

COLLOQUE : Quelles énergies pour demain?

Les énergies carbonées : PÉTROLE, GAZ, CHARBON

Par Pierre-René BAUQUIS

Enseignant - Ancien Directeur Stratégie et Planification du groupe TOTAL

Aix en Provence
23 Mars 2013

PÉTROLE, GAZ, CHARBON : LES ENERGIES FOSSILES

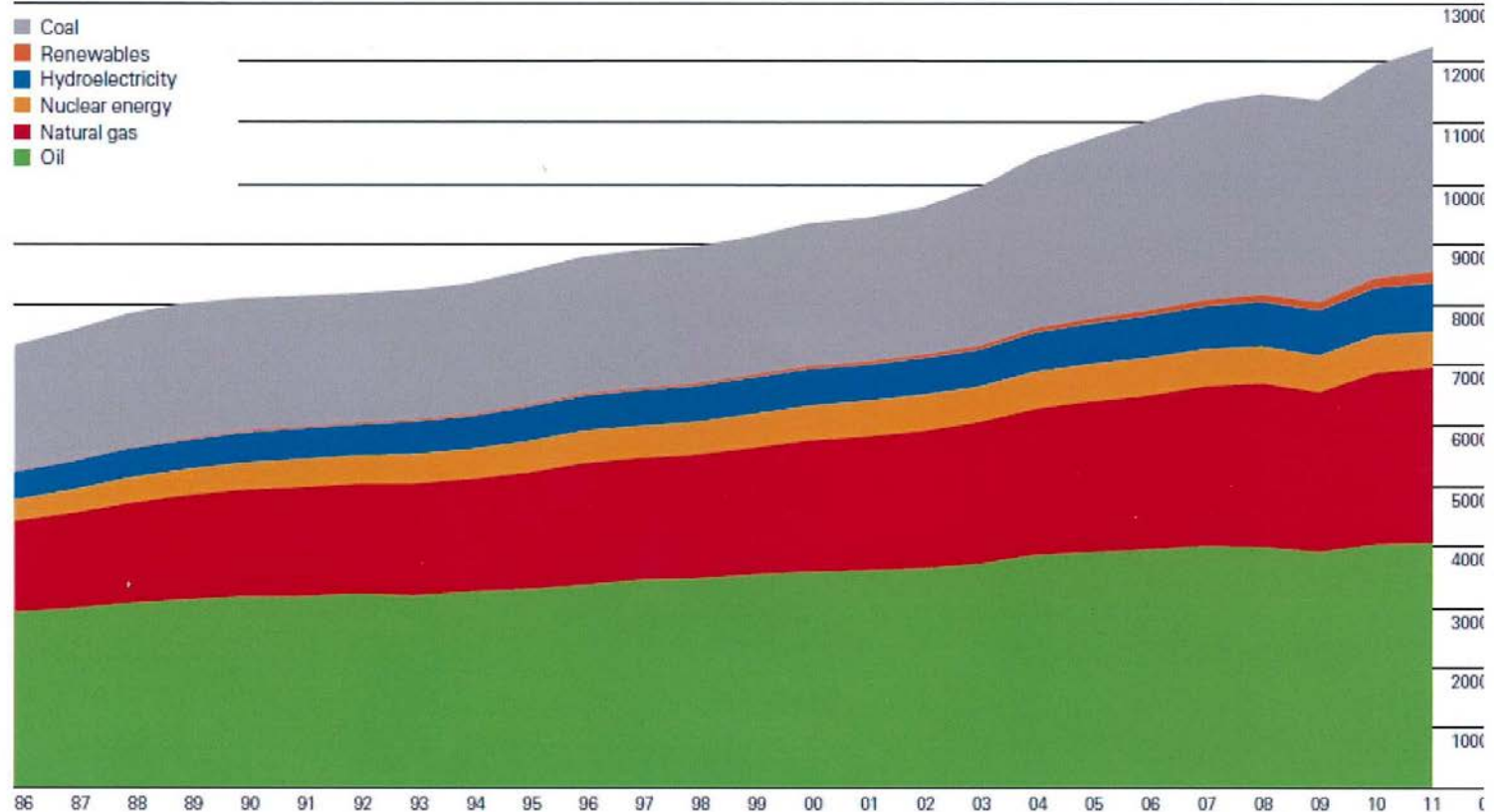
- ◆ la grande famille des hydrocarbures ($C_n - H_n$) se trouve sous trois formes principales dans la nature :
 - solide = les charbons (ici pour mémoire) ; origine terrestre
 - liquide = le pétrole (ou "huile" = oil) ; origine marine
 - gazeuse = le gaz naturel
 - on pourrait ajouter la forme pâteuse (huiles "lourdes", à très forte viscosité)
- ◆ pétrole et gaz forment en réalité un continuum ($C_1 C_2 C_3 \dots$)
 - Il y a toujours du gaz dans un gisement de pétrole (gaz "associé") et il y a toujours du liquide dans un gisement de gaz ("condensats" ou C_5+)
- ◆ de + en + de condensat se trouve comptabilisé avec le pétrole en terme de réserves (ce qui les augmente) et de production
 - nb : le condensat est un produit de qualité, et se stocke et se transporte facilement par pipeline et par tankers, comme le "brut "

EVOLUTION DES DEMANDES EN ENERGIES PRIMAIRES

World consumption
Million tonnes oil equivalent

2011/ 2010Y

Energies primaires + 2,5%
Charbon +6,5 %



BP STATISTICS June 2012

1^{ÈRE} PARTIE : LE PETROLE

ORDRES DE GRANDEUR

de la vie d'un gisement

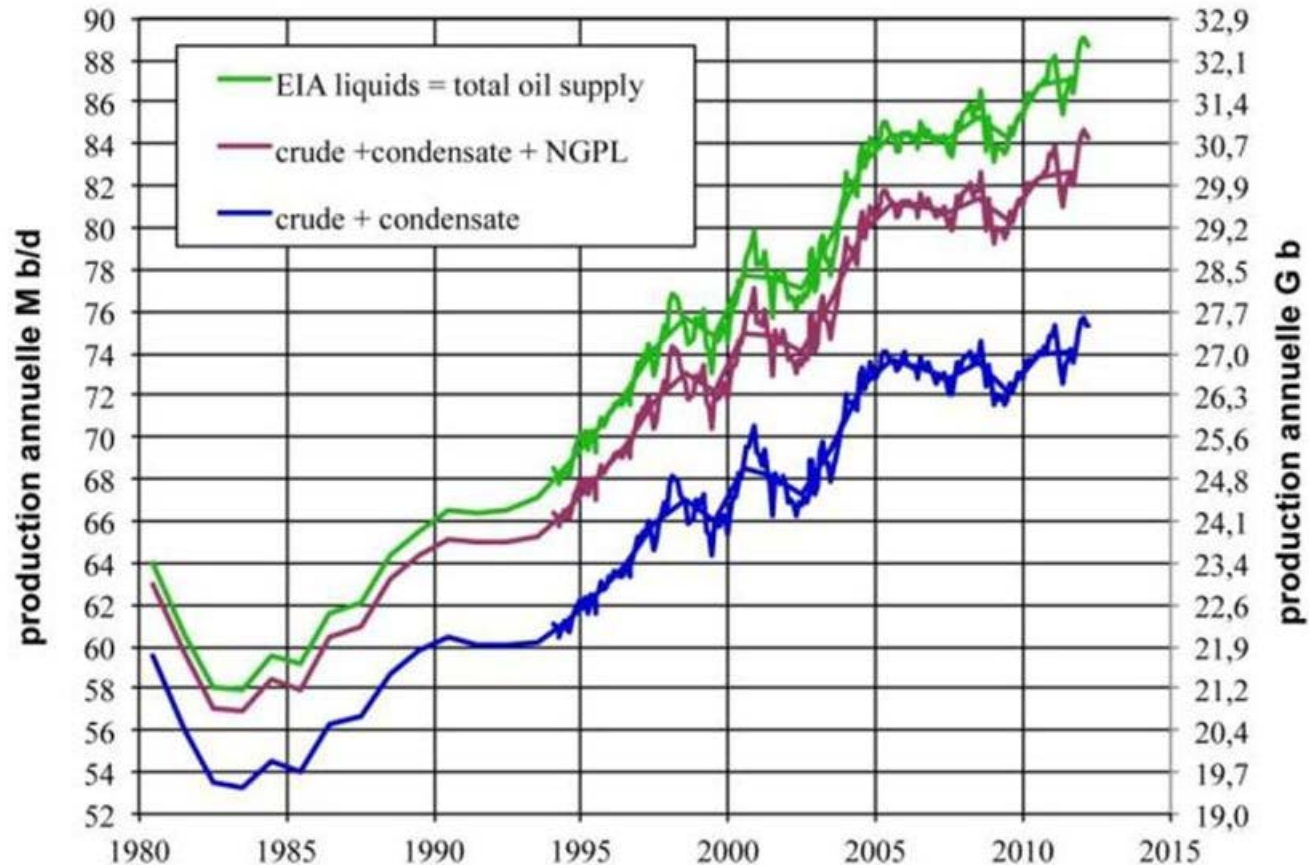
- typiquement 30 à 40 ans
(= une carrière de pétrolier, ou de chercheur !!)

de taux de récupération

- **pétrole conventionnel**
 - moyenne mondiale : estimée aujourd'hui autour de 35 % ;
pourrait croître dans le futur vers 45% (voire plus pour les plus optimistes ??)
- **huiles lourdes**
 - impact énorme sur les réserves : ressource Orénoque estimée à 1200 / 1500 Gb
et autant en Athabasca (+ 10% de récupération = Arabie Saoudite)
- **huiles de roches mères**
 - un impact majeur aux USA : un plateau mondial vers 2030, entre 2 et 5 Mbd (???)
- **gaz naturel conventionnel**
 - typiquement de l'ordre de 80 % pour les gisements conventionnels
- **gaz de roches mères (gaz de schiste !!)**

PRODUCTION DE PETROLES ET DE LIQUIDES: 1980-2011 D'APRES L'IEA

Les chiffres de production ne veulent rien dire si on ne précise pas les définitions retenues

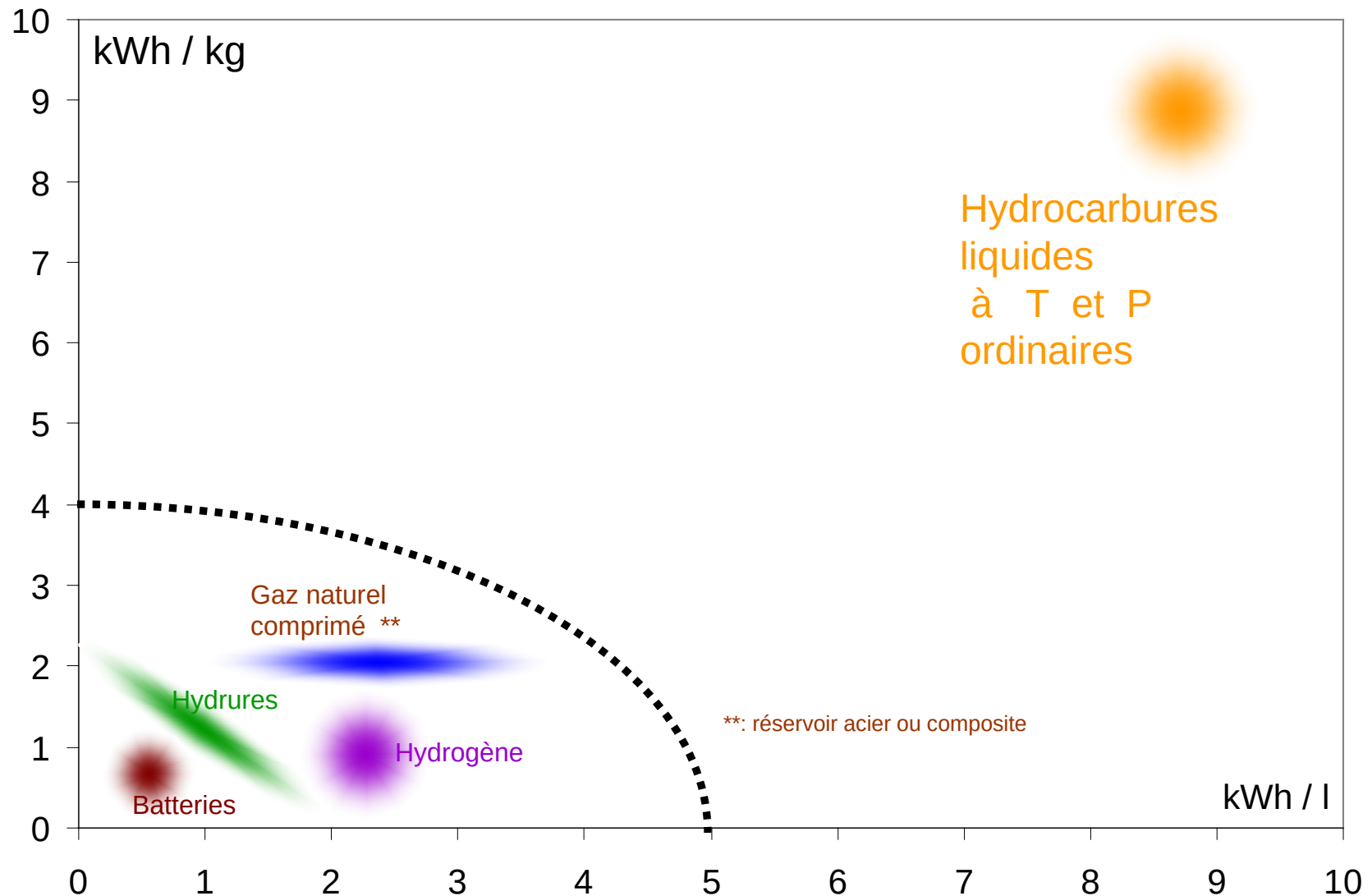


A TYPICAL "SUPER TANKER"

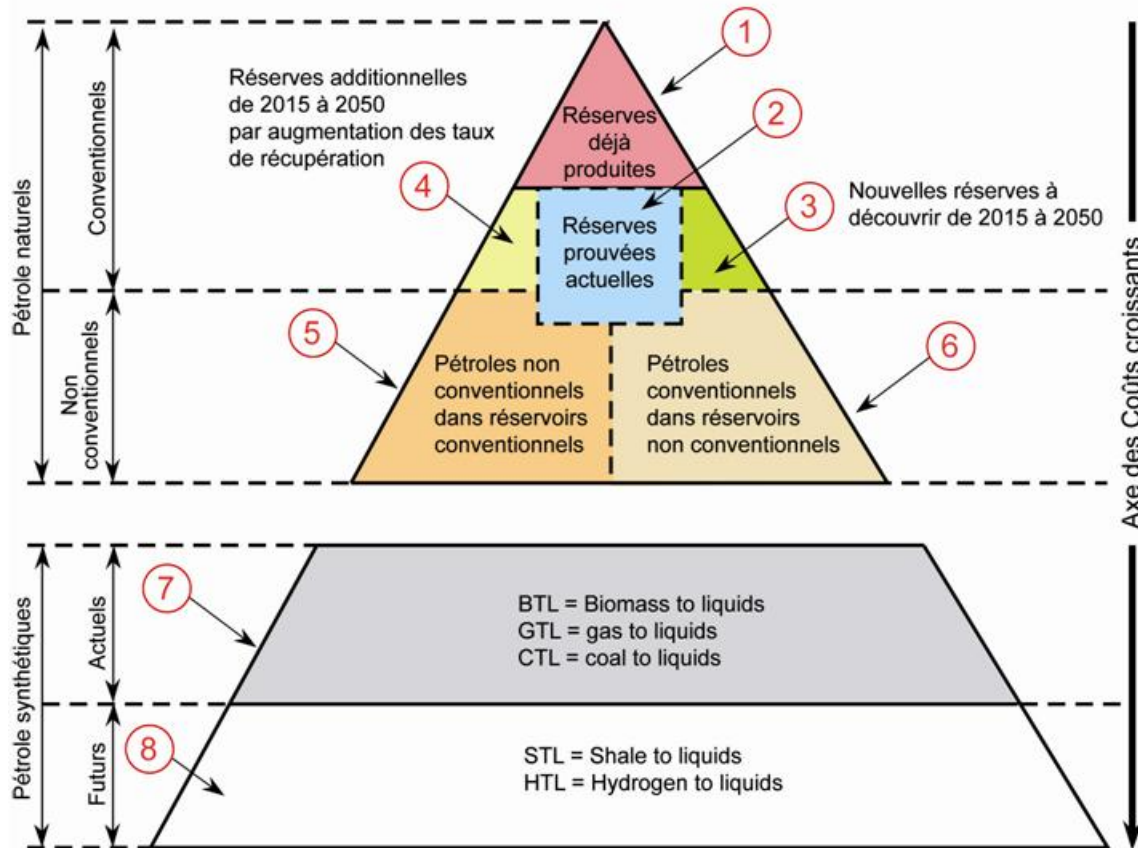
- typically 250 000 tdw = approx. 2 000 000 bbls
(ie 200 000 000 US dollars at 100 US \$/bbl)



LES HYDROCARBURES LIQUIDES : UNE COMPACITÉ ÉNERGÉTIQUE INÉGALÉE



La pyramide des réserves pétrolières de pétroles naturels et le domaine des pétroles synthétiques et substituts



- ① 1200 Gbbl
- ② 1600 Gbbl (publié) dont 1200 prouvés stricto-sensu de 400 «contingents»
- ③ 300 Gbbl (réserve growth inclus)
- ④ 400 Gbbl (taux récupération moyen mondial en 2050 estimé à 45%)
- ⑤ 600 Gbbl d'ultra lourds et bitumes / devenus des réserves d'ici 2050
- ⑥ 200 à 500 Gbbl de «Pétroles de roches mères» devenus des réserves d'ici 2050.

