

Académie royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique
Séance du mercredi 18 novembre 2015

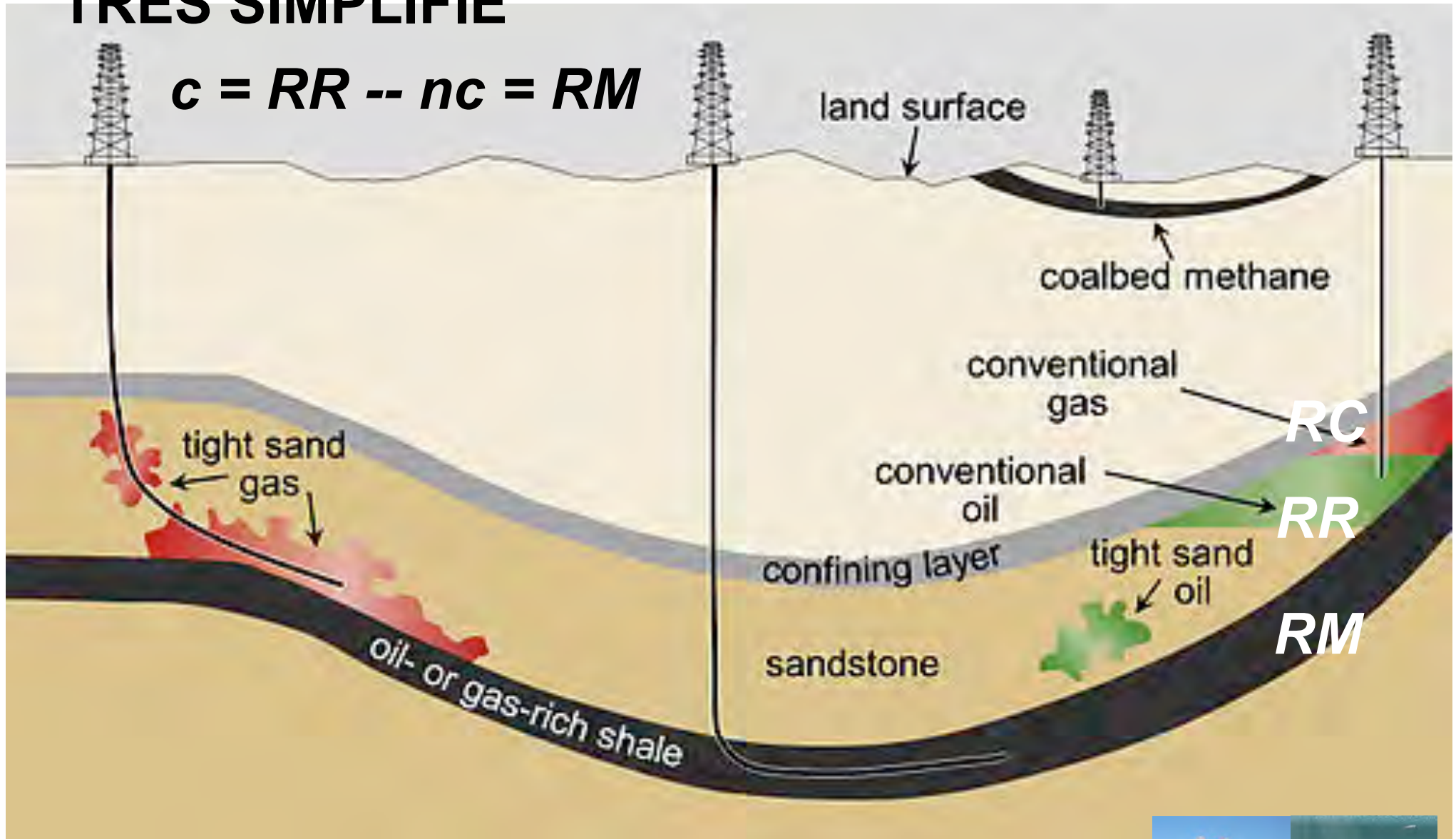
Pic pétrolier, pic gazier, sans cesse reportés

Dr. Prof. Alain Prémat
Département des Sciences de la Terre et de l'Environnement
Université Libre de Bruxelles

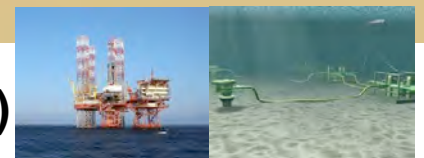
Jean-Pierre Schaeken Willemaers
Institut Thomas Moore,
Président du pôle Energie-Climat-Environnement

TRES SIMPLIFIE

$$c = RR \text{ -- } nc = RM$$



+ subconventionnel (infrasalifère)



$$c = RR \text{ et } nc = RM$$

- 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.



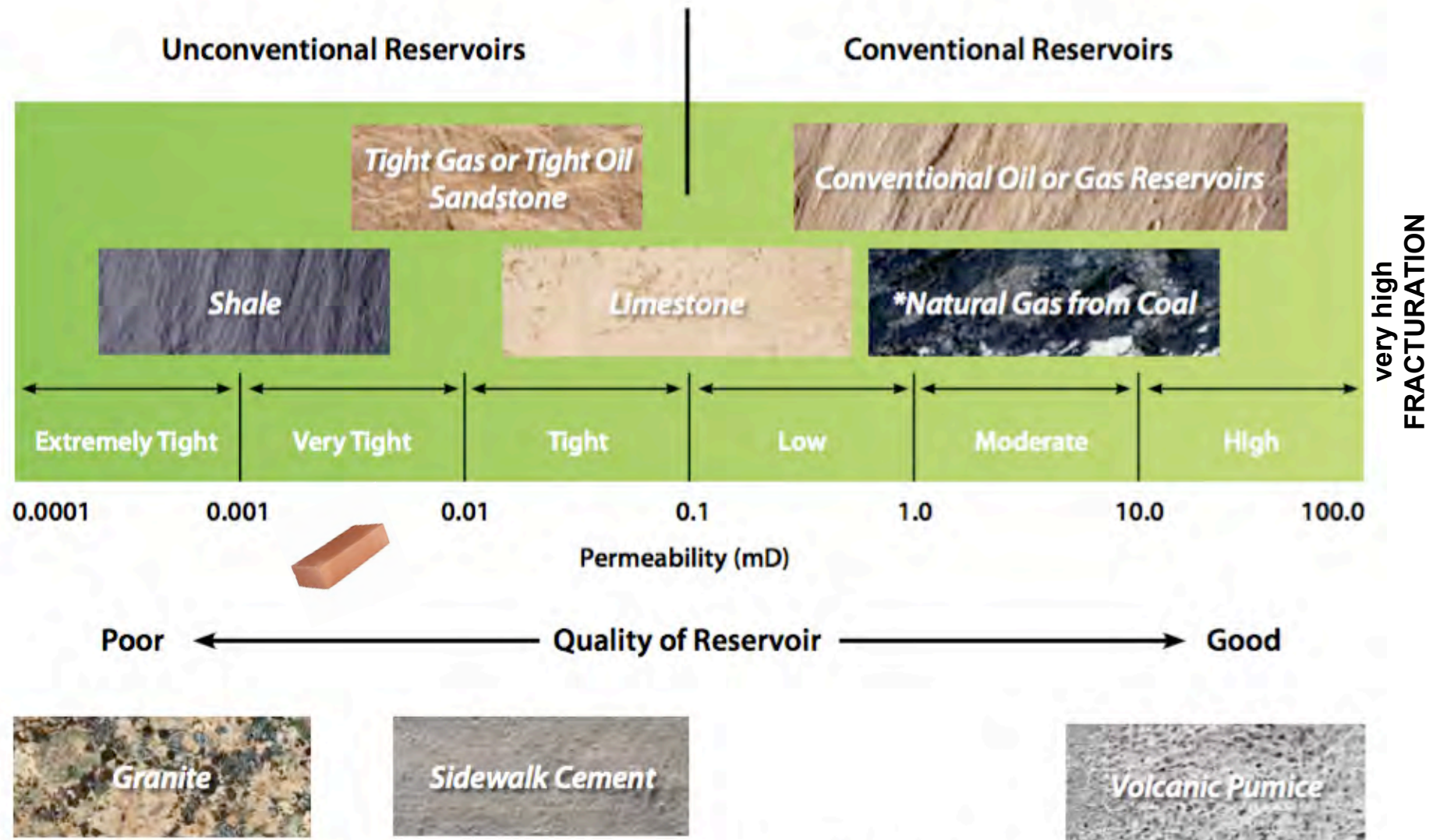
In terms of liquids, this means **heavy and extra-heavy oils, tar sands, shale oils and tar shales**;



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.



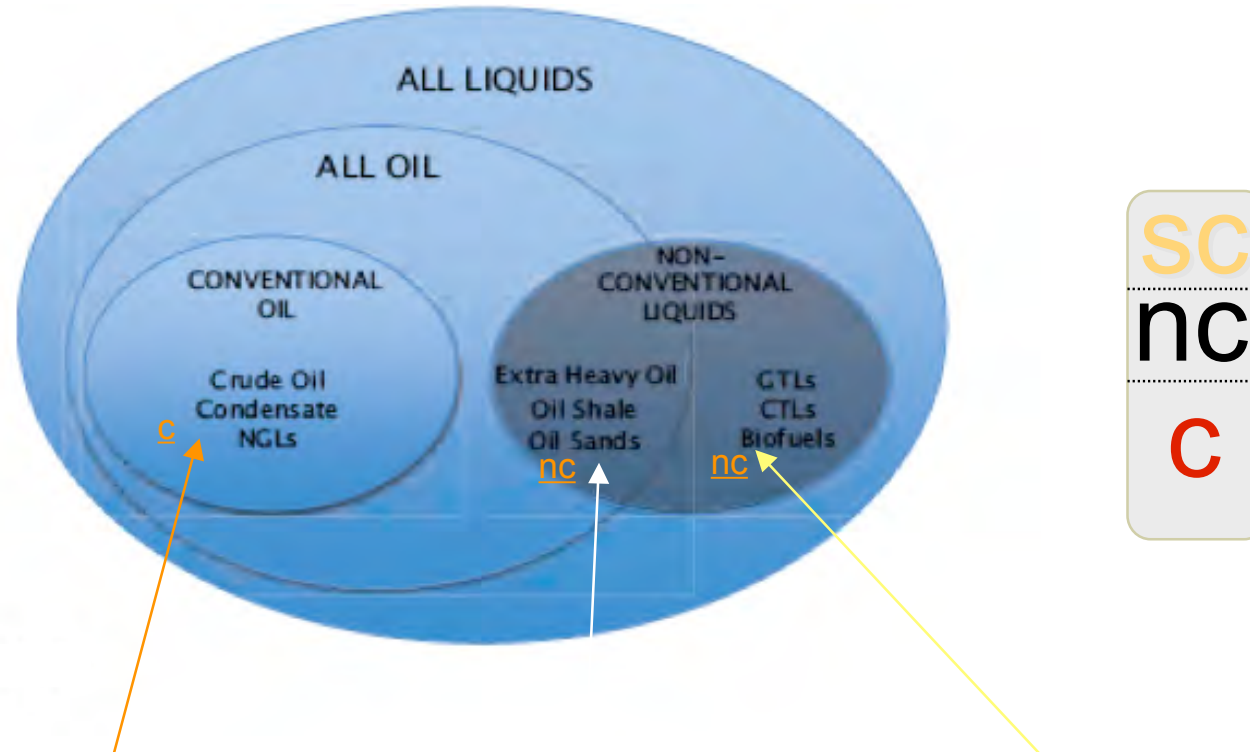
- Over the last twenty years, the growth in non-conventional oils has accounted for a large proportion of the renewal and increase seen in global reserves
- http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/Complete_WER_2013_Survey.pdf



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

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'

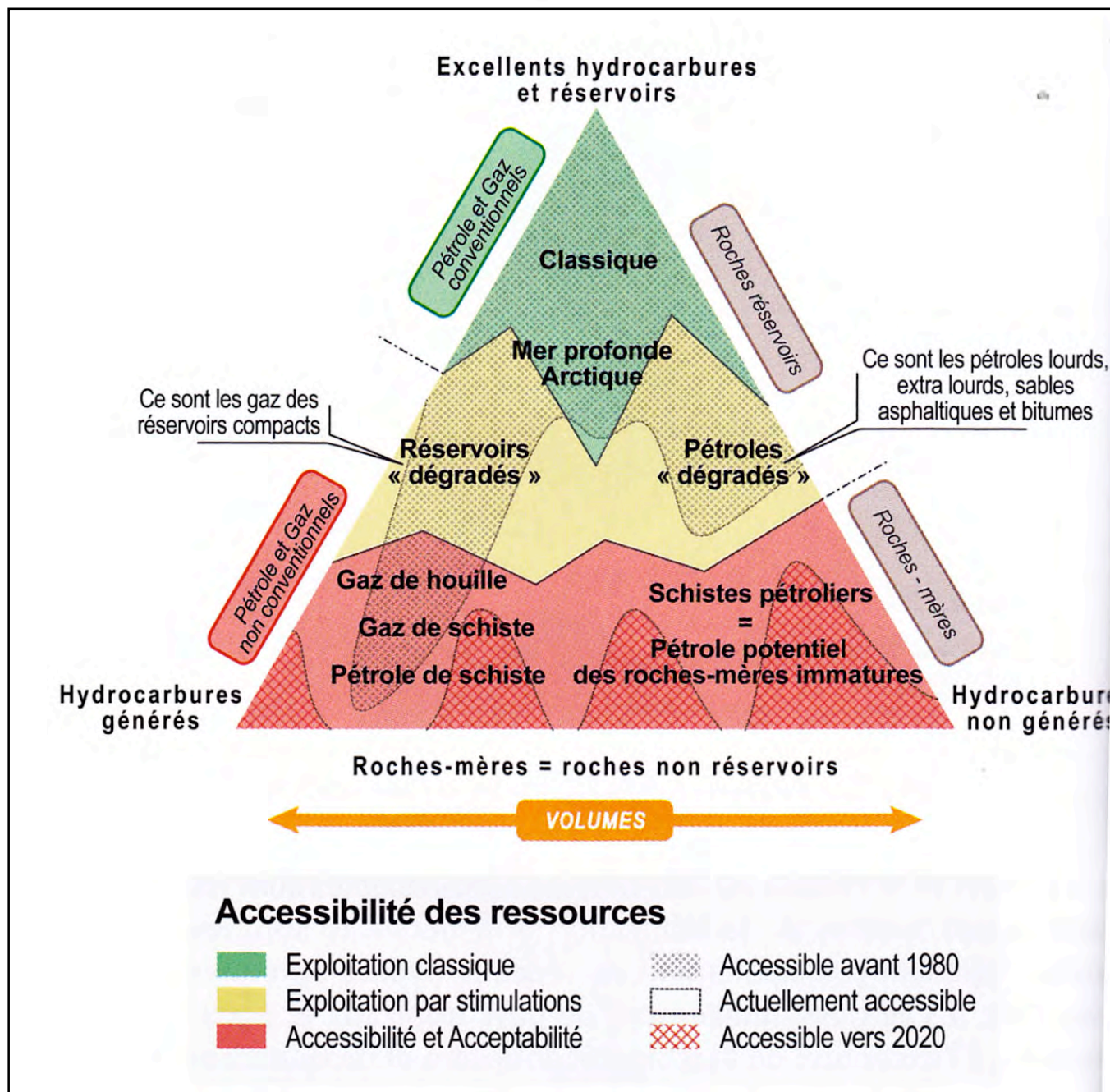
Oil Shales : schistes bitumineux (kérogène), doivent être pyrolysés ($>400^\circ\text{C}$), carrière, mines

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)

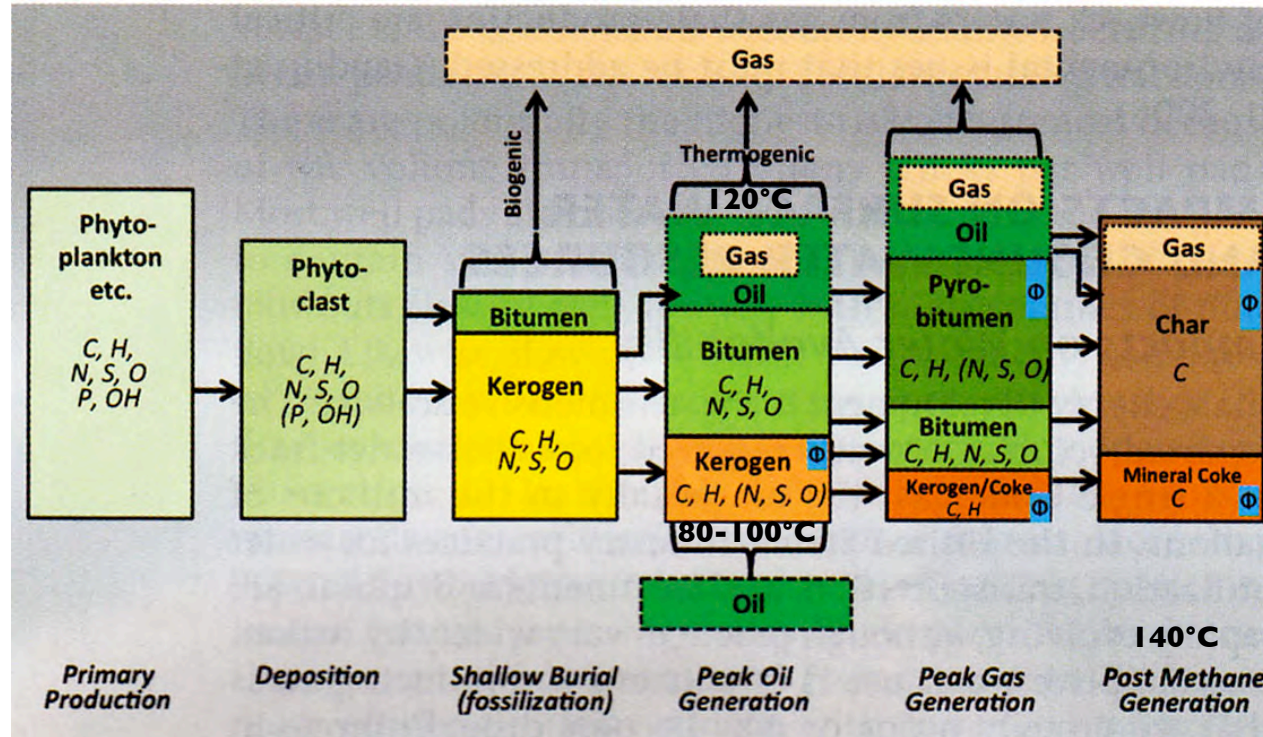
Biofuels : carburants synthétiques obtenus par la biomasse (bio-éthanol, bio-diesel)

Fin 2009- 2010 : SHALE GAS/OIL et LTO 'fracker' => 2014 : le prix du baril est divisé par deux ==> +hydrate de méthane



