

Gestion de l'énergie. La quadrature du cercle!



LES COMBUSTIBLES FOSSILES POUR COMBIEN DE TEMPS ENCORE?

Journées Printemps des Sciences-ULB
21 mars 2012

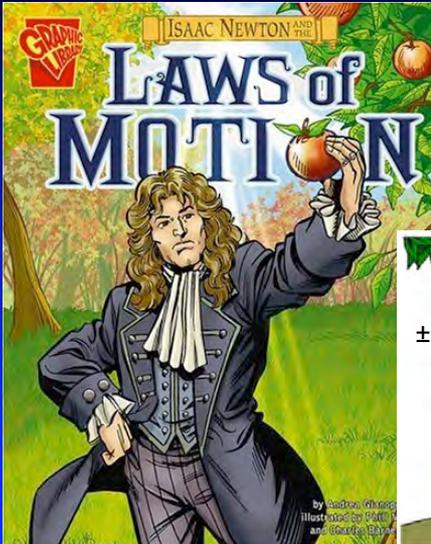
Alain PREAT
Professeur géologie ULB
apreat@ulb.ac.be
<http://www.biogeomod.net/staff.html>



LES SOURCES D'ENERGIE 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 U²³⁵ = autant d'E qu'une tonne de pétrole!, 1cm³ = 19g U²³⁵ = 47,5 T charbon!
 - ◇ Fission [Centrales nucléaires actuelles] ◇◇ Fusion [...]
- ENERGIES RENOUVELABLES = énergies **diluées** ou diffuses mais renouvelables
 - ◇ Hydraulique ◇◇ Solaire ◇◇◇ Eolienne
 - ◇◇◇ Biomasse ◇◇◇◇ Géothermie

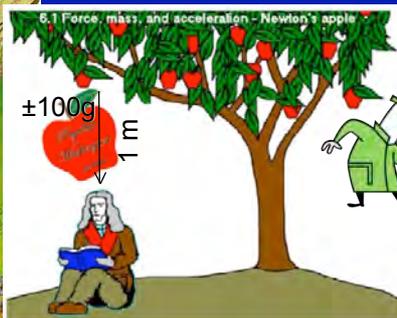
en 1h le Soleil déverse 'notre' Energie de 365 jours
ou il déverse environ 10000X notre consommation mondiale d'énergie à chaque instant



L'unité de base de l'énergie dans le système international est le **Joule** qui est aussi l'unité de travail et de chaleur

=

Travail d'une force de 1N dont le point d'application se déplace de 1m dans la direction de la force



1 tep
= 42 GJ

1 kJ = Energie dégagée sous forme de chaleur par une personne au repos toutes les 10 secondes

- 1tep = ±42GJ = 10¹⁰cal ou ±11700kWh

1 calorie = 4,18 J (1cal = quantité de chaleur pour élever de 14,5° à 15,5° la T° de 1g d'eau)

Le saut d'une puce = 10⁻⁷ J (soit environ 4 dix-millionième de cal),

L'homme a besoin de 10⁷ J d'énergie/j [±2500Kcal] sf de nourriture, de chaleur ...

Une tep représente donc 11_{1/2} ans de ses besoins vitaux!

[1bbl = ±1_{1/2} an, 1l = 3,6j]

- Un cyclone dans les Caraïbes = 3,8 x 10¹⁸ J soit 100. 10⁶ tep



$1t \text{ } ^{235}\text{U} \implies 10\ 000 \text{ tep}$
 $1000\text{m}^3 \text{ gaz } p_{\text{atm}} \implies 0,9 \text{ tep}$
 $1t \text{ charbon} \implies 0,7 \text{ tep}$

1 Réacteur Nucléaire de 1GW_e

= 100km² solaire pv, soit 5000km² pour toute l'électricité en France

= 2 500 éoliennes (de 2MW) et 500km²

= 50 000km² à partir géothermie

= 30 000km² à partir biodiesel (tournesol ou colza)

ou 43μg ²³⁵U(0,0000043g) = 70g essence = 3,6t eau sur 100m = 1kWh

Surface nécessaire pour produire annuellement 10TWh d'électricité à partir d'énergie renouvelable (10TWh = production annuelle d'un réacteur thermique moderne)

Centrales thermiques 'classiques' et nucléaires 1-10km²

Source d'énergie	surface nécessaire
Solaire	100 km ²
Eolien	500 km ²
Solaire photovoltaïque	5000 km ²
Biodiesel (tournesol ou colza)	30000 km ²
Géothermie (pompe à chaleur)	50000 km ²
Géothermie 'géologique'	très faible surface
Hydraulique	faible surface

ENERGIE DILUÉE...

lacon et al., 2012

A. Prétat -2012 Printemps des Sciences-ULB

LA Recherche
L'actualité des sciences

LES PROMESSES DES ÉNERGIES renouvelables

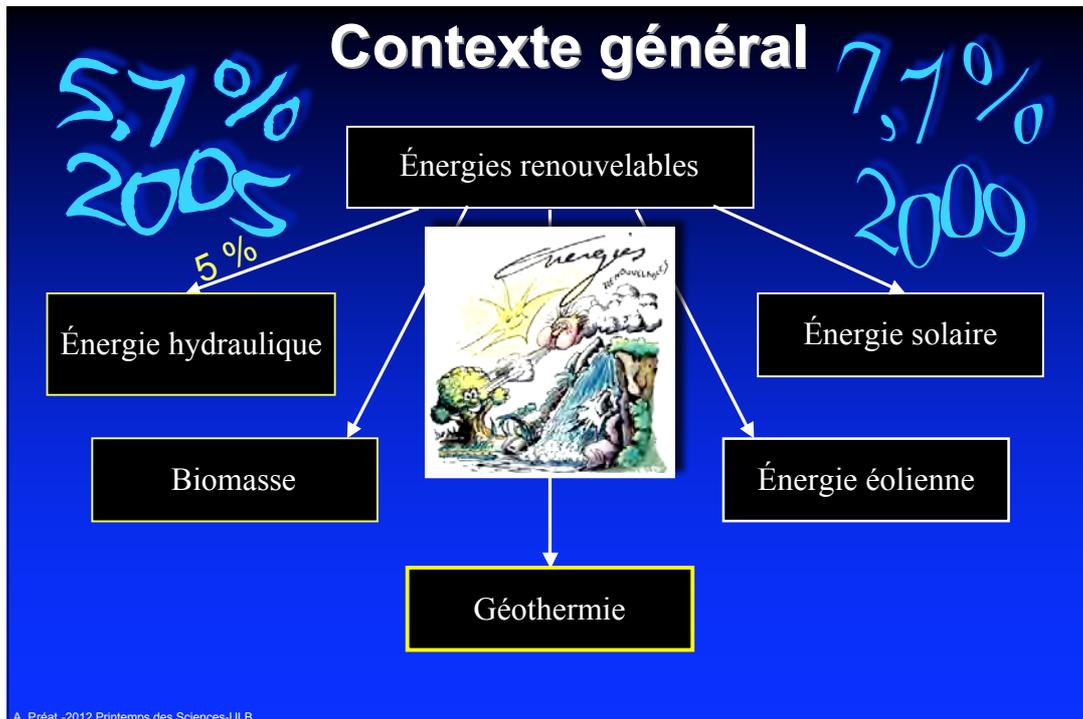
- ÉOLIEN
- SOLAIRE
- GÉOTHERMIE
- BIOMASSE
- HYDRAULIQUE

2009

- 1 Photovoltaïque : le silicium s'impose**
par Franck Daninos
- 2 L'énergie éolienne est-elle vraiment « verte » ?** par Jean-Philippe Braly
- 3 L'électricité de plus en plus propre**
par Jacques-Olivier Baruch
- 4 Arthouros Zervos : « Le futur des renouvelables ne s'arrête pas à Copenhague »** Propos recueillis par Yves Sciama

N° 436 • DÉCEMBRE 2009 | La Recherche • 39

A. Prétat -2012 Printemps des Sciences-ULB



Manifestation naturelle : un geyser en Islande.

2004: troisième position des énergies renouvelables
En 2001, plus de 80 pays possédaient des ressources en géothermie
<http://www.brgm.fr/brgm/geothermie/accueil.htm>

A. Prétat -2012 Printemps des Sciences-ULB



La chaleur interne de la Terre = radioactivité

Les roches conduisent MAL la chaleur
 ⇒ la chaleur dégagée en surface est FAIBLE
 soit $0,06 \text{ W/m}^2$ (environ 3500x moins que
 le flux d'E solaire reçu à la surface du sol)

⇒ si elle était plus faible, la Terre serait depuis
 longtemps 'gelée' et la convection thermique,
 donc la tectonique des plaques, inexistante

⇒ un tel flux faible n'est pas favorable à la
 à la production d'électricité



DEEP HEAT

DEEP HEAT =

E GEOTHERMALE

Potentiel énorme

Les USA contiennent l'équivalent
 de 125 000 fois leur consommation annuelle
 en énergie... dans les 'roches chaudes'
 (magmas...)



Le contenu énergétique des ressources géothermiques à une profondeur de 3km est estimé à
 3 millions de quads, soit l'équivalent de 30 000 années de consommation d'énergie (USA) et à
 2000 années de la portion techniquement exploitable à l'heure actuelle



HYDRAULIQUE

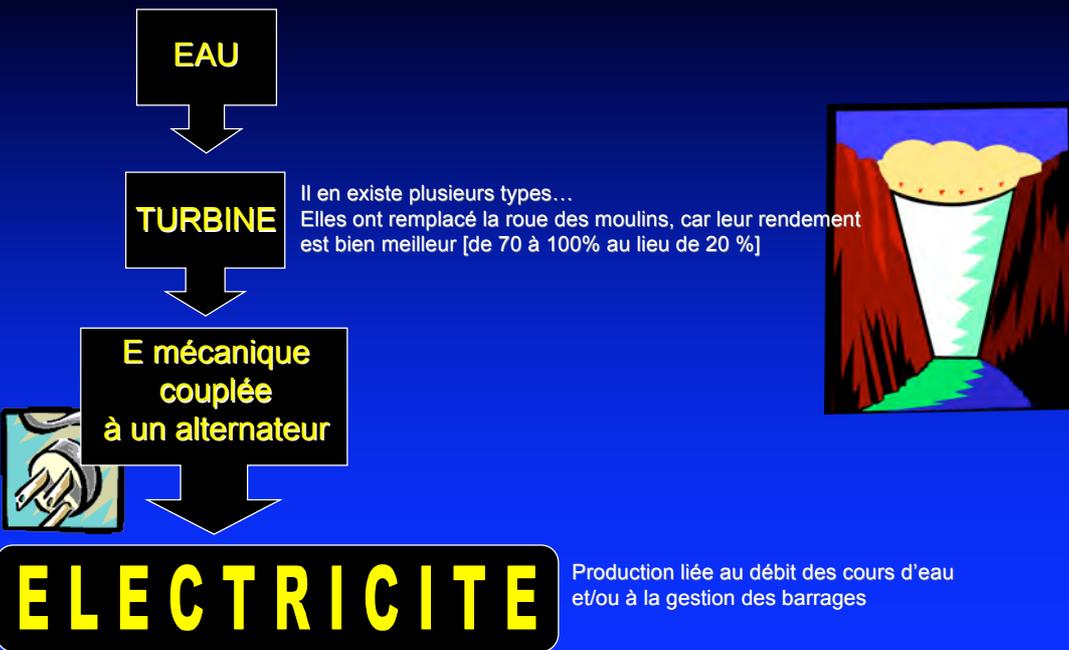
2008 = 8% électricité USA
 2009: Trois-Gorges (22,5GW) Chine
 2X le solaire mondial, 12RNU
 2335mLx180mH, début construction 1994
 2% électricité Chine en 2009