Pétroles naturels

- ⑦ Ces trois familles de synthétiques sont actuellement produits de façon industrielle
- ⑧ Les STL ont été produits par des centaines d'exploitation à la fin du 19^{ème} siècle. Il existe à nouveau quelques projets. Les HTL (carbonisation d'hydrogène produit à partir de sources non carbonnées) est un concept proposé il y a près de dix ans par P.R Bauquis. AUDI a annoncé en Mai 2012 une première mise en oeuvre de ce concept.

NOTA : Il ne peut pas y avoir de chiffres de «réserves» pour les synthétiques

Source : Alain PERRODON et P-R. BAUQUIS - Sept.2012

Synthétiques et substituts

OPTIMISTES VS PESSIMISTES

➤ arguments des "optimistes"

- les pessimistes se sont constamment trompé
(on a toujours 40 ans de réserves depuis 40 ans !)
- les taux de récupération s'améliorent sans cesse
- le non-conventionnel d'hier devient le conventionnel d'aujourd'hui
- il n'y a pas de raison que le progrès s'arrête

➤ arguments des "pessimistes"

- la ressource est finie et épuisable ; il y aura forcément une fin
- les "nouvelles" réserves sont de + en + le résultats de ré-évaluation de gisements connus, et de – en – le résultat de nouvelles découvertes
- il y a de – en – de zones vierges à explorer
- les technologies modernes sont de + en + mises en oeuvre dès la mise en production des nouveaux gisements conventionnels ; il y aura donc de – en – de ré-évaluations majeures sur ces nouveaux champs
- les avancées technologiques sont incontestables mais **les huiles non conventionnelles sont et seront de + en + coûteuses à exploiter et avec des rendements décroissants**
(on va de + en + d'un pétrole "facile" à un pétrole "difficile")

différence entre les optimistes & les pessimistes : les pessimistes sont mieux informés (?)

CE QUI PEUT AUGMENTER LES CHIFFRES DE RÉSERVES

- **les vraies augmentations = raisons techniques**
 - découverte de nouveaux gisements, de nouveaux "plays"
 - amélioration de la récupération dans les gisements existants
 - la production de nouvelles ressources (oil sands and shale oil)
- **les augmentations "comptables"**
 - incorporation progressive des ressources "non conventionnelles"
 - incorporation des "NGL", des "gains de raffinage" ...
 - confusion entretenue entre les réserves prouvées et probables, et incorporation progressive des probables dans les prouvées
- **les augmentations "politiques"**
 - *quotas OPEC*
 - *publication de chiffres flatteurs pour la bourse (ou pour le gouvernement du pays concerné)*

les chiffres publiés ne font pas de différences entre ces catégories

EXEMPLES DE RÉSULTATS DES PROGRÈS TECHNOLOGIQUES

◆ du "non conventionnel" qui devient plus conventionnel

- développements de champs de pétrole (et de gaz) offshore, de + en + profonds (plus de 2000 m actuellement), fruits de + de 30 ans de R&D continue sur ces thèmes
- huiles lourdes (Orénoque), sables bitumineux (Athabasca)
- gisements de gaz HP-HT, gisements de gaz acides

◆ des taux de récupération qui augmentent par mise en application de technologies plus sophistiquées telles que :

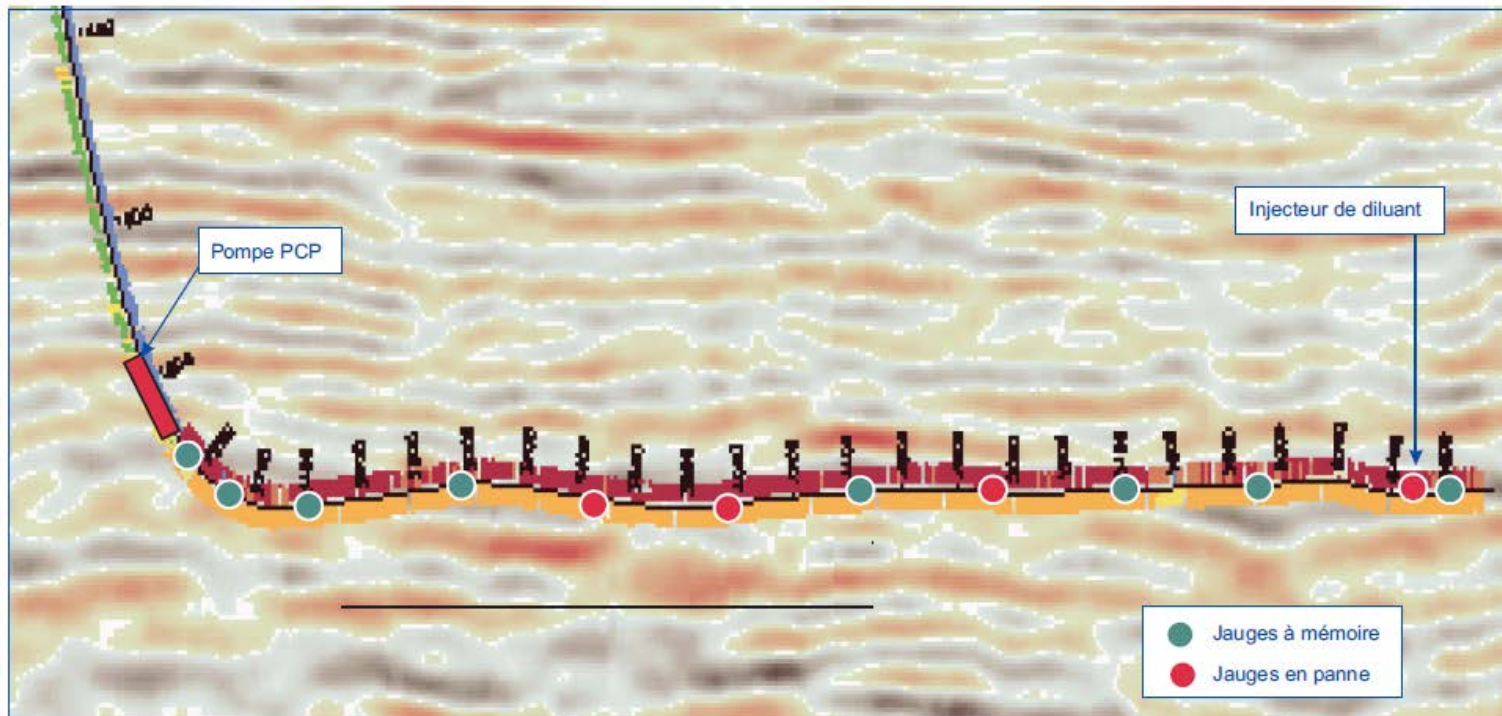
- sismique "3D", voire "4D", interprétation des ondes "S"
- forage à long déport, forage "horizontal", puits multi-drains
- récupération "secondaire" voire "tertiaire" (assistée par injection d'eau, injection de gaz, de produits chimiques, etc...)
- production polyphasique permettant l'utilisation des d'infrastructures existantes pour la valorisation de champs marginaux

Fig.2 - SINCOR : Le drain du puits IA-12 (*sables fluviaux D2*)

Réservoir : Longueur de la section horizontale 4 690'
"Net/Gross" 98 %

Fluides : Densité 8.3°API
Viscosité 1 750 cP conditions réservoir
GOR 60 scf/bbl

Complétion : Liner perforé 7" + jauge "Preset Mem"
"tail pipe" 2" équipé de 12 jauges "Mem" et d'un injecteur de diluant @ 6 600' TMD



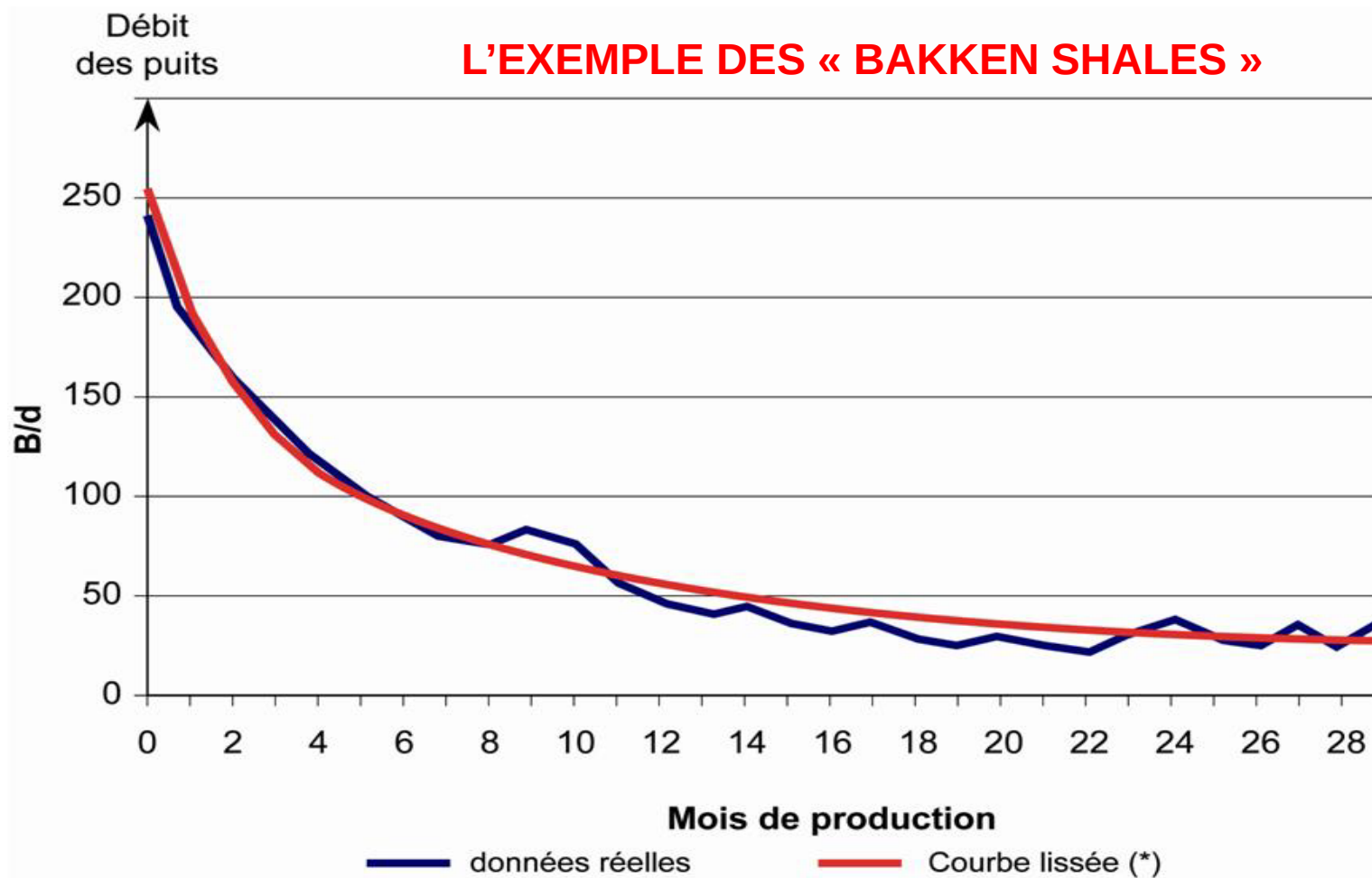
Avril 2001

DGEP/SCR/EDYECI Infographie - 3793-17

TOTAL FINA ELF

PETROLES DE « ROCHES MERES »

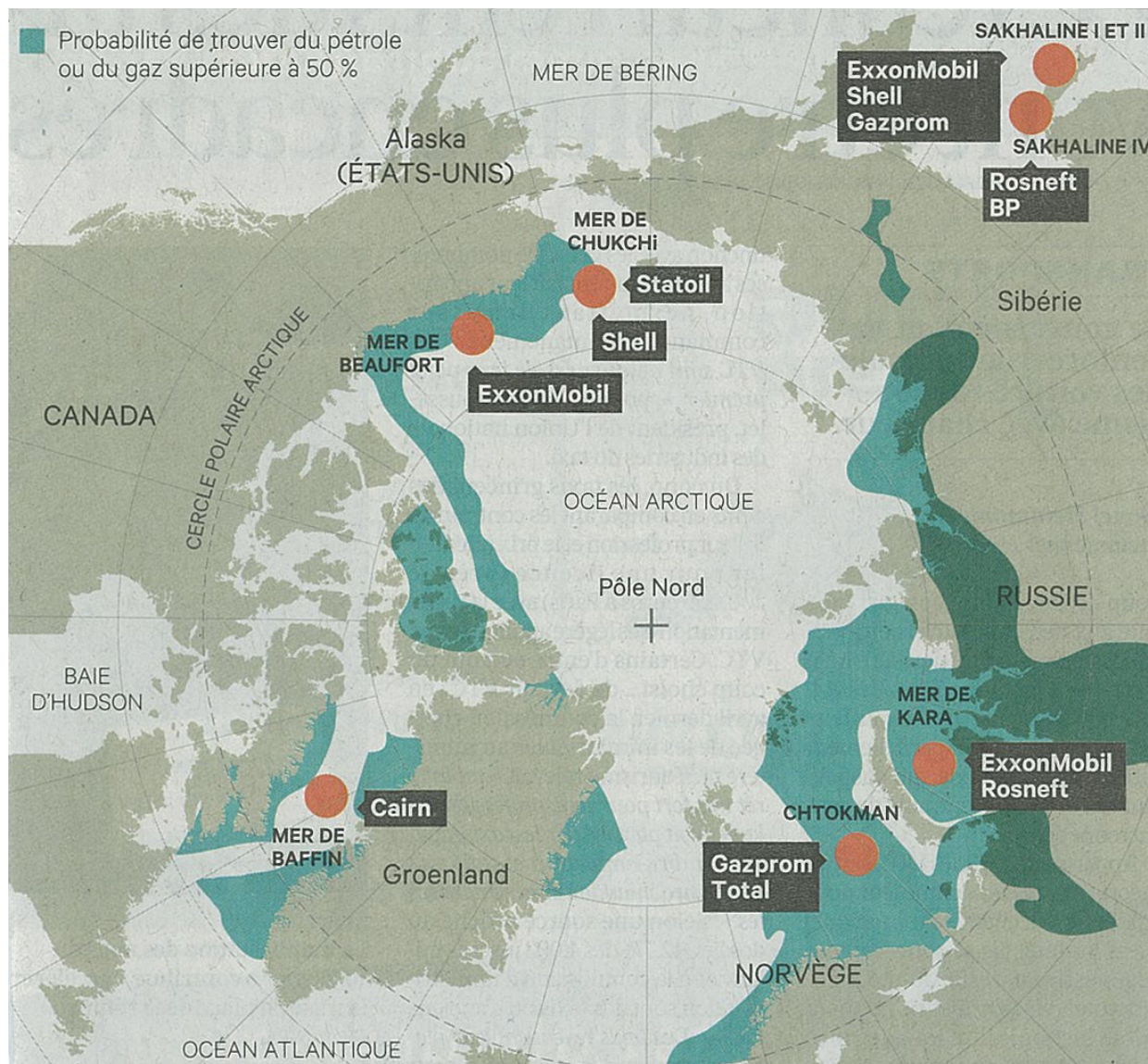
L'EXEMPLE DES « BAKKEN SHALES »



PR Bauquis - Sept 2012

Source : North Dakota et Montana - Ressources Departments
Somme des puits 2009 et 2010

LES PROJETS ACTUELS EN ARCTIQUE ET LES RESERVES DE PETROLE ET DE GAZ (DEBUT 2013)





CONCLUSIONS (AVEC TOUTES LES INCERTITUDES DE L'EXERCICE)