MATIERE ORGANIQUE – ROCHE MERE

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

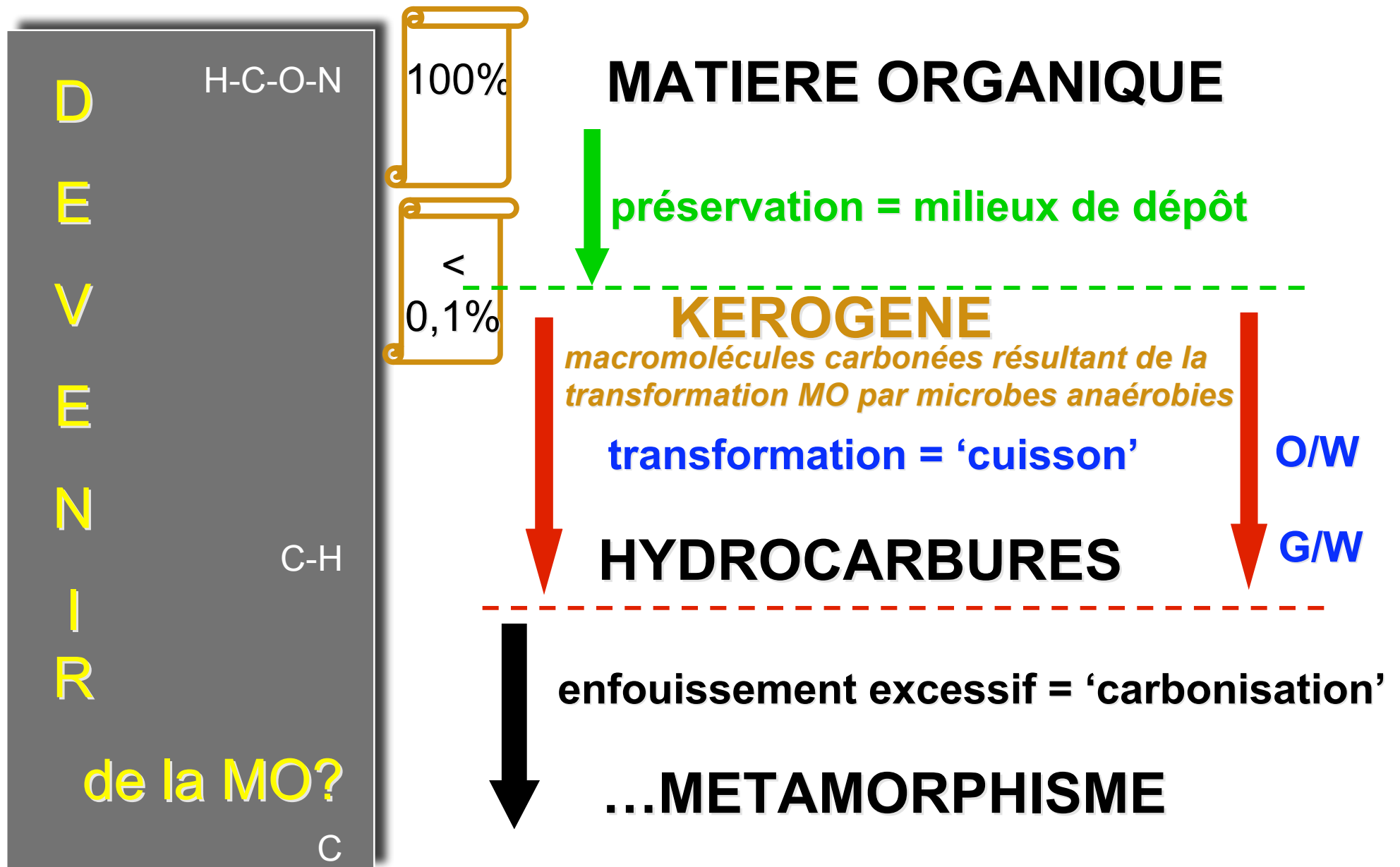


Bohacs et al. 2013

Arhtur & Cole 2014

PHI = porosité (encaissant)

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

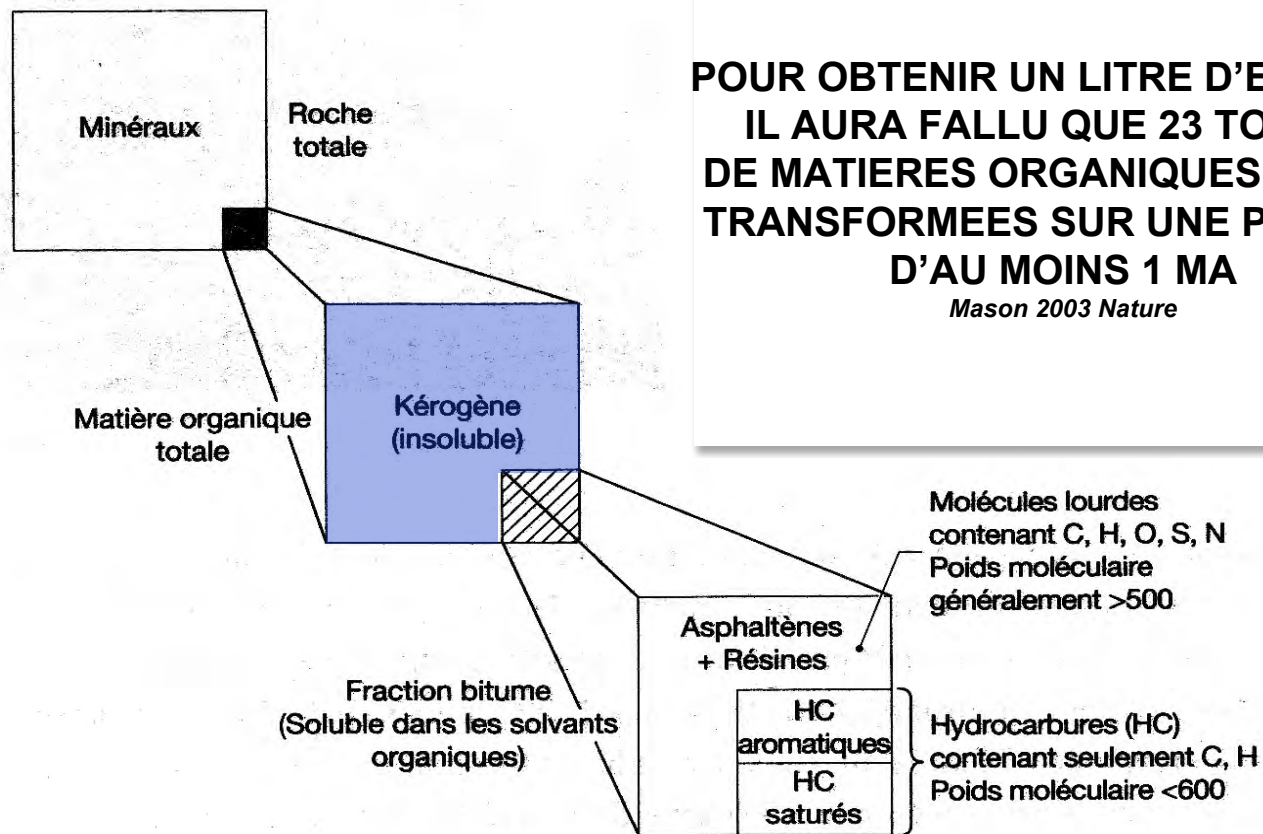


Kérogène : fraction organique insoluble dans les solvants organiques

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...

⇒ $1,4 \cdot 10^{12}\text{t}$ sur 10^{16}t soit un rapport de 1 à environ $10\,000$ pour le 'passage' de kérogène en HC



**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 2003 Nature



GENESE DU PETROLE = DIAGENESE + CATAGENESE



Roche Source
riche en Matière Organique

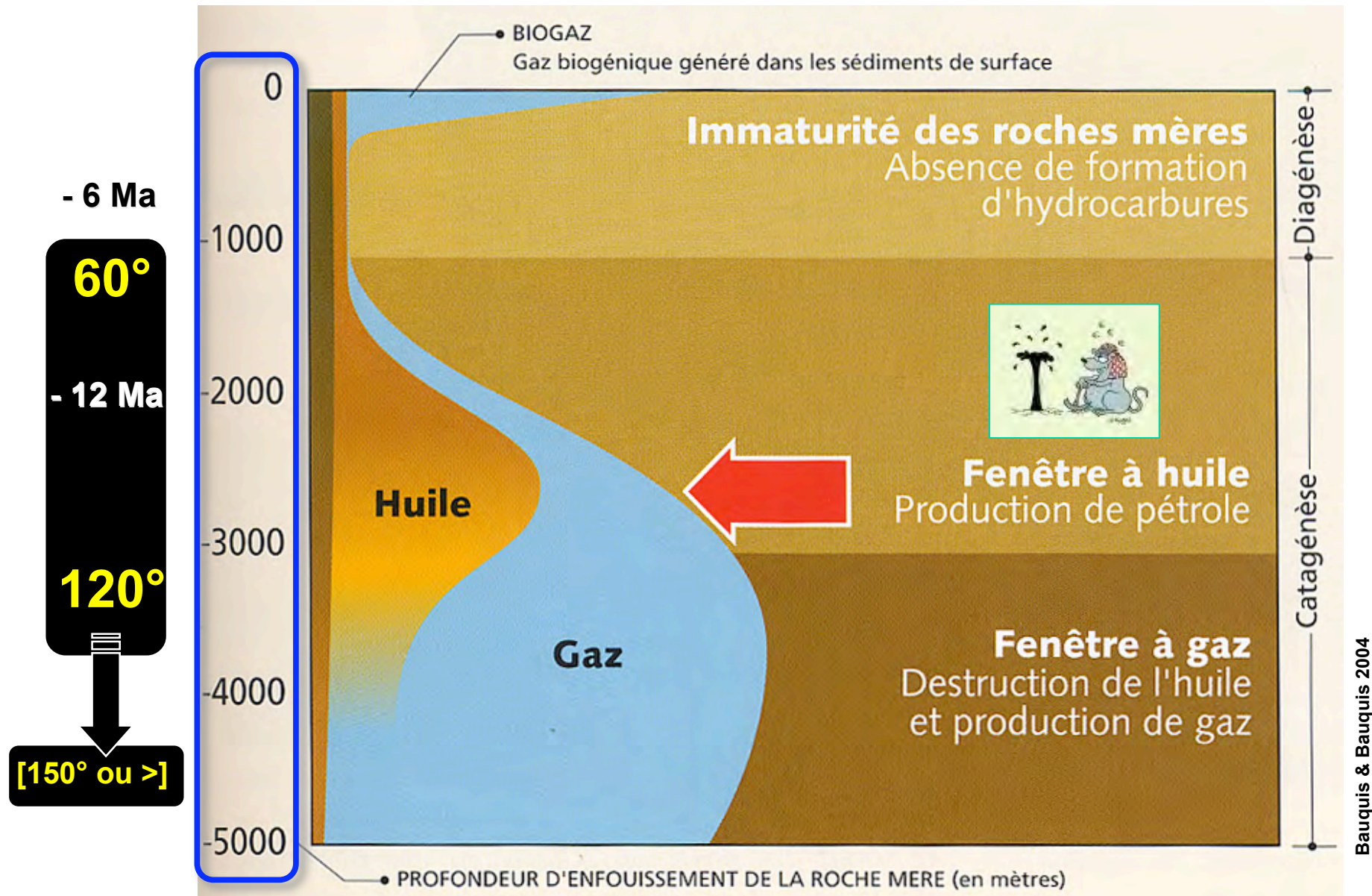


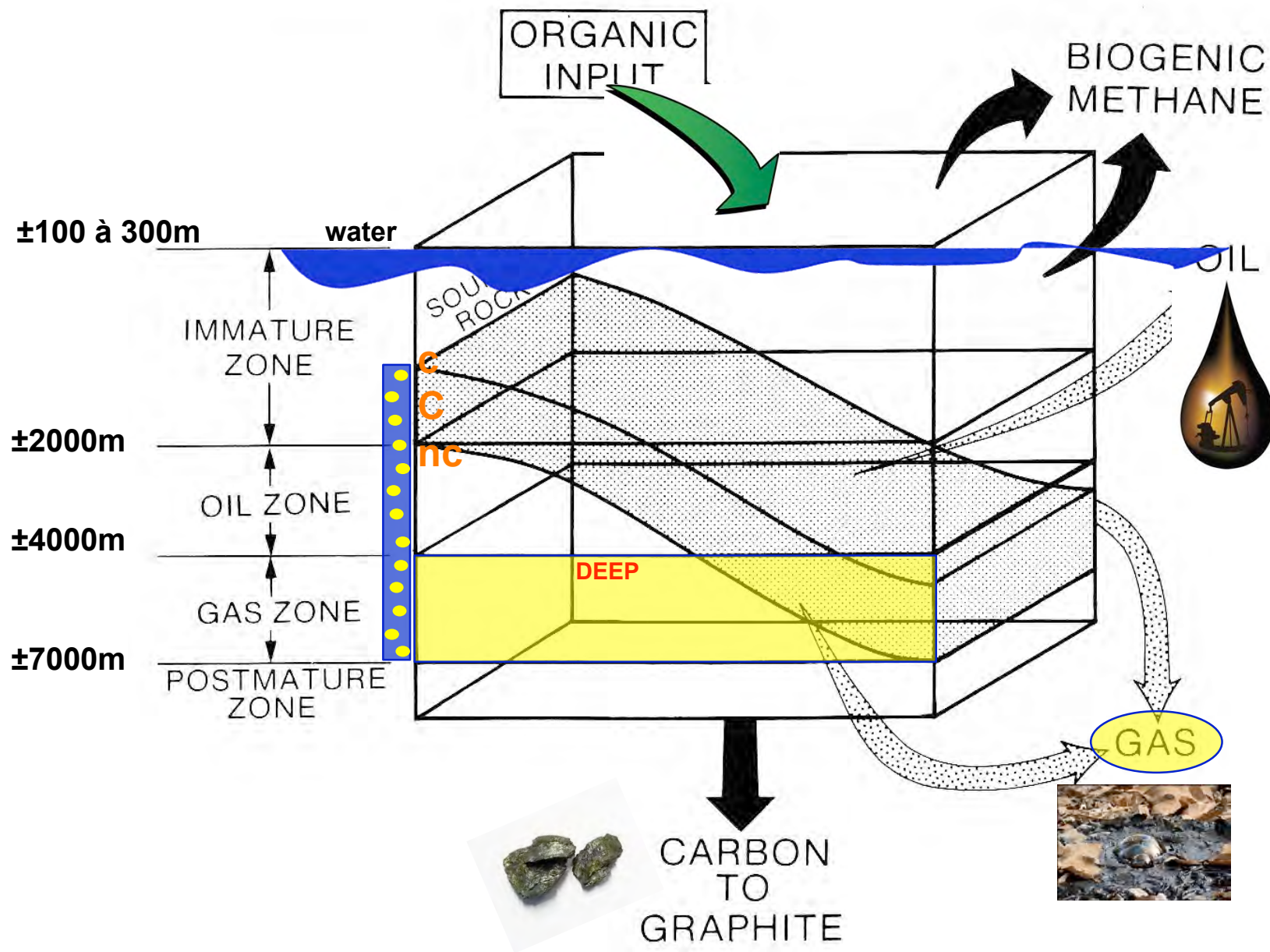
Maturation Thermique
de la Matière Organique



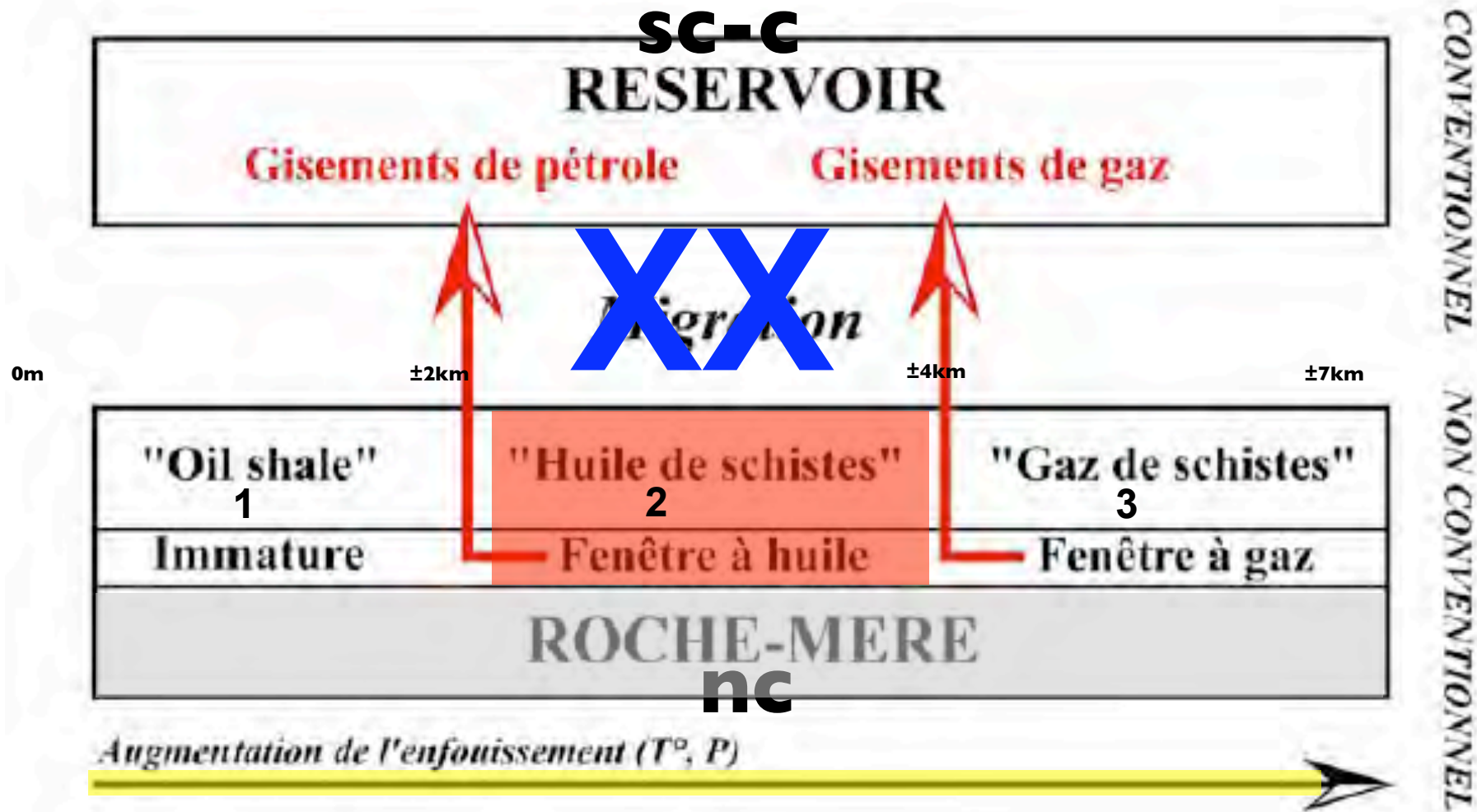
HUILE

GENERATION DES HYDROCARBURES A PARTIR DES ROCHES MERES = 'Cuisines Géologiques'





Brooks et al 1987



IFP 2011

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!**

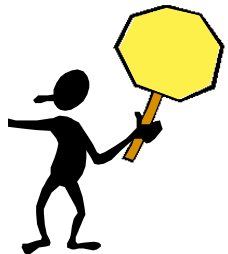


**‘deeper/oil-window’
= ‘huile de schiste’**

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

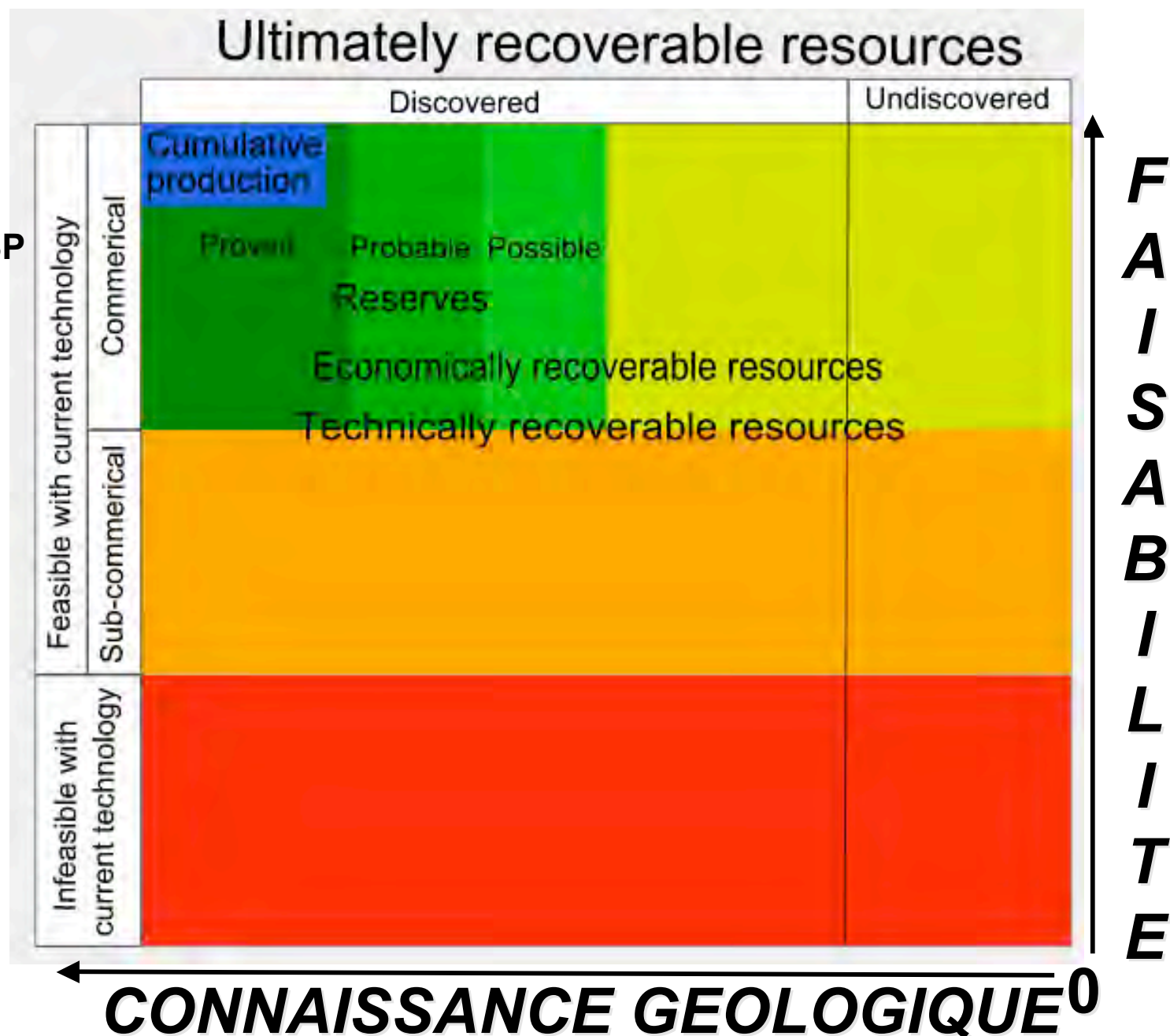
Estimations sont pondérées d'un facteur de probabilité $\pm$ grand selon que l'on est optimiste ou pessimiste + 'distortions non scientifiques = politiques...'