Soit 10X plus que solaire+géothermique+éolien

2004-2012: première position des énergies renouvelables

Hydraulique = 18% production électrique mondiale années 2000'
 = 5% de l'E totale mondiale en 2005
 [Nucléaire = 17 %, Combustibles fossiles = 64 %, Autres ER = 1%]

A. Prétat -2012 Printemps des Sciences-ULB



EAU

TURBINE

Il en existe plusieurs types...
 Elles ont remplacé la roue des moulins, car leur rendement est bien meilleur [de 70 à 100% au lieu de 20 %]

E mécanique couplée à un alternateur

ELECTRICITE

Production liée au débit des cours d'eau et/ou à la gestion des barrages




A. Prétat -2012 Printemps des Sciences-ULB



Brésil - Agriculture

Semis direct dans l'État de Santa Catarina

Deuxième position des énergies renouvelables

Loin derrière l'hydraulique.... seulement 1,1 %
ou 11,1% si on ajoute le bois

A. Prétat -2012 Printemps des Sciences-ULB

'BOIS - BIOGAZ - BIOCARBURANT' DEFINITION

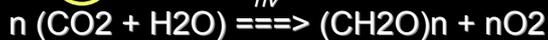
C'est l'énergie stockée dans la matière vivante comme la végétation.
La végétation utilise indirectement l'E solaire pour produire de l'E
[ex usage du bois -feu, chauffage, éclairage-... il y a -500 000 ans]

Surtout dans les PVD à faible densité de population : pour 3 milliards d'habitants (soit la moitié de la population humaine), la biomasse 'traditionnelle' [bois-déchets végétaux-charbon de bois-bouse de vache séchée] = source principale, parfois unique d'énergie.

Rendement très faible de $\pm 10\%$ et son utilisation massive depuis longtemps a conduit à une déforestation aux 17 et 18^e siècles dans nos pays.



500 kJ/mole
 $h\nu$



faible rendement 1/3 E solaire est bioconvertie à l'échelle de la cellule

À l'échelle de la culture: rendement théorique MAX < 6 %

- sous les climats tropicaux: rendements de 2 à 3 % (canne à sucre = 2 %)
- en Europe (climat tempéré): 0,4 - 1 % pour les cultures, et < 0,2 % pour les forêts

A. Prétat -2012 Printemps des Sciences-ULB

L'ÉOLIEN



±1 à 2% mondial
 inconvénient majeur : intermittence
 En Belgique 2012: ± 500 éoliennes
 produisent 2% de l'électricité

A. Prétat -2012 Printemps des Sciences-ULB

lancé après le premier choc pétrolier en 1973, au Danemark

Europe (pionnière) en 2010 = 5% consommation électrique, surtout Allemagne

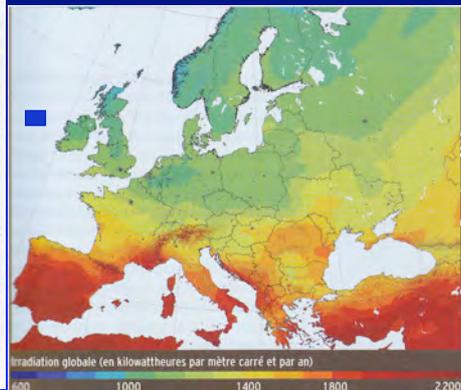


La Recherche 2010

Europe (pionnière) en 2012 = offshore
 250GW terrestre et 150GW offshore en 2030
 (=> 110% électricité en Europe)

LE SOLAIRE

L'énergie de la lumière éclairant un carré de 25 km²/an électricité consommée en France pendant un an, soit 550 milliards kWh



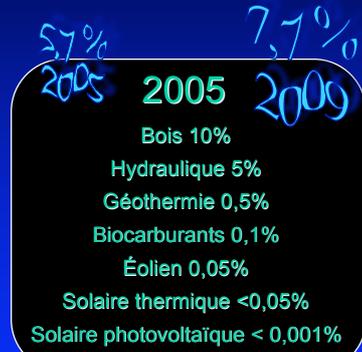
Commission Européenne 2010

Exploitation à partir de cellules photovoltaïques rendement 2010 = 10 à 20%, en laboratoire = 41%
 => 14% électricité en Europe en 2020

A. Prétat -2012 Printemps des Sciences-ULB

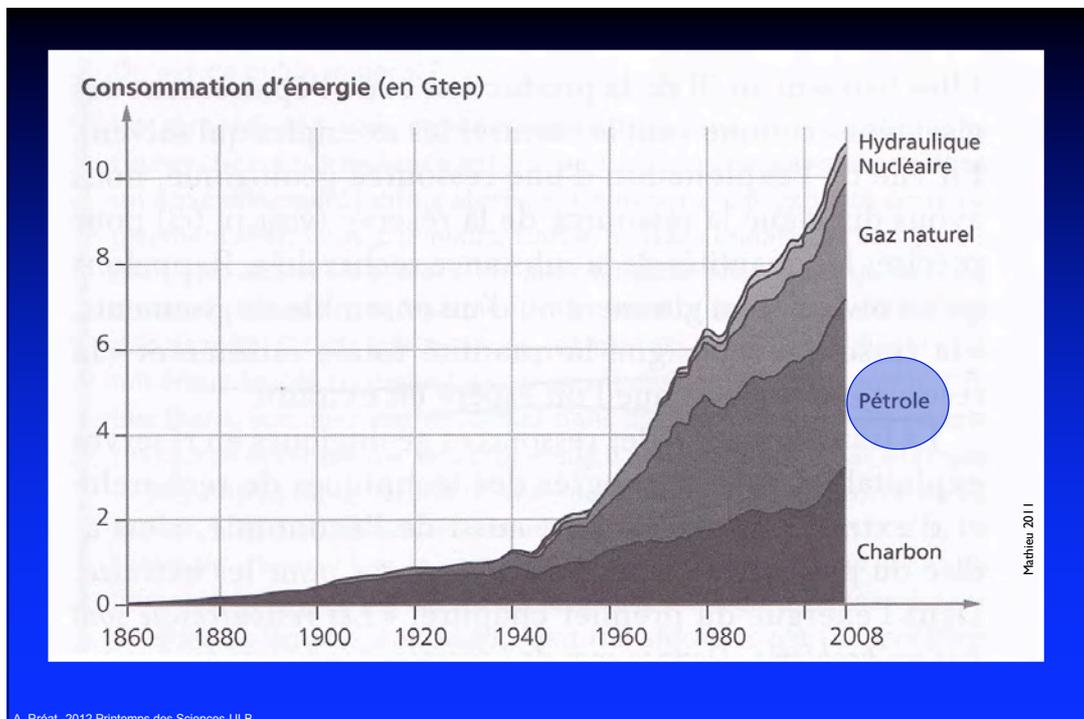
CONSOMMATION D'ENERGIE PRIMAIRE COMMERCIALE DANS LE MONDE EN 2009 (Gtep)

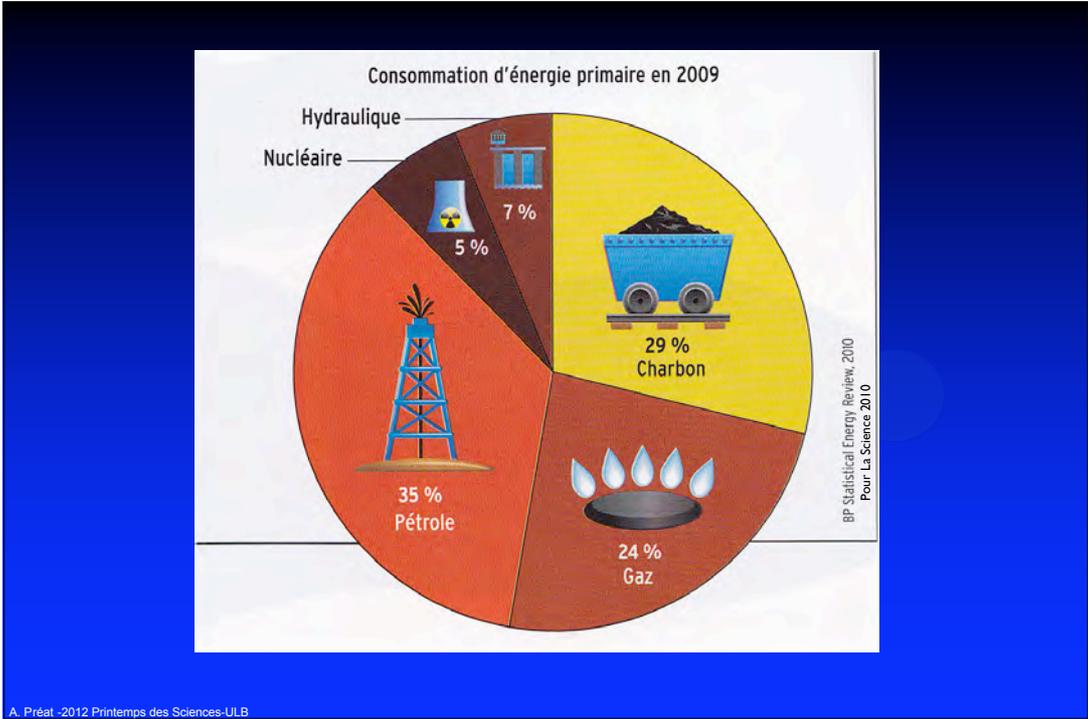
2010 12	ENERGIE Gtep	2008	2007	1998
	12 Gtep (2010) 33%-27%-20% = 80% hors-bois			
1	Pétrole	3,928	3,939	3,39
2	Charbon	3,304	3,195	2,22
3	Gaz	2,726	2,652	2,02
	Hydraulique	0,718	0,696	0,69
	Nucléaire	0,620	0,623	0,63
	TOTAL	11,3	11,1	± 9



Pour 2010: 12 Gtep soit ±12000 réacteurs nucléaires (auj ±450)

L'ordre de grandeur souhaité pour l'utilisation des ER en 2030: 1,5 sur ±17 Gtep soit ± 9%





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 d'environ 70 000 gisements d'hydrocarbures

Light Texas Crude
Palo Pinto Field
North Texas

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

'léger'

Heavy Texas Crude
Humble Oil Field
Southwest Texas

'lourd'

1 bl
=
159l

'moyen'

'extra-lourd'

