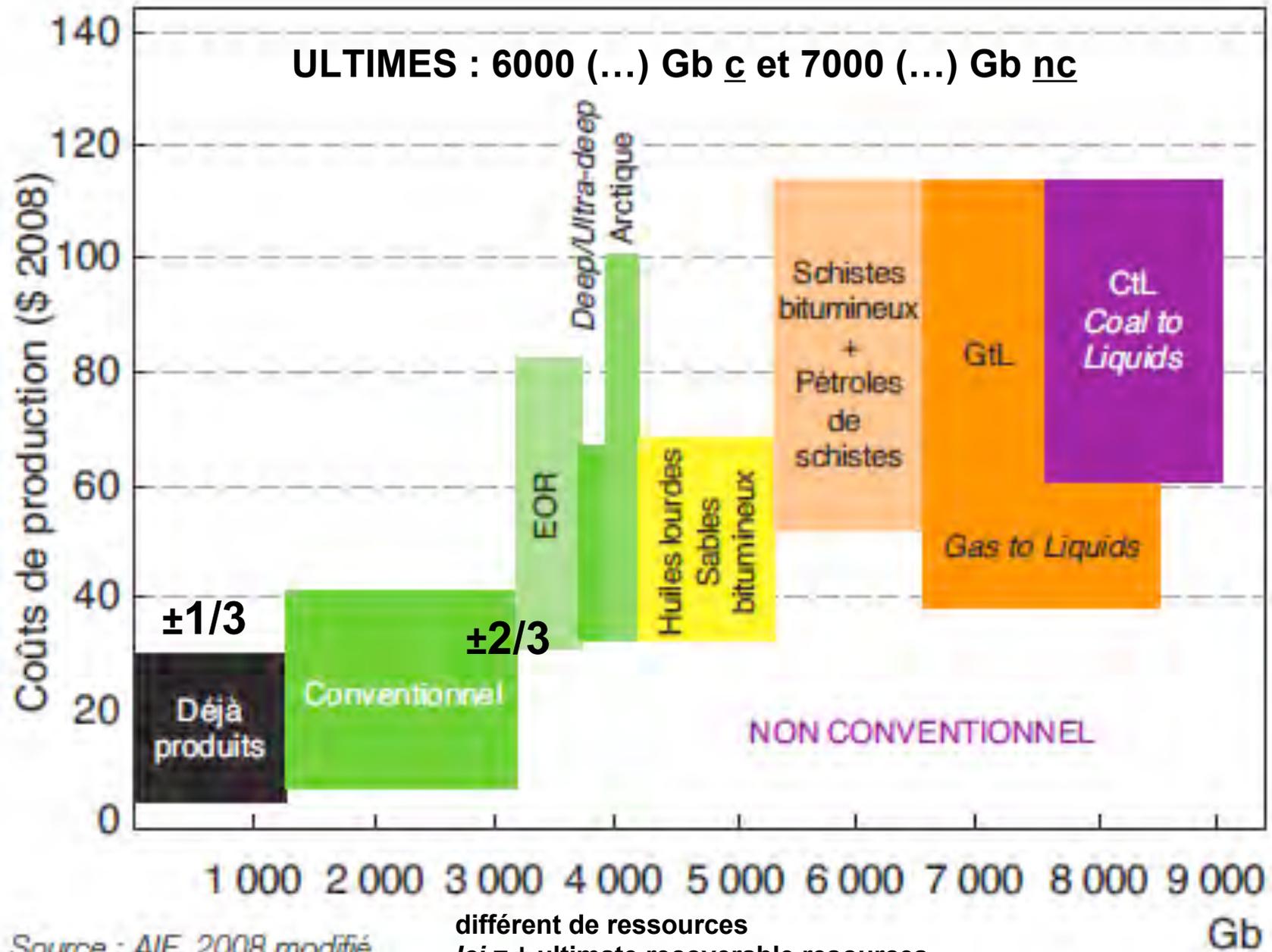
In Legault A 2007



Remaining recoverable resources oil c : 870-3170 Gb (2015 AIE: 2700Gb)

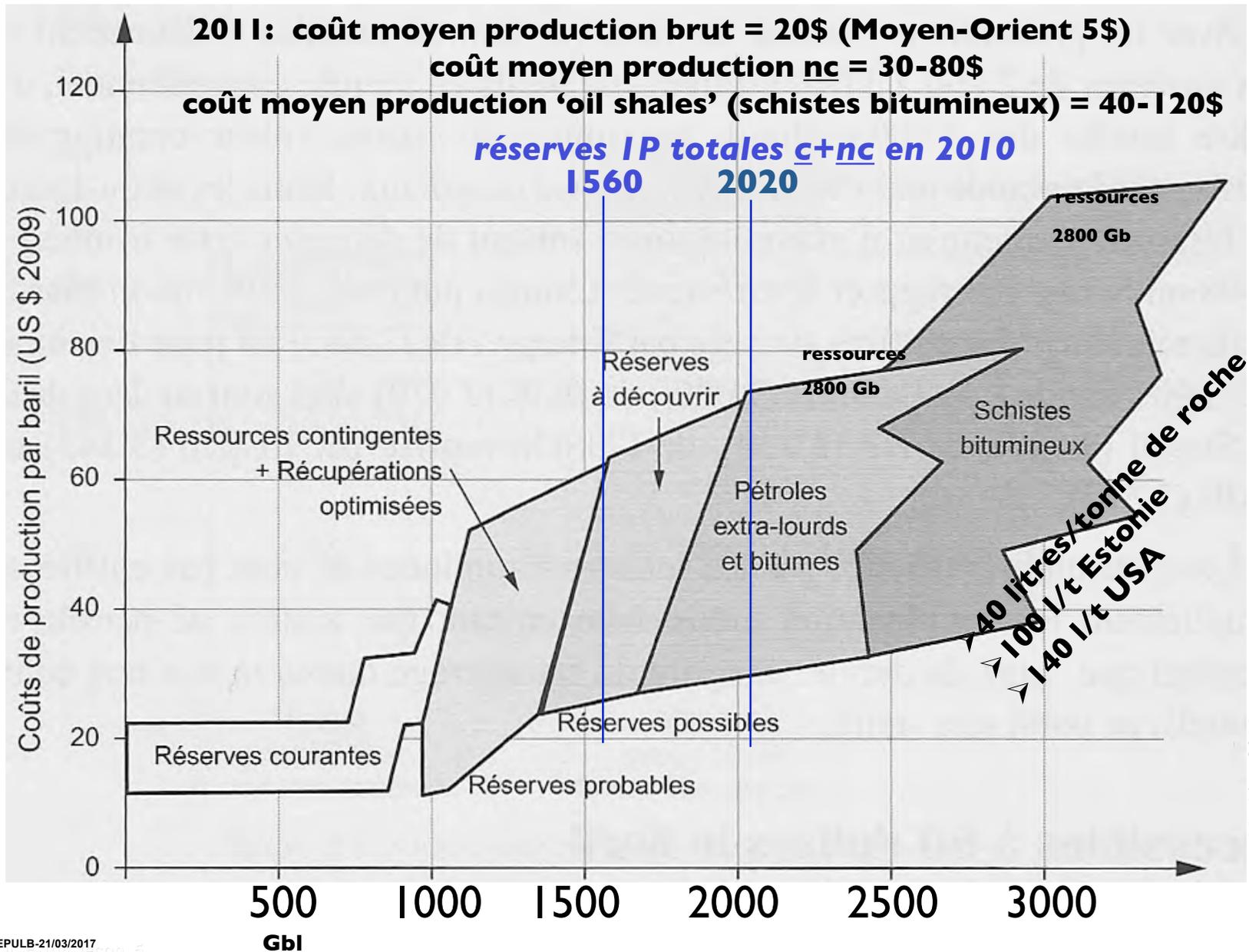
(Max = 4Xmin)

nc : 1P 1526 Gb (BP, 2010), 1P 1532 Gb (CIA, Factbook, 2012), 1P2P3P 3300 Gb (BP2014)

