

# LECON 4 - 2015

## LA FORMATION DES HYDROCARBURES

### LES RESERVES

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

de la chaleur ( $T^\circ = 10^\circ - 100^\circ$ )  
du temps (géologique =  $10^7$  Ma)

ensuite seulement  
- si tout va bien -  
un piège

cela fonctionne grâce à la  
subsidence

(pression + gradient géothermique)

## DIAGENESE de la M.O.

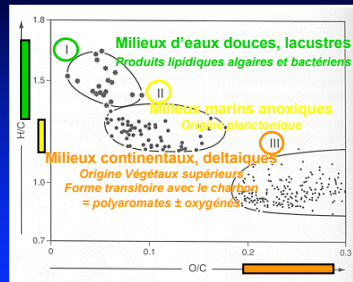
Les substances organiques sont plus fragiles et plus instables que les composés minéraux, et leurs transformations sont importantes dès la période de diagenèse

C'est au cours de ces mutations **postérieures** au dépôt que le kérogène donne naissance au pétrole et au gaz

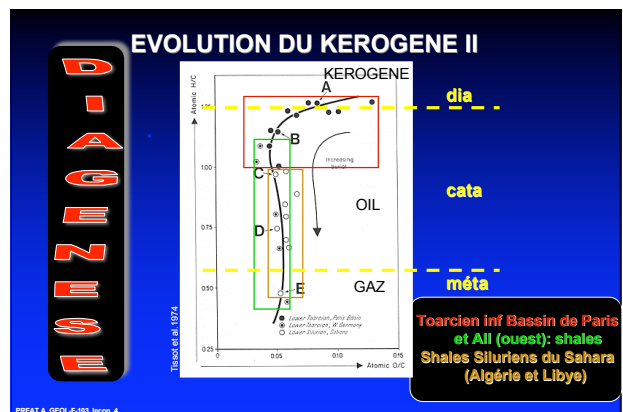
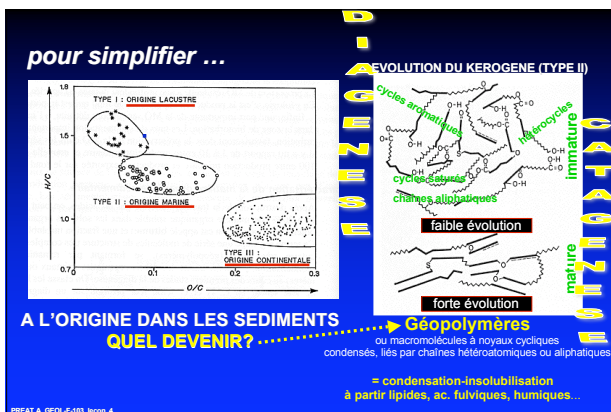
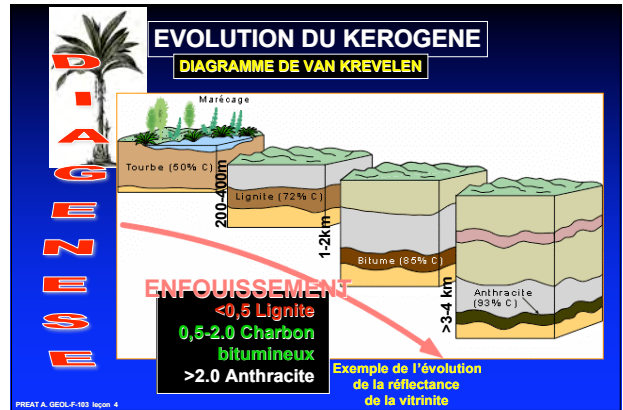
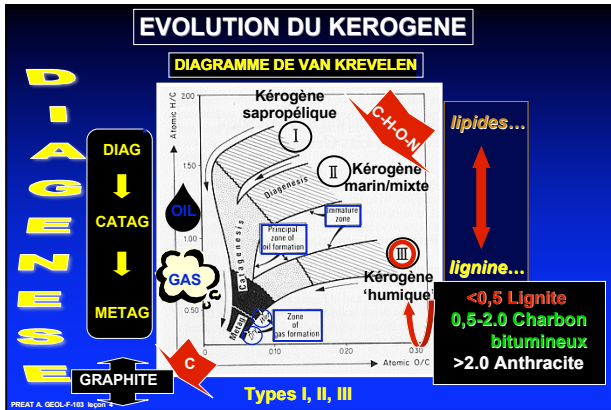
Ces réarrangements tendent vers un degré d'ordre plus élevé et un produit plus stable, les structures les plus désordonnées sont éliminées, **les radicaux séparés** donnent du  $CO_2$ , de l' $H_2S$  et de l'eau

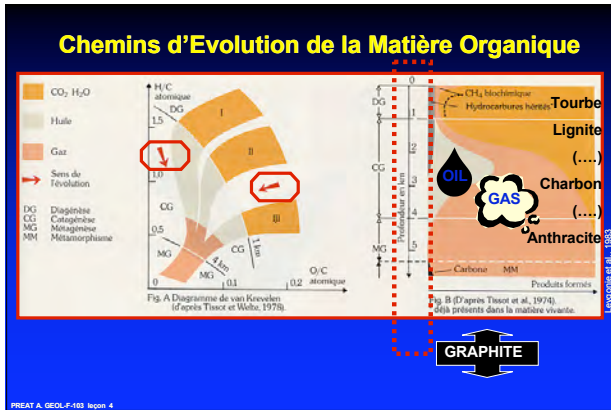
Le produit final est enrichi en C, appauvri en H et O  
= **diagramme d'évolution du kérogène de Van Krevelen**

## A L'ORIGINE DANS LES SEDIMENTS



## EVOLUTION DU KEROGENE





### EVOLUTION DU KEROGENE

les kérogènes anciens se ramènent à trois types définis par leurs chemins d'évolution

D  
I  
A  
G  
E  
N  
E  
S

**TYPE I** membranes lipidiques, cuticules d'algues, pigments peu dégradés eau douce saumâtre

**TYPE II** macromolécules de 're-synthèse': sucres, et acides aminés agglomérés au hasard milieu marin

**TYPE III** débris ligneux, tannins, lignine non dégradés milieu continental

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

### EVOLUTION DU KEROGENE

D  
I  
A  
G  
E  
N  
E  
S

**TYPE I** rapport H/C élevé (>1,5) et O/C faible (<0,1) surtout lipides algaires (*Botryococcus...*) très prolifique en pétrole  
ex: schistes bitumineux de Green River (Eoc)

**TYPE II** fréquent, ex des milieux marins confinés rapport H/C assez élevé et O/C assez bas chaînes aliphatiques et cycles naphthéniques et aromatiques, souvent avec soufre

**TYPE III** provient des Végétaux sup continentaux groupes polyaromatiques condensés H/C faible, O/C élevé faible rendement: 5X moins que type II surtout gaz + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

### KEROGENES I, II et III

les kérogènes anciens se ramènent à trois types définis par leurs chemins d'évolution

	Environnement Principal	Rendement Habituel
TYPE I	lacustre	excellent
TYPE II	marin	bon
TYPE III	continental	médiocre

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

**première CONCLUSION**

R Source  
=  
CONDITION  
NECESSAIRE

mais  
pas  
...

**SUFFISANTE**

**MORALITE**

TRANSPORTER

VIE

GÉO-À LA BIODEGRADATION TU LA VIE TU EN FES PAS! PAS DE PROBLÈME! VIVANT!

PÉTROLE C'EST LE SEUL LIQUIDE NON MÉTALLIQUE EN MATIÈRE ORGANIQUE.