American Petroleum Institute, 1999

A. Préat -2012 Printemps des Sciences-ULB

B R U T O T H E Q U E
E X X O N

45°
Sourakhrani, Caucase, non sulfurisé en méditerranée
Arabian Light
Barrow Island, Australie
38°
BRENT, MER du N
S<0.2%
36°
Parentis, Esso
DUBAI
31°
Mimizan, Parentis

> 10°
< 10°

7 Arabian Heavy
8 Pensylvanie
9 Santa Barbara Offshore Californie
10 1075ka/m³
Peace River, Alberta
Boscan, Vénézuéla

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

12 Minas, Sumatra paraffineux

FERROCOSS +
Leygonie et al., 1983
% sour sweet

A. Préat -2012 Printemps des Sciences

depuis
2006 - ±85 M bbl/j
(75 c + 10 GL et Tar sands)
= travail 22 G esclaves pdt 24h

1 bbl = 159l
1 t = ± 7,5 bbl [5,8-8,2]

1000 bbl/sec

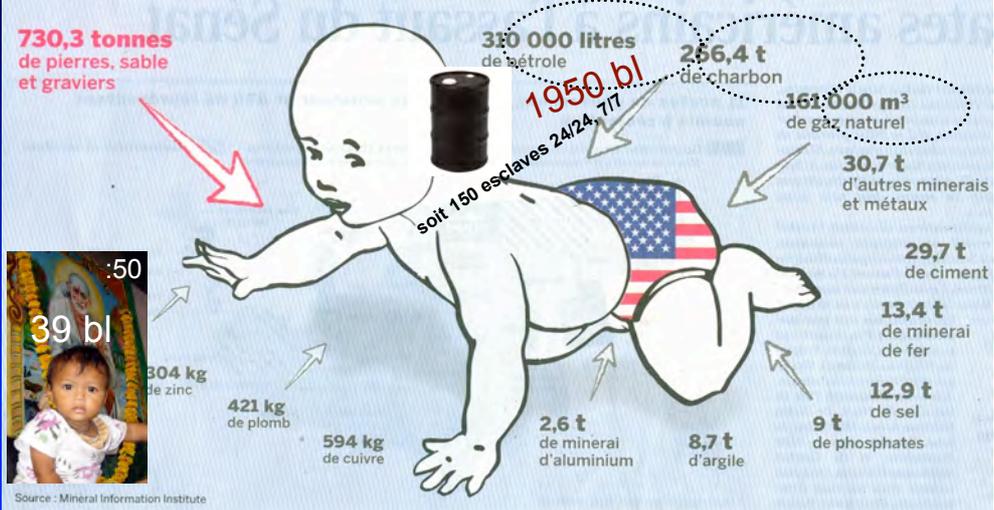
15 secondes

soit 5500/j
ou 550/cont

A. Préat -2012 Printemps des Sciences-ULB

Population - Besoins en Energie

Au cours de sa vie, chaque Américain né en 2008 consommera...



En 2006, la consommation moyenne primaire annuelle mondiale/habitant **1,7 tep** (valeur basse sans grande signification) 0,024 tep/hab/an ETHIOPIE à 8,6 tep/hab/an USA (ratio X358) 4,5 Japon 4 Europe 1,3 Chine 0,4 Inde

A. Préat -2012 Printemps des Sciences-ULB

Population - Besoins en Energie

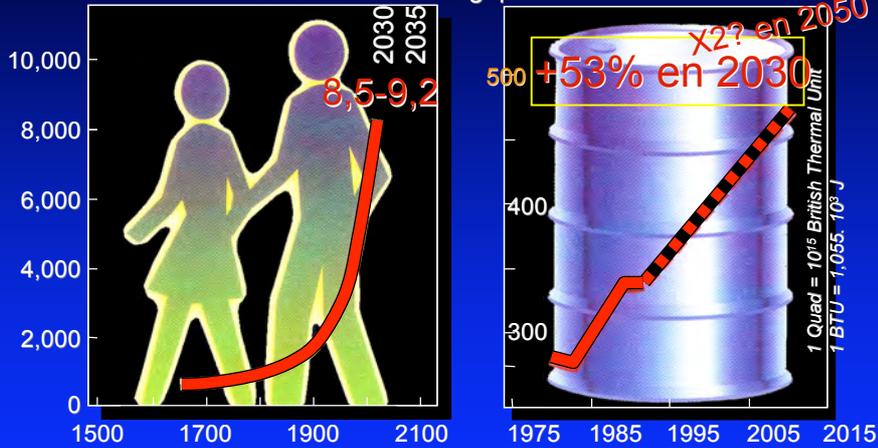


A. Préat -2012 Printemps des Sciences-ULB

Population - Besoins en Energie

Augmentera 'en moyenne' de 1,5%/an jusqu'en 2030

Chaque jour : ±200 000 personnes en plus (N-D), soit ± 6 millions/mois!
ou encore ± la Belgique tous les 2 mois...



En 2000-2005: pétrole, charbon, gaz = 90% des besoins
(Am et Eur consommaient 51% de l'énergie mondiale)
de 1850 la consommation d'énergie = X150 à ?X1000

A. Préat -2012 Printemps des Sciences-ULB

Population - Besoins en Energie

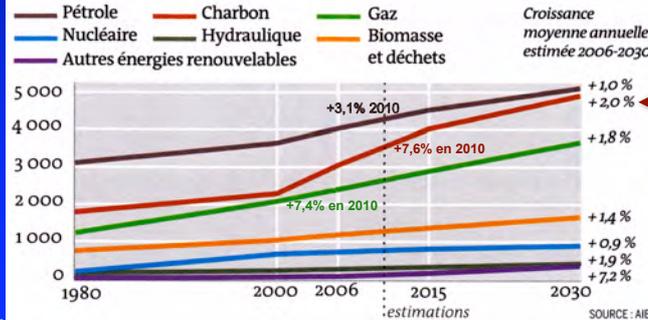
En 2008: CRISE et BL = 147\$!

- 1 Consommation mondiale PETROLE = -0,6%
- 2 Consommation mondiale CHARBON >2,5% (+4,9% entre 2000 et 2006)
(plus forte augmentation du charbon, pour la 6^{ème} année consécutive)
- 3 Consommation mondiale GAZ = +2,5%

TOTAL: la consommation mondiale d'énergie primaire
a augmenté de +1,4 % en 2008 (malgré la crise...) et diminué! de 1,1% en 2009 (et +5,6% en 2010)

Demande énergétique mondiale

En millions de tonnes équivalent pétrole (TEP)



soit +60% entre 2006-2030
le charbon N'EST PAS cher
(8-12\$ boe)

Sequestration pas avant 2020?
et effets en 2030 (AIE, 2008)

A. Préat -2012 Printemps des Sciences-ULB

CONSOMMATION MONDIALE ENERGIE PRIMAIRE EN 2010 : + 5,6% (dont 1/5= Chine)

Pétrole: +3,1% (11^{ème} année consécutive de moindre augmentation par rapport au gaz-charbon)

Gaz naturel : +7,4% (la plus forte depuis 1984)

Charbon : +7,6% (la plus forte augmentation depuis 2003 avec 1/2 = Chine et la plus forte part relative dans les combustibles fossiles depuis 1970)



BP 2011



A. Prétat -2012 Printemps des Sciences-ULB

Population - Besoins en Energie

2005 (selon AIEA-2007)



ENERGIE PRIMAIRE
combustibles fossiles

80% ou +...



PRODUCTION ELECTRICITE
combustibles fossiles

65% [charbon 40%]

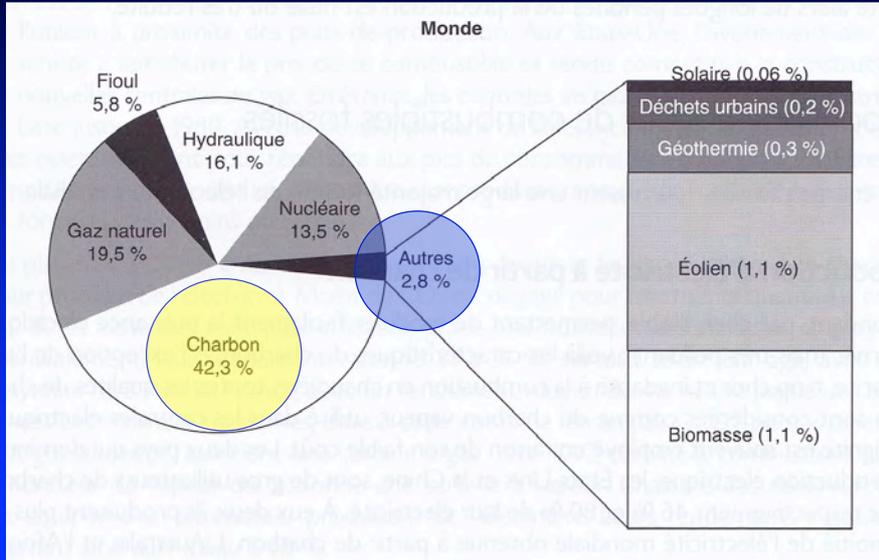
Hydraulique 16% Nucléaire 15%

Nb: en Chine, il se construit 2 centrales au charbon/semaine

Nb: aux USA, 640 centrales thermiques au charbon, 140 sont prévues d'ici peu

A. Prétat -2012 Printemps des Sciences-ULB

Part relative des différents modes de production d'électricité en 2008



SOeS 2009, Observ'ER 2010 in Mathis 2011

A. Prétat -2012 Printemps des Sciences-ULB

Croissance en % de la production d'électricité à partir des ER (Iacona et al. 2101 adapté des données EIA, mars 2011)



Eolien mondial 2011 = 1,1%
coût hors subvention = 2X gaz naturel ou nucléaire

Photovoltaïque solaire 2011 = qq 10 millièmes production électricité mondiale

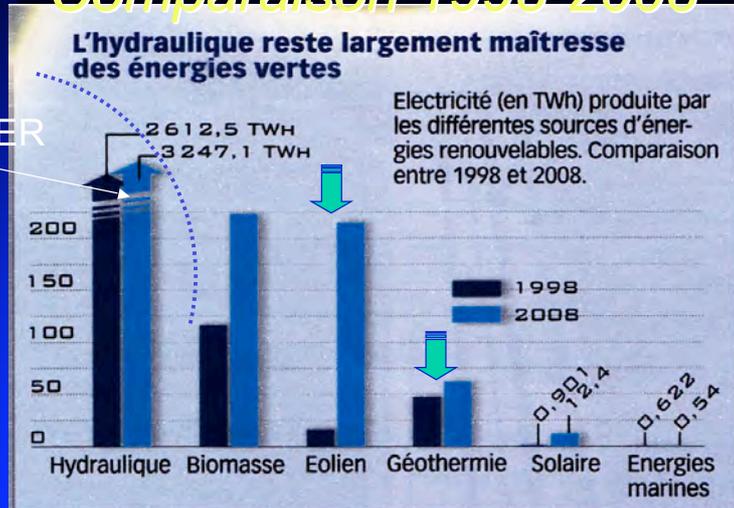
	Hydrau-lique	Géo-thermie	Éolien	Solaire élec-trique	Bio-masse élec-trique	Agro-carbu-rants
Période	1980-2008	1980-2008	2000-2008	2000-2008	1980-2008	2001-2008
Allemagne	+8	-	+330	+3700	+440	+850
Autriche	+31	-	+2900	+470	+1500	+1900
Bésil	+184	-	+6900	+13700	+900	+140
Canada	+50	-	+1300	+30	+550	+430
Chine	+800	-	+2000	+650	pas de données	+45000
Danemark	-	-	+70	+180	+1700	+270
Espagne	-20	-	+580	+10600	+1100	+1100
États-Unis	-8	+194	+900	+60	+15300	+540
France	-7	-	+7300	0	+760	+700
Inde	+143	-	+700	+70	pas de données	+110
Japon	-14	+152	+2300	+380	+150	-
Pays-Bas	-	-	+400	+200	+560	-
Portugal	-14	+6000	+3300	+3700	+570	-
Royaume Uni	+30	-	+650	+750	+380	-
Russie (depuis 1990)	-4	-	-	-	-	-
Suède	+18	-	+340	+100	+1300	+1000
Suisse	+10	-	+530	+200	+1300	-
Turquie	+195	+4100	+2500	-	+60	-
Europe	+23	+285	+440	+970	+920	+940