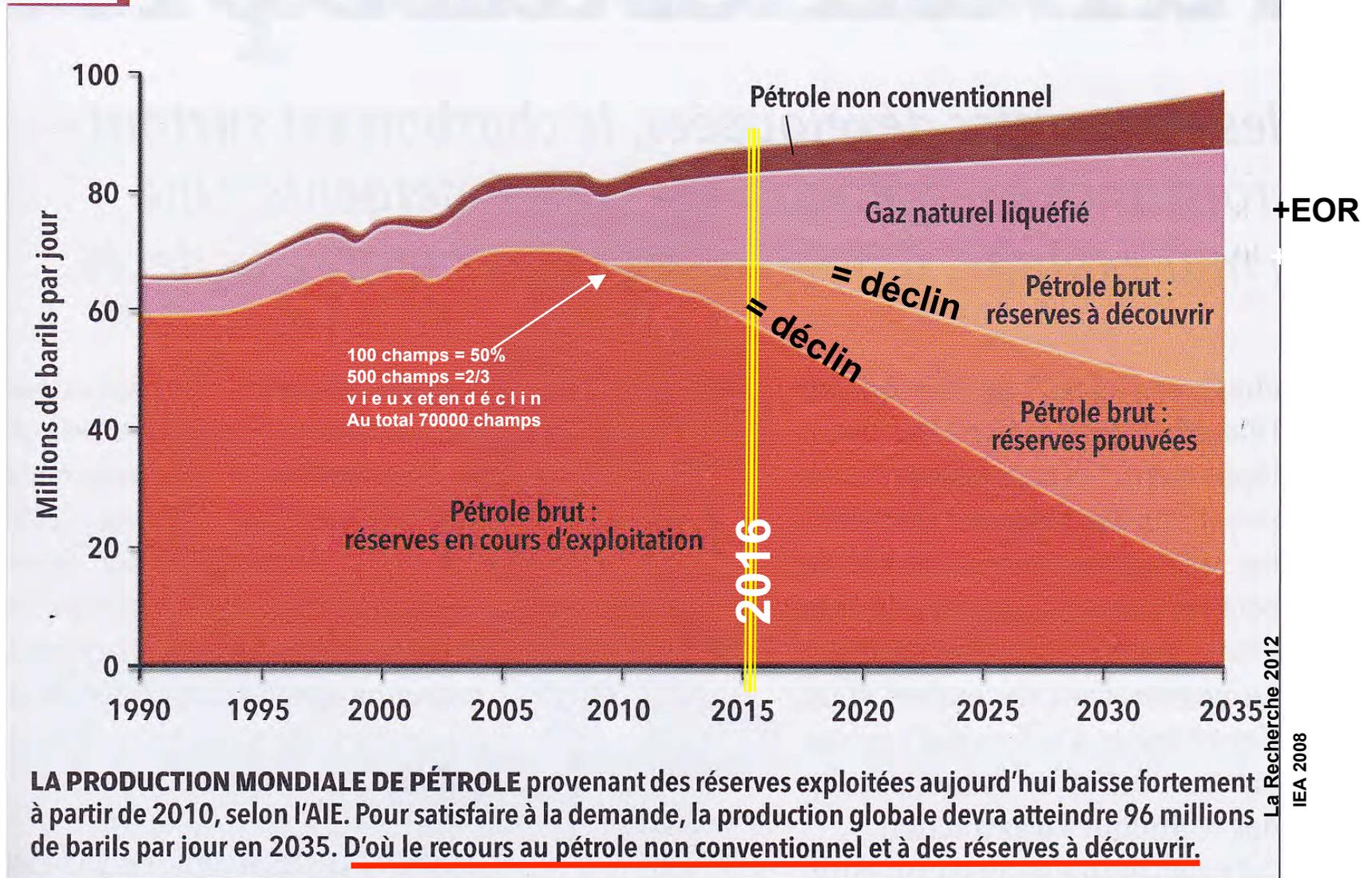


Source : AIE, 2008 modifié

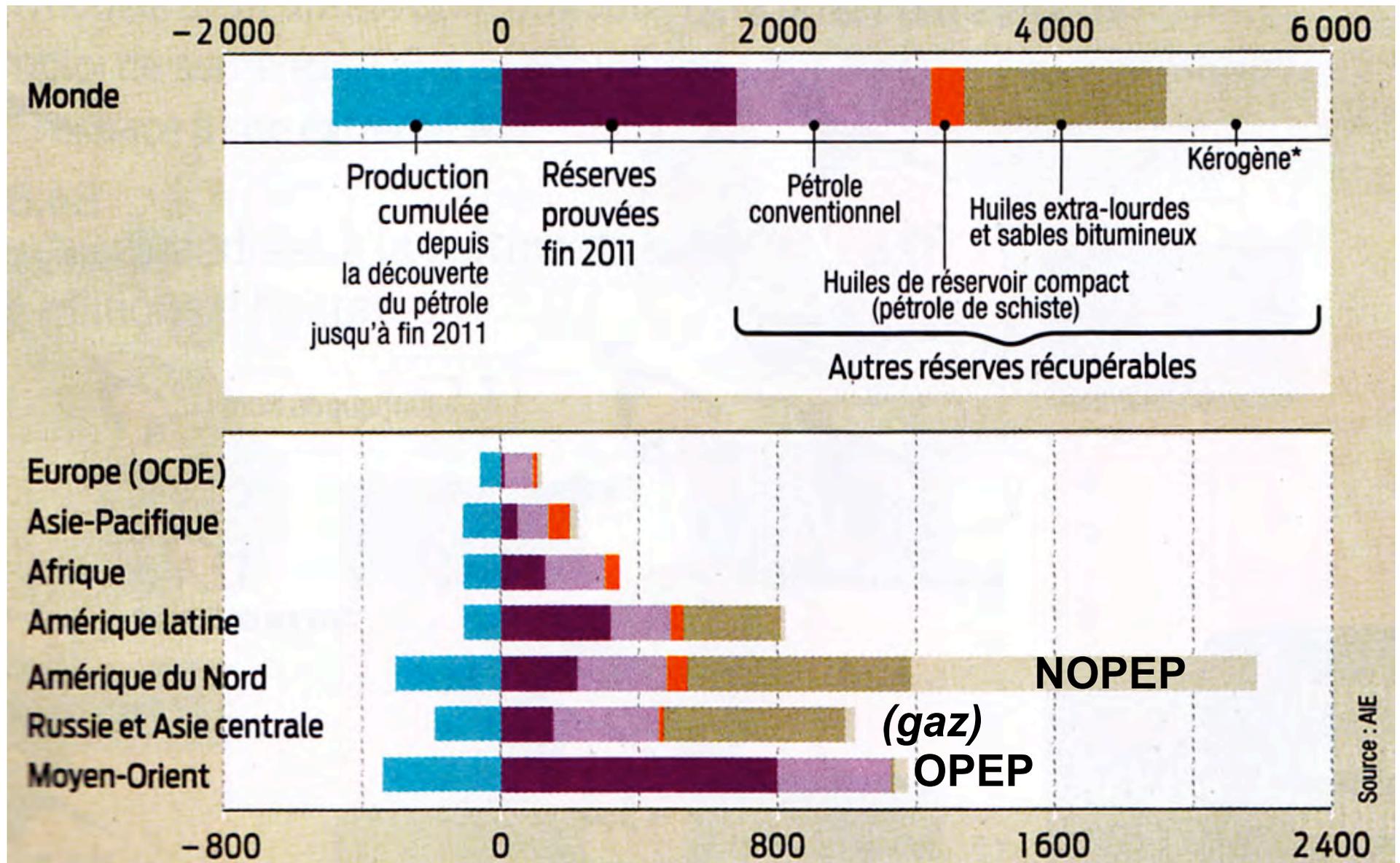
Coûts de production des futures réserves attendues

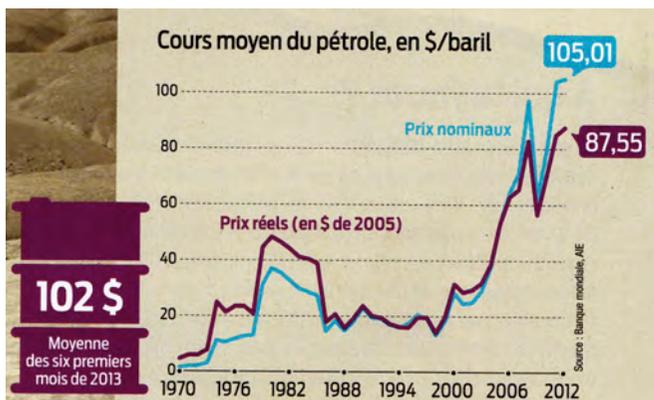
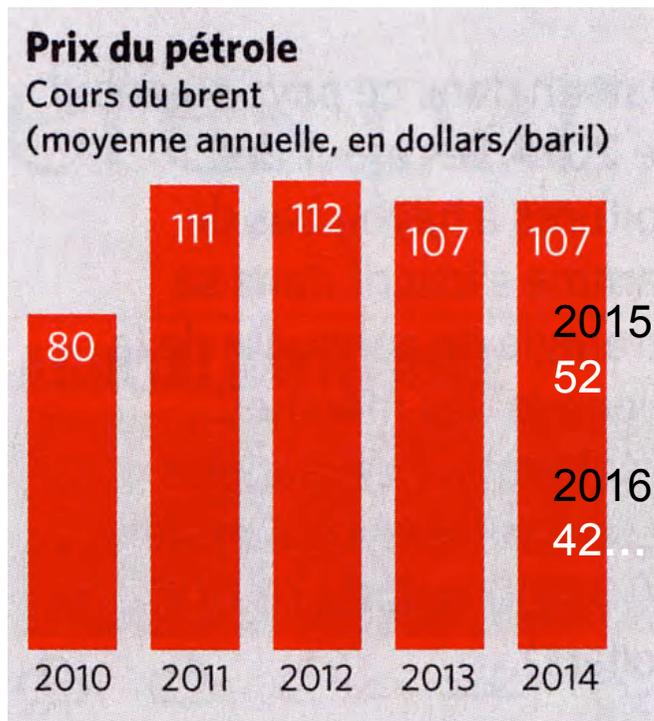


