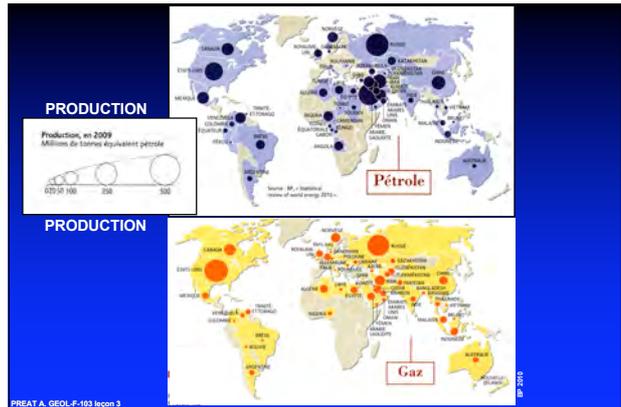
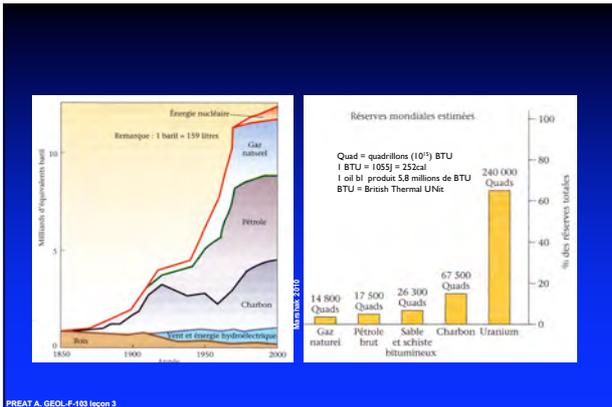
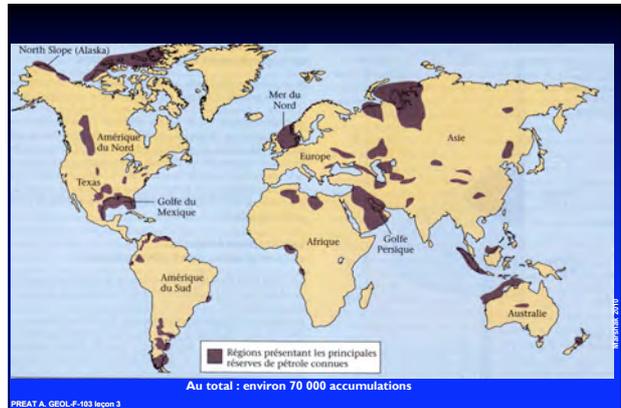


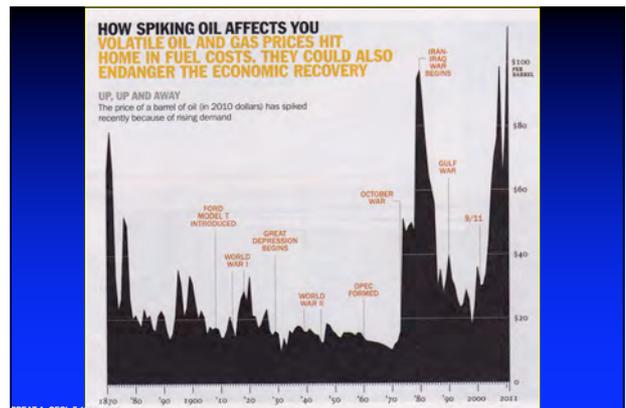
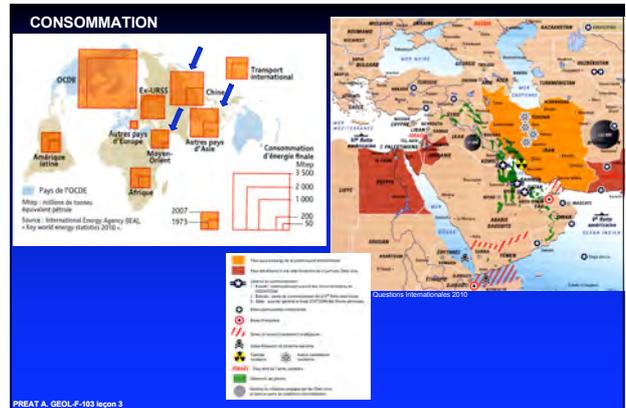
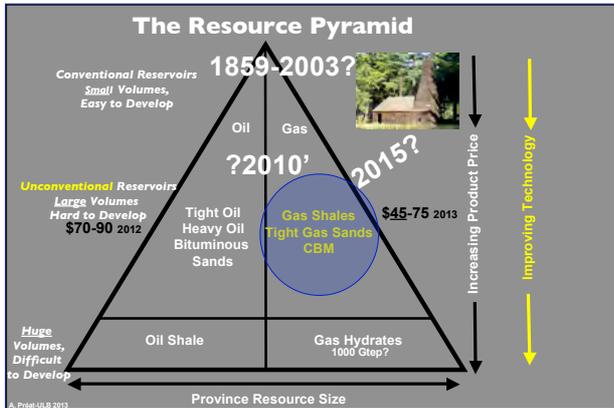
LECON 3 - 2015

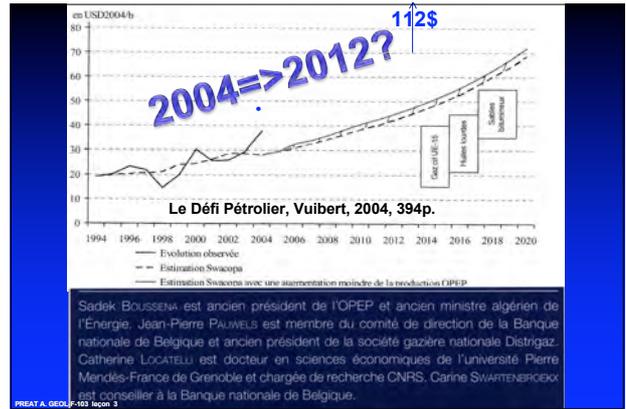
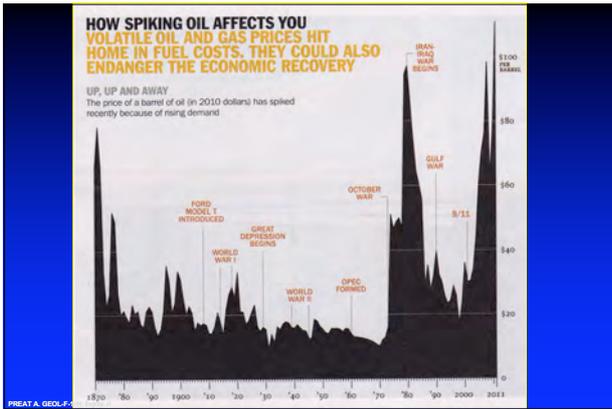
LES BASSINS SEDIMENTAIRES (suite et fin)

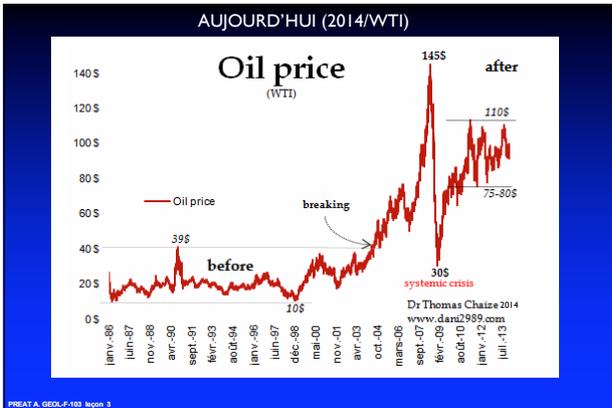
LA PLAQUE ARABIQUE

L'ORIGINE ORGANIQUE DU PETROLE









http://prixdubari.com/news-petrole.html

Les derniers articles sur le Prix du pétrole

EN NOVEMBRE 2014, LE PRIX DU PÉTROLE CONTINUE SA CHUTE

En novembre 2014, le cours du pétrole brut américain (WTI) a baissé de 2,7 %, pour s'établir à 85,38 \$ le baril. Le cours du pétrole brut américain (WTI) a baissé de 2,7 %, pour s'établir à 85,38 \$ le baril.