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

REGLES DES 3P



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%

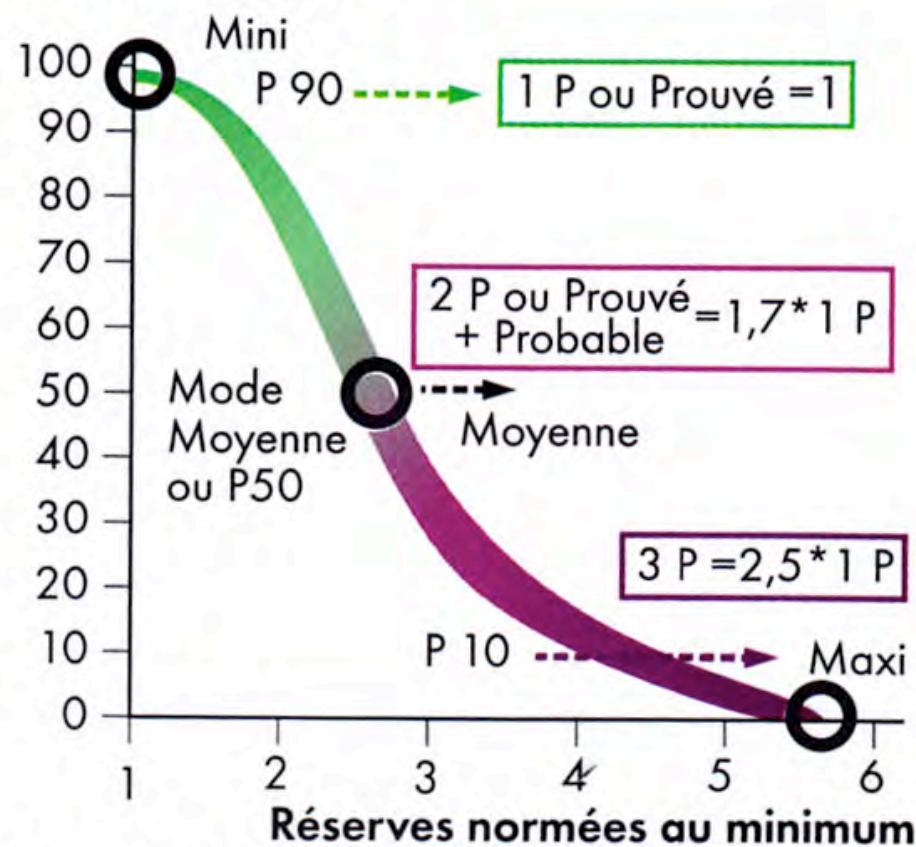
= > 10% ... d'être réalisées

LE CALCUL DES RÉSERVES SUR LES GISEMENTS

LA REGLE DES '3P' : **prouvé-probable-possible**

Ressources **DECOUVERTES** : courantes et contingentes

Probabilités, en %



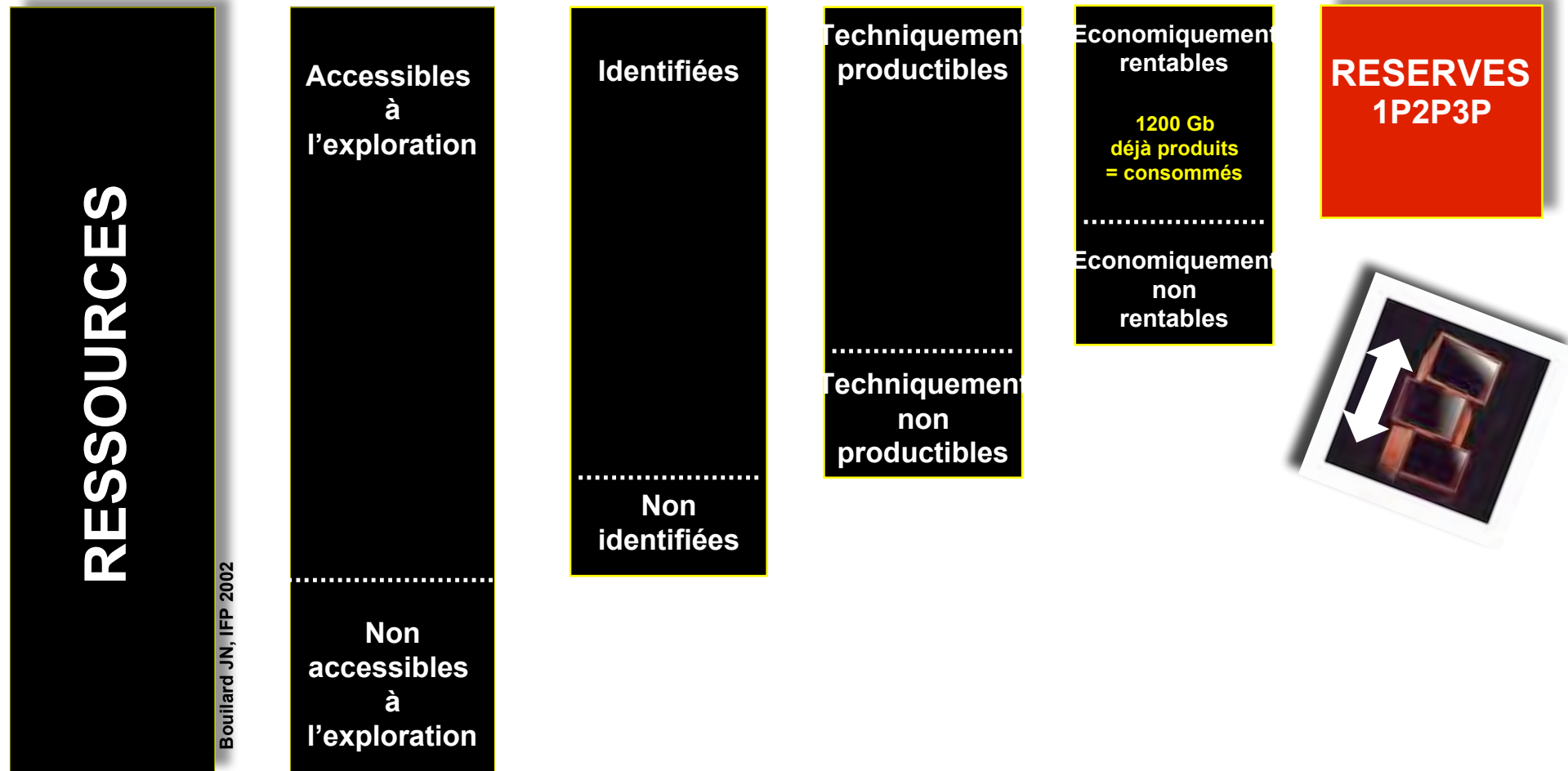
1 Gb
conditions
les plus
défavorables

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

4,2 Gb
conditions
optimales

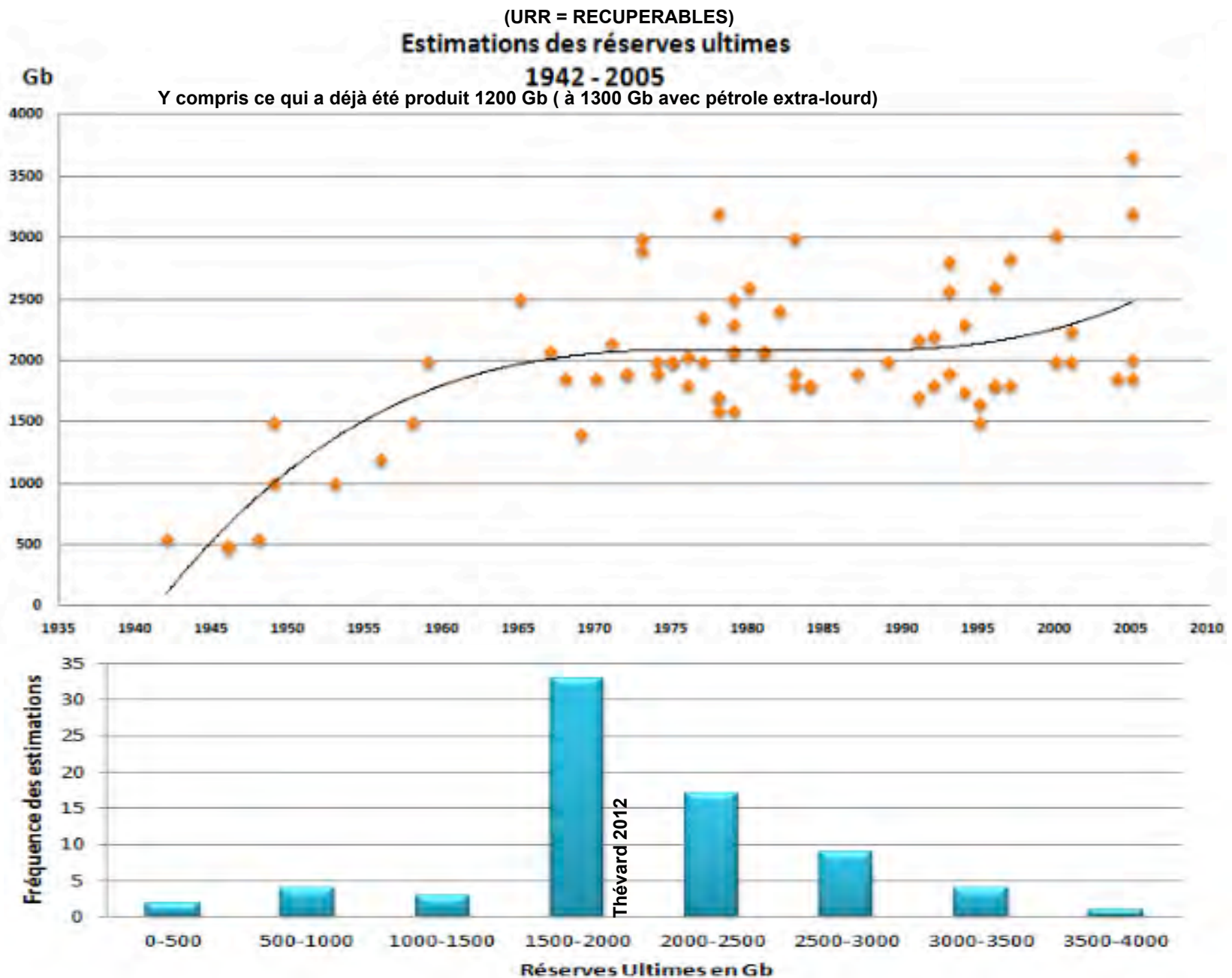
Source : Y. Mathieu, IFPEN.

Des Ressources aux Réserves

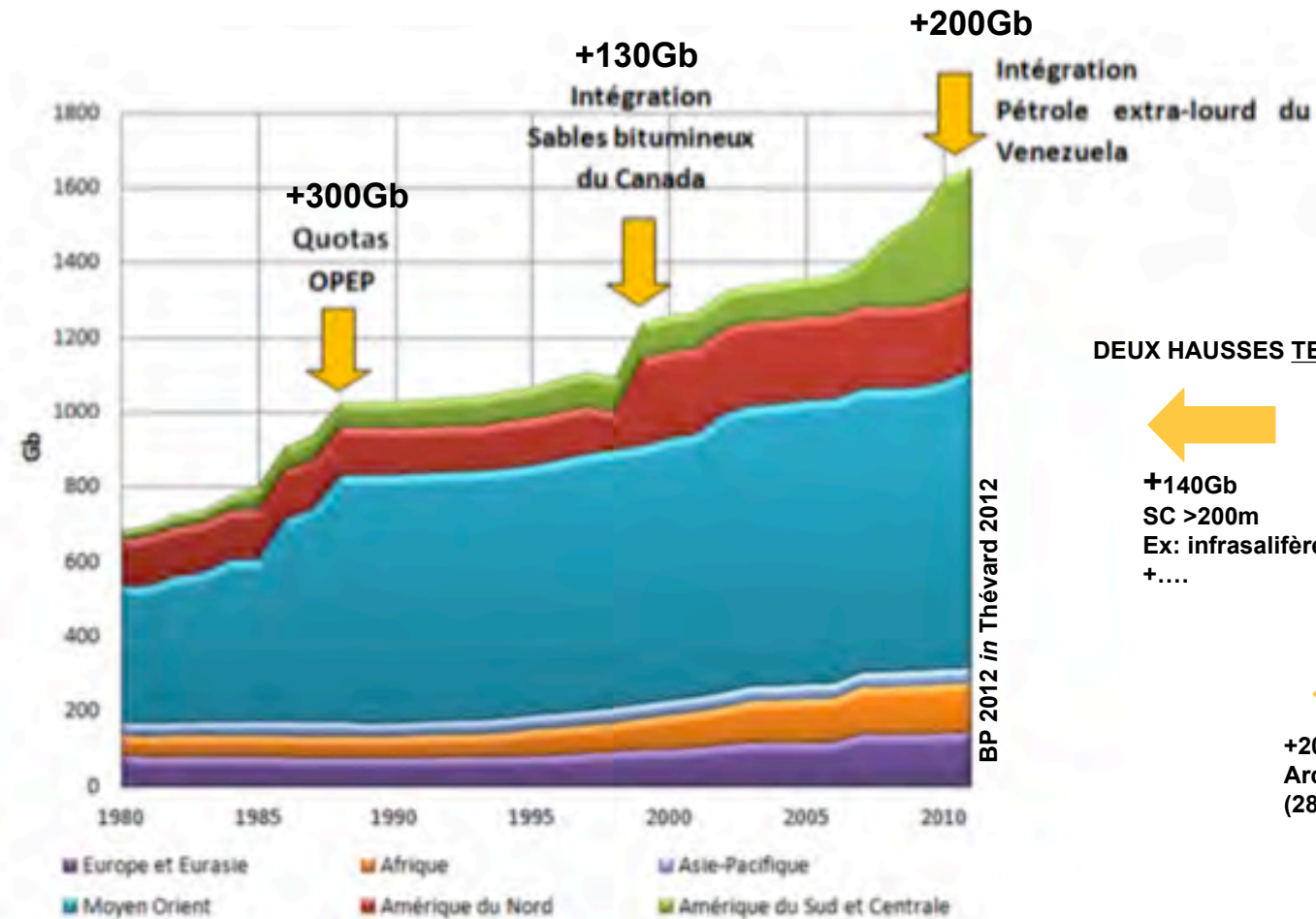


Ressources: quantités en place dans la croûte terrestre (identifiées ou non)

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



TROIS HAUSSES POLITIQUES DES RESERVES 1P



DEUX HAUSSES TECHNOLOGIQUES



+140Gb
SC >200m
Ex: infrasalifère Brésil
+....



+20Gb à 100Gb
Arctique
(280 gisements)

FINALEMENT

< 100 \$... > 100 \$

concept fluctuant
(technique, économie)

volume
difficile à évaluer

RESERVES
PROUVEES

RESERVES
ULTIMES

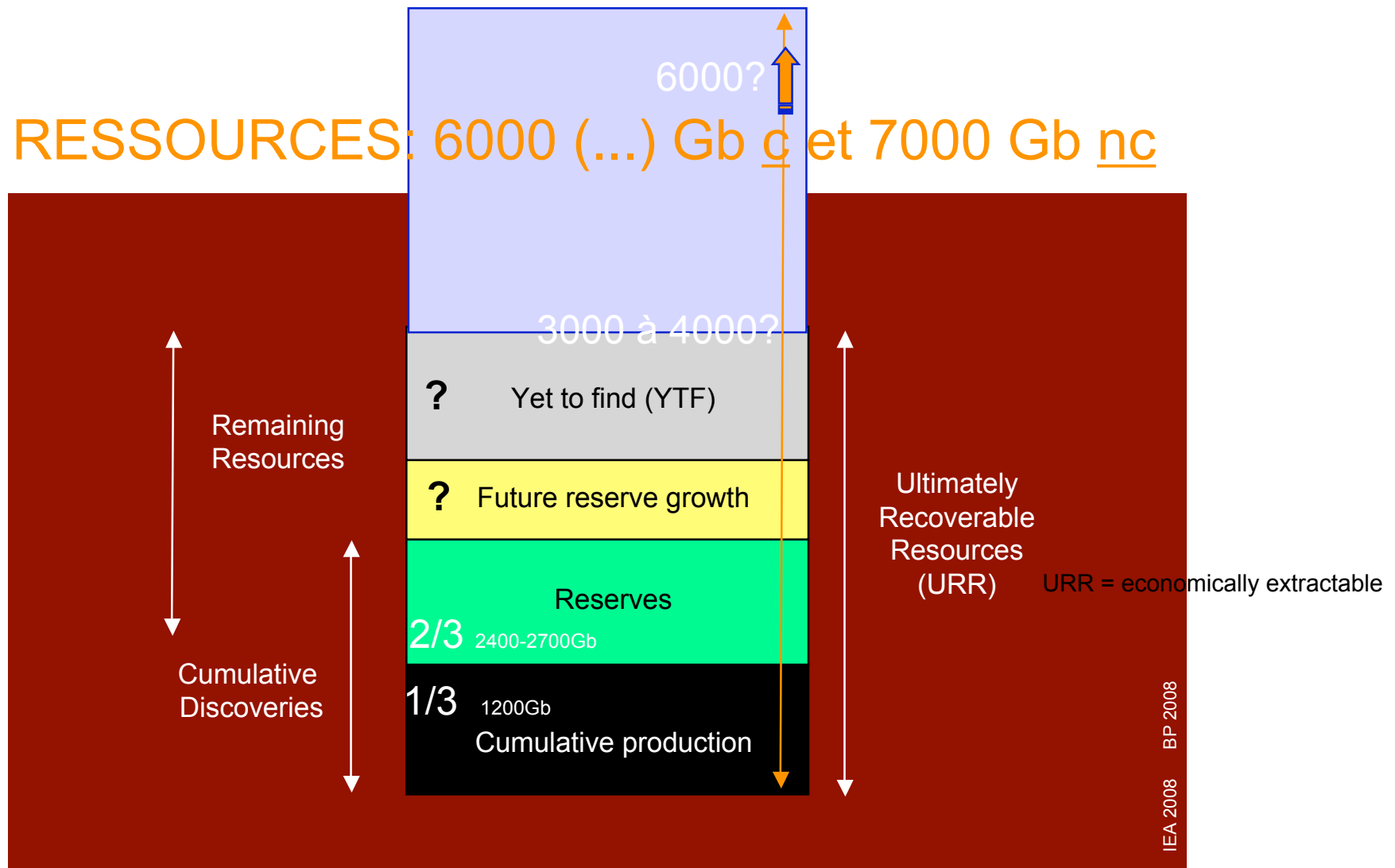
on passe de l'un à l'autre
dans les deux sens

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.