A. Prétat -2012 Printemps des Sciences-ULB

Les ER ne 'décollent' pas dans la production d'électricité

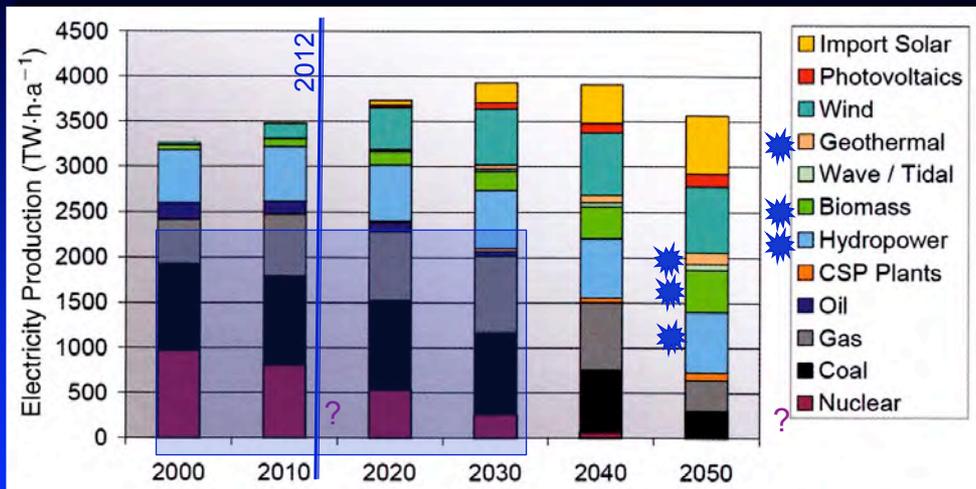
Comparaison 1998-2008

86% des ER



65 à 70% de la production mondiale d'électricité = Combustibles fossiles, 20% ER, ensuite Nucléaire

Les ER ne 'décollent' pas dans la production d'électricité et pour le futur (EUROPE 31 pays)?



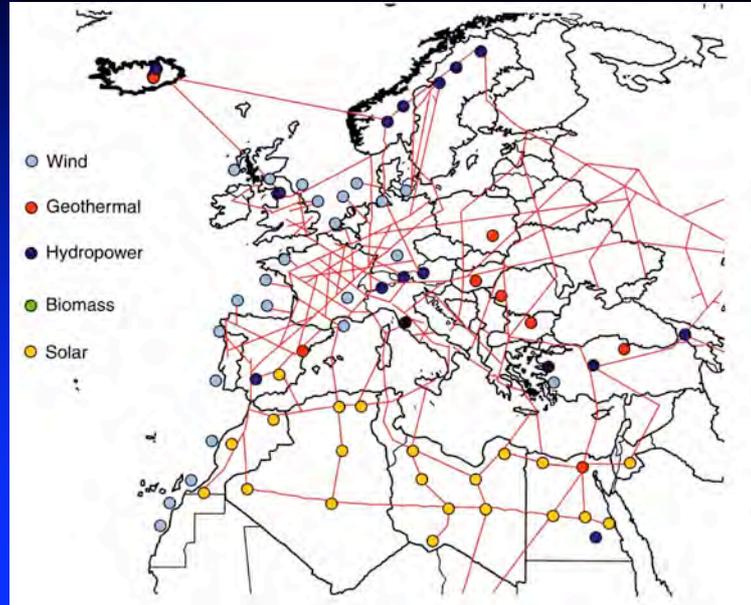
Demande E mondiale en croissance 'constante' => 22Gtep? E 2050

Population 1% - Energie 2% - Electricité 3%

2010: 1,5 G hab n'ont pas accès, en 2030 = 1,3 G hab

GRILLE EUMENA (Eur, Moyen-Orient, Afr N)

pour pallier le fait que l'électricité conventionnelle ne peut se transférer sur de grandes distances

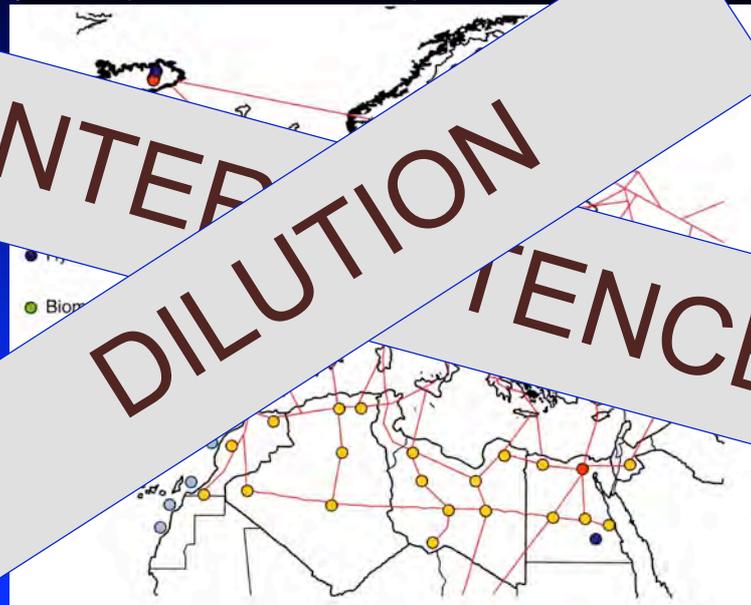


A. Prétat -2012 Printemps des Sciences-ULB

Trieb et al 2006

GRILLE EUMENA (Eur, Moyen-Orient, Afr N)

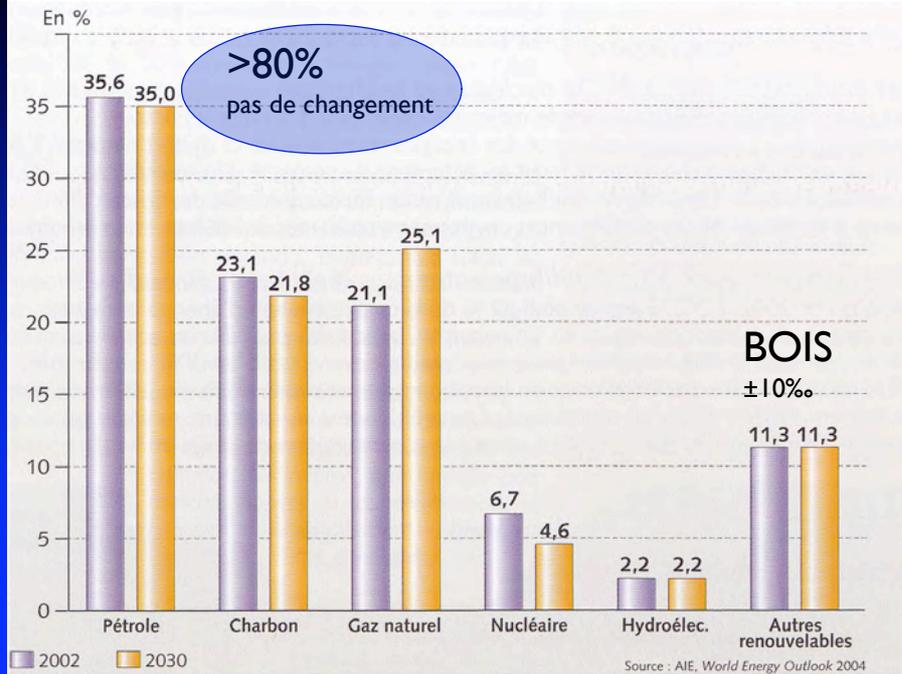
pour pallier le fait que l'électricité conventionnelle ne peut se transférer sur de grandes distances



A. Prétat -2012 Printemps des Sciences-ULB

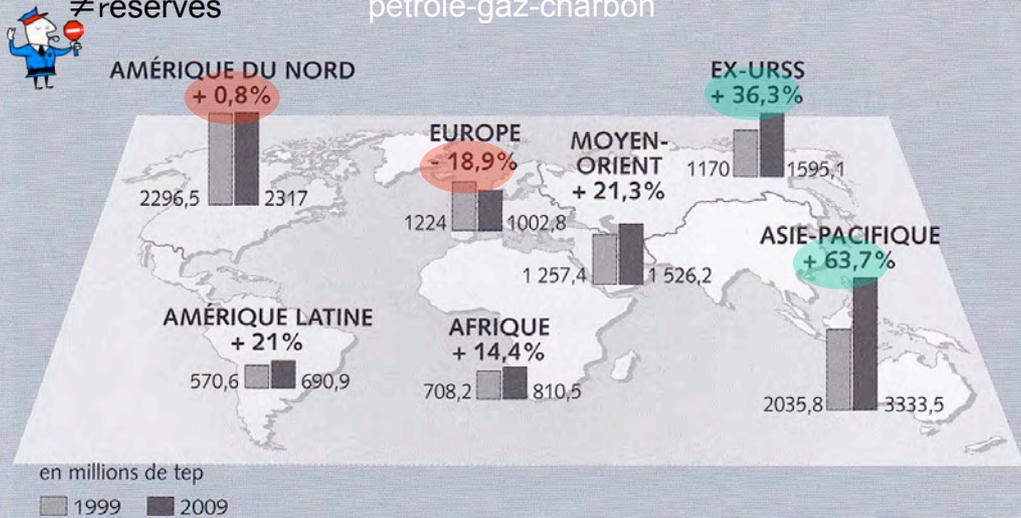
Trieb et al 2006

Evolution de la structure de la consommation d'énergie primaire à l'horizon 2030 (en %)