EN OCTOBRE, LE PRIX DU PÉTROLE CHUTE ET ATTEINT SON PLUS BAS NIVEAU DEPUIS 2010

En octobre 2014, le cours du pétrole brut américain (WTI) a baissé de 2,7 %, pour s'établir à 85,38 \$ le baril. Le cours du pétrole brut américain (WTI) a baissé de 2,7 %, pour s'établir à 85,38 \$ le baril.

LE PRIX DU PÉTROLE CONTINUE DE BAISSER EN SEPTEMBRE 2014

En septembre 2014, le cours du pétrole brut américain (WTI) a baissé de 2,7 %, pour s'établir à 85,38 \$ le baril. Le cours du pétrole brut américain (WTI) a baissé de 2,7 %, pour s'établir à 85,38 \$ le baril.

LE PRIX DU PÉTROLE BAISSE CONSIDÉRABLEMENT EN AOÛT 2014

En août 2014, le cours du pétrole brut américain (WTI) a baissé de 2,7 %, pour s'établir à 85,38 \$ le baril. Le cours du pétrole brut américain (WTI) a baissé de 2,7 %, pour s'établir à 85,38 \$ le baril.

En décembre 2014, le prix du pétrole chute de nouveau, retrouvant son niveau du début 2009

Vendredi, 18 Janvier 2015 | Commenter

En Décembre 2014, le cours du pétrole brut américain (WTI) a baissé de 2,7 %, pour s'établir à 85,38 \$ le baril. Le cours du pétrole brut américain (WTI) a baissé de 2,7 %, pour s'établir à 85,38 \$ le baril.

VOIR LA SUITE...

PREAT A. GEOL-F103 leçon 3

http://www.oil-price.net/index.php?lang=fr

EN TEMPS REEL

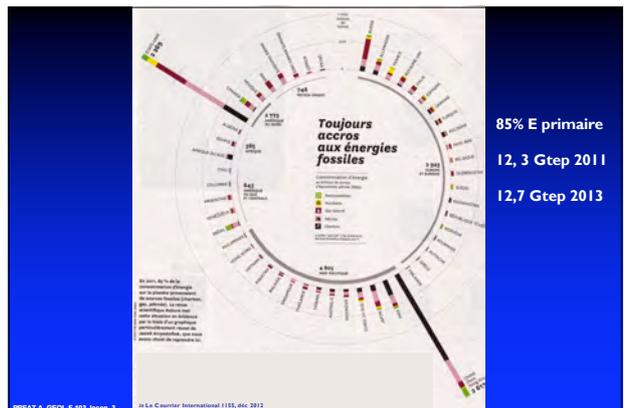
WTI Pétrole brut
\$52.78 ▲1.57 2.97%

Brent Pétrole brut
\$57.39 ▲0.34 0.59%

Markets World Facile

Tableau de Bord (Dashboard) du Pétrole pour votre site

PREAT A. GEOL-F103 leçon 3



Vers un bouleversement du marché du gaz ?

Le gaz naturel est le seul combustible fossile dont la demande dépasse en 2035 celle de 2008, quels que soient les scénarios. La demande de la Chine est celle qui devrait progresser le plus, avec une demande qui devrait passer de 130 milliards de m³ en 2011 à 545 milliards de m³ en 2035. Parallèlement, l'exploitation de gaz non conventionnel (gaz de schiste) devrait bouleverser le marché du gaz avec l'émergence de nouveaux pays exportateurs (États-Unis) et de nouveaux flux commerciaux plus diversifiés, faisant pression sur les fournisseurs de gaz conventionnels et sur les mécanismes traditionnels de prix liés au pétrole pour le gaz. Cependant, ce secteur n'est encore qu'à ses débuts, et il existe de nombreuses incertitudes quant à l'étendue et à la qualité de la base des ressources de gaz non conventionnel.

Source : AIE

Projection des demandes énergétiques à l'horizon 2035

Unités de base des données pétrolières

Type d'énergie	1990	2010	2020	2035	2035	2035
			Scénario pétrolier stable	Scénario pétrolier stable	Scénario pétrolier stable	Scénario pétrolier stable
Charbon	2 231	3 474	4 417	5 523	4 082	4 218
Pétrole	3 230	4 113	4 542	5 053	4 457	4 656
Gaz	1 668	2 740	3 341	4 380	3 266	4 106
Nucléaire	526	719	886	1 019	898	1 138
Énergie hydraulique	184	295	377	460	388	488
Biomasse et déchets	903	1 277	1 504	1 741	1 532	1 881
Autres énergies renouvelables	36	112	265	501	299	710
TOTAL	8 779	12 730	15 332	18 676	14 922	17 197

Source : World Energy Outlook 2012, AIE

US oil and gas wells 2003-12

Number and type of wells drilled annually

45,400 wells

in 10 yrs x ≈ 25

2014/2015

1904 wells

nc WELLS 2003-2012 102,164 wells (millions of frackings)

c gas = opposite trend

500 000 frackings in 2012 = 220Gm³ or 1/3 gas prod USA (2% en 2000)

http://www.uib.ac.be/sciences/data/sedimentp/rges_perso/Prestat_fichiers/BFS10_ap.pdf
 http://www.nbcnews.com/business/power-ohh-energy-boom-dawning-america-1C8830306

Top Natural Gas Producing Countries in 2012

Country	Production (Billion Cubic Meters)
U.S.	681.4
Russian Federation	592.3
Canada	155.5
Iran	160.3
Qatar	157
China	107.2
Norway	114.9
Saudi Arabia	102.8
Algeria	81.5
Indonesia	71.1