- ✓ il faut s'attendre à un "pic" pétrolier entre 2015 et 2025
- ✓ à un niveau "plateau" situé vers 100 Mb/j
(*variant entre 95 Mb/j et 105 Mb/j pendant 10 à 20 ans*)
- ✓ la production de pétrole déclinera ensuite et ce déclin nous obligera à changer de "paradigme" énergétique
- ✓ le prix du baril de pétrole devrait rester durablement sur une tendance haussière
(*en moyenne sur longue période, avec des variations chaotiques*)

we are changing from a demand-driven to a supply-constrained system

2^{ÈME} PARTIE : LE GAZ

OIL CHAIN VS GAS CHAIN

Oil Chain

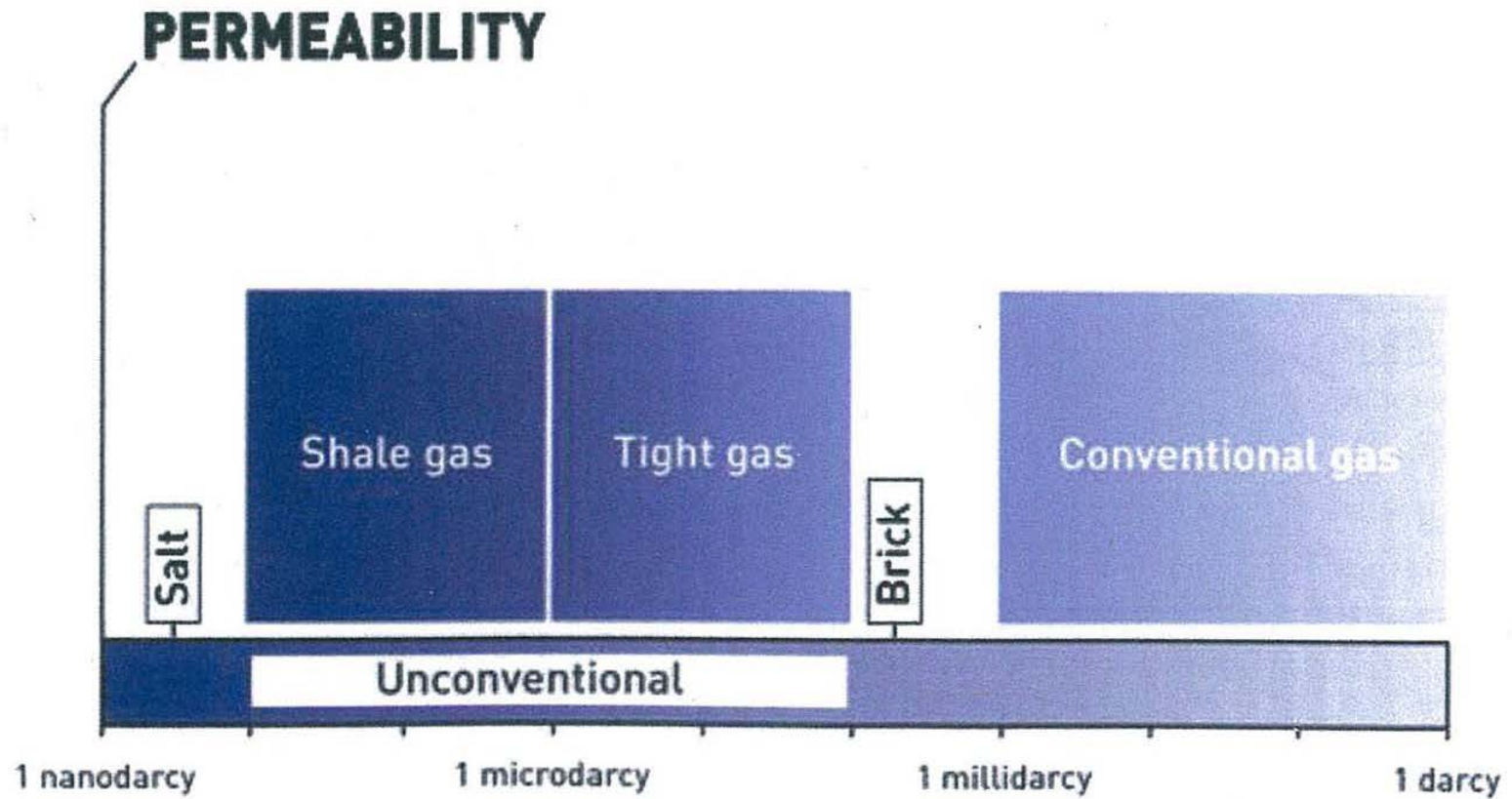
- ◆ Short and loose chain
- ◆ Interruptions easy to compensate
- ◆ Built-in market mechanisms because oil is easily tradable

Gas Chain

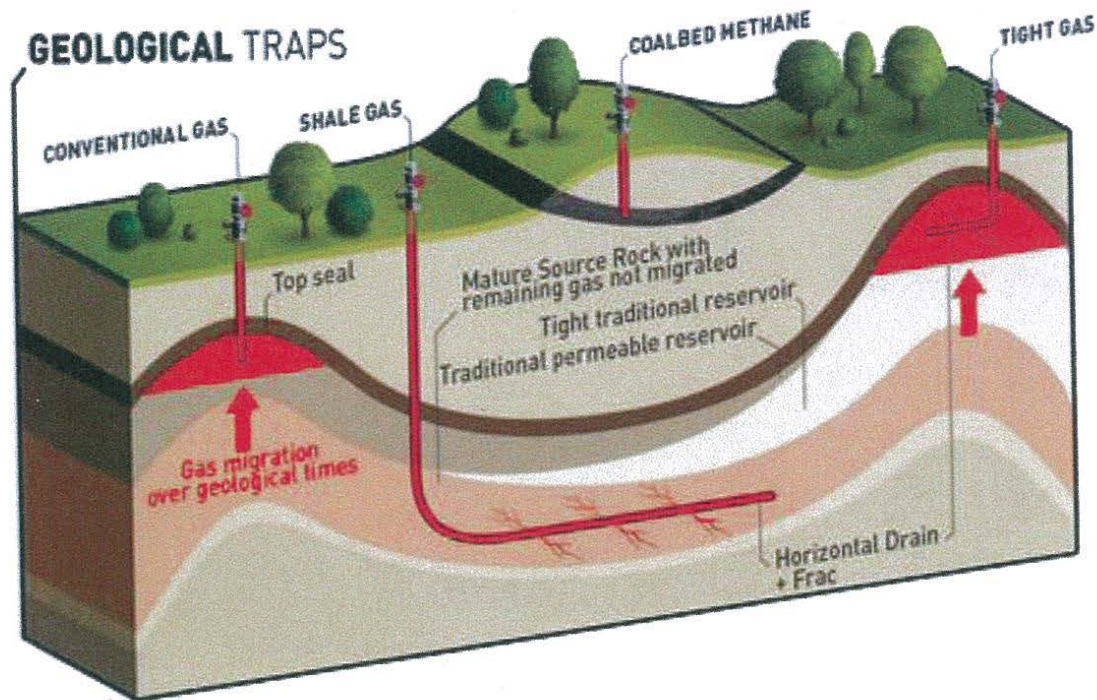
- ◆ Long and firm chain
- ◆ Physically fixed links from wellhead to burner tip
- ◆ Interruption: no gas downstream / no money upstream
- ◆ Higher investment in the chain
- ◆ Few built-in market mechanisms, but fixed capacities

The marketing process of natural gas is then fundamentally different from that of oil

CONVENTIONAL & NON-CONVENTIONAL GAS

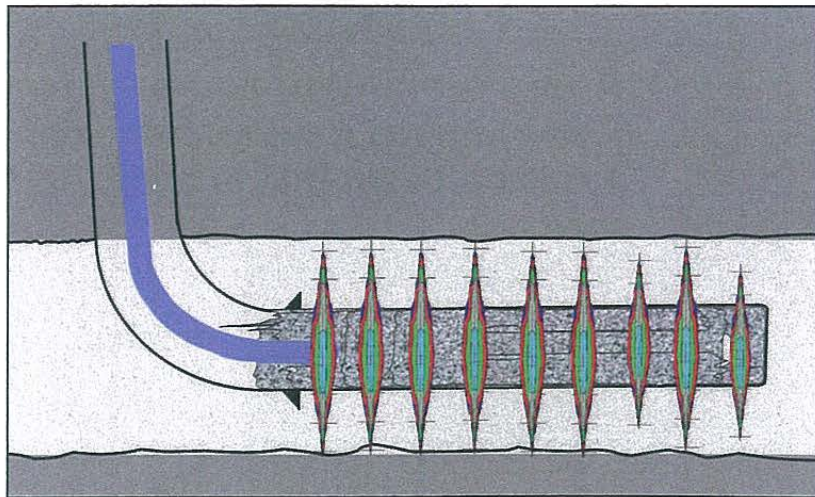


CONVENTIONAL & NON-CONVENTIONAL GAS



WELL TECHNOLOGY

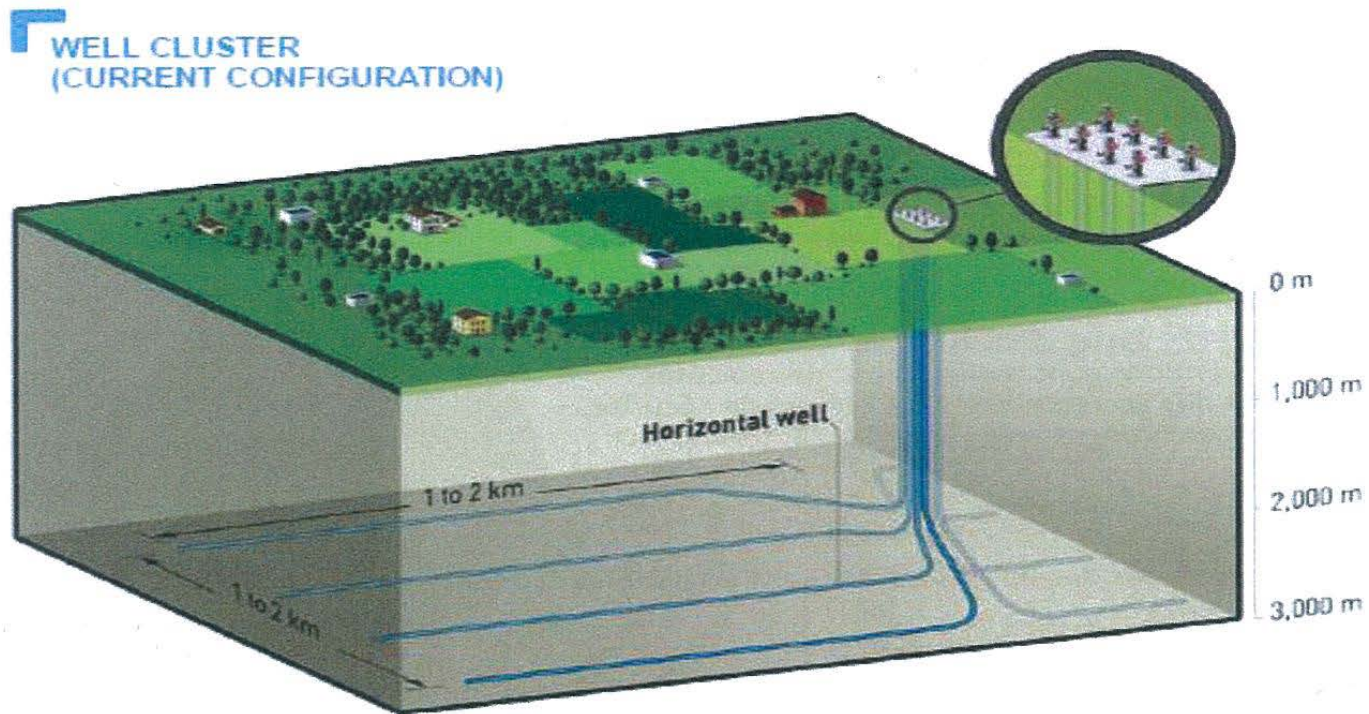
HORIZONTAL DRAINS AND MULTIPLE HYDROFRACS



- > 1,000 meters horizontal or more
- > Water fracs with low sand concentration
- > 5 to 10 fracs per well, up to 20
- > High pumping rate:
10 to 25 cubic meters/minute
- > 1,000 to 2,000 tons sand per well
- > 10,000 to 20,000 cubic meters water per well

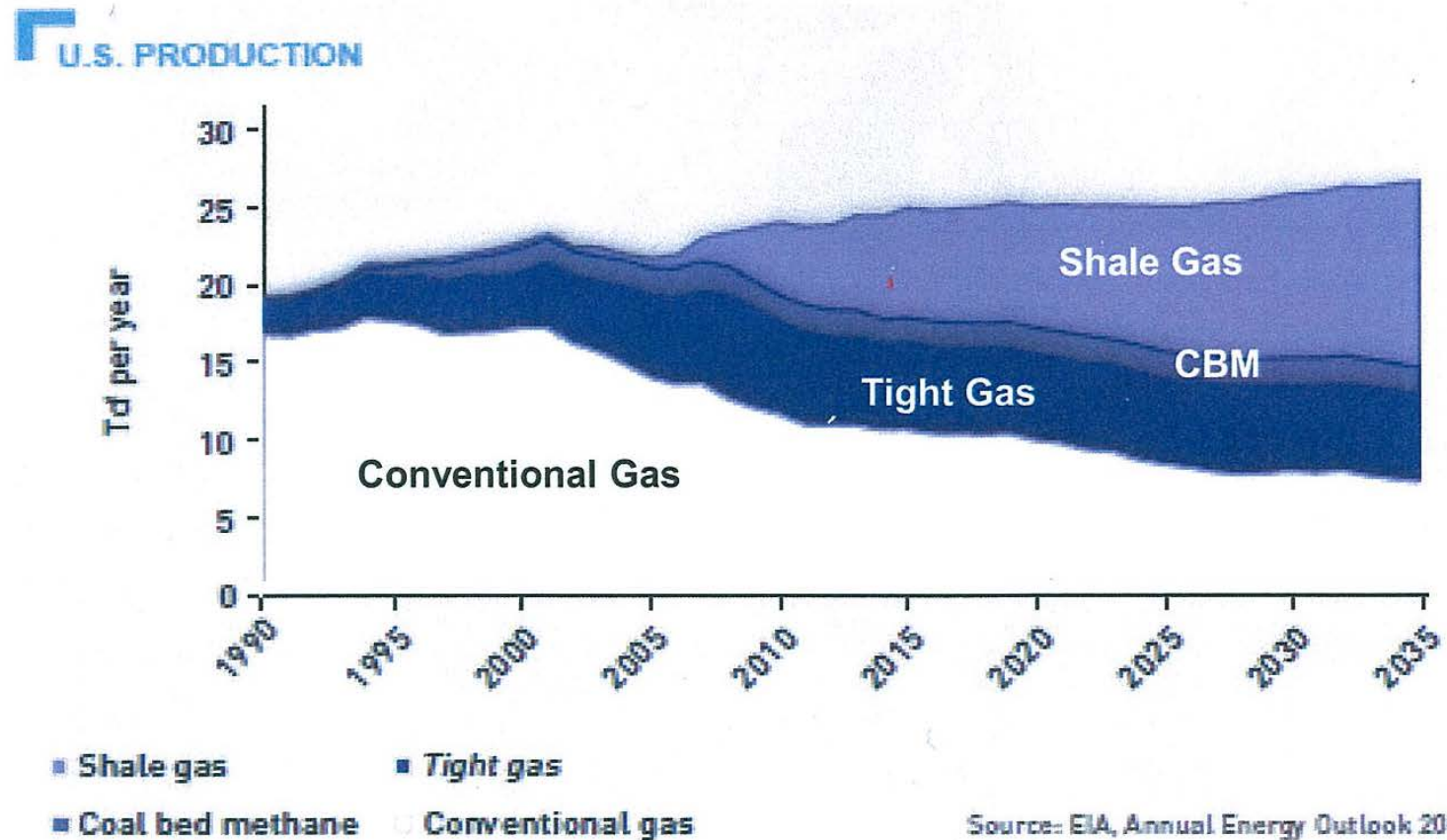
Cost of a Barnett well: 3/4 M\$

GAS SHALE EXPLOITATION WELL CLUSTER

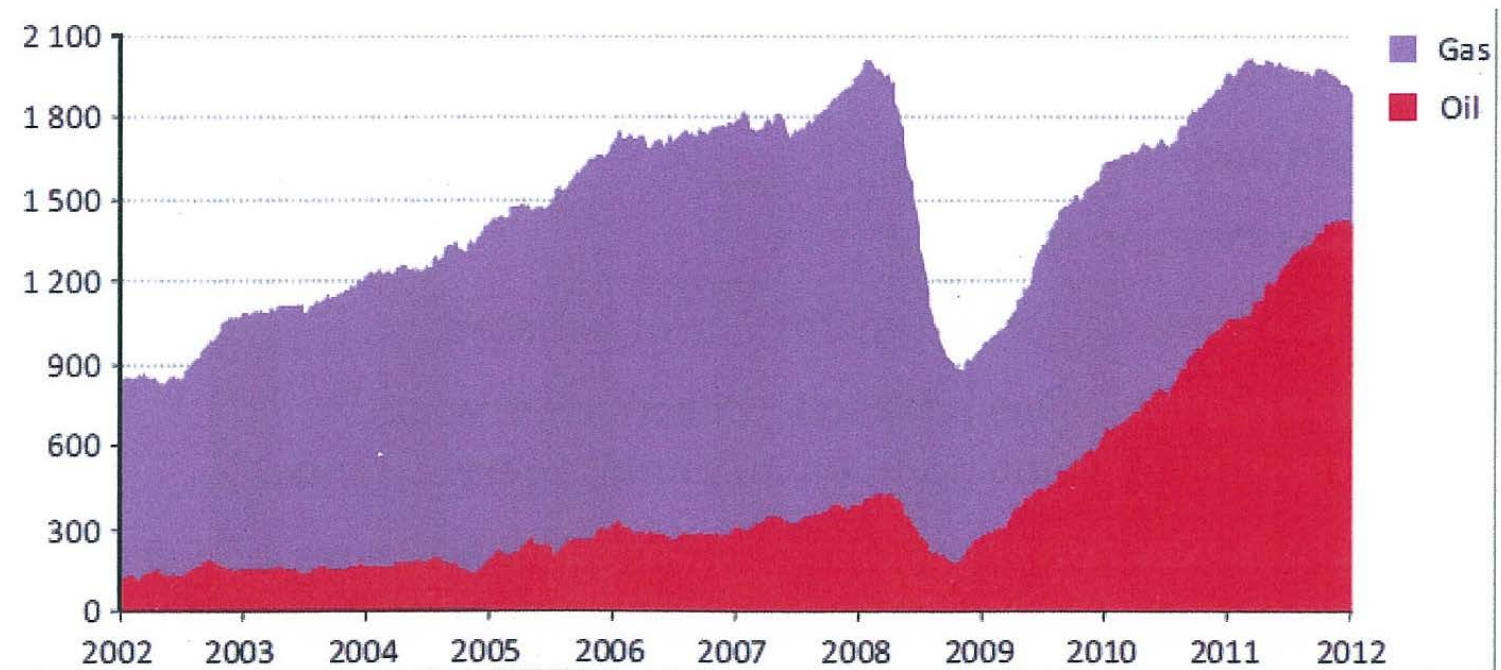


To reduce the physical footprint of the facilities, wellheads are grouped together in clusters with 10 to 30 horizontal drains being drilled from a single central site.