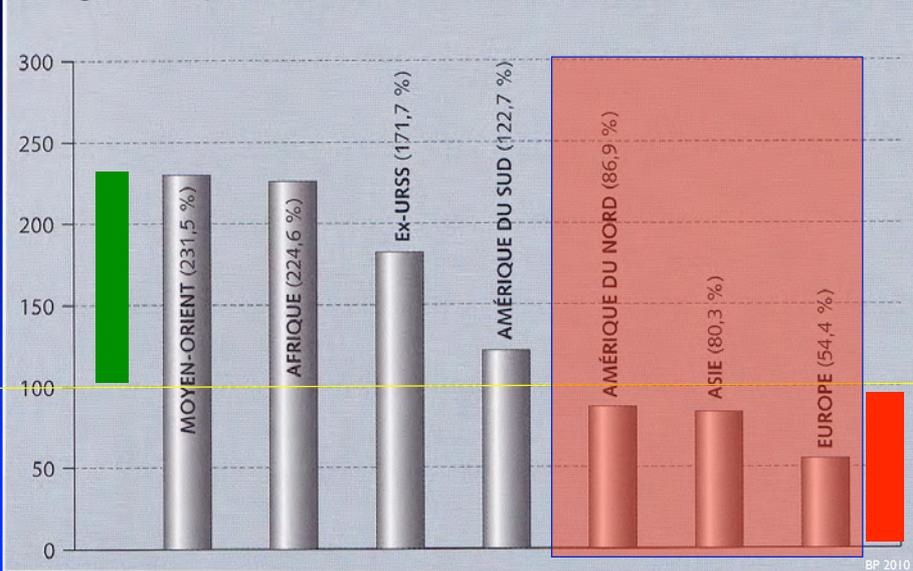
A. Prétat -2012 Printemps des Sciences-ULB

La production mondiale d'énergie fossile selon les régions (en millions de tep)
 ≠ réserves



A. Prétat -2012 Printemps des Sciences-ULB

Le degré d'indépendance en termes d'énergie fossile en 2009 (en %)



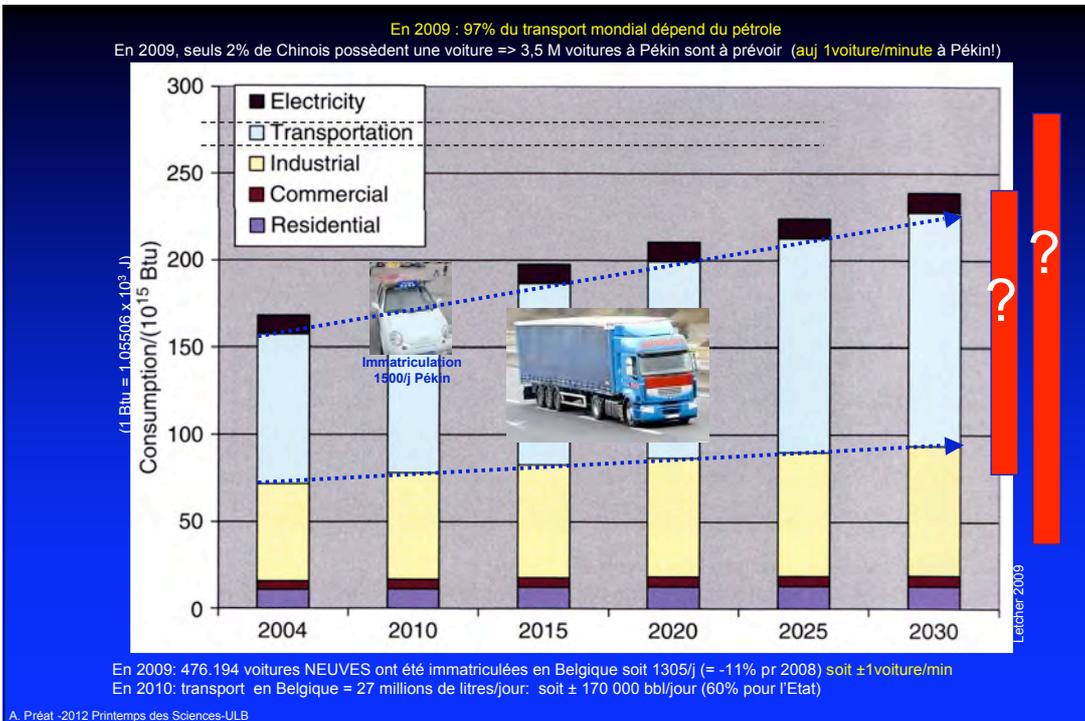
Aucune source d'ER ne peut A ELLE SEULE remplacer le pétrole à court (et moyen?) terme
 > les partisans du nucléaire espèrent profiter de la lenteur du développement des ER et des difficultés croissantes des EF pour 'se relancer' [aussi sans effet de serre, mais avec déchets...]

en attendant = casse-tête énergétique

Une alternative TRES SERIEUSE = SOBRIETE = Réduire la consommation d'E
 ==> association **NEGAWATT** www.negawatt.org
 On pourrait diminuer jusqu'à 70% la consommation d'E par rapport aux tendances actuelles, dans nos pays!

2006

A. Prétat -2012 Printemps des Sciences-ULB



En attendant = casse-tête énergétique Population = Besoins en Energie

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

- En dollars 2004 et de 1869 à 2004 prix mondial pétrole = 19,41\$ càd 'bon marché' (médiane = 15,17\$)
- en 2004: 3,5 milliards d'asiatiques ont consommé 20 millions bbl/j et les américains [293. 10⁶ hab] 22 millions.

En 2004: 1Américain 25bbl/an, 1Japonais 18, 1Européen 12, 1Terrien moyen 5, 1Chinois1,5 et 1Indien 1bbl/j

1 bbl = 1600 kWh



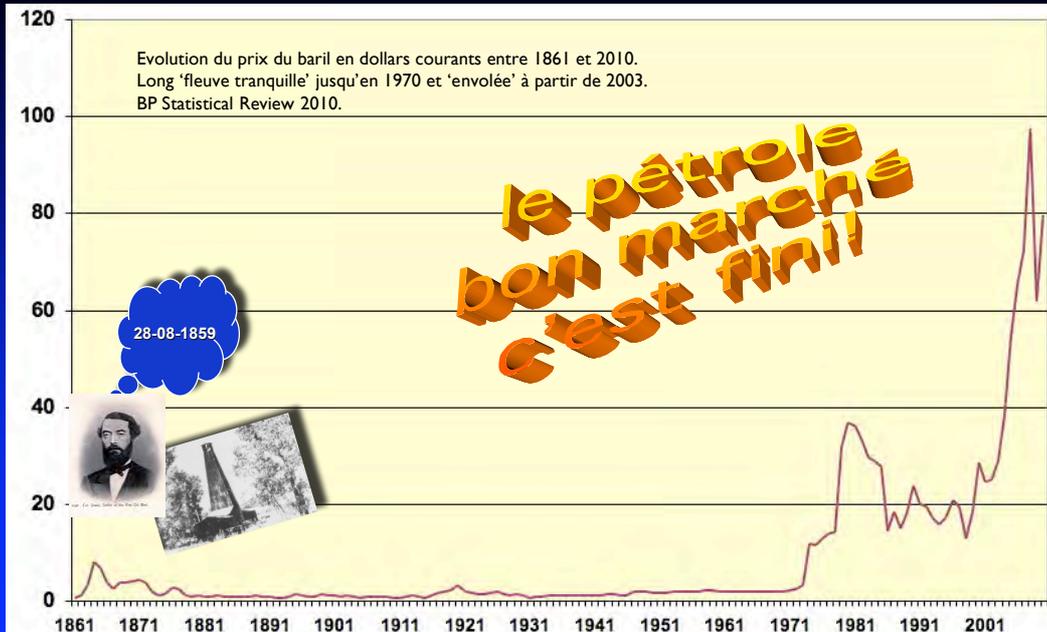
← il faut 2000 réacteurs nucléaires 'actuels' pour remplacer 1/4 production actuelle de pétrole

440 réacteurs dans le monde en 2008 (105 USA, 59 en France, 55 au Japon, 31 en Russie, 20 en Corée du Sud) Belgique :11 arrêtés et 7 en fonctionnement

En 2006: 20 centr en constr [2Eur, 4Chine, 6Japon, 8Inde]

En Chine 2007: 15+5 ==> X2 en 2020

En 2009 (Monde): 200 centrales programmées ou proposées pour 2020



En attendant = casse-tête énergétique

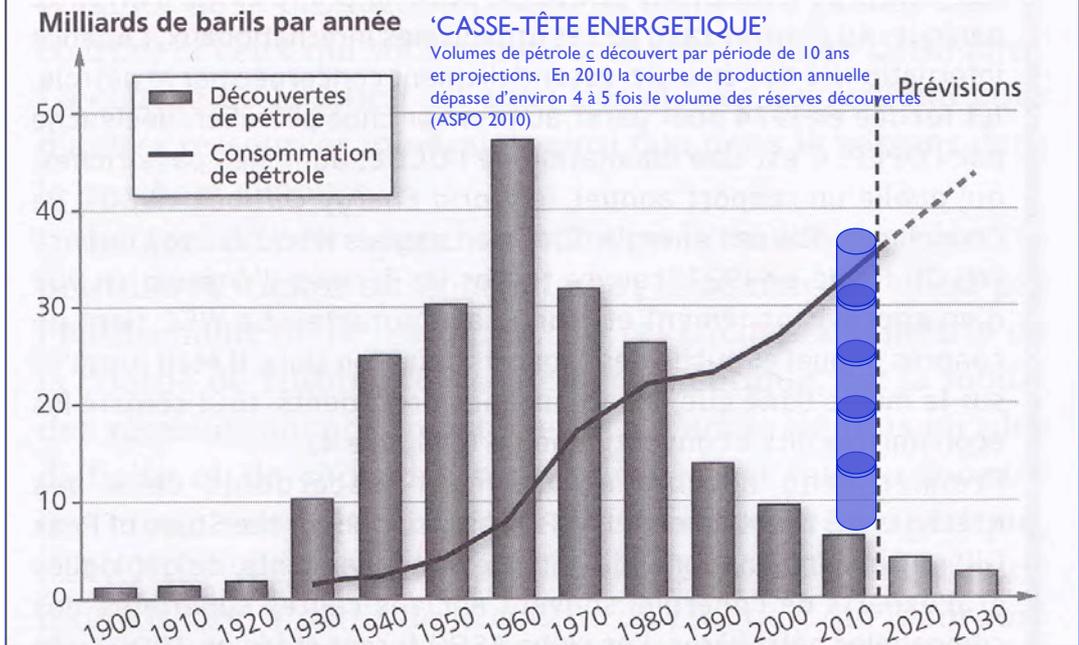
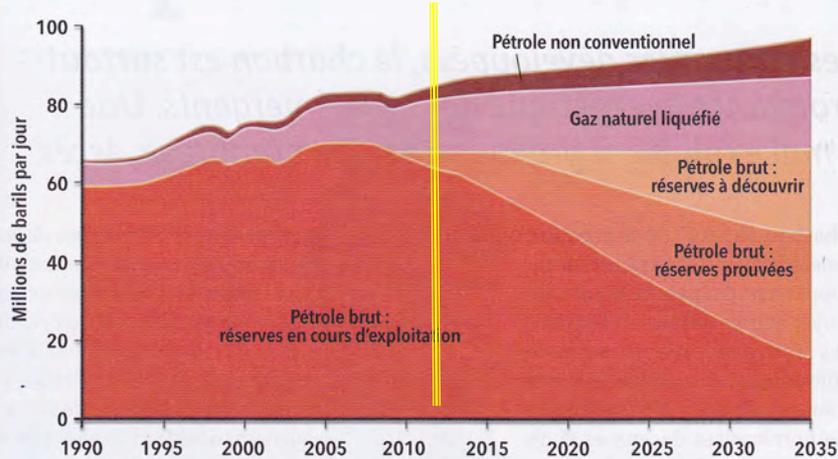


Fig.1 Évolution de la production mondiale de pétrole



LA PRODUCTION MONDIALE DE PÉTROLE provenant des réserves exploitées aujourd'hui baisse fortement à partir de 2010, selon l'AIE. Pour satisfaire à la demande, la production globale devra atteindre 96 millions de barils par jour en 2035. D'où le recours au pétrole non conventionnel et à des réserves à découvrir.