Évolution de la production mondiale de pétrole

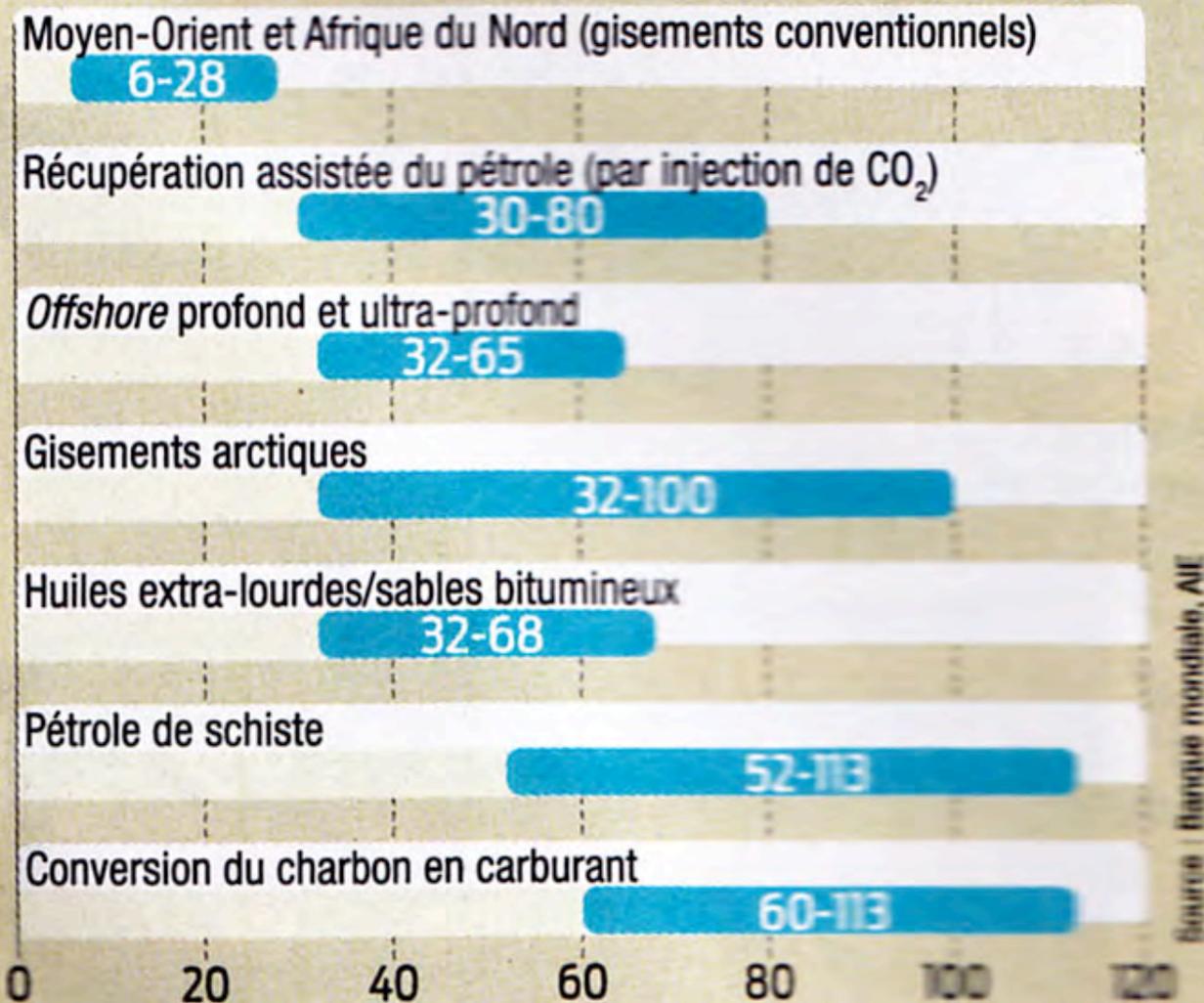


Ressources pétrolières récupérables en 2011, Gb

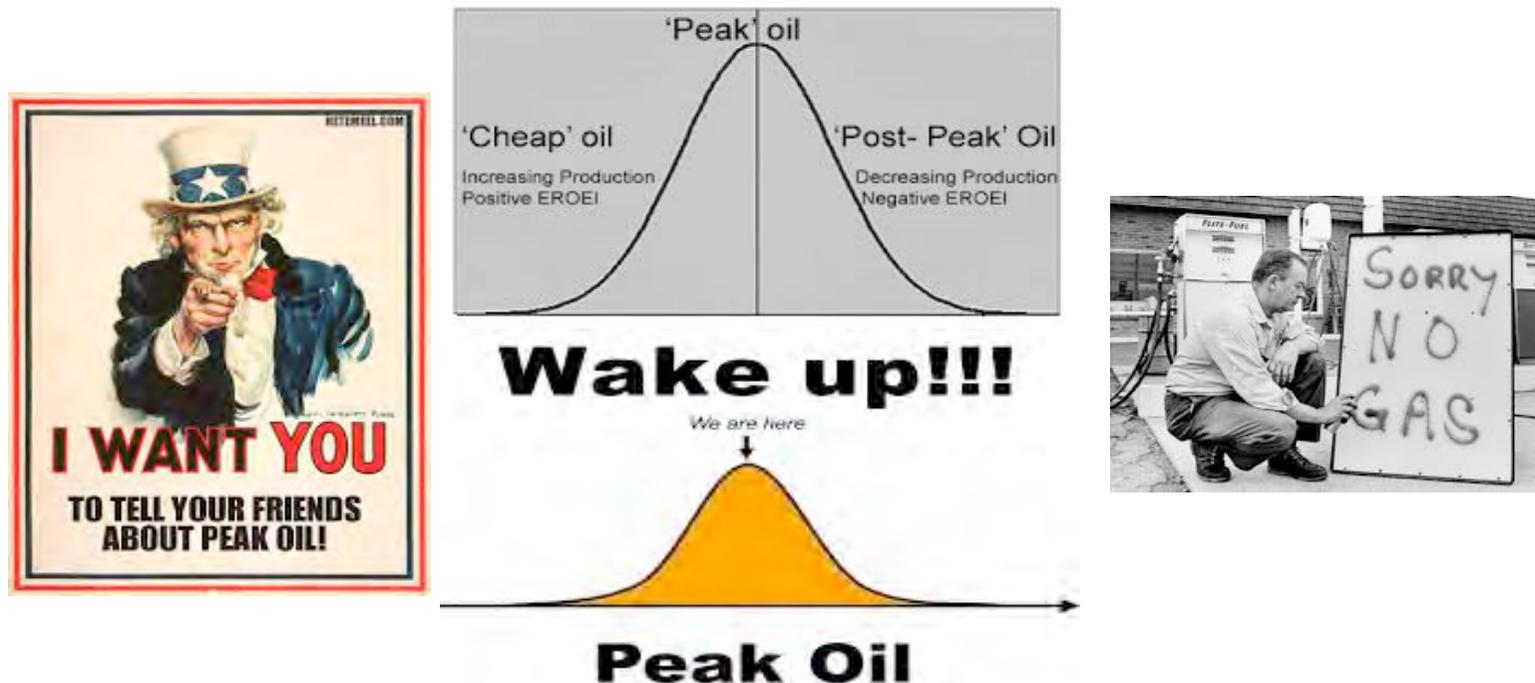




Coûts de production estimés, en \$/baril



Le Pic pétrolier sans cesse reporté?



2005 => >2007 => 2011 = <2020 [Centre de Recherche Britannique sur l'Energie]

Sans parler du Club de Rome etc et de Marion King Hubbert (pic de Hubbert 1995-2000)

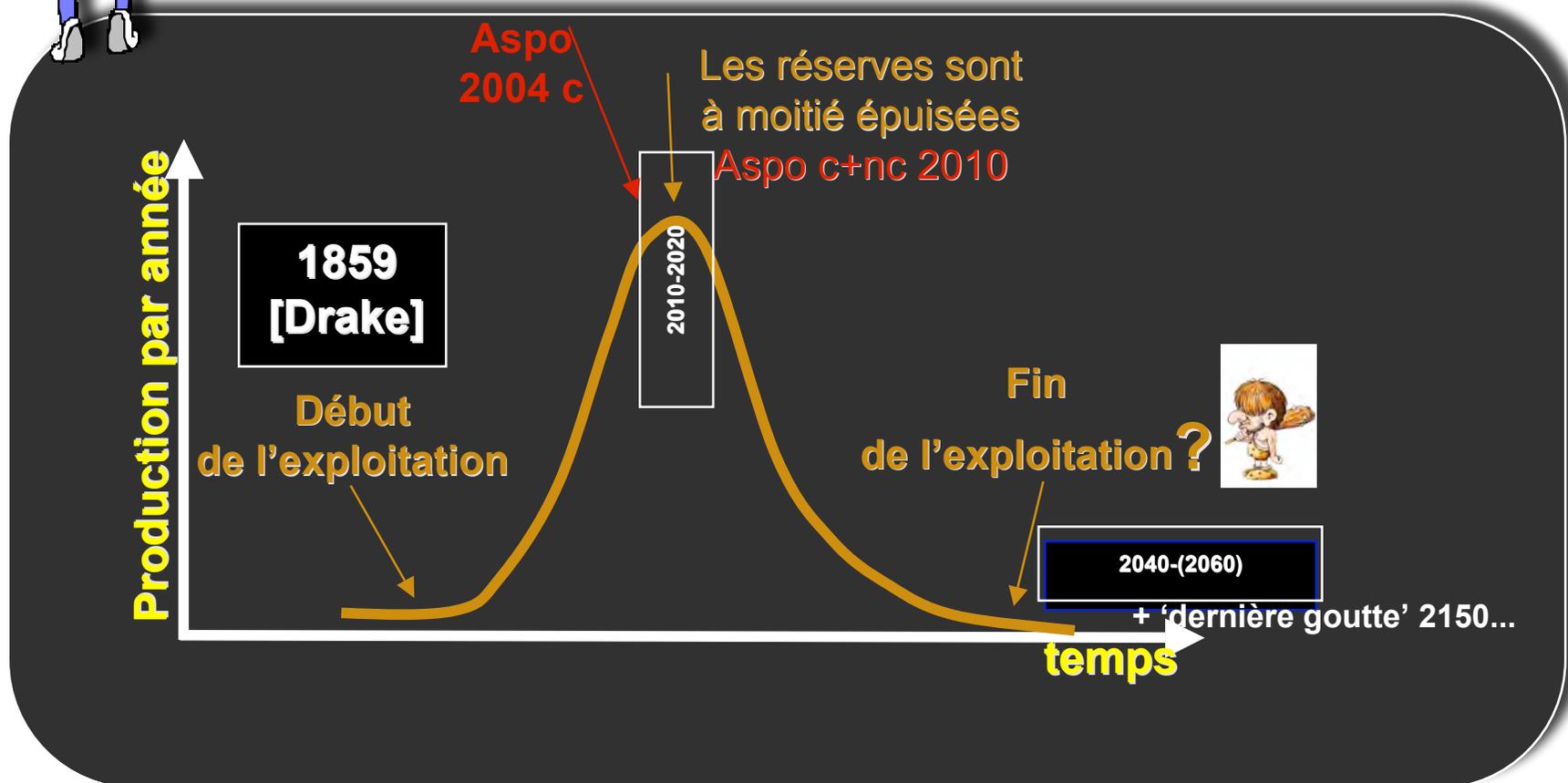
L'ASPO (2002) prévoyait une production de 68000 Mb/j en 2017! (=91670Mb/j en 2015, en sous-production)

En 2005 l'AIE envisageait qu'à l'échéance 2025, l'Amérique importerait chaque année 20 millions de barils/jour

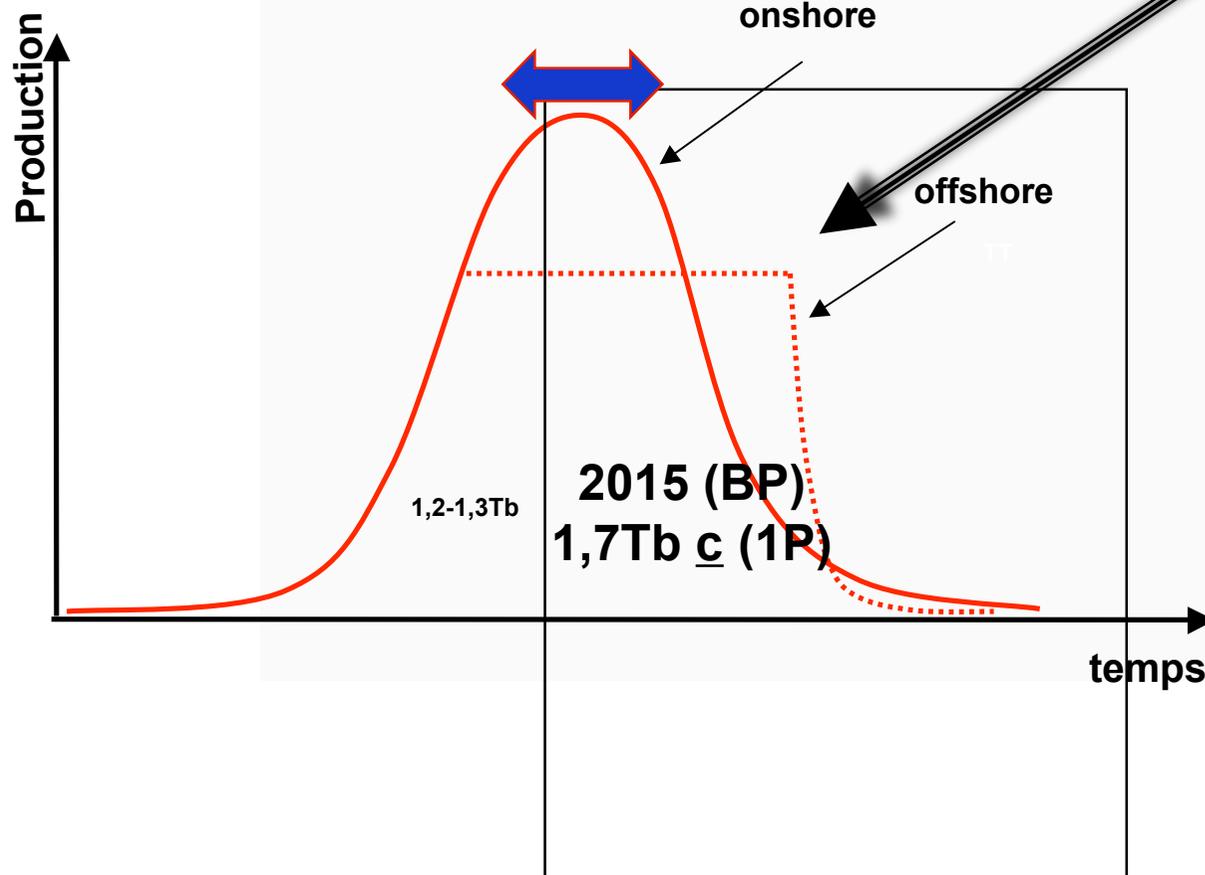
En 2012 : 10,6Mb/j, en 2013: 9,8Mbl/j, en 2014 : 7,4Mbl/j, en 2015 : 6,7Mbl/j

Le recours dans la durée au pétrole et au gaz est moins une question de pic ou de plateau de production que d'**adéquation entre l'offre et la demande**, d'une part, et d'**énergies de substitution**, d'autre part.