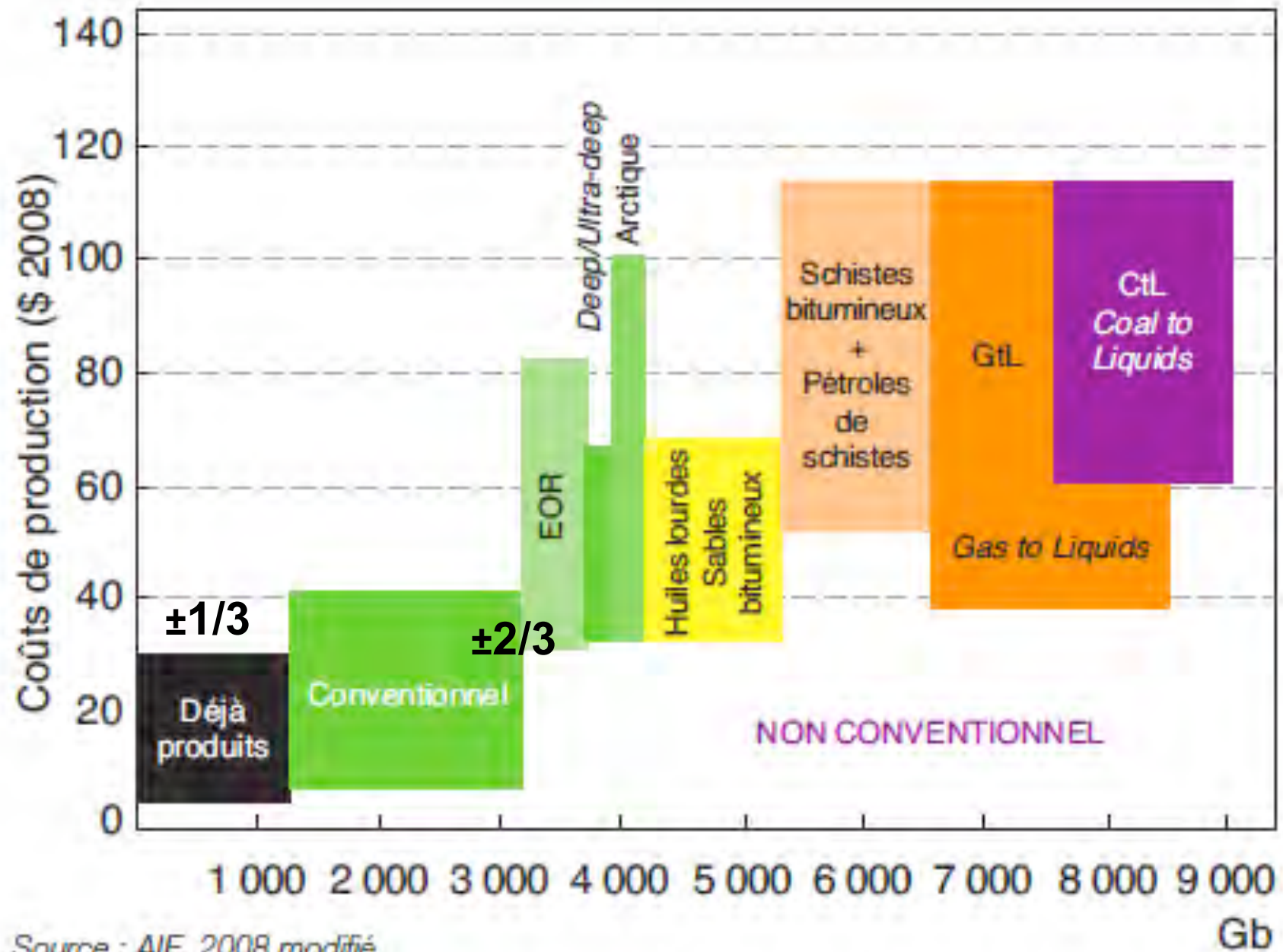
Les réserves possibles: Le lac existe. Certains vous ont même dit qu'il recèle des poissons. Mais votre barque est toujours sur sa remorque et vous préférez aller jouer au golf.

In Legault A 2007



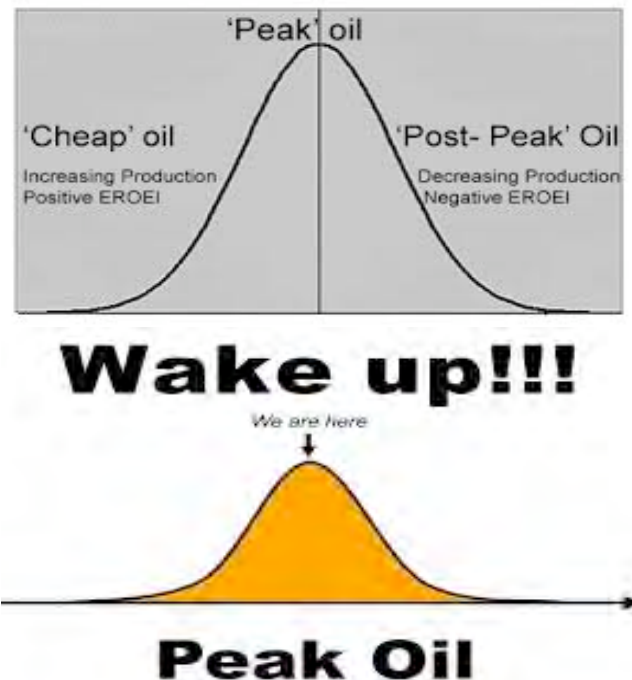
**Remaining recoverable resources oil c : 870-3170 Gb (2015 AIE: 2700Gb)
(Max = 4Xmin)**

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



Source : AIE, 2008 modifié

Le Pic pétrolier sans cesse reporté

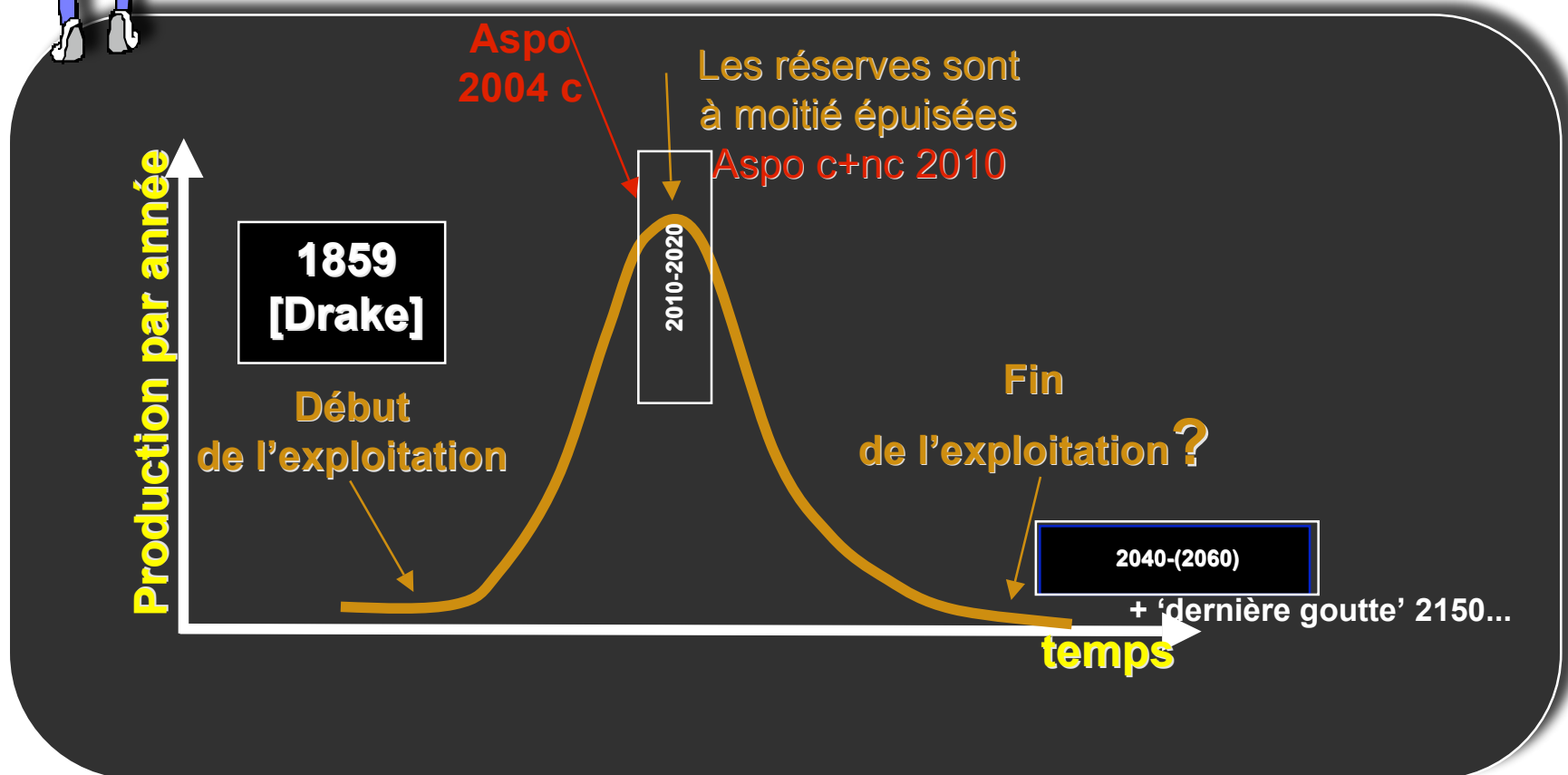


2005 => >2007 => 2011 = <2020 [Centre de Recherche Britannique sur l'Energie]
Sans parler du Club de Rome etc et de Marion King Hubbert (pic de Hubbert 1995-2000)

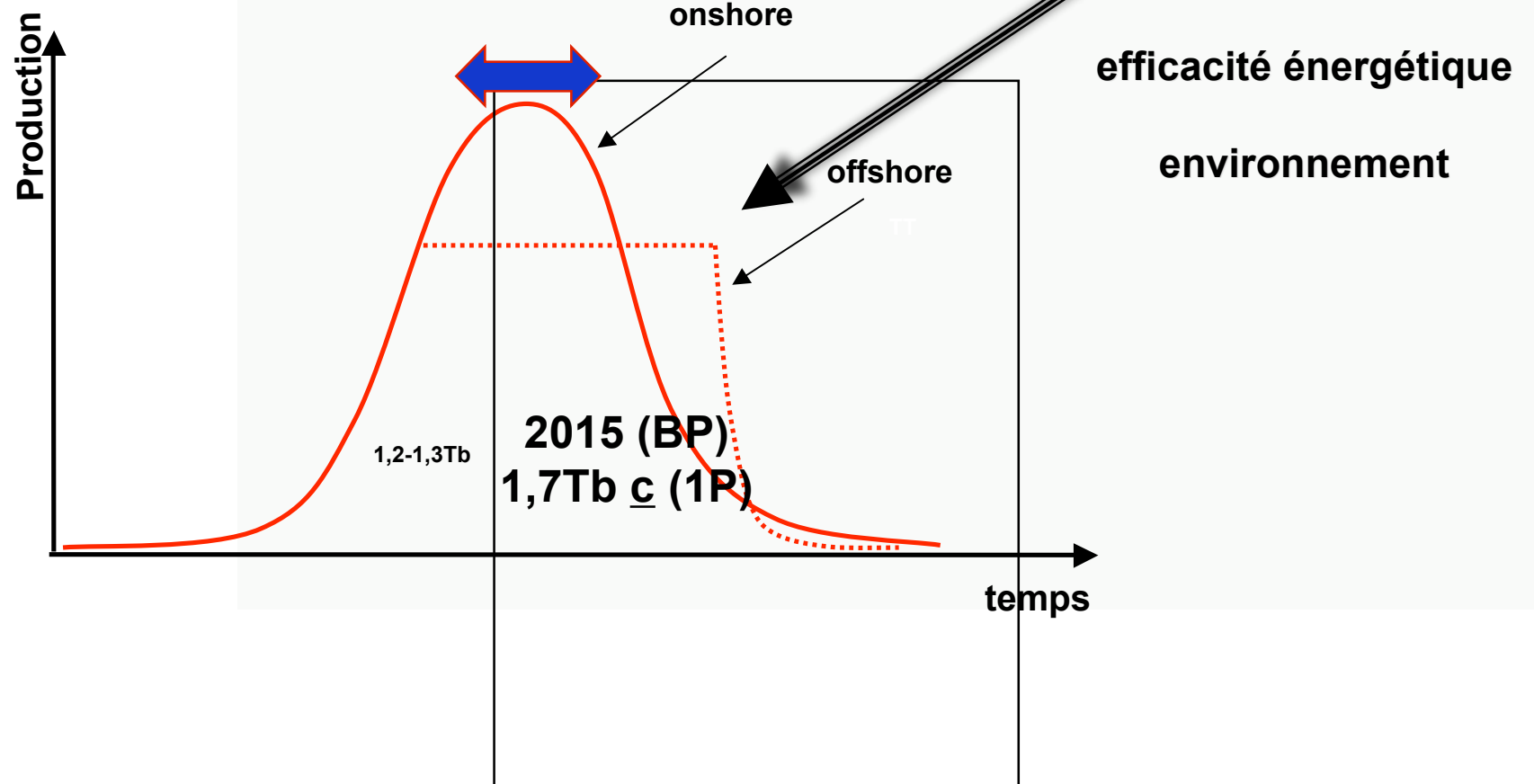
En 2005 l'AIE envisageait qu'à l'échéance 2025, l'Amérique importerait chaque année 20 millions de barils/jour
En 2012 : 10,6Mb/j, en 2013: 9,8Mbl/j, en 2014 : 7,4Mbl/j



**RESSOURCE: 6000Gb c et 7000Gb nc
($\neq$ RESERVES)**



Production d'huile: la courbe en cloche



Forages 'Etendus' (directionnels ou hztaux)

La technologie permet des gains dans les puits plus difficiles

Diminution de la friction

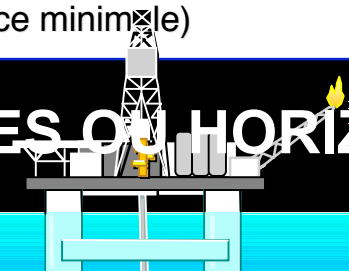
Analyse géologique pour déterminer le meilleur chemin (résistance minimale)

1998-Argentine

FORAGES A GRANDS 'DEPARTS': PUIITS DEVIES OU HORIZONTALS

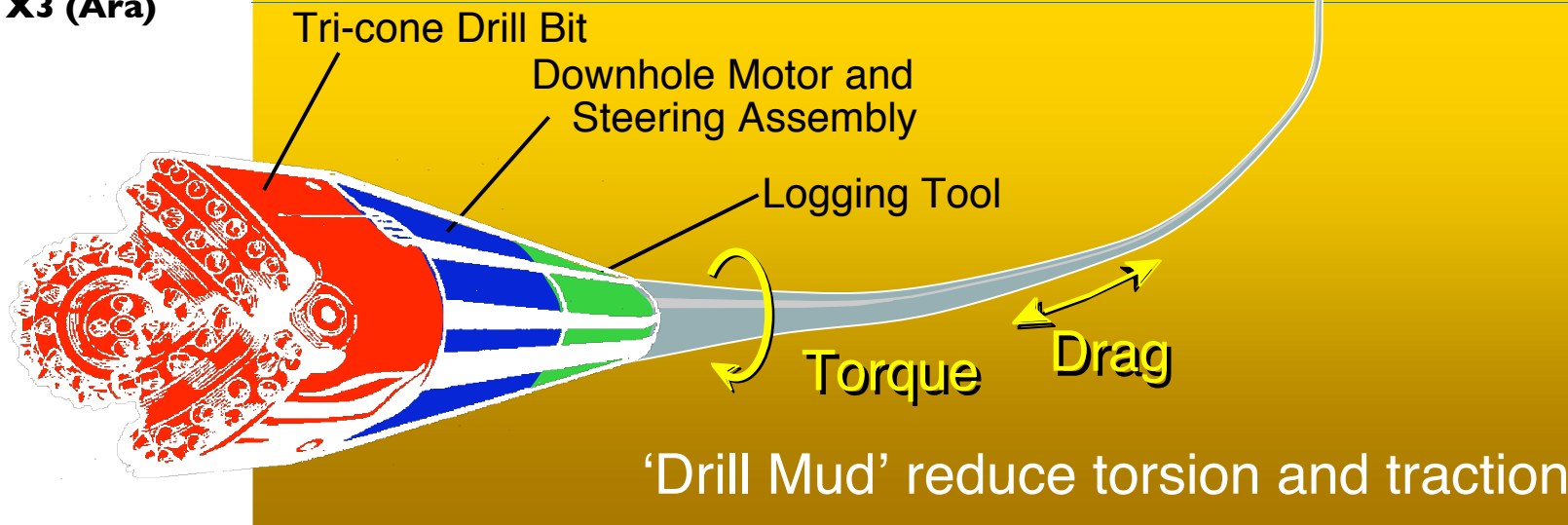
gisement d'ARA en Terre de Feu: 1 seul 'puits' de 11 184m

(foré) à 1 695m



RENDEMENT PROD.
= X3 (Ara)

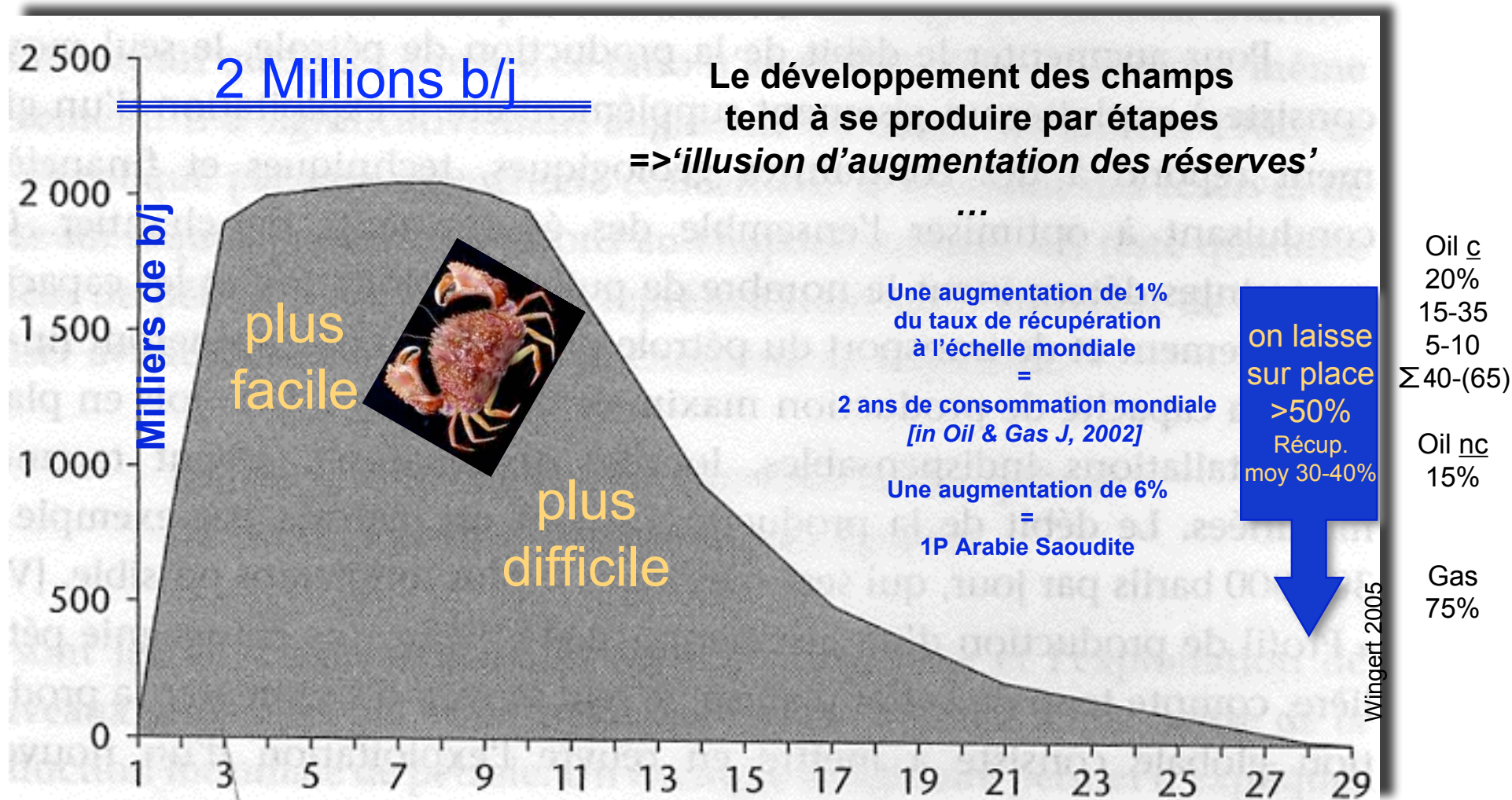
Exxon: Investissements 600 millions \$
nouvelles technologies forages



1891? premiers essais ...