VIE

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

**DU KEROGENE AU PETROLE...**

la M.O. [=le kérogène] 's'enfonce' suite à la subsidence...  
**PAS TRES VITE** = de 0,005 à un MAX de 0,5 mm/an  
soit entre 5 m et 500 m par million d'années

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

suivons 'pas à pas' cet enfouissement

- de -3 à -10m: milieu 'abiotique'
- en qq 10'm le kérogène perd tout son azote sous forme de NH<sub>3</sub>
- ensuite le sédiment s'enfonce de plus en plus
- la pression augmente, le sédiment compacté devient imperméable
- l'eau interstitielle est expulsée, une faible partie reste dans les pores
- la température augmente doucement

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

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

**DU KEROGENE AU PETROLE...**

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

- -600 m, 41°C 'chaleur douce'
- le kérogène se décompose, le CO<sub>2</sub> s'en va (décarboxylation), l'H<sub>2</sub>O s'en va (déshydratation)...
- le sédiment s'enfonce de plus en plus
- la température augmente suite au gradient géothermique =1°C tous les 30 à 40 m environ

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

**= FENETRE A HUILE**

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

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

**DU KEROGENE AU PETROLE...**

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

**= FENETRE A HUILE**

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

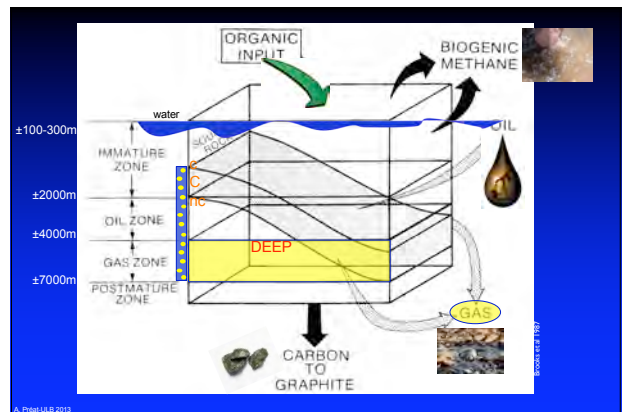
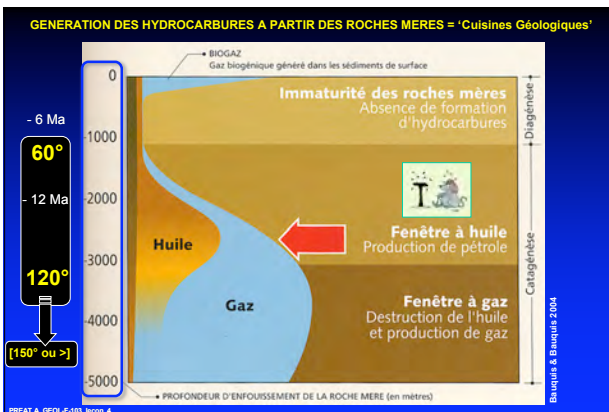
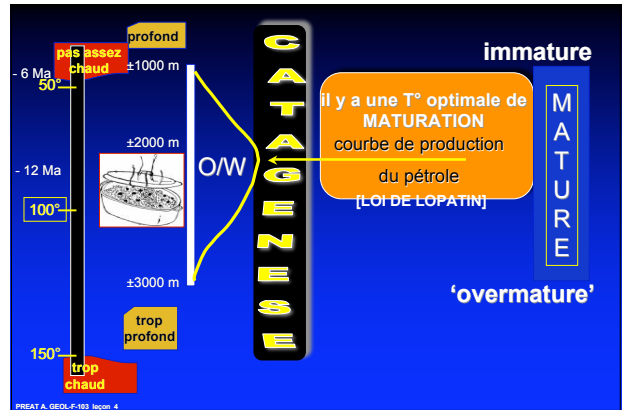
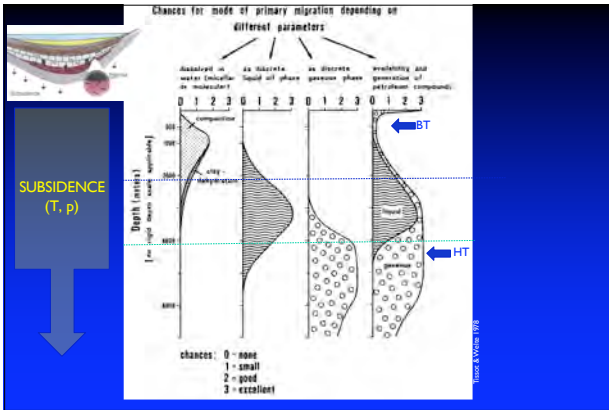
c'est la CATAGENESE cad ...

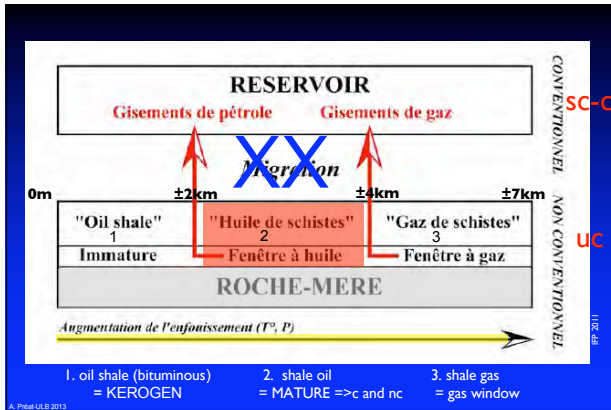
**...la formation du PETROLE**  
le 'jus' de kérogène mûre et donne donc le pétrole

**= FENETRE A GAZ**

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

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4





**CATAGENÈSE**

en résumé

- 1 la catagenèse = réaction 'abiotique' opérant entre 50°-150°C soit entre 1 et 3 km de profondeur
- 2 suite aux fortes T, p, les HC sont 'craqués' en chaînes plus courtes (=paraffines avec perte de l'hydrogène et développement des structures aromatiques)
- 3 les kérogènes sapropéliques donnent l'huile et bcp de H<sub>2</sub>S suite à la réduction sulfatée (origine = sédiments marins)
- 4 les kérogènes humiques donnent le charbon et bcp de CO<sub>2</sub> (origine = M.O. terrestre avec plus forte oxydation)

**les huiles formées sont ainsi en C<sub>18</sub>-C<sub>40</sub>**

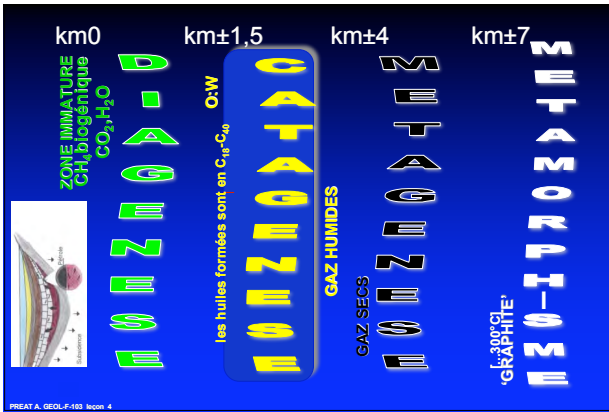
PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

en résumé .... (suite)

- a. il faut des 10' [bassins très subsidants] à 100' Ma [provinces de plate-forme] pour que le processus soit effectif,
- b. à plus grande profondeur, une zone de genèse de gaz secs -méthane- succède aux gaz humides,
- c. à plus grande profondeur encore [300°C...], on entre dans le domaine du métamorphisme et les HC s'aromatisent de plus en plus jusqu'à devenir du 'GRAPHITE' ou 'carbone pur'

**métamorphisme**

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4



**Migration primaire**  
**Migration secondaire**  
 et RR ...

durée

température

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

*bien souvent, cela débute...*

Migration primaire  
 Migration secondaire  
 et RR ...