US PERSPECTIVES FOR UNCONVENTIONAL GAS PRODUCTION



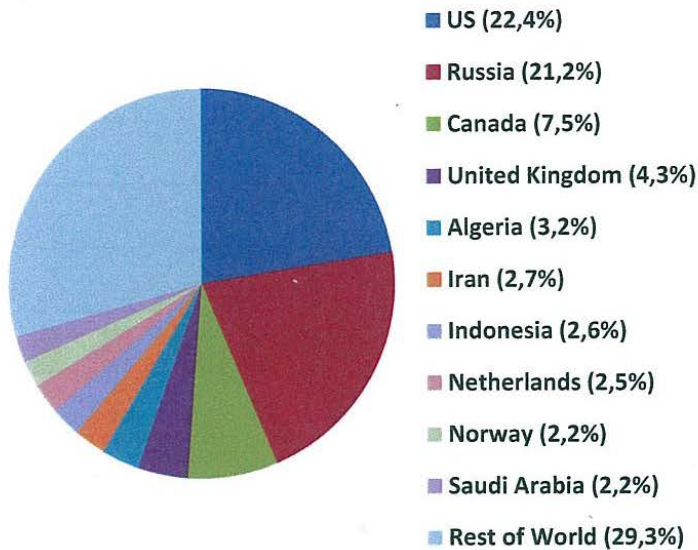
ACTIVE DRILLING RIGS IN THE US 2002 - 2012



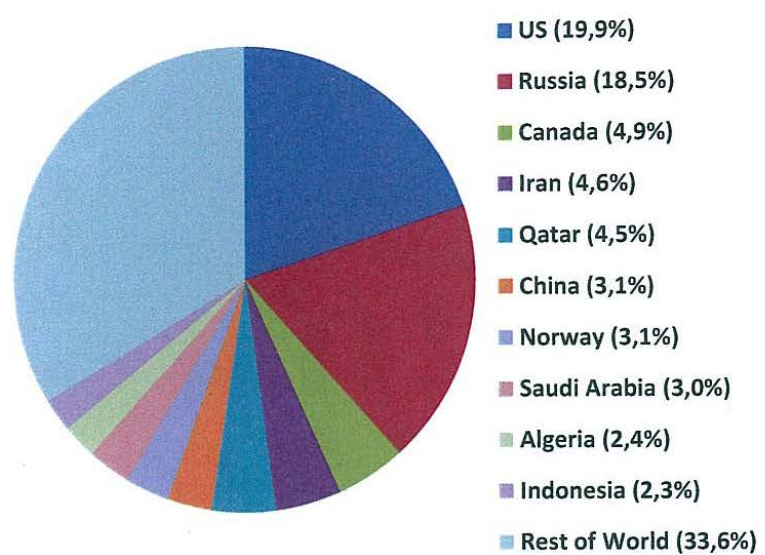
Decrease of shale gas wells in 2012 due to the plunge in gas price, while oil wells increased significantly thanks to robust oil price.

WORLD GAS PRODUCTION 2001-2011

2001
2500 Billion m³



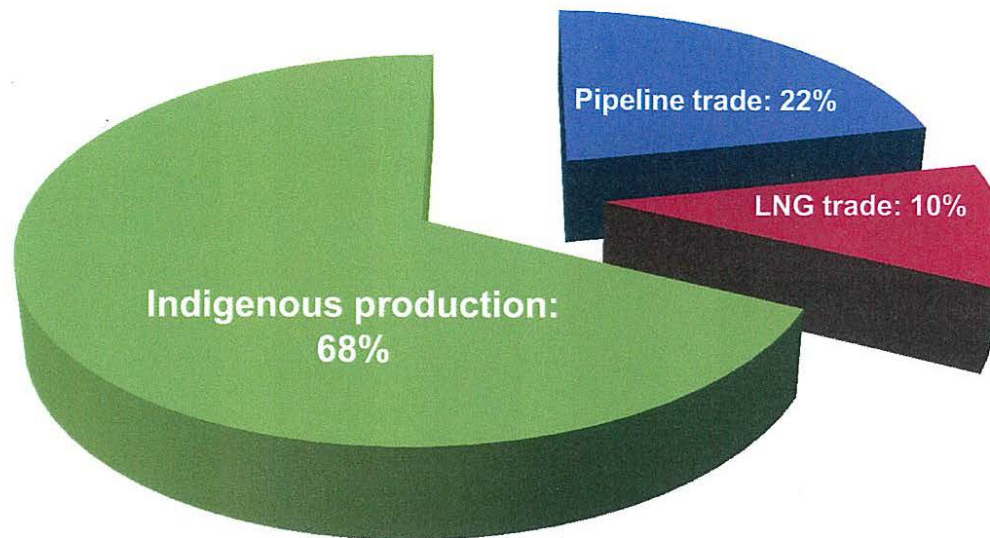
2011
3200 Billion m³



Source: Data from BP Stat. Review 2012
Excludes gas flared and recycled

**ABOUT 68% OF GAS IS USED IN THE COUNTRY WHERE IT IS PRODUCED...
BUT INTERNATIONAL EXCHANGES ARE RAPIDLY GROWING**

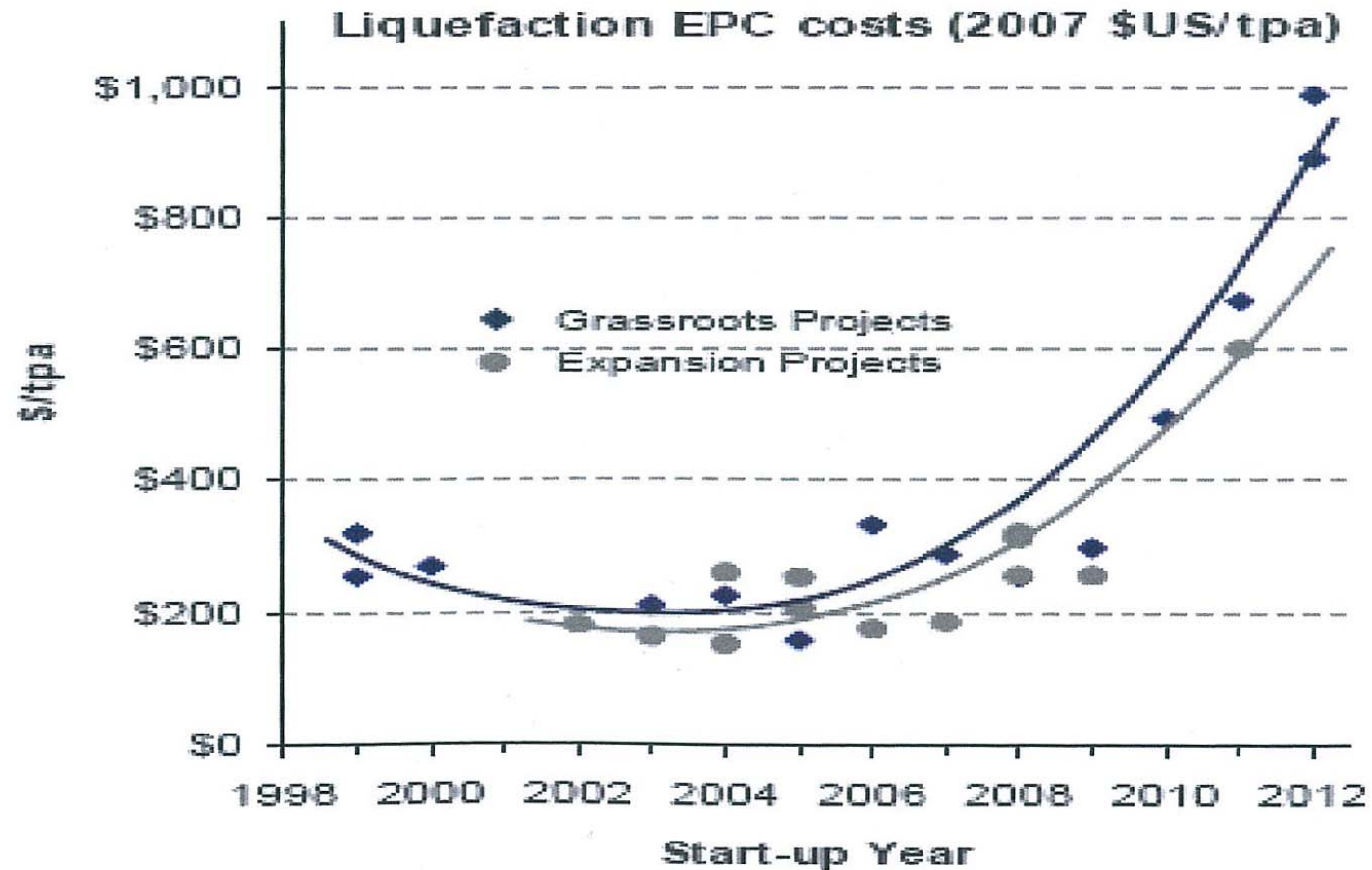
World Gas Consumption in 2011 # 3200 Bm3



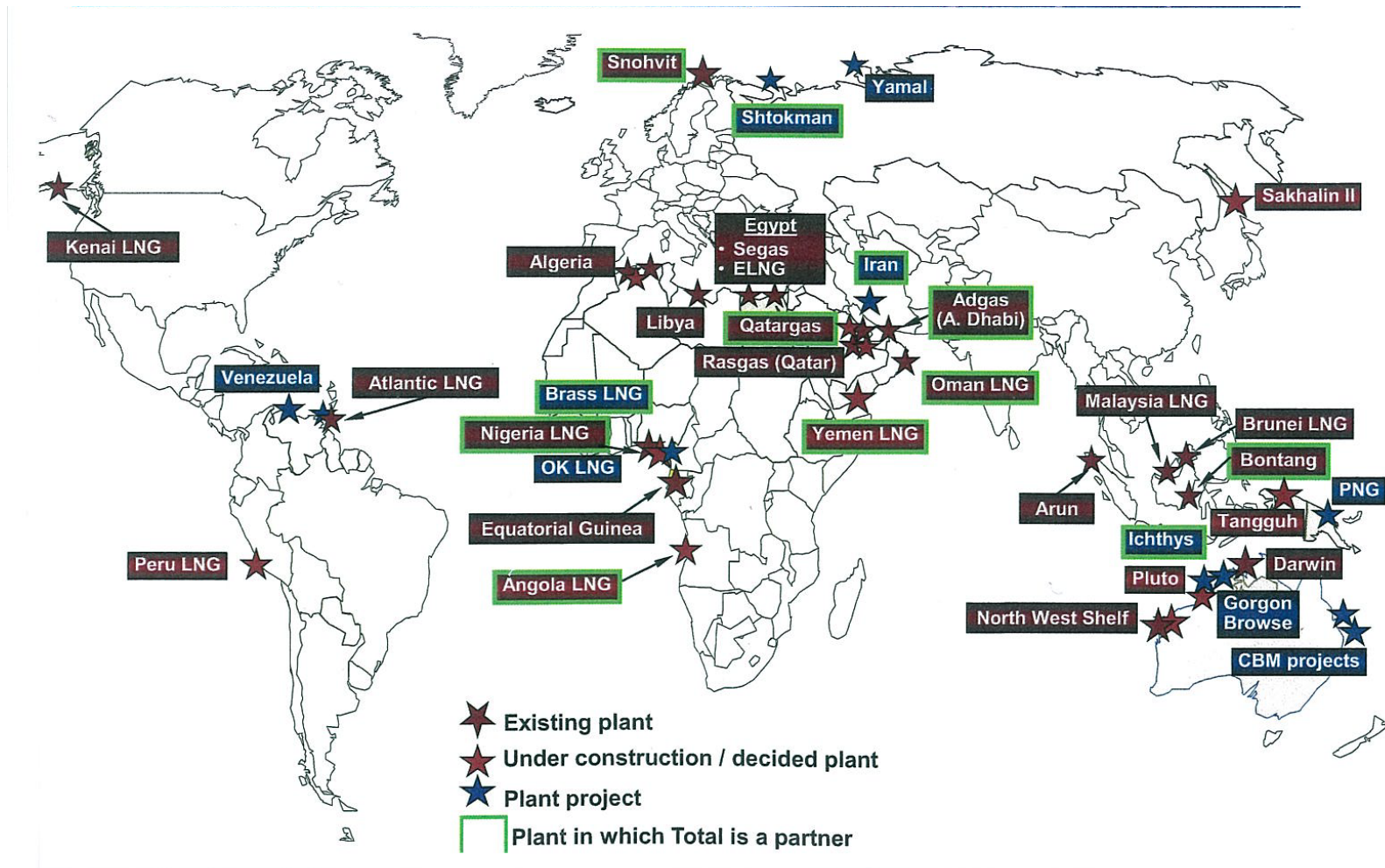
**2011 International Gas trade was around 1000 Bm3
of which 330 Bm3 of LNG**

LNG ISSUES: COST AND TIMING

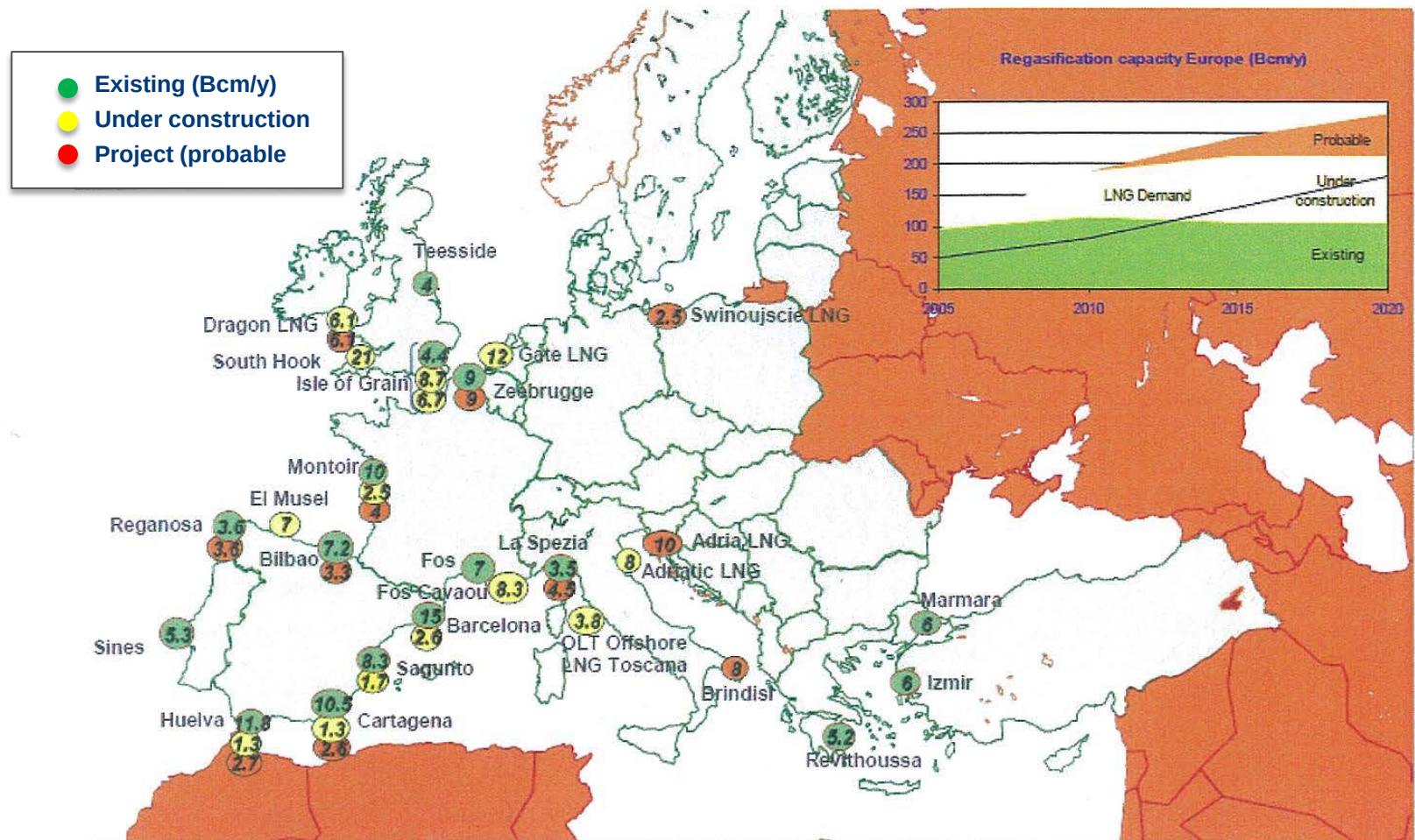
LNG Issues : Cost and Timing



LNG PLANTS IN THE WORLD (INCLUDING PROJECTS)



