

LIED – PARIS VII DIDEROT

LES NOUVEAUX HYDROCARBURES NON CONVENTIONNELS:

LES HYDROCARBURES DE ROCHES MÈRES : ASPECTS ECONOMIQUES

(dits « GAZ DE SCHISTES ET PETROLE DE SCHISTES »)

Pierre René BAUQUIS

Professeur associé IFP School

Professeur TPA

Ancien Directeur gaz-électricité-charbon du groupe TOTAL

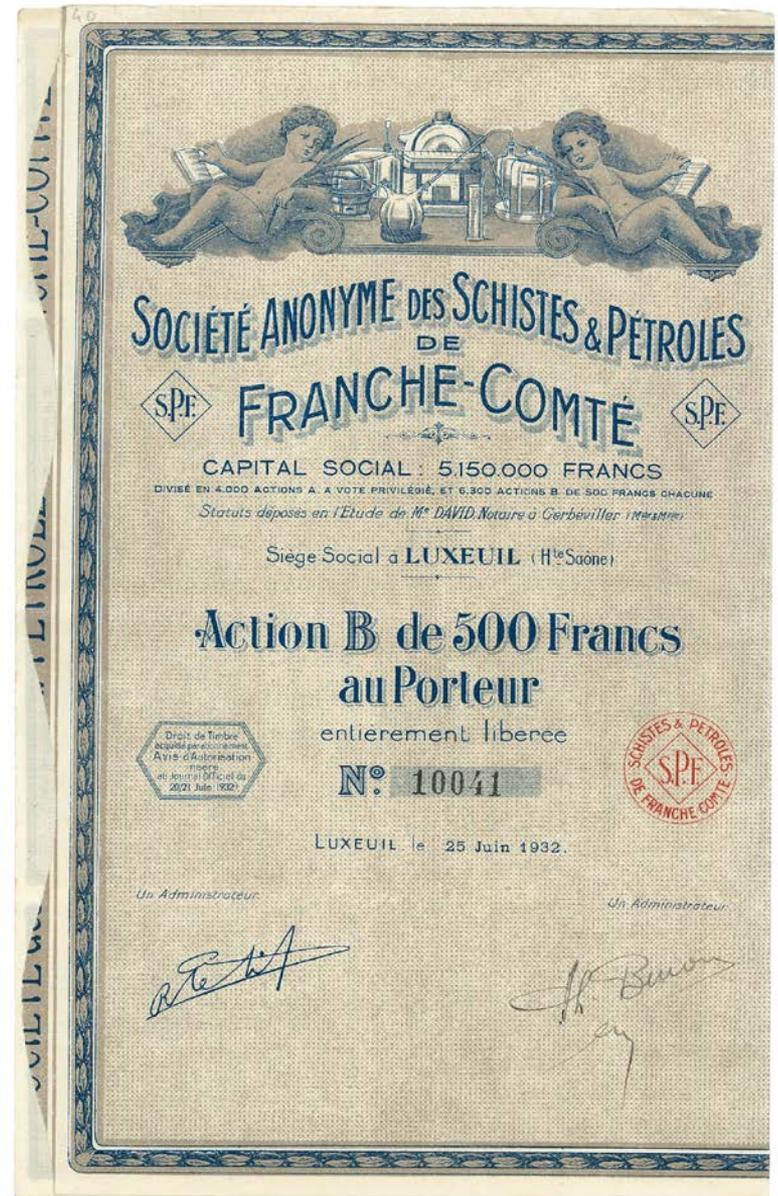
2 Avril 2013

1^{ÈRE} PARTIE : HYDROCARBURES DE ROCHES MERES ET ECONOMIE

QUELQUES RAPPELS HISTORIQUES

QUELQUES RAPPELS TECHNICO-ECONOMIQUES

RECHERCHE DE SCHISTES PETROLIERS EN FRANCE: UN EXEMPLE D'ACTION EMISE EN 1932



PREMIERES RECHERCHES DANS LE BASSIN AQUITAIN: DES ACTIONS EMISES EN 1929



QUELQUES EXEMPLES HISTORIQUES DE GAZ ET PETROLES DE ROCHES MERES

Exemples d'anciennes productions de « Shales gas »

- Premier puit de gaz de roches mères : Frédonia en 1821
(substitution de l'huile de baleine qui valait 2000 \$ le baril en valeur actuelle)
- Shale gas de Big Sandy produit depuis 1926 dans le Kentucky
(10 000 puits fracturés à la nitroglycérine dans les Ohio shales du Dévonien – gisement encore en production)
- Depuis 1978 production de « Tight Gas » dans le synclinal de l'Alberta
(Grès crétacés d'Elmworth)

A chaque fois les limitations sont économiques et l'idée de stimuler la perméabilité au cœur des stratégies pour améliorer l'économie

QUELQUES EXEMPLES HISTORIQUES DE GAZ ET PETROLES DE ROCHES MERES

Exemples d'anciennes productions de «Oil Shales »

(à ne pas confondre avec les Shale Oil très largement produits à la fin du 19 ème siècle aux USA et même en France : Autun jusqu'à la fin des années 50!!)

- Début années 50 : production dans l'ouest du Texas
(Shales du permien inférieur du « Spraberry trend »)
- Début années 60 : production en Sibérie Occidentale
(Champ de Salym : roches mères du Jurassique supérieur du Bazhenov – tentatives de fracturation nucléaire!)
- Début années 80 : premières créations de réserves par fracturations hydrauliques
(bassin Californien de « San-Joaquin », formations à diatomites de Monterrey)

A chaque fois les limitations sont économiques et l'idée de stimuler la perméabilité au cœur des stratégies pour améliorer l'économie

QUELQUES RAPPELS TECHNICO-ÉCONOMIQUES

ORDRES DE GRANDEURS TECHNICO-ÉCONOMIQUES CONCERNANT LES GISEMENTS DE PÉTROLES

de la vie d'un gisement

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

de taux de récupération

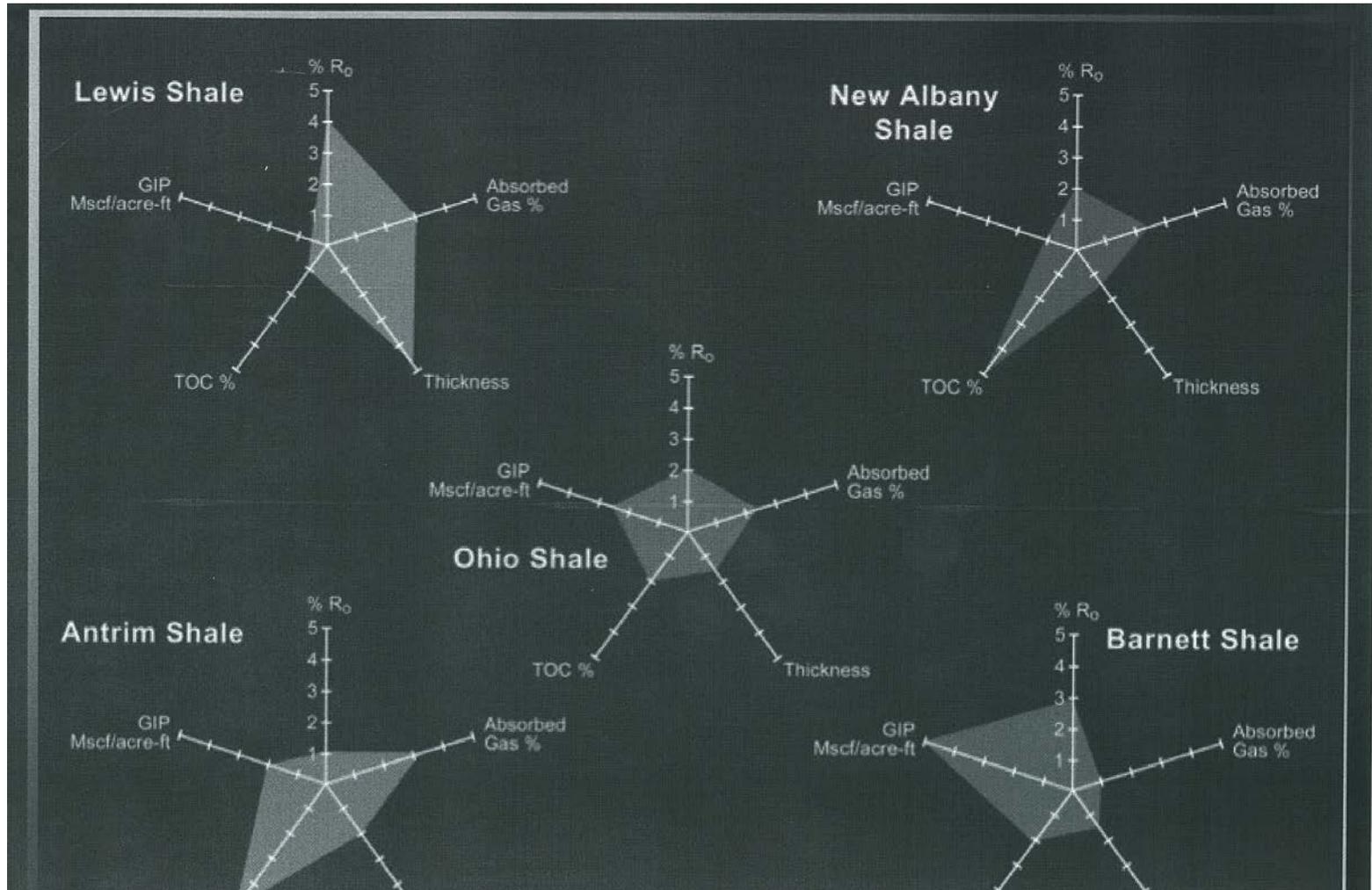
- **pétrole conventionnel**
 - moyenne mondiale : estimée aujourd'hui autour de 35 % ;
pourrait croître dans le futur vers 45% (voire plus pour les plus optimistes ??)
- **huiles lourdes**
 - impact énorme sur les réserves : ressource Orénoque estimée à 1200 / 1500 Gb et autant en Athabasca (+ 10% de 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 !!)**
 - réserves très élastiques aux prix : à la limite la notion même de réserves perd son sens