RESSOURCE: 6000Gb c et 7000Gb nc (≠ RESERVES)



Production d'huile: la courbe en cloche



progrès technologiques
efficacité énergétique
environnement

Forages 'Etendus' (directionnels ou hztaux)

La technologie permet des gains dans les puits plus difficiles

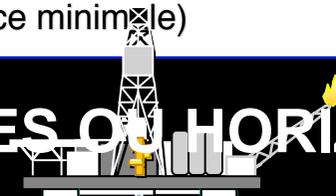
Diminution de la friction
 Analyse géologique pour déterminer le meilleur chemin (résistance minimale)

1998-Argentine

FORAGES A GRANDS 'DEPARTS': PUIITS DEVIES OU HORIZONTALS

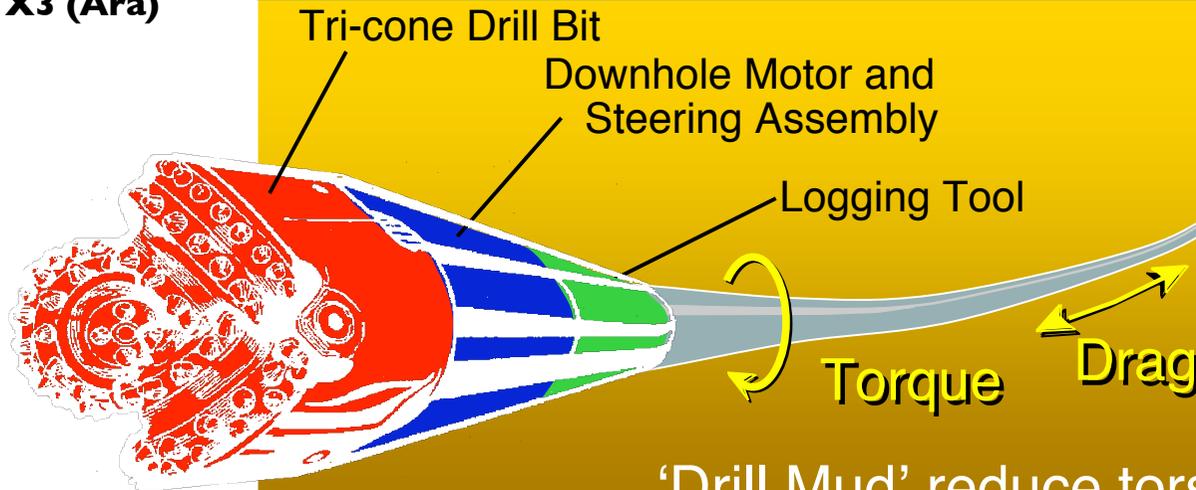
gisement d'ARA en Terre de Feu: 1 seul 'puits' de 11 184m

(foré) à 1 695m



Exxon: Investissements 600 millions \$
 nouvelles technologies forages

RENDEMENT PROD.
 = X3 (Ara)

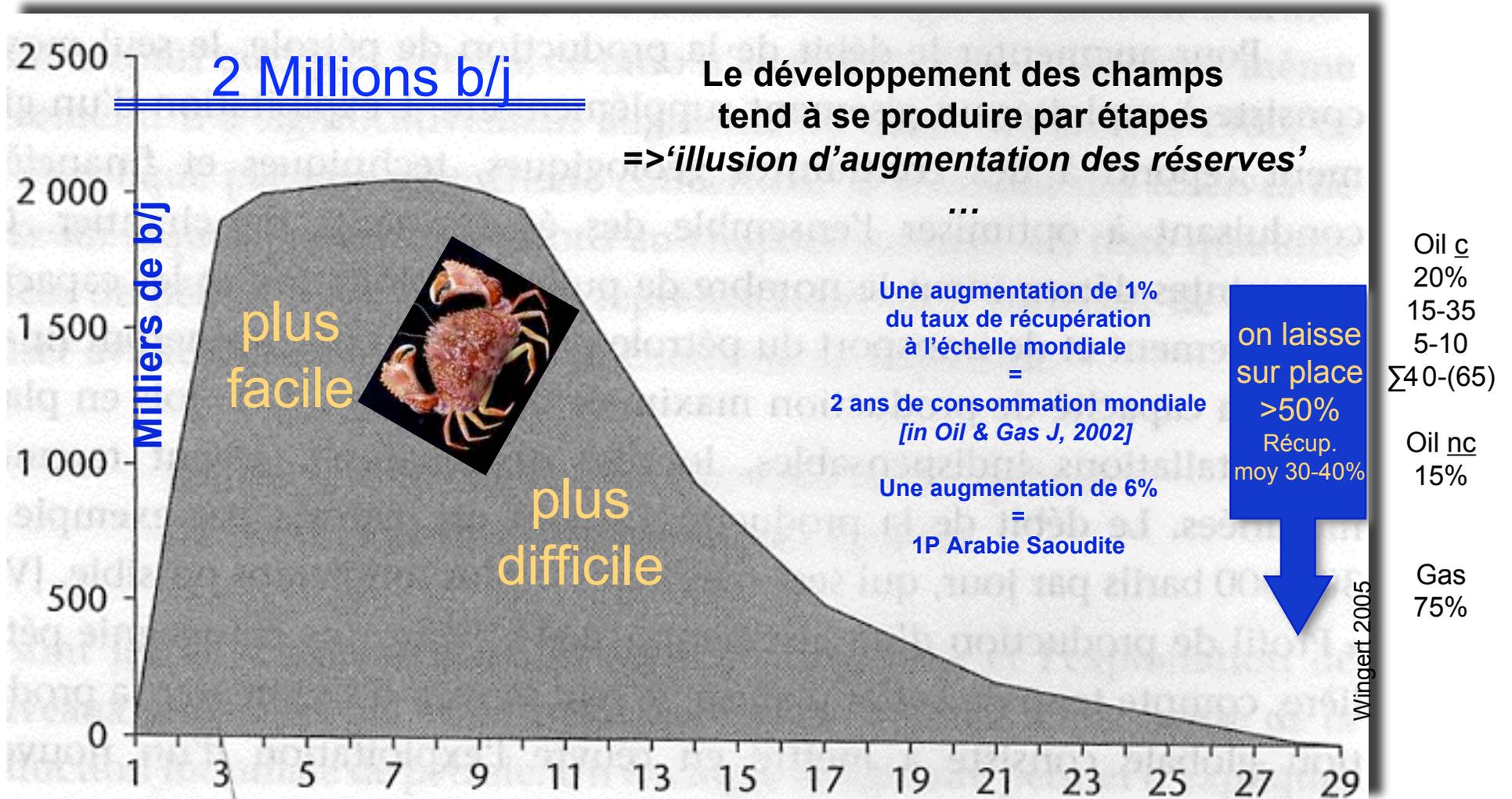


'Drill Mud' reduce torsion and traction

1891? premiers essais ...

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

PROFIL TYPE DE PRODUCTION D'UN GISEMENT



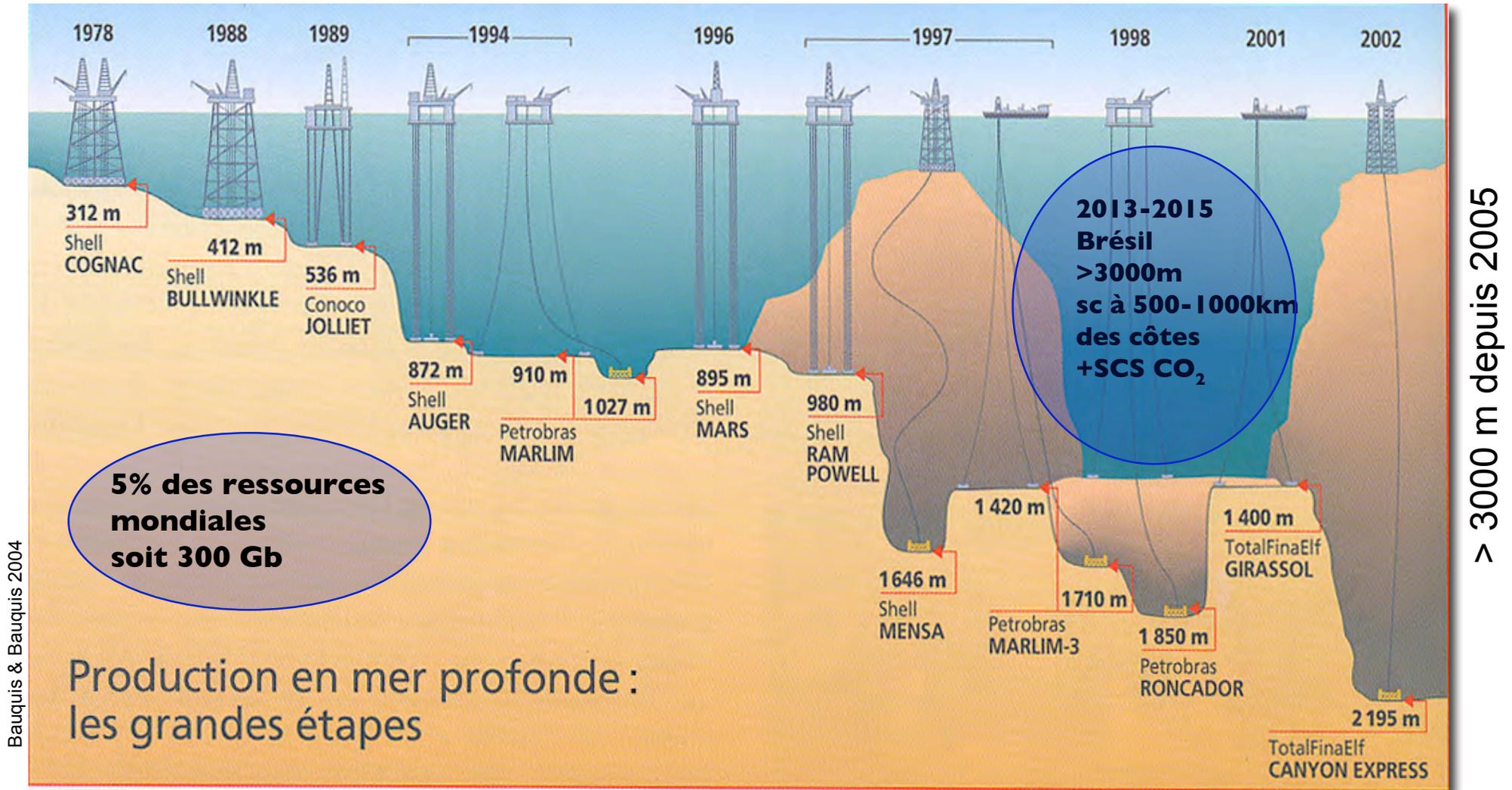
Ex. d'un champ géant de 10 Gb étalé sur 30 ans avec un maximum de 2 Mb/jour.

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%...