Source: BP Statistical Review of World Energy June 2013

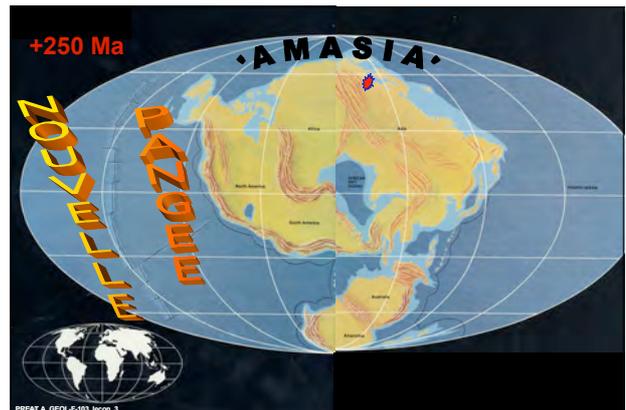
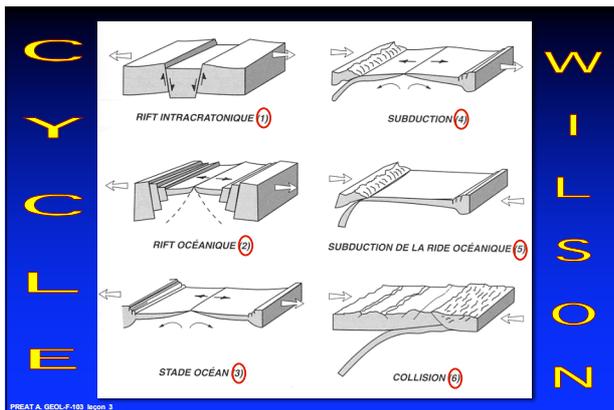
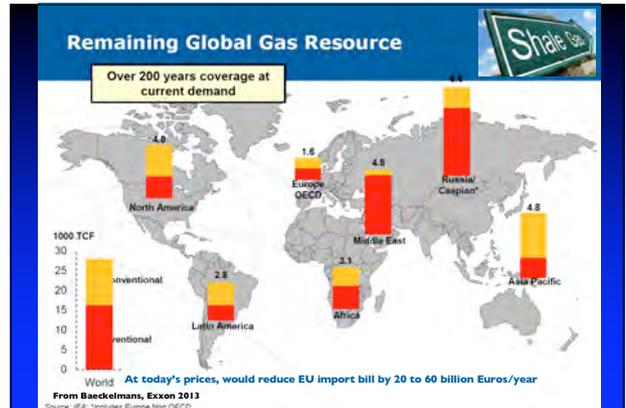
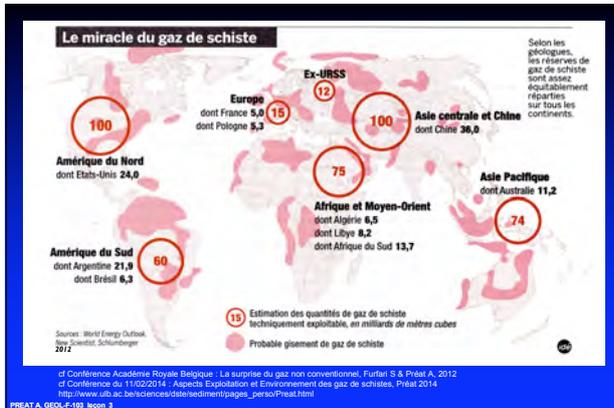
MATIERE ORGANIQUE : ASPECT MACROSCOPIQUE

Débris de "black shales" d'âge Silurien (Anti-Atlas, Maroc)

« Oil shales » d'âge Campanien-Maastrichtien (Jordanie)

http://www.blackshale.com/

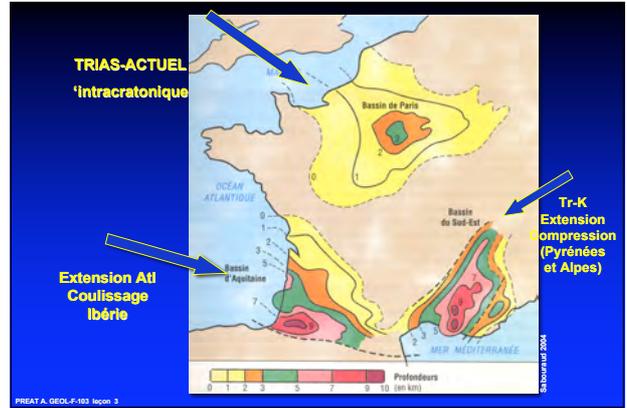
GÉOL F-512 L. de Walque / A. Priet - 2008



**QUELQUES
LES ENERGIES FOSSILES
EXEMPLES**

LES BASSINS : CAS REELS DE SYSTEMES PETROLIERS

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3



SISMIQUE REFLECTION

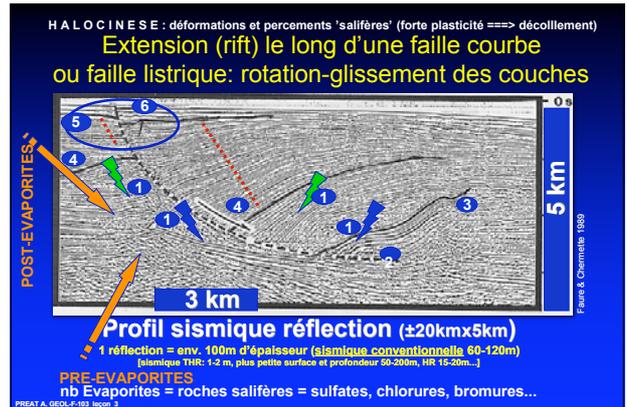
...ou (essayer de) lever les incertitudes géologiques... [≈9/10ème du budget explo]

Source d'émission des ondes

Enregistrement des signaux

Imagerie sismique par onde de surface = IMPEDANCE céd produit de la vitesse de l'onde par la densité des terrains (roches), délimitation des interfaces [différentes résolutions]...

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3



Une faille n'est jamais isolée = 'champ de failles' ou réseaux conjugués à toutes les échelles ...

Failles synthétiques dans le sens du pendage des couches >< Failles antithétiques

Faille listrique ou 'faille courbe' concave vers le haut, plane et horizontale en profondeur (= rift, basculement, rotation...)

Graben = fossé d'affondrement [suite à une activité tectonique d'extension]

5 km

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

TWT

Failles Planes et Verticales

Faure & Chermak, 1999

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

Une faille n'est jamais isolée = 'champ de failles' ou réseaux conjugués à toutes les échelles ...

Failles synthétiques dans le sens du pendage des couches >< Failles antithétiques

Faille listrique ou 'faille courbe' concave vers le haut, plane et horizontale en profondeur (= rift, basculement, rotation...)

Graben = fossé d'affondrement [suite à une activité tectonique d'extension]

5 km

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

TWT

Failles Planes et Verticales

Faure & Chermak, 1999

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

Small orostal collapse graben

Antithetic fault

EVA...

... PORITES

1 2 A B 3 KM

TEMOIN (INATTENDU) DE DEFORMATION FRAGILE-DUCTILE

SW NE

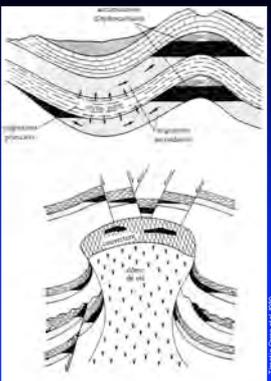


10 m

DIAPIR JABAL AL MIHL -YEMEN

FENTES VERTICALES D'EXTENSION DANS MOSQUEE CONSTRUITE IL Y A 100 ANS = étirement de 14% accommodé par des failles normales [±0.1mm/an = 100m/Ma]