... par des suilements naturels d'hydrocarbures

nappe

microfracture

... par des 'oil shows'

carottes de forage

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

**IL FAUT DES ROCHES RESERVOIRS**  
 conventionnel vs non conventionnel

Permeability	Pervious	Semi-Pervious	Impervious			
Unconsolidated Sand & Gravel	Well Sorted Gravel	Well Sorted Sand or Sand & Gravel	Very Fine Sand, Silt, Loess, Loam			
Unconsolidated Clay & Organic	Peat		Layered Clay	Unweathered Clay		
Consolidated Rocks	Highly Fractured Rocks	Oil Reservoir Rocks	Fresh Sandstone	Fresh Limestone, Dolomite	Fresh Granite	
$k$ (cm <sup>2</sup> )	0.001 0.0001	10 <sup>-5</sup> 10 <sup>-6</sup> 10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup> 10 <sup>-9</sup> 10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-11</sup> 10 <sup>-12</sup> 10 <sup>-13</sup>	10 <sup>-14</sup> 10 <sup>-15</sup>	
$k$ (millidarcy)	10 <sup>+8</sup> 10 <sup>+7</sup>	10 <sup>+6</sup> 10 <sup>+5</sup>	10,000 1,000 100	10 1	0.1 0.01 0.001 0.0001	

Source: modified from Bear, 1972

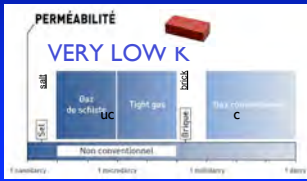
'FRACKING': we must create permeability  
 Marcellus Shale (PA, Dev) northeastern USA 140,000 km<sup>2</sup>  
 matrix porosity 0.5-5% ⇒ fracture porosity 2-7%  
 permeability: 10<sup>-12</sup>-10<sup>-13</sup> cm<sup>2</sup> (seal) ⇒ increase of 1 to 7 orders of magnitude ⇒ 10<sup>-4</sup> cm<sup>2</sup>

A. Preat-ULB 2013

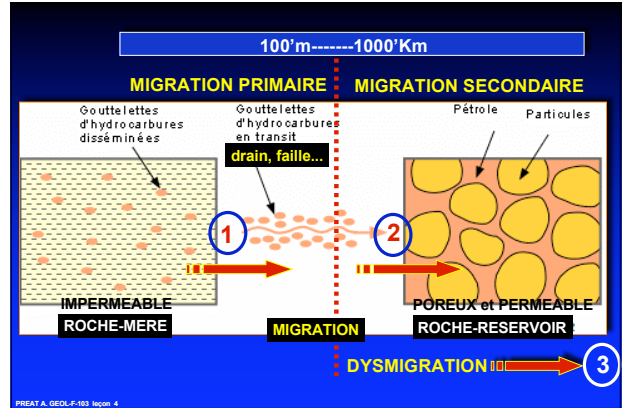
## SHALE GAS

These are THE GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE ROCK that distinguish 'conventional' and unconventional' gas AND NOT their chemical nature, because it is in all cases natural gas (mostly methane).

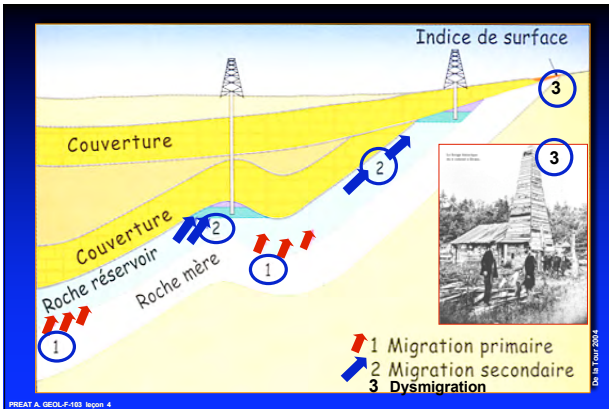
The quality of a reservoir rock is characterized by its porosity and permeability. The unconventional gas reservoirs are also the source rocks ('virtually no porosity', 'no K' => large gas volumes NOT connected in ultra-compact rocks.



A. Piret-UEB 2013



PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4



PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4



PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4





### A QUOI RESSEMBLE UN RESERVOIR (RR)

PHI-K, diamètre grains de qq10'-100'µm ou >  
 40-50% = Carbonates (C+D)  
 50-60% = Grès-Sables

L'huile DOIT 'passer' entre les 'grains' ET l'eau qui les entoure  
 HUILE RED vs IR et EAU RED vs IR: conditions naturelles: ± 15%

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

### A QUOI RESSEMBLE UN RESERVOIR (RR)

PHI-K, diamètre grains de qq10'-100'µm ou >  
 40-50% = Carbonates (C+D)  
 50-60% = Grès-Sables

L'huile DOIT 'passer' entre les 'grains' ET l'eau qui les entoure  
 HUILE RED vs IR et EAU RED vs IR: conditions naturelles: ± 15%

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

### Réservoir Gréseux (= Sandstone)

Bonne Porosité = Beaucoup d'Espace pour le Pétrole

- Injection Résines
- Solutions Ba<sup>2+</sup>+RX
- Analyse Image
- Plugs (Purcell...)
- Porosimètre
- Perméamètre
- Diagraphies
- Tomographie

Porosité (10-30%) - Perméabilité - Saturation Eau-Oil-Gaz - Saturation irréductible etc.

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

### Réservoir 'Sandstone'

Ciment Intergranulaire Réduit la Qualité

200 μm

Ciment Carbonaté (rose)

= Moins d'Espace pour le Pétrole

====> Classification des porosités....  
RR = hétérogène (diagenèse) = combinaison de porosités

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

### CRETACE

2cm

### NEOPROTEROZOIQUE = PRECAMBRIEN

1cm

FOU 0233

FOU 0232

5cm

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

### Unconventional Reservoir Shale

< 1μm - < 42 μm : clay, mud, silt

'FRACKING' : we must create perméability

Vertical no porosity/no permeability

A. PREAT 2013

### Forage

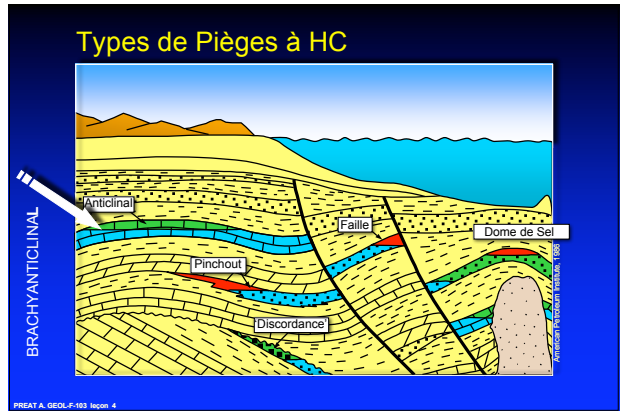
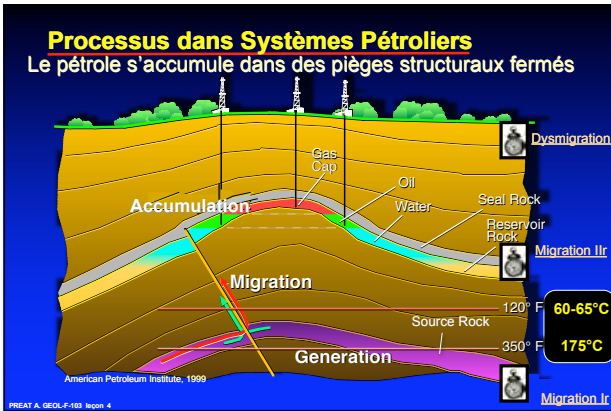
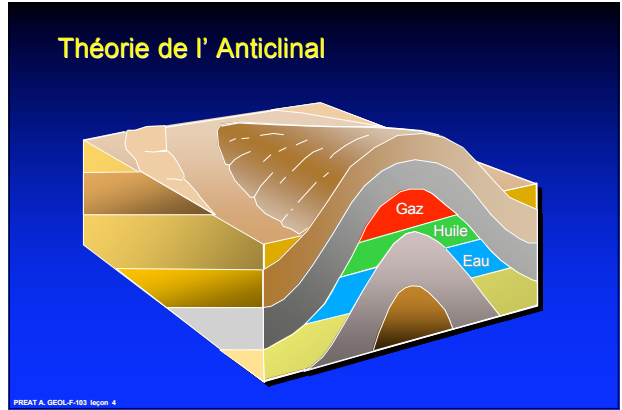
**Trépan**  
Rock Bit