VERS L'ULTRA-PROFOND = > 3000 m



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



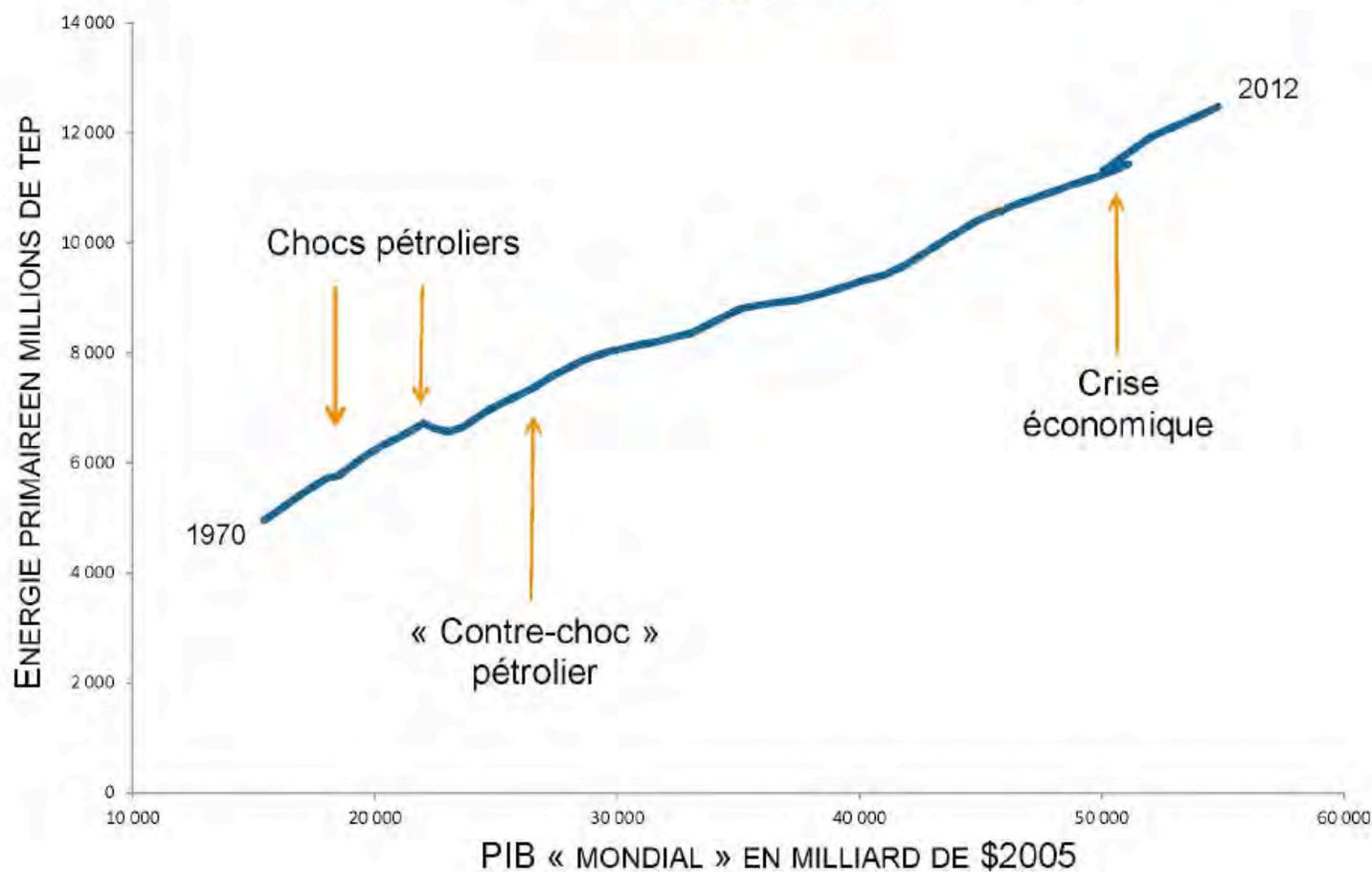
LES ENERGIES D'ENFANT PRIMAIRES MURGIE URCES AIR

- **ENERGIES FOSSILES** = énergies **concentrées** mais non renouvelables [*E solaire stockée au cours des temps géologiques*]
 - ◇ Charbon ◇◇ **Pétrole** ◇◇◇ **Gaz naturel**
- **ENERGIES NUCLEAIRES** = énergies **très concentrées**
un gramme U^{235} = autant d'E qu'une tonne de pétrole!, $1\text{cm}^3 = 19\text{g } U^{235} = 47,5 \text{ T charbon!}$
 - ◇ Fission [*Centrales nucléaires actuelles*] ◇◇ Fusion [...]
- **ENERGIES RENOUVELABLES** = énergies **diluées** ou diffuses mais renouvelables
 - ◇ Hydraulique ◇◇ Solaire ◇◇◇ Eolienne
 - ◇◇◇◇ Biomasse ◇◇◇◇◇ Géothermie

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

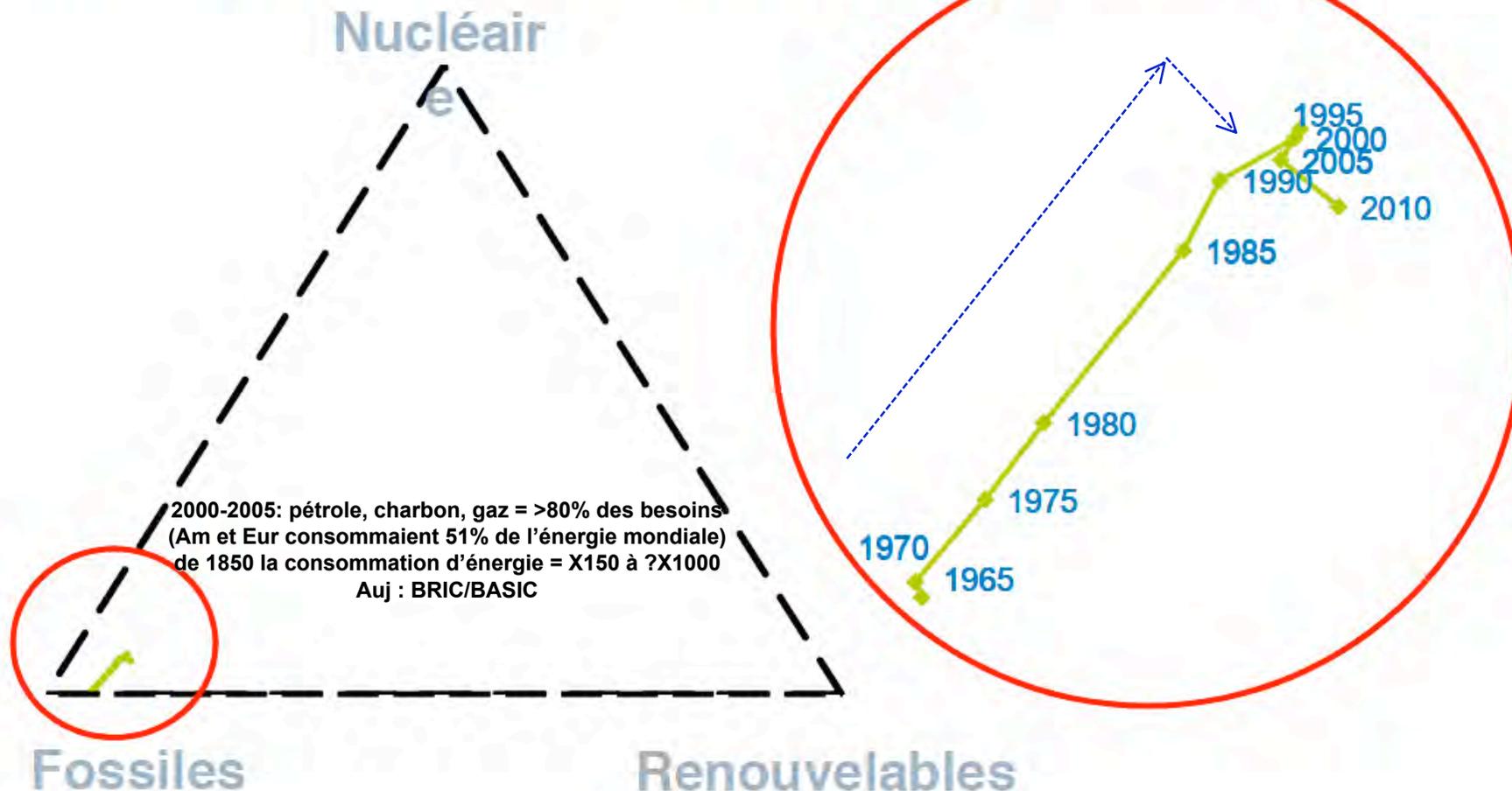
Le temps de l'énergie est un temps long

Lien Énergie - PIB



Le temps de l'énergie est un temps long

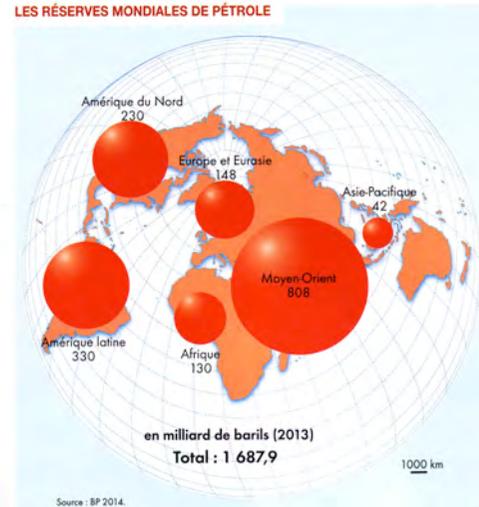
Bouquet énergétique mondial de 1965 à 2010



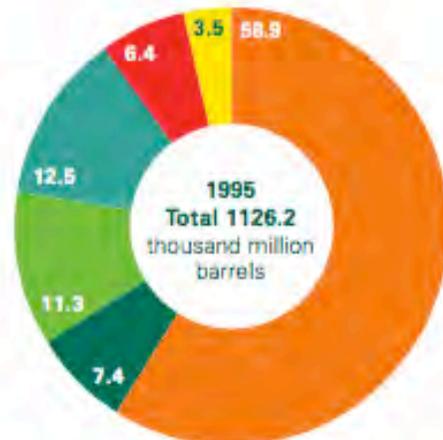
1P OIL

Distribution of proved reserves in 1995, 2005 and 2015
Percentage

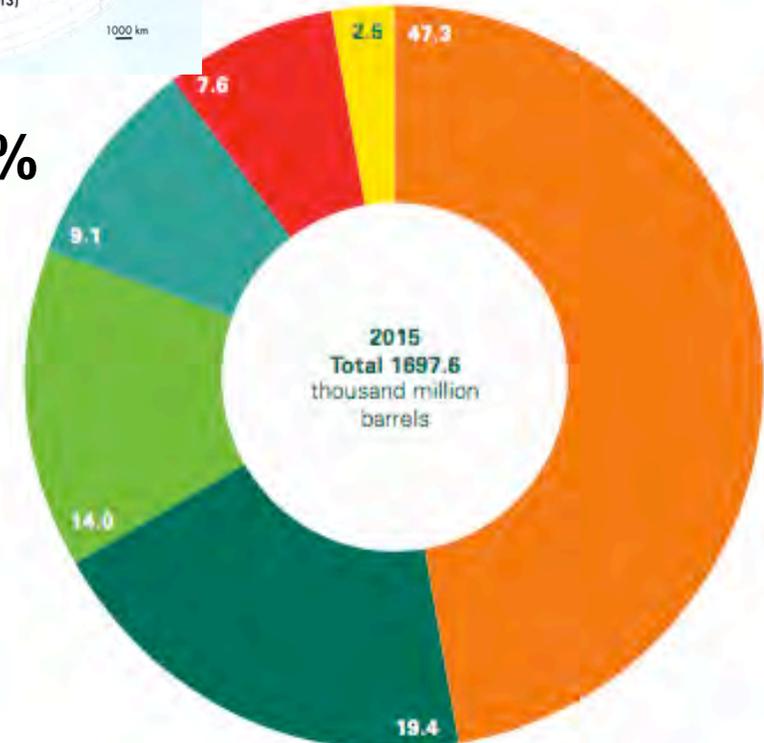
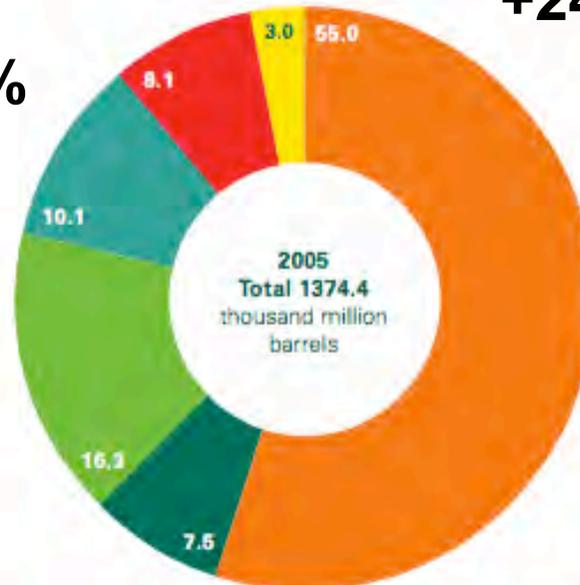
- Middle East
- S. & Cent. America
- North America
- Europe & Eurasia
- Africa
- Asia Pacific