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

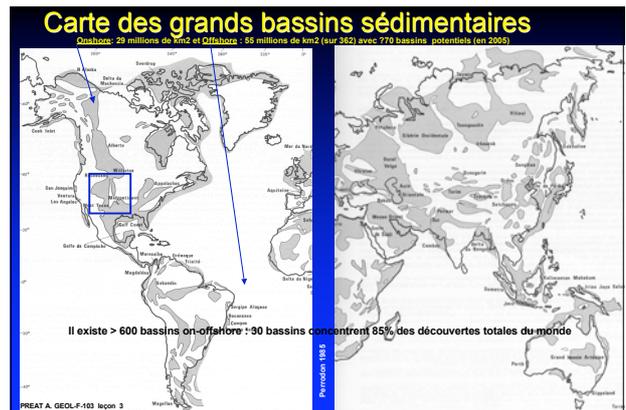
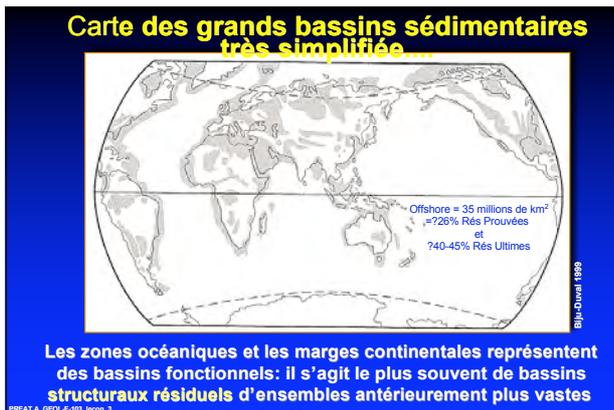
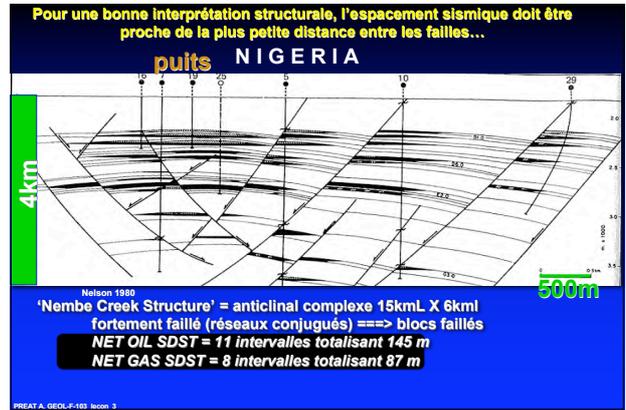
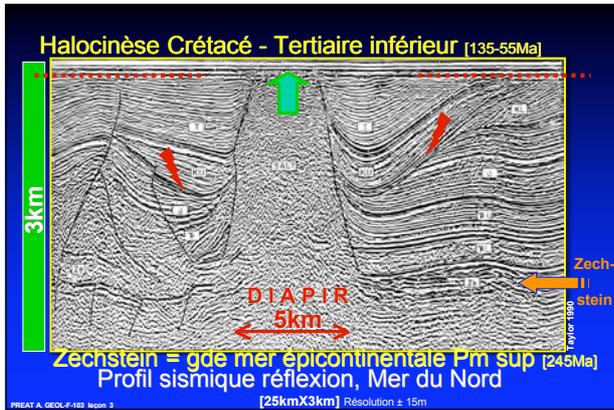


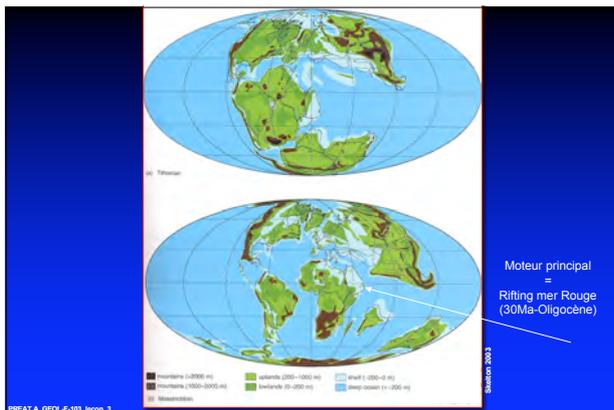
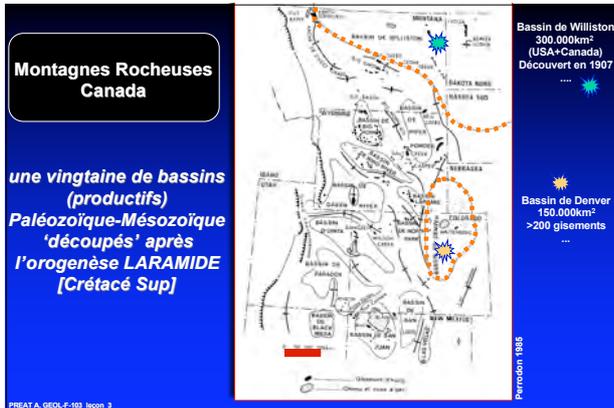
100m-km

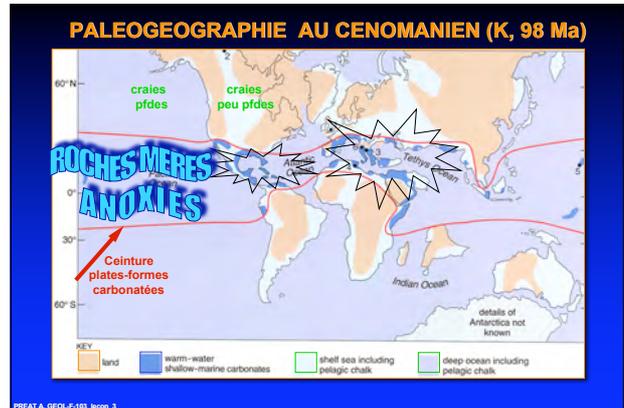
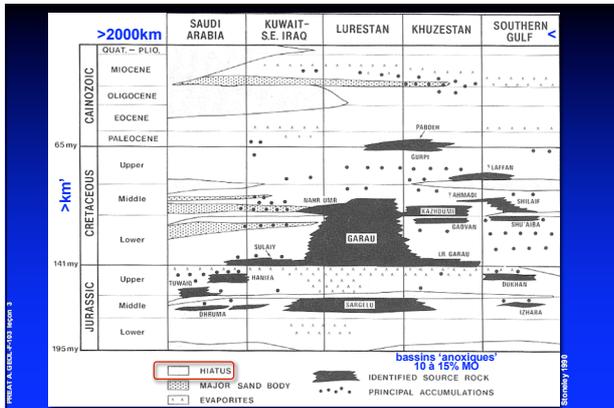
PIEGE 'SEDIMENTAIRE' (DIAGENESE/25%)

PIEGE 'STRUCTURAL' (ANTICLINAL/75%)

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3







Le Moyen Orient: eldorado ou scandale géologique

- vaste et complexe bassin sédimentaire disymétrique de 2,3 millions de km² dont 600.000 km² de zones productives,
- le bassin est à la rencontre de la plaque africaine, qui correspond à la partie NE du continent africain, et de la plaque asiatique,
- la zone de CONVERGENCE, située sur l'ancien domaine océanique 'téthysien' est caractérisée aujourd'hui par des séries marines épaisses, plissées et faillées.
- La province du Moyen Orient est ainsi délimité, à l'ouest par la grande flexure du Levant, au SW par la remontée du bouclier arabo-nubien, au NE par le grand chevauchement-cisaillement du Taurus-Zagros

D'un point de vue structural, on a:

- un domaine de plate-forme 'stable' au SW avec quelques grands axes structuraux à très faible pendage, de direction méridienne,
- un domaine de compression, au NE, marqué par l'alignement de grands plis accusés de formation récente de direction NW-SE,
- ... les structures sont causées ou compliquées par des déformations halocinétiques, soit profondes (=dômes simples), soit récentes (=disharmonies régionales, 'foot hills' d'Irak et d'Irak).

PREAT A. GEOL.F-103 Icon 3

ZONE DE CONVERGENCE COMPLEXE

Marges NE SE S SW New NW Old NW

ZAGROS 'CRUSH' ZONE

ARABIAN PLATE

Sinai

PREAT A. GEOL.F-103 Icon 3

Legend: début MESOZOIQUE, modifié au MESOZOIQUE, TERTIAIRE

Marges
NE
S
SW
New NW
Old NW
SE

NE = marge passive 2000km l x 3000km L
PF stable pendant très longtemps
[de la fin du Pcm jusqu'au milieu du Tertiaire]
Suturée à l'Eurasie: compression-collision Tertiaire
Modifiée dès l'inversion marge passive-active
La plus riche en huile, soit 98%!!!