La Recherche 2012

en attendant = casse-tête énergétique
3à4 %

une alternative... RES SERIEUSE



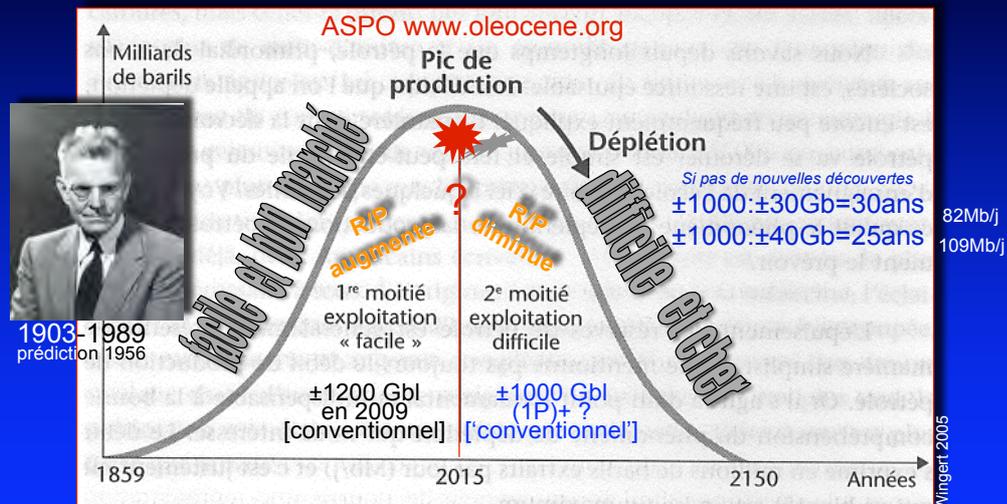
= SOBRIETE

(20 à) 25 %

ou 1/4 production mondiale

En 2008, 2009 les USA importent 60% de leur pétrole....

COURBE DE HUBBERT: CAS SIMPLIFIE DE LA COURBE DE PRODUCTION MONDIALE DE PETROLE c



Réserves disponibles au terme d'une année (Gt, Gbl...)
Production au cours de cette année (même unité)

Réserves '1P'

Réserves '2P', '3P'

= >200 ans

= >100-250 ans (nc)

= >70 ?ans ou + (avec nc)

+ clathrates?

A. Préal -2012 Printemps des Sciences-ULB

Pour La Science 2010

ULTIMES: 6000 (...) G bl c et 7000 G bl nc
 avec ?280 Gt ou ± 2100 Gbl [Rés 1P] LE MAXIMUM DE PRODUCTION SERAIT ATTEINT VERS 2010-2020...?

Le pétrole 'bon marché' est fini
Le monde sera ENCORE plus dépendant
des pays producteurs du Moyen-Orient

pourquoi?
 ... Réserves
 ... Débits
 ... 'Cost Oil'

1859 [Drake]

2010-2020

?2040-(2060)

Fin de l'exploitation?
 'dernière goutte' 2150...

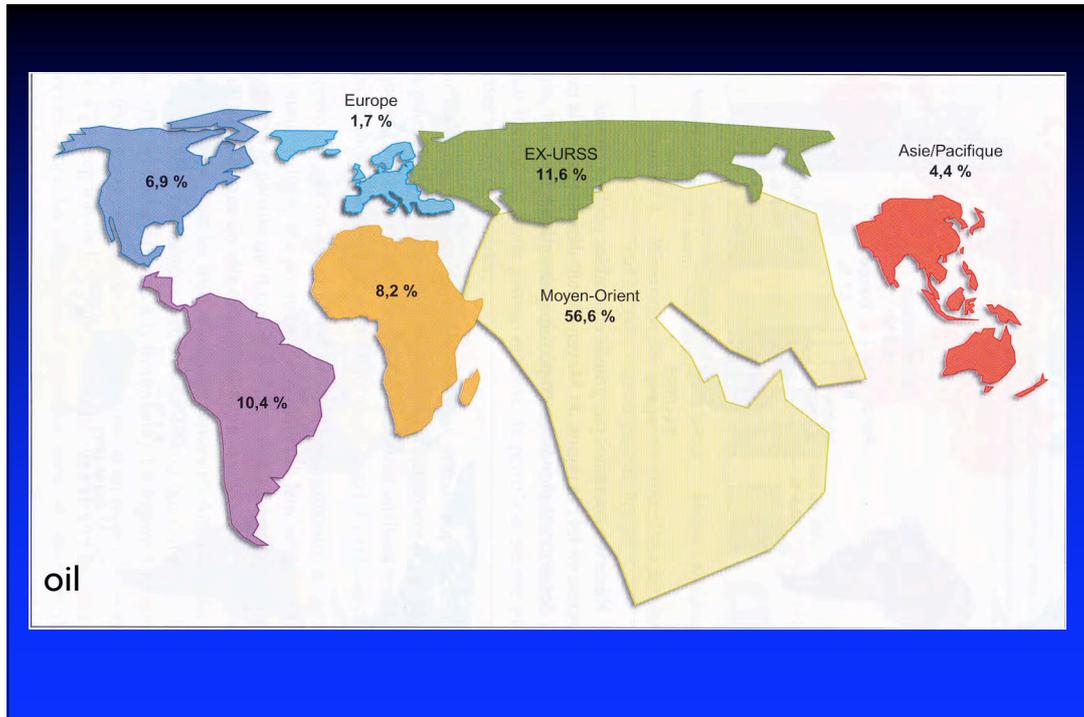
Production par année

temps

augmentation de la demande!

Les réserves sont à moitié épuisées

A. Préal -2012 Printemps des Sciences-ULB



UNDULATING
PLATEAU

Le pétrole 'bon
marché' est fini

Jusqu'en 2035 (AIE)

?

Le pétrole flambe, l'inflation revient

Le cours du brut, stimulé par la demande asiatique, est à son plus haut niveau depuis octobre 2008. En France, l'inflation atteint 1,8% PAGES 20, 21 ET 23

14 jan 2011

Le pétrole frôle la barre des 100 dollars

Le prix du baril au plus haut depuis 27 mois
COURS DU BRENT À LONDRES, EN VASION FEVRIER, en dollars

Source: Bloomberg Intelligence de l'énergie

CLASSEMENT DES PAYS PAR LEUR POTENTIEL ENERGETIQUE (hors gas shales et clathrates)

	Rés en Gtep =>	Pétrole	Gaz	Charbon	U	total
1	Etats-Unis	3,8	4,7	122,0	3,2	133,7
2	Russie	8,2	42,8	68,7	1,6	121,3
3	Chine	2,4	1,4	58,9	0,1	62,9
4	Inde	0,7	0,7	55,6		57,0
5	Venezuela	11,2°+41*	4	0,3		56,5
6	Australie	0,4	2,3	41,6	8,6	52,9
7	Afrique Sud			33,0	3,4	36,4
8	Canada	0,9+25**	1,5	3,3	4,0	34,7
9	Kasakhstan	1,2	1,7	21,7	7,9	32,5
10	Arabie Saoud.	25,1°	5,7			30,8

A. Prétat -2012 Printemps des Sciences-ULB

* = pétrole lourd, ** = sables bitumineux,
° = chiffres modifiés par l'auteur

Renardet 2004
Source: BP, Rev annuelle sur l'énergie et OCDE

11 Allemagne (surtout charbon), 12 Iran (surtout gaz), 13 Ukraine (charbon), 14 Irak (pétrole), 15 Pologne (charbon) 16 Qatar (gaz), Total n°18 = 10,4
17 Koweït (pétrole), 18 Emirats arabes (pétrole-gaz).

ANALYSE DES DONNEES DU TABLEAU

1. Les Etats-Unis ont EGALEMENT l'avantage de la technologie et de l'efficacité dans les techniques d'exploitation
La Russie a L'AVANTAGE de la diversification dans ses sources
2. Trois pays européens sont riches en charbon (All, 'Ukr', Pologne)
3. Quelques pays (Australie, Kazakhstan, Canada) ont des réserves assez diversifiées AU CONTRAIRE du Venezuela
4. Le Moyen Orient a des ressources énergétiques assez élevées, MAIS constituées exclusivement d'hydrocarbures.

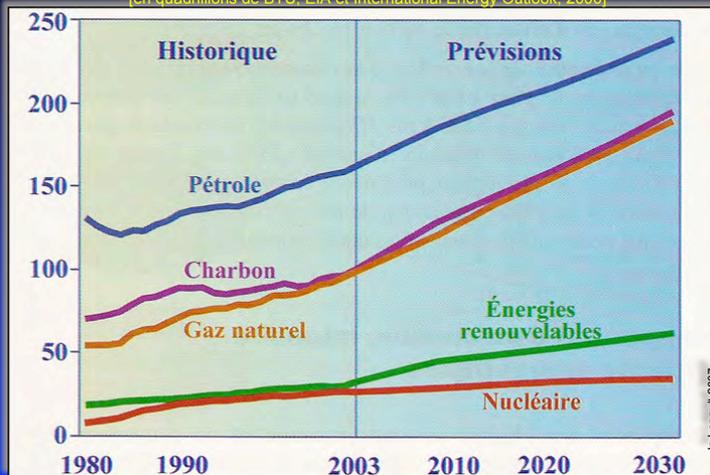
RESUME ET SCENARIO PROBABLE A COURT TERME

1. 50'-60': période d'abondance du pétrole
2. 80' : cohabitation du pétrole avec d'autres sources d'énergie = période d'abondance relative
3. 2010 : transition conventionnel - non conventionnel (nc)?
Nb le coût de production des pétroles nc diminue de 0,5-1\$ bl/an!

la plupart des Cies pétrolières évaluent la rentabilité de leurs investissements sur base d'un bl à 18 \$, et même à 16 \$ pour BP, en 2005.
En 2005: 1 bl de ±45\$ (début 2005) à ±65\$ (fin 2005)

CONSOMMATION MONDIALE ENERGIE PRIMAIRE

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



AUJ. 2011

1. RETARD D'INVESTISSEMENT
[Raffinage....]
2. DEMANDE DURABLE
[Croissance soutenue pays émergents, Chine, Inde....]
3. INSTABILITE Z. PRODUCTRICES