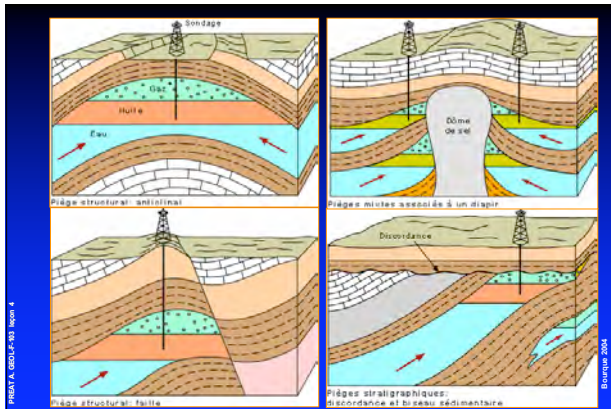
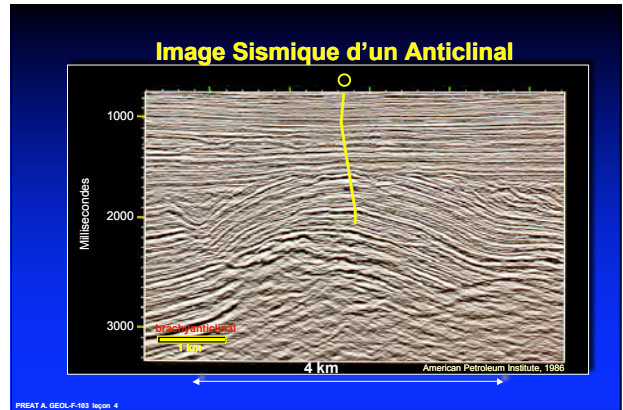
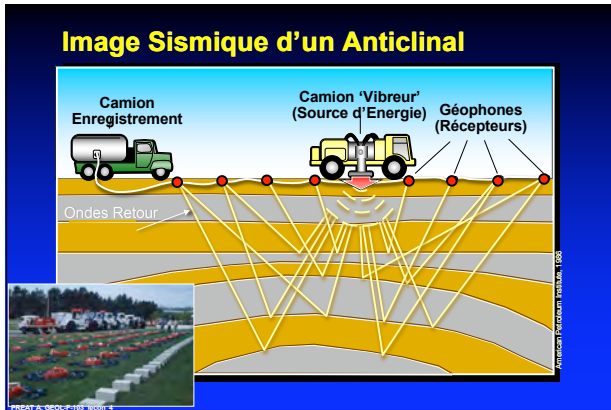
**Fragments de roche**  
Cuttings (mm-cm)

**Carottier (diamant)**  
Core (Diamond) Bit

**Carotte**  
Core

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4





### Pièges

> 75%

< 25%

- **Anticlinal** couches plissées en 'dôme'
- **Stratigraphique** variation de qualité (de bons réservoirs à mauvais réservoirs) suite aux changements latéraux de faciès, ou à la diagenèse, ou à l'érosion ('discordance'), ou à la géométrie ('pinch-out') ....
- **Failles** 'empruntées' lors de la migration secondaire (syn- postsédimentaire ...)

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

## Système Pétrolier : Le 'Timing' est Critique Processus des Systèmes Pétroliers

- **P, T suffisantes pour transformer matière organique en HC**
- **Migration** de la R Scé à la RR (migration secondaire)
- **Accumulation** La migration-accumulation doit être plus rapide que les 'fuites' (= 'dysmigrations') du piège
- **Préservation** Les hydrocarbures restent dans le réservoir et ne sont pas altérés par biodégradation ou le "water-washing"
- **'Timing'** Le piège se forme avant et pendant la migration des HC



PREAT A. GEOL-F-103 Slide 4

## Gisements d'huile et de gaz (échelle mondiale)

= bassins sédimentaires de bordure de plaques (ou anciennes bordures)



PREAT A. GEOL-F-103 Slide 4

## WORLD ATLAS OF OIL AND GAS BASINS



LI GUOYU  
2011

WILEY-BLACKWELL

Jusqu'à 2004 - 130 Gt produits (±15% de la ressource, le reste non exploré, non développé)

### World oil production forecast from 2001 to 3000 [Réserves 2004]

Period	Total number of years	Average oil production per annum (million)	Oil production of each period (billion)
2001-2100	100	3400	340
2101-2200	100	2000	200
2201-2300	100	1500	150
2301-2400	100	1000	100
2401-2500	100	500	50
2501-3000	500	300	150
Total			990

entre 811 et 1112 Gt

Continents	Sedimentary basins	Marine basins (deep marine)	Oil and gas basins (onshore)	Major oil and gas basins
Asia	375	136 (35)	80 (28)	24
Africa	95	42 (9)	25 (11)	3
Europe	44	50 (11)	30 (17)	13
Oceania	36	63 (12)	15 (9)	4
Latin America	123	72 (12)	45 (28)	11
North America	190	73 (20)	48 (19)	25
Antarctica	23	15 (9)	—	—
World Total	974	481 (108)	256 (95)	80

[±100 millions de km<sup>2</sup> (2/3 onshore, 1/3 offshore)  
2011: il n'y a que 203 sur 707 bassins pétroliers explorés à grande échelle!

En 2008 seules 12 régions pétrolières sur 90 ont un rôle important

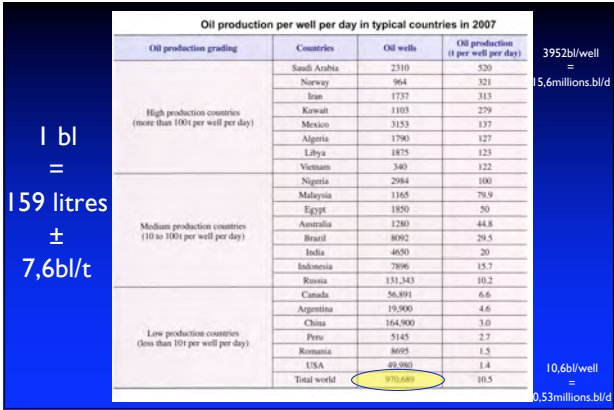
Elles produisaient > 100 millions de tonnes/an

1. Russie, 2. Arabie S, 3. USA, 4. Iran, 5. Chine, 6. Mexique, 7. Canada, 8. EAU, 9. Irak, 10. Venezuela, 11. Koweït, 12. Norvège

### Classification of 90 oil producers in the world in 2007 (by production)

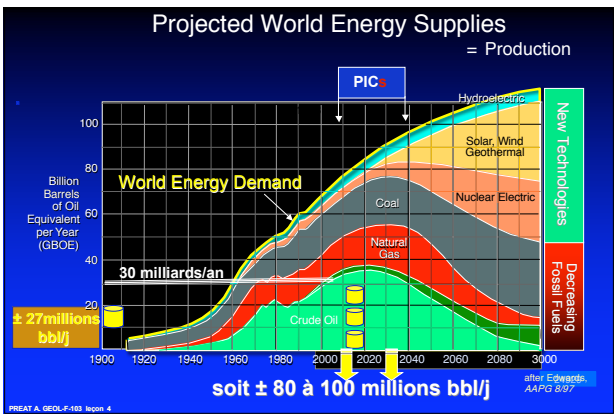
	Continents						Total
	Asia	Europe	Africa	South America	North America	Pacific region	
Total number of countries	48	45	56	13	23	14	199
Oil producers	31	23	17	9	7	3	90
>100 million (t)	6	2	1	1	5	—	13
50-100 million	—	1	3	1	—	—	5
30-50 million	6	1	1	1	—	—	9
10-30 million	5	1	4	2	—	1	13
5-10 million	4	1	1	1	1	—	7
1-5 million	4	7	6	1	1	2	22
0.1-1 million	4	8	1	2	1	—	16
<0.1 million	2	3	6	—	1	—	12