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

PROFIL TYPE DE PRODUCTION D'UN GISEMENT



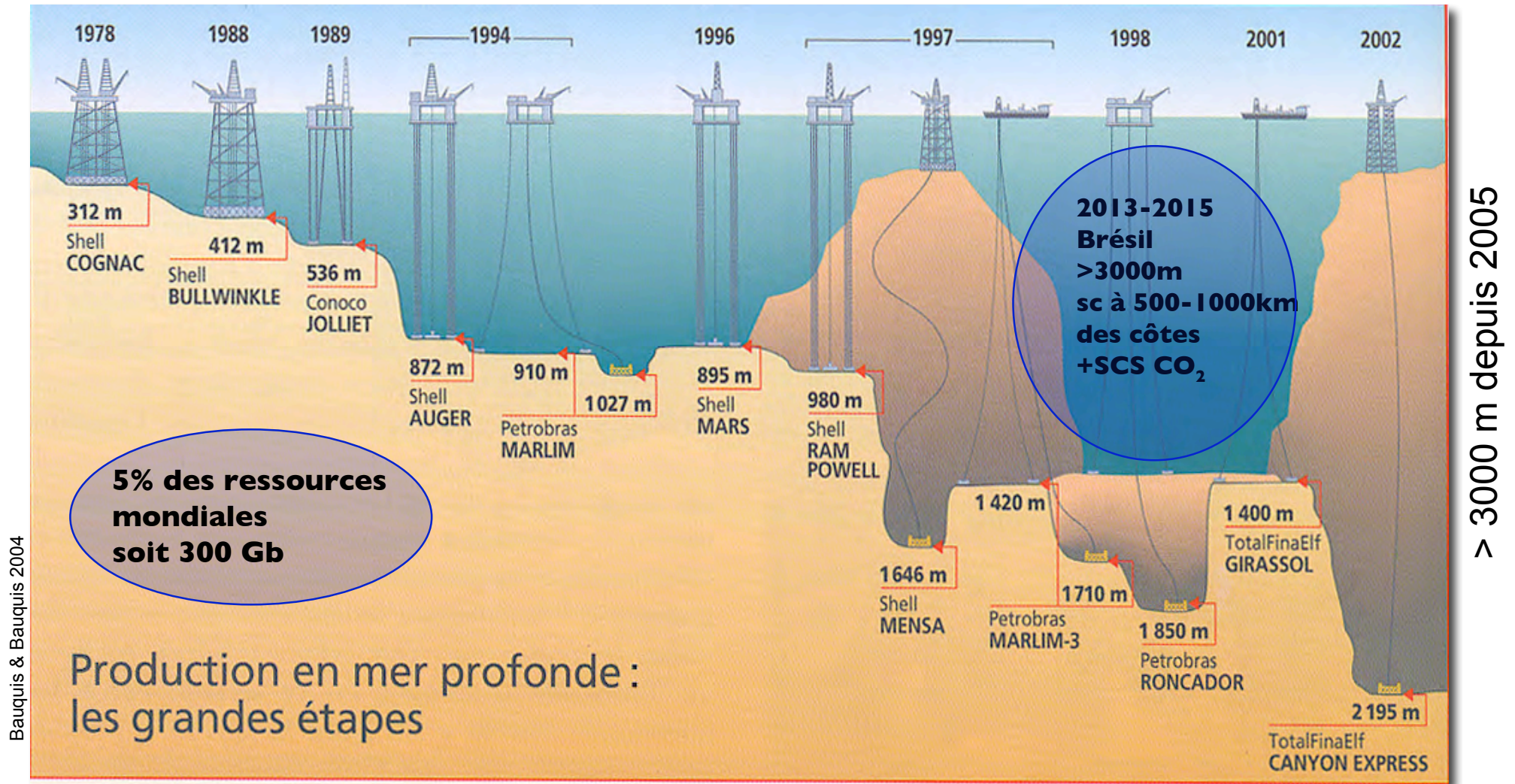
Ex. d'un champ géant de 10 Gb étalé sur 30 ans avec un maximum de 2 Mb/jour.

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 SOURCES D'ÉNERGIE PRIMAIRE

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

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

- **ENERGIES NUCLEAIRES** = énergies **très concentrées**

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

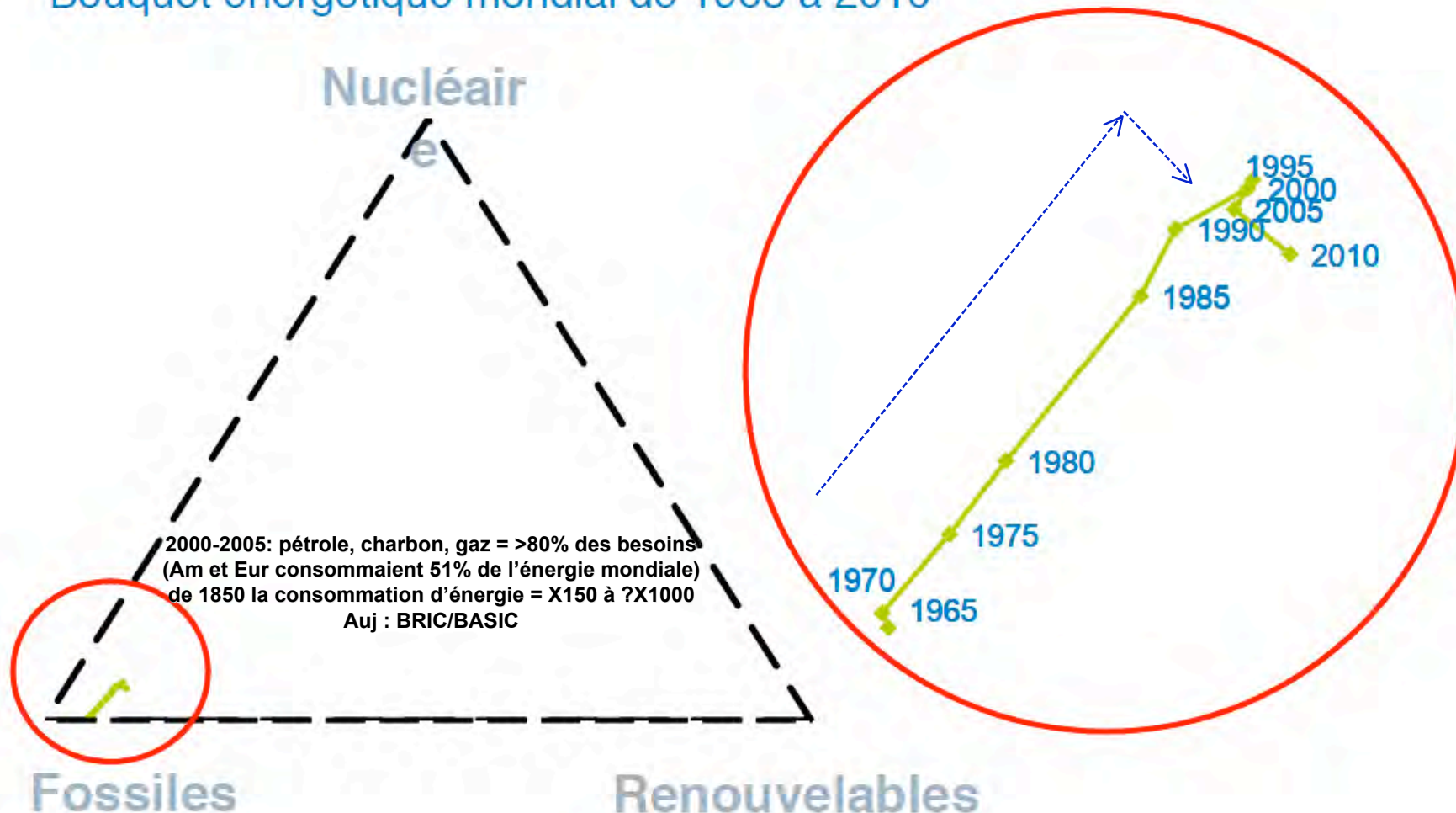
◇ **Hydraulique** ◇◇ **Solaire** ◇◇◇ **Eolienne**

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

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

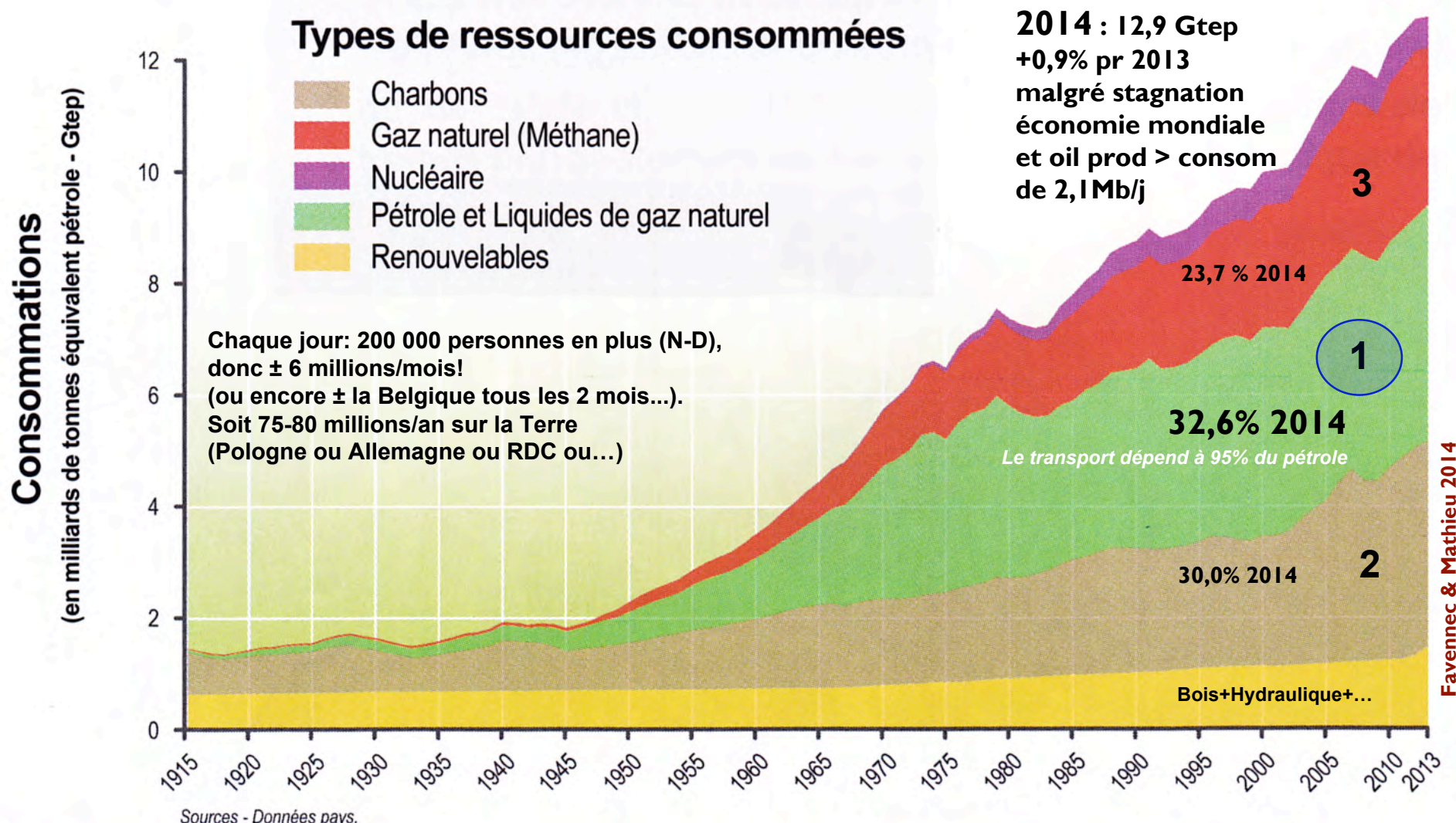
Le temps de l'énergie est un temps long

Bouquet énergétique mondial de 1965 à 2010



22?Gtep-2050

2014: 12,928 Gtep, soit ± 12000 réacteurs nucléaires (auj ± 450)

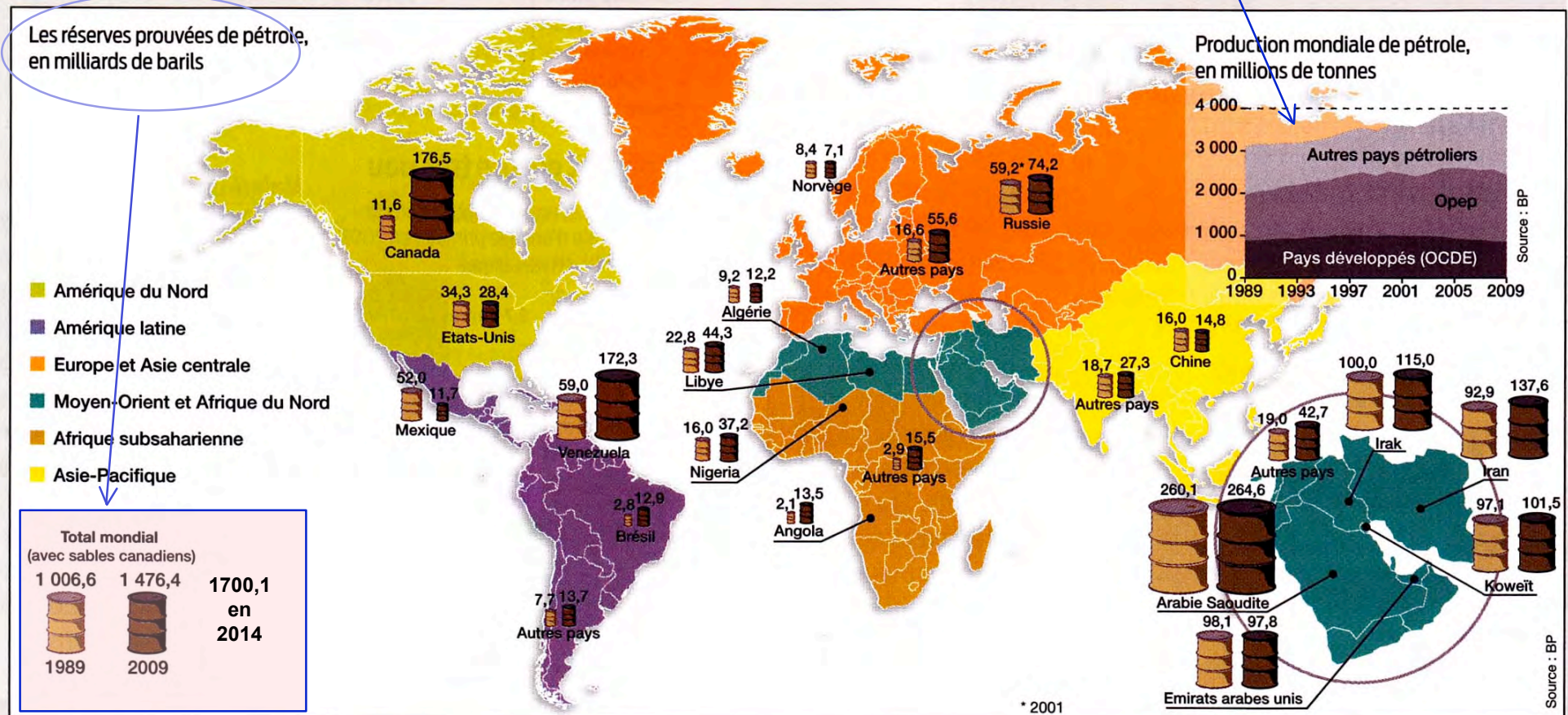


Evolution des consommations énergétiques mondiales depuis 1915

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 »

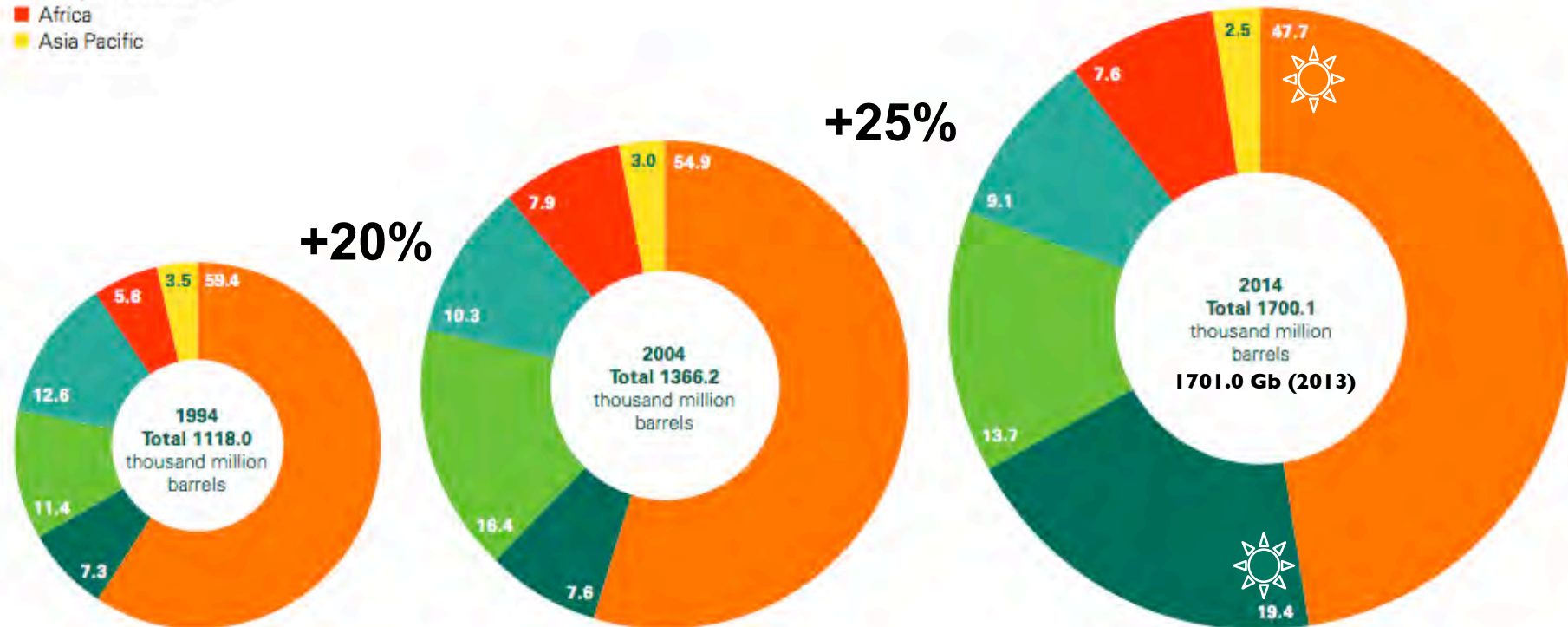
Sheikh Yamani, ancien ministre saoudien du pétrole (co-fondateur OPEP)

1P OIL

Distribution of proved reserves in 1994, 2004 and 2014

Percentage

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



BP2015

PETROLE c

Réserves Prouvées
2015 (BP)
[±5%?]