'ZAGROS' Crush Zone

NW = marge formée au Trias ...
Ensuite fortement affectée par la tectonique fini-Jurassique avec 'block faulting' et érosion profonde...
S et SW = marges riftées (passives) formées au Miocène, liées à l'activité de la ride médio-océanique indienne à Travers le Golfe d'Aden et la Mer Rouge
= SEPARATION ARABIE-AFRIQUE

SE = marge paléotéthysienne du Gondwana
Fonctionne depuis le Cambrien
Se sépare du Gondwana au Permo-Trias...

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

TERRE = assemblages-fragmentation (micro)plaques
Mégasutures et Bassins

'PANGÉE...'

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

Histoire (géologique) de la marge NE, la plus prolifique en huile

1. Plate-forme très stable, très plate, très étendue du Jurassique à l'Eocène
==> liée au rifting NEO-TETHYSIEN post Pm/T
==> se termine lors de la collision-suture ZAGROS pré-Miocène (Tertiaire)
2. À l'Eocène (Tertiaire): collision continent-continent
==> raccourcissement plate-forme et empilements de nappes de charriage (d'abord Taurus au N, ensuite suture Zagros au NE au Miocène inf)
==> suture avec l'EURASIE
3. Au Miocène moyen: l'avant-pays ('foreland') se plisse avec failles dextres le long de la suture Zagros
==> ré-empilements...
==> le plissement et les charriages se poursuivent aujourd'hui...

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

P I E G E conventionnel

avec
RSce
RR
Rcvture

Structuration

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

On distingue habituellement deux grandes provinces pétrolières qui correspondent aux domaines géologiques esquissés

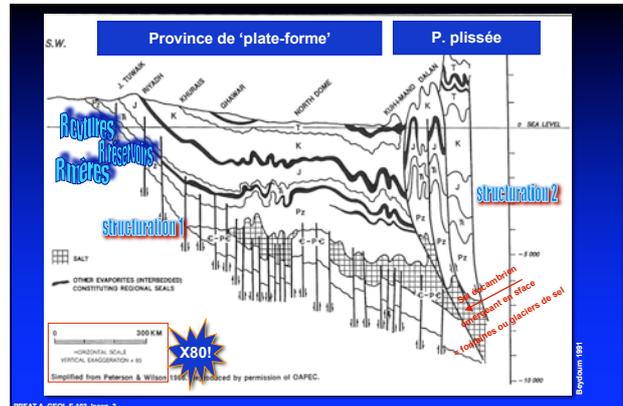
A. Une Province de plate-forme, ou PROVINCE ARABIQUE, caractérisée par de vastes pièges à grand rayon de courbure, généralement allongés N-S, productifs dans le Jurassique et le Crétacé inférieur

B. Une Province plissée ou des 'FOOT HILLS', en Iran et en Irak, productive dans des réservoirs du Crétacé et du Miocène-Oligocène fracturés au sein de longs anticlinaux coffrés, enfouis sous une couverture salifère et détritique, cause de profondes dysharmonies

PLUSIEURS SYSTEMES PETROLIERS :

- le KHUFF (Pm), productif de gaz, de l'Iran à Qatar (+ Arabie et Abu Dhabi),
- l'ARAB ZONE (J), productif d'huile sur la plate-forme carbonatée,
- un ENSEMBLE CRETACE, gréseux ou carbonaté, assez complexe, plate-forme et zone plissée
- l'ASMARI (Oligocène-Miocène) dans la zone plissée

....



l'ARAB ZONE = 'système Js'

◊ Répétition de cycles sédimentaires (10'-100m) débutant par des faciès carbonatés à haute énergie (= RR, = les 4 réservoirs de l'Arab Zone) et se terminant par des couches d'anhydrite (= sel, = RC). La RM est constituée par les calcaires et marnes noires du Callovien-Oxfordien (Jm) portés à une maturation optimale sur une surface de plus de 100.000 km².

◊ L'ensemble est productif au sein de vastes dômes et voûtes allongées, à très faible pendage (de l'ordre du d°) et de très vastes surfaces (100'-1000' km²). Les hauteurs fermées atteignent 300 à 400 mètres. Les structures sont surtout provoquées par la montée de dômes de sel profond, Cambrien.

◊ Débit des puits: 1000'-100000' bbl/j! (Ghawar: > 400 puits ... = env. 5 à 6 Mbbt/j) = 60 à 65% prod. Arabie Saoudite, = 6,25% production mondiale en 2005 soit la consommation Chine + (gaz).

Nb injection de >7 millions de bbl d'EAU DE MER/jour pour compenser la dépletion naturelle...

Il faut injecter aujourd'hui 200' d'eau de mer pour obtenir un bbl d'oil

◊ ...

récupération de 15-30%

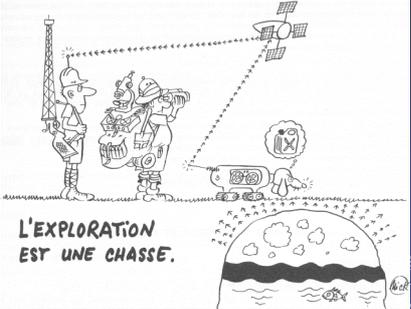


40% ...

La Recherche de l'Énergie... ou l'Exploration Pétrolière



l'exploration pétrolière

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

Réserves = Incertitudes Géologiques...

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




mort pauvre en 1851 après avoir spéculé sur le marché pétrolier...

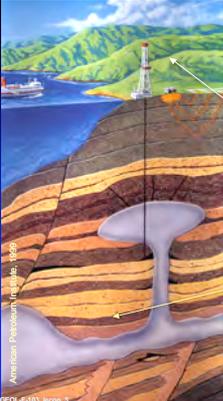
Venue d'huile de très bonne qualité à 70 pieds avec un débit variant de 10 à 25 barils/jour (1,6 à 6,5 m³/j) et 300t en 1859

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

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

Défi de l' Exploration Pétrolière

Interpréter ce qui est caché



- Géologie de Surface
 - photos aériennes
 - cartes géologiques
- Analyse de Subsurface
 - Gravité
 - Magnétisme
 - Sismique Réflexion
 - Puits = 'Wells'

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

Le Brut - "L'Or Noir"

Le 'pétrole' entre en composition essentielle dans près de 300 000 produits (pétrochimie = 8%)
Le brut est exploité à partir de plus de 50 000 gisements majeurs d'hydrocarbures

Light Texas Crude
Palo Pinto Field
North Texas



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

Heavy Texas Crude
Humble Oil Field
Southwest Texas



1 bbl = 159l



'léger'

'moyen'

'lourd'

'extra-lourd'

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

Qu'est ce que le Pétrole?

'petra oleum = huile de pierre'

- Pétrole: un hydrocarbure liquide naturel, jaune à noir, inflammable, situé sous la surface terrestre
- Hydrocarbure: composé organique formé d'atomes d'hydrogène et de carbone (= 'HC')

PREAT A. GEOL.F-103 leçon 3

Qu'est ce que le Pétrole?

= transformation thermique de matière organique (M.O.)
Sur Terre: le processus majeur de fabrication de la M.O. est la **PHOTOSYNTHESE** à partir de la lumière



Les premiers (micro)organismes **CYANOBACTERIES** ont commencé à produire de la M.O. il y a au moins 3,5 Ga = 'autotrophes primitifs'. Ils ont remplacé les hétérotrophes qui utilisaient des molécules organiques 'abiotiques'...

PREAT A. GEOL.F-103 leçon 3

HYDROCARBURES

- ▶ **Bitumes** (du latin *bitus* = bois résineux)
huiles et gaz solubles dans les solvants organiques
- ▶ **Kérogène**: insoluble dans les solvants organiques
- ▶ **Asphalte**: produits HC épais et solides
- ▶ **Naphte** (*Mésopotamie* = 'napata' ou flamber)
produits pétroliers liquides

Les pétroles et gaz naturels sont des fluides, qui se présentent généralement à l'état liquide ou à l'état gazeux dans les conditions habituelles.
Ils sont constitués d'HC (= carbone et hydrogène) dont une des propriétés majeures est de se dissoudre intimement les uns dans les autres.