EUROPE LNG TERMINALS



SNOVHIT LNG TERMINAL



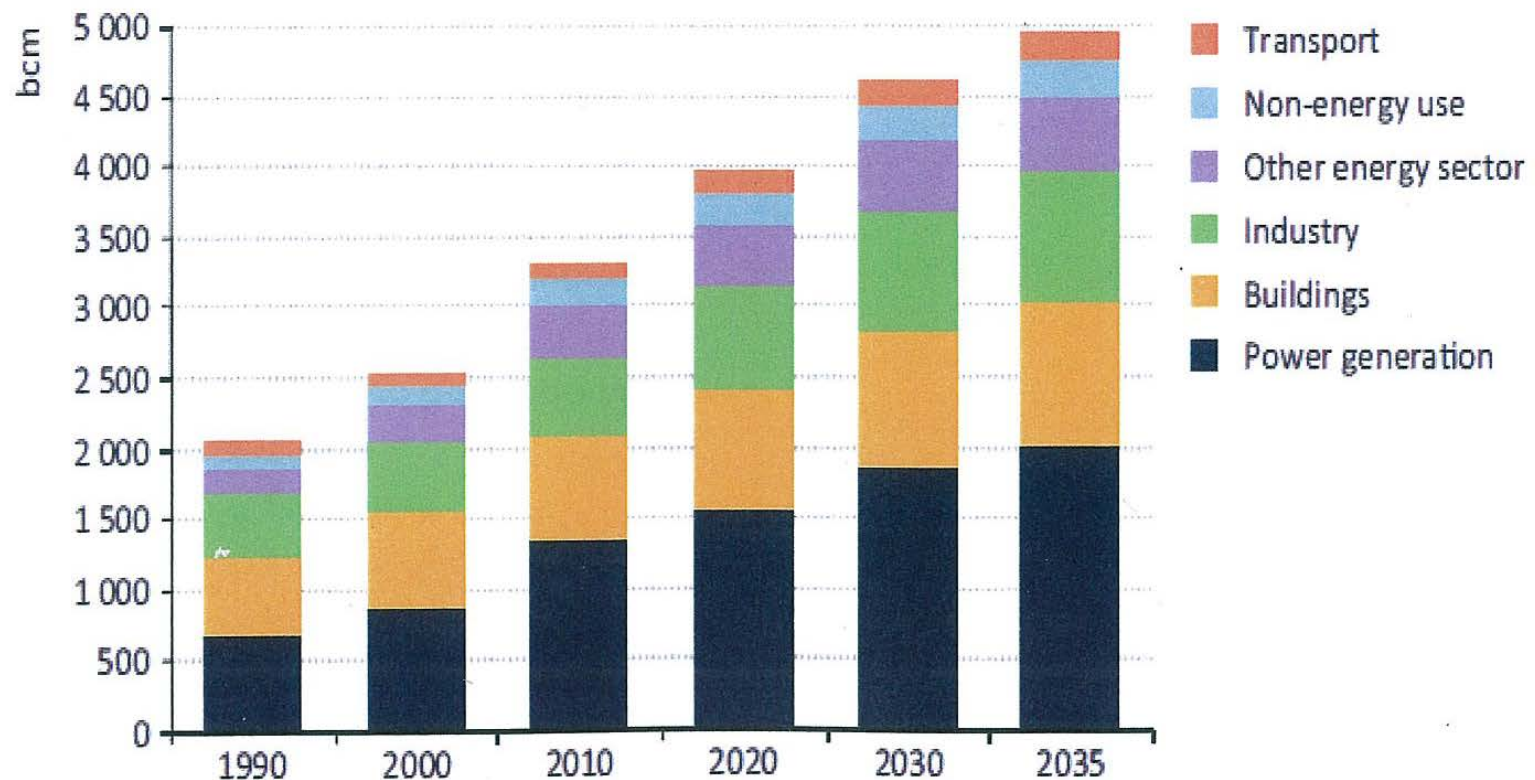
The Arctic Lady, the first LNG tanker under a long-term charter by Total (© Eiliv Leren, Statoil).

THE YEMEN LNG COMPLEX



The Yemen LNG liquefaction complex in which Total is the main shareholder. Construction of the site mobilized 10,000 people.

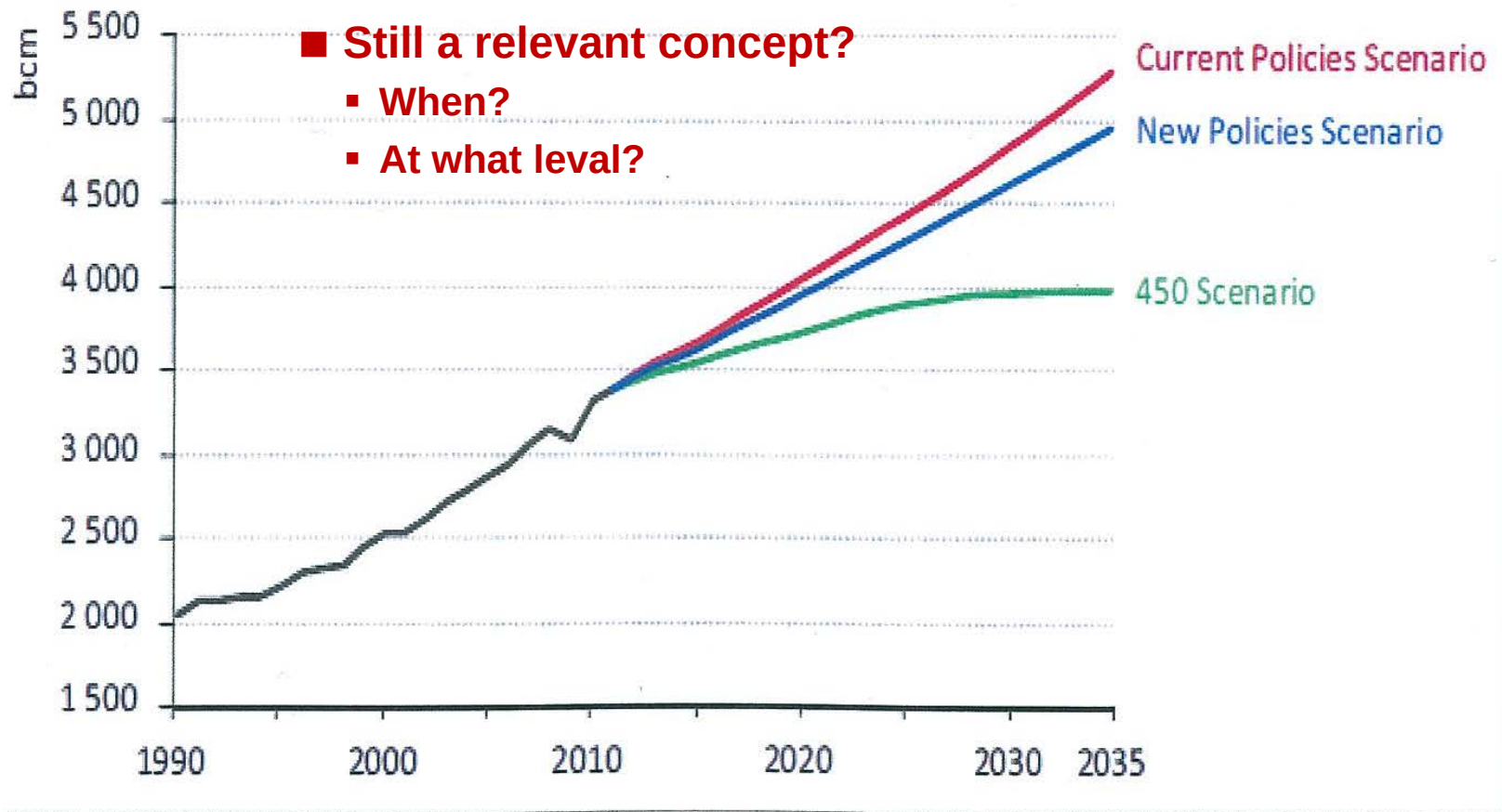
GAS DEMAND EVOLUTION BY SECTORS



Source: IEA WEO 2012

WORLD PRIMARY NATURAL GAS DEMAND – IEA 2012

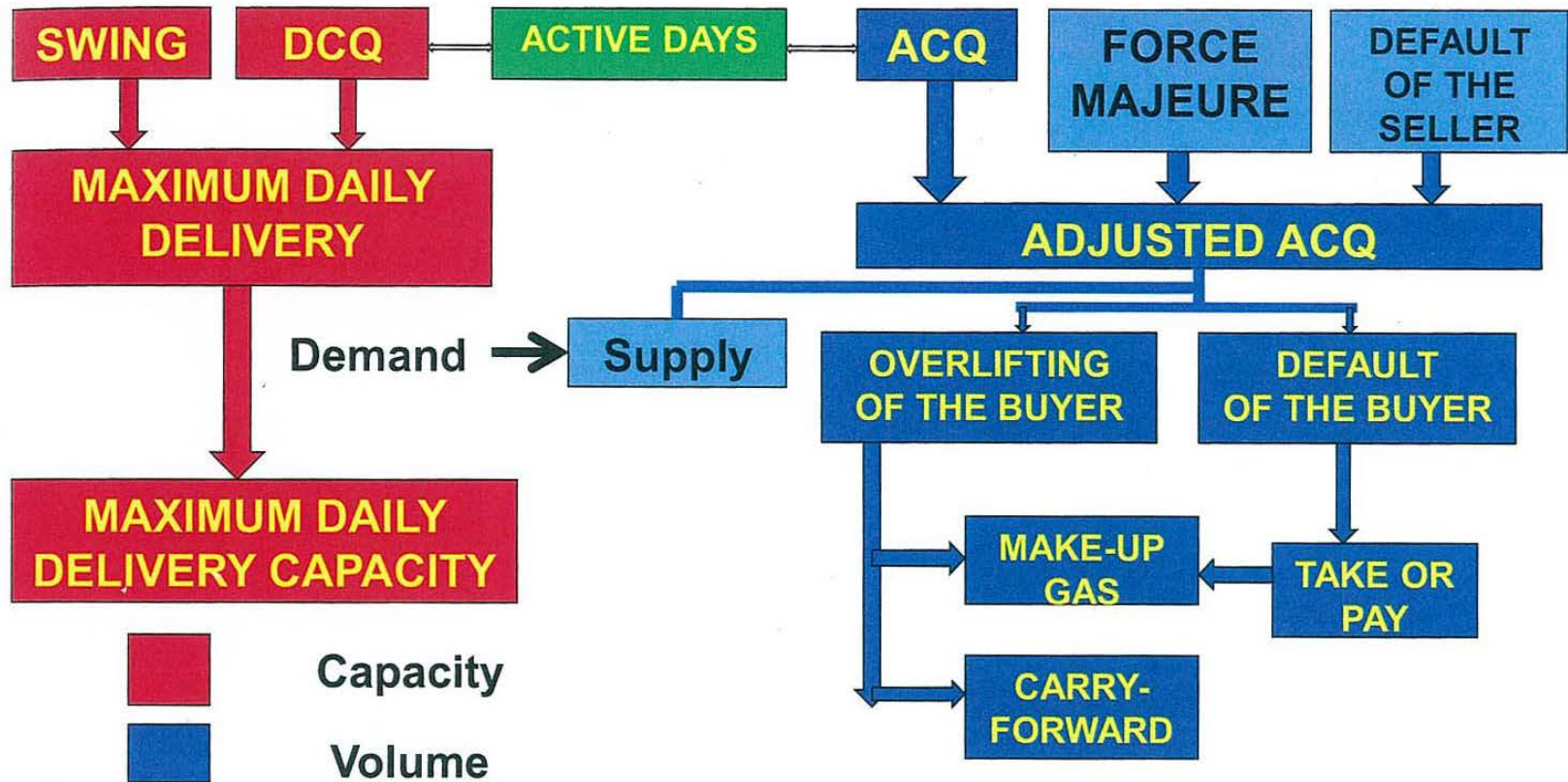
WHAT ABOUT SUPPLY: IS « GAS PEAK »