HOT SHALE PROPERTIES

Propertty	Eagle ford	Barnett	Haynesville	Marcellus	Horn River	Hot shale
TOC, %	2-8%	3-8%	1-5%	1-5%	2-5%	0,5-10%
Porosity, %	8-18%	3-9%	6-15%	3-9%	3-7%	1-9%
Water saturation, %	7-31%	30-40%		20-45%	20-30%	10-30%
Permeability, nD	1,8-8,000	0,08-2,000	100-3,000	50-3,000	1,8 ^e -4 – 2,0 ^e -1	<1,000 - 2,0 ^e 7
Static YM, Mps	1,00-2,50		1,10-2,25			4,21-5,25
Brinell Hardness Number	22	80	18	32		
Poisson's ratio	0,25-0,27	0,15-0,6	0,15-0,35		0,15-0,35	0,21-0,28
Pressure Gradient, psi	0,4-0,8	0,5-0,6	0,7-0,9	0,3-0,8	0,5-0,7	0,43
Thickness (m)	15-150	90-150	45-105	15-107	60-150	10-40+

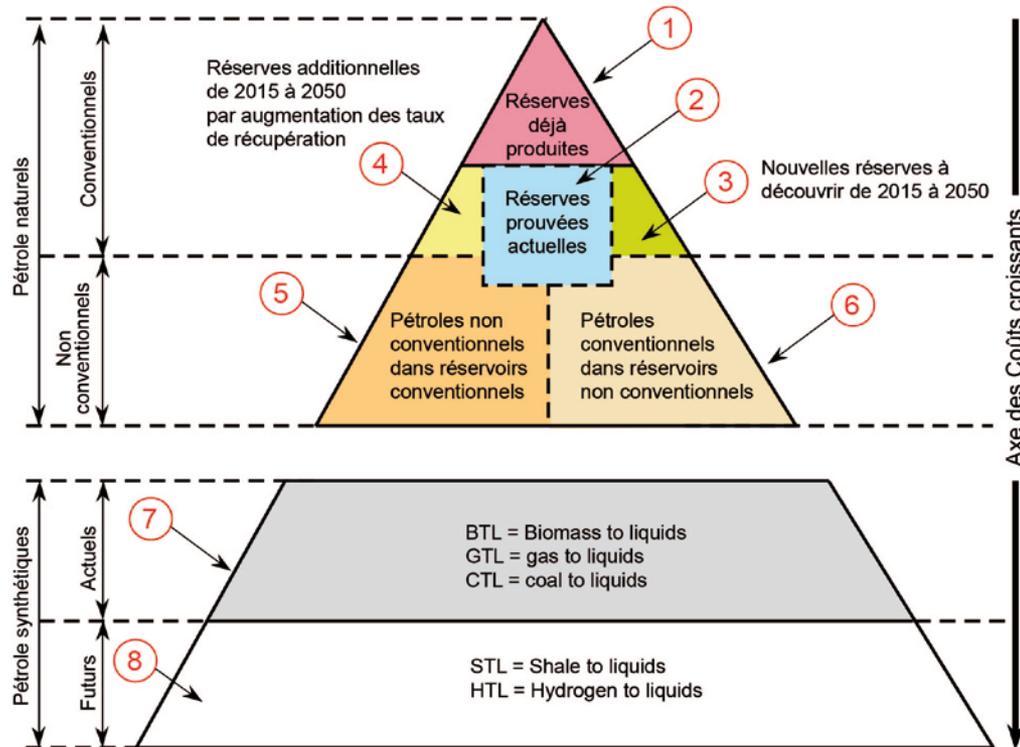
Sources SPE et US Doe

QUELQUES EXEMPLES DE « HOT SHALES AMÉRICAINS MONTRANT LEURS TRÈS GRANDES VARIABILITÉS DE CARACTÉRISTIQUES »



LA PYRAMIDE DES RESERVES GAZIERES DES GAZ NATURELS ET LE DOMAINE DES GAZ DE SYNTHESE

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

Synthétiques et substituts

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

COMMENTAIRES DU TRIANGLE DES RESSOURCES ET DES RÉSERVES DE PÉTROLES : CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES

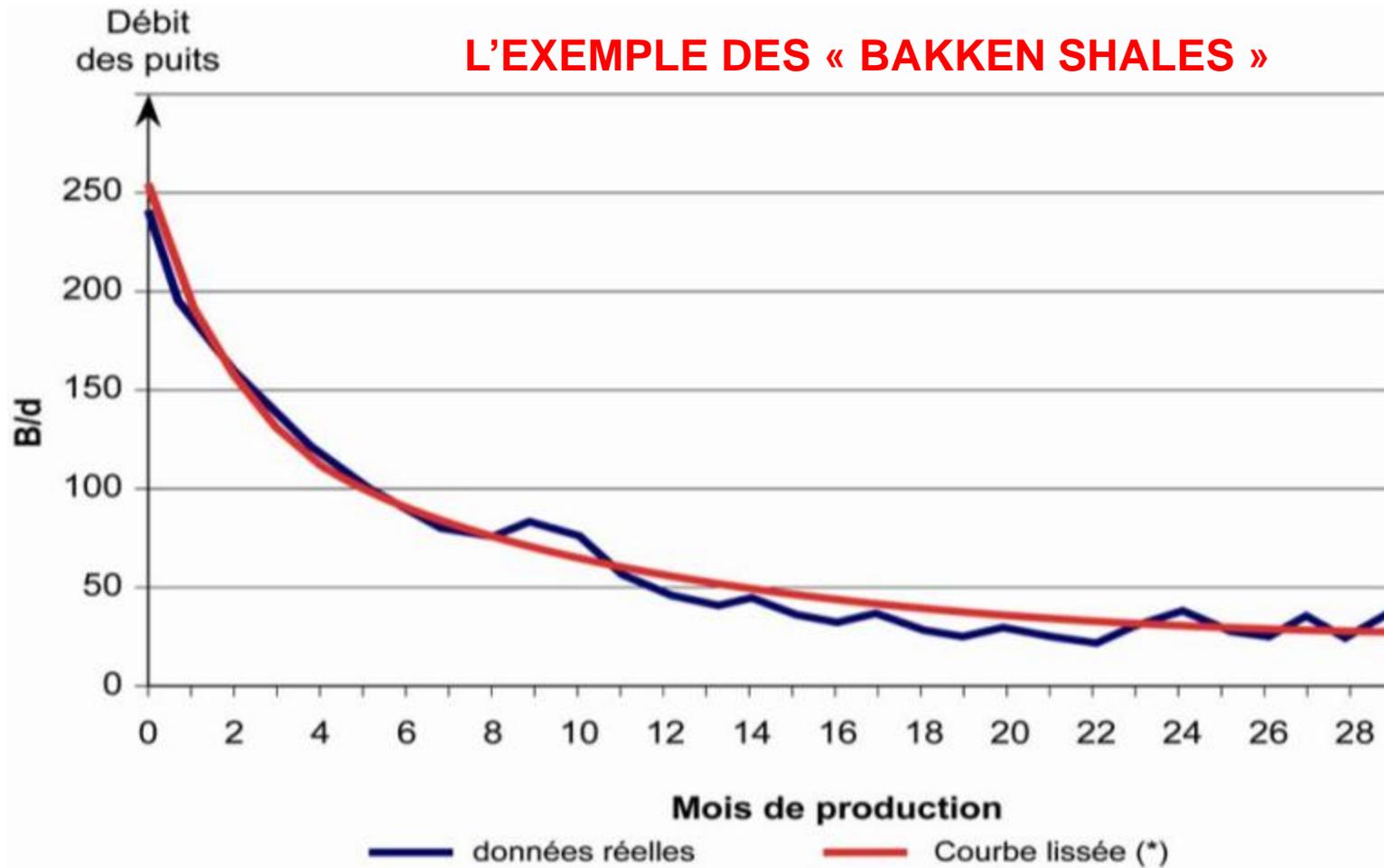
■ Deux grandes familles de non-conventionnels :

- Famille des huiles non-conventionnelles dans des réservoirs conventionnels (typiquement les pétroles ultra-lourds et les sables bitumineux ou asphaltiques)
- Famille des huiles conventionnelles dans des réservoirs non-conventionnels (« Shale oil » et « Tight Oil » de plus en plus confondus dans les publications et statistiques américaines « ajoutant une couche » dans la confusion terminologique, déjà considérable : voir « Shale Oil » versus Oil Shale

Ces deux familles de pétroles non conventionnels auront des caractéristiques économiques pratiquement opposées : l'économie des premières se compare à celle du nucléaire ou de la grande hydraulique, l'économie des secondes se compare à celle d'une chaîne de construction automobile travaillant en flux tendu

PETROLES DE « ROCHES MERES »

L'EXEMPLE DES « BAKKEN SHALES »