PREAT A. GEOL.F-103 leçon 3

Un 'BRUT' est donc un mélange en proportions variées de pétroles de gaz d'eau 'salines' ou non...

....

Il n'existe pas deux pétroles bruts rigoureusement identiques: ils contiennent des centaines de milliers de molécules différentes...

classées en trois grandes familles dont les caractéristiques physiques et chimiques reflètent ces mélanges eux-mêmes conséquences du cadre et de l'histoire géologique

PREAT A. GEOL.F-103 leçon 3

Court terme (prix 'spot') vs long terme (contrat de gré à gré, 10 à 20 ans)
Géopolitique : GDF_Suez-France... (fusion GDF et Suez) ... 2010'
(= take-or-pay contract)

Export arabique gré/gré	Qatar	Brexit	Algérie	Russie
1976	11.65	12.80	12.87	12.23
1977	12.38	13.22	13.21	14.22
1978	13.23	14.22	14.22	14.22
1979	29.75	31.81	29.25	29.28
1980	29.85	30.29	30.29	30.29
1981	34.37	35.21	36.18	36.18
1982	37.82	37.27	37.29	37.29
1983	29.26	29.76	29.74	29.74
1984	27.55	27.28	27.14	27.28
1985	13.12	14.03	14.46	15.11
1986	16.56	16.44	16.35	16.35
1987	13.27	14.22	14.05	14.05
1988	14.52	14.44	14.35	14.35
1989	22.65	23.75	23.85	24.54
1990	19.19	20.22	20.11	21.21
1991	19.22	19.22	19.22	19.22
1992	14.03	14.22	14.22	14.22
1993	14.14	14.22	14.22	14.22
1994	16.12	16.22	16.22	16.22
1995	16.22	16.22	16.22	16.22
1996	16.22	16.22	16.22	16.22
1997	16.22	16.22	16.22	16.22
1998	16.22	16.22	16.22	16.22
1999	16.22	16.22	16.22	16.22
2000	26.57	26.57	26.42	26.57
2001	27.81	28.44	28.72	28.81
2002	27.14	28.22	28.24	28.16
2003	25.28	26.22	26.46	26.22
2004	23.95	24.22	24.13	24.22
2005	41.55	41.55	41.55	41.55
2006	41.55	41.55	41.55	41.55
2007	65.19	72.38	74.48	72.38
2008	84.34	87.26	87.43	87.43
2009	81.28	81.28	80.36	81.28
2010	78.18	77.26	77.26	78.18
2011	106.18	111.26	111.26	106.18
2012	106.18	111.26	111.26	106.18
2013	126.47	126.47	126.47	126.47



Enfin, près de 500 espèces chimiques sont majeures et environ 150 constituent plus de la moitié des composants des bruts

En 1964, Mair identifie plusieurs milliers d'HC différents dans un brut du puits Brett #6 à Ponca City, Oklahoma

nb: tout est donc basé sur la chimie du carbone
Chimie ORGANIQUE >> Chimie Minérale
(distinction remontant en 1777, Bergman: « étude des composés du monde vivant, animal et végétal, par opposition aux composés venant du monde inanimé »)

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 tiré de schiste!]
- les sables asphaltiques ou huiles extra-lourdes [Venezuela] et les sables bitumineux ou 'tar sands' [rivière Athabasca, Canada] [= oxydation bactérienne] et consistance 'Nutella'...

BRUTOTHEQUE EXXON

1 Sourakhani Caucase, en sillage, utilisé en médecine, 45° (500kg/m³)

2 Arabian Light

3 Barrow Island, Australie

4 BRENT, MER du N, 38° à 40° (S<0.2%)

5 Parentis, Esso

6 Minzman, Parentis

7 Arabian Heavy

8 Pennsylvanie

9 Santa Barbara Crisshore Californie, 0° (1075kg/m³)

10 Boscan, Venezuela

11 Altamont, Utah, Très riche en paraffine, Solide à T° ambiante = bûche pour cheminée

12 Minas, Sumatra paraffineux

Logrove et al., 1983

Distance: $10^{-9}m$

Quelques molécules
Distances en milliardièmes de millimètre ou nanomètres :

Molécule d'azote N_2 Molécule de dioxyde de carbone CO_2 Molécule d'eau H_2O

Molécule de méthane CH_4 Molécule de chaîne paraffinique (C_nH_{2n+2})

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

Les trois grandes familles d'hydrocarbures

1. les HC saturés ou alcanes ou paraffines
2. les HC non saturés (alcènes, naphténo-aromatiques et aromatiques)
3. les résines et asphaltènes

*nb 1 uniquement liaisons covalentes normales C_nH_{2n+2} , 2 avec double/triple liaisons C_nH_{2n} , C_nH_{2n-2}
3 très forte polymérisation (= 'poids lourds' moléculaires)
+ en chaînes linéaires et ramifiées (=ouvertes ou aliphatiques), cycliques (aromatiques...)*

1. Les HC saturés sont les plus importants quantitativement: 50 à 60%
Ils se répartissent en 3 familles principales

- les n-alcanes: chaînes ± longues C_1 à C_{40} [gazeux, liquides, solides]
- les C impairs sont surtout synthétisés par les organismes=marqueurs biologiques (algues ≠ végétaux supérieurs ≠ ... Les autres (C pairs et C impairs particuliers = diagenèse matière organique...)
- les iso-alcanes: groupe méthyle, souvent par chlorophylle...
- les cyclo-alcanes ou 'naphténes': HC cycliques = 30% dans les bruts

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

Les trois grandes familles d'hydrocarbures

1. les HC saturés ou alcanes ou paraffines
2. les HC non saturés (alcènes, naphténo-aromatiques et arom.)
3. les résines et asphaltènes

.....

1. les alcanes: méthane CH_4 , éthane C_2H_6 , propane C_3H_8 , butane C_4H_{10} , pentane C_5H_{12} , hexane C_6H_{14}
- nb: point d'ébullition méthane $-161^\circ C$, éthane $-89^\circ C$heptane $+98^\circ C$*
2. les HC non saturés: isoprène, toluène, tétraline, éthylnaphtalène....
3. les résines: = 'asphaltes' = poids moléculaire très élevé (C_{26} à $> C_{36}$), très inertes et point d'ébullition environ $500^\circ C$

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

Les trois grandes familles d'hydrocarbures

En simplifiant ...