Rés Prouvées	Oil Gbl	%	Gas %
Arabie Saoudite	267,0	15,7	4,4
Canada	172,9	10,2	1,1
Iran	157,8	9,3	18,2
Irak	150,0	8.8	1,9
Koweït	101,5	6.0	1,0
Emirats Ar Unis	97,8	5.8	3,3
Venezuela	297,3*	17,5	3,0
Russie	103,2	6,1	17,4
Libye	48,4	2.8	0,8

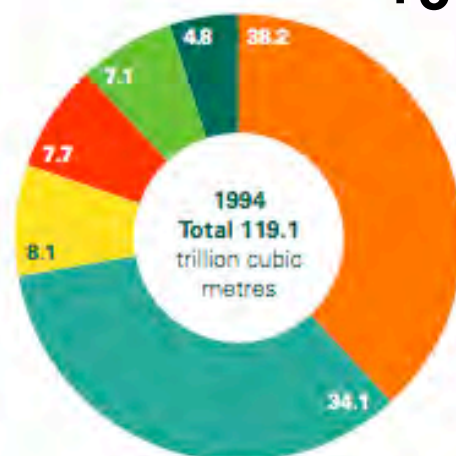
Nigeria	37,1	2,2	2,7
USA	48,5	2,9	5,2
Chine	18,5	1,1	1,8
Mexique	11,1	0,7	0,2
Norvège	6,5	0,4	1,0
Algérie	12,2	0,7	2,4
Qatar	25,7	1,5	13,1
Australie	4,0	0,2	2.0
Indonésie	3,7	0,2	1,5

1P GAZ c

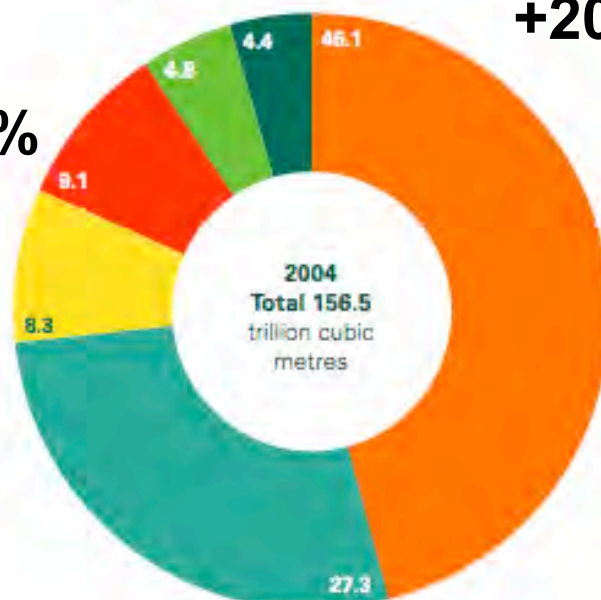
Distribution of proved reserves in 1994, 2004 and 2014

Percentage

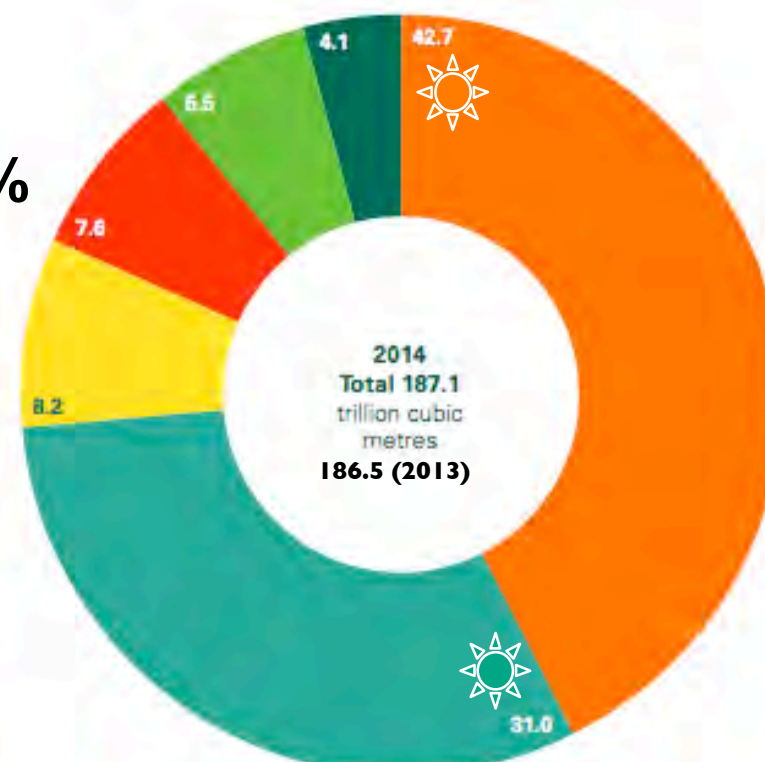
- Middle East
- Europe & Eurasia
- Asia Pacific
- Africa
- North America
- S. & Cent. America



+31%



+20%



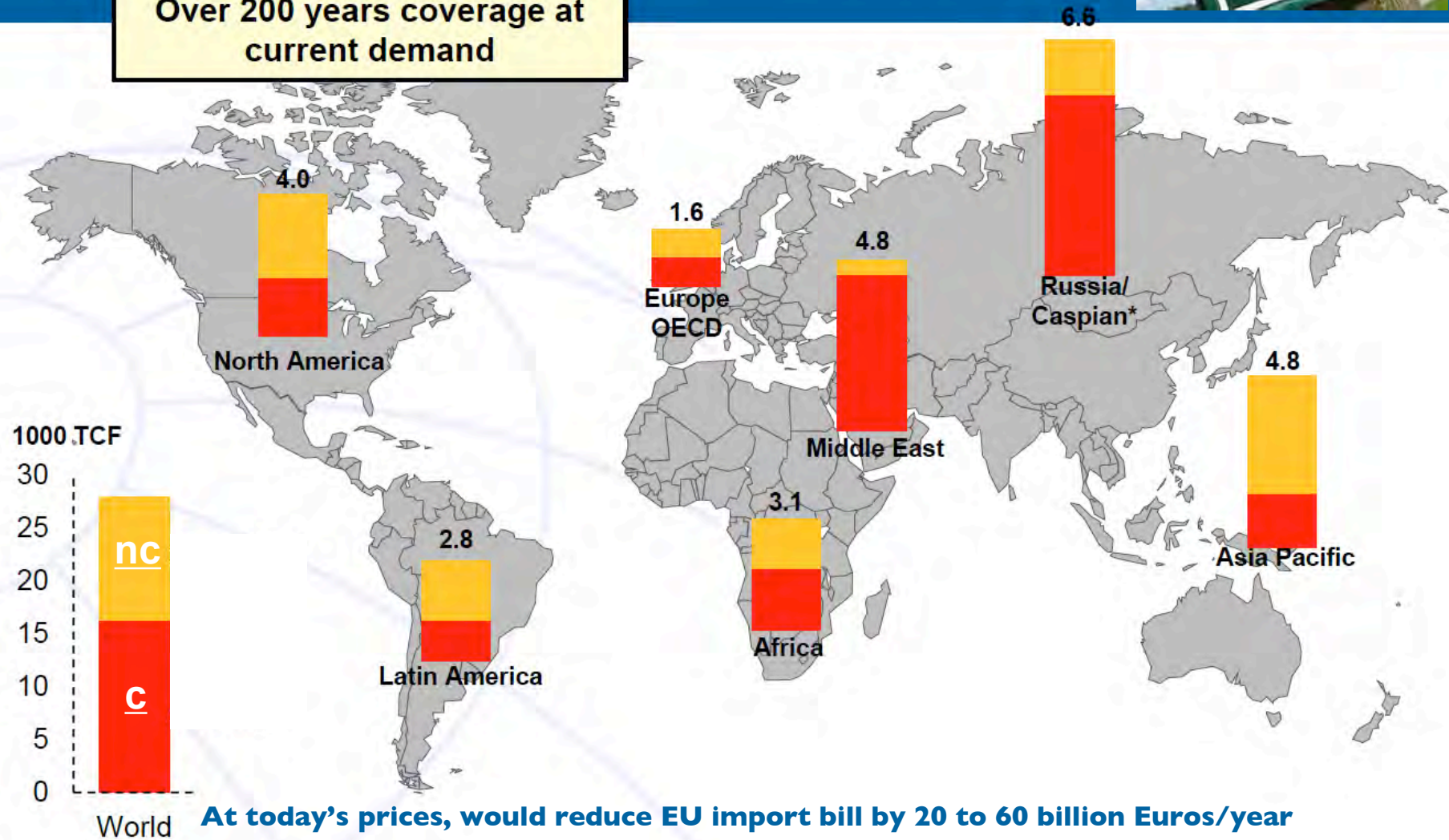
Production mondiale 2013: 3,47 Tm³

BP2015

Remaining Global Gas Resource



Over 200 years coverage at current demand

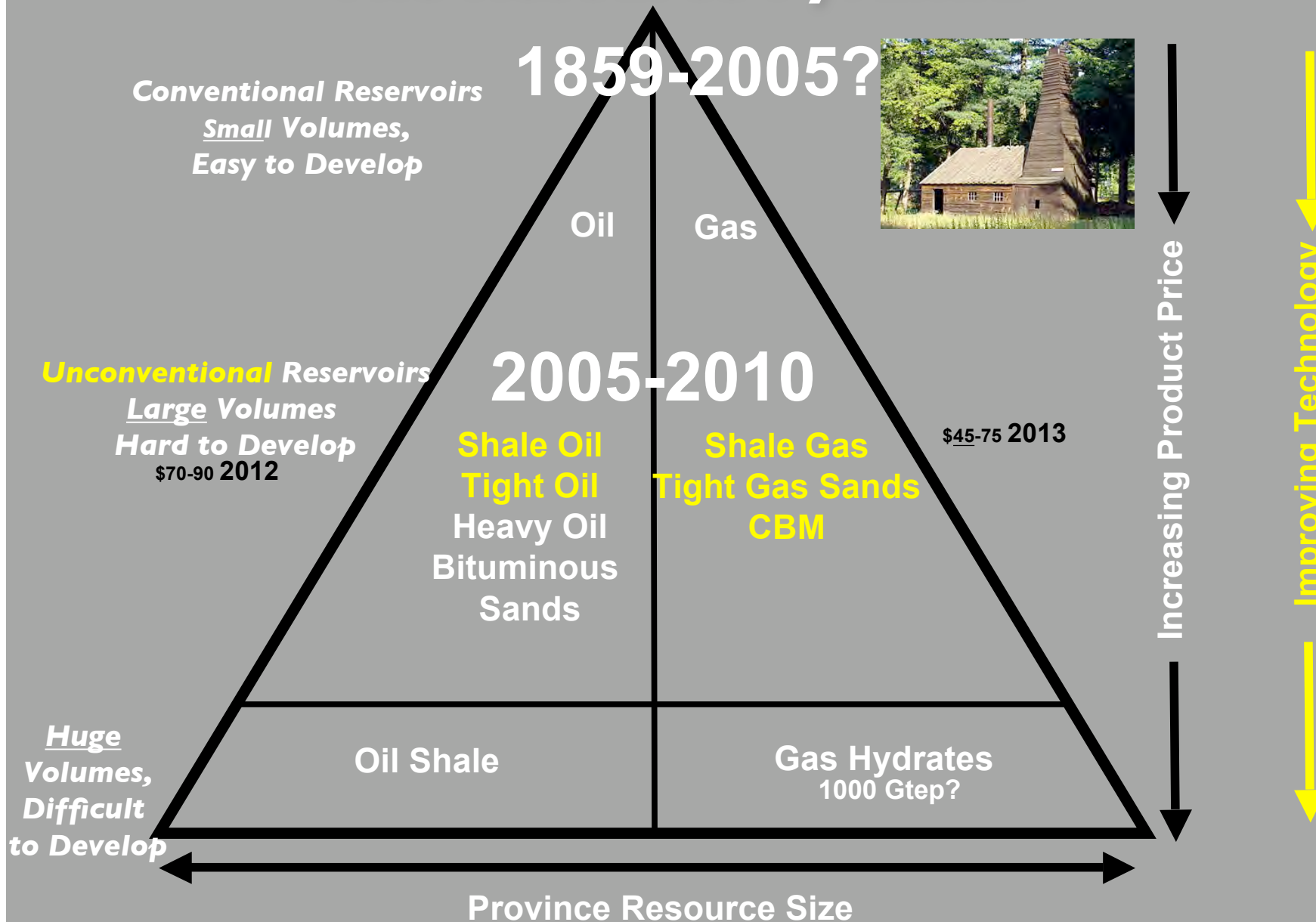


From Baeckelmans, Exxon 2013

Source: IEA; *Includes Europe Non OECD

A. Pr  at (ULB) – J.P. Schaecken Willemaers (Inst. Th. Moore). Acad.roy.Belgique-2015

The Resource Pyramid





Pétrole conventionnel



On a déjà consommé 1200 Gb (août 2013)

31 décembre 2014 : 1700 Gb

Il resterait 52,5 ans de réserves 1P
[=1700 Gbl/32Gbl]

BP 2015



*si consommation > de 32Gbl/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: 690 Gb 2P3P = encore 21ans...



GAZ conventionnel



31 décembre 2014 : 187,1Tm³

**Il resterait 54,2 ans de réserves 1P
[=187,1Tm³/3,45Tm³]**

BP 2015



*si consommation > de 30Gbl/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%***

Pic pétrolier, pic gazier, sans cesse reportés

Dr. Prof. Alain Prémat
Département des Sciences de la Terre et de l'Environnement
Université Libre de Bruxelles

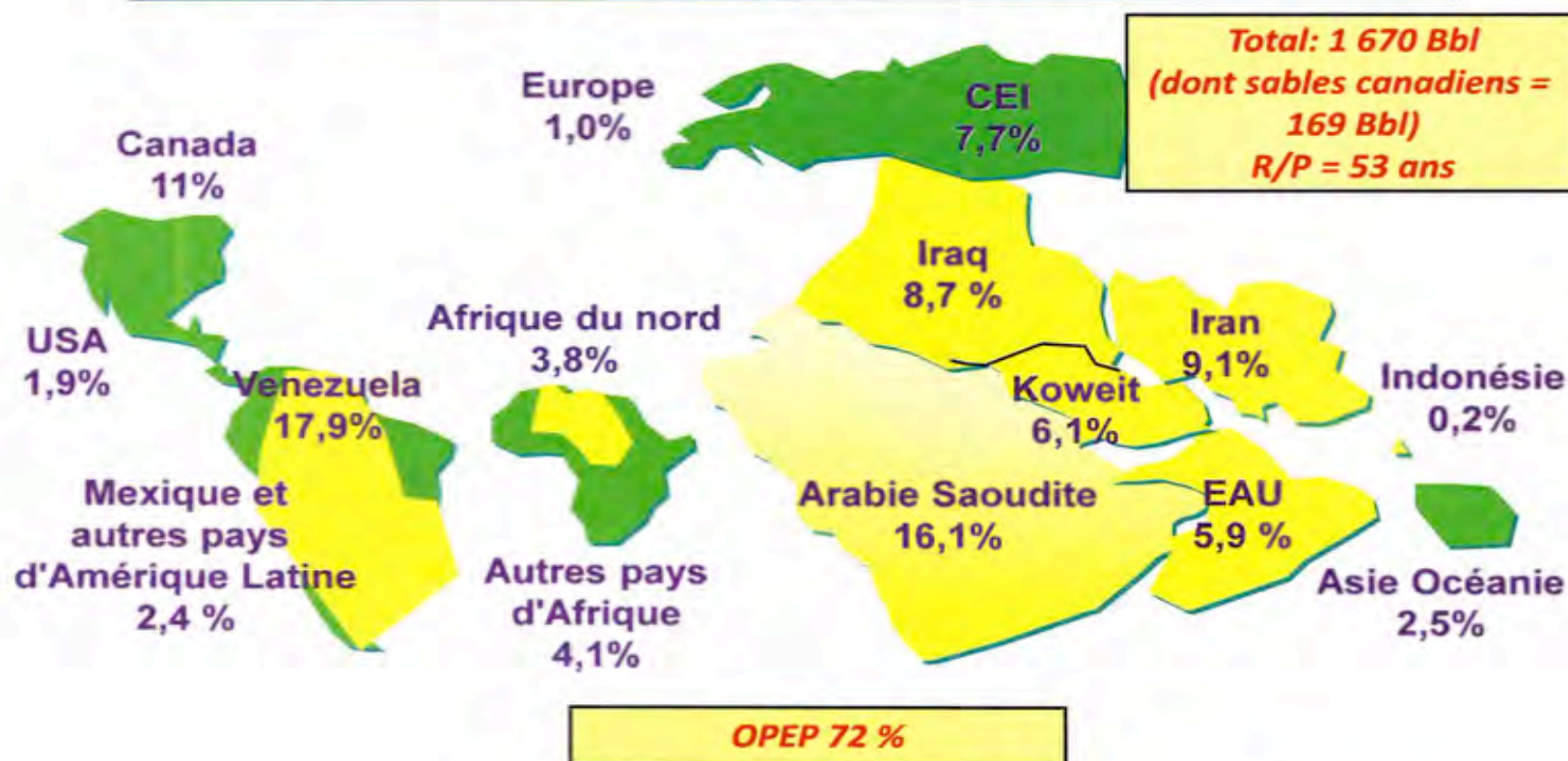
Jean-Pierre Schaeken Willemaers
Institut Thomas Moore,
Président du pôle Energie-Climat-Environnement

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.

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).

Réserves et ressources pétrolières

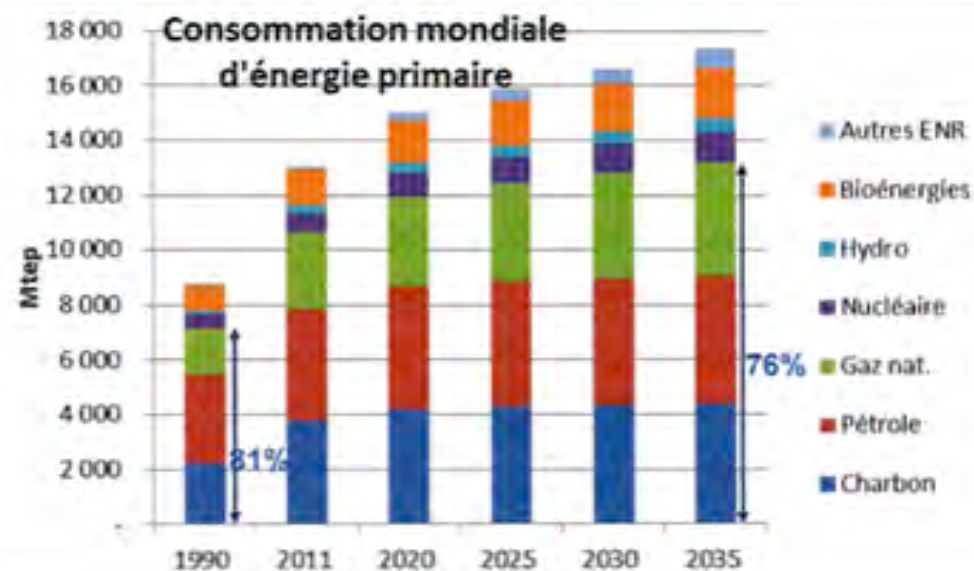


Source: BP Statistical 2013

DEMANDE

- La demande globale de pétrole augmentera dans les décennies à venir pour atteindre 104 millions de barils/jour d'ici à 2040 (AIE, World Energy Outlook 2014, scénario central). Cette croissance de la consommation provient du Moyen-Orient, de l'Asie hors Japon et Corée, de l'Afrique et de l'Amérique latine. Au-delà, il est vraisemblable que la demande pétrolière globale se tassera en raison de l'effet compensatoire des progrès technologiques, des moyens de transport de substitution, etc.
- Par contre, la directive européenne sur les énergies renouvelables ainsi que la roadmap 2050 conduisent à une diminution de la consommation de pétrole dans l'Union européenne.
- Les pays non-OCDE consommeront, en 2040, 60% de plus que les pays OCDE. Dans ces derniers pays, dès 2030, le gaz deviendra le premier combustible dans le mix énergétique, le pétrole n'étant pratiquement plus utilisé que dans les transports et la pétrochimie.

Demande d'énergie primaire (Mtep)



+ 33 % entre 2011 et 2035

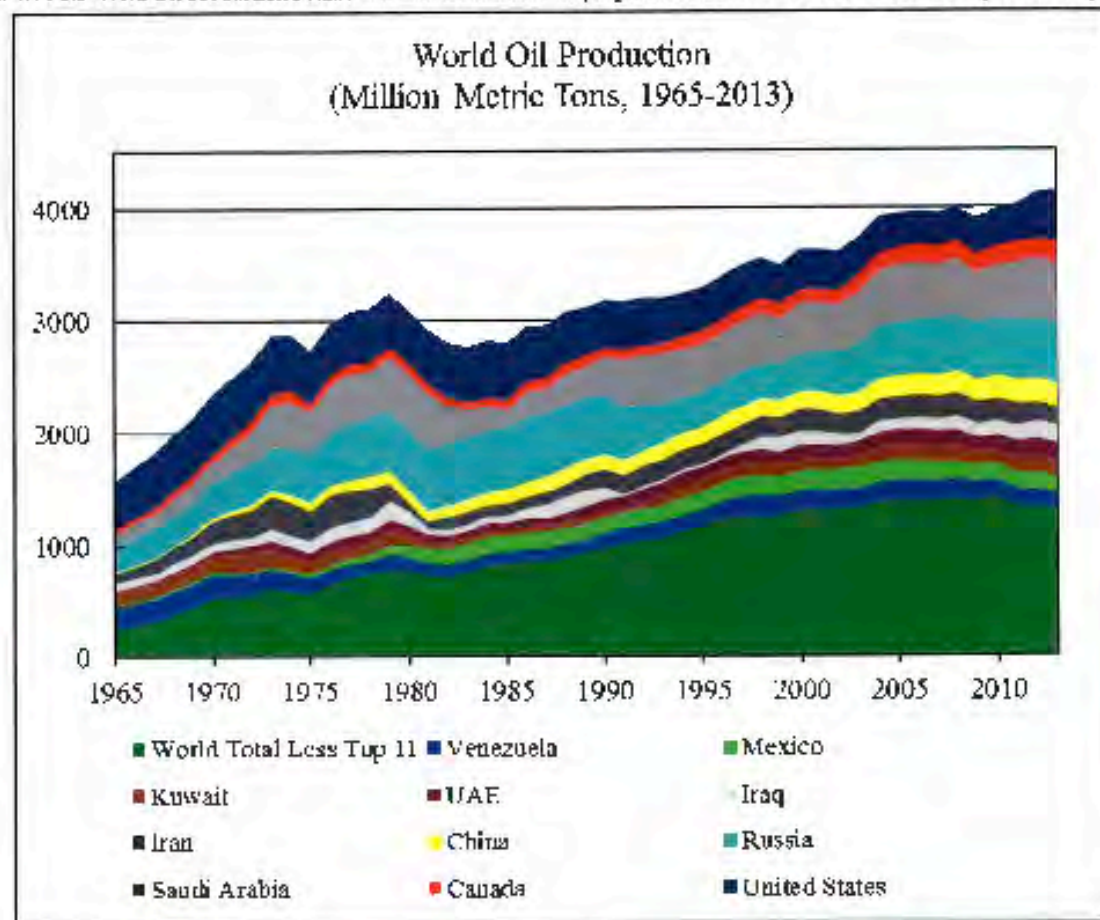
Source : AIE WEO 2013 "Nouvelles politiques"