+22%



+24%



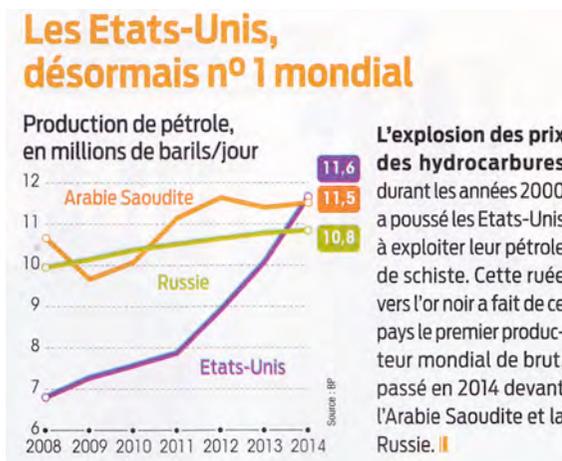
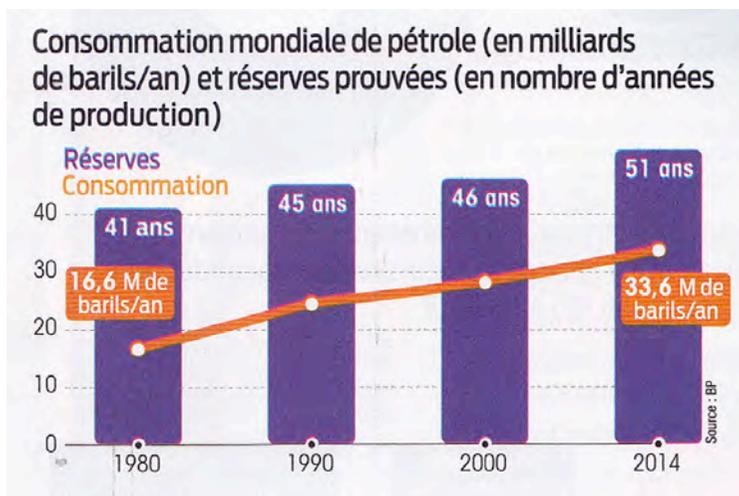
BP2016

PETROLE c

Réserves Prouvées
2015 (BP)
[±5%?]

Rés Prouvées	Oil Gbl	%	Gas %
Arabie Saoudite	266,6	15,7	4,5
Canada	172,2	10,1	1,1
Iran	157,8	9,3	18,2
Irak	143,1	8,4	2,0
Koweït	101,5	6,0	1,0
Emirats Ar Unis	97,8	5,8	3,3
Venezuela	300,9*	17,7	3,0
Russie	102,4	6,0	17,3
Libye	48,4	2,8	0,8

Nigeria	37,1	2,2	2,7
USA	55,0	3,2	5,6
Chine	18,5	1,1	2,1
Mexique	10,8	0,6	0,2
Norvège	8,0	0,5	1,0
Algérie	12,2	0,7	2,4
Qatar	25,7	1,5	13,1
Australie	4,0	0,2	1,9
Indonésie	3,6	0,2	1,5



-0.02%

Oil Production (10⁶b/d), BP 2016

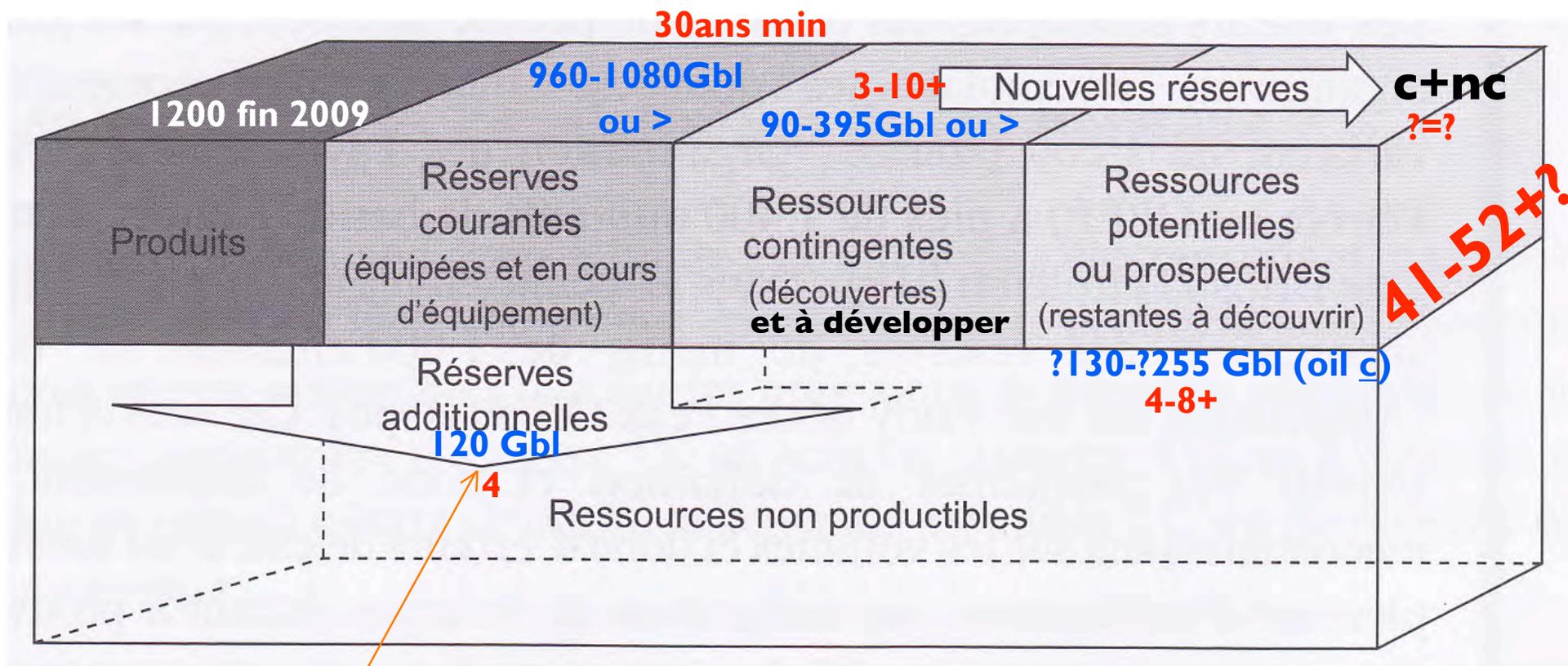
	2005	2006	2007	2008	* 2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015		
Total World	81896	82487	82277	82818	81182	83283	84097	86218	86591	88834	91670	3.2%	100.0%
of which: OECD	19894	19458	19141	18434	18443	18535	18571	19474	20623	22541	23534	4.4%	24.9%
Non-OECD	62003	63029	63136	64384	62739	64748	65525	66744	65968	66293	68136	2.7%	75.1%
OPEC	35104	35570	35241	36289	33998	35149	36061	37536	36621	36652	38226	4.2%	41.4%
Non-OPEC	46792	46918	47036	46549	47184	48134	48035	48682	49970	52182	53445	2.4%	58.6%
European Union	2711	2471	2425	2264	2127	1987	1724	1528	1436	1414	1507	6.6%	1.6%
CIS	11793	12278	12758	12780	13213	13494	13543	13592	13799	13807	13914	0.7%	15.6%

Oil Consumption (10⁶b/d), BP 2016

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015		
Total World	84726	85728	87087	86578	85700	88765	89790	90663	92049	93109	95008	1.9%	100.0%
of which: OECD	50062	49886	49685	48067	46073	46608	46068	45509	45546	45128	45643	1.1%	47.5%
Non-OECD	34664	35842	37402	38511	39627	42157	43722	45154	46503	47982	49365	2.6%	52.5%
European Union	15154	15153	14860	14735	14020	13944	13506	12948	12707	12508	12712	1.5%	13.9%
CIS	3641	3811	3839	3893	3761	3822	4135	4233	4199	4283	4091	-5.1%	4.4%

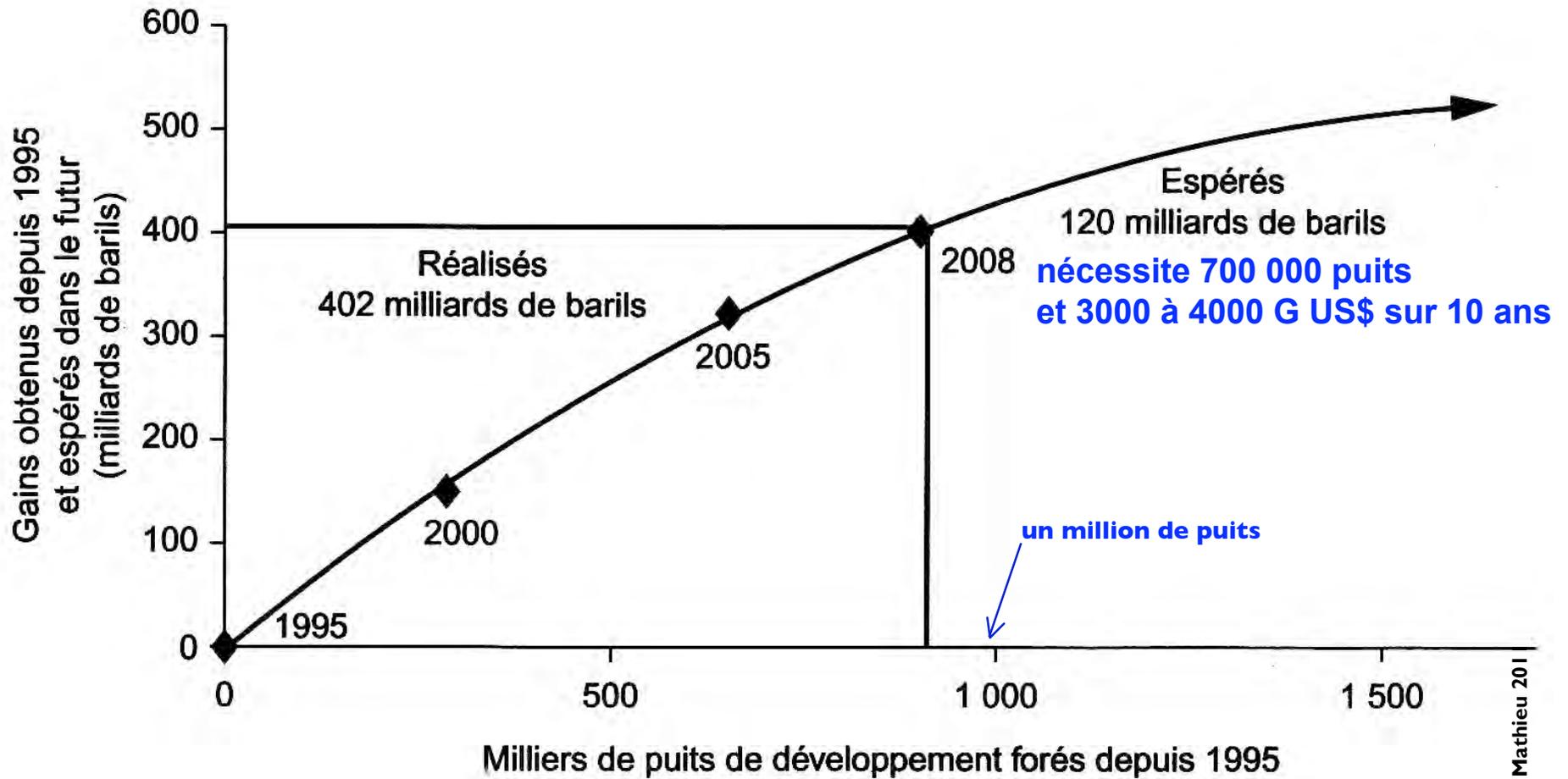
Note :Differences between these world consumption figures and world production statistics are accounted for by stock changes, consumption of non-petroleum additives and substitute fuels, and unavoidable disparities in the definition, measurement of oil supply and demand data. These differences account for less than 0.5%

