MINES – PARIS-TECH
OPTION MACHINES ENERGIE

LES PETROLES ET GAZ DE ROCHES MERES
QUELS IMPACTS SUR NOTRE AVENIR ENERGETIQUE ?

Pierre René BAUQUIS

Professeur Associé IFP School et Professeur TPA

Ancien Directeur Stratégie et Planification de TOTAL

18 Octobre 2013

Tpa total prof Total Professeurs Associés

PLAN

- PARTIE 1: RAPPEL DES FONDAMENTAUX
- PARTIE 2: LES GAZ DE ROCHES MERES
- PARTIE 3 : RÉSERVOIRS DE ROCHES MÈRES
- PARTIE 4 : COMMENT PRODUIRE LES ROCHES MÈRES
- PARTIE 5 : LES PROBLÈMES D'ENVIRONNEMENT
- PARTIE 6 : CONSIDÉRATIONS ÉCONOMIQUES
- PARTIE 7 : LE CAS DES ÉTATS-UNIS
- PARTIE 8 : LA FRANCE ET L'EUROPE
- PARTIE 9 : CONCLUSIONS ET RÉFLEXIONS

PARTIE 1 : RAPPEL DES FONDAMENTAUX DE L'ÉNERGIE AU PLAN MONDIAL

Energies carbonnées et non carbonnées
La question climatique
Des concepts simples… en apparence seulement

LES ENERGIES CARBONÉES (OU FOSSILES)

83% des énergies primaires commerciales au plan mondial (comme en 1990 ou en 2000)

- **la grande famille des énergies fossiles se trouve sous trois formes principales dans la nature :**
  - **solide = les charbons (matière organique d'origine essentiellement terrestre)**
  - **liquide = le pétrole (matière organique d'origine essentiellement marine)**
  - **gazeuse = le gaz naturel (matière organique d'origine mixte)**
  - **on pourrait ajouter la forme pâteuse (huiles "lourdes", à très forte viscosité)**
- **pétrole et gaz forment en réalité un continuum (C1 C2 C3 …)**
  - **Il y a presque toujours du gaz dans un gisement de pétrole et il y a presque toujours du liquide dans un gisement de gaz ("condensats" ou C5+)**
- **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, qui se stocke et se transporte facilement par pipeline et par tankers, comme le "brut "**

LES ÉNERGIES NON-CARBONÉES: EnR ET NUCLÉAIRE

17% des énergies primaires commerciales au plan mondial (…comme en 1990 ou en 2000)

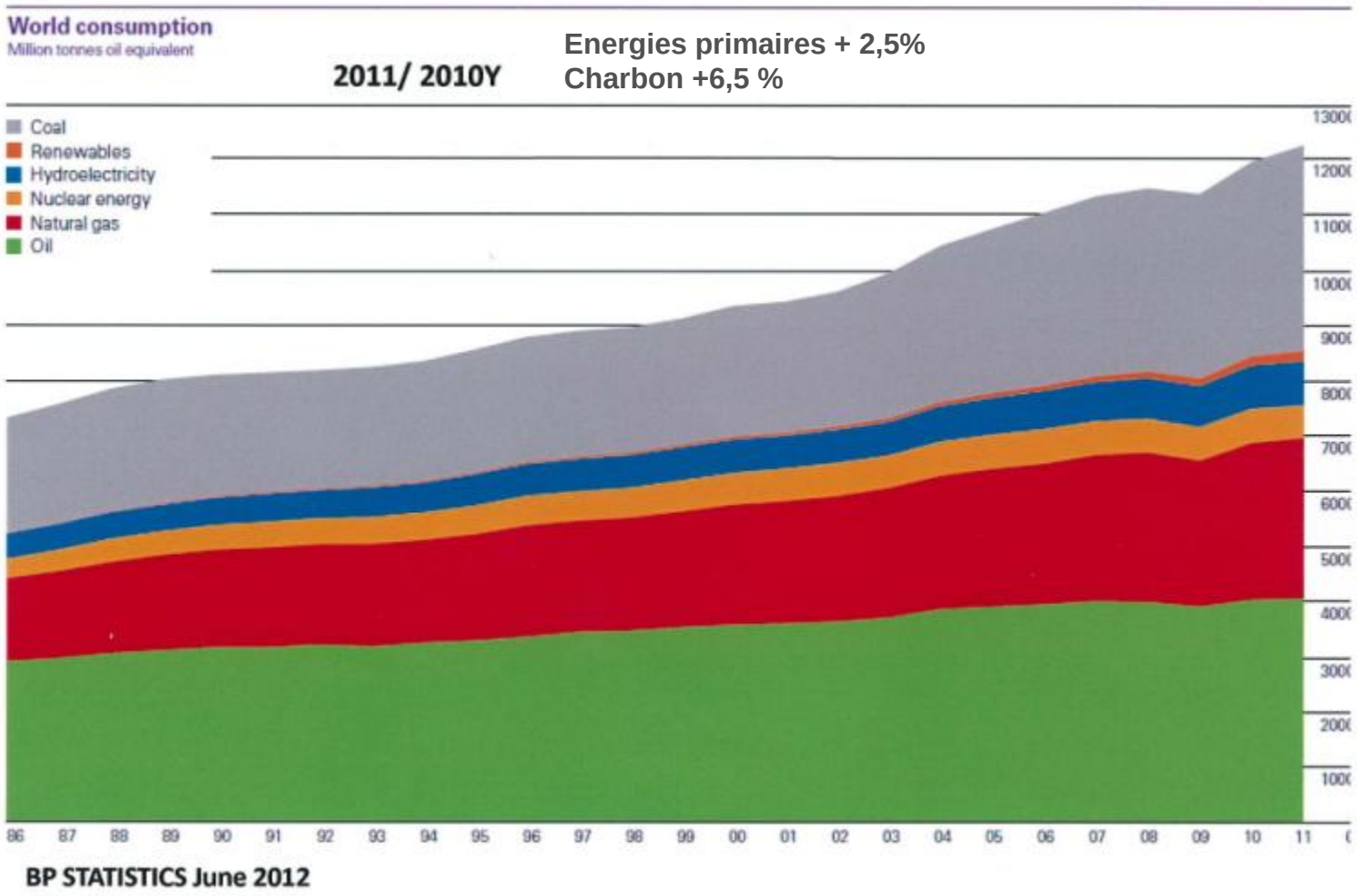
- **Les EnR : 9% du total (ou 55% des 17%)**

  dont { **6% grande hydraulique**
  3% le reste (bioénergies, solaire, éolien, géothermie).

- **Le nucléaire 6%**

L'AIE donne des chiffres fort différents pour hydraulique et nucléaire: C'est la problématique des conventions d'équivalence

EVOLUTION DES PRODUCTIONS D'ENERGIES PRIMAIRES



LES ÉNERGIES CARBONNÉES ET LA PROBLÉMATIQUE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

1. **Les changements climatiques (hausse des températures moyennes et instabilité accrue des climats) liés aux activités humaines sont désormais une quasi-certitude.**

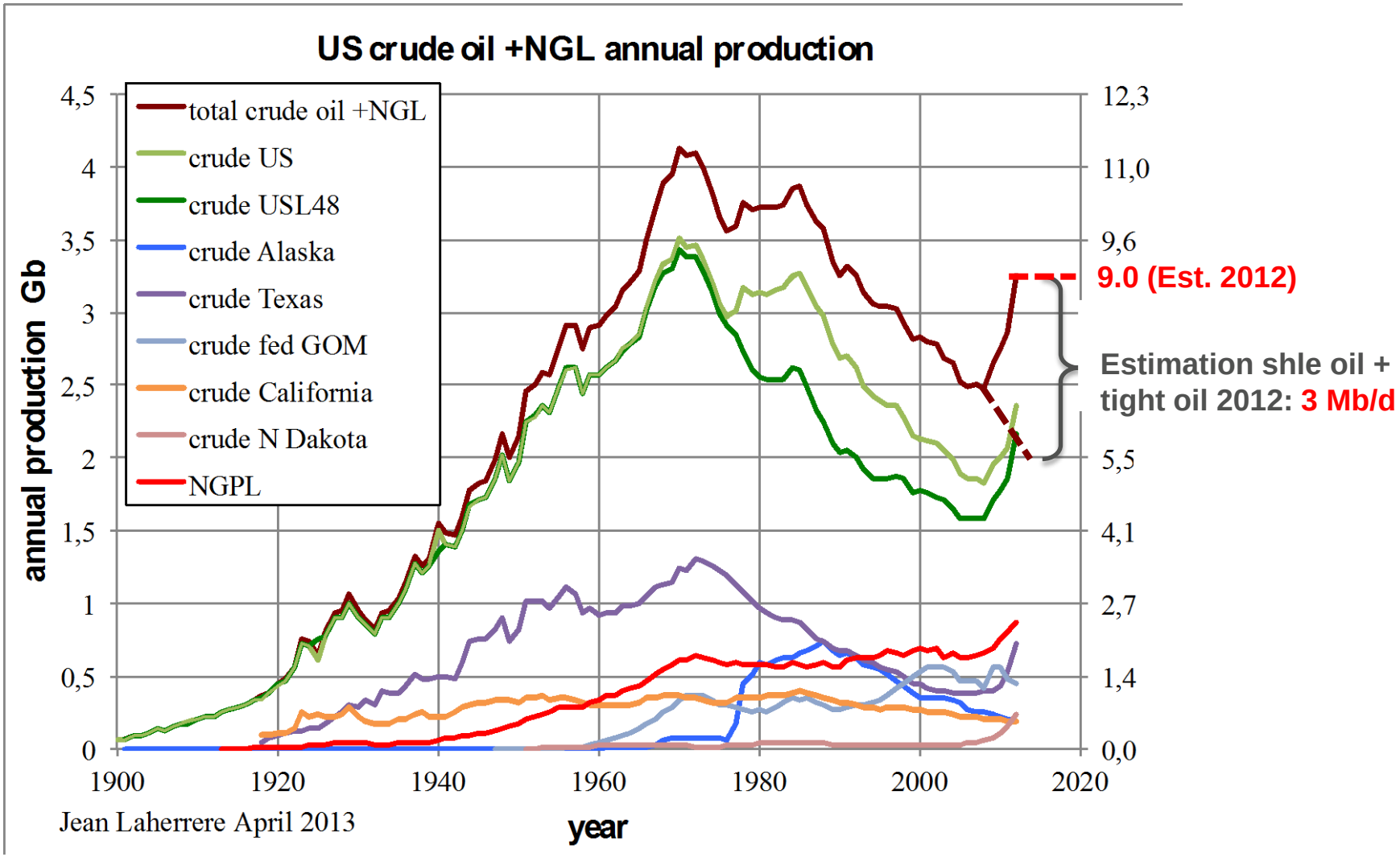
2. **Les consommations d'énergies fossiles des dix dernières années nous placent sur une trajectoire « catastrophe ». Augmentation de la température moyenne d'ici 2100 non pas de 2°C mais de 4 à 6 °C.**

3. **Un consensus politique émergera… mais trop tard. Il débouchera probablement sur des coûts d'émission du CO_2 de l'ordre de 100 à 200 dollars la tonne très au-delà des objectifs actuels (20 dollars la tonne).**

LA PRODUCTION DE PETROLE BRUT: UN CONCEPT QUI PARAIT SIMPLE… MAIS EST EN FAIT COMPLEXE

	La production pétrolière US en 2011 *(Mb/d)*	La production pétrolière US en 2012 *(Mb/d)*
Selon DOE **« EIA** **« AIE**	**5,64** **5,70** **8,95**	**5,75** **6,50** **9,85**
On aurait des écarts similaires pour la production mondiale: l'AIE ne donne qu'un chiffre, mais l'EIA en donne 3 (qui pour 2012 vont de 77 à 87 Mb/d)		

Il est essentiel de préciser les définitions retenues pour le « pétrole » et les sources utilisées


US crude oil +NGL annual production
total crude oil +NGL
crude US
crude USL48
crude Alaska
crude Texas
crude fed GOM
crude California
crude N Dakota
NGPL
annual production Gb
4,5
4
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
12,3
11,0
9,6
5,5
4,1
2,7
1,4
0,0
1900
1920
1940
1960
1980
2000
2020
year
Jean Laherrere April 2013
9.0 (Est. 2012)
Estimation shle oil + tight oil 2012: 3 Mb/d

PARTIE 2: LES GAZ DE ROCHES MERES

Les gaz non conventionnels sont
à l'évidence un enjeu énergétique majeur
Quelques données de base pour « cadrer » le problème.
Gaz de Roches Mères et non pas « Gaz de Schistes ».

BILAN GAZIER MONDIAL SCHÉMATIQUE 2012

- **USA = 600 G.m^3**
  dont 50% « non conventionnels »

  - **CBM** 50 G.m^3
  - **Tight gas** 100 G.m^3
  - **Shale gas** 150 G.m^3

  } **300 G.m^3**

- **Reste du monde**
  (95% conventionnel)

- **Total Monde** **3000 G.m^3**

Environ 15% de la production gazière mondiale est non conventionnelle: elle provient pour les 2/3 des USA

BILAN PÉTROLIER MONDIAL SCHÉMATIQUE 2012

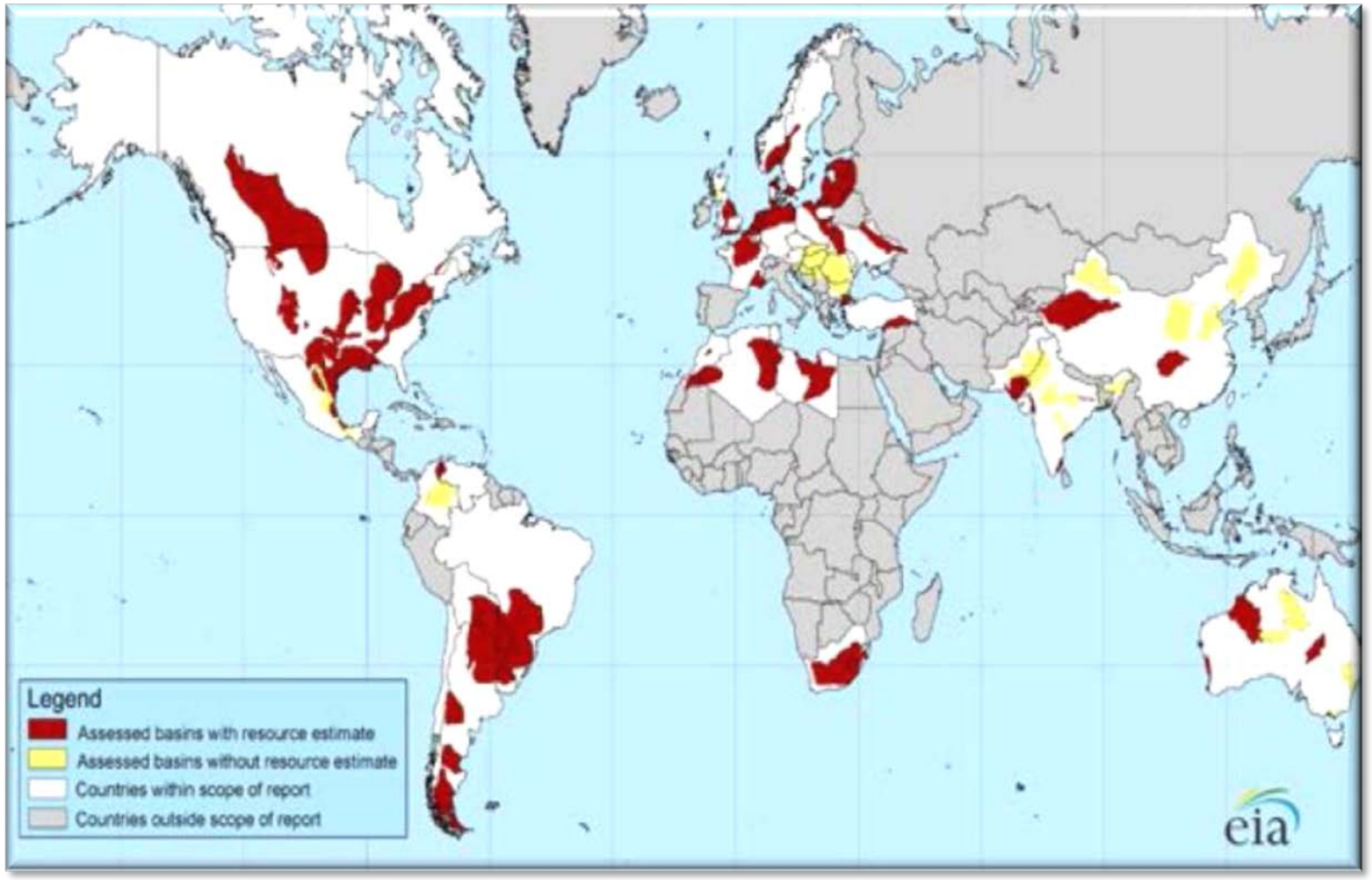
- **USA = 9 Mb/d**
  dont shale oil + Tight oil: 3 Mb/d (30%)