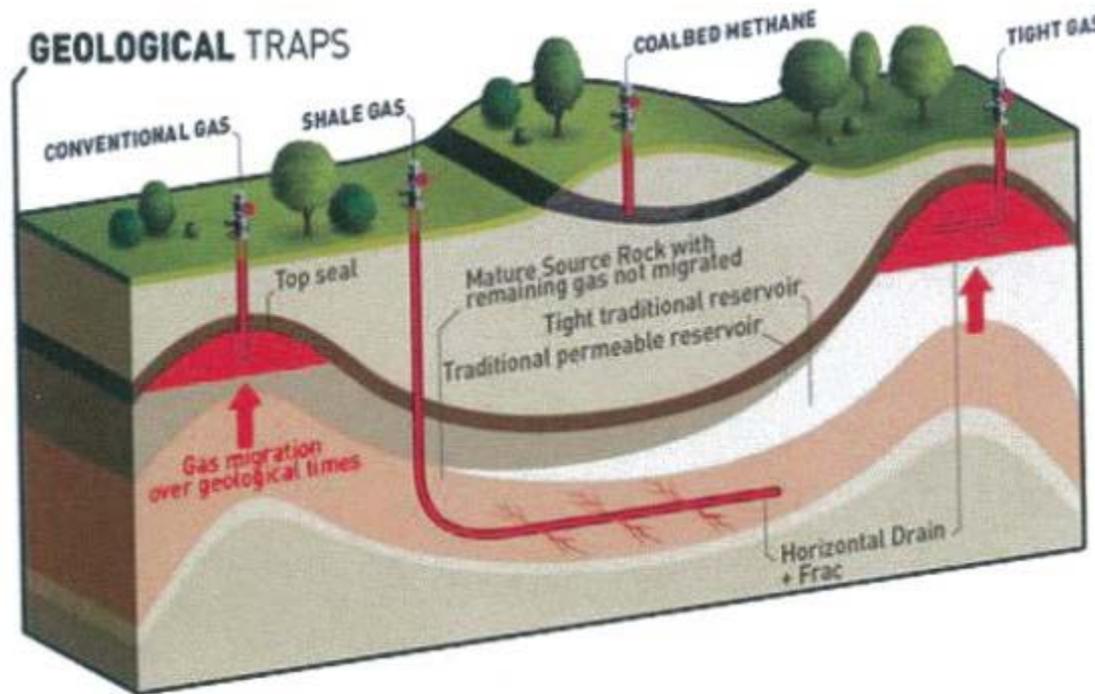
PR Bauquis - Sept 2012

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

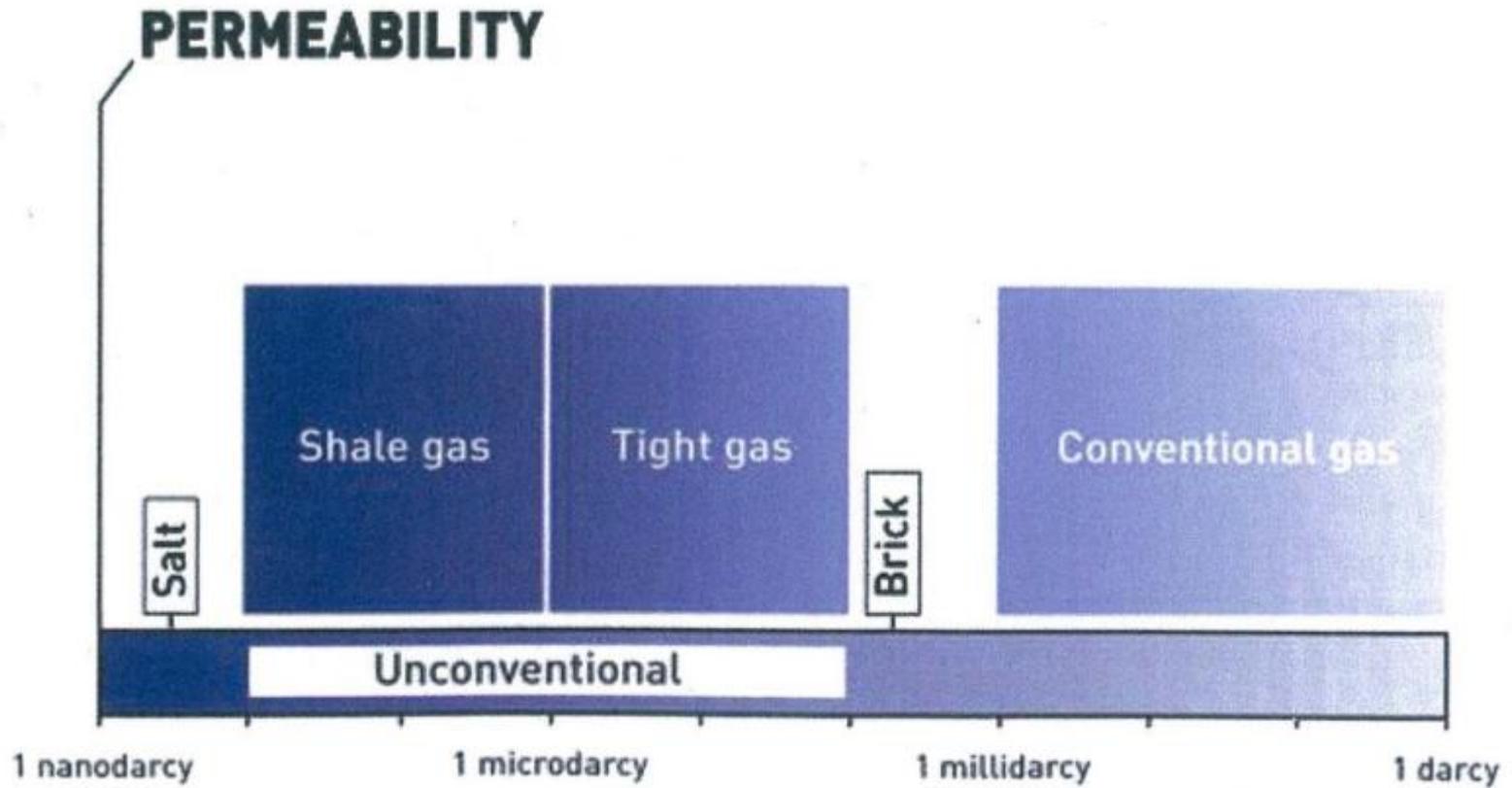
LE CAS DU GAZ NATUREL

- **Caractéristiques géologiques et technico-économiques**
- **Les gaz non-conventionnels et l'économie gazière aux USA**
- **Les gaz non-conventionnels et l'économie gazière en Europe et en France**

CONVENTIONAL & NON-CONVENTIONAL GAS

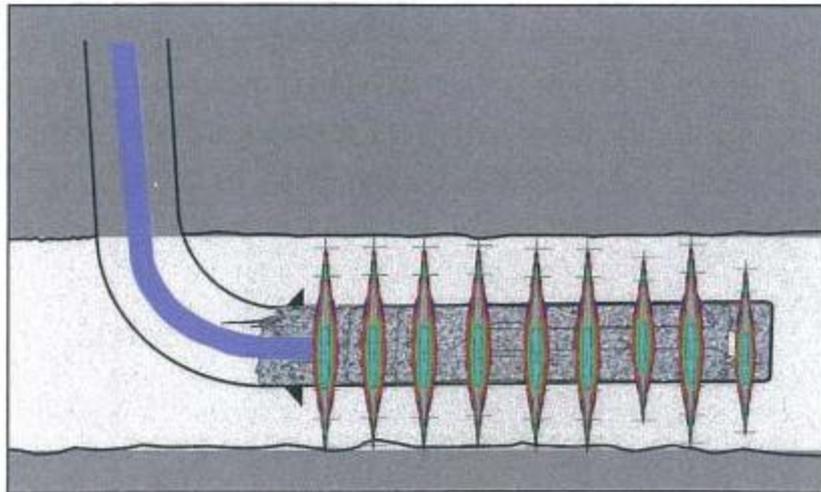


CONVENTIONAL & NON-CONVENTIONAL GAS



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\$

BILAN GAZIER MONDIAL SCHÉMATIQUE

■ USA = 600 Gm³

dont 50% « non conventionnels »