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



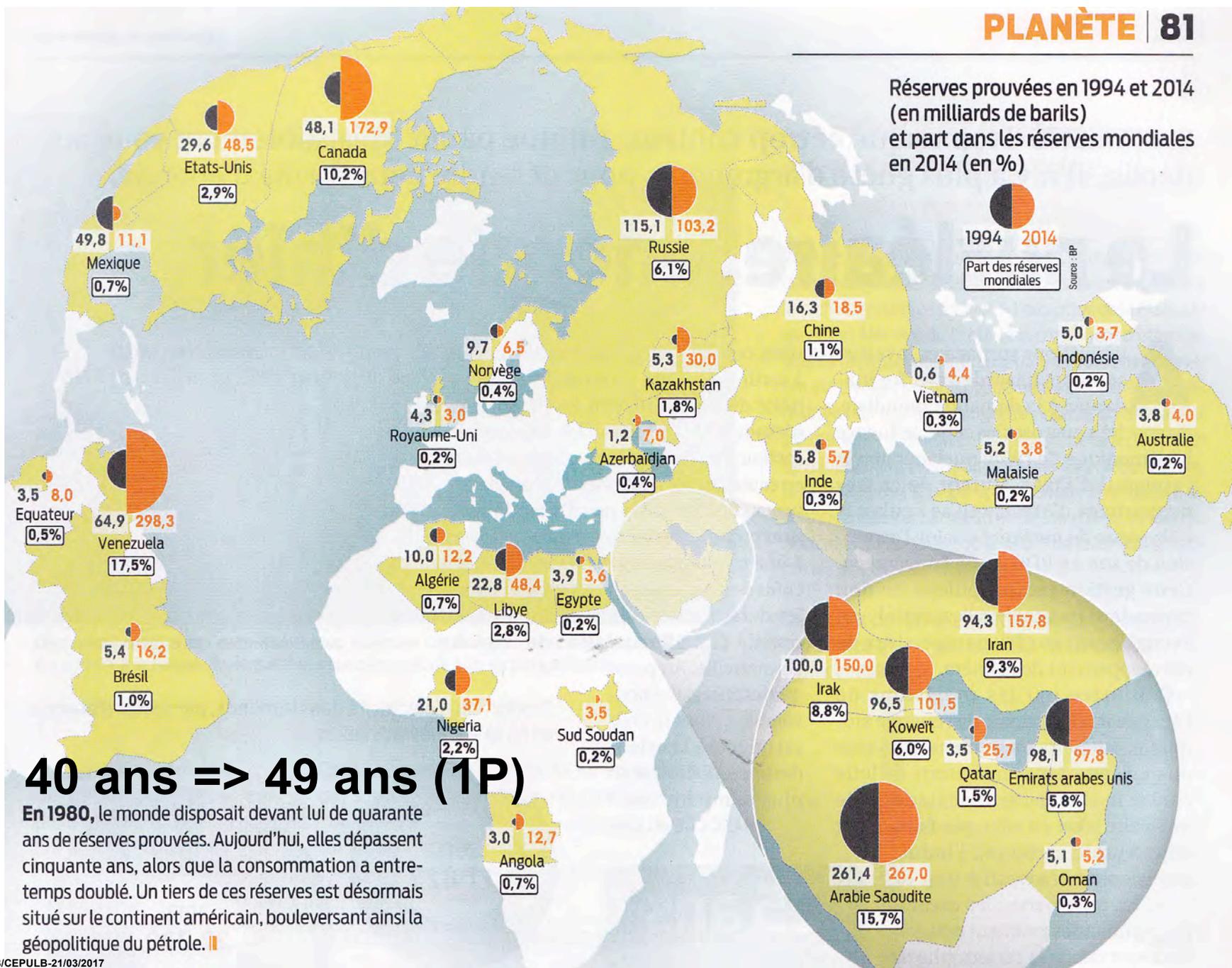
nécessite environ 700 000 puits complémentaires (investissements...)

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



Mathieu 201

Réserves prouvées en 1994 et 2014
(en milliards de barils)
et part dans les réserves mondiales
en 2014 (en %)

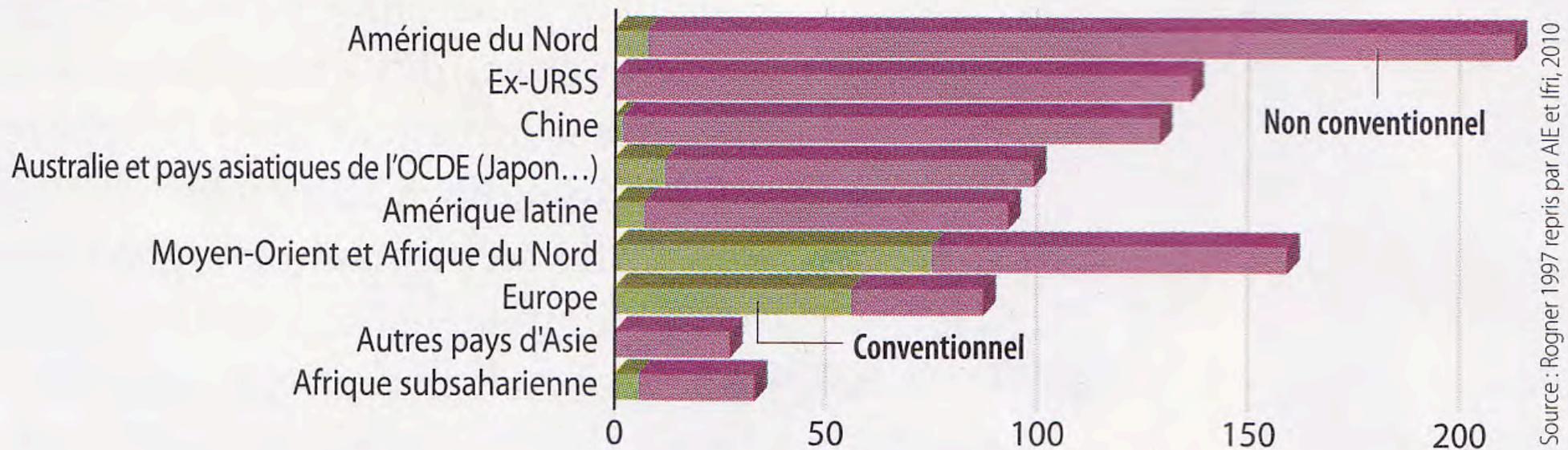


40 ans => 49 ans (1P)

En 1980, le monde disposait devant lui de quarante ans de réserves prouvées. Aujourd'hui, elles dépassent cinquante ans, alors que la consommation a entre-temps doublé. Un tiers de ces réserves est désormais situé sur le continent américain, bouleversant ainsi la géopolitique du pétrole. ||

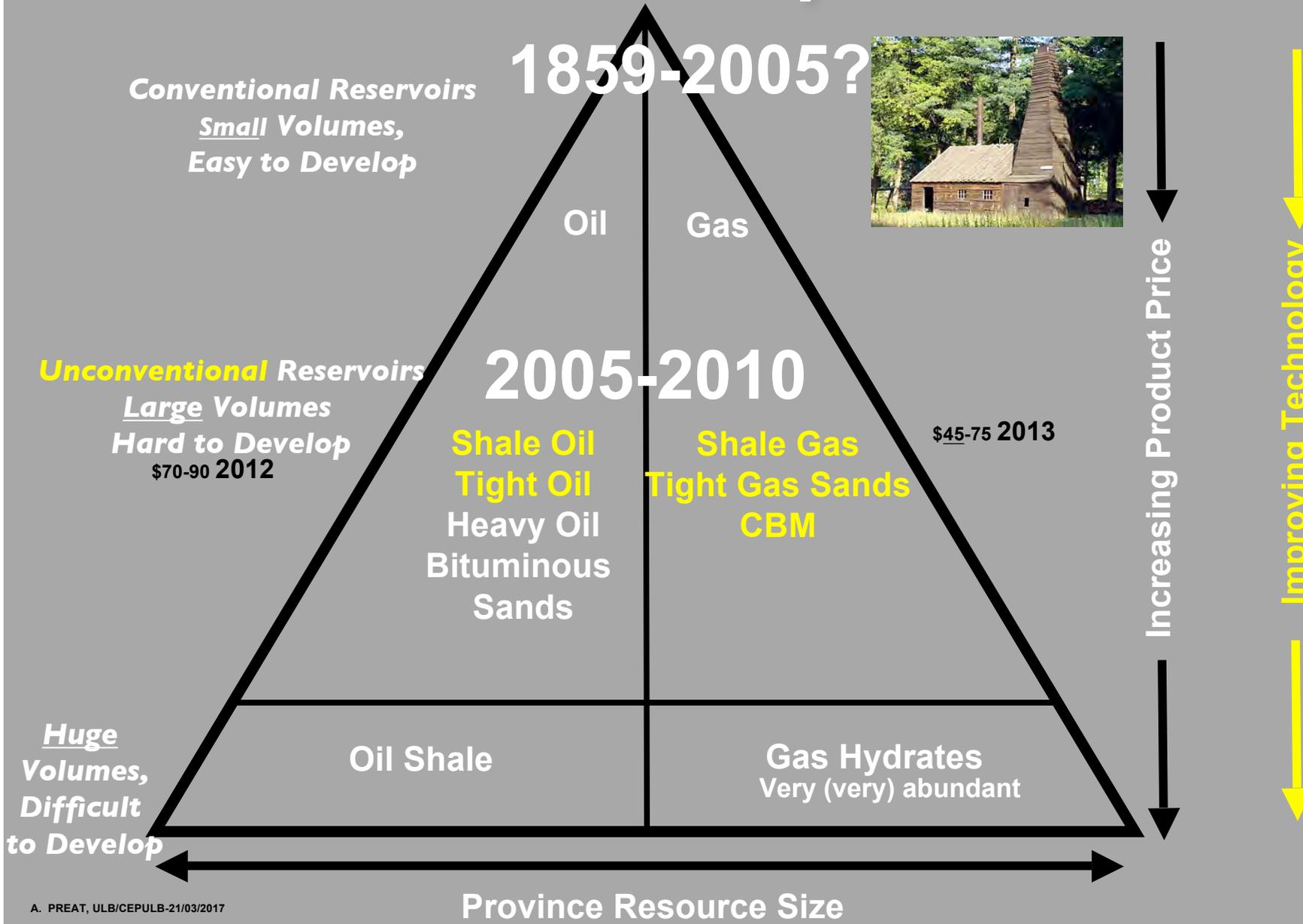
Les gisements de gaz non conventionnels quintuplent les réserves de gaz