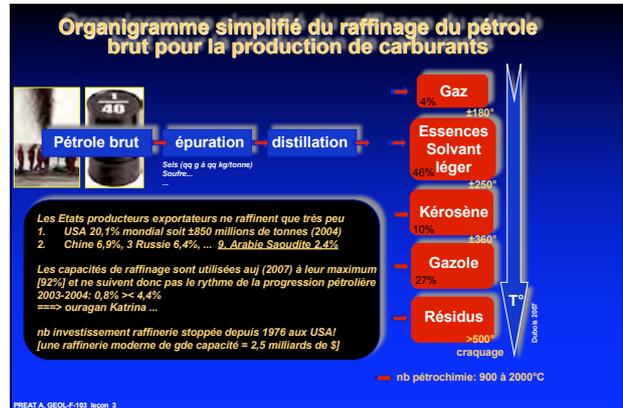
- les HC saturés ou alcanes ou paraffines
ils représentent généralement des fragments cassés de plus grands HC
- les HC non saturés aromatiques
à partir de précurseurs, ils forment des molécules très stables

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

les différents constituants d'un brut pétrolier

Type de produit	Nbre at. C	T° ébullition (°C)
Gaz pétrole liquéfié GPL	1 à 5	-100 à +20
Supercarburant et essence	4 à 13	0 à 230
Naphtas	5 à 10	50 à 180
Lampants	11 à 16	180 à 310
Fuel-oil et gazole	12 à 23	200 à 380
Paraffines	22 à 33	370 à 470
Huiles de base	24 à 55	390 à 600
Fuels lourds	24 à >70	390 à >700
Cires	38 à 55	490 à 650
Bitumes	48 à >70	560 à >700

Un brut doit toujours être raffiné, distillé ==> 46% essence, 27% huile à chauffage, 10% carburant pour avion, 5% de coke, 4% de gaz liquéfiés, 3% pour pétrochimie, 3% d'asphalte (reste 2% divers)



La composition du brut conditionne

- sa production
- son transport (80% maritime + 600.000 à 71 million de km d'oléoducs)
- son stockage
- son raffinage

= distillation fractionnée céd augmentation progressive de la T° et récupération des produits sous forme de vapeur lorsqu'ils passent à leur point d'ébullition...

pour y arriver: 4 procédés majeurs

1. distillation à p_{atm} ou sous vide
2. craquage thermique (ou catalytique)
3. hydrogénation
4. reformage

Pétrochimie: exemple des plastiques
 Le poids de plastique dans une automobile est passé de 3% à 14% en 20 ans et 100kg de plastiques ont remplacé 350kg de métal, soit une économie de carburant estimée à 4 millions de tonnes/an à l'échelle européenne [années 80'-90']

Les trois grandes familles d'hydrocarbures

1. les HC saturés ou alcanes ou paraffines
2. les HC non saturés (alcènes, naphthéno-aromatiques et arom.)
3. les résines et asphaltènes

Les HC sont donc principalement issus de la matière organique, donc des organismes, donc de la Vie !

comment le sait-on????
 ... de nombreuses façons: C impairs, isotopes C, H, O, N... etc etc

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)

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

Le demi-graben de Baringo-Bogoria

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

30 000 d'histoire sédimentaire
Carottages de 0 à 16 m

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

100 µm

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

+ Diatomées

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

CAROTTAGE

0m

Palynofaciès amorphes et palynofaciès mixtes
[palyno = 'pollens']

matière organique amorphe

débris ligneux, carbonisés, charbon...

LAC DE BOGORIA RIFT GREGORY KENYA

50 µm, 50 µm, 50 µm, 50 µm, 50 µm, 100 µm, 4,55m

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

Cyanobactéries et Chlorophycées

[échelle: barre = 10 µm]

1-2 Chroococcées ...
3-4, 6 Oscillatoriacées ...
5 Rivulariacées
7-8 colonie de *Botryococcus braunii*

LAC DE BOGORIA RIFT GREGORY KENYA

de 0 à 6 m de profondeur

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

SURFACE du LAC

Octobre 1978

**LAC DE BOGORIA
'Bloom'**

***Oscillatoria platensis*
cyanobactéries**
(phytoplankton)



PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

Finally the biomass is composed of a small number of large groups of living organisms

Les planctons marin et lacustre = Algues microscopiques avec 50% protéines, 25% carbohydrates, 5% lipides
[les Diatomées sont beaucoup plus riches en lipides]

Les bactéries = surtout 'eau' + protéines, et jusqu'à 10% de lipides formant les HC C₁₀ à C₃₀

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

La matière organique issue du plancton, des algues et des bactéries sédimente sur place ou sur la même verticale = AUTOCHTONE

La matière organique issue des plantes est amenée dans les bassins de sédimentation (vent, fleuves...) = ALLOCHTONE

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

Ex: Rotifères planctoniques

Le plancton est fort varié...

Globigérine [400 µm]

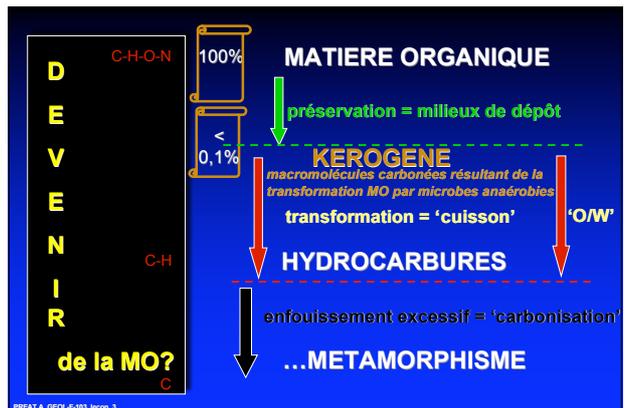
Clio mollusque 3cm

cosmopolites, 1800 sp, 40 µm à 300 µm [surtout 100-500 µm] surtout eau douce...

Ex de ZOOPLANKTON
protistes, cnidaires, cténaïres, polychètes, mollusques, crustacés, cténognathes, échinodermes, tuniciers, poissons...



PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3



MATIERE ORGANIQUE: quantité et rendement transformation

La 'Vie' utilise le carbone...
Réserves en carbone = 20 millions de milliards de tonnes!

↓

99,75% sont stockés dans les carbonates des sédiments

↓ ↓

la Vie ne dispose donc, pour son usage immédiat que de 0,25%,
 soit quand même 50.000 milliards de tonnes

↓ ↓ ↓

34.500 sont bloqués sous forme de CO₂ dans des mers très profondes (malgré un très lent renouvellement avec la surface...)
10.000 sont bloqués sous forme de C fossile

*Charbon, Pétrole-Gaz
 3000 à 5000 GtC exploitables
 Climatologues: pas dépasser 1000 à 2000
 CO₂: 280-380(2007)-1200 à 4000 (en 3000)*

= 'HC'...

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

MATIERE ORGANIQUE: quantité et rendement transformation

$[50.000 - 34.500 - 10.000 = 5.500]$
 ↓ ↓ ↓ ↓ il reste donc 5.500 milliards de tonnes de carbone

dont 1150 sur terre
 dont 3000 en mer
 dont 1350 dans l'atmosphère

immédiatement disponible pour la synthèse chlorophyllienne et par le bicarbonate de Ca des eaux superficielles des océans

ET LE PETROLE
 dans tout cela?
 = 'HC'...

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

MATIERE ORGANIQUE: quantité et rendement transformation

Les combustibles fossiles sont le résultat d'une minuscule 'épargne' de MO à partir des immenses cycles précédents

= 10.000 milliards de tonnes de carbone fossile

accumulées en ± 500 Ma, soit 20.000 t/an qui échapperaient aux cycles de la Vie [sur les 5.500 milliards disponibles, soit $0,5 \cdot 10^{-6}$ /an]

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

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

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

MATIERE ORGANIQUE: quantité et rendement transformation

OU CELA A-T'IL LIEU?
 = dans des milieux très confinés où l'oxygène de l'air n'a pas accès...

sédiments fins et compacts des fonds de mer ou de lacs [sapropèles]

= ROCHES-MERES ou ROCHES SOURCES

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

ROCHES-MERES ou ROCHES SOURCES

pour former une roche mère il faut conserver la matière organique

PAS
EVIDENT

la plus grande partie de la M.O. d'origine planctonique est détruite au cours de sa chute à travers la tranche d'eau dont la vitesse est de l'ordre de 100 m par semaine

- 2% seulement atteignent les fonds peu profonds
- 0,02% les grands fonds océaniques

les quantités sédimentées sont finalement fonction de la biomasse produite c-à-d de la productivité organique du milieu et des conditions physico-chimiques du milieu de dépôt cfr géologie... et 'proxy' de paléo-biproductivité

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3



1. Embouchure fleuve tropical, delta....

charriage d'une masse phénoménale de débris végétaux mélangés à des sables et à des argiles. Suite à l'oxygène océanique omni-présent, les micro-organismes, les faunes benthiques consomment tout et rejettent 0,1% de déchets organiques qui vont s'accumuler petit à petit...