- **Reste du monde 78 Mb/d (pas de shale oil, environ 1Mb/d de tight oil)**

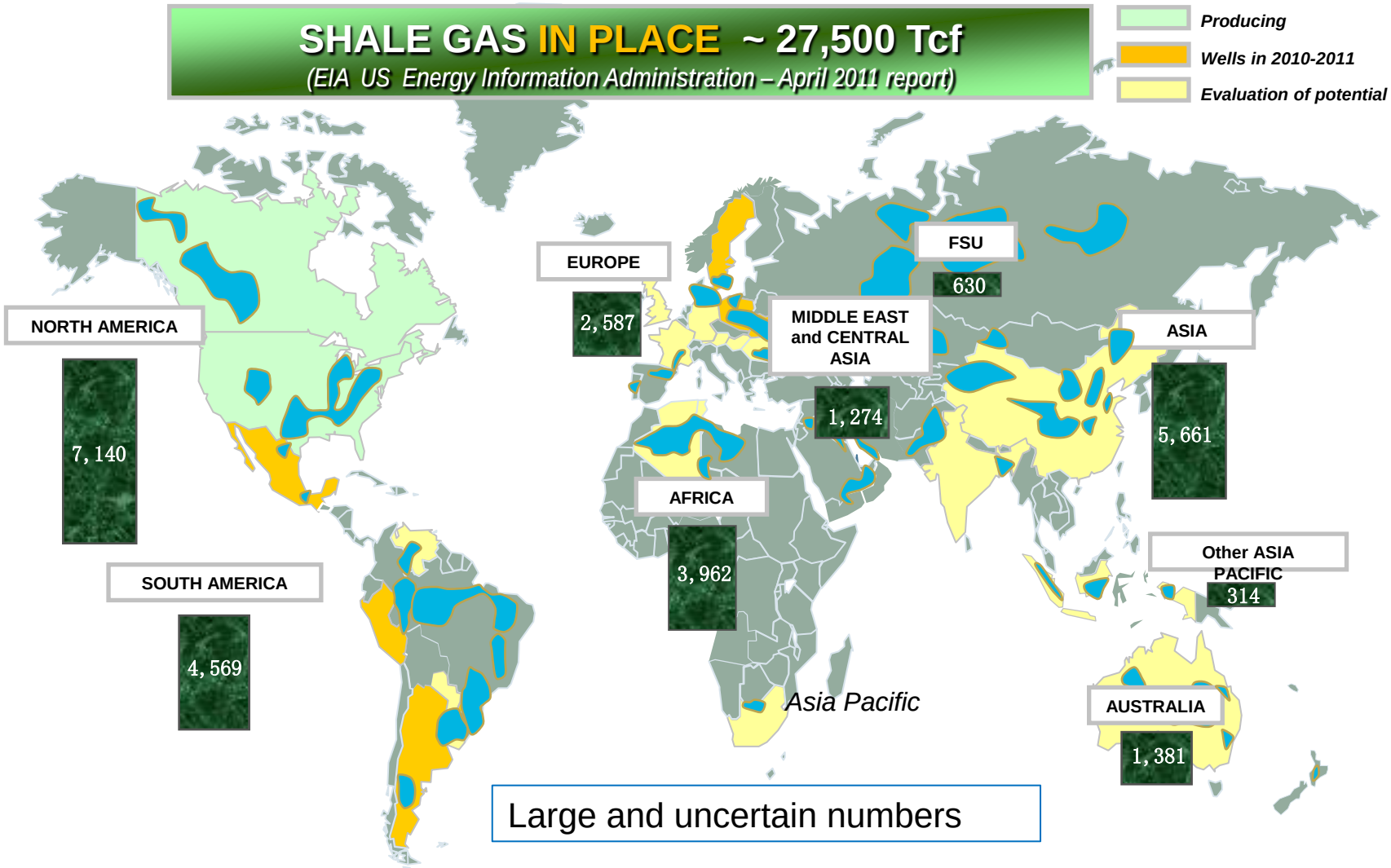
- **Total Monde** **87 Mb/d soit 31Gb, soit 4,5 Gt**

Environ 5% de la production pétrolière mondiale est du « non conventionnel » type roches mères et tight oil, elle provient pour les 3/4 des USA

MAJOR SHALE DEPOSITS OF THE WORLD



WORLDWIDE ESTIMATE OF SHALE GAS IN-PLACE VOLUMES

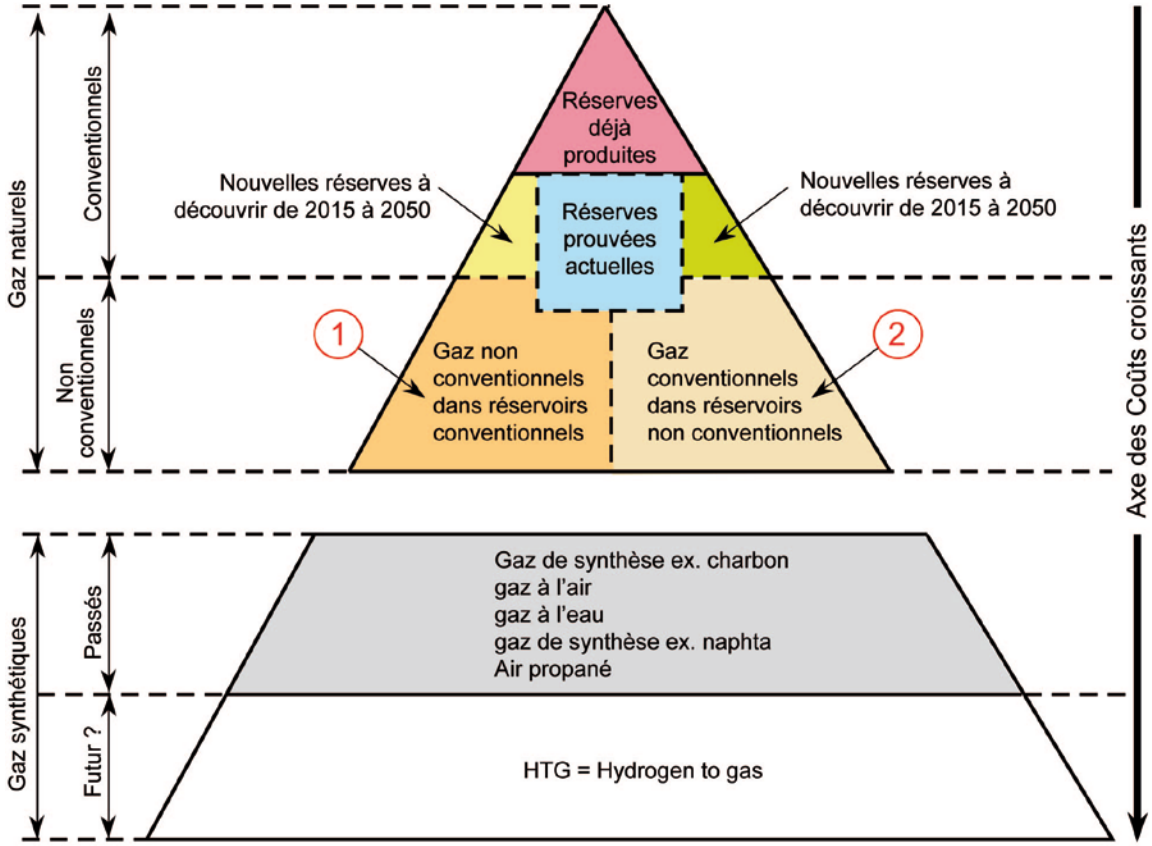


EIA 2011 figures + Rogner's 1996 figures for FSU(630Tcf), others Asia Pacific (314 Tcf), part of Middle East and Central Asia (1,274Tcf)

PARTIE 3 : RÉSERVOIRS DE ROCHES MÈRES

De quoi parle-t-on?
Comment se présente techniquement la question des gaz et pétroles de roches mères?

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



Source : *P-R. BAUQUIS - Oct .2012*

1 **Gaz non conventionnels dans réservoirs conventionnels**

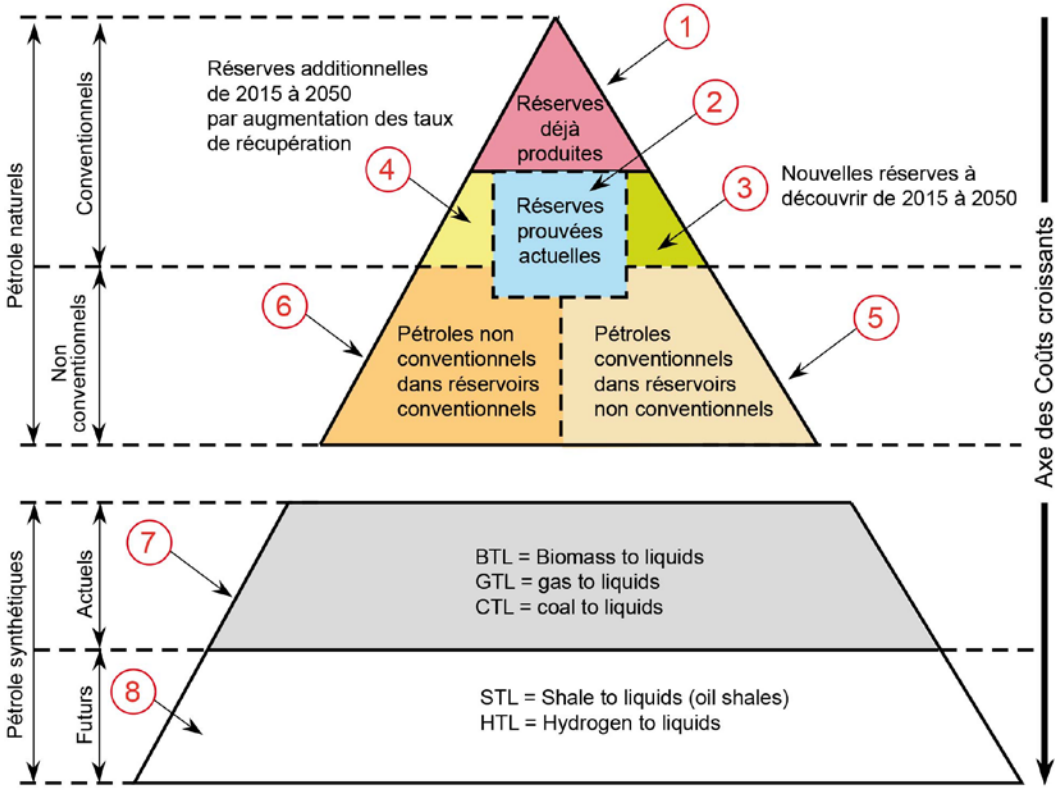
- gaz très riches en inertes (Natuna D alfa 75 % inertes)
- gaz très acides (très riches en H_2S)

2 **Gaz conventionnels dans réservoirs non conventionnels**

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

LA PYRAMIDE DES RÉSERVES PÉTROLIÈRES, DES SUBSTITUTS AU PÉTROLE ET DES PÉTROLES SYNTHÉTIQUES

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



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

Pétroles naturels

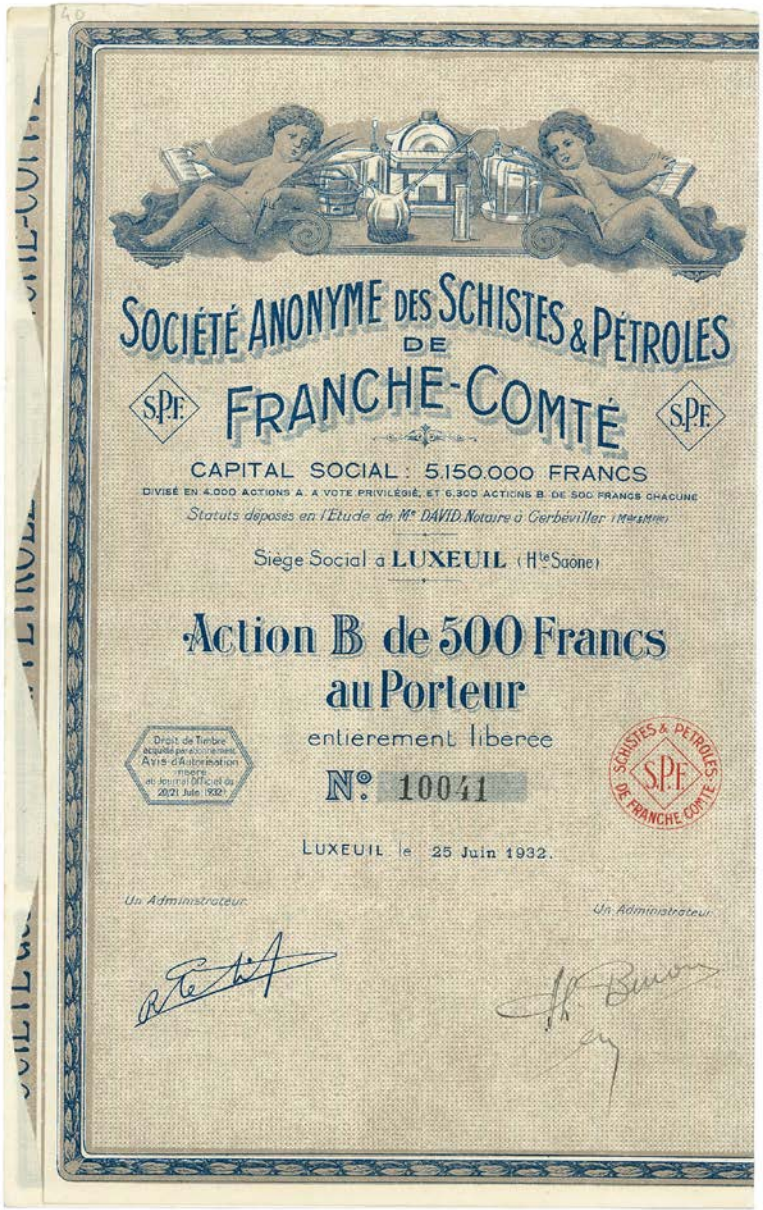
1. 1200 Gbbl
2. 1600 Gbbl (publié) dont 1200 prouvés stricto-sensu de 400 «contingents»
3. 300 Gbbl (réserve growth inclus)
4. 400 Gbbl (taux récupération moyen mondial en 2050 estimé à 45%)
5. 600 Gbbl d'ultra lourds et bitumes / devenus des réserves d'ici 2050
6. 200 à 500 Gbbl de «Pétroles de roches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

Synthétiques et substituts

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

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 «Shale 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

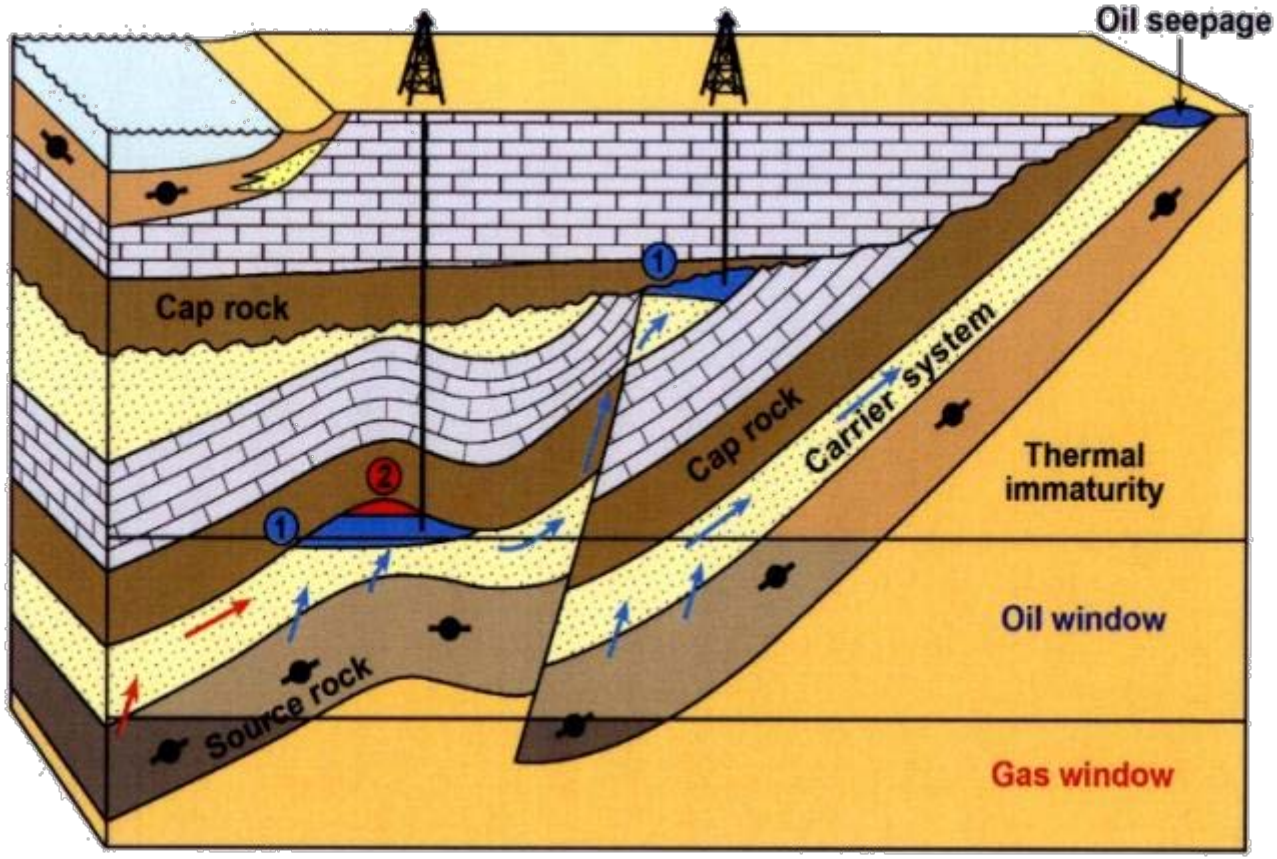
Exemples d'anciennes productions de « Shale Oil »

à ne pas confondre avec les Oil Shales (roches mères non matures) 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

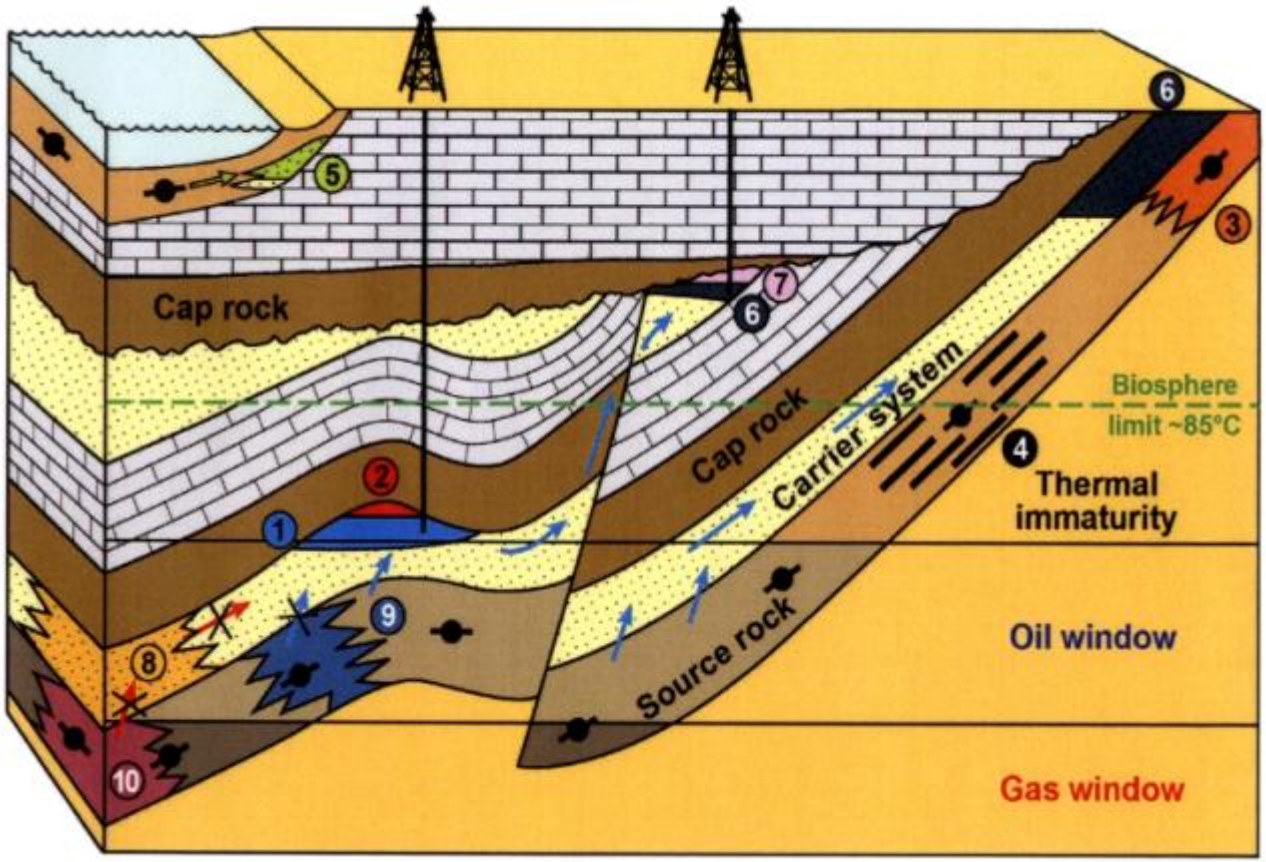
SYSTÈME PÉTROLIER CONVENTIONNEL



1) Conventional oil

2) Conventional (Thermogenic) gas

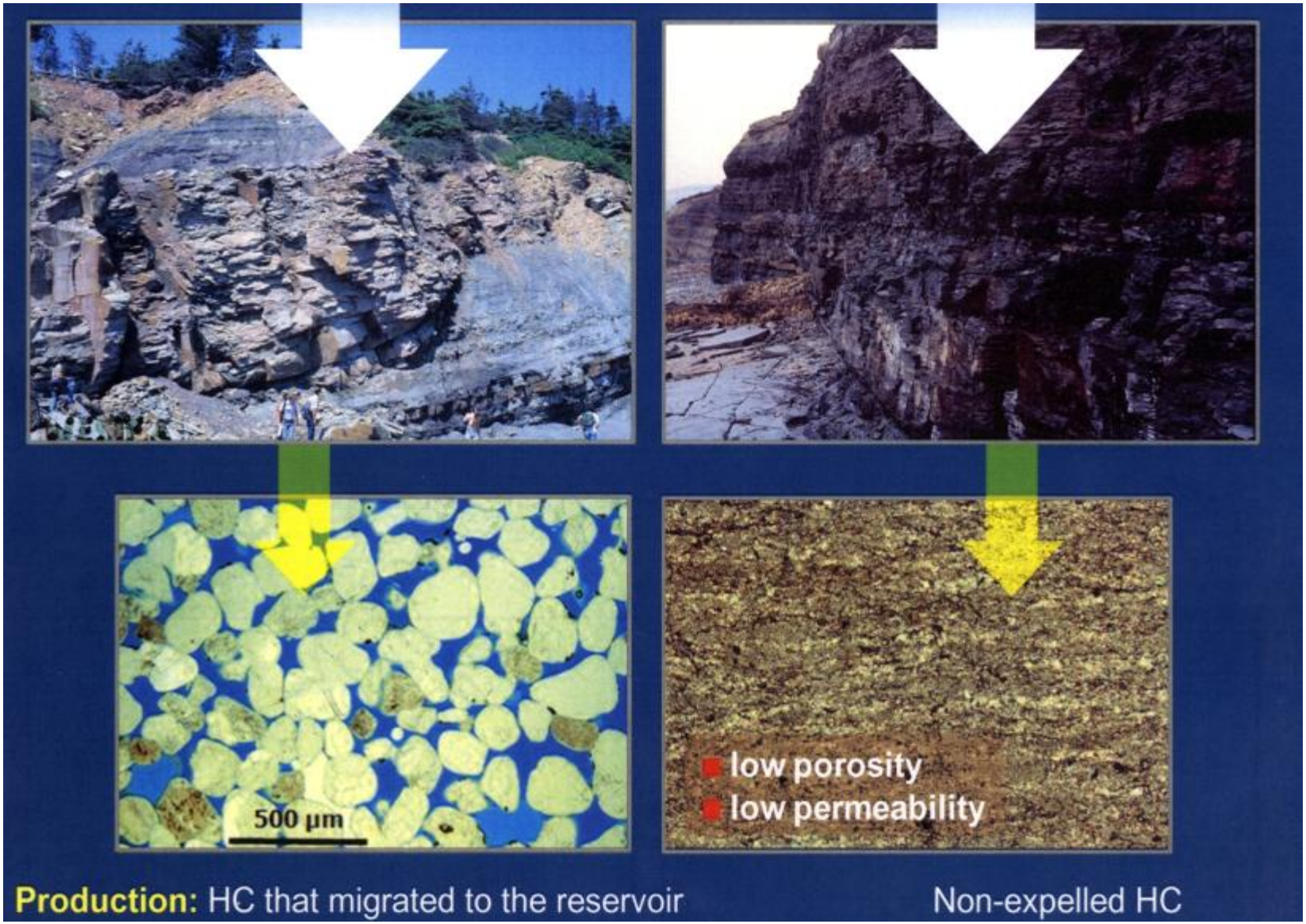
SYSTÈME PÉTROLIER "ÉTENDU"



3) Oil Shale (immature), 4) Coal Seams & Coal Bed Methane (CBM), 5) Primary Biogenic Gas, 6) Heavy/Extra Heavy oil, 7) Secondary Biogenic Gas ,8) Tight Gas in Basin center Situation, 9) Tight Oil, 10 Shale gas

Source: A.Huc et al, , e-book CNRS Program, 2011

CONVENTIONNEL NON CONVENTIONNEL



QU'EST-CE QU'UN "GAZ DE SCHISTE"?

10 cm

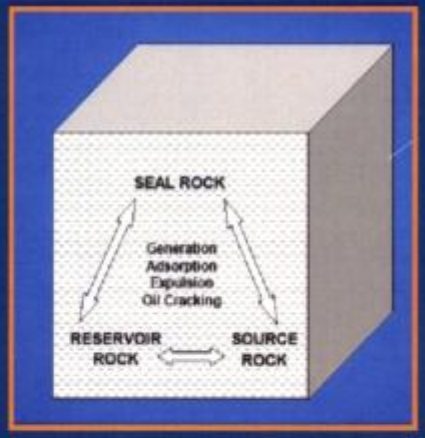
LOMPOC Quarry Sample
Monterey Formation, CA

It´s all together:

- the source
- the reservoir
- the seal

and:

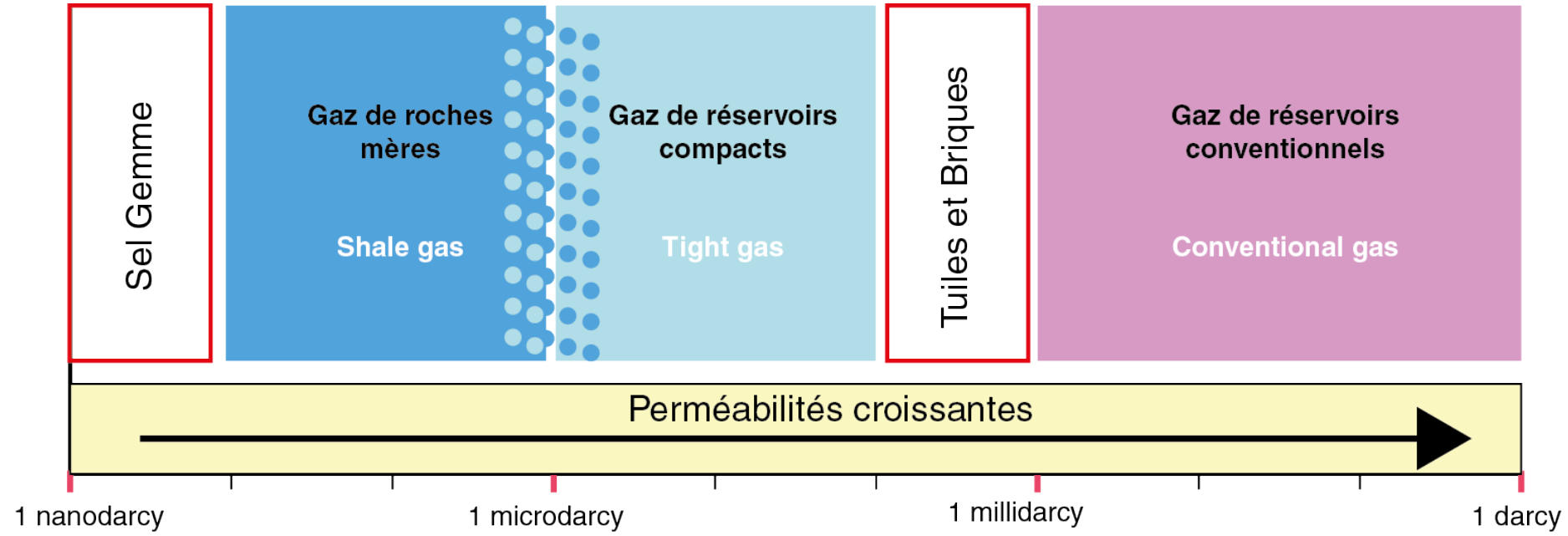
- it is rich in organic carbon



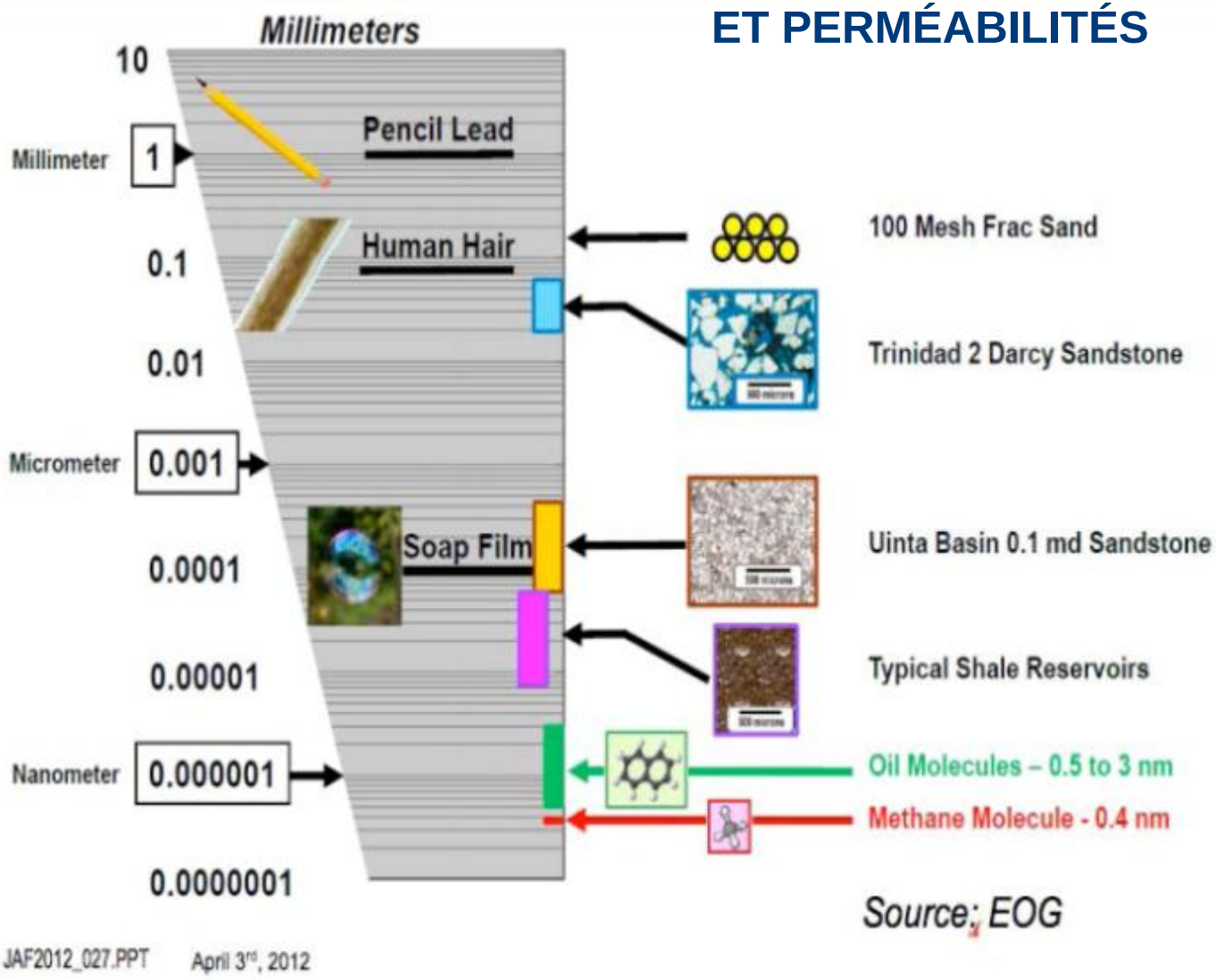
! Shale gas is self-contained HC system !

However the shales have a low permeability => production required to facilitate the displacement of the gas to the well to reach an economic level of production.

GAZ CONVENTIONNELS ET NON-CONVENTIONNELS



DIMENSIONS DES PORES ET PERMÉABILITÉS

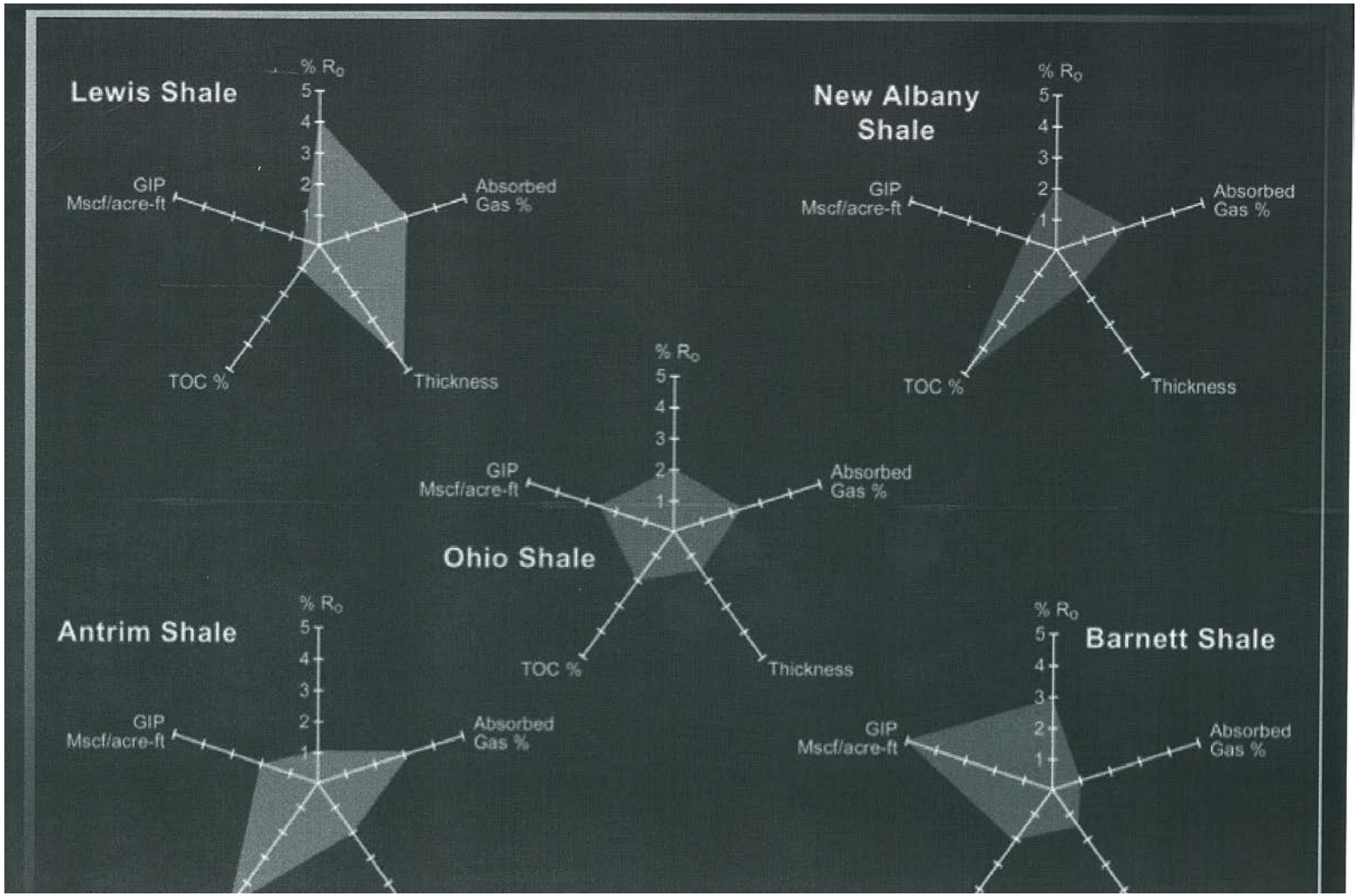


PROPRIÉTÉS DES ROCHES MÈRES « PROSPECTIVES »

HOT SHALE PROPERTIES

Propetrty	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						

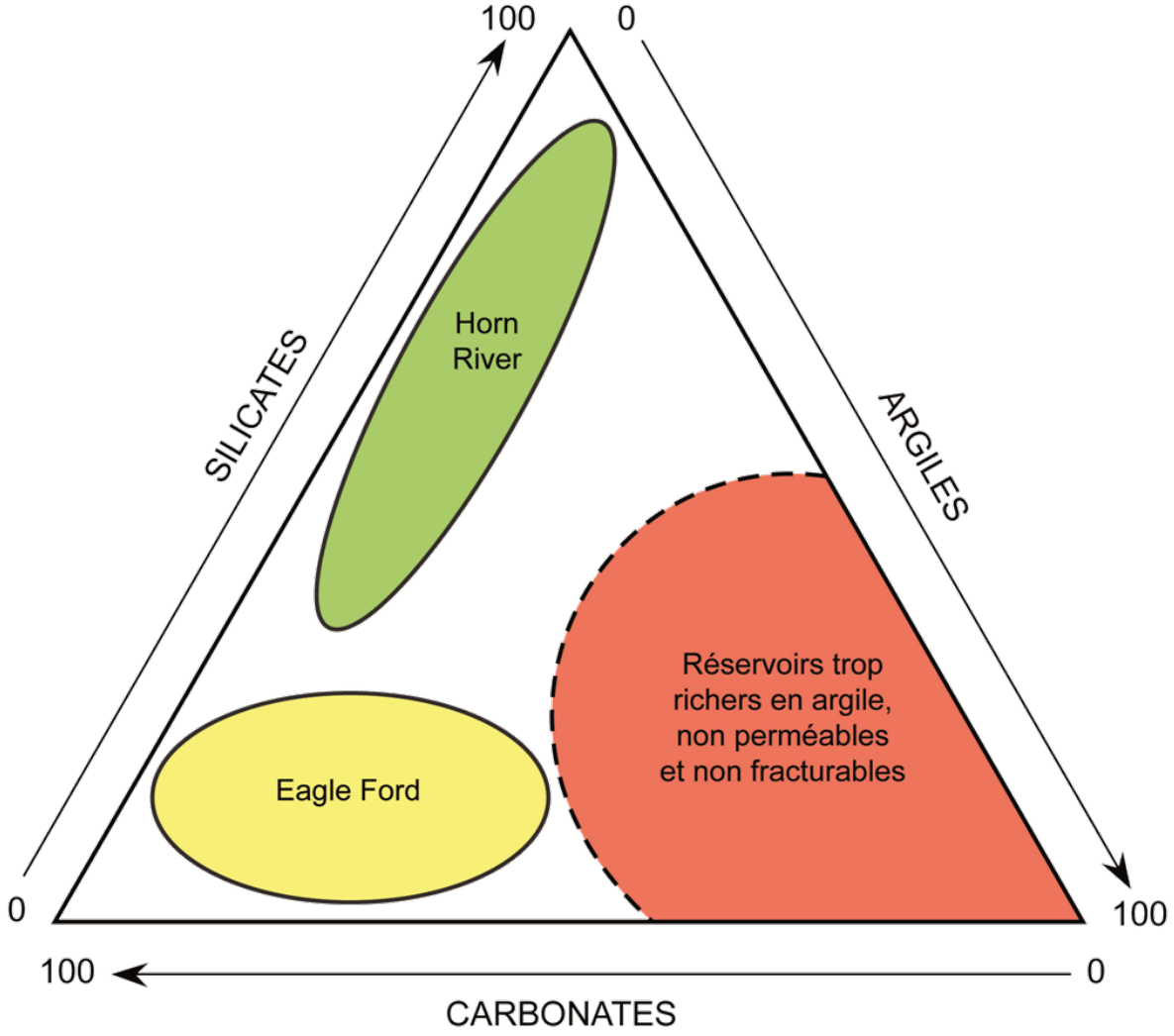
QUELQUES EXEMPLES DE « HOT SHALES AMÉRICAINS MONTRANT LEURS TRÈS GRANDES VARIABILITÉS DE CARACTÉRISTIQUES



PARTIE 4 : COMMENT PRODUIRE LES GAZ ET PÉTROLES DE ROCHES MÈRES

Identification des zones propices :« Hot Shales et Sweet Spots »
Création artificielle de perméabilité : des explosifs à la fracturation hydraulique

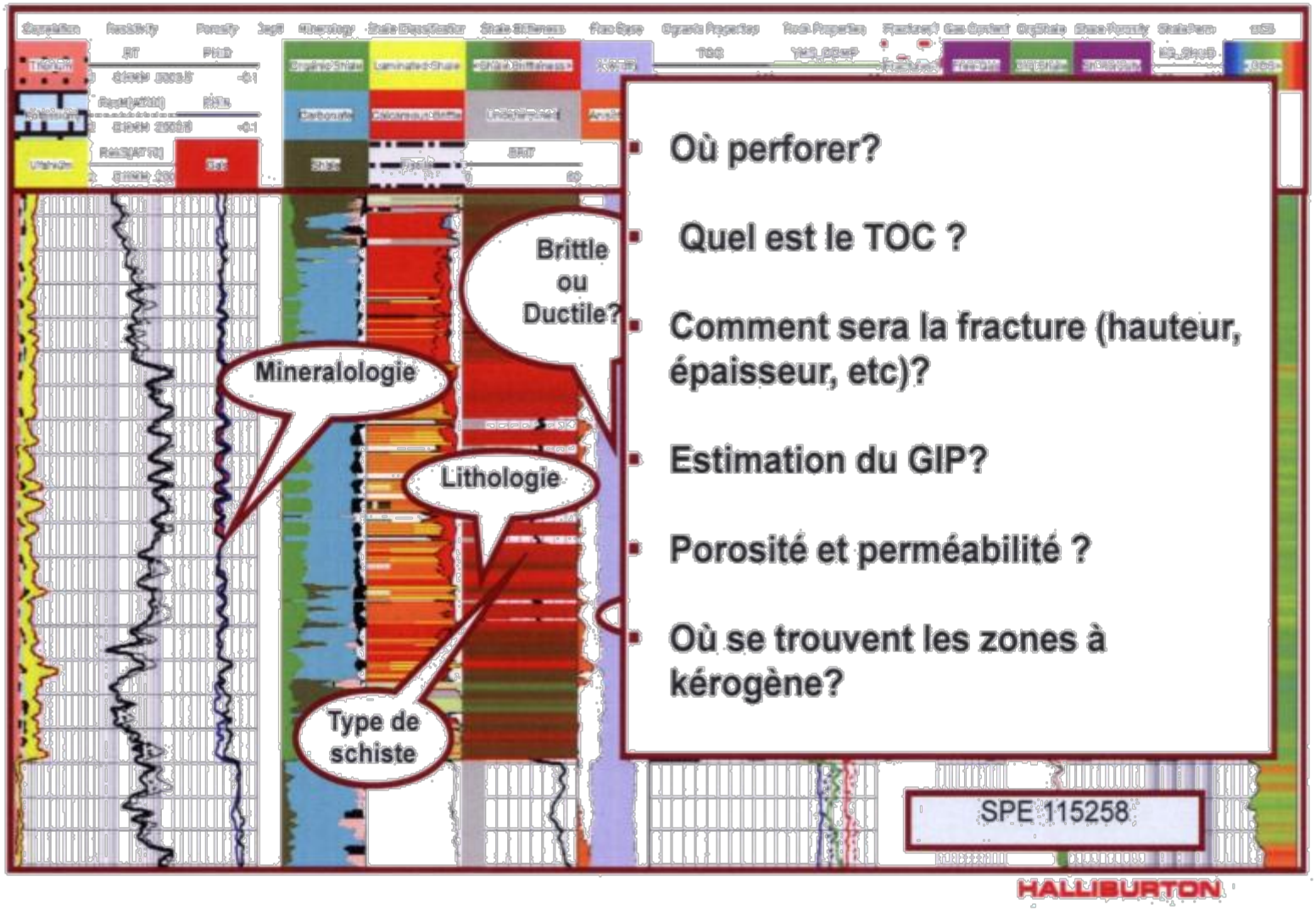
MINÉRALOGIE DES « HOT SHALE »



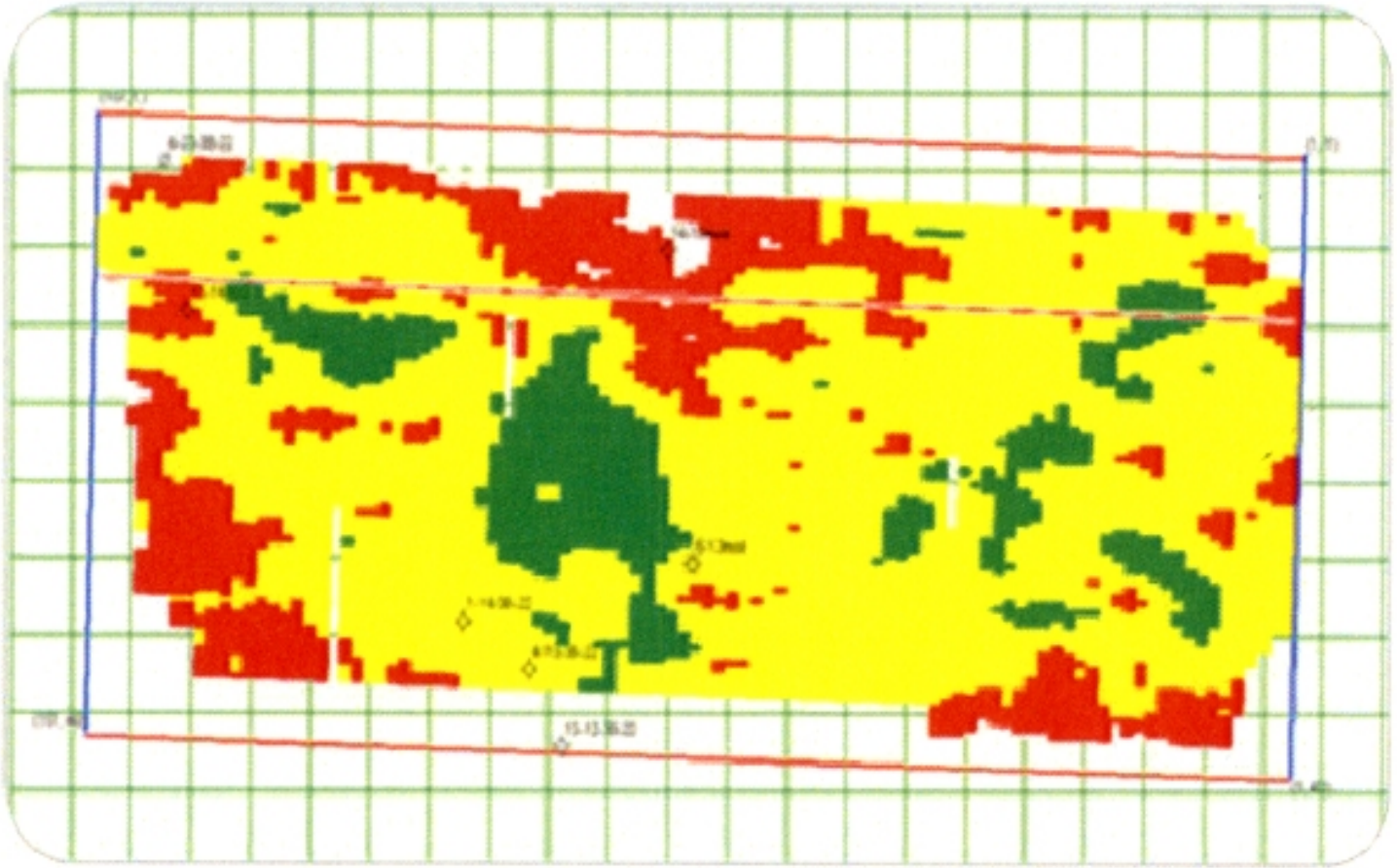
PR Bauquis - Sept 2012

Source : d'après Jim Buckee. Talisman ASPO 2012

CONCEPTION FRACTURATION HYDRAULIQUE

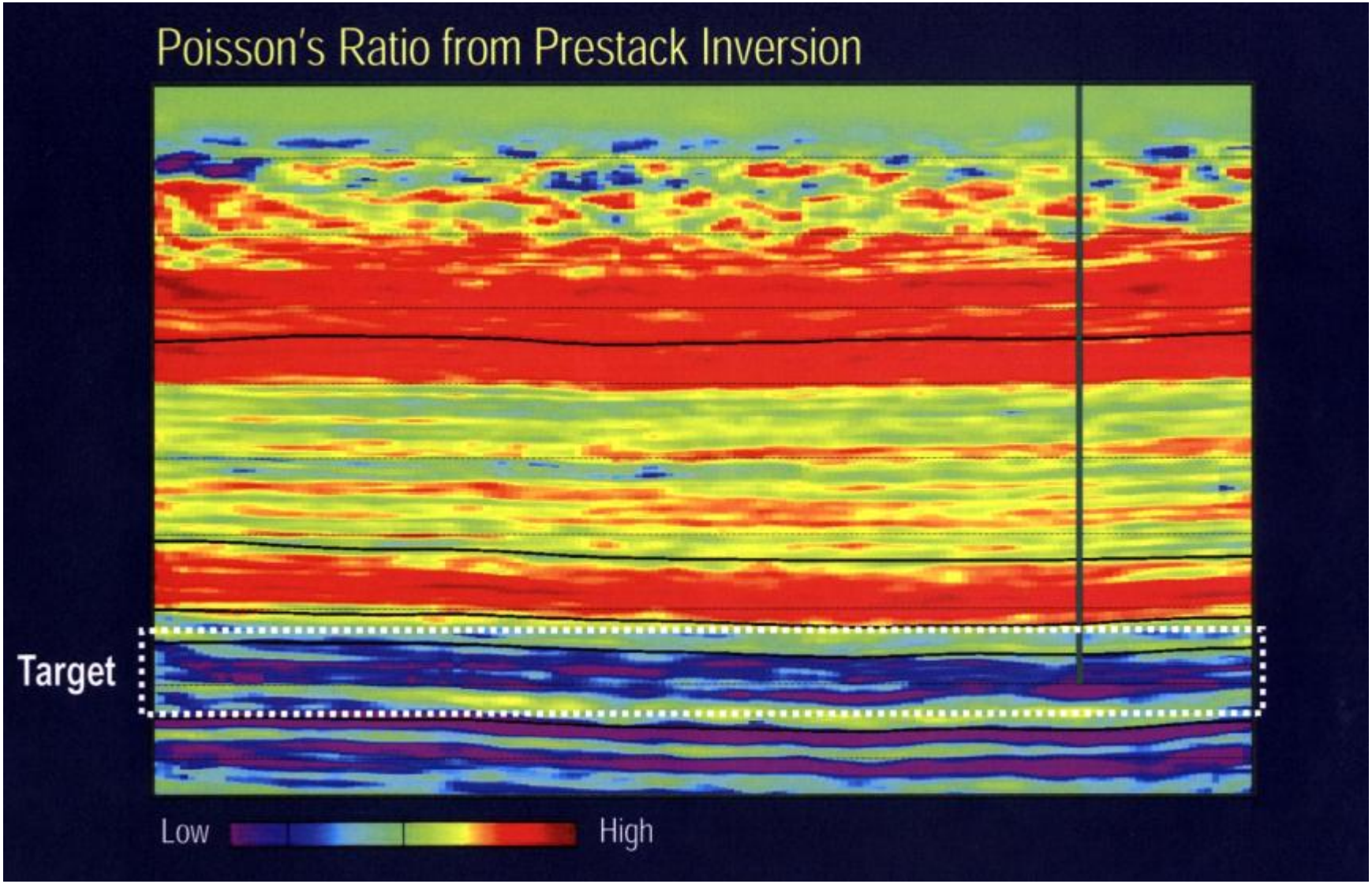


LA SISMIQUE AIDE À IDENTIFIER LES MEILLEURES ZONES DE FRACTURATION



- En vert: zones favorables à la création de réseaux de fractures
- En rouge: roches ductiles (impropres à la fracturation)
- En jaune: nombreuses fractures naturelles alignées

IDENTIFICATION DES « SWEETSPOT »

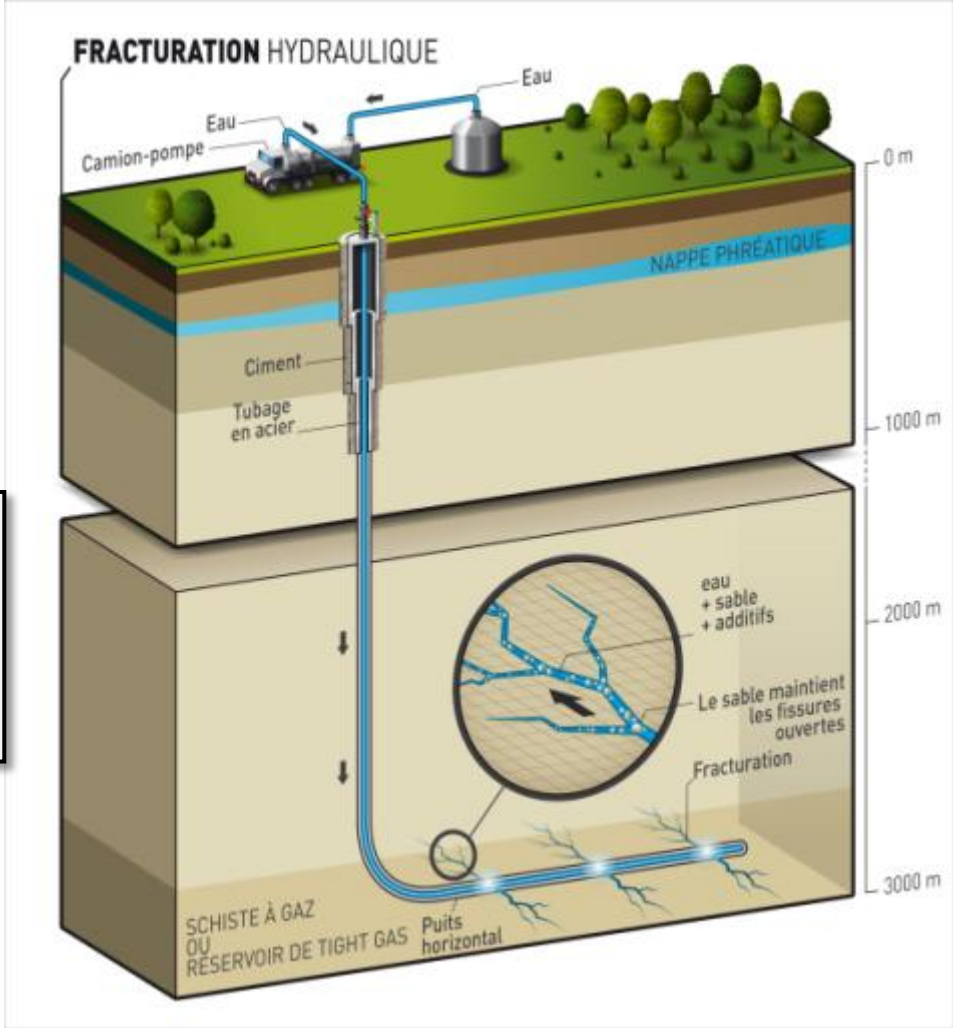


SPECIFIC PRODUCTION TECHNIQUES

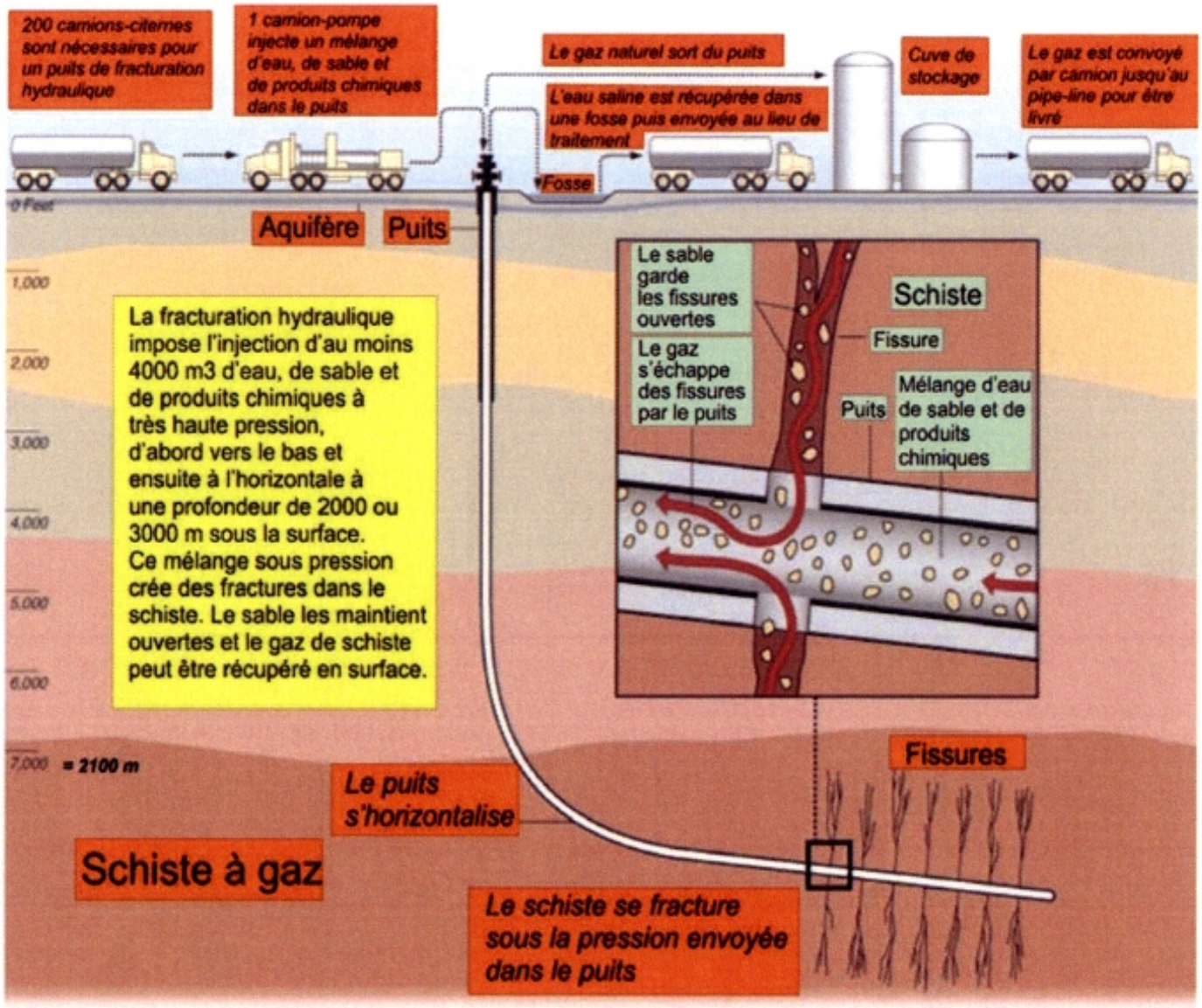
- Two types of technology required to enable sustainable production :
  - Horizontal drilling, which increases the productive section of each well (compared to vertical drilling).
  - Controlled hydraulic fracturing, which artificially improves rock permeability.

These techniques are known to the industry and also used for water wells, conventional hydrocarbon production and geothermal energy.

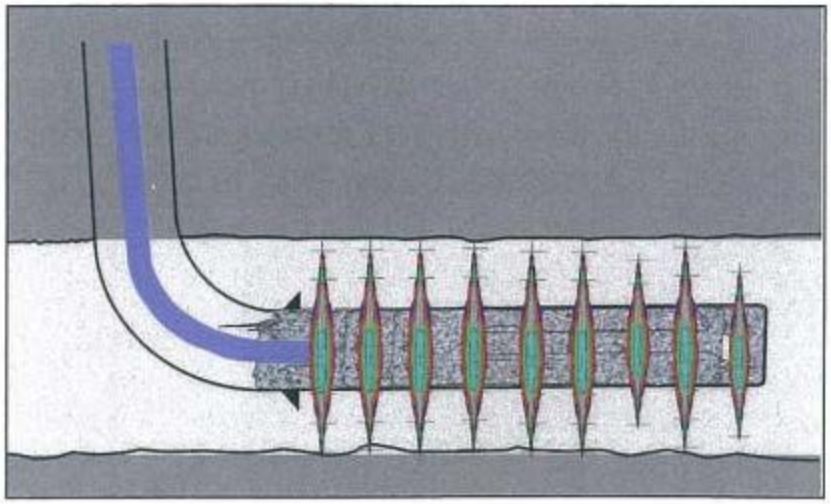
- The amount of gas retrieved from each well remains low, which implies a large number of wells to reach a significant level of production



LA FRACTURATION HYDRAULIQUE



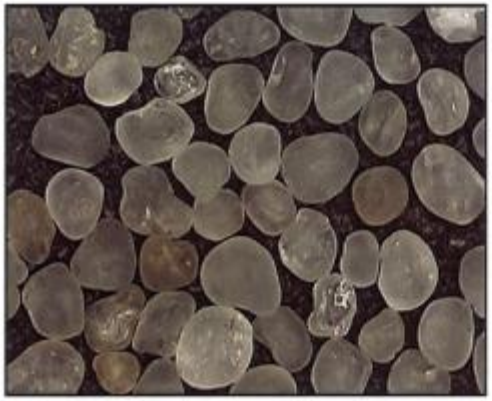
WELL TECHNOLOGY
HORIZONTAL DRAINS AND MULTIPLE HYDROFRACS



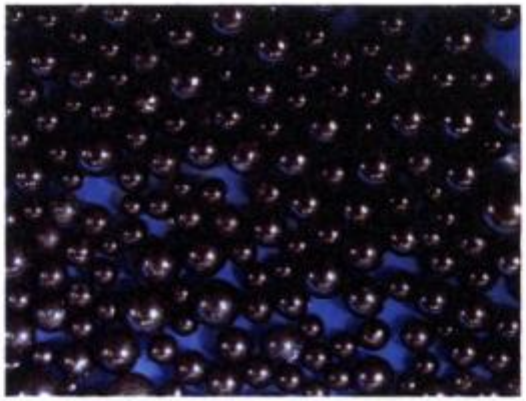
- 1,000 meters horizontal or more
- Water fracs with low sand concentration
- 5 to 10 fracs per well, up to 20
- High pumping rate: 10 to 25 cubic meters/minute
- 1,000 to 2,000 tons sand per well
- 10,000 to 20,000 cubic meters water per well

Cost of a Barnett well: 3/4 M$

DIVERS TYPES DE “PROPPANTS”



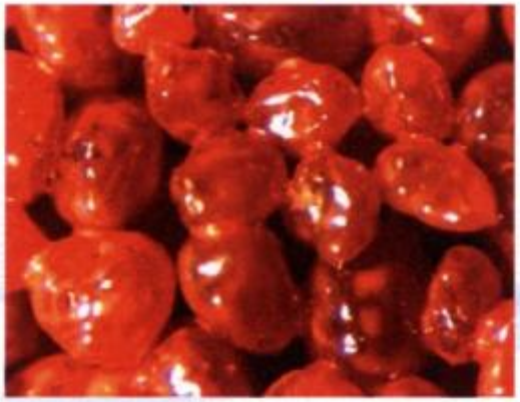
Ottawa Frac Sand



LiteProp™ 108 ULWP

Low Density Ceramic

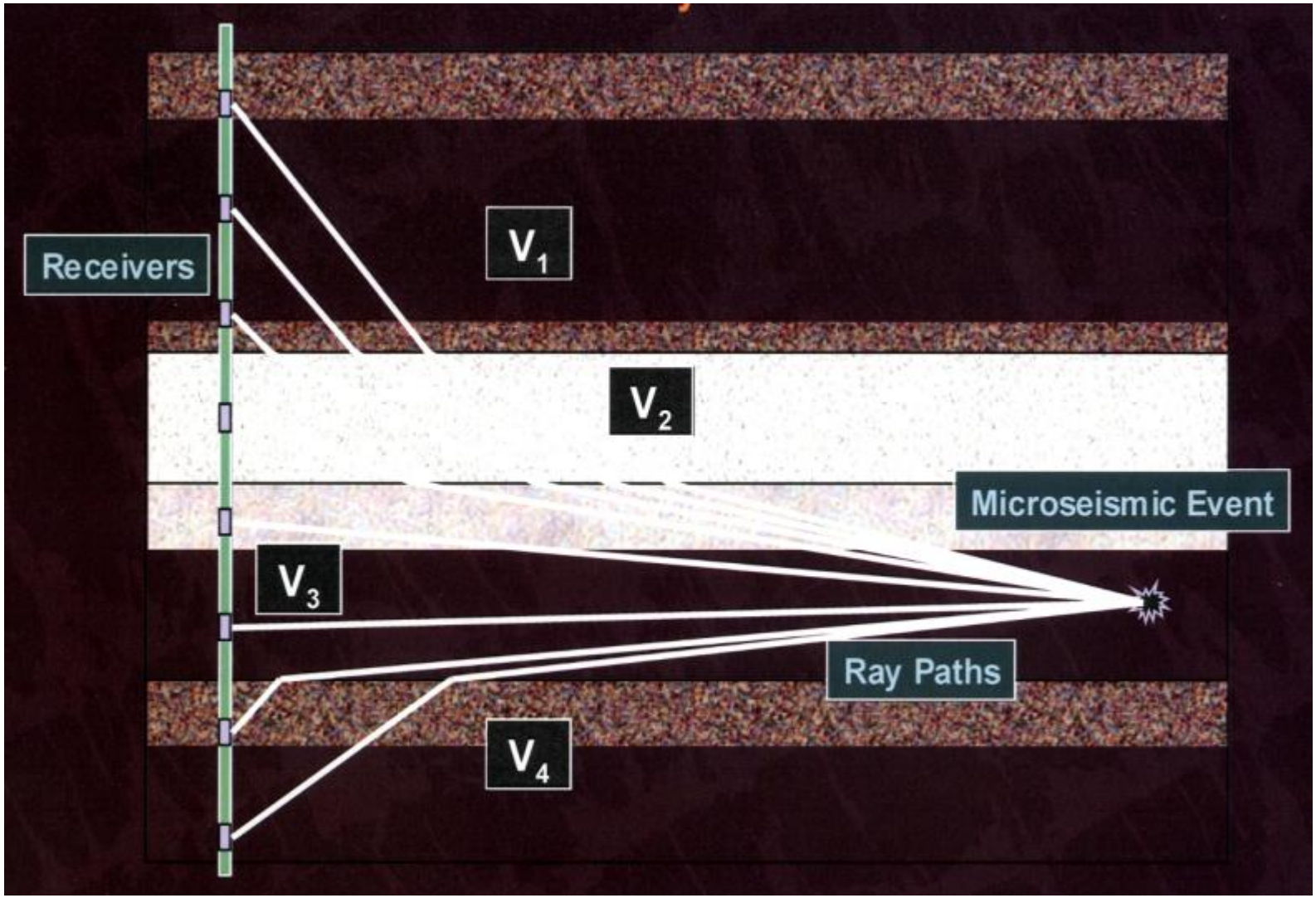
Brown Frac Sand



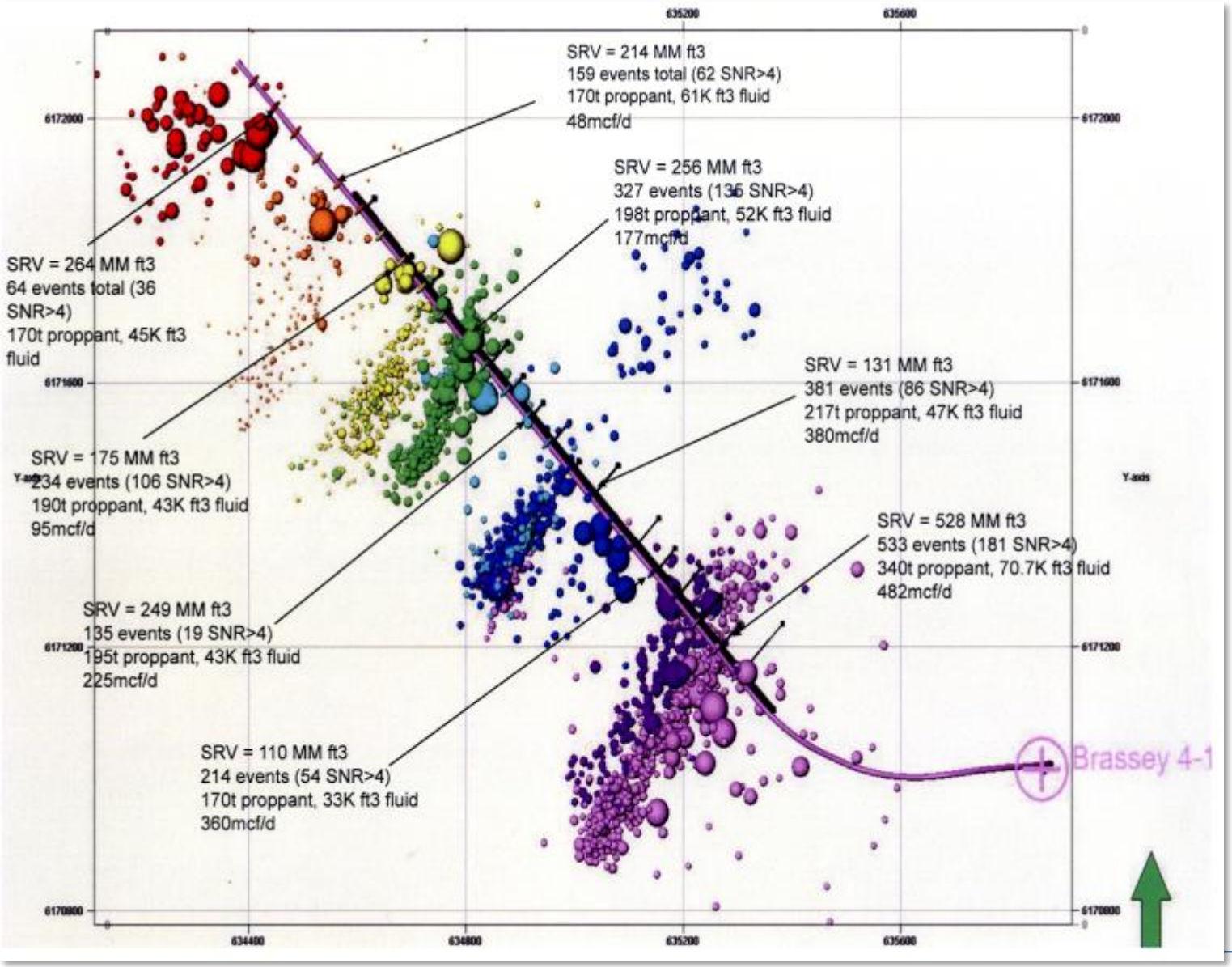
Resin-Coated Sand

Sintered Bauxite

ECOUTE DES FRACTURATIONS DEPUIS UN PUITS

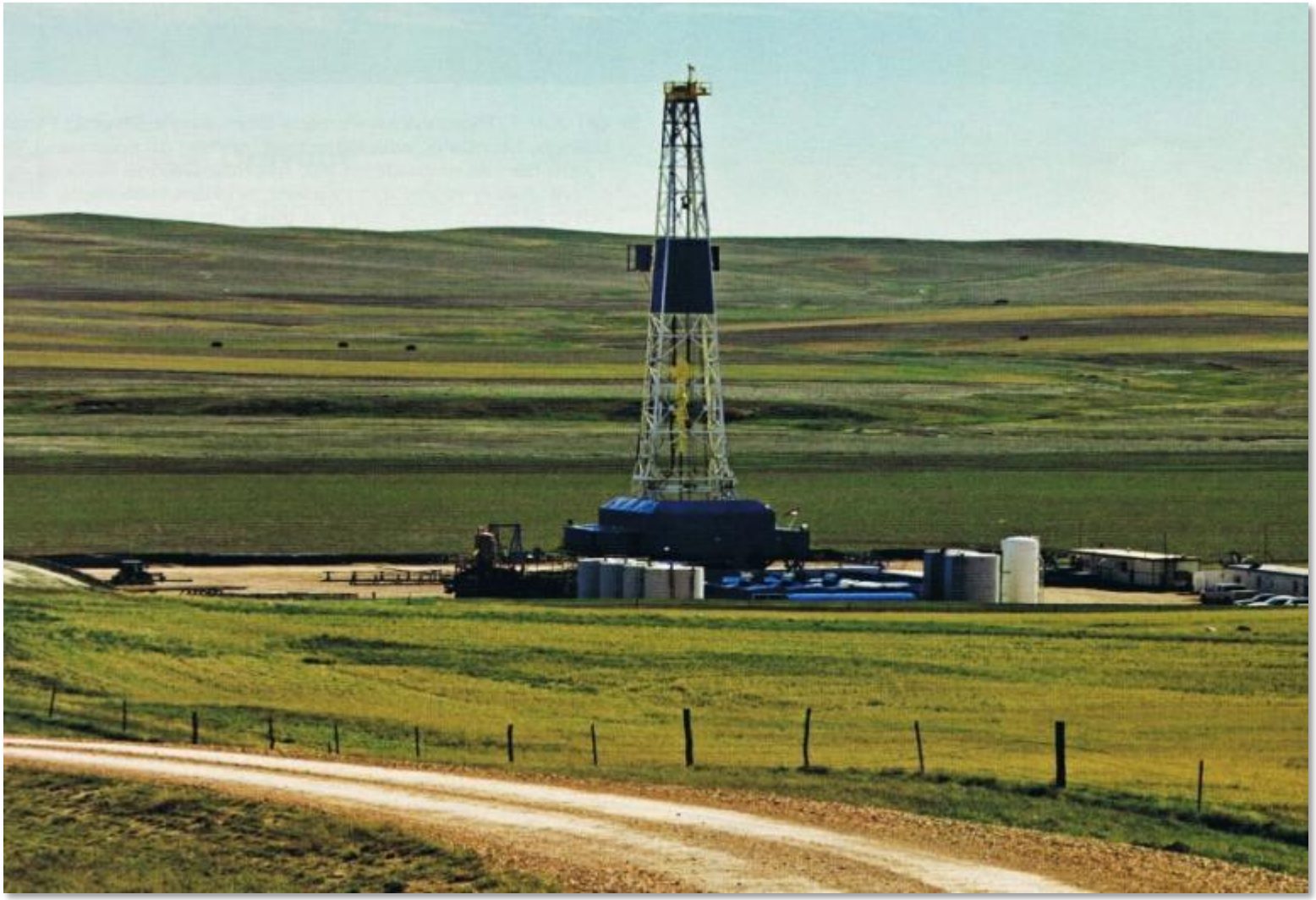


ÉVÈNEMENTS MICROSISMIQUES D'UN TRAITEMENT MULTI-FRACTURES



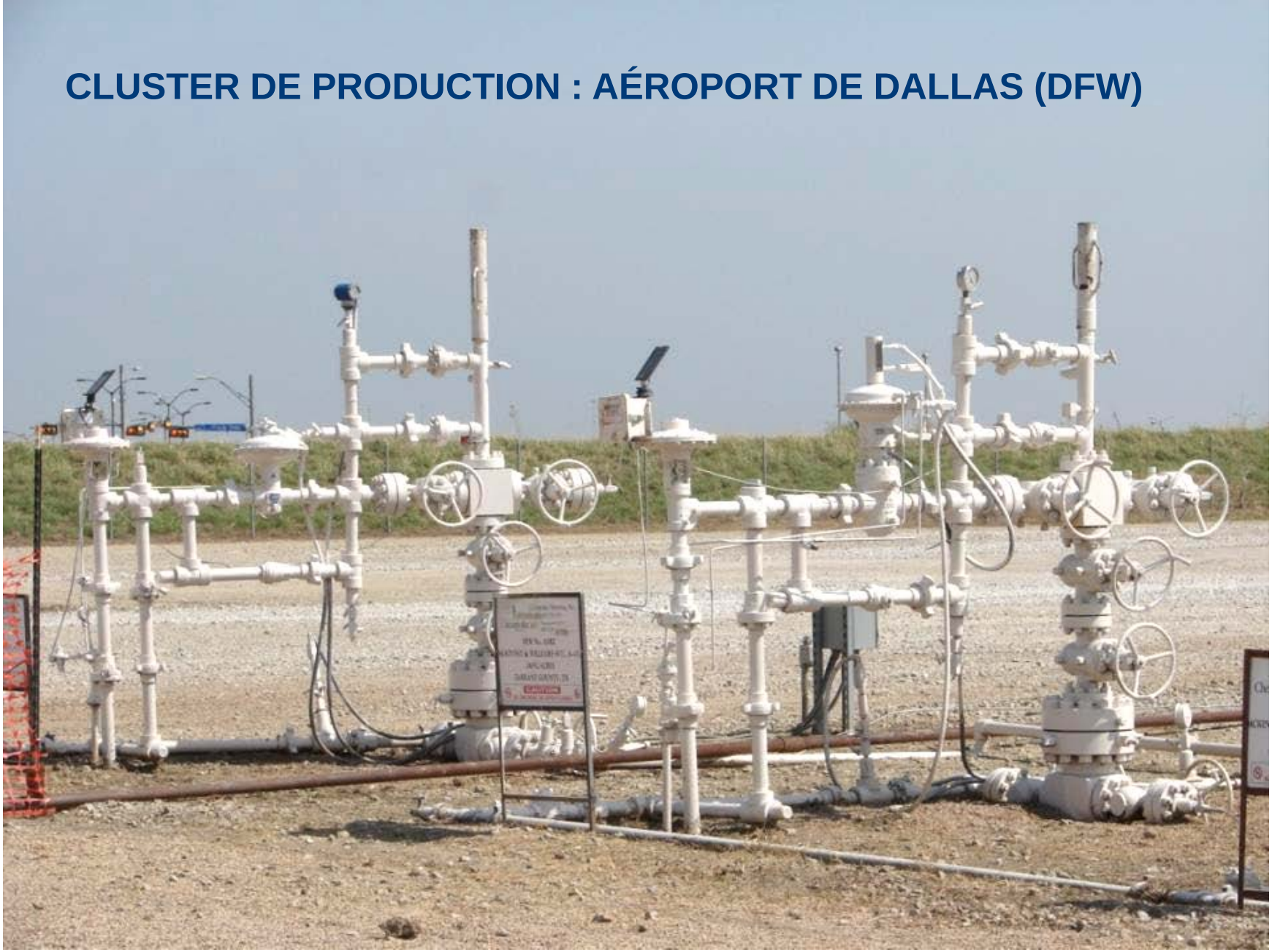
LA COMMUNICATION : COMMENT “FORMATER” LES RÉALITÉS?

OCCUPATION DU SOL - IMPACT VISUEL
DEUX VISIONS TRÈS CONTRASTÉES… ET TOUTES DEUX RÉELLES



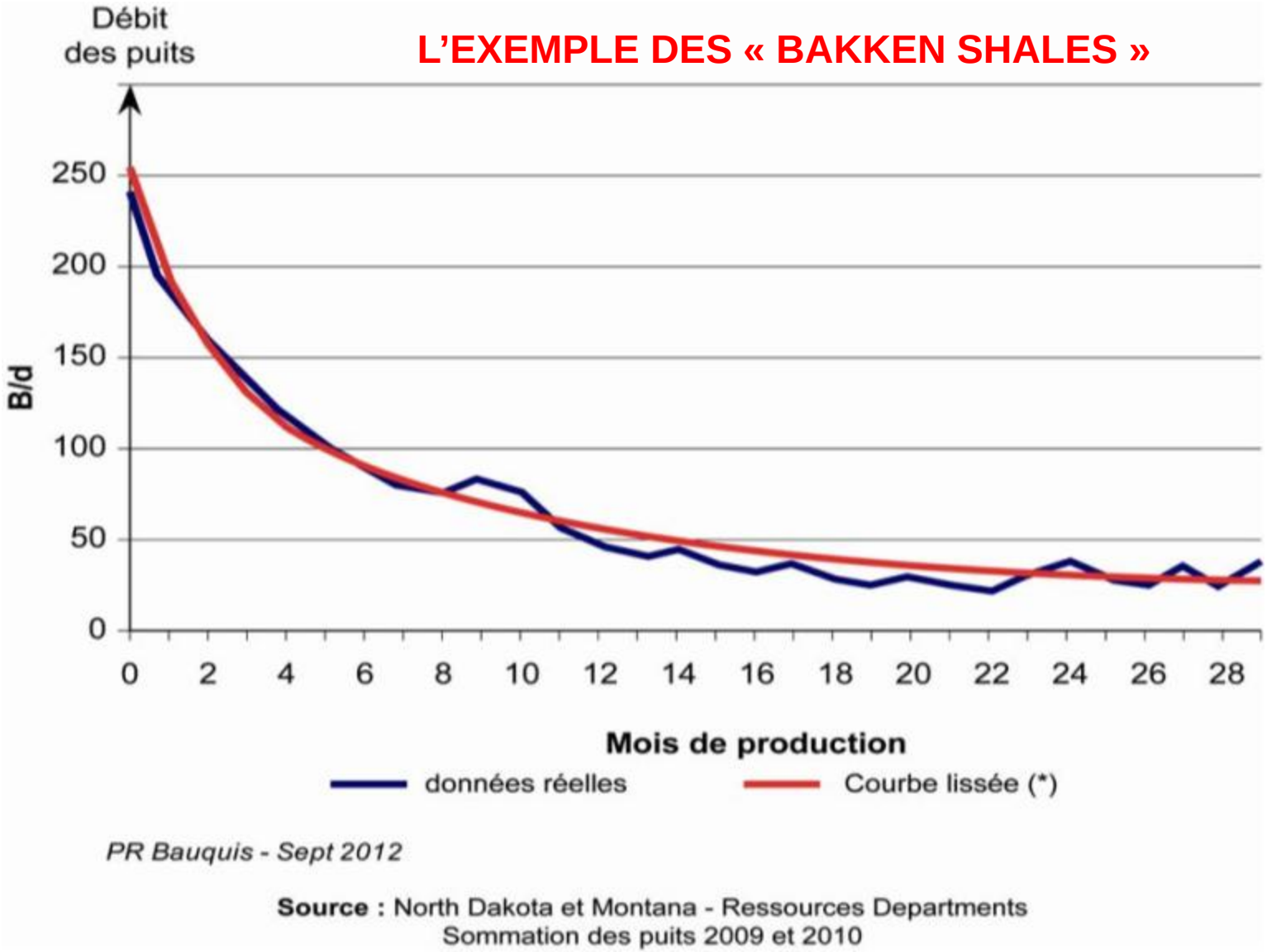
CLUSTER DE PRODUCTION EN BANLIEUE RÉSIDENTIELLE

CLUSTER DE PRODUCTION : AÉROPORT DE DALLAS (DFW)



PÉTROLES DE ROCHES MERES : UN DÉCLIN RAPIDE DES PRODUCTIONS

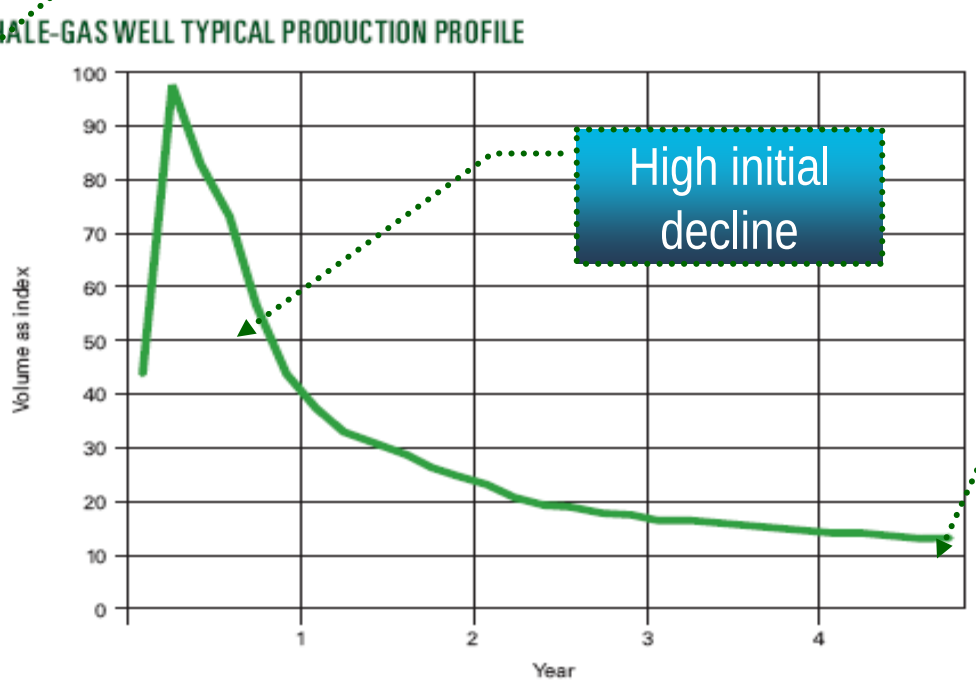
L'EXEMPLE DES « BAKKEN SHALES »



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

GAZ DE ROCHES MÈRES : UN DÉCLIN ÉGALEMENT RAPIDE DES PRODUCTIONS

Initial rates 1 to 20 mmscfd



High initial decline

Long production tail

- initial rates now 1 to 20 mmscf
- 60 to 80% decline in first year
- reserves 1 – 10 Bcf per well
  - ➔ 1000's of wells required
  - ➔ low recoveries (15%- 25%)

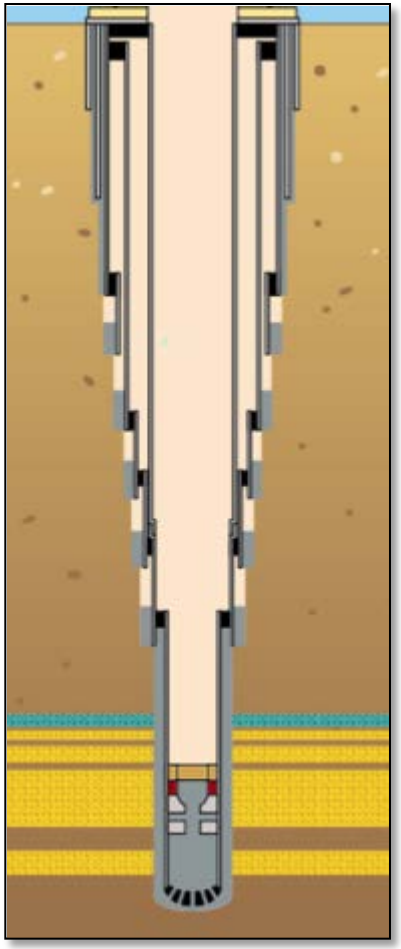
PARTIE 5 : QUELS PROBLÈMES POUR L'ENVIRONNEMENT

Préservation du sous-sol
Le cycle de l'eau
La séismicité induite
Les impacts pour l'environnement immédiat

WELL ARCHITECTURE

- **Drilling and fracturing a well is state-regulated process, following established industry practices and company procedures**
- **Well drilling operations are completed through a succession of phases**
  - Drilling is followed by running-in with casing and its cementation
  - Quality control for casing and cement integrity is compulsory
- **Well design is aimed at isolation from the surrounding geological formations**
  - Mechanical barriers (casing, cement)
- **Well is designed to protect ground waters**
  - Water-based drilling fluids
  - Cemented casing strings

Vertical well architecture



PRÉSERVATION DU SOUS-SOL

INTÉGRITÉ DES PUITS

- La pose de cuvelages en acier concentriques et la cimentation des espaces annulaires permettent de créer plusieurs barrières étanches et assurent la protection des eaux souterraines

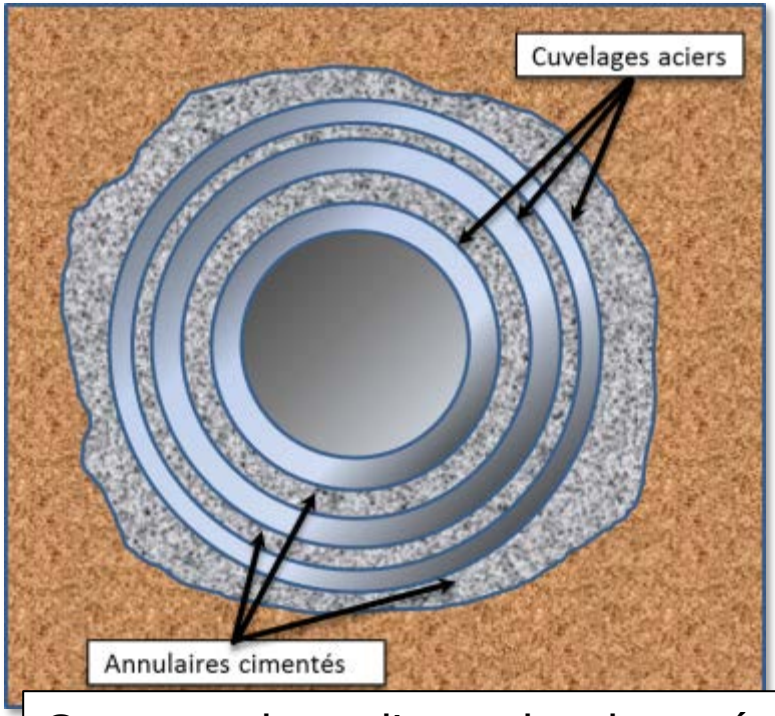
- Ce processus est hautement **réglementé en Europe** et les opérateurs se doivent d'adhérer aux normes les plus strictes sur la conception des puits.

Moyens de contrôle

- Contrôles des cimentations de surface par une société mandatée par l'état

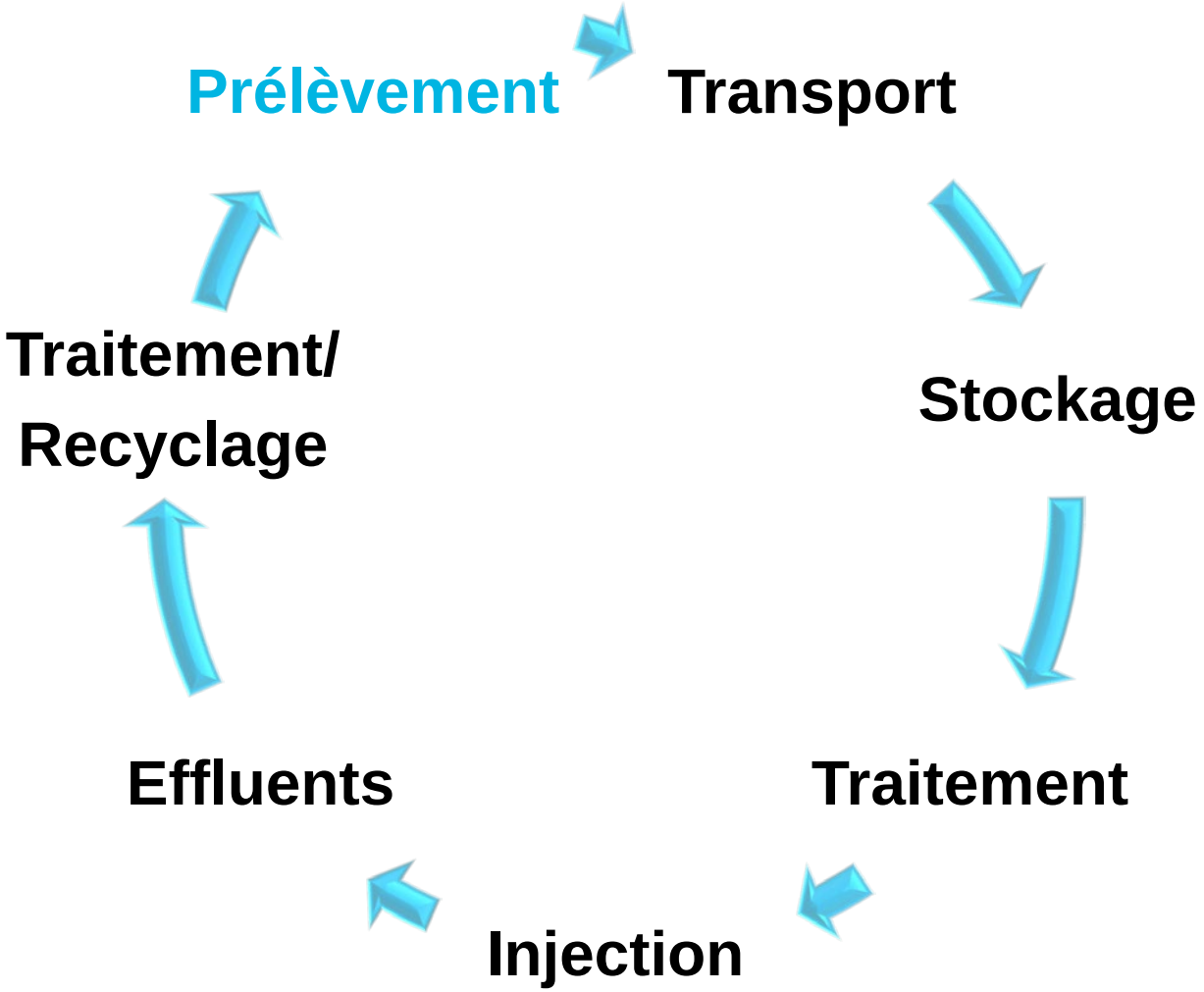
- Contrôle des cimentations de surfaces par mesure acoustiques

- Contrôles périodiques de la corrosion des tubages

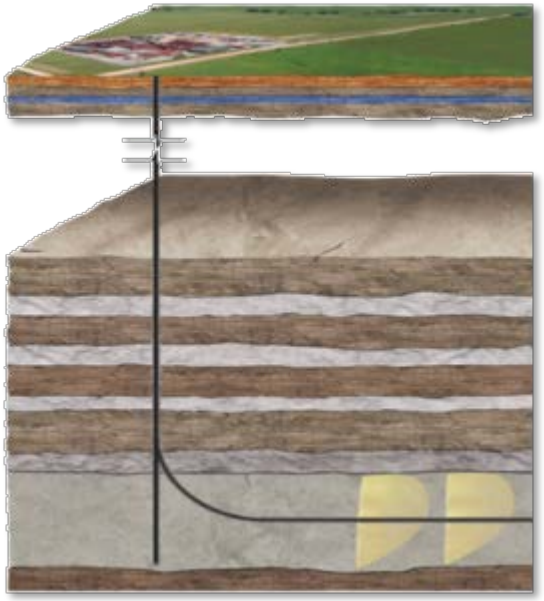


Coupe typique d'un puits cimenté

LE CYCLE DE L'EAU



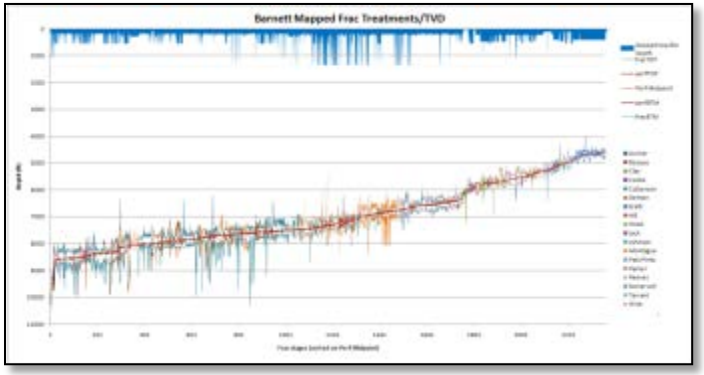
PRÉSERVATION DU SOUS-SOL
PROTECTION DES NAPPES PHRÉATIQUES



- La zone stimulée se situe nettement en-dessous des nappes phréatiques.
- La barrière verticale naturelle (multiples couches de roche imperméable) entre la formation exploitée et les eaux souterraines peut varier de plusieurs centaines à plusieurs milliers de mètres.

Moyens de contrôle:

- La technologie de micro-sismique permet de mesurer physiquement l'extension des fractures en temps réel et de de confirmer leur confinement.
- Un état zéro de la qualité des aquifères sera réalisé avant le début des opérations,
- Suivi continu (par puits témoin) pendant toute la durée de vie du puits.

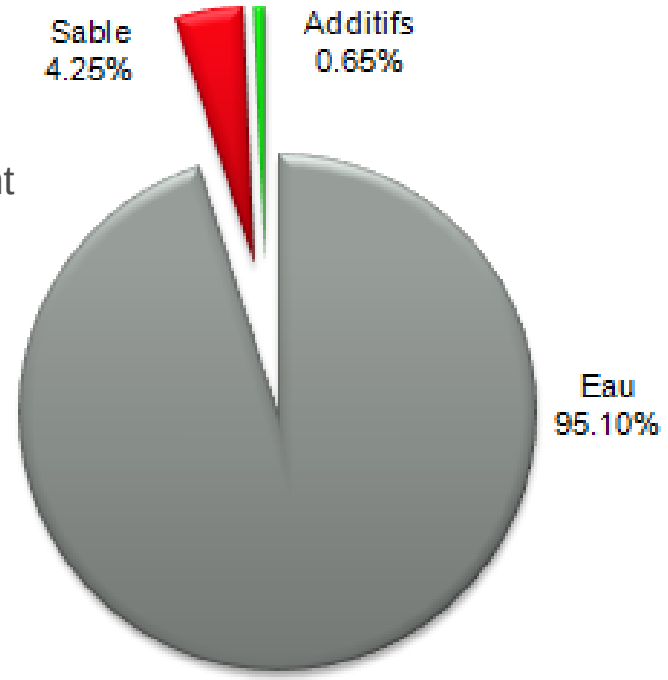


RISQUE DE POLLUTION PAR LES FLUIDES DE FRACTURATION

- ***Bonnes Pratiques***
- Les nouvelles technologies visent a utiliser des produits moins polluants ou provenant de l'industrie alimentaire
- Les concentrations en additifs sont réduites au minimum
- Les interventions sont réalisées par des sociétés disposant des accréditations en termes de sécurité, qualité et environnement (ISO 9001/2; MASE; ISO 14000**)**

Transparence:

- Les compositions des fluides utilisés sont accessibles au public aux USA.
- C'est une obligation en Europe, avec la réglementation REACH
- Les fiches de type FDS sont disponibles sur site pour chaque produit utilisé

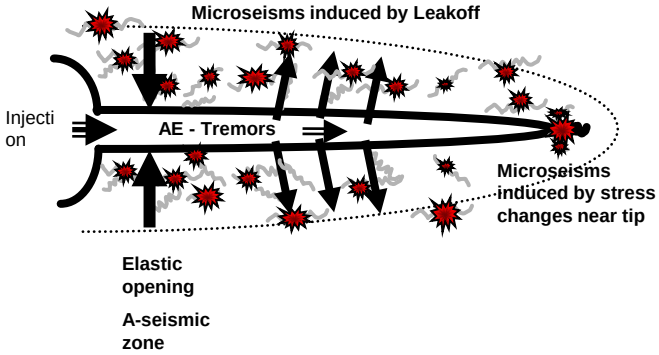


RISQUE DE POLLUTION PAR LES FLUIDES DE FRACTURATION
PRINCIPAUX INGRÉDIENTS DU FLUIDE DE STIMULATION ET USAGES COMMUNS

Composant	Objectif	Usage commun	
Acide chlorhydrique ou muriatique	Dissout les ciments minéraux et commence à produire des fissures dans la roche	Détergents et nettoyants pour piscines	
Sodium	Retarde la décomposition du gel polyner	Sel de table	
Polyacrylamide	Réduit la friction entre le fluide et les tubages	Traitement de l'eau, conditionnement des sols	
Ethylène glycol	Empêche les dépôts dans les tuyaux	Nettoyants ménagers, agents de dégivrage, peintures et produits de calfeutrage	
Borax	Maintient une viscosité fluide lorsque les températures augmentent	Utilisé dans les détergents à lessive, savons pour les mains et cosmétiques	
Carbonate de potassium ou de sodium	Préserve l'efficacité des autres composants tels que les agents de réticulation	Utilisé dans les lessives, savons, adoucisseurs d'eau et produits pour lave-vaisselle	
Glutaraldéhyde	Élimine les bactéries, présentes dans l'eau, responsables de la formation de sous-produits corrosifs	Désinfectant ; stérilisateur de matériel médical et dentaire	
Gomme de guar	Epaissit l'eau afin de fixer le sable	Agent épaississant utilisé dans les cosmétiques, produits de boulangerie et pâtisseries, crèmes glacées, dentifrices, sauces	
Acide citrique	Empêche la précipitation d'oxydes métalliques	Empêche la précipitation d'oxydes métalliques	
Alcool isopropylique	Réduit la tension superficielle du fluide de stimulation afin de faciliter l'extraction du liquide du puits après stimulation	Utilisé dans les nettoyants à vitres, nettoyants multi-surfaces, anti-transpirants, déodorants et produits de coloration des cheveux	

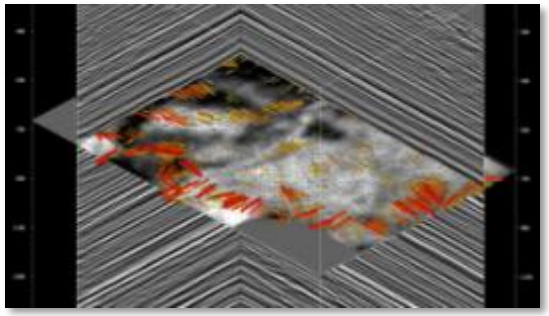
Transparence sur les composés utilisés. Réglementation européenne Reach.
Transport selon les exigences ECTA

SISMICITÉ
A LA RECHERCHE DE PLUS DE SURETÉ, D'ENVIRONNEMENT ET D'ÉCONOMIES

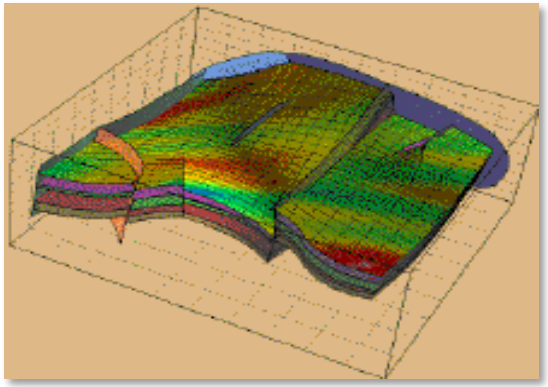


- Les opérations de forage et de fracturation hydraulique induisent des micro évènements sismiques

- Des études préalables du sous sol sont nécessaires pour
  - Avoir une très bonne image et une meilleure compréhension du sous sol
  - Détecter la présence éventuelle de failles
  - Positionner les puits à distance des failles. (>100m)
  - Prédire les zones fracturables loin des failles
  - Optimiser le nombre et le placement des puits d'exploitation



Structural interpretation & Geomechanical models



- Les résultats de ces études doivent être audités et revus par des organismes fiables et indépendants pour une évaluation sérieuse des risques

- Un monitoring micro-sismique doit être mis en place depuis le début de l'activité sur site

QUELS IMPACTS POUR L'ENVIRONNEMENT IMMÉDIAT?

- Occupation du Sol – Impact Visuel
- Nuisances sonores
- Risques de pollution du sol
- Règlementation
- Conclusion

DES QUESTIONS D'ENVIRONNEMENT DEVENUES DES PROBLÈMES POLITIQUES

ENVIRONNEMENT Après l'Ardèche et la Haute-Savoie, les opposants se mobilisent en Savoie, concernée par des demandes de permis de recherche

Vent de fronde contre les gaz de schiste

Les banderoles fleurissent dans les Bauges

Visitez les Bauges, son Géopark, ses stations, ses alpages et... ses forages de gaz de schiste. Scénario catastrophe pour le parc régional naturel ? On en est loin, mais la contestation s'amplifie dans la partie savoyarde du massif, après avoir essaimé côté haut-savoyard. Surprise pour les vacanciers qui traversent un territoire jusque-là protégé des catastrophes écologiques. Les banderoles fleurissent d'un village à l'autre comme les jonquilles au printemps.

Comme au Noyer, où Françoise Besson est l'une des opposantes les plus convaincues. « Nous ne sommes peut-être pas concernés directement dans notre commune, mais ce n'est pas une raison pour oublier les autres. C'est une façon de réveiller la conscience des gens où qu'ils se trouvent. Le 11 février, lors de la grande manifestation à Saint-Julien-en-Genevois, toutes les personnes étaient invitées à exprimer leur opposition là où elles habitent. »

« Il faut réveiller la conscience des gens où ils se

Au cœur des Bauges, le petit village du Noyer n'est pas plus concerné qu'un autre par la demande de permis de recherche. Mais la sensibilité écologiste d'une partie des habitants explique la montée de l'opposition aux gaz de schiste Le DL/Sylvain MUSCIO

TROIS QUESTIONS A...

Eric Féraille
Président régional de la FRAPNA

« La loi actuelle laisse la porte ouverte à toutes les dérives »

■ **Pourquoi cette montée de tension maintenant ? Les élections à venir y sont-elles pour quelque chose ?**

« Il a d'abord fallu que l'on prenne la mesure des enjeux dans la région. Nous les avons découverts au fur et à mesure. C'est d'autant plus compliqué qu'il faut savoir lire entre les lignes. Il faut ensuite prendre le temps d'informer les gens. Les élus commencent à prendre position. En Haute-Savoie, une dizaine se sont déjà prononcés contre. Les grands élus sont plus frileux. Le PS s'est engagé l'automne dernier contre toute forme d'extraction. Il faut rester prudent face aux promesses en période électorale. »

■ **Mais que faut-il vraiment redouter puisque la loi interdit l'extraction par fracturation hydraulique ?**

« Ce texte n'était pas satisfaisant et nous nous sommes fait rouler dans la farine. La loi n'interdit pas les forages ni les extractions à titre dérogatoire et expérimental. Ce qui laisse la porte ouverte à toutes les dérives. Or, nous savons qu'il y a des gaz de schiste dans notre région. Les recherches menées dans les années 70 par les compagnies pétrolières l'ont clairement établi. »

■ **En quoi les demandes de permis concernent la Savoie ?**

DANS LES BAUGES

Mobilisation contre le gaz de schiste

Les habitants de plusieurs villages des Bauges s'inquiètent de demandes de permis pour procéder à des

OCCUPATION DU SOL - IMPACT VISUEL

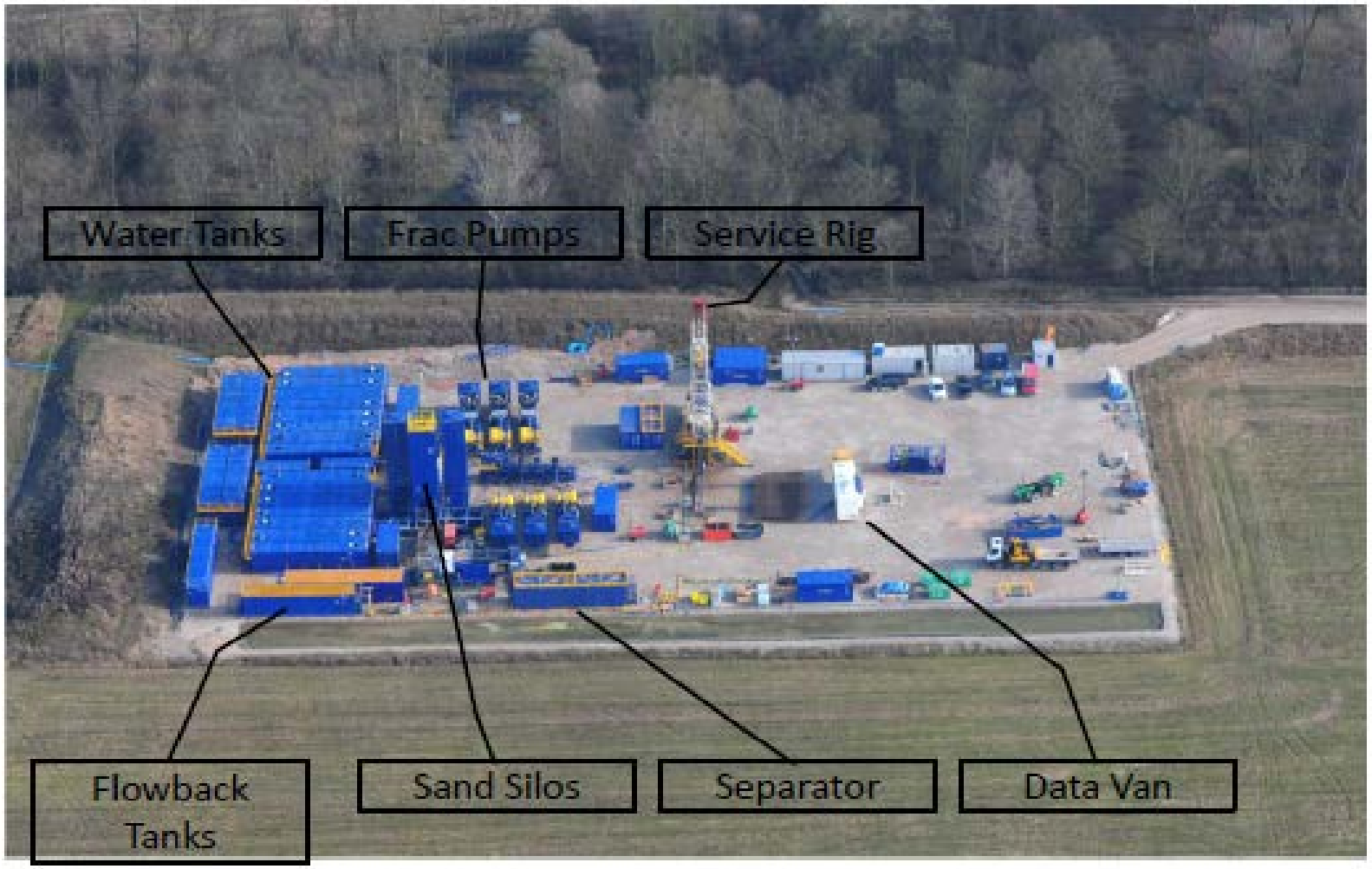
Préalable :

- **Respect de la réglementation existante : sites natura 2000 , parcs naturels**
- **Avant tout choix de site, étude d'impact et prise en compte de facteurs liés**
  - à la biodiversité ,
  - aux conditions de sol ,
  - à l'hydrographie ,à la topographie

Phase d'exploration /appréciation

- **Forage de 1 à 3 puits verticaux** avec ou sans stimulation hydraulique
- **Empreinte au sol : superficie de 100mx100m** pour le rig de forage et les équipements de fracturation.
- **Possibilité de réduction de l'empreinte** (rig compact , citernes verticales)
- **Impact visuel :** mât du rig 30/35 m mais temporaire et à comparer avec des éoliennes (50 à 80m)

OCCUPATION DU SOL - IMPACT VISUEL
EXPLORATION - APPRÉCIATION



NUISANCES SONORES
EXPLORATION - APPRÉCIATION

- **Préalable :**
  - Respect des normes et réglementations en vigueur selon emplacement des installations, zones habitées ou inhabitées : sites natura 2000 , parcs naturels
  - Les nuisances bruits et poussières sont encadrées par la réglementation RGIE

- **Phase d'exploration /appréciation**
  - En premier ,maitrise des bruits liés aux opérations de forage
  - - Utilisation de rigs nouvelle génération conformes aux dernières réglementations (France+ Europe) . Exemple : 55 db à 300m
  - - Préférence pour entrainement par moteurs électriques, centrale diesel insonorisée ou si possible ,connexion au réseau
  - - Pour les zones sensibles ,utilisation de murs antibruit
  - Limitation du bruit des équipements de fracturation hydraulique –pompes et leurs moteurs d'entrainement au diesel par utilisation de caissons d'insonorisation + murs antibruit autour du site si nécessaire

NUISANCES SONORES
PHASE DE DÉVELOPPEMENT - EXPLOITATION

- **Impacts et contraintes identiques pour les opérations de forage et de stimulation de la phase exploration.**
- **Bruits liés à la torche : caractère exceptionnel suite à une opération d'urgence et de sécurité – dépressurisation**
- **Bruit lié au traffic routier :**
- **Minimisation à la source :**
  - **Limitation du traffic et choix plans de circulation en consultation avec autorités et communautés locales**
  - **Trafic de nuit minimal dans les zones habitées**
  - **Amenée de l'eau par tuyauteries enterrées**
- **Restent à gérer :**
  - **Apport du sable et des produits chimiques ~100 camions par puits**
  - **Mobilisation du rig ~60 camions une fois par pad**
  - **Mobilisation des équipements de stimulation ~de 50 à 100 camions une fois par pad**

CONCLUSION - ACCEPTABILITÉ

- **Des contraintes dont certaines sont nouvelles par rapport à des opérations conventionnelles mais gérables et maitrisables, accompagnées de mesures spécifiques:**
  - **Une surveillance environnementale auditable**
    - Contrôle des nappes superficielles (piézométrie ,pollution)
    - Contrôle des cours d'eau au voisinage des installations (pollution)
    - Ecoute sismique avec localisation des micro-séismes par capteurs en
    - surface et /ou en forage
    - Mesures de bruit des installations
    - Détection et mesures d'émanation de gaz en surface
  - **Etat des lieux initial (état zéro) et étude d'impact environnemental**
- **Les consultations avec les autorités et communautés locales restent essentielles**

RETOMBÉES LOCALES?

La problématique fiscale et ses éventuels allègements est du même ordre.

Discussions inextricables suite aux baisses des revenus de la commune

PARTIE 6 : CONSIDÉRATIONS ÉCONOMIQUES SUR LA PRODUCTION DES PÉTROLES ET GAZ DE ROCHES MÈRES

Une modélisation technique et économique encore balbutiante
Une économie très différente de celle des pétroles et gaz conventionnels
Des caractéristiques économiques opposées à celle des pétroles ultra-lourds (sables bitumineux)

ORDRES DE GRANDEURS TECHNICO-ÉCONOMIQUES CONCERNANT LES GISEMENTS DE PÉTROLES ET DE GAZ

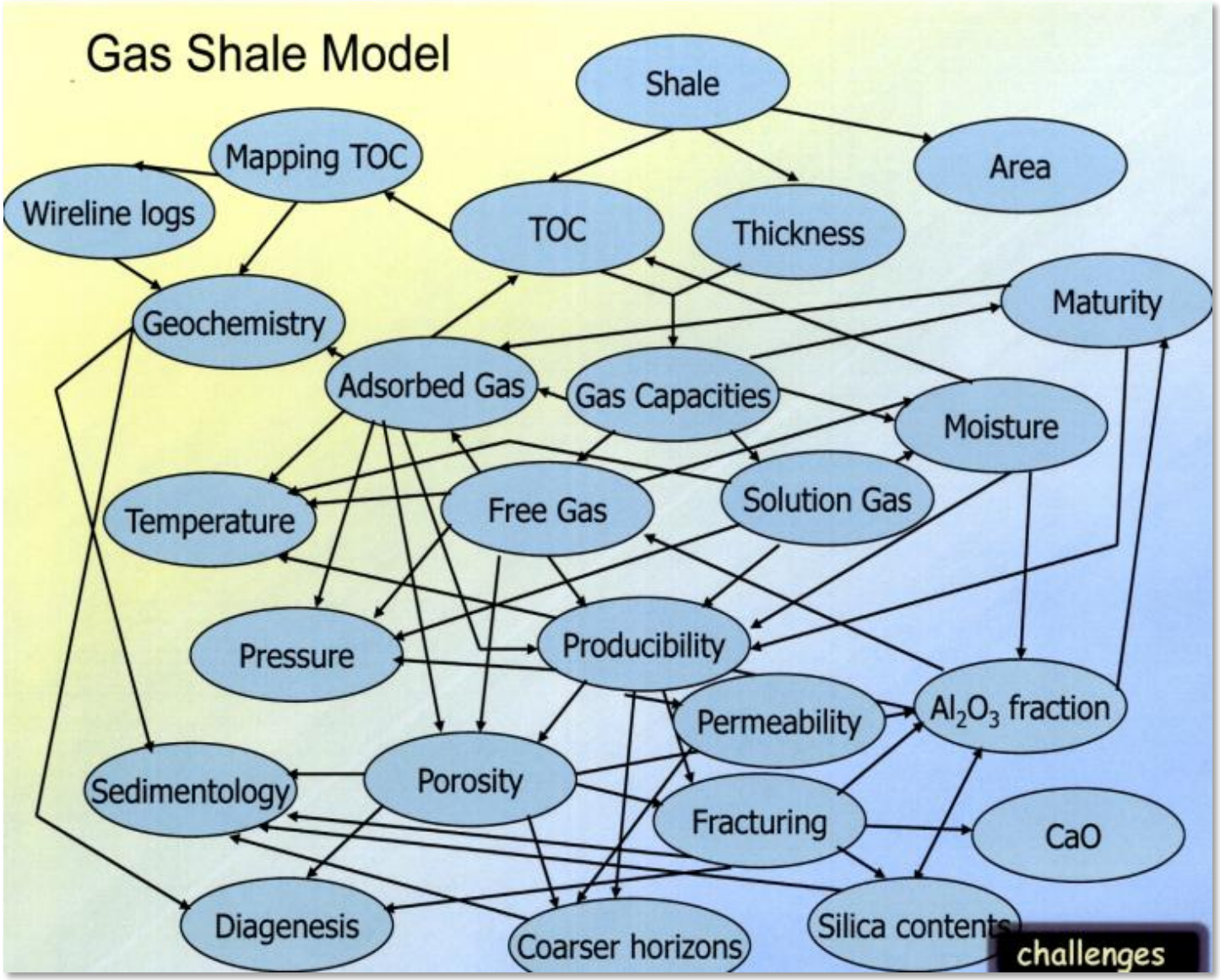
de la vie d'un gisement

- **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**

LA MODÉLISATION DES RÉCUPÉRATIONS DANS LES ROCHES MÈRES!!!



HC Expulsion Modelling
Darcy Law

Intrinsic permeability K

Relative permeability phase i

How Temis calculates the amount of generated HCs that migrate out of SRs layers?...

$$U_i = -\frac{Kkr_i}{\mu_i}\left(\text{grad}(P - \rho_w g z) + \text{grad}(P_c) - (\rho_w - \rho_i)\text{ggrad}(z)\right)$$

Viscosity phase i

hydrodynamism

capillarity

buoyancy

Relates the flow rate Ui of phase i to the different driving forces.

(calculation of HCs and water movements within the porous media)

©Beicip-Franlab

puits économique à 6,5 $/kcf TOD 6229

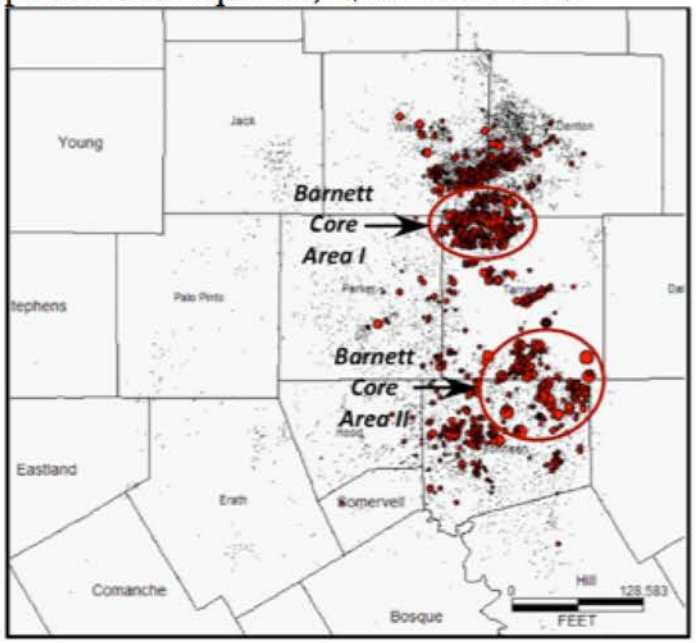
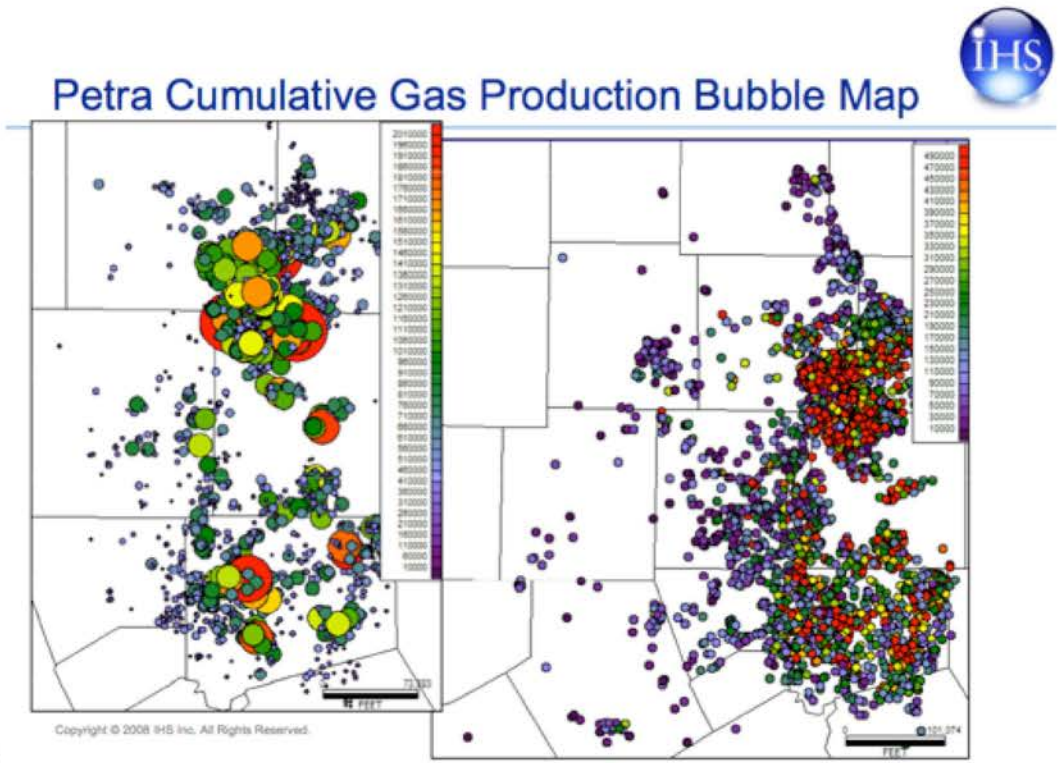