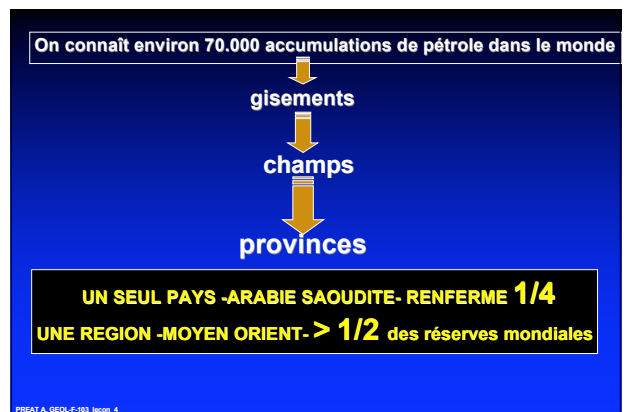
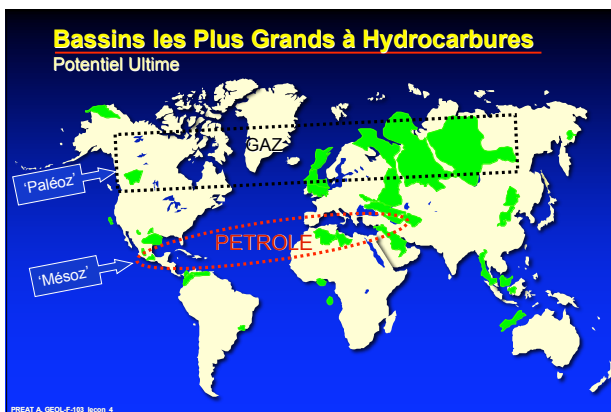
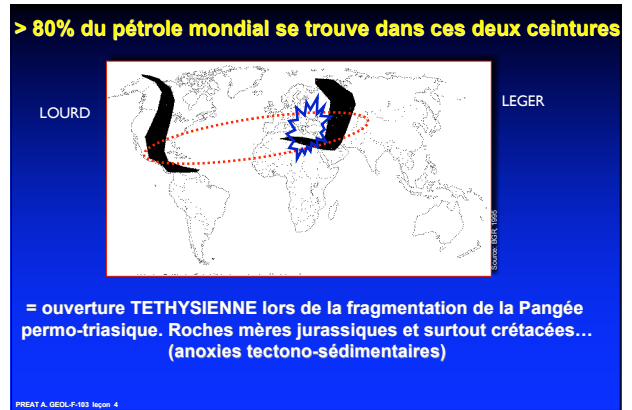
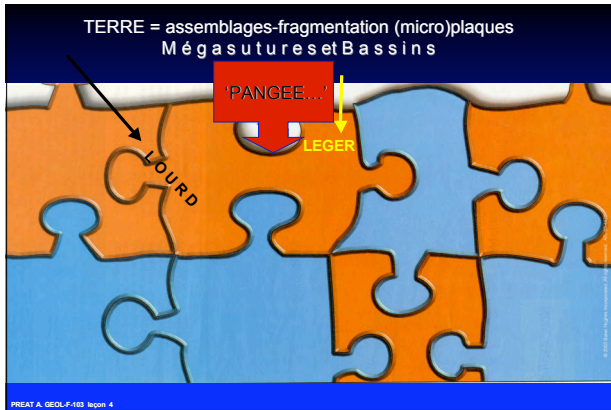
World Atlas of Oil And Gas Basins, First Edition, Li Guoyu.  
© 2011 John Wiley & Sons, Ltd. Published 2011 by John Wiley & Sons, Ltd.



**LES RESERVES DE D'ENERGIE ...**  
**et la 'géopolitique' ...**

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4





Provinces très riches: en moyenne  $\pm 73,000 \text{ bbl/km}^2$   
 Provinces riches: 1000 à 10.000 t d'huile/km<sup>2</sup>  
 Provinces pauvres: < 1000 t d'huile/km<sup>2</sup>

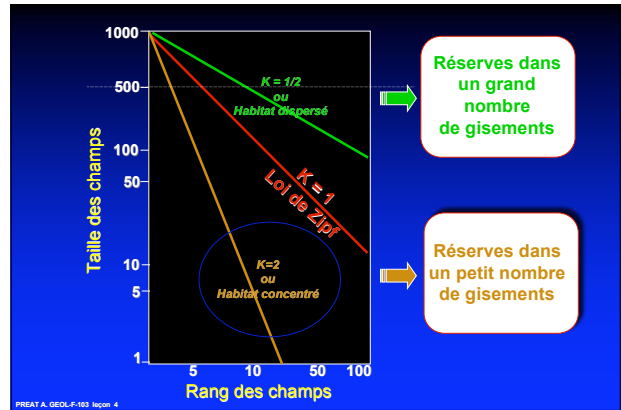
↓

**notion d'habitat**  
 c'est la répartition spatiale des gisements dans un bassin ou une province  
 Cette répartition n'est pas quelconque et obéit à la loi de Zipf

$G_n / G_{n-1} = [n-1/n]K$   $G$  = taille d'un gisement de rang  $n$  et  $K$  = constante  $\neq 1$

Si  $K=1$ , = loi log-normale: les gisements sont d'autant plus nombreux qu'ils sont petits  
 Si le premier champ a une valeur de 100,  
 le 2<sup>e</sup> équivaut à 50  
 Le 3<sup>e</sup> à 33,5  
 Le 4<sup>e</sup> à 25  
 Le 5<sup>e</sup> à 20 etc....

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4



## HABITAT CONCENTRE

**Habitat concentré:** l'essentiel des réserves se trouve rassemblé dans un très petit nombre de gisements, ceux-ci présentent donc de très grandes différences de taille = conditions structurales et/ou stratigraphiques très contrastées...

**Dans de tels bassins, le ou les 2 ou 3 plus grands champs peuvent concentrer >1/2 des réserves totales**

Ex:

- le Sahara algérien où le premier champ Hassi Messaoud cumule près de 80 % du total de l'huile et Hassi R'Mel >1/3 des réserves de gaz
- ...