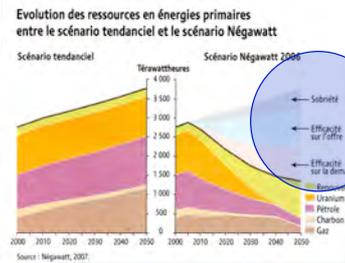
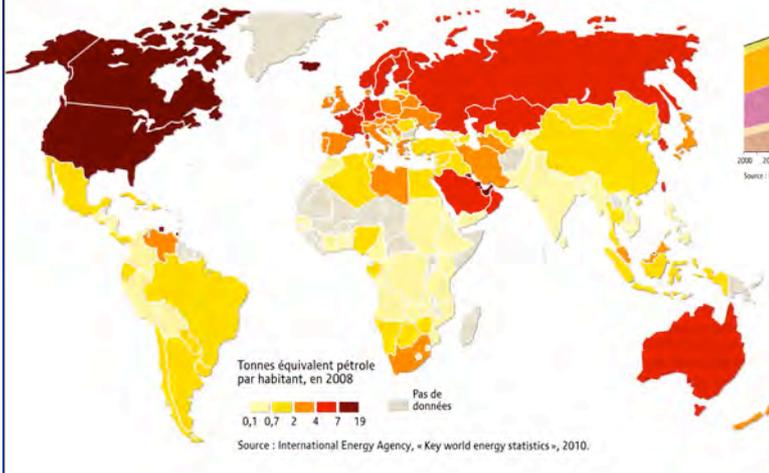
+ 71 %
en
27 ans

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

Chine... 150 aéroports
Malaga... 4000
24000 avions/24h/2007
Soit ±1 avions/sec

Aujourd'hui : pas de politique cohérente de l'utilisation de l'énergie...

Consommation d'énergie primaire par habitant



> 50%?

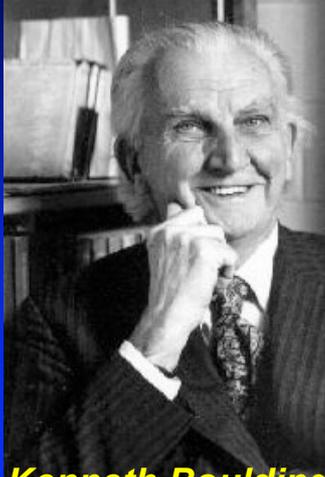
2010 : +5,6%
 (très élevé! max depuis 1973!
 • pr 2009 : Chine +11,2%
 Belg-Lux +6,1%; France +3,4%
 USA +3,7%)
 • pr au Monde : Chine 20,3%
 Bel-Lux 0,6% France 2,1%
 USA 19,0%
 BP Statistical Review 2011

= dommages environnementaux et sanitaires
 = coûts de la recherche etc...

Union européenne

	Coûts directs (m€/kWh) = millième d'euros	Coûts externes pour la production d'électricité (m€/kWh)
Charbon	32-50	20 - 150
Pétrole	≈50	30 - 110
Gaz	26-35	10 - 40
Biomasse	34-43	1 - 50
Nucléaire	34-59	2 - 7
Hydraulique		0 - 10
Solaire	512-853	6
Eolien	≈70	0 - 3

le mot de la fin...



Kenneth Boulding

1910-1993

President de l'American Economic Association

A. Prétat -2012 Printemps des Sciences-ULB

le mot de la fin...



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

Kenneth Boulding

1910-1993

President de l'American Economic Association

Egalement King Hubbert « Notre ignorance n'est pas aussi vaste que notre incapacité à utiliser ce que nous savons »

A. Prétat -2012 Printemps des Sciences-ULB



UN PEU D'INFORMATION HORS CONFERENCE....

Mais d'où VIENNENT LE PETROLE ET LE GAZ?

MATIERE ORGANIQUE

Protéines

Carbo-hydrates

Lipides

....

+ membranes

+ cuticules

+ pigments

+ graisse

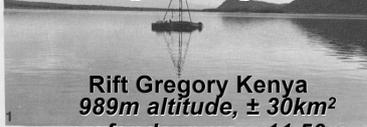
+ sucres

+ ...

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, 2 μ -1mm]

*Certaines diatomées excrètent des gouttelettes d'huile pour
augmenter leur flottabilité! Elles contiennent jusqu'à 70% de lipides (poids sec)*

L'hémi-graben de Baringo-Bogoria



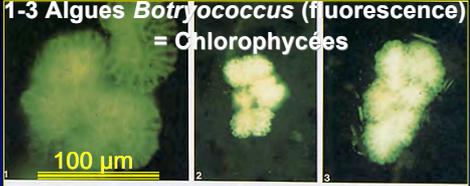
Rift Gregory Kenya
989m altitude, ± 30km²
profondeur max: 11,50m



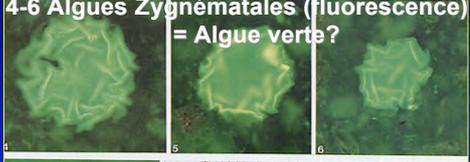
30 000 d'histoire sédimentaire
Carottages de 0 à 16 m




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



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




+ Diatomées

Tiercelin et al., 1987

= formation du kérogène

A. Préat -2012 Printemps des Sciences-ULB

GENESE DU PETROLE = DIAGENESE + CATAGENESE

D
I
A
G
N
E
S
E

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

de la chaleur ($T^{\circ} \approx 10'-100'^{\circ}$)
du temps (géologique = 10' Ma)
ensuite seulement
-si tout va bien-
un piège

**cela fonctionne grâce à la
subsidence
(pression+gradient géothermique)**

C
A
T
A
G
E
N
E
S
E



**Roche Source
riche en Matière Organique**



**Maturation Thermique
de la Matière Organique**



HUILE

A. Préat -2012 Printemps des Sciences-ULB

DU KEROGENE AU PETROLE...

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

- -600 m, 41°C 'chaleur douce'
- le kérogène se décompose, le CO₂ s'en va (décarboxylation), l'H₂O s'en va (déshydratation)...
- le sédiment s'enfonce de plus en plus
- la température augmente suite au gradient géothermique
=1°C tous les 30 à 40 m environ

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

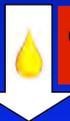
=
FENETRE A HUILE 

DU KEROGENE AU PETROLE...

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

= FENETRE A HUILE

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



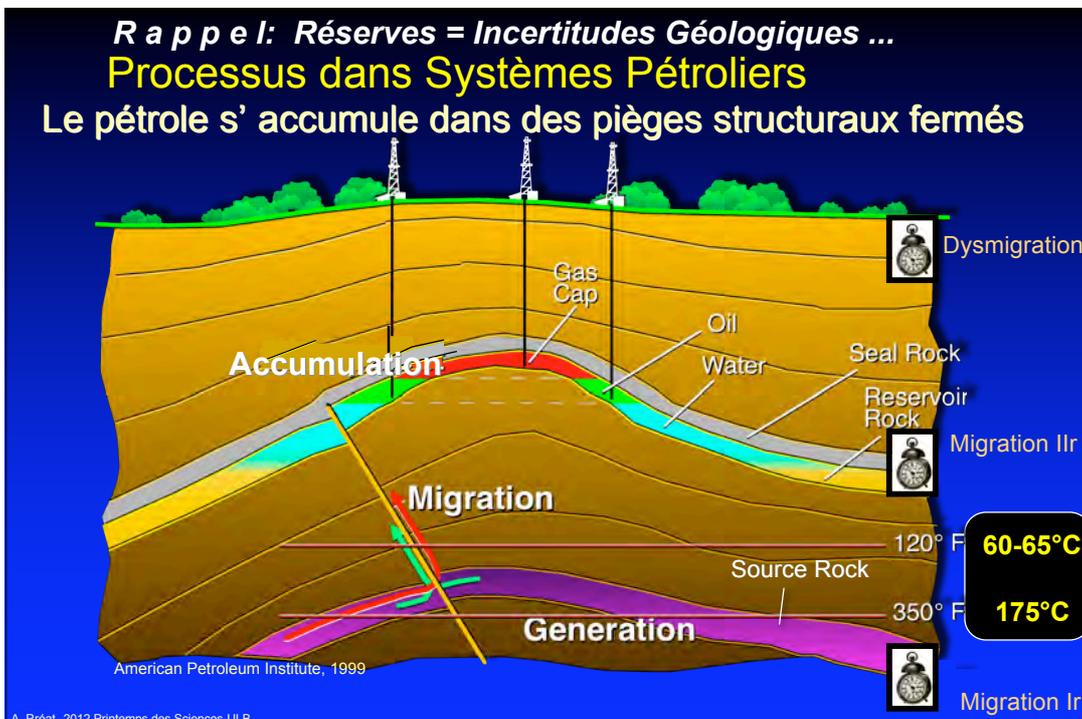
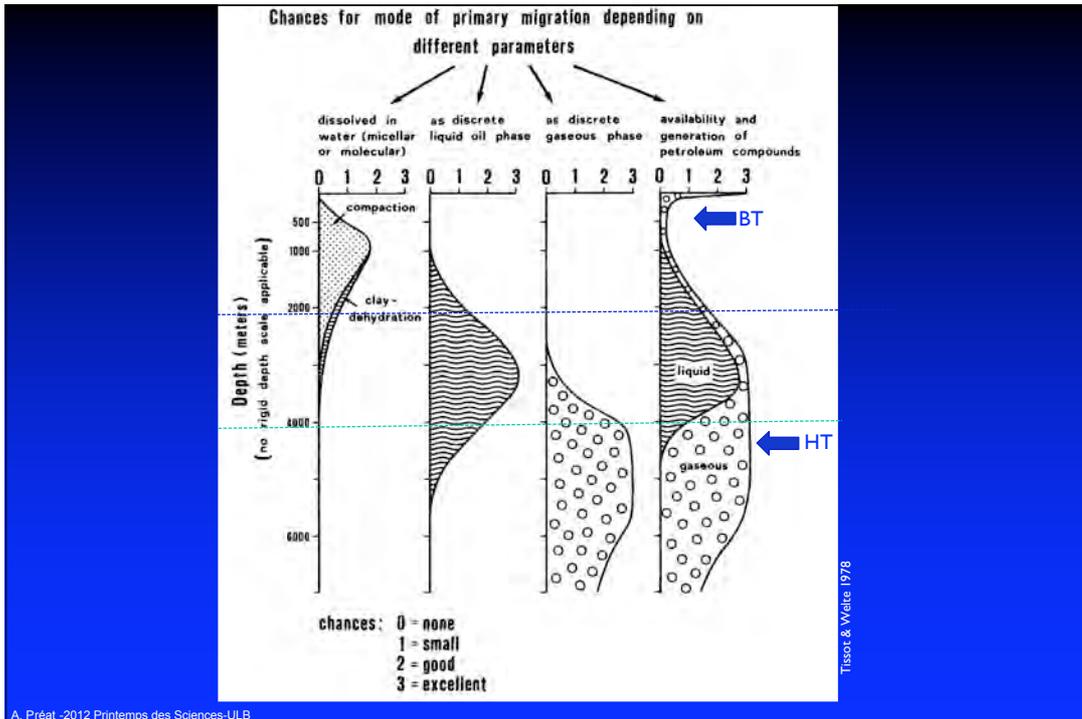
c'est la **CATAGENESE**
càd ...