■ CBM	50 Gm ³	} 300 Gm ³
■ Tight gas	100 Gm ³	
■ Shale gas	150 Gm ³	

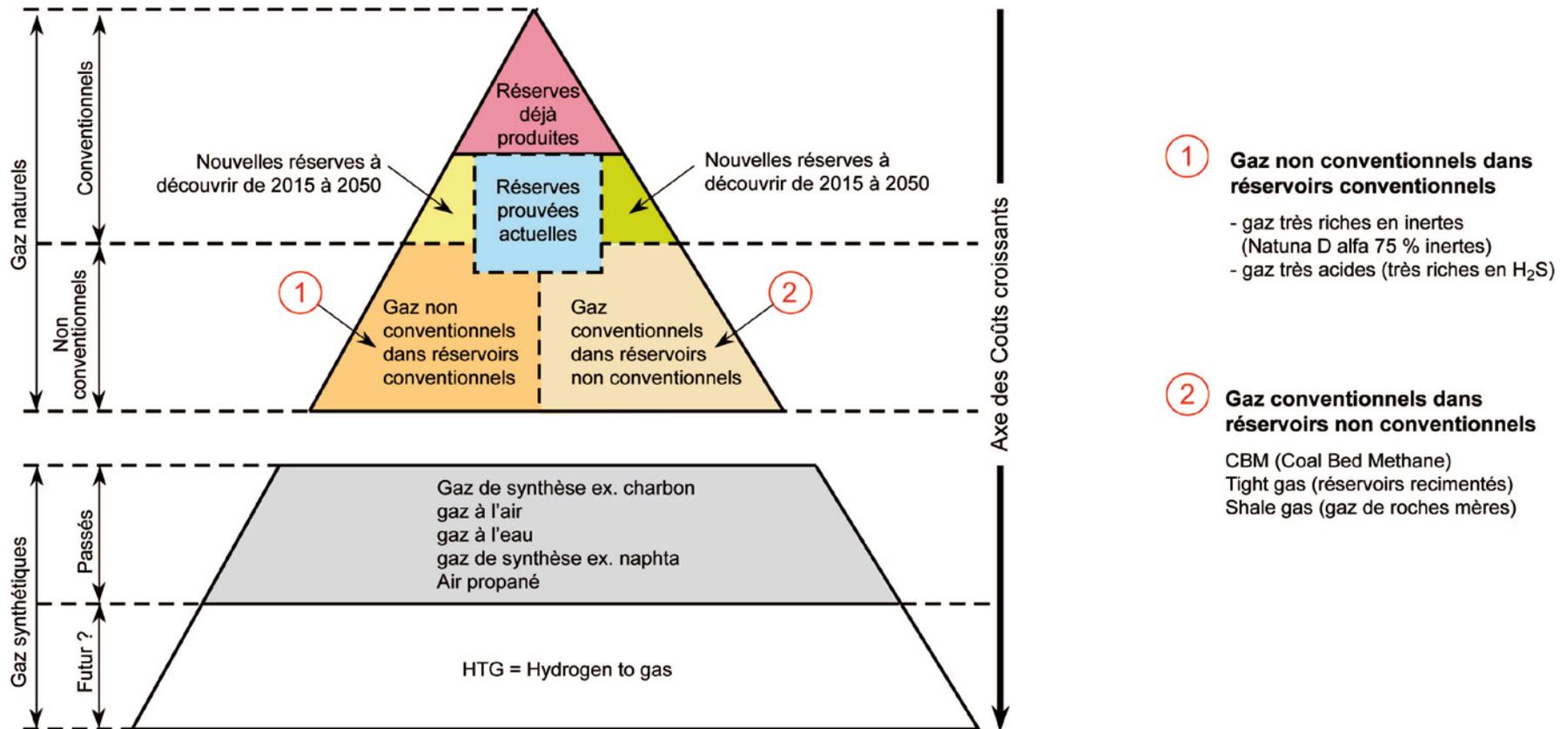
■ Reste du monde

(95% conventionnel)

■ Total Monde

3000 Gm³

LA PYRAMIDE DES RESERVES GAZIERES DES GAZ NATURELS ET LE DOMAINE DES GAZ DE SYNTHESE



① **Gaz non conventionnels dans réservoirs conventionnels**

- gaz très riches en inertes (Natuna D alpha 75 % inertes)
- gaz très acides (très riches en H₂S)

② **Gaz conventionnels dans réservoirs non conventionnels**

- CBM (Coal Bed Methane)
- Tight gas (réservoirs recimentés)
- Shale gas (gaz de roches mères)

Source : P-R. BAUQUIS - Oct. 2012

puits économique à 6,5 \$/kcf TOD 6229

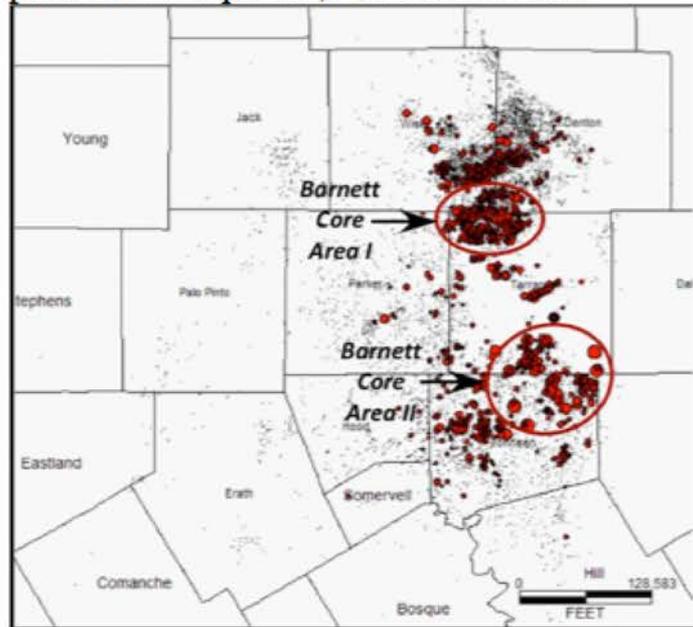
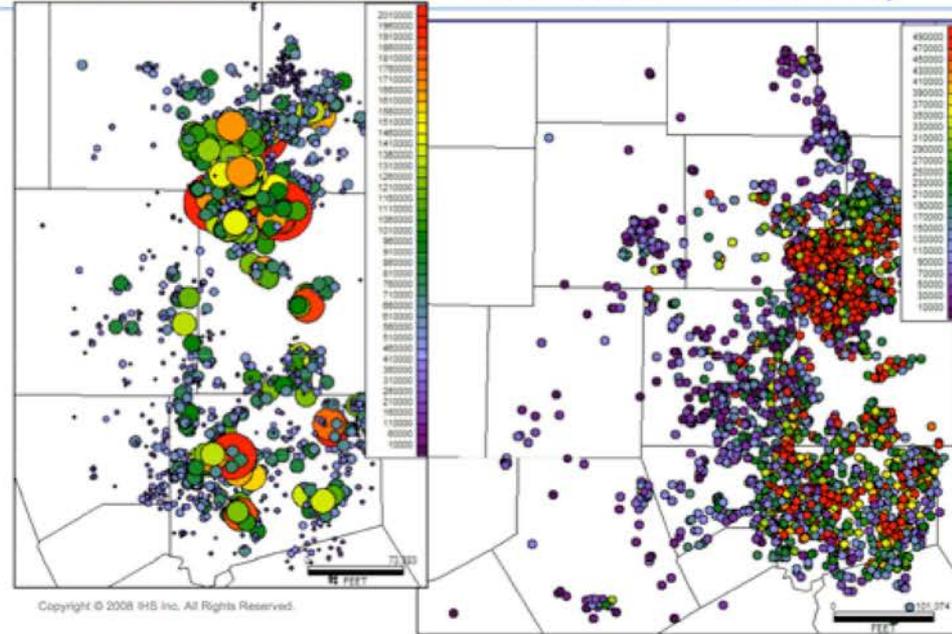


Figure 8. Barnett Shale horizontal wells. Red circles represent wells estimated to be commercial at \$6.50/Mcf netback natural gas price. The Barnett core areas are shown. Data provided courtesy of IHS Inc. However, the analysis and opinions expressed here are solely those of the author and do not represent those of IHS or any other organization.

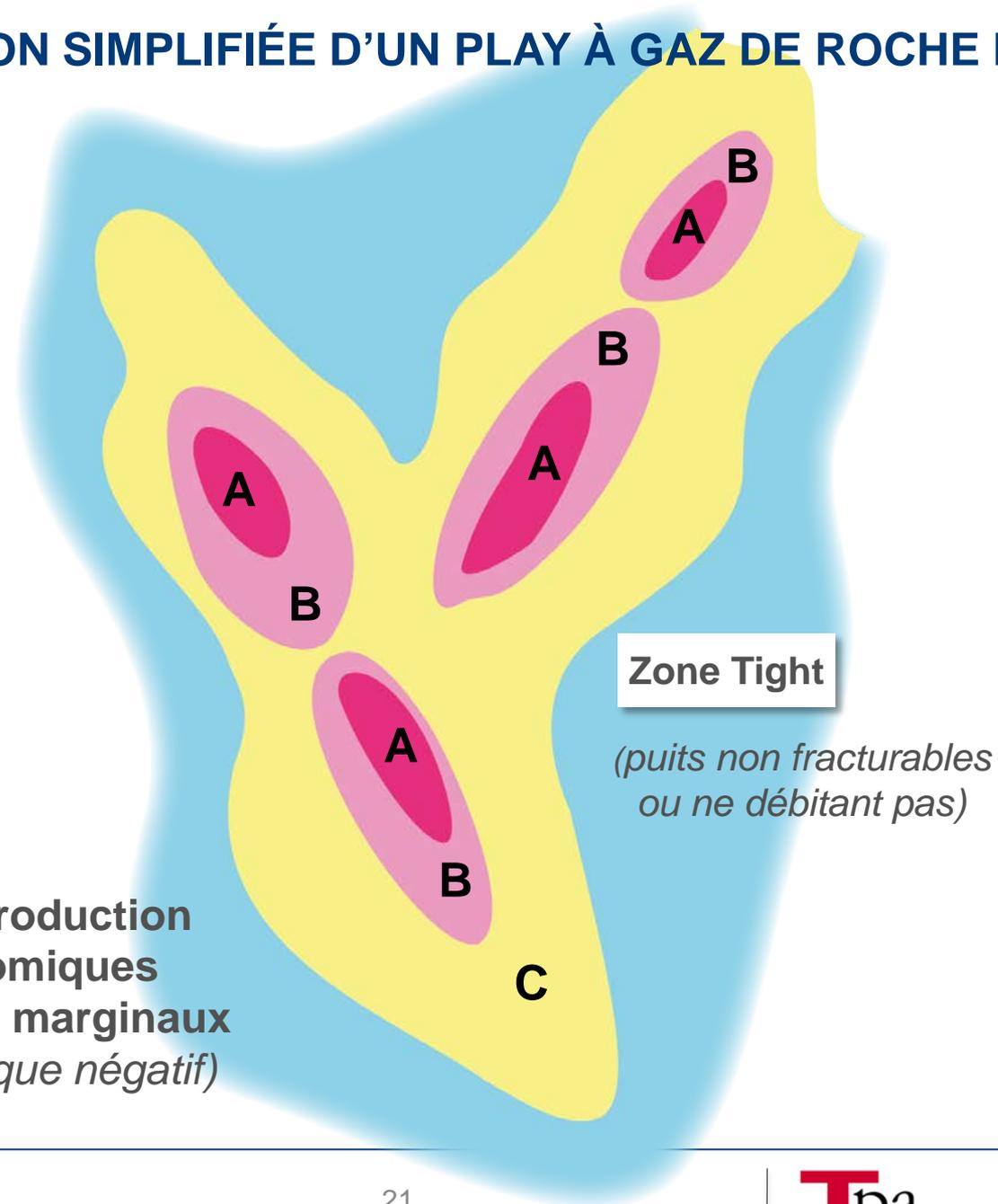
carte IHS Petra Reimers 2008 des volumes cumuléés et annuels