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

On connaît environ 70.000 accumulations de pétrole dans le monde

↓

**<1% = 400 accumulations renferment 3/4 des réserves mondiales**

↓

les 5 + grandes de ces accumulations [dont 4 au Moyen-Orient] renferment 1/3 du total

↓

X5	<b>CHAMPS GEANTS</b> >70Mt = >500 M bbl	1	<b>CHAMPS MAJEURS</b> >14Mt = >100 M bbl
X20	<b>CHAMPS SUPER-GEANTS</b> >10 G bbl		X100

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

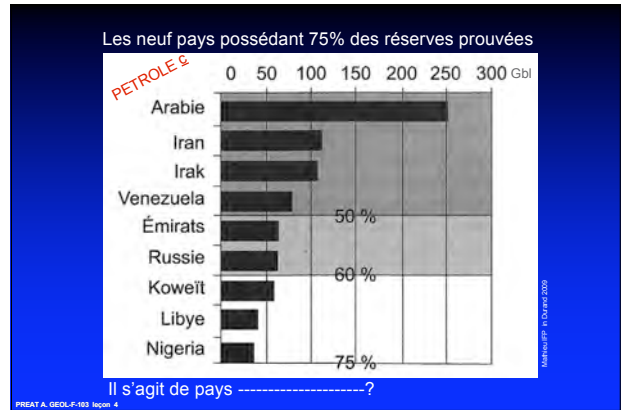


Rés Prouvées	Oil Gbl	%	Gas %
Arabie Saoudite	265,9	15,9	4,4
Canada	173,9	10,4	1,1
Iran	157,0	9,4	18,0
Irak	150,0	9,0	1,9
Koweït	101,5	6,1	1,0
Emirats Ar Unis	97,8	5,9	3,3
Venezuela	297,6*	17,8	3,0
Russie	87,2	5,2	17,6
Libye	48,0	2,9	0,8

PETROLE c			
Réserves Prouvées 2012 (BP) [±5%?]			
Rés Prouvées	Oil Gbl	%	Gas %
Nigeria	37,2	2,9	2,8
USA	35,0	2,1	4,5
Chine	17,3	1,0	1,7
Mexique	11,4	0,7	0,2
Norvège	7,5	0,4	1,1
Algérie	12,2	0,7	2,4
Qatar	23,9	1,4	13,4
Australie	3,9	0,2	2,0
Indonésie	3,7	0,2	1,6

http://www.bp.com



PETROLE c

Evolution des réserves de 1980 à 2005 en %

Rés Prouvées	Oil Gb	%
Arabie Saoudite	267,9	57
Canada	c	90
Iran	128,7	136
Irak	117,7	283
Koweït	101,3	49
Emirats Ar Unis	100,1	222
Venezuela	79,6	308
Russie	61,4	26,7
USA	23,2	-20
etc...		
MONDE	1200,7	79%

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

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

Pétroles lourds 10-20°API = 23%  
Sables bitumineux = 39%  
Schistes bitumineux = 38%

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

Données BP - 2005

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

Moyen Orient + Russie = ±2/3 Gaz


PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

**CONSOMMATION MONDIALE ENERGIE PRIMAIRE EN 2012: + 1.8 % (forte diminution)**  
**= 12477 Gtep**

**Pétrole: +0.9 %**  
 dont -1.3 % OCDE (4e diminution sur les 7 dernières années et production de +1 mmbbl/d aux USA, soit la plus forte augmentation mondiale)

**Gaz naturel: +2.2 %**  
 consommation US = 4.1 %, 1 plus forte augmentation mondiale [shale gas...]

**Charbon: +2.5%**  
 >50% = la Chine [50.2%]

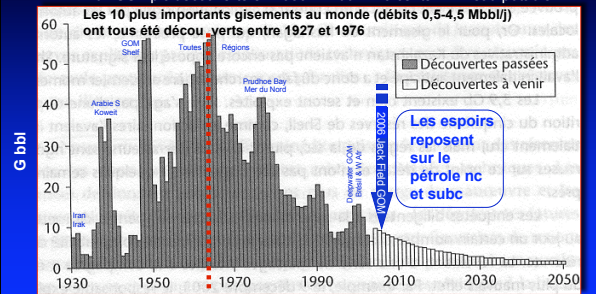


EP 2013

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

**DECOUVERTES MONDIALES DE PETROLE**  
 Les découvertes mondiales ont atteint leur sommet en 1965  
 Aux USA pic découverte en 1930 => bbl < 40 cents ET < eau potable

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



... mais attention! Réserves n'est pas égal à Production...  
 En 2005: 116 champs produisaient > 100 000 bbl/j

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

**LA PROBABILITE DE TROUVER DES CHAMPS PETROLIERS SUPER-GEANTS SEMBLE SE REDUIRE !**

Rappel: aujourd'hui = 50 super-géants > 10 G bbl  
 soit 0,1 % des champs représentant 40 % réserves 'prouvées' mondiales

**HISTORIQUE... et prospective?**

26 super-géants découverts entre 1950-1970  
 4 super-géants découverts entre 1980-2000

**Pessimisme**

Géants: 30 découverts dans les années 80'  
 30 également dans les années 90'  
 dont 7 par > 1000 m d'eau (Angola...)  
 dont 2 = Caspienne Kazakhstan [Tenguiz+Kahshogan 2000, 10 G bbl?]

**Optimisme...**

...+ Jack Field GOM -2006

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

**Les plus grands champs de pétrole 2003 sont surtout en Arabie S**

ARABIE SAOUDITE	
Abqaiq Field	12 G bbl
Berri Field	12
Faroozan-Marjan Field	10
GHAWAR Field	75.83
Manifa Field	11
Safaniya-Khafi Field, Neutral Zone	30

**Arabie Saoudite:**  
 Premier puits découvert = 4 mars 1938 Damman Field (Well n°7)  
 Réserves de brut: 261.542 G bbl [26 % des réserves mondiales]  
 Production de brut: capacité de 10,5 mmb/d  
 Production fixée: jusqu'à 8,5 mmb/d [± 15X cons./j Belgique]  
 Qualité du Brut: 5 types  
 (Arabian Heavy/Medium/Light/Extra Light/Super Light)  
 Nombre de Champs (Fields) 87 dont 13 de gaz

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

Enfin une vingtaine de champs fournissent 1/3 de la **PRODUCTION**

- en 1997: 22 champs produisaient 30% des 76 millions bbl/j  
- appartiennent tous au Moyen-Orient, tous ces champs furent découverts avant 1966 càd entre les années 20' et 50'

...

- ± situation identique en 2001: 22 champs ont produit 30%...  
- Iran, Irak, Koweït, Arabie Saoudite, Venezuela, Etats Arabes Unis et **10% de la production mondiale provenait de 4 champs seulement dont:**  
**GHAWAR (Arabie S.): 4,5 mmbo/d**  
**CANTARELL (Mexique): 1,2**  
**BURGAN (Koweït): 1,2**  
**DAQING (Chine): 1,2**  
**total: 8 millions de bbl/j [mmbo/d]**

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

Les Provinces, Champs, Gisements, Accumulations sont ensuite classés en fonction de différents critères géologiques

- bassins sédimentaires vs tectonique des plaques (limites...)
- âges géologiques
- R Sce, RR et R Couverture [= ' Cap Rocks']
- etc....

Un historique complet pour chaque gisement est établi y compris avec les données de production

prenons un exemple...

... celui du champ de GHAWAR, n°1 MONDIAL

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

champ de GHAWAR, n°1 MONDIAL  
ONSHORE

**Découvert** en 1948, à 200 km à l'Est de Ryad

Il contient à lui seul > pétrole que les réserves USA-'URSS'

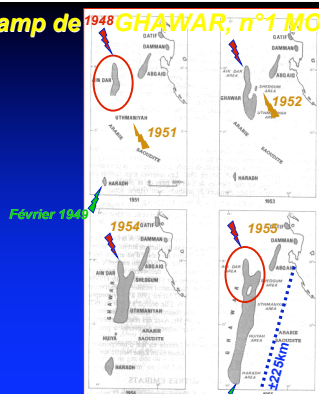
**Profondeur** RR: 2270 m, anticlinal 'pressenti dès 1935',

foré en 1948 à Ain Dar [car anomalie gravimétrique]

**Colonne d'huile:** 430 m dans l'ARAB ZONE

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

champ de **1948 GHAWAR, n°1 MONDIAL**



En 1956  
Première carte  
Surface prouvée:  
2250km<sup>2</sup>  
Colonne d'huile: 430 m  
Réserves initiales: 11,6Gt  
Réserves 2003: 75-83 Gt

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

On a déjà consommé 1200 Gbl (août 2013)

**première conclusion**  
41+21

**1 janvier 2014 : 1280 Gbl**

Il resterait 41 ans de réserves 1P  
[=1280 Gbl/30Gbl]  
BP 2015

Pétrole conventionnel



- 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: 690 Gbl 2P3P = encore 21ans...**


PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

**première conclusion**  
50+43

**1 janvier 2014 : 162,6Tm<sup>3</sup>**

Il resterait 50 ans de réserves 1P  
[=162,6Tm<sup>3</sup>/3,3Tm<sup>3</sup>]  
BP 2015

GAZ conventionnel



- 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: 150,4Tm<sup>3</sup> 2P3P = encore 43ans...**

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

**première conclusion**  
113+...

**1 janvier 2014 : 425 Gtep**

Il resterait 113 ans de réserves 1P  
[= 425 Gtep/3,8Gtep]  
= 32ans de consommation E totale

Charbon



- 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: 9275 2P3P = 32ans de consommation E totale**

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

**1 janvier 2014 : 815 Gtep 1P = 75 ans de consommation**





- + gaz nc ?
- + gaz 'abiotique' ?
- + clathrates ?
- + schistes bitumineux ?
- + sables asphaltiques ?
- + technologie ?