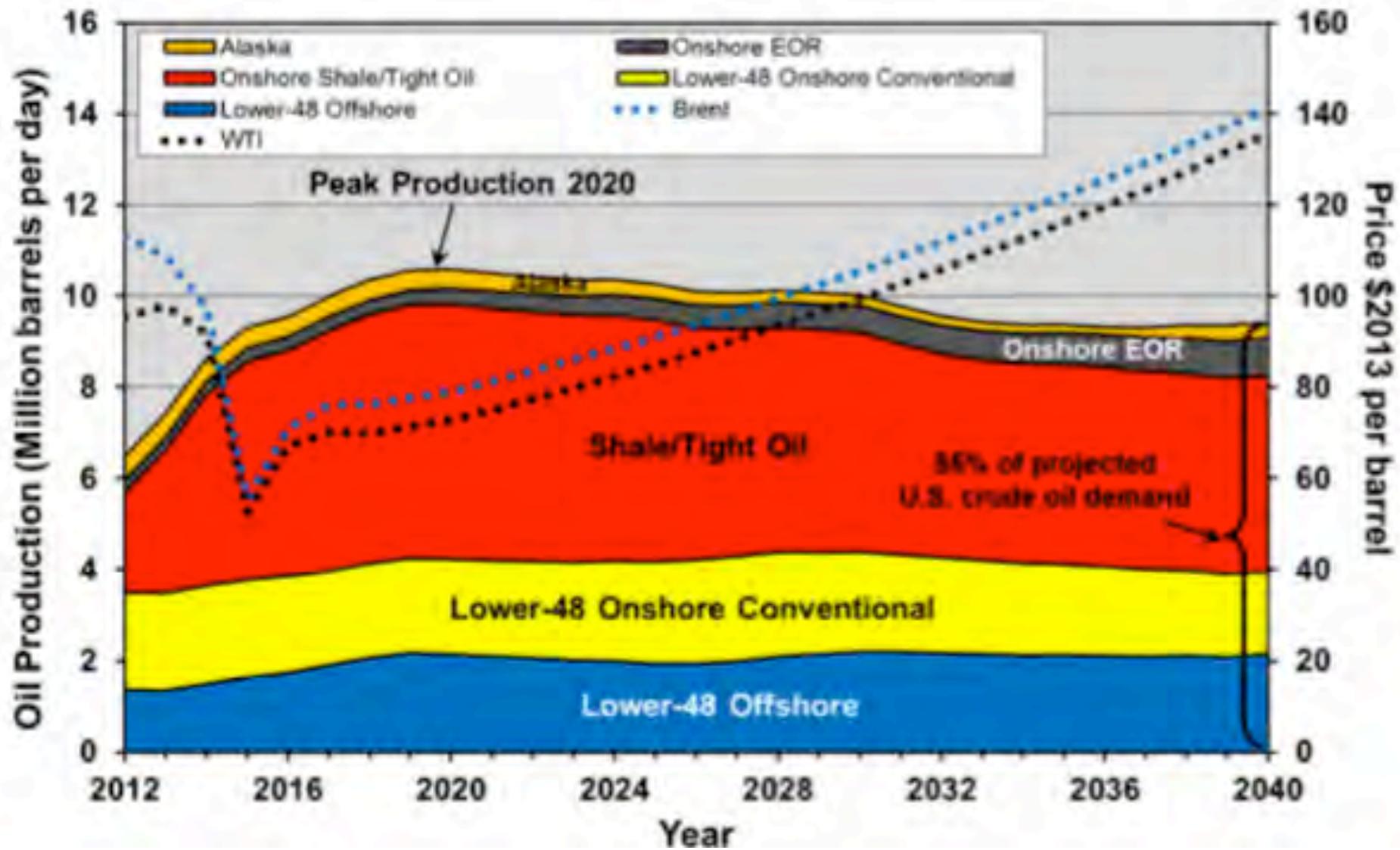
Réserves de gaz conventionnel et non conventionnel (en milliards de tep)



Source : Rogner 1997 repris par AIE et Ifri, 2010

The Resource Pyramid







Pétrole conventionnel



On a déjà consommé 1200 Gb (août 2013)

31 décembre 2015 : 1698 Gb

Il resterait 51 ans de réserves 1P
 [=1698 Gbl/33,4Gb]
 BP 2015



-
 +
 +
 +
 +
 +
 +
 si consommation > de 33,4Gb/an
 si découverte nouvelle
 si taux de récupération meilleur
 si on ne tient pas compte
 du charbon
 des schistes bitumineux
 des sables asphaltiques
 si ... technologie (4D, ultraprofond...)

2015: 690 Gb 2P3P = encore 20 ans...

LE PETROLE

- L' Agence Internationale de l'Énergie (AIE) estime à **2,7 trillions de barils** [2,39 Tbl, BP2014] les réserves mondiales de ressources conventionnelles récupérables de pétrole. Actuellement, les ressources récupérables de pétrole non-conventionnel sont évaluées à **3,3 trillions de barils** (y compris les sables bitumineux), ces derniers en représentant 57%.
- Les réserves mondiales prouvées de pétrole seraient aujourd'hui, **de 1,7 trillions de barils** (BP 2015).

± 80 ans

± 95 ans

± 50 ans





GAZ conventionnel



31 décembre 2015 : 186,9Tm³

**Il resterait 52,8 ans de réserves 1P
[=186,9Tm³/3,54Tm³]**

BP 2015



*si consommation > de 3,5Tm³/an
si découverte nouvelle
si taux de récupération meilleur
si on ne tient pas compte
du charbon
des schistes bitumineux
des sables asphaltiques
si ... technologie (4D, ultraprofond...)*

2014: 150,4Tm³ 2P3P = encore 43ans...



“Comme nous manquons actuellement de gaz et pétrole, nous devons nous préparer rapidement à un troisième changement, à des économies strictes ainsi qu’à une utilisation du charbon et des sources d’énergies renouvelables permanentes telles que l’énergie solaire”

Jimmy Carter, Allocution télévisée du 18 avril 1977

***Conclusion : le temps de l’énergie est bien un temps long
... E solaire 2014: environ 0,7% et 0,4% en 2015***

OIL PEAK

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

+10?ans GAS PEAK

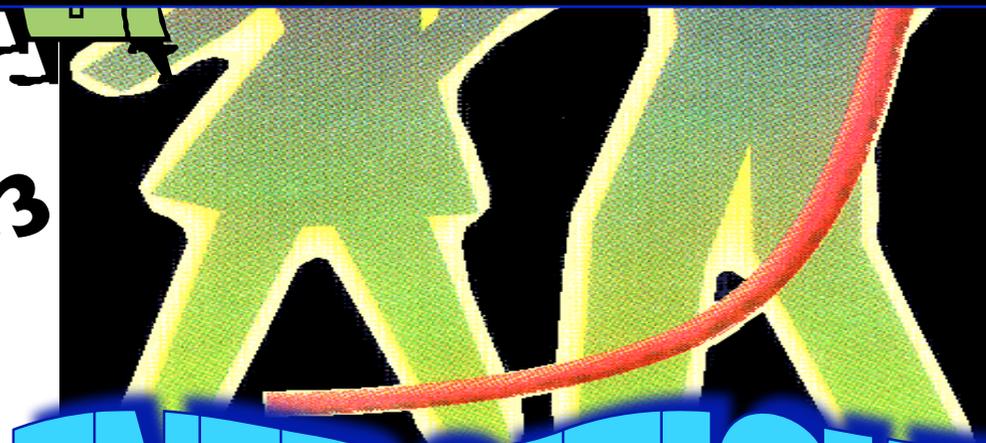
+40?ans COAL PEAK

CASSE-TÊTE

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

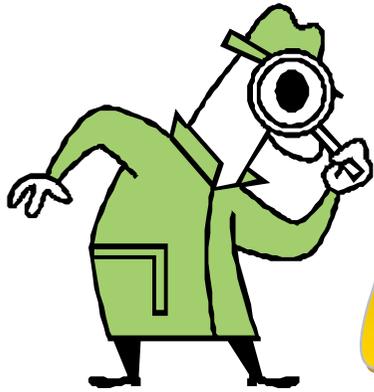


règle 1-2-3



ENERGETIQUE





CONCLUSION

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



Le nombre de voyageurs transportés par avion a atteint 3,3 milliards en 2014

7 février 2015 | Agence France-Presse | Actualités économiques



Sur le même sujet

TRANSPORT AÉRIEN

Le nombre des passagers va doubler d'ici 2034, à 7 milliards

27 novembre 2015 | Agence France-
Presse

Il y a en permanence 500 000 personnes en vol!



**ON
CONSOMME
TOUJOURS
PLUS...**



**ON
EST DE
+ EN +
NOMBREUX...**





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

SUPPLEMENT

Burma's historic vote

ARAB SPRING
Islamists move to the center

Britain has a banker problem

10 Questions for Angelina Jolie

TIME

April 2012

THE TRUTH ABOUT OIL

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

By Bryan Walsh

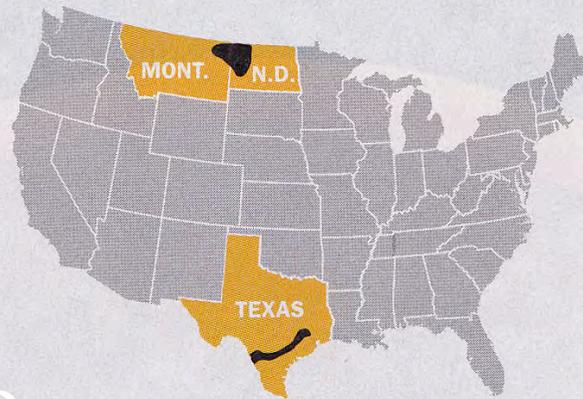


THE FUTURE OF OIL
EXTREME OIL—FROM THE DEEP ATLANTIC TO THE ARCTIC, FROM FRACKING IN THE U.S. TO SANDS IN CANADA—IS REPLACING DWINDLING SUPPLIES. BUT IT COMES AT A HEAVY ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL COST

BY BRYAN WALSH



= 2.4 million bbl/d by 2020?



= Kuwait equivalent



TIGHT OIL

BACKGROUND

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

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

into the ground.

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

RESERVES Up to 300 billion barrels globally

COST OF PRODUCTION \$50 per barrel

ARCTIC OFFSHORE

BACKGROUND

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

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

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

RESERVES Estimated 90 billion barrels

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



= Kuwait equivalent



April 9, 2012

PRESALT DEEPWATER

BACKGROUND

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

ENVIRONMENTAL IMPACT

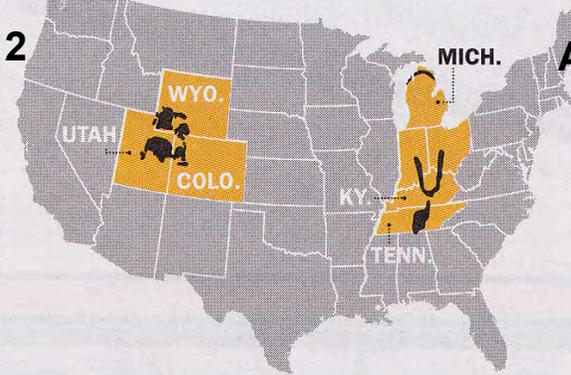
The presalt reservoirs represent some of the most technologically challenging

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

RESERVES
50 billion to 100 billion barrels

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

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



April 9, 2012

OIL SHALE

BACKGROUND

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

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

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

RESERVES
800 billion barrels, though estimates remain uncertain

COST OF PRODUCTION
Over \$100 a barrel

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



OIL SANDS

BACKGROUND

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

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

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

RESERVES
169 billion recoverable barrels

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