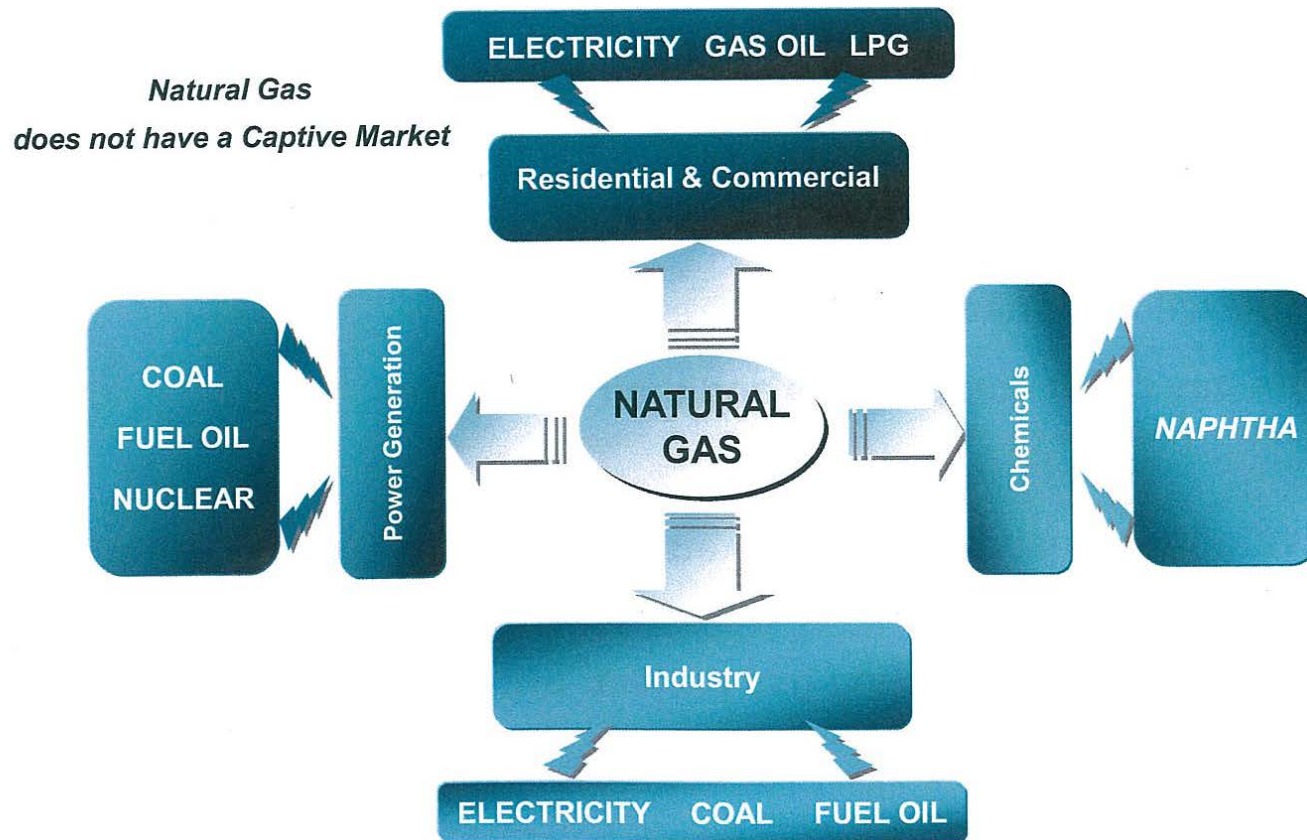
Source: IEA 2012 World Energy Outlook

FLOWCHART OF A GAS CONTRACT

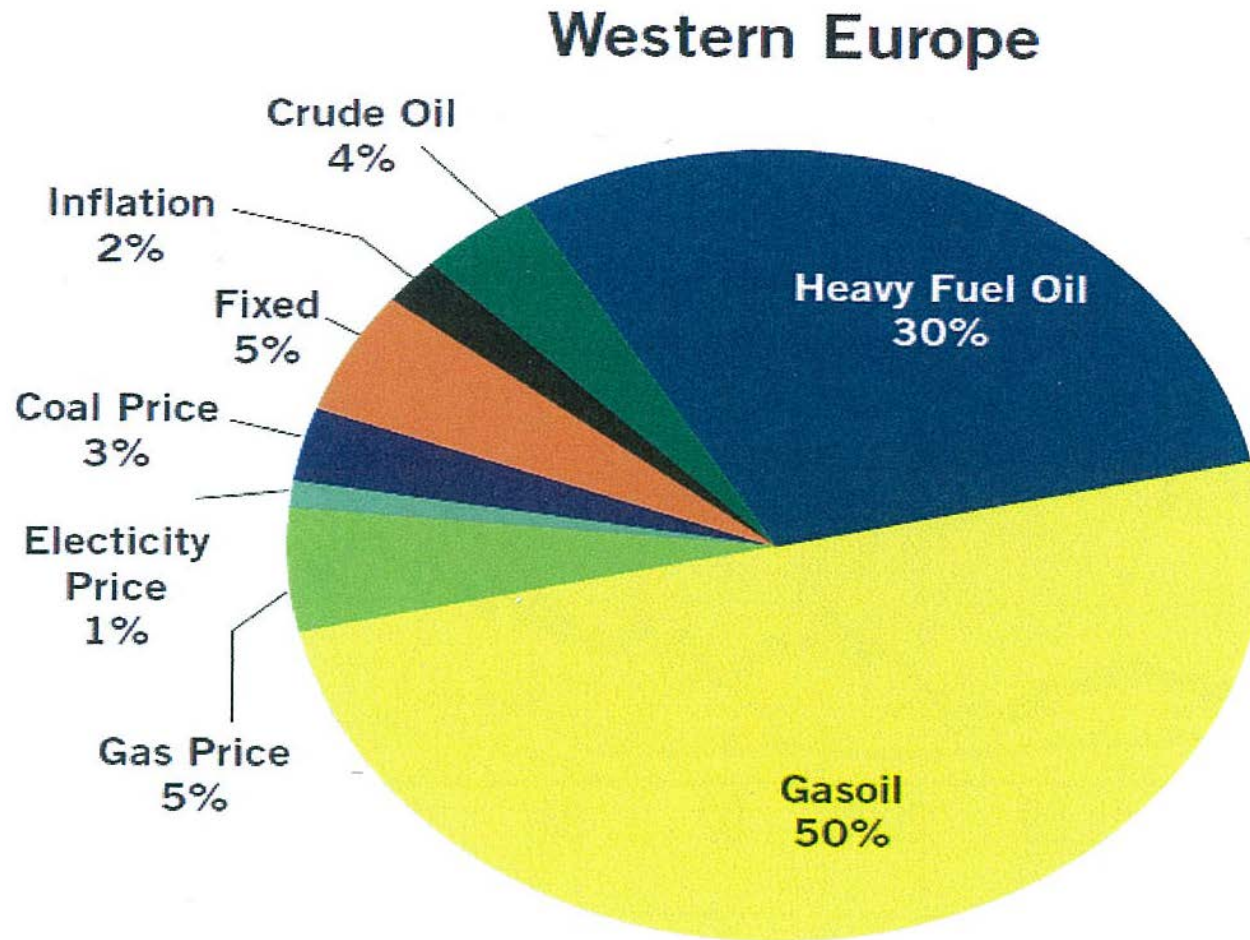
N.B: Contracts are all different. All terms do not necessarily appear , the wording may vary



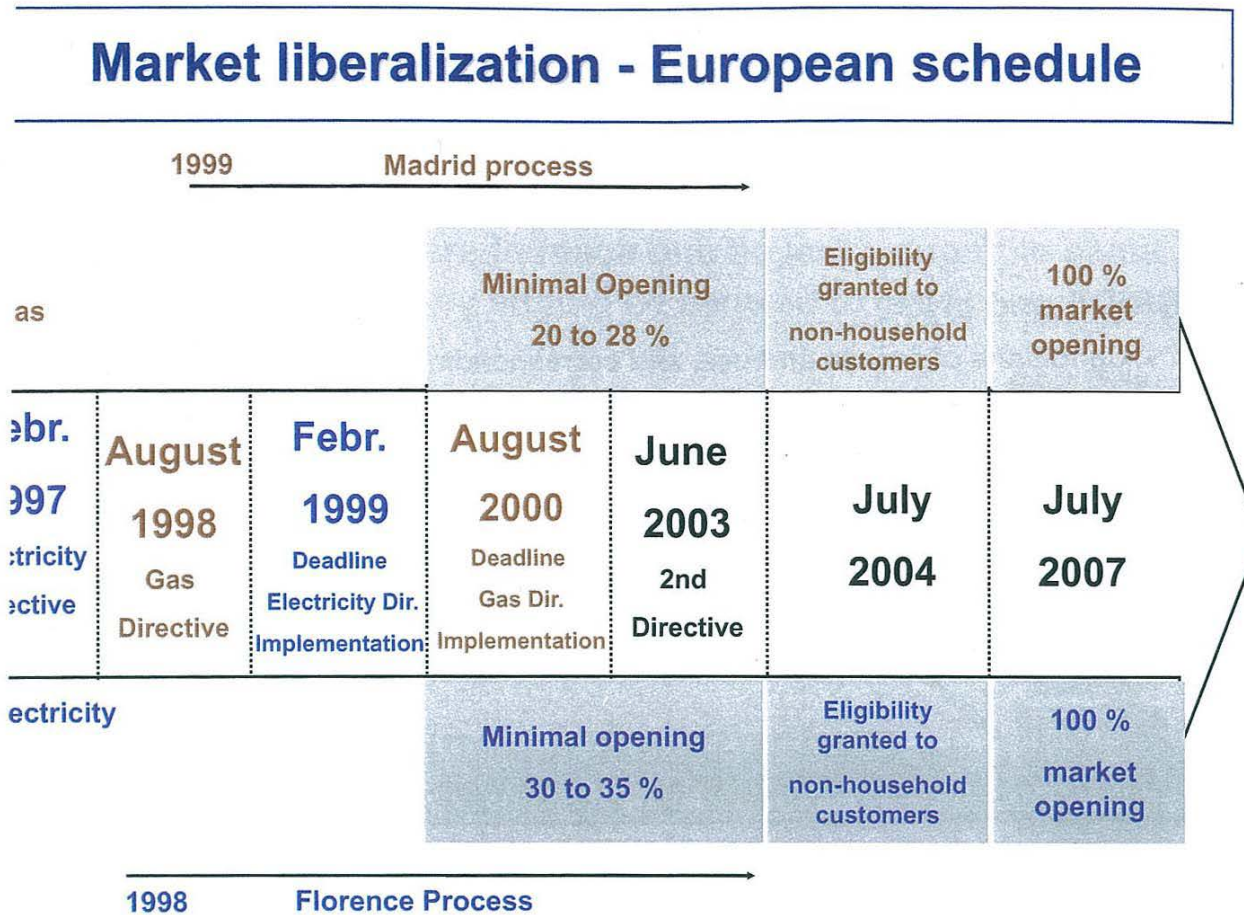
NATURAL GAS MARKETS



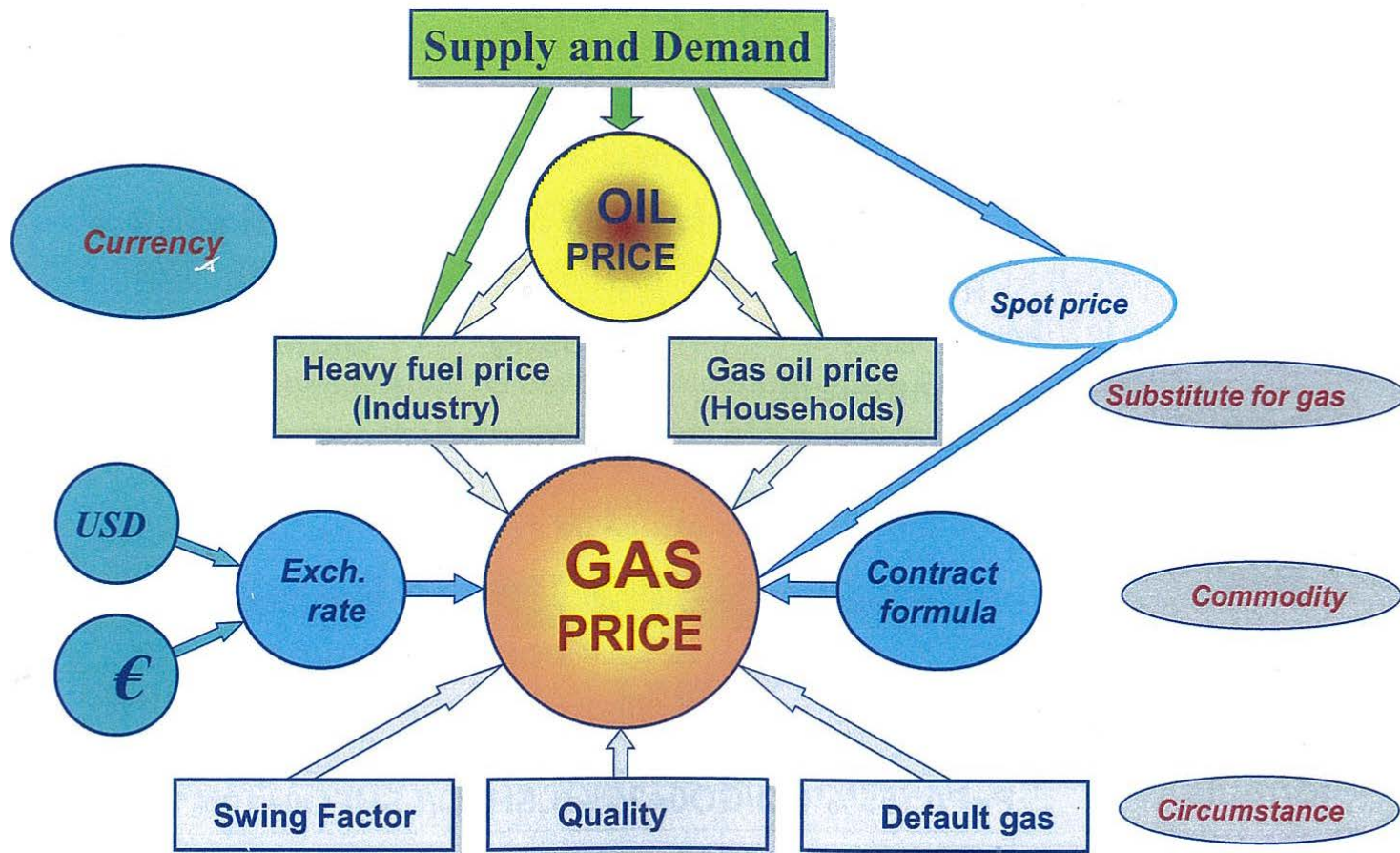
COMPETING FUELS WEIGHTING FACTOR IN LT PRICING



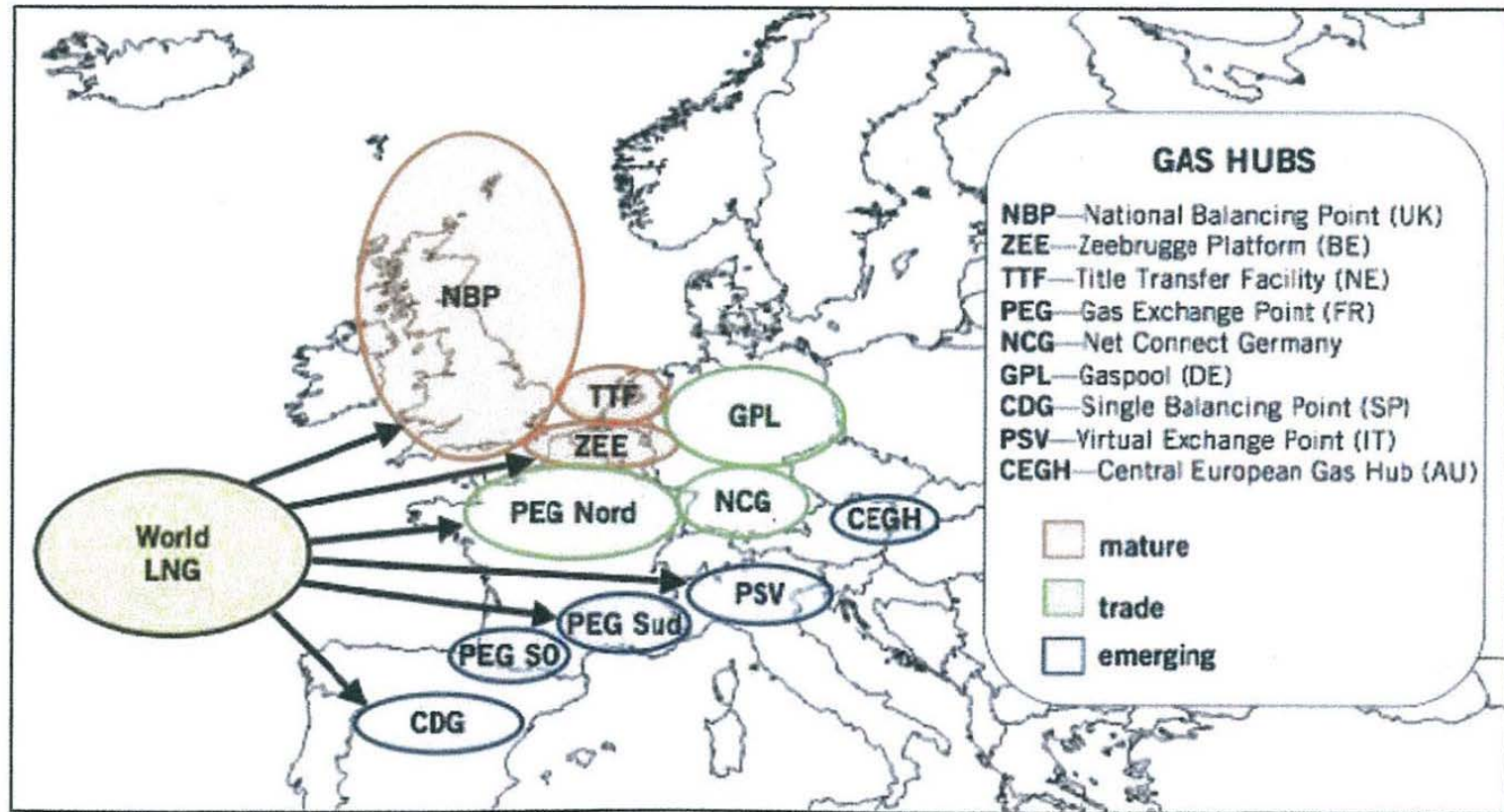
MARKET LIBERALIZATION – EUROPEAN SCHEDULE



WHAT WILL INFLUENCE THE GAS PRICE IN LT CONTRACTS



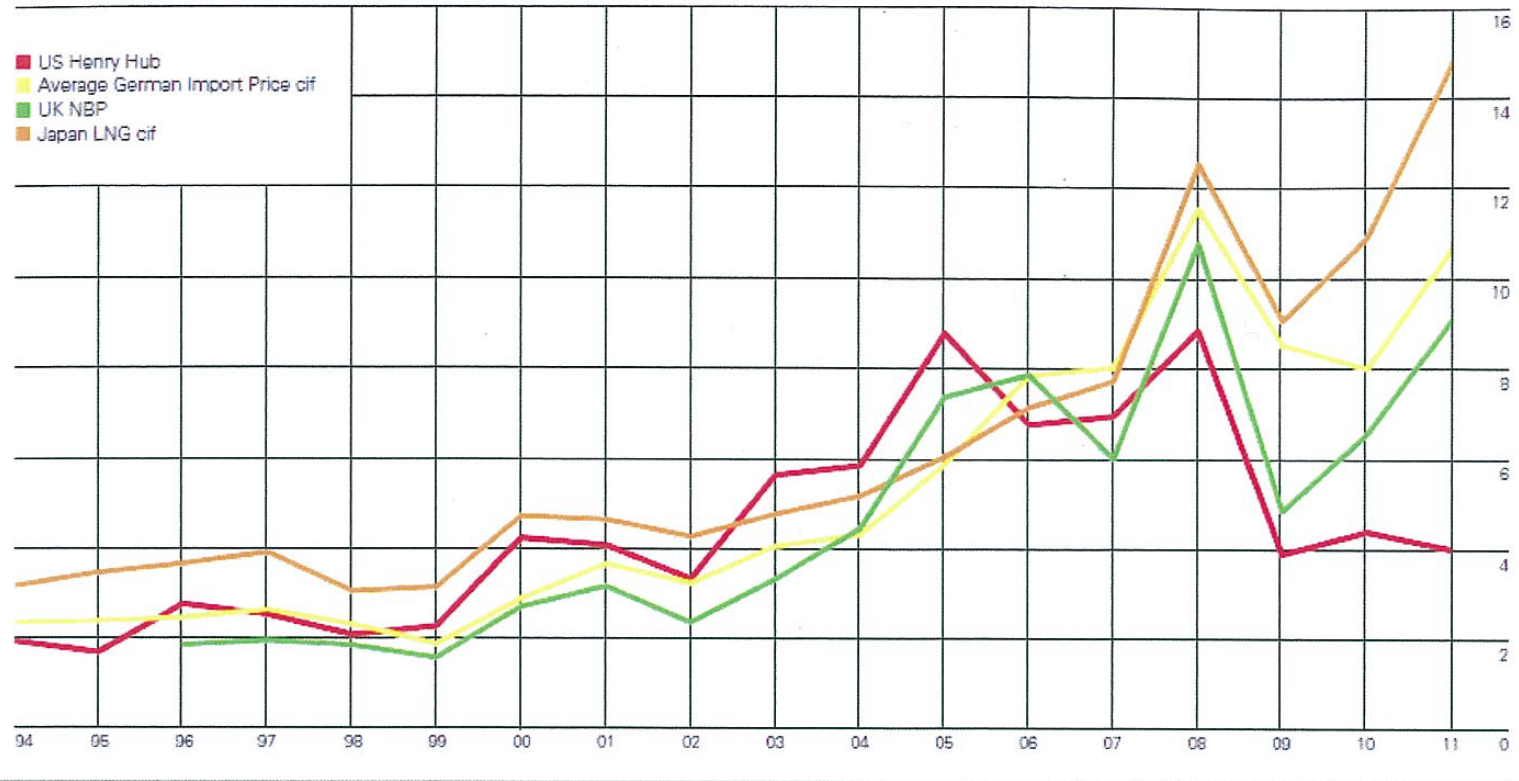
EUROPEAN GAS HUBS



Source: (Melling, 2010)