Petra Cumulative Gas Production Bubble Map



Au contraire des gisements conventionnels, pour les gisements non conventionnels dits continus, les débits et ultimes par puits sont très variables. *Le concept de non-conventionnel est que toute la roche-mère est potentielle: c'est la définition de l'USGS de piège de type continu. C'est le grand malentendu, en fait seuls certains endroits = sweet spots peuvent être produits. Le tight gas correspond à des réservoirs compacts = soit grés ou argile : il y a souvent confusion entre tight gas et shale gas.* Tous les magazines techniques chantent les prouesses de la sismique, notamment 3D qui permet déceler les *sweet spots*, montrant bien que tout le bassin n'est pas productif et qu'il faut trouver les bons coins et ignorer les mauvais coins. Mais les chiffres de ressources publiés sont basés sur toute la surface du « shale play » ou parfois de tout le bassin.

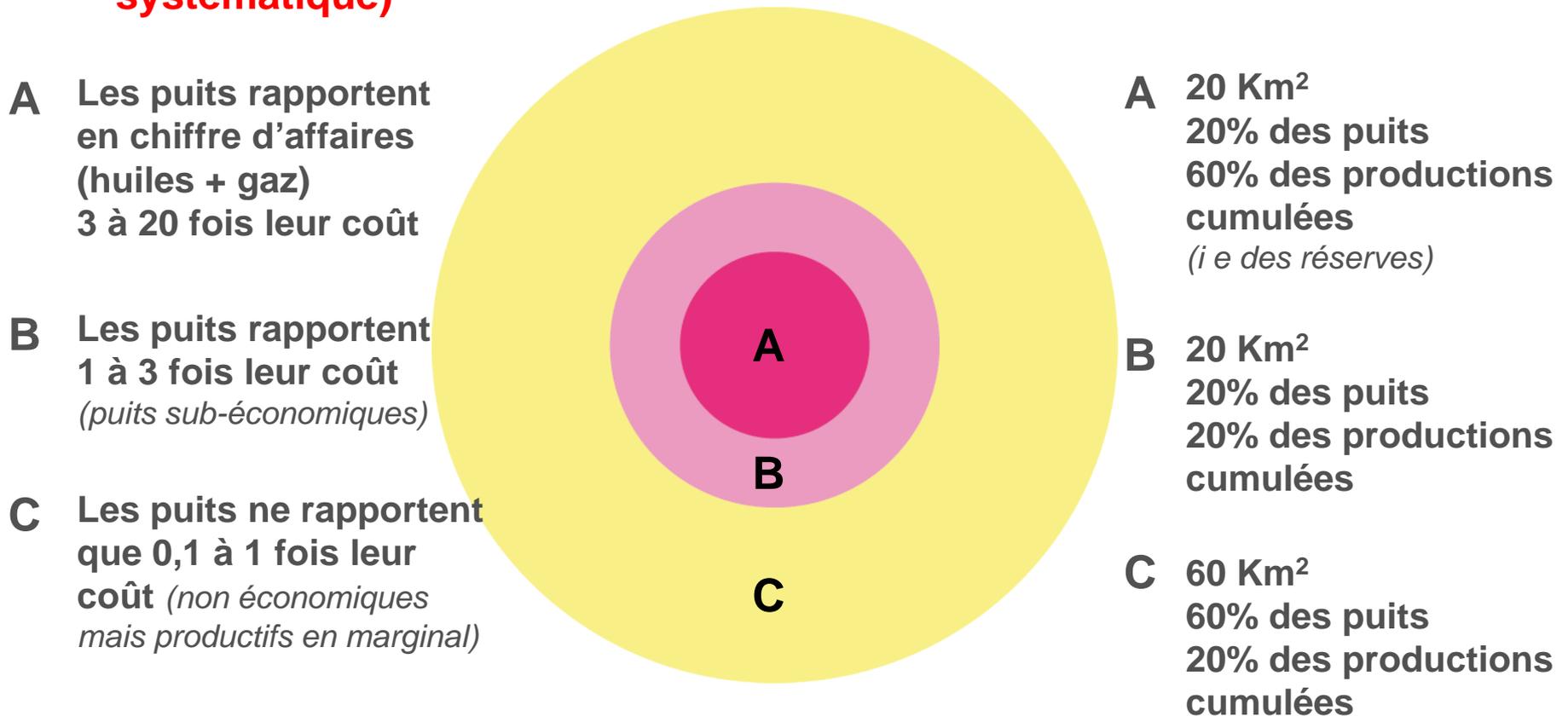
REPRÉSENTATION SIMPLIFIÉE D'UN PLAY À GAZ DE ROCHE MÈRE



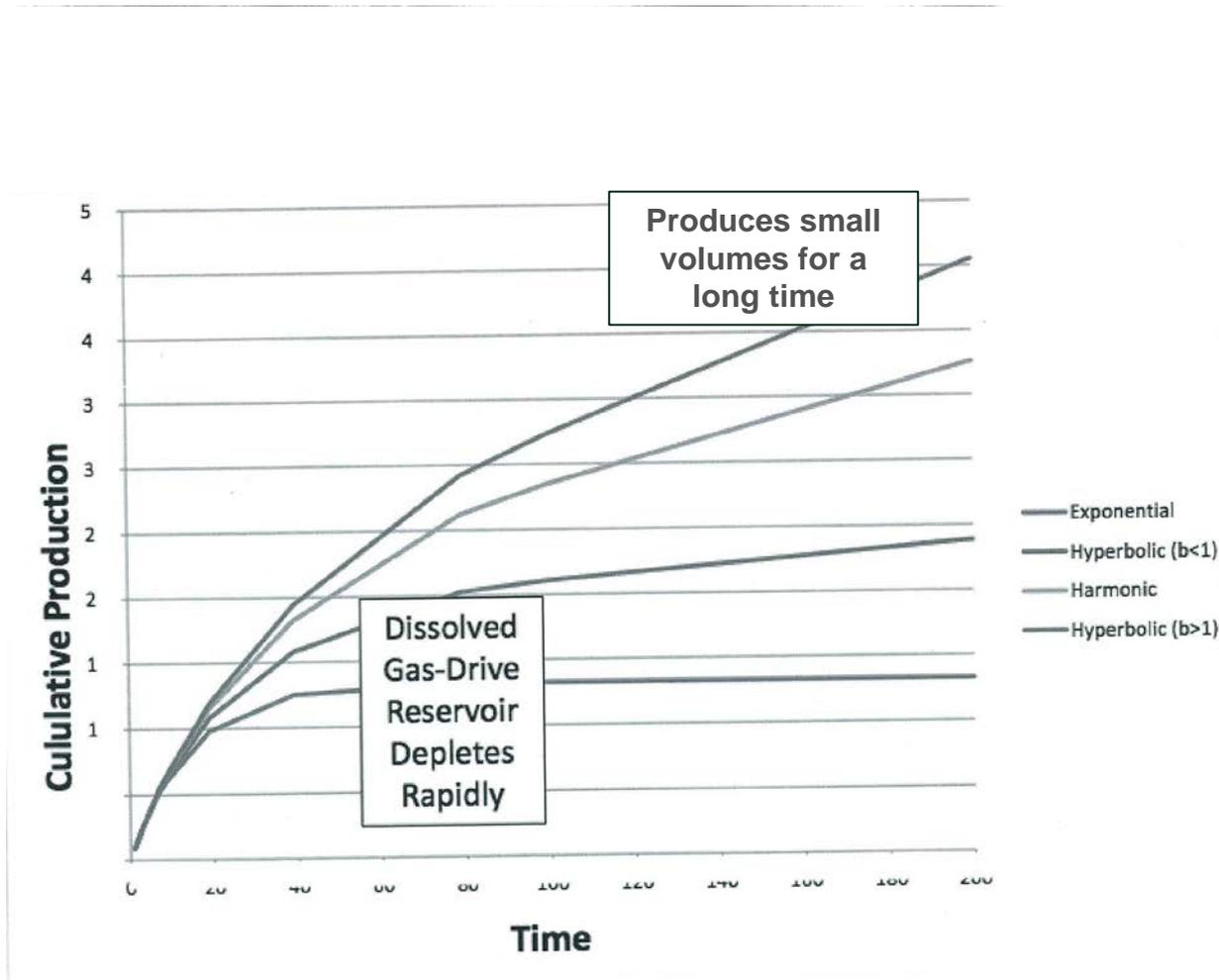
- A : Puits à bonne production**
- B : Puits sub-économiques**
- C : Puits productifs marginaux**
(à bilan économique négatif)

REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE D'UNE DISTRIBUTION DE PUIITS DANS UN PLAY DE ROCHES MÈRES

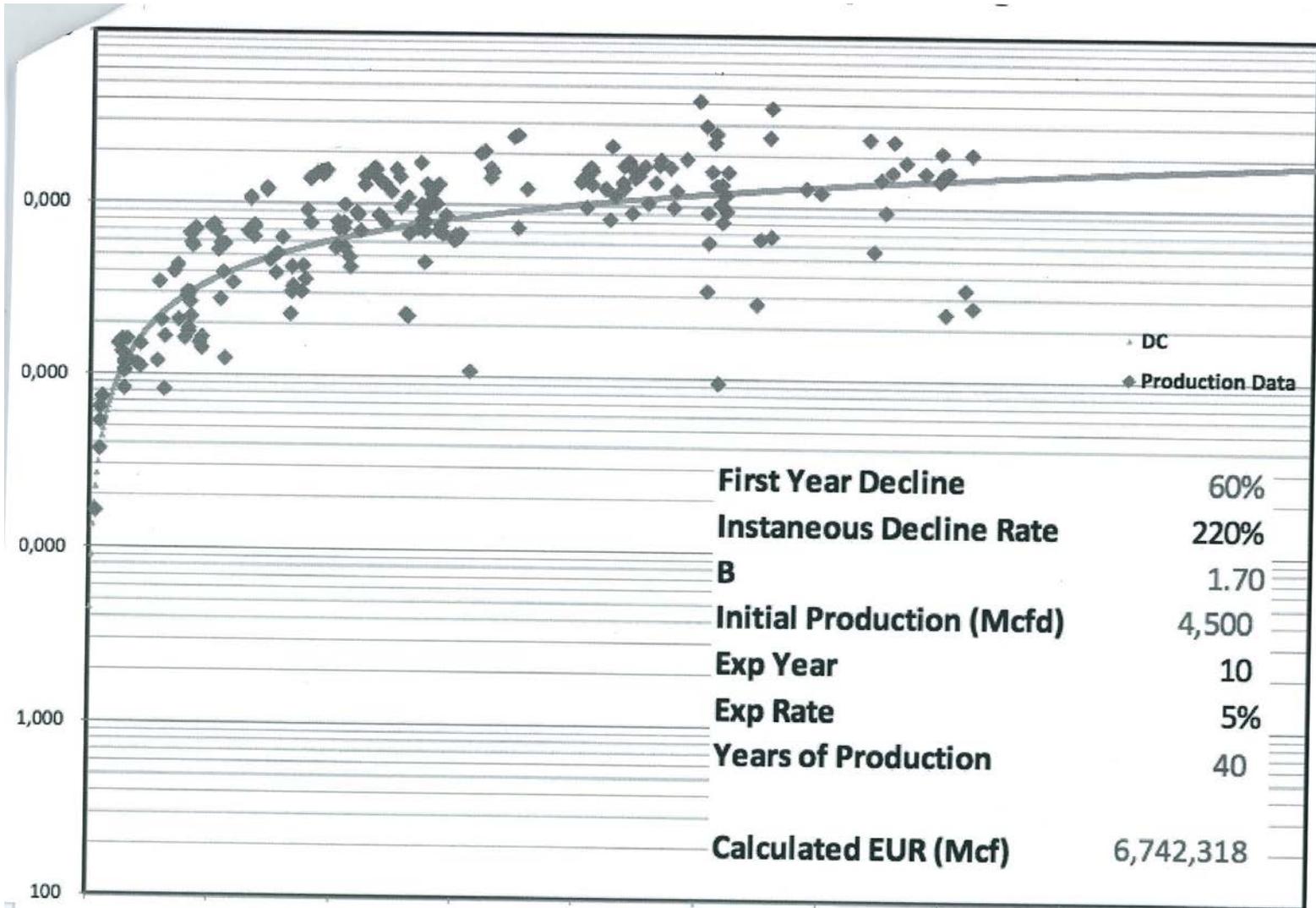
- Exemple théorique de distribution des puits dans un play de 100 km² par drains horizontaux (**puits supposé implanté selon une grille systématique**)



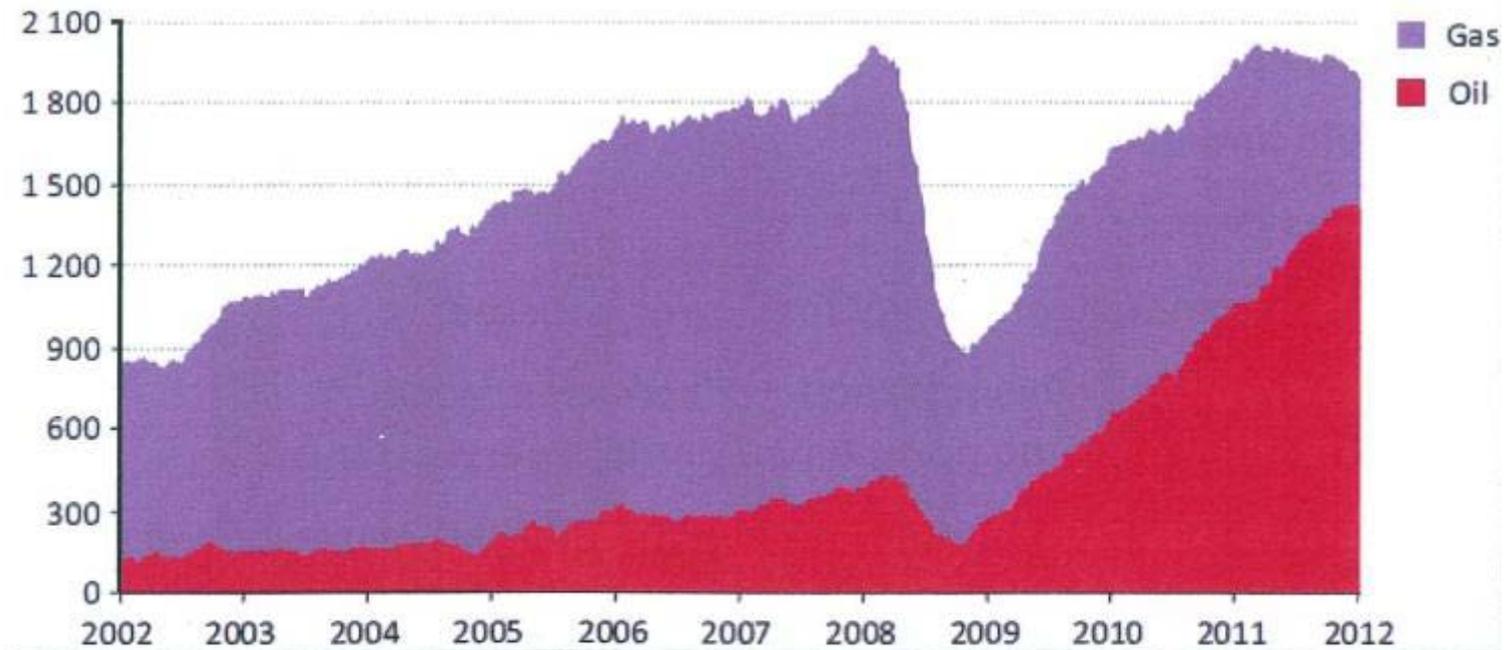
COURBES CUMULATIVES DE PRODUCTION POUR DIVERS TYPES DE GAZ (EXEMPLE AMÉRICAIN)



RAPIDITÉ DES TAUX DE DÉCLIN DE GAZ DE ROCHES MÈRES (STATISTIQUES AMÉRICAINES)