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



PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

2. Zones d'upwelling

zones privilégiées où l'eau froide des fonds océaniques (des mers polaires) remonte aux abords d'un continent. Cette eau dense et enrichie en oxygène, 'racle' les fonds et récupère les sels minéraux produits par la décomposition des organismes marins. Elle remonte ensuite enrichie en nutriments (SO_4 , PO_4 , NO_3 , Ca, K, Na....) et tout le phytoplancton (algues unicellulaires, diatomées...) explose de vie à la surface en consommant tout l'oxygène. Finalement il y a **ANOXIE** juste en-dessous... et la matière organique (liée à cette explosion de Vie) est préservée des dégradations aérobies: **Il se forme un sédiment très riche contenant 4 à 7% de matière organique.**

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

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

3. Anaérobioses

= la 'mise en conserve' du sédiment au fond des mers fermées, ou semi-fermées, des lacs, des lagunes et autres mares saumâtres. En surface l'eau est oxygénée et la matière organique s'accumule au fond sans dégradation excepté par les bactéries sulfato-réductrices qui rejette de l' H_2S (toxique) à partir des acides aminés et des sucres. Le sédiment devient réducteur et riche en MO (plusieurs %) peu dégradée.

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

Ex: Mer Noire >3% MO et >0,2g C/m²/j

HERBIERS à POSIDONIES

Cyclades, Grèce, 2003

anaérobiose



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



RENDEMENT!!!

un chiffre méconnu ...

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



CONCLUSION

le **kérogène** est le précurseur des HC, il provient de **DEGRADATION-POLYCONDENSATION-INSOLUBILISATION** de la MO attaquée par les micro-organismes [bactéries et fungi] dès les premiers cm d'enfouissement

ensuite...

DEGRADATION THERMIQUE du KEROGENE



....POUR CELA IL Y A DONC TROIS POSSIBILITES... 1, 2, 3

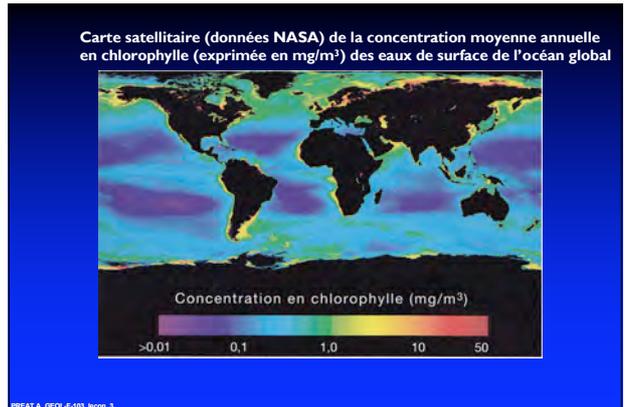
la matière organique des roches mères est donc d'origine continentale (végétaux sup, et algues -lacs) et d'origine marine (végétaux marins, algues etc.) et/ou mixte

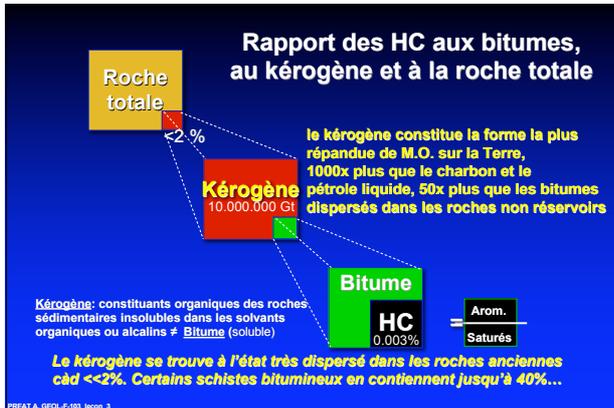
en moyenne sédiments << 0.5% M.O. ← → roches-mères 2-10% (parfois plus)

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

ORIGINE DE LA MATIERE ORGANIQUE ET DU KEROGENE

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3





Kérogène: c'est la M.O. à l'origine du pétrole. Il est amorphe, insoluble à 95% et lié à la roche

Il est déjà le résultat de l'action de bactéries anaérobies sur de la M.O. emprisonnée à l'abri de l'air, dans des sédiments fins. Il s'agit donc de la forme fossilisée de la M.O. dans les roches anciennes, suite à l'augmentation de température (enfouissement).

Plus en détail:

- (1) Matériel cellulaire dégradé (cuticules, feuilles, pollens, spores, algues...)
- (2) Complexe soluble dans l'eau contenant acides aminés et carbo-hydrates
- (3) Acides fulviques
- (4) Acides humiques
- (5) KEROGENE = GEOPOLYMERE INSOLUBLE ou MACROMOLECULE [surtout formé par les LIPIDES qui sont les plus résistants à la biodégradation]

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

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

GENESE DU PETROLE = DIAGENESE + CATAGENESE

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

- de la chaleur ($T^{\circ} = 10' - 100^{\circ}$)
- du temps (géologique = 10' Ma)
- ensuite seulement - si tout va bien - un piège
- cela fonctionne grâce à la subsidence (pression+gradient géothermique)

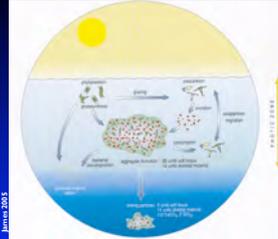
Roche Source riche en Matière Organique → Maturation Thermique de la Matière Organique → HUILE

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

GENESE DU PETROLE = DIAGENESE + CATAGENESE

PREAT A. GEOL-F-103 leçon 3

POUR INFO

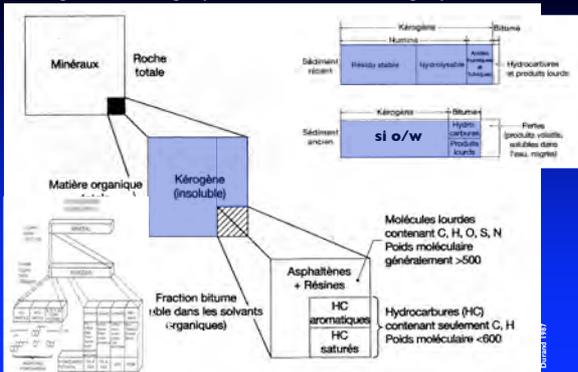


Matière organique particulaire. Suite au recyclage permanent dans la zone photique, seul ± 6% de la matière organique atteint les bassins profonds... ensuite préservation?

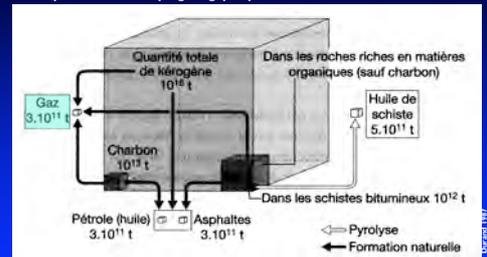


Palynofaciès des calcaires du Jurassique supérieur de l'île d'Oléron montrant différents types de particules organiques et des grains de pyrite

Kérogène : fraction organique insoluble dans les solvants organiques



Le kérogène est 10 000 [10^{14}] plus abondant que la MO vivante [10^{12} t] malgré que 0,01-1% de la production primaire soit fossilisée => importance des 'temps' géologiques pour les accumulations...



Aujourd'hui (2010's): extraction de $6 \cdot 10^9$ t/an de carbone