EVOLUTION OF NATURAL GAS PRICES (2) 1994 - 2011

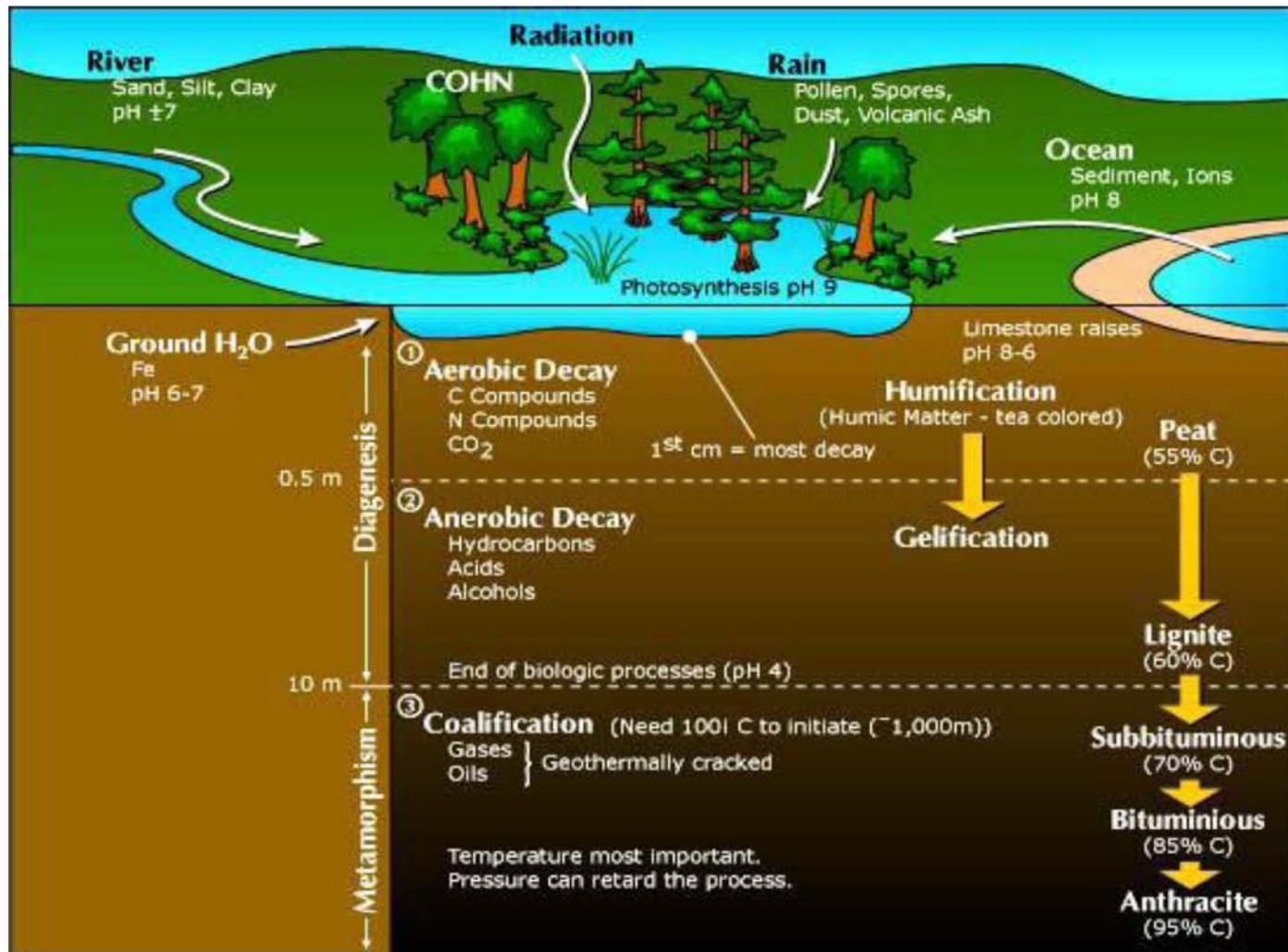
Prices
\$/Mmbtu



Source: BP Statistical review 2012

3^{ÈME} PARTIE : LE CHARBON

THE COAL FORMATION: COALIFICATION & BIOCHEMICAL AND GEOCHEMICAL STAGES



COAL BASIC FACTS

- **30%** of world Primary Energy in 2012
- **42%** of electricity generation worldwide
- **68%** Coal used for Electricity Generation

The fastest growing fossil energy since 2003 (5% to 6% per year)

COAL USES



Power/Heat Gen.

68%

Metallurgical

12%



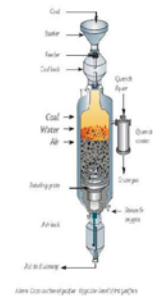
Cement Industry

4%

Gas-Liquid process

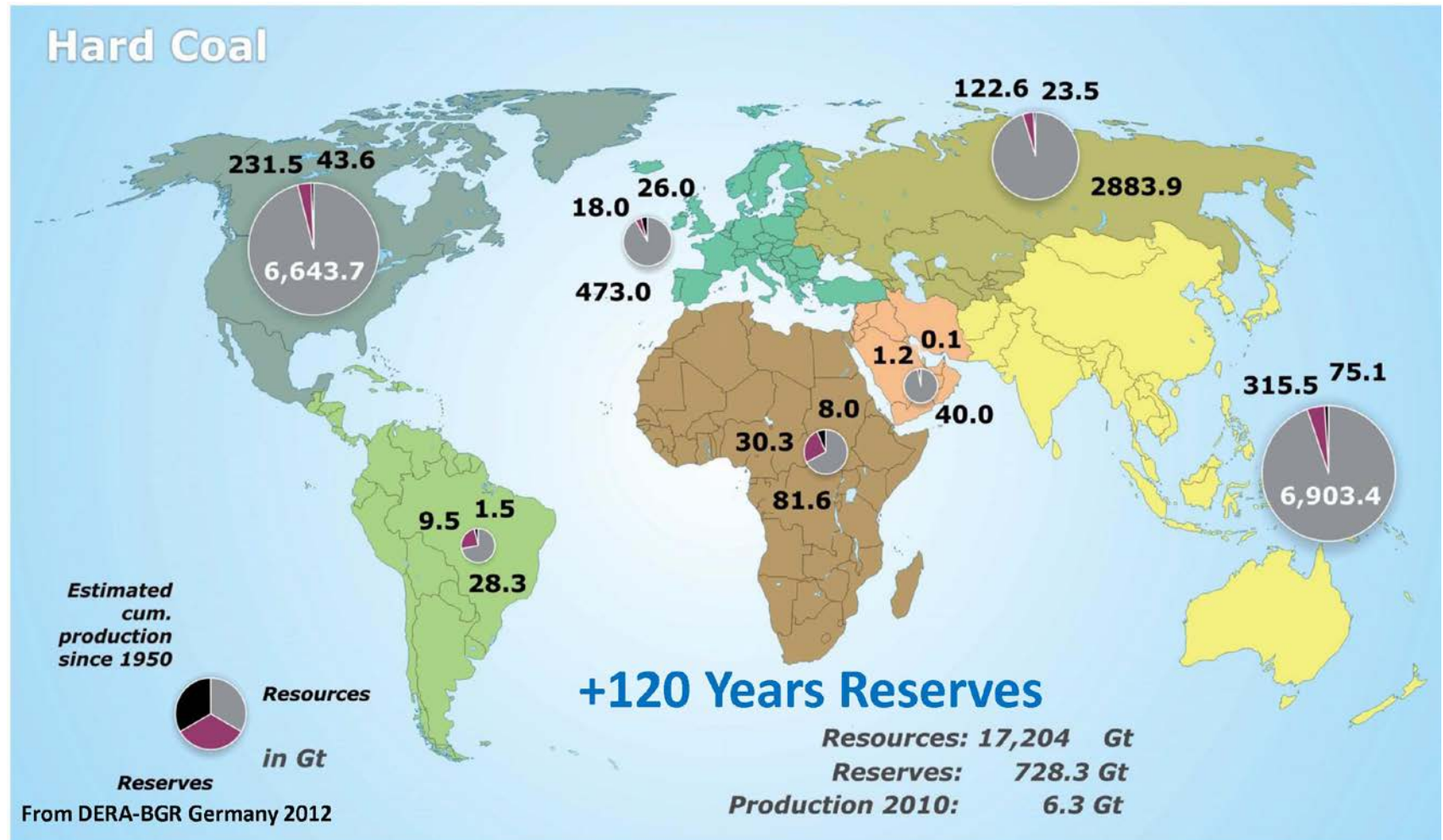
1% ?

Domestic: Heating/Cooking 10-15 %



WORLD HARD COAL RESOURCES & RESERVES

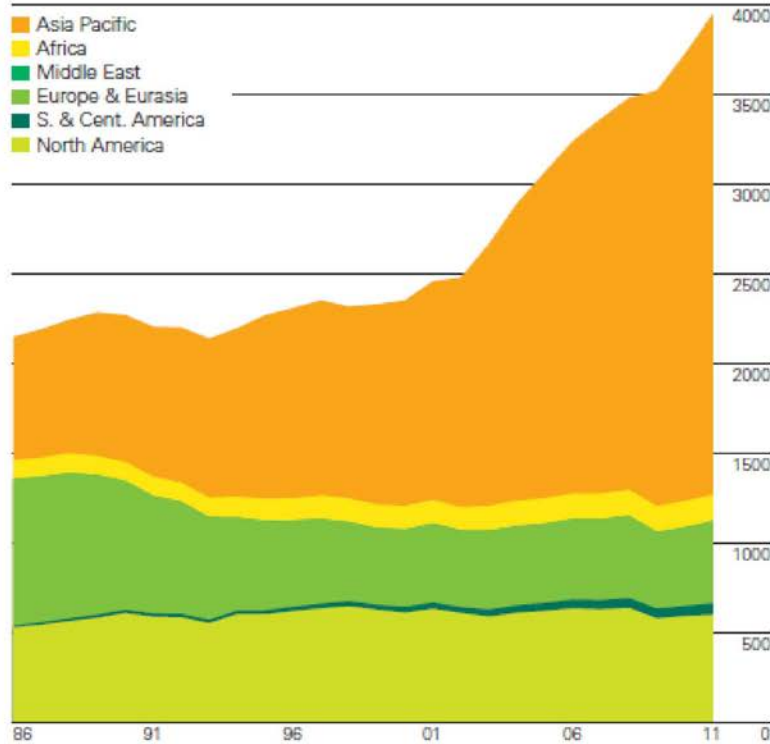
- Biggest resources in countries with big Palaeozoic sedimentary basins
 - USA, China, Russia and India account for 75% of reserves and 90% of resources
 - Other countries with significant resources Australia, Indonesia and south Africa



COAL PRODUCTION / CONSUMPTION BY REGION

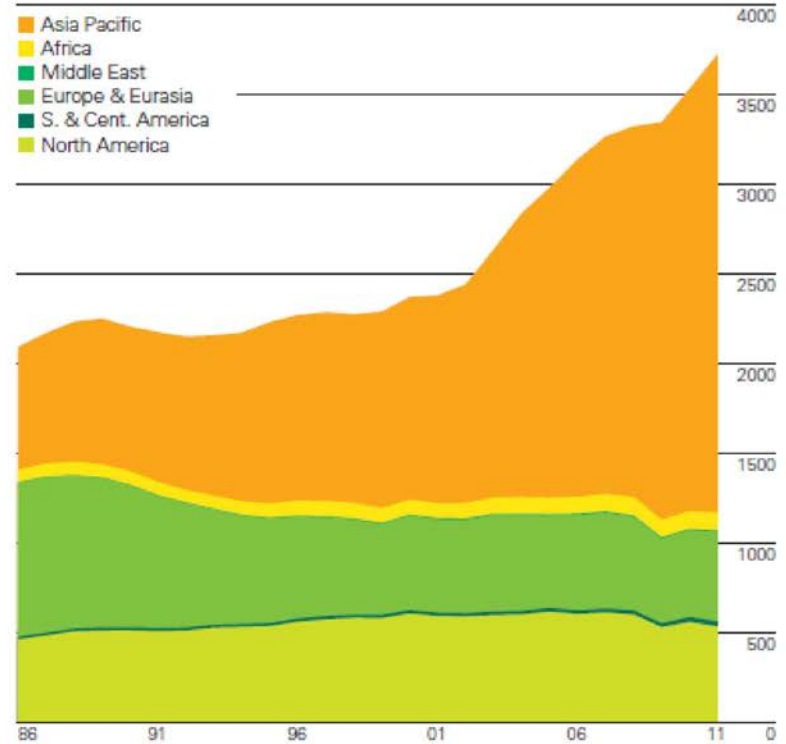
Production by region

Million tonnes oil equivalent



Consumption by region

Million tonnes oil equivalent

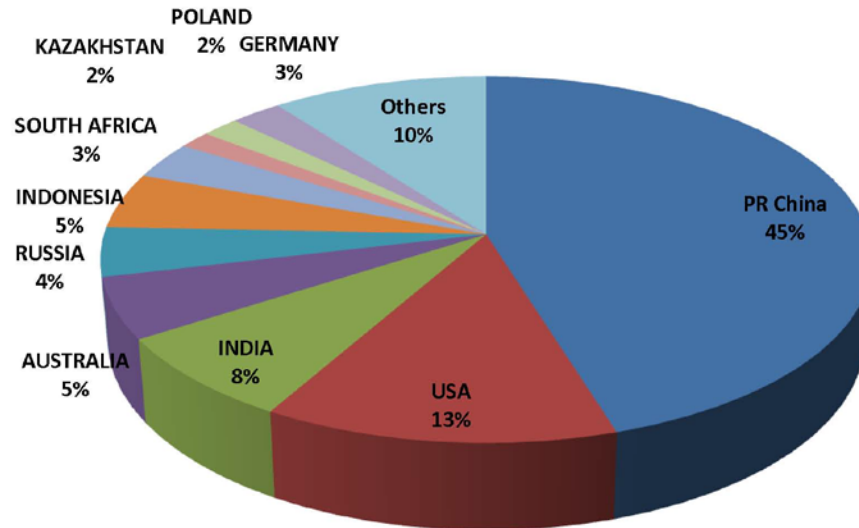


Coal was again the fastest-growing fossil fuel. Global production grew by 6.1%. The Asia Pacific region accounted for 85% of global production growth, led by an 8.8% increase in China, the world's largest supplier. Global coal consumption increased by 5.4%, with the Asia Pacific region accounting for all of the net growth. Elsewhere, large declines in North American consumption were offset by growth in all other regions.

BP stats 2011Y

LIGNITE & HARD COAL PRODUCERS: THE TOP 10.....

	MT	%
PR China	3471	45.2%
USA	1004	13.1%
INDIA	585	7.6%
AUSTRALIA	414	5.4%
RUSSIA	334	4.4%
INDONESIA	376	4.9%
RSA	253	3.3%
KAZAKHSTAN	117	1.5%
POLAND	139	1.8%
GERMANY	189	2.5%
Others	796	10.4%
Total	7678	100%



Top Ten Coal producers 2011e
Hard coal /lignite

- **World global coal production has increased by 6.6% from 2010Y**
 - Hard coal production 6 637 Mt (of which anthracite and coking coal 13%)
 - Lignite/brown coal production 1 041 Mt
- **China is the single biggest producer far before USA**
- **10 Countries account for 90% of global production**

WCA -2012 stat

TOP COAL IMPORTERS 2011 e MT ± 12 COUNTRIES

	Steam	Total(Hard Coal)	CHINA: a new Coal Importer since 2009Y...
PR China	146	190	
Japan	121	175	
South Korea	97	129	
India	86	105	
Taiwan	62	66	Pacific Market +/- 70 %
Germany	32	41	
UK	27	33	
Turkey	29	31	

Also : Spain –Portugal-France-Italy-Morocco-Greece-Belgium-Israel-Malaysia-Thailand-HK-Chile-Nederland-Denmark-Ireland- Mexique...