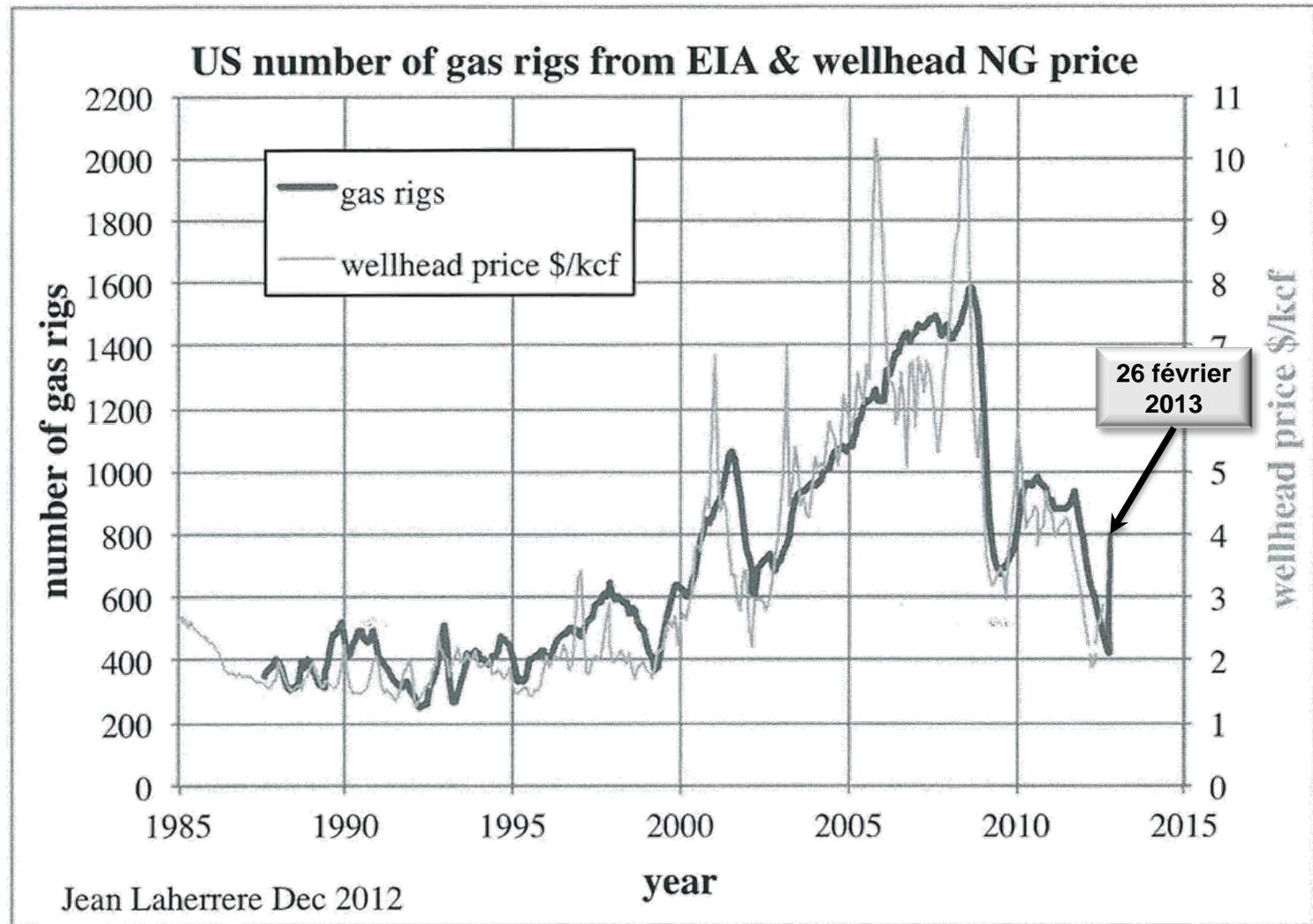


ACTIVE DRILLING RIGS IN THE US 2002 - 2012



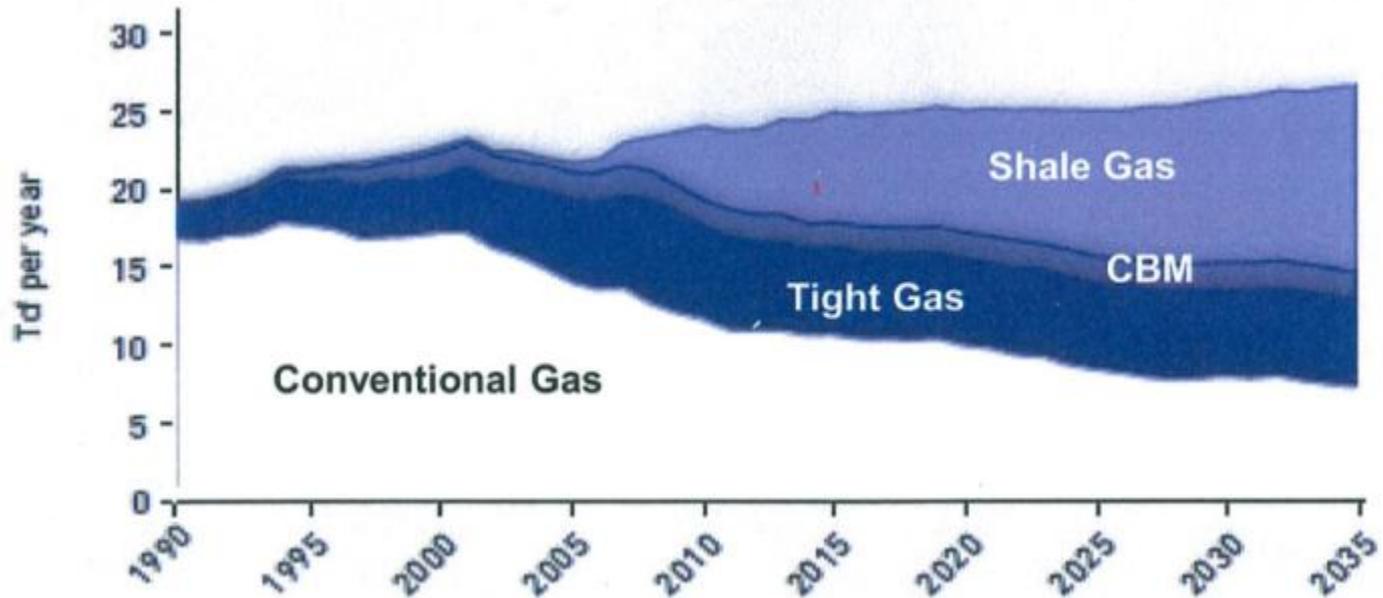
Decrease of shale gas wells in 2012 due to the plunge in gas price, while oil wells increased significantly thanks to robust oil price.

LA CORRELATION ENTRE PRIX DU GAZ ET NOMBRE D'APPAREILS FORANT DES OBJECTIFS GAZIERS AUX USA



US PERSPECTIVES FOR UNCONVENTIONAL GAS PRODUCTION

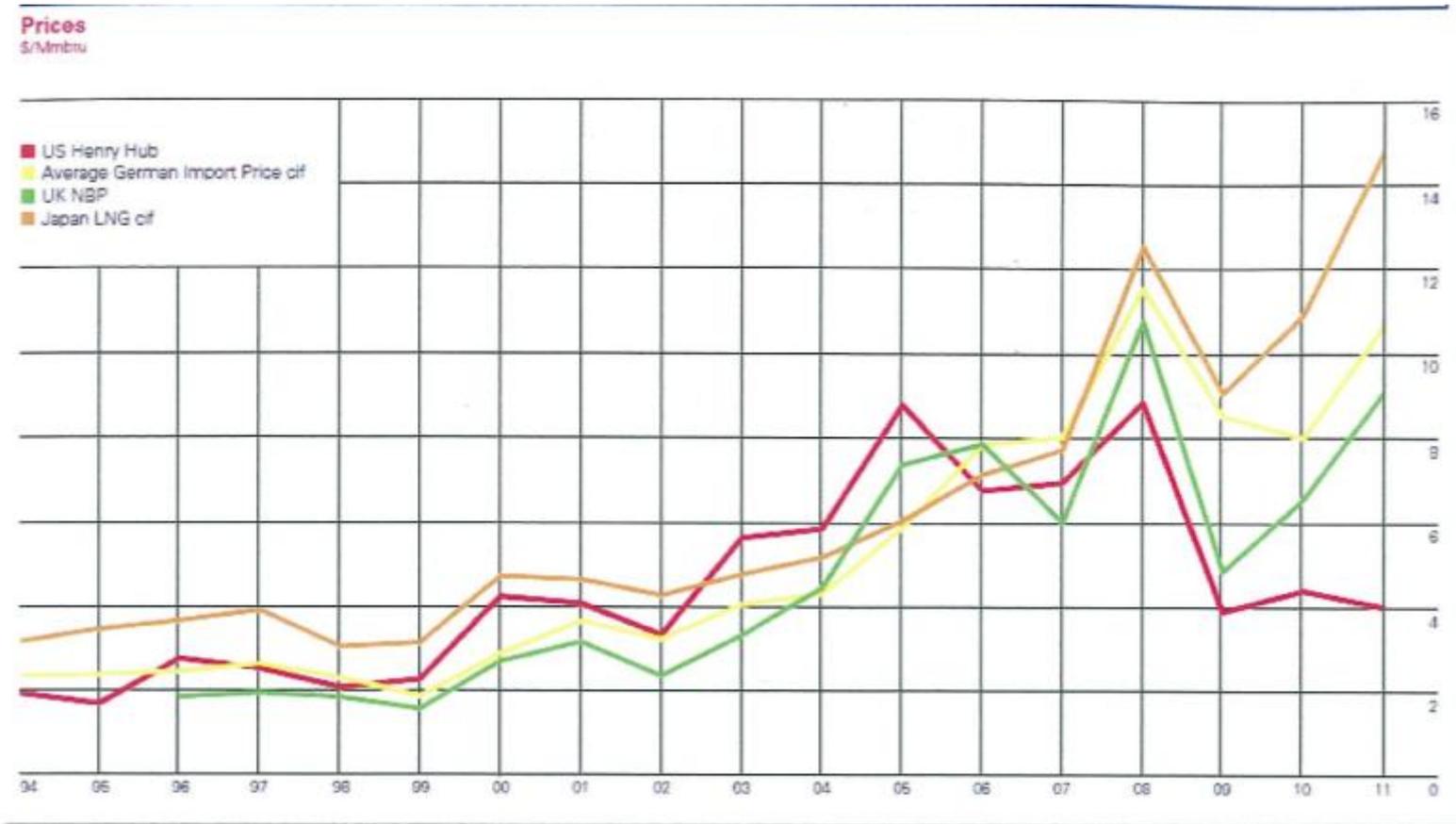
U.S. PRODUCTION



- Shale gas
- Coal bed methane
- Tight gas
- Conventional gas

Source: EIA, Annual Energy Outlook 2011

EVOLUTION OF NATURAL GAS PRICES (2) 1994 - 2011



Source: BP Statistical review 2012

SABINE PASS (CHENIÈRES) LNG TERMINAL... IN 2020! (EN FAIT C'EST L'USINE DE LIQUÉFACTION DE SNOVHIT)