...la formation du **PETROLE**

le 'jus' de kérogène mature et donne donc le pétrole



= FENETRE A GAZ



RENDEMENT

un chiffre méconnu ...

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

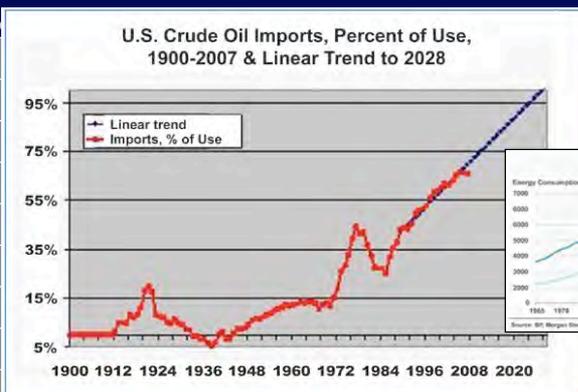


MASON B Oct. 2003, Nature, Plant-to-oil Equation Point Up Unsustainable Profligacy

A. Prétat-ULB 2011

Le TOP10 des consommateurs de pétrole en 2010

	2010 Mbl/d	pr 2009
USA	19,1	+2,0%
Chine+HK	9,4	+10,4%
Japon	4,5	+1,5%
Inde	3,3	+2,9%
Russie	3,2	+9,2%
Arabie S	2,8	+7,1%
Brésil	2,6	+9,3%
Allemagne	2,4	+1,1%
Corée Sud	2,4	+2,5%
Canada	2,3	+5,4%
	48,8	



Même type de graphique pour la Chine depuis son décollage économique

$\Sigma \pm 87,3$ +3,1% En 2009 la Chine est devenue le premier consommateur mondial d'E primaire avec 2,2 Gtep devant les Etats-Unis (2,1Gtep)

BP 2011

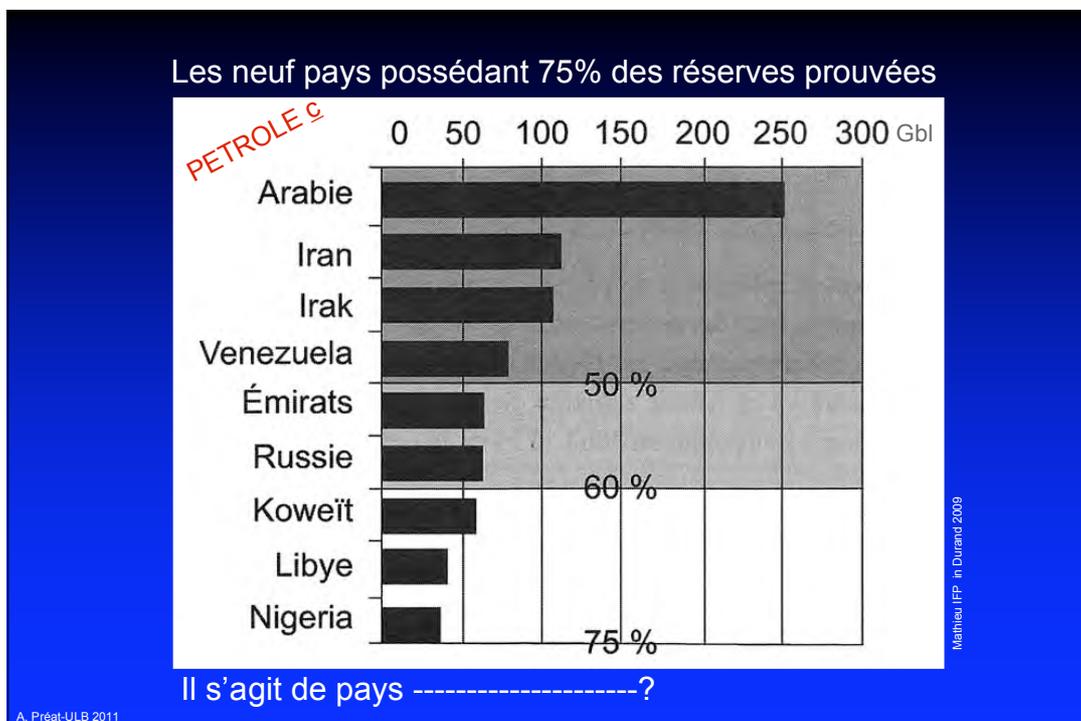
A. Prétat-ULB 2011

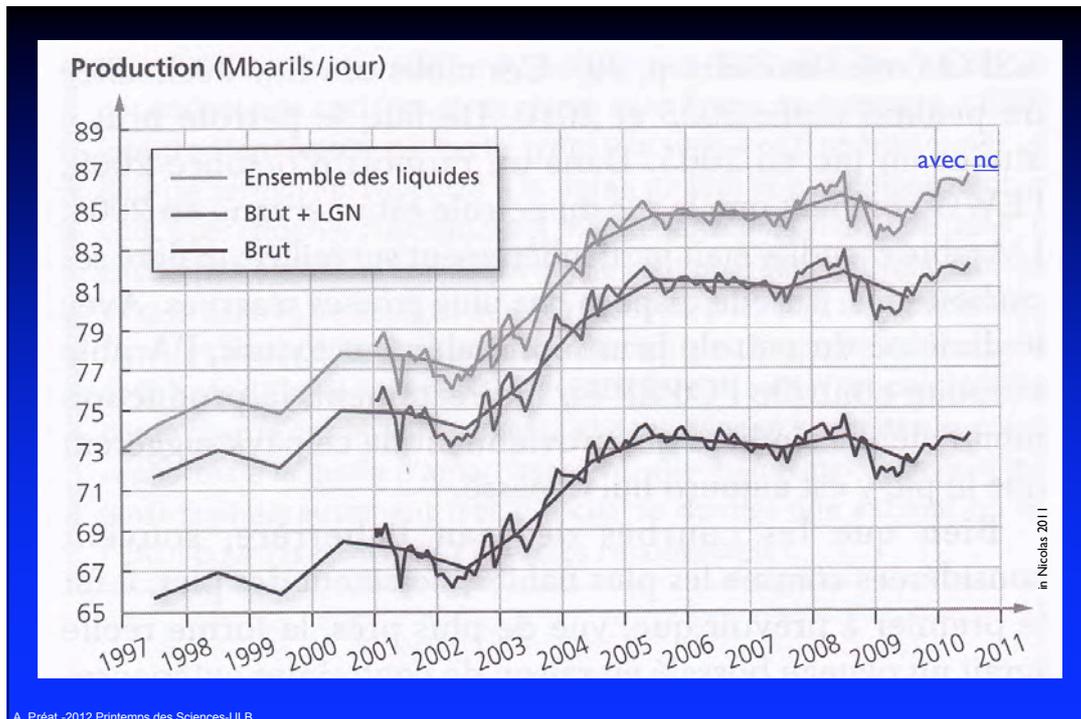
PETROLE c
Réserves Prouvées 2010 (BP) [±5%?]

Rés Prouvées	Oil Gbl	%	Gas %
Arabie Saoudite	264,5	16,1	4,3
Canada	32,1	2,3	0,9
Iran	137,0	9,9	15,8
Irak	115,0	8,3	1,7
Koweït	101,5	7,3	1,0
Emirats Ar Unis	97,8	7,1	3,2
Venezuela	211,2*	15,3	2,9
Russie	77,4	5,6	23,9
Libye	46,4	3,4	0,8

Rés Prouvées	Oil Gbl	%	Gas %
Nigeria	37,2	2,7	2,8
USA	30,9	2,2	4,1
Chine	15,8	1,1	1,5
Mexique	11,4	0,8	0,3
Norvège	6,7	0,5	1,1
Algérie	12,2	0,9	2,4
Qatar	25,9	1,9	13,5
Australie	4,1	0,3	1,6
Indonésie	4,2	0,3	1,6

Images Econ du Monde 2005
A. Préat-ULB 2011
<http://www.bp.com/>






Le pétrole 'bon marché' est fini
Le monde sera ENCORE plus dépendant
des pays producteurs du Moyen-Orient

Investissement par baril potentiel (restant à produire et à découvrir)

- 45 cents (US\$) Mer du Nord
- 20 cents (US\$) Am N
- ...
- 10 cents (US\$) Russie
- 5 cents (US\$) Moyen-Orient

pourquoi?

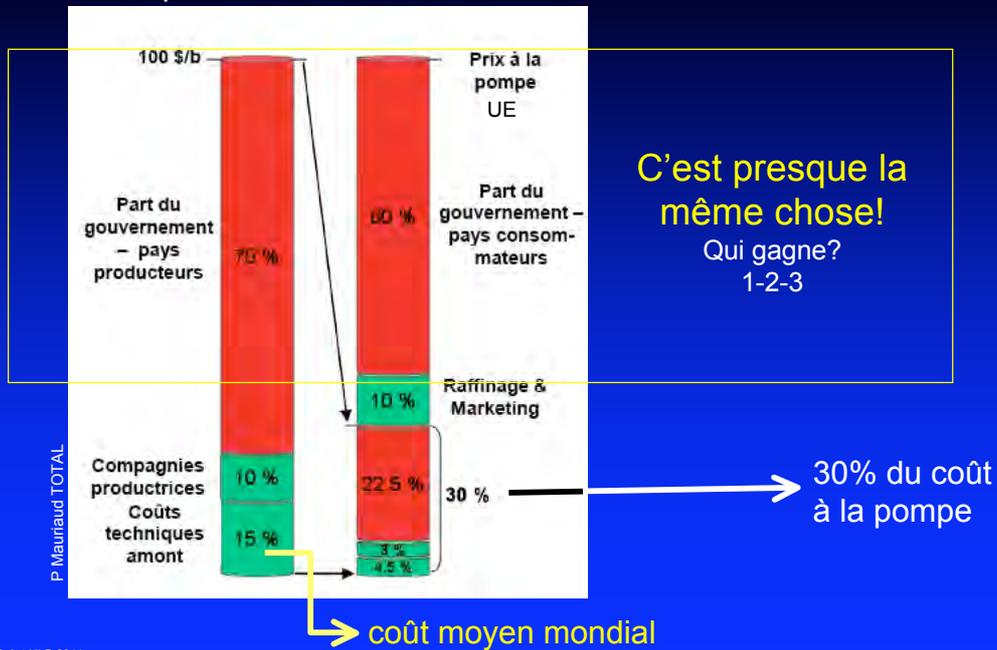
- ... Réserves
- ... Débits
- ... 'Cost Oil'



'dernière goutte' 2150...

A. Préat-ULB 2011

Le prix du brut en 2009-2011



CONCLUSION

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



<http://www.peakoil.net>