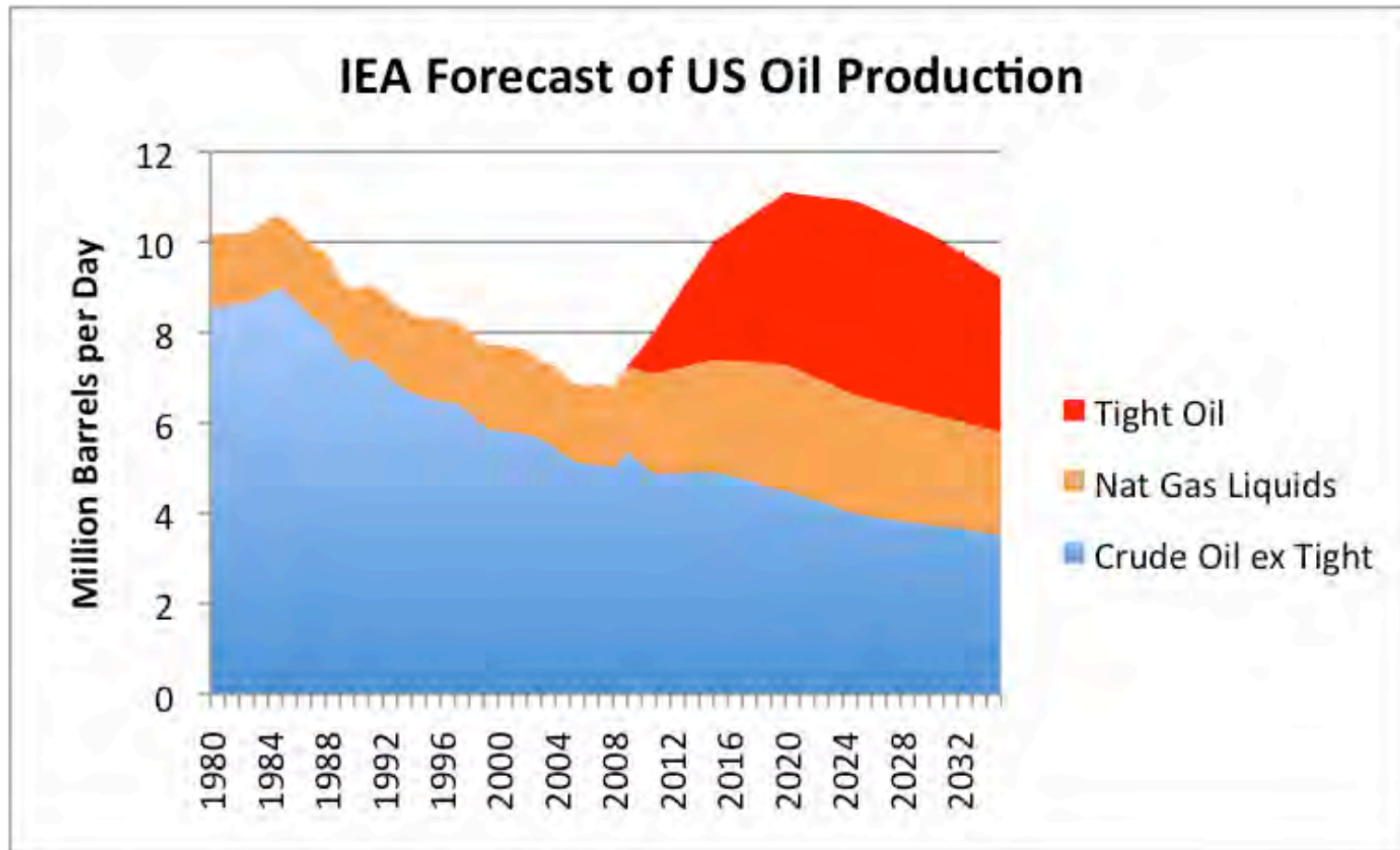
OFFRE/PRODUCTION

- L'Agence Internationale de l'Energie estime que l'offre mondiale n'aura pas de difficulté à couvrir la demande de pétrole en 2040. Environ la moitié de cette production (dont environ les trois quarts de pétrole conventionnel) serait fournie à partir de pays en dehors de l'OPEP. Parmi ceux-ci, la part des pays en dehors de l'OCDE serait supérieure à celle des pays de l'OCDE.
- La production de combustibles liquides pourrait être largement supérieure et, en particulier au-delà de 2040, grâce à:
 - l'exploitation de gisements devenus rentables par des technologies plus performantes (les progrès dans ce domaine sont constants), et dans une moindre mesure, ceux de l'Arctique quoique les prix de marché actuels sont loin d'assurer une rentabilité suffisante;
 - la production accrue de liquides de gaz ainsi que de pétrole non-conventionnel.
 - l'exploitation de gisements en eau profonde.

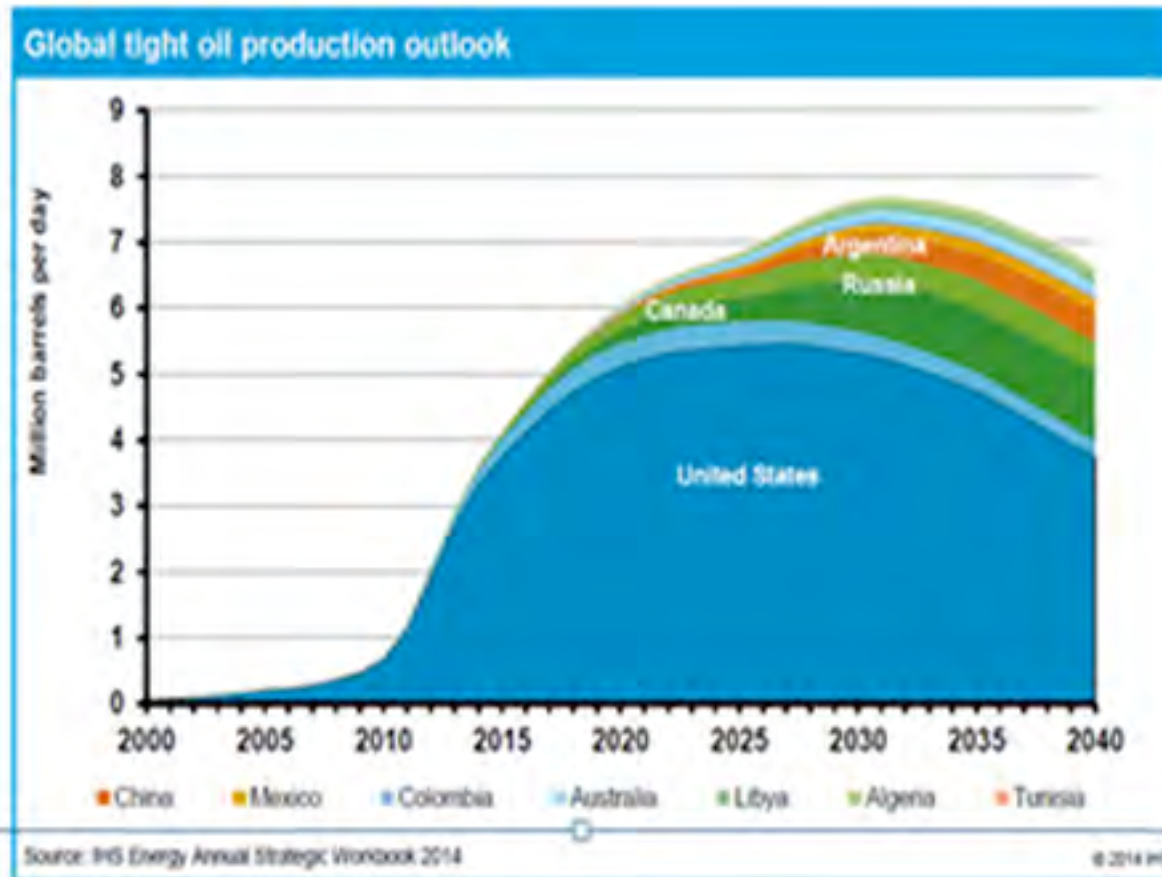
- Aux Etats-Unis, la production de pétrole a atteint 10 Mb/j en 2013 et devrait être plus élevée en 2015, malgré la chute du prix du marché et la diminution du nombre de puits (AIE).
- L'offre de la plupart des pays de l'OPEP continue d'augmenter. Ce n'est évidemment pas le cas de l'Iran dont la production a été affectée par les sanctions économiques.

How Soon Will the World Oil Production Peak? A Hubbert Linear... <http://peakoilbarrel.com/soon-will-world-oil-production-peak-hubb...>

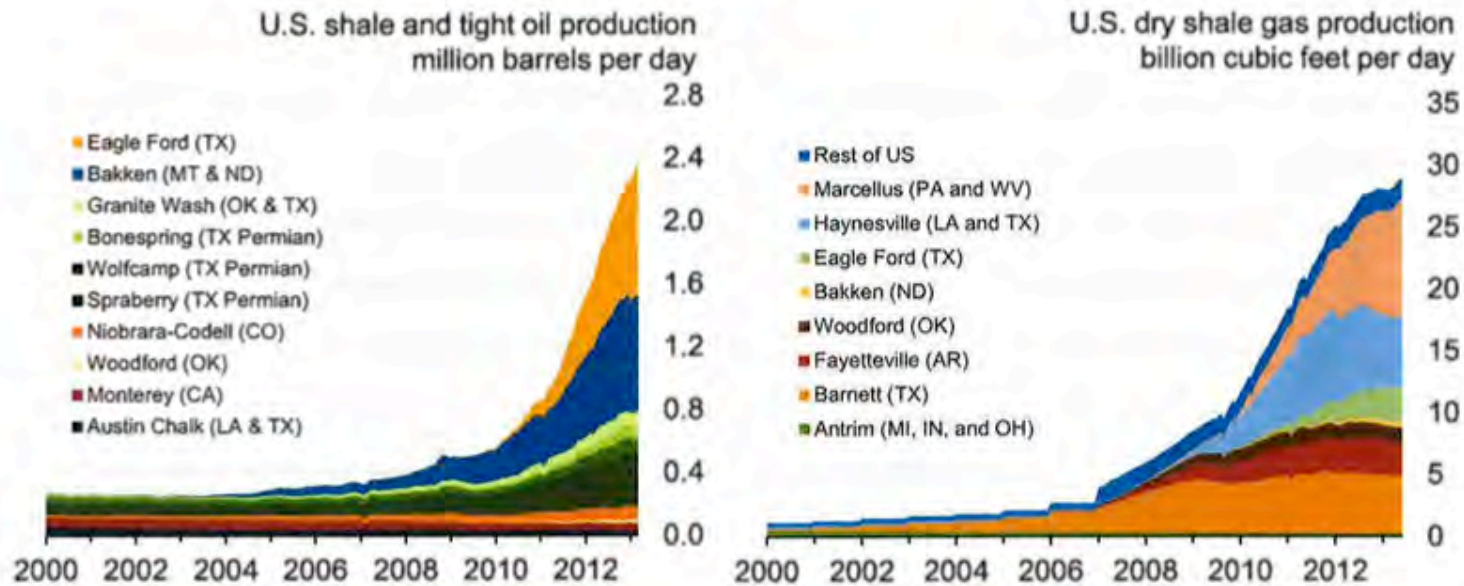




By end of decade, up to 10% of tight oil production could come from outside North America



The U.S. has experienced a rapid increase in natural gas and oil production from shale and other tight resources



Note: Dry shale gas production data are based on LCI Energy Insight gross withdrawal estimates as of June 2013, converted to dry production estimates with EIA-calculated average gross-to-dry shrinkage factors by state and/or shale play.

Source: EIA based on DrillingInfo and LCI Energy Insight



Adam Sieminski, IAEE/AEA
January 4, 2014





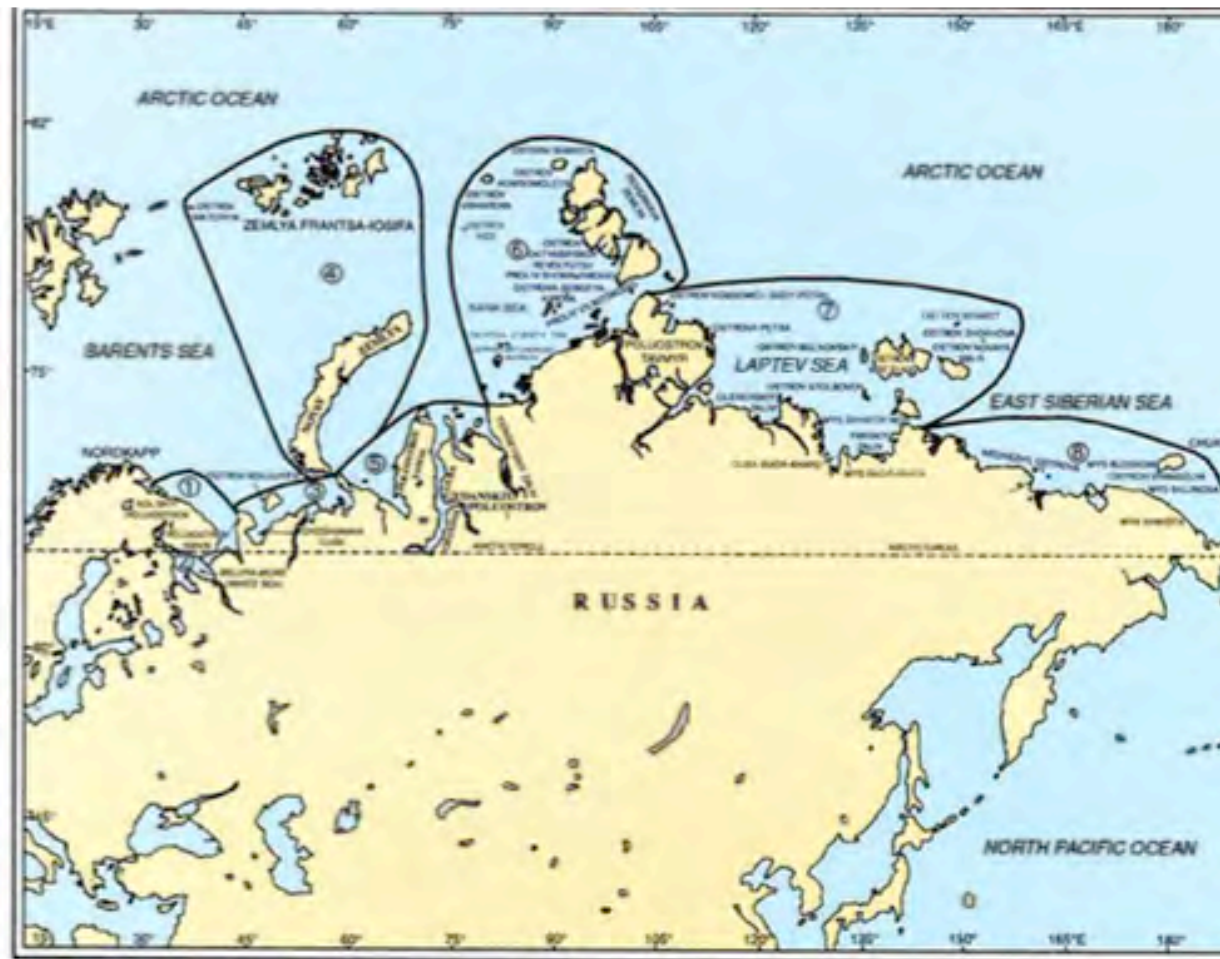
Les frontières dans l'Arctique

- | | | | |
|-------|-------------------------------------|-------|--|
| — | Frontières reconnues | - - - | Limite des 200 miles (Zone économique exc) |
| | Limites équidistantes | | Limite minimale de la b |
| ■ | Revendications territoriales russes | | |

< >

Carte topographique de l'Arctique

[Plus de détails](#)



SECTOR LIMITS—PUB. 183



Adéquation entre l'offre et la demande

- Selon l'AIE, les volumes récupérables de pétrole encore présent dans les gisements sont largement suffisants **pour satisfaire la demande mondiale d'ici à 2040.**
- Sur les quatre semestres de 2014, la production pétrolière mondiale a systématiquement excédé la consommation de 0,5 à 1 Mb/j. Les anticipations d'évolution de l'offre et de la demande pour 2015 mettaient en évidence un excédent de brut dépassant 2 Mb/j pour les deux premiers trimestres et restant supérieur à 1 Mb/j sur le deuxième semestre. **Depuis 2010, la production des pays non-OPEP s'est accrue deux fois plus vite que celle des pays OPEP.** Elle est principalement tirée par le développement des LTO (Light Tight Oil) aux Etats-Unis, dont la production est supérieure à 4,5 Mb/j sur l'ensemble de 2014 et atteint même 5 Mb/j en 2015. (entretien avec Olivier Appert, Président de l'Ifpen, février 2015).

Adéquation entre l'offre et la demande (suite)

- Au-delà de 2015, et une fois que les excédents seront réduits, l'équilibre du marché dépendra, dans un premier temps, de la capacité OPEP et des LTO (Light Tight Oil) à répondre tendanciellement à l'accroissement de la demande. Si tel est le cas, le prix sera celui qui permet de produire les LTO. Il était estimé à 80 \$/b, mais des réductions significatives des coûts sont probables comme on a pu l'observer pour le gaz de schiste via des forages plus performants et une hausse de la productivité des puits de production. Ce coût définira le prix d'équilibre du marché qui pourrait se situer entre 50 et 70 \$/b selon un communiqué de presse de Ifpen du 16 février 2015. Ensuite le prix continuerait de croître, comme le prédit l'EIA.

Adéquation entre l'offre et la demande (suite)

- Selon le « New Policies Scenario » de l'AIE » la demande à long terme serait satisfaite essentiellement grâce au Moyen-Orient, compte tenu de la décroissance de la production US à partir de 2020/2025, de celle de l'Europe, d'une croissance aléatoire en Russie et de la faible croissance en Amérique du Sud.

Figure ES1. North Sea Brent crude oil spot prices in four cases, 2005-40 (2013 dollars per barrel)

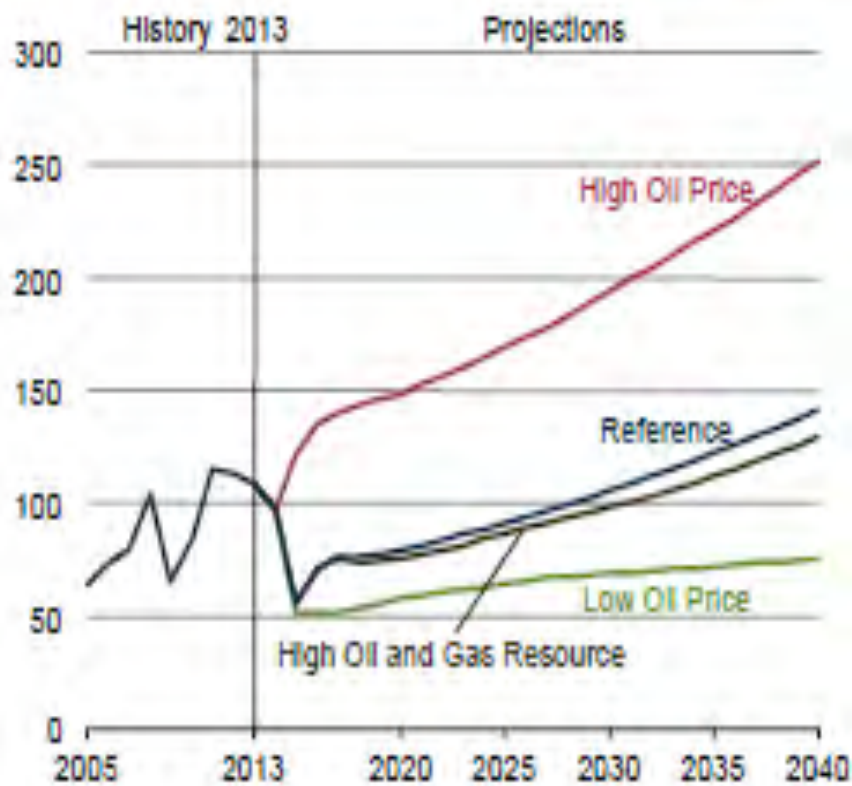
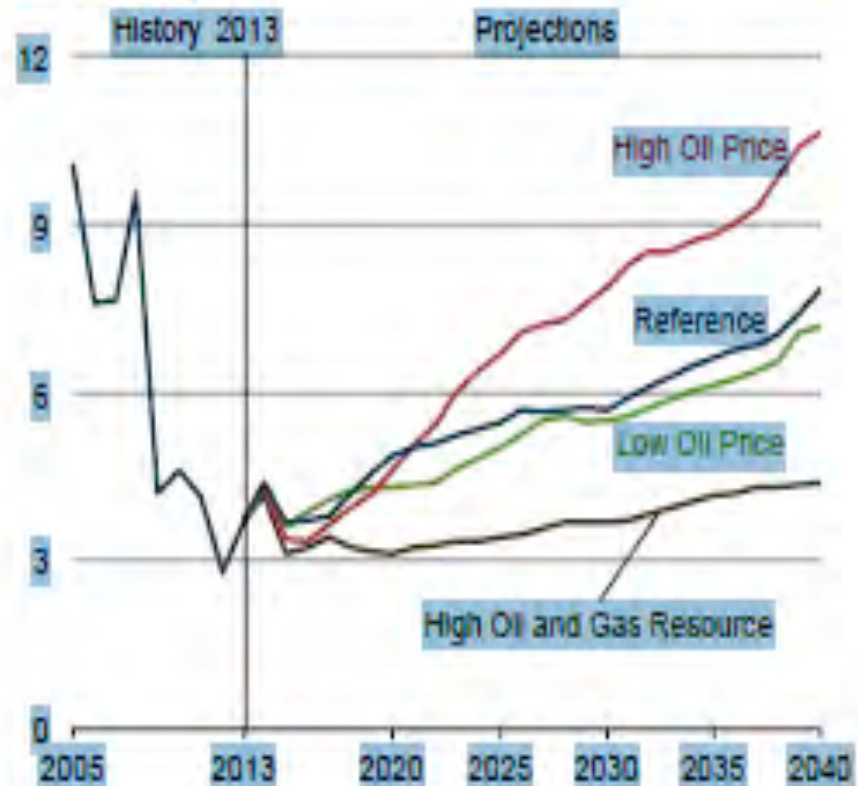


Figure ES2. Average Henry Hub spot prices for natural gas in four cases, 2005-40 (2013 dollars per million Btu)



ES-2

U.S. Energy Information Administration | Annual Energy Outlook 2015

Facteurs ayant un impact sur l'équilibre entre offre et demande

- Le prix de marché du pétrole
- La technologie
- Les réglementations
- La stabilité ou l'instabilité politique des pays producteurs
- La carence d'infrastructures adéquates
- Les prises de position de la société civile et des médias
- Les attaques terroristes et les sabotages d'envergure

Le GAZ

- L'AIE estime que les réserves prouvées de gaz conventionnel s'élèvent à 190 trillions de mètres cubes [187,6 Tm³, BP2014] soit environ 56 fois la production globale actuelle.
- Les ressources de gaz non-conventionnel sont surtout abondantes en Amérique du Nord et dans une moindre mesure en Asie.
- **L'IFP (Institut Français du Pétrole) estime que les réserves de gaz en Arctique représentent environ le quart des réserves mondiales de gaz conventionnel.** La grande partie de ces réserves se trouve en zone économique exclusive russe.
- Les trois réserves prouvées de gaz (conventionnel et non-conventionnel) les plus grandes dans le monde se trouvent en Russie (environ 47 trillions de m³), en Iran (environ 34 trillions m³) et au Qatar (environ 26 trillions de m³).