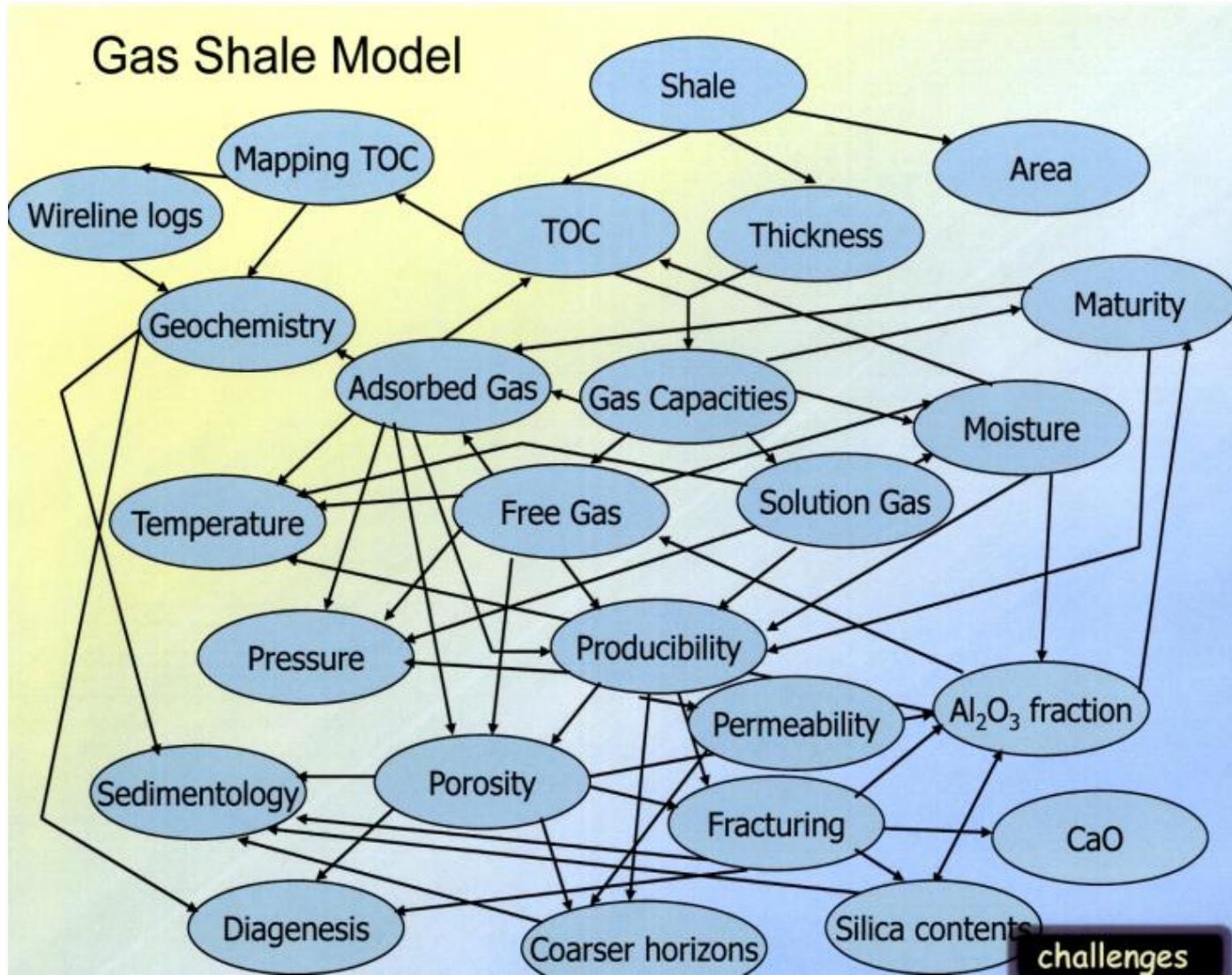


The Arctic Lady, the first LNG tanker under a long-term charter by Total (© Eiliv Leren, Statoil).

GAZ ET PETROLES DE ROCHES MÈRES EN FRANCE ET EN EUROPE

LES CHIFFRES DE RÉSERVES DE H.C DE ROCHES MÈRES PUBLIÉS SUR L'EUROPE NE VEULENT À PEU PRÈS RIEN DIRE...

(DES MODÈLES COMPLEXES NON CALIBRÉS OU MAL CALIBRÉS)



L'ÉCONOMIE DES HYDROCARBURES DE ROCHES MÈRES SERA FATALEMENT TRÈS DIFFÉRENTE EN EUROPE DE CE QU'ELLE EST AUX ÉTATS UNIS

- Les différences de droits miniers USA-Europe rendront des problèmes d'acceptation sociétale beaucoup plus difficiles en Europe (aux USA les propriétaires du sol sont aussi propriétaires des droits miniers : ils les vendent et recoivent des royalties sur la production)
- Les coûts techniques seront sensiblement plus élevés en Europe (les coûts publiés sont souvent difficiles à interpréter : le coût des mêmes forages dans le même Williston Basin varie du simple au double entre le côté américain et canadien... mais pas dans le sens attendu : 4 M\$ aux USA versus 2 M\$ au Canada!)
- La société DIETSWELL Contracting a étudié ce que seraient les coûts de forage en région parisienne (ceux-ci serait de 25 à 50 % plus élevé qu'aux USA)
- Une étude comparée sérieuse des coûts de « Fracturation » entre les USA et la France reste à faire (Halliburton? Schlumberger?)

ETUDE DIETSWELL CONTRACTING (1^{ER} FEVRIER 2013)
(LES CHIFFRES SERAIENT À ARRONDIR AVEC SEULEMENT DEUX CHIFFRES SIGNIFICATIFS)

ETUDE DE PRIX DE FORAGES EN REGION PARISIENNE				
01-févr-13				
PROFONDEUR	Drain horizontal	1 Forage	10 Forages	100 Forages
	0m	2 780 875 €	2 510 875 €	2 483 875 €
2000 metres	500 m	3 263 000 €	2 993 000 €	2 966 000 €
	1000m	4 152 625 €	3 792 625 €	3 756 625 €
3000 metres	0m	3 613 875 €	3 253 875 €	3 019 875 €
	500 m	4 098 000 €	3 738 000 €	3 702 000 €
	1000m	4 808 750 €	4 448 750 €	4 412 750 €

Ces coûts ne comprennent pas les opérations de fracturations

PEUT-ON ESSAYER DE COMPARER LES CONDITIONS ÉCONOMIQUES AUX USA ET EN FRANCE ?

■ (estimations « doigt mouillé » et « compte de cuisinières »)

Hypothèse d'un contrat de 10 forages	USA Exemple des « Barnett Shales »	France Bassin Parisien (Coûts théoriques)
COÛT DES PUITES Profondeur 2500 m Drain horizontal 1000 m	Roche mère à 2500 m Durée forage 11 jours Coût forage : 3 M\$	Roche mère (Toarcien) à 2500 m Coût forage : 6 M\$
COÛT DE LA STIMULATION 10 « Fracks » par drain horizontal	Durée Fracking 6 jours 2 M\$	Durée fracking 10 fois 4 M\$
Coût total	5 M\$	10 M\$
Rapport volumes récupérés par million de \$ investis	1 (soit 1 Bcf / 1 M\$)	0,5 (0,5 Bcf / M\$)
Prix du gaz (sec) Pour le « break-even économique »	5 \$ /MM BTU	10 \$ / MMBTU

MODÉLISATION DU POTENTIEL PÉTROLIER DES ROCHES MÈRES DU BASSIN PARISIEN

- **But du modèle: estimer les volumes d'HC restant dans les couches argileuses**

- **Les 3 sources liassiques ont généré d'importants volumes d'HC dans le Bassin de Paris: 80 Bbbl dans les 9500 km² de la zone étudiée**

- **Volumes produits (1958 à 2000): 0,25 Bbbl**

- **Volume restant dans les roches-mères: 16 Bbbl (dont > 50% pour les Schistes Carton)**

LES ENJEUX ÉCONOMIQUES DES HYDROCARBURES DE ROCHES MÈRES EN FRANCE

Un enjeux majeur

- Les 10.000 km² de «roches mères liasiques matures » dans la fenêtre à huile du Bassin Parisien (pas de gaz ou ϵ).
- Pourraient contenir 15 milliards de barils en place, dont seraient récupérables entre zéro et 2 milliards de barils (0 à 50 millions de T/an).
- La France importe quelques 50 millions de T/an de pétroles pour quelques 50 milliards d'euros/an, soit l'équivalent des $\frac{3}{4}$ de son déficit commercial.

Les trois enjeux secondaires

- Les gaz de roches mères du couloir Rhodanien.
- Les gaz et huiles de roches mères du bassin Aquitain
- Les huiles de roches mères du fossé Alsacien

CONCLUSION

UN CHEMIN ÉTROIT ENTRE LA NÉCESSAIRE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT ET LA MONTÉE DES PEURS IRRATIONNELLES (DES GAZ DE SCHISTES À FESSENHEIM)

UN AVENIR SANS ÉNERGIES FOSSILES NI NUCLÉAIRES AU COURS DE CE SIÈCLE SEMBLE MALHEUREUSEMENT IMPOSSIBLE.

LE SEUL JOKER PLAUSIBLE SERAIT LE SOLAIRE.

A MOINS QUE NOUS SOYONS PRÊTS À ACCEPTER DES CHANGEMENTS RADICAUX DANS NOTRE FAÇON DE VIVRE...(VOIR DERNIÈRE SLIDE)

**QUELS VÉHICULES POUR L'AVENIR ?
SANS HYDROCARBURES, SANS NUCLÉAIRES, ET AVEC DES LÉGISLATIONS
« SHADOK » CONCERNANT LE LOGEMENT...LES SOLUTIONS SERONT LIMITÉES.**