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

## 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  
 De plus: certains gisements connus ne sont pas encore exploités
3. **EVALUATION** du pétrole à découvrir

Estimations sont pondérées d'un facteur de probabilité ± grand selon que l'on est optimiste ou pessimiste + 'distorsions 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

## RESSOURCES

	Découvertes		Non découvertes		FAISABILITE
exploitables (économiques)	produites	Réserves	Dans zones		
		<p style="color: green; font-size: small;">prouvées</p> <p style="color: green; font-size: small;">.....</p> <p style="color: green; font-size: small;">probables</p>	connues	inconnues	
potentielles (subéconomique)		>90% d'être produites	<90%	hypothétiques	
	← CONNAISSANCE GEOLOGIQUE →				0

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

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

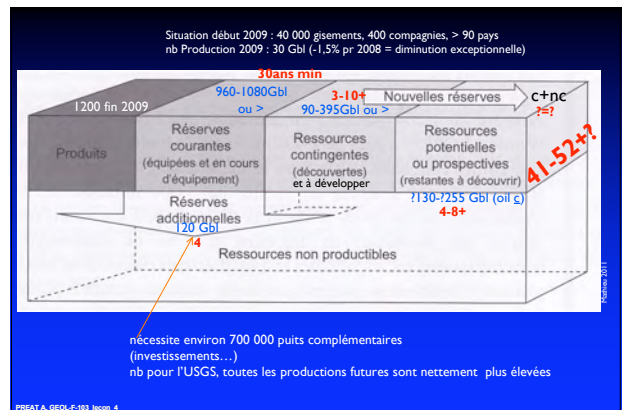
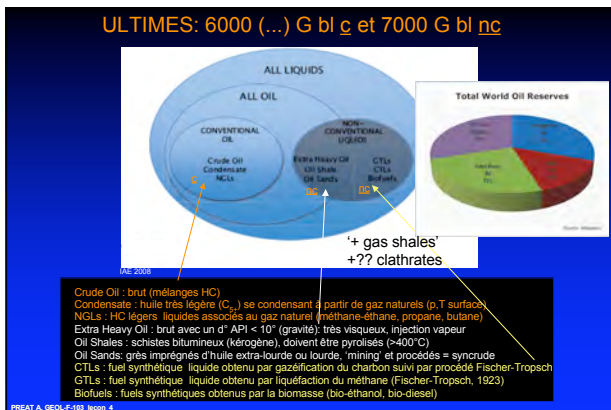
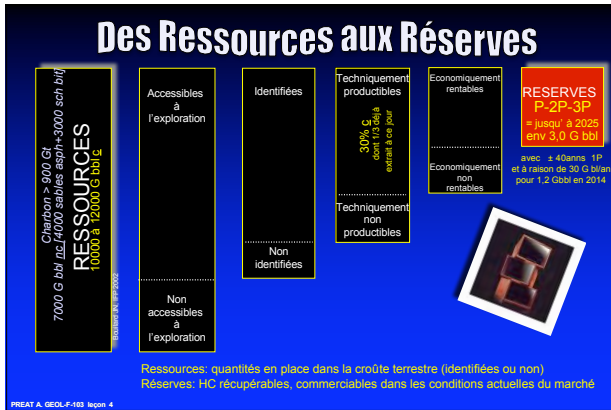
= > 90% ... 'être réalisées'

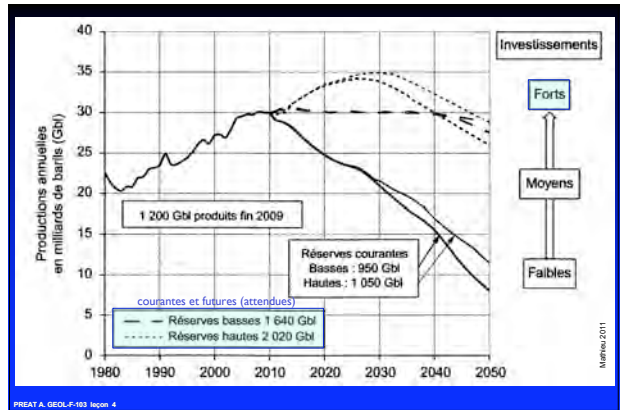
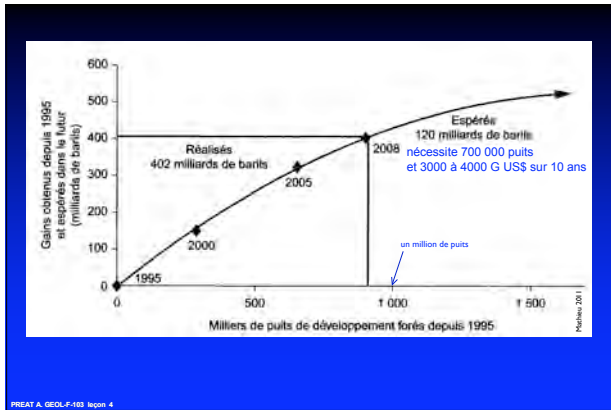
**Les réserves probables '2P'** sont estimées par extrapolation à partir d'un puits et de géophysique sur une structure, sur une ou plusieurs structures voisines bien connues géologiquement  
 Dans ce contexte: probable = 40 à 80% de chances de découvertes

= > 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





### TAUX DE RECUPERATION

suite aux conditions de rétention liées aux tensions capillaires présentes dans le réservoir, on extrait qu'une faible quantité du pétrole en place....

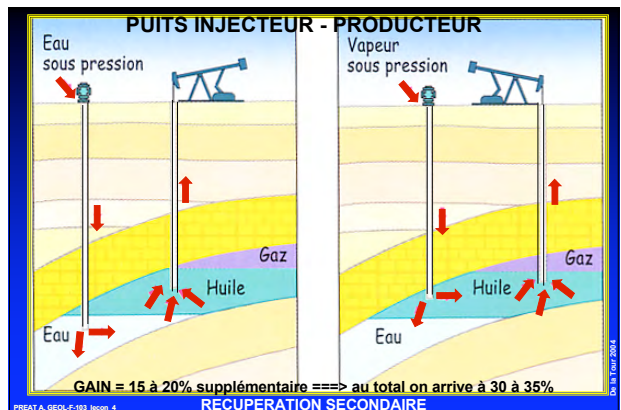
- Récupération primaire naturelle [on ne fait rien] = 10% [20%]
- Récupération secondaire [pression...] = jusqu'à 30 %
- Récupération tertiaire peu utilisée car très chère: jusqu'à 30-40% [60%]

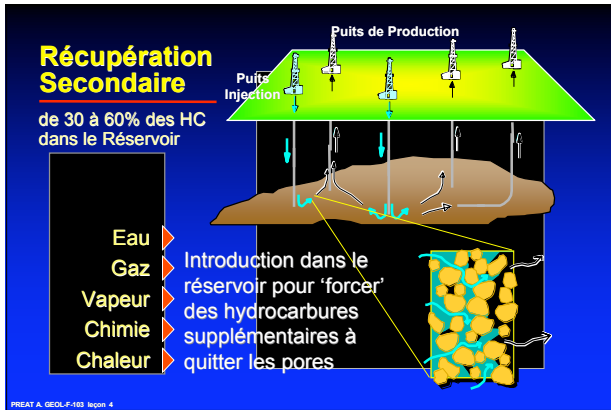
=procédés physico-chimiques par injection micro-émulsions, injection thermique injection eau avec additifs chimiques, injection gaz HC miscibles.