TOP COAL EXPORTERS 2011 e MT ± 12 COUNTRIES

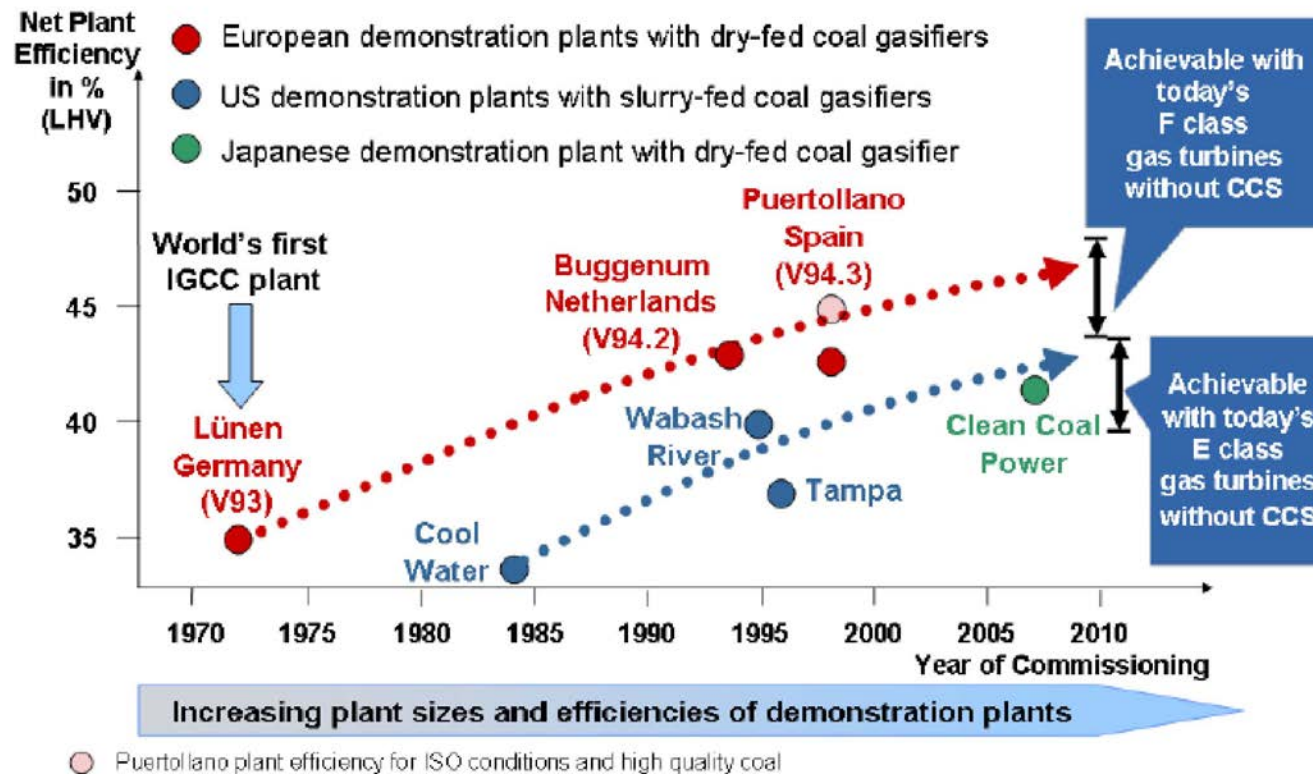
TOP COAL EXPORTERS 2011 e MT +/- 12 countries			
	Steam	Total (Hard coal)	
Indonesia	309	309	
Australia	144	284	
Russia	110	124	
USA	34	97	
South Africa	72	72	
Colombia	75	75	
Canada	24	31	
Kazakhstan	33	34	
Total...	861 (+ 9.3%)	1142	+ 6 % /2010Y

Venezuela-Poland-Ukraine-New Zealand-

MAIN COAL ROUTES TO SOUTH EAST CHINA



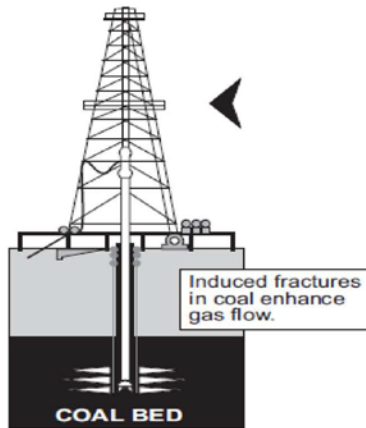
IGCC PLANT EFFICIENCY PROGRESS



Copyright © Siemens AG 2009

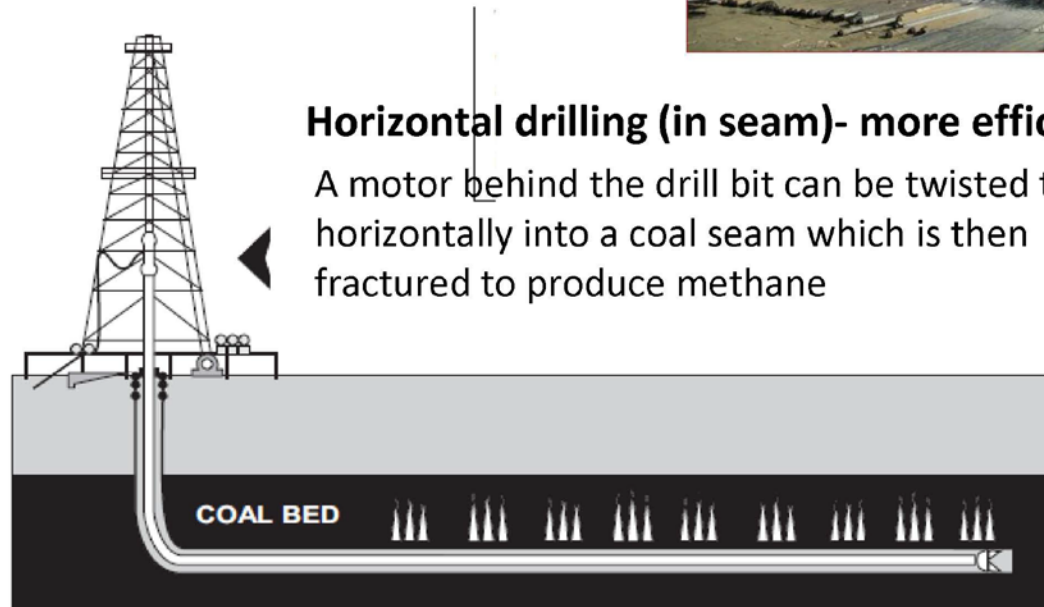
COAL TO METHANE PROCESS

Success is the horizontal drilling technology...



Conventional drilling

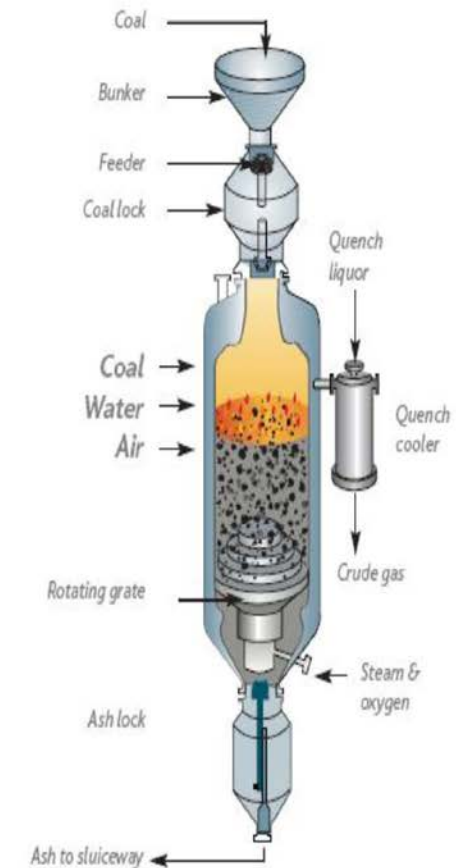
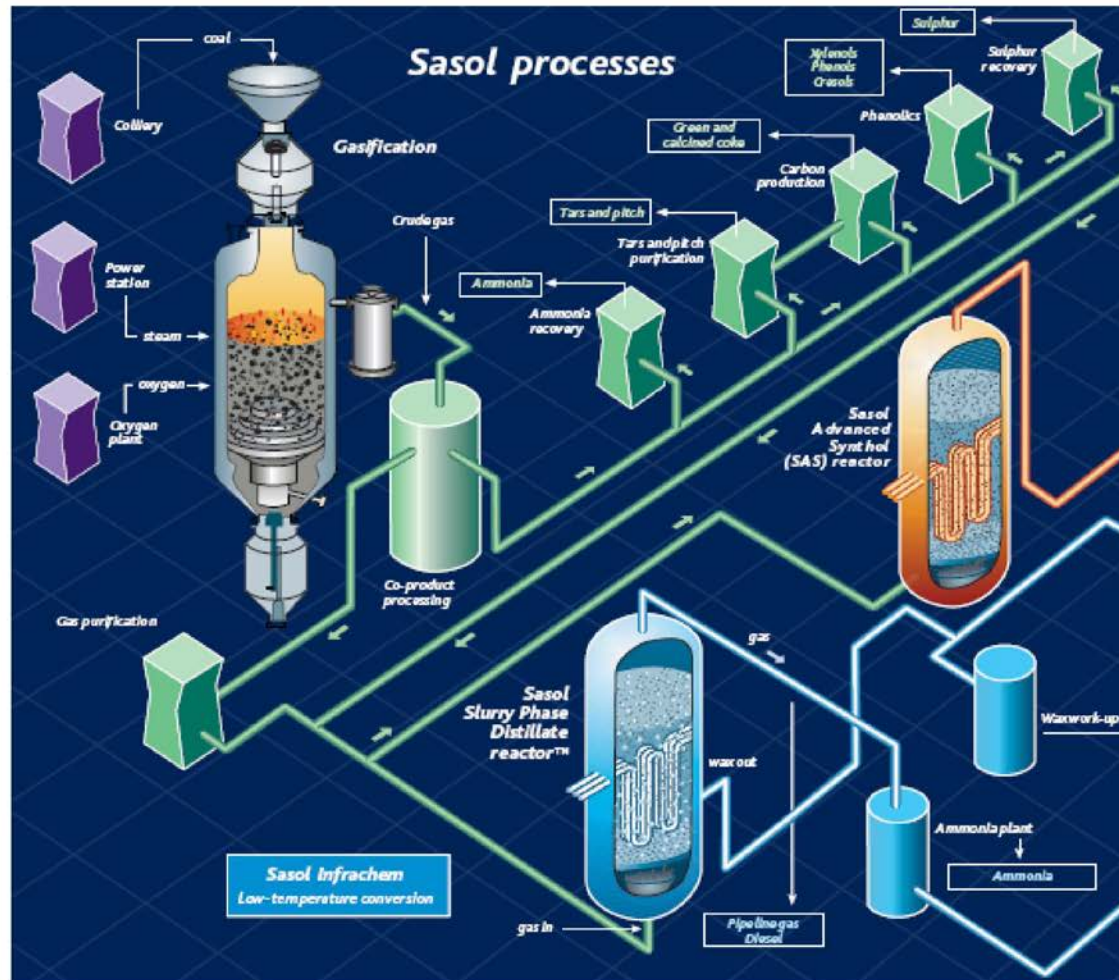
A conventional well like those used for natural gas is drilled then fluid –Water– is forced down the well to fracture the coal which releases methane



Horizontal drilling (in seam)- more efficient

A motor behind the drill bit can be twisted to drill horizontally into a coal seam which is then fractured to produce methane

COAL GASIFICATION: A COMPLEX PROCESS



Above: Cross-section of gasifier Opposite: Sasol's first gasifiers

ECL - Cours Macro-Energie – Charbon
– Jean-Marc Otero del Val

COAL TO GAS / LIQUID

FISCHER –TROPSCH Process

Catalytic hydrocarbon production from a synthetic gas ($\text{CO} + \text{H}_2$) was discovered in 1923 by the German Franz G. Fischer and Hans Tropsch and Industrially developed in Germany, with 750 000 t/ Year of oil equivalent bases during the 2nd World War- After war production was progressively stopped with cheaper crude oil alternative .

**A synthetic gas($\text{CO}+\text{H}_2$) is produced from coal gasification process.
(Natural gas can also be used as alternative source...)**

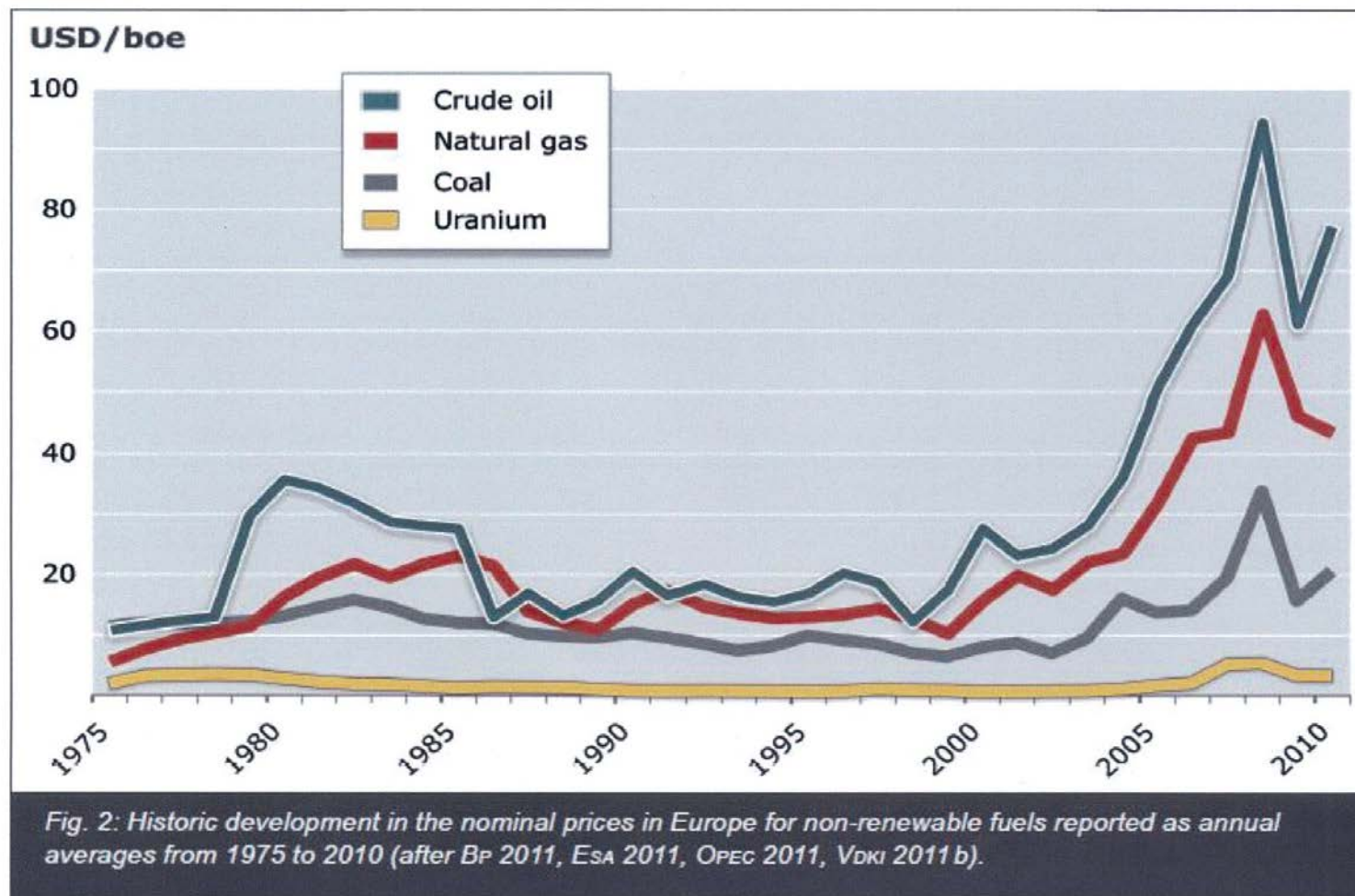
With the catalytic FT process, the synthetic gas is transformed in crude oil similar compounds: Paraffin and olefin molecules produced are compatible with crude oil molecules and can be used for gas engines or petro chemistry as pure or blended

- FT Process has been redeveloped in South Africa during the sanction period by the state company SASOL mainly for strategic oil sourcing purpose**
- Presently a few projects are developed in China/India... mainly**
- **Seems competitive when oil barrel above 50/60 \$?*- Capex costs non included!!**

* To be confirmed

4^{ÈME} PARTIE : CONCLUSIONS

CORRELATION DES PRIX EUROPÉENS DES ÉNERGIES



WORLD ENERGY MIX OUTLOOK TO 2050 (AUTHORS VIEW)

commercial energy sources only

Source : P. BAUQUIS
Revue de l'Énergie, Sept. 1999
rev RG 2010

	2000 (6 Ghab)		2030 (8 Ghab)		2050 (9 Ghab)	
	Gtoe	%	Gtoe	%	Gtoe	%
oil	3.6	39	5.0	31	3.5	19
gas	2.1	23	3.5	23	3.5	19
coal	2.3	25	5.0	31	5.0	28
Total fossil fuels	8.0	87	13.5	85	12.0	66
hydro electricity	0.6	6	1.0	6	1.0	6
other RES (wind, solar, etc...)	0.1	1	0.5	3	2.0	11
nuclear electricity	0.6	6	1.0	6	3.0	17
Total all sources	9.3	100.0	16.0	100.0	18.0	100.0
			<i>forecast</i>		<i>scenario</i>	

Pas de changement de visions long terme de l'auteur entre 1999 et maintenant

QUELS VÉHICULES POUR L'AVENIR ?