DEMANDE

- Elle était de 3347 milliards (3,35 trillions) de m³ en 2013, en légère augmentation par rapport à 2012. Elle devrait atteindre 4,4 trillions de m³ en 2030 et 5,2 trillions de m³ en 2035 (BP statistical review of world energy, June 2014).
- Le gaz naturel représentait, en 2013, environ 20% de la consommation d'énergie primaire et atteindrait un peu moins du quart de celle-ci en 2035 (AIE, WEO 2013, Nouvelles Politiques).
- **Pour l'ensemble des pays OCDE, la demande de gaz dépassera celle de pétrole d'ici à 2035. Le secteur électrique en est le principal consommateur. En dehors de l'OCDE, le gaz n'occupe, actuellement, que la troisième place derrière le charbon et le pétrole. L'industrie en est le principal utilisateur.**
- La consommation américaine de gaz naturel, de 880 Gm³ en 2013, continuera de croître à l'avenir, quoique à un rythme moindre, pour atteindre près de 1 Tm³ en 2040 (EIA outlook, 2014), en raison du bas prix du gaz.
- L'Europe importe la moitié de sa consommation de gaz, principalement de la Russie, de l'Algérie et du Qatar. Plus du quart du gaz consommé provient de Russie.

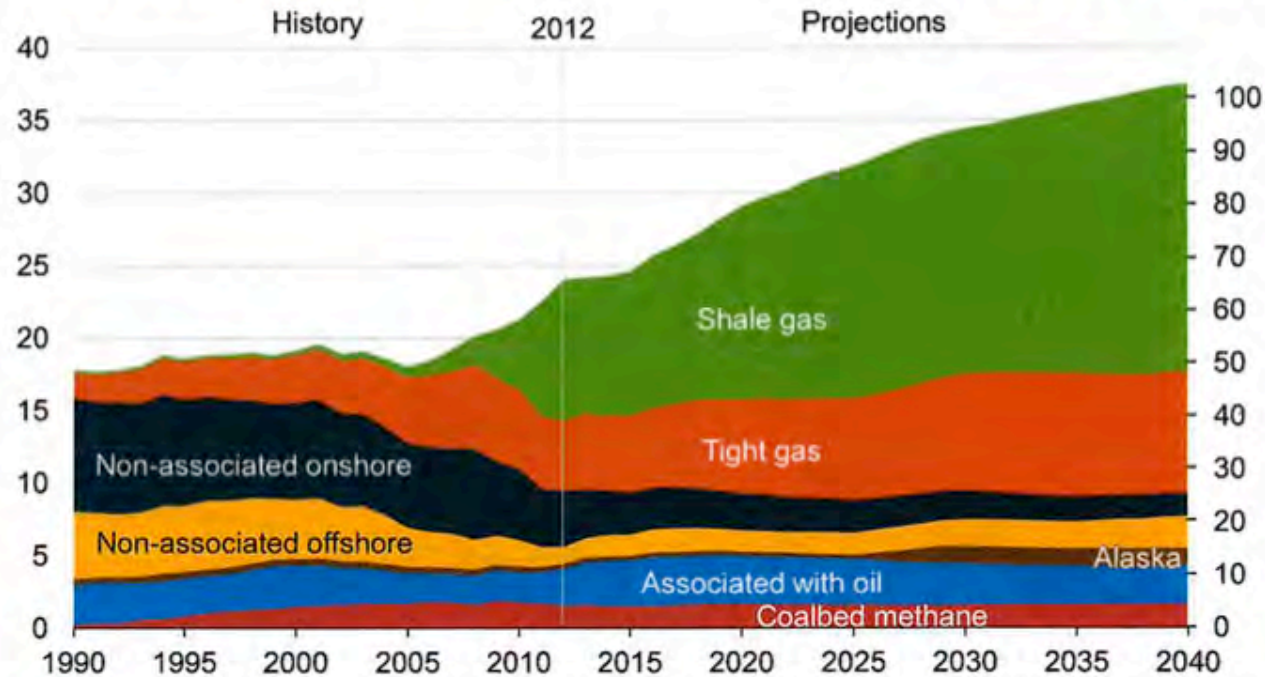
PRODUCTION

- La production mondiale de gaz fut de 3,370 trillions de m³ en 2013, en légère augmentation par rapport à 2012 (BP statistical review of world energy, June 2014). **Elle ne cesse d'augmenter et atteindrait près de 5,2 trillions de m³ en 2035.** La plus large part de cette croissance est assurée par les pays non-OCDE. La contribution des pays de l'OCDE ne continue de croître que grâce au gaz non-conventionnel, essentiellement américain pour l'instant.
- Tant les agences telles que l'Energy Information Agency et l'Agence Internationale de l'Energie que les pétroliers annoncent une croissance continue de la production de gaz non-conventionnel d'ici à 2035/2040. BP estime qu'en 2035, la production de ce gaz s'élèvera à 24% de la production mondiale de gaz naturel
- **En Europe, le développement de gaz non-conventionnel est incertain.** Quelques pays l'ont banni tels que la France et la Bulgarie. Dans d'autres, l'exploitation de ce type de gaz naturel est reporté à la suite de la contestation de groupes de pression anti-fracturation hydraulique et/ou des normes particulièrement strictes. Dans les pays qui y sont favorables, son développement en est encore au stade de la prospection.

Shale gas leads growth in total gas production through 2040 to reach half of U.S. output

U.S. dry natural gas production
trillion cubic feet

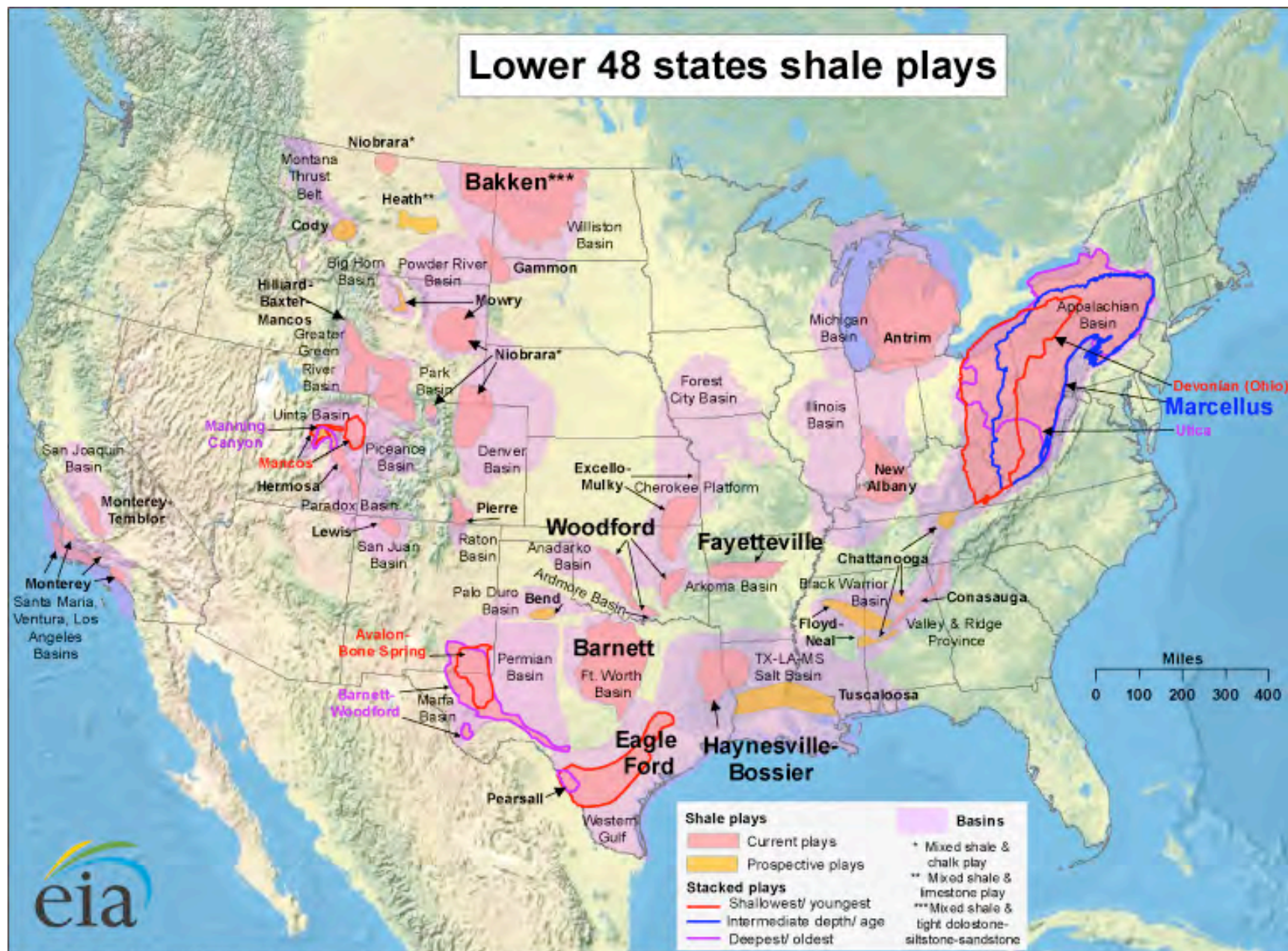
billion cubic feet per day



Source: EIA, Annual Energy Outlook 2014 Early Release



Adam Sieminski, IAEE/AEA
January 4, 2014



Source: Energy Information Administration based on data from various published studies.
Updated: May 9, 2011

Major unconventional natural gas resources in Europe

Source –OECD/IEA 2012



Adéquation entre offre et demande

- Tant les rapports de l'Energy Information Agency que de l'Agence Internationale de l'Energie montrent que d'ici à 2040, la demande mondiale de gaz sera satisfaite par les réserves connues à ce jour.
- Les gisements de gaz (conventionnel et non-conventionnel) non encore exploités, ou dont l'exploitation est prolongée par refracturation, découverts ou non-évalués (tels que les hydrates de méthane, méthane piégé dans une structure de glace sous le fond marin ou dans le permafrost), ceux de l'Arctique ainsi que ceux en eau profonde suggèrent que la production de gaz répondra à la consommation mondiale plusieurs décennies au de-là de 2040 pour autant que les prix le permettent.
- **A l'échelle mondiale, le GNL est appelé à jouer un rôle croissant.** Au total, actuellement, la part de la consommation mondiale importée par tuyau et par bateau (GNL) s'élève à 34% dont 15% pour le GNL. L'option la plus sûre pour la fourniture de gaz vers l'Europe dans les prochaines années, est encore le transport par bateau vu que de nombreux pays producteurs, susceptibles d'exporter par tuyau leur gaz vers l'Europe, posent problème d'un point de vue politique et/ou économique,
- Il est bon de rappeler que l'adéquation en question dépend d'un certain nombre de facteurs dont quelques uns sont passés en revue ci-après.

FACTEURS AYANT UN IMPACT SUR L'EQUILIBRE ENTRE OFFRE ET DEMANDE

Le prix

- Malgré un prix spot (Henri Hub) tournant autour de 3 dollars/MBtu et la diminution du nombre de plateformes de forage et d'exploitation en activité qui en sont la conséquence, **la production de gaz naturel , aux Etats -Unis, a augmenté jusqu'en décembre 2014 et s'est stabilisée depuis lors.** L'EIA prévoit, néanmoins, qu'elle sera plus élevée en 2015 par rapport à 2014. Une analyse de 300 entreprises pétrolières et gazières indépendantes a montré que, durant le premier trimestre 2015, 2/3 d'entre elles ont présenté des bilans équilibrés avec des dettes ne dépassant pas les fonds propres.
- L'industrie américaine productrice de gaz non conventionnel pourra-t-elle s'accommoder longtemps encore de ce marché déprimé? Au fur et à mesure que les « sweet spots » s'épuisent, ils seront remplacés par des gisements moins accessibles et moins homogènes ce qui augment les coûts.
- **Des prix de 5 à 7 \$/MBtu seraient de nature à assurer une rentabilité suffisante pour les gisements américains de gaz non-conventionnel.**

- ***La technologie***

- Des cartes sismiques 3D, établies à partir **d'un système de relevés par technique micro-sismique combiné à une imagerie à haute définition**, permettent de cibler les couches rentables avec une probabilité de 85%. Ceci conduit à une diminution du nombre de forages d'exploration ainsi que de l'efficacité de l'exploitation et partant du coût.
- Une économie substantielle dans l'exploitation offshore est obtenue par une technologie grâce à laquelle la profondeur de la **couche d'eau devient sans importance**, c.à.d. que tout se passe comme si la plateforme de forage se trouvait sur le lit de la mer (« Optimization of well performance by dual gradient drilling » P. Sartharishi, Pandit Deondyal Petroleum University, 9th Biennial International Conference, Hyderabad, 2012).
- L'augmentation de la rentabilité d'un gisement (ou d'une portion de celui-ci) peut être obtenue grâce à la **refracturation** c.à.d. en fracturant des zones qui ont échappé à la première fracturation ou qui n'ont pas été complètement fracturées. Halliburton et Schlumberger sont en train de mettre au point des techniques d'identification et des appareils nécessaires à cette fin.

- ***Les groupes de pression***

- Les revendications des opposants à la fracturation hydraulique, essentiellement issus des milieux écologiques, se focalisent surtout sur les dommages qu'ils considèrent comme nuisibles à l'environnement, au climat et à la santé, entre autres:
 - contamination de la nappe phréatique;
 - stress hydrique;
 - tremblement de terre;
 - dégagement de méthane;
 - nuisance sonore.
- Les manifestations anti-fracturation hydraulique, souvent peu voire pas fondées, retardent le développement des projets d'exploitation de gaz de roche-mère et coûtent très cher aux investisseurs. Le pragmatisme finira-t-il par l'emporter en Europe?.

- ***Le transport***

- Des infrastructures adéquates sont essentielles au développement de la production de gaz
- C'est dans cette optique qu'aux Etats-Unis, par exemple, la FERG (Federal Energy Regulatory Commission) a autorisé l'accroissement de capacité ainsi que de nouveaux projets de transport de gaz. Toutefois, le Président Obama a rejeté le projet XL Keystone.
- En Europe, le développement rapide des marchés de gaz n'a pas été accompagné par une réglementation transnationale. Il en résulte un déficit d'investissements dans les liaisons transfrontalières pour lesquelles il est difficile de réunir des fonds. D'où l'importance de projets d'intérêt commun de la Commission européenne et du rôle de ACER, plateforme de coopération entre régulateurs.
- L'Union européenne s'efforce de diversifier ses sources ainsi que ses routes d'approvisionnement. Pour réaliser ses objectifs, elle a entamé des négociations avec des producteurs voire des pays producteurs autres que ses fournisseurs traditionnels et a promu des projets de tuyaux alternatifs tels que TANAP, traversant la Turquie, et TAP.

CONCLUSIONS

- La demande moyenne de combustibles liquides, dans la zone OCDE, est décroissante depuis plusieurs années en raison d'une faible croissance économique, de l'amélioration continue des rendements énergétique, de choix politiques etc.
- En dehors de l'OCDE, cette demande continuera de croître, au moins durant les deux décennies à venir, même si cette augmentation s'est ralentie, entre autres, en Chine, en Inde et au Brésil.
- Au-delà de 2040, il est vraisemblable que la demande globale d'hydrocarbures liquides se tassera vu l'effet compensatoire des progrès technologiques, des moyens de transport de substitution, etc.

- Pour ce qui concerne la production de combustibles liquides, la plupart des études indiquent qu'il ne devrait pas y avoir de difficultés à satisfaire la demande d'ici à 2040 à partir des réserves connues à ce jour.
- Au-delà, les gisements non exploités quoique connus, ceux qui sont devenus exploitables économiquement grâce à une technologie plus performante, la production accrue des liquides de gaz (qui, déjà en 2040, représenterait près de 20% de la fourniture pétrolière totale) ainsi que celle de pétrole non-conventionnel, devraient permettre d'assurer l'adéquation entre offre et demande pour quelques décennies supplémentaires.
- Un certain nombre de facteurs sont susceptibles d'avoir un impact sur l'équilibre entre consommation et production. Outre les prix du marché déjà cités, l'instabilité politique des pays producteurs, les conflits armés affectant ceux-ci, des sanctions économiques à l'encontre de certains d'entre eux, des réglementations excessives, des moyens de transport déficients voire lacunaires sont autant de paramètres de nature à le perturber.

- Quant au gaz naturel, il est une source d'énergie dont les réserves sont mieux distribuées mondialement que ne sont celles du pétrole.
- **Il y a un consensus parmi les instituts de recherche et les pétroliers pour estimer que la demande de gaz naturel ne cessera de croître durant les deux décennies à venir. Cette croissance est dominée par des pays en dehors de l'OCDE.**
- **L'adéquation entre l'offre et la demande ne devrait pas poser problème avant longtemps .**
- En effet, les réserves mondiales de gaz conventionnel connues et non encore exploitées ou dont l'exploitation serait prolongée par refracturation par exemple, les gisements (conventionnels ou non) non découverts ou non évalués, ceux de l'Arctique (dont 60% se trouvent en zone russe) qui représenteraient 30% des réserves mondiales de gaz selon US Geological Survey ainsi que ceux en eau profonde, suggèrent que la production de gaz pourrait satisfaire la consommation mondiale de nombreuses décennies au-delà de 2040.

- A nouveau, la croissance de la production est surtout assurée par des pays en dehors de l'OCDE.
- Dans les pays OCDE, la production de gaz non-conventionnel est quasi la seule à connaître une forte croissance. Elle est concentrée, actuellement, en Amérique du Nord qui contribuera encore pour les trois-quarts de la production de ce type de gaz en 2035, selon BP.
- En dehors de cette région, c'est la Chine qui est le pays le plus prometteur en gaz non conventionnel même si les résultats d'exploration ne sont pas, à l'heure actuelle, à la hauteur des attentes.
- En 2035, la Chine et l'Amérique du Nord contribueraient à la production globale de gaz non conventionnel à hauteur de 85%, ce qui représenterait, à cette échéance, environ 20% de la production mondiale de gaz (BP). En Europe, par contre, le développement de l'exploitation de gaz non conventionnel est incertain.

TRES SIMPLIFIE