**on laisse en place >>50% du pétrole**

1% de plus (mondial) = 2 ans de consommation mondiale  
5% = réserves prouvées Arabie Saoudite

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4





DIAPOSITIVE de 2001 ...

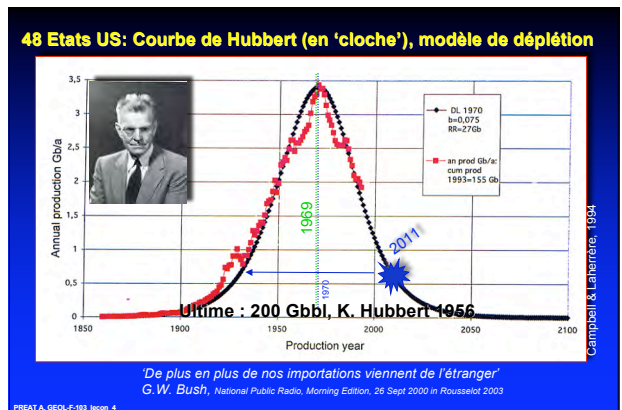
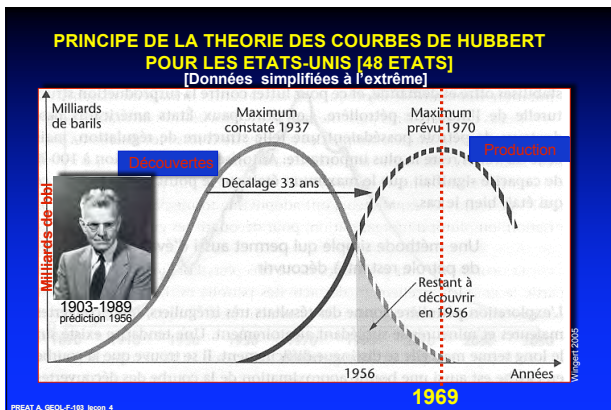
Environ 80 % du pétrole extrait aujourd'hui provient de gisements découverts avant 1973. On estime que l'on a découvert 90 % des réserves pétrolières et que la production de pétrole bon marché [celui consommé aujourd'hui] déclinera dans les 10 ans à venir?

Les arguments sont basés sur l'extension d'un modèle développé par KING HUBBERT en 1956: l'extraction incontrôlée d'une ressource limitée suit une courbe en cloche dont le maximum est atteint lorsque la moitié de cette ressource est épuisée

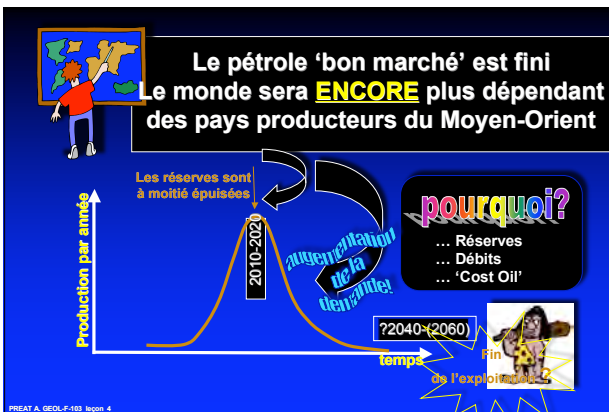
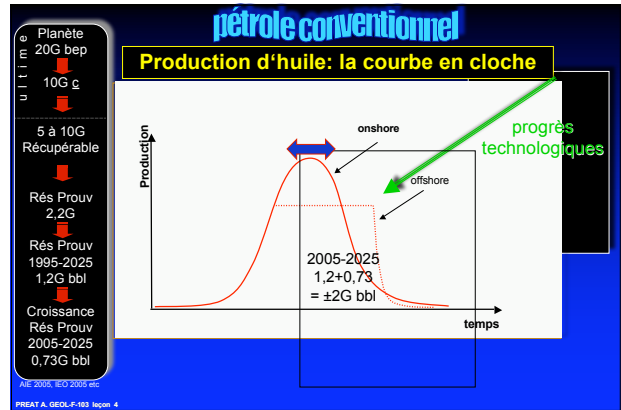
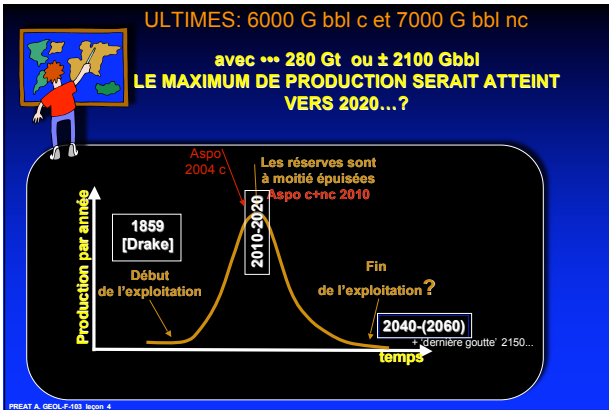
### Le modèle de King HUBBERT, 1956

Appliqué aux USA, le modèle de HUBBERT prédit en 1956! que la production pétrolière de ce pays atteindrait un maximum en 1969. Il fut en réalité atteint en 1970...

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4







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

Entreprise	Activité	G \$ [2002]
Wall-Mart USA	distribution	233,3
ExxonMobil USA	pétrole	191,7
General Motors USA	automobile	178,2
Royal Dutch Shell PB/UK	pétrole	171,2
BP UK	pétrole	170,5
Ford USA	automobile	155,1
Daimler-Chrysler All/USA	automobile	149,5
General Electric USA	conglomérat	126,6
Toyota Jap	automobile	119,8
Mitsubishi Jap	automobile	103,0
Total France	pétrole	102,5
Mitsui Jap	chimie	102,3
Chevron Texaco USA	pétrole	94,0

in A Norjon 2007

#### RÉSERVES COMPARÉES

10%

Les 5 premières Cies mondiales d'HC = ± 1000 G \$  
 • => 10% PIB mondial  
 • Shell plus puissant que l'Autriche (n°20)  
 En 2006: Exxon-Mobil = major 1 avec 450 G \$ (> PIB Belgique ± 393 G \$)

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

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4

### Les compagnies pétrolières gèrent 10% de la production mondiale

Rank	Compagnie	Production (millions de barils/jour)	Part de la production mondiale (%)
1	ExxonMobil	14,200	17,5%
2	Shell	12,200	15,1%
3	BP	8,400	10,4%
4	ConocoPhillips	5,800	7,2%
5	Chevron	5,400	6,7%
6	Enbridge	4,800	5,9%
7	Marathon Petroleum	4,200	5,2%
8	Phillips 66	3,800	4,7%
9	Valero	3,500	4,3%
10	Amstar	3,200	3,9%
11	Imperial	2,800	3,5%
12	Agip	2,500	3,1%
13	Industrie pétrolière nationale du Canada	2,200	2,7%
14	Industrie pétrolière nationale du Mexique	2,100	2,6%
15	Industrie pétrolière nationale de l'Arabie Saoudite	2,000	2,5%

Belgique : 455 G \$ (2013)

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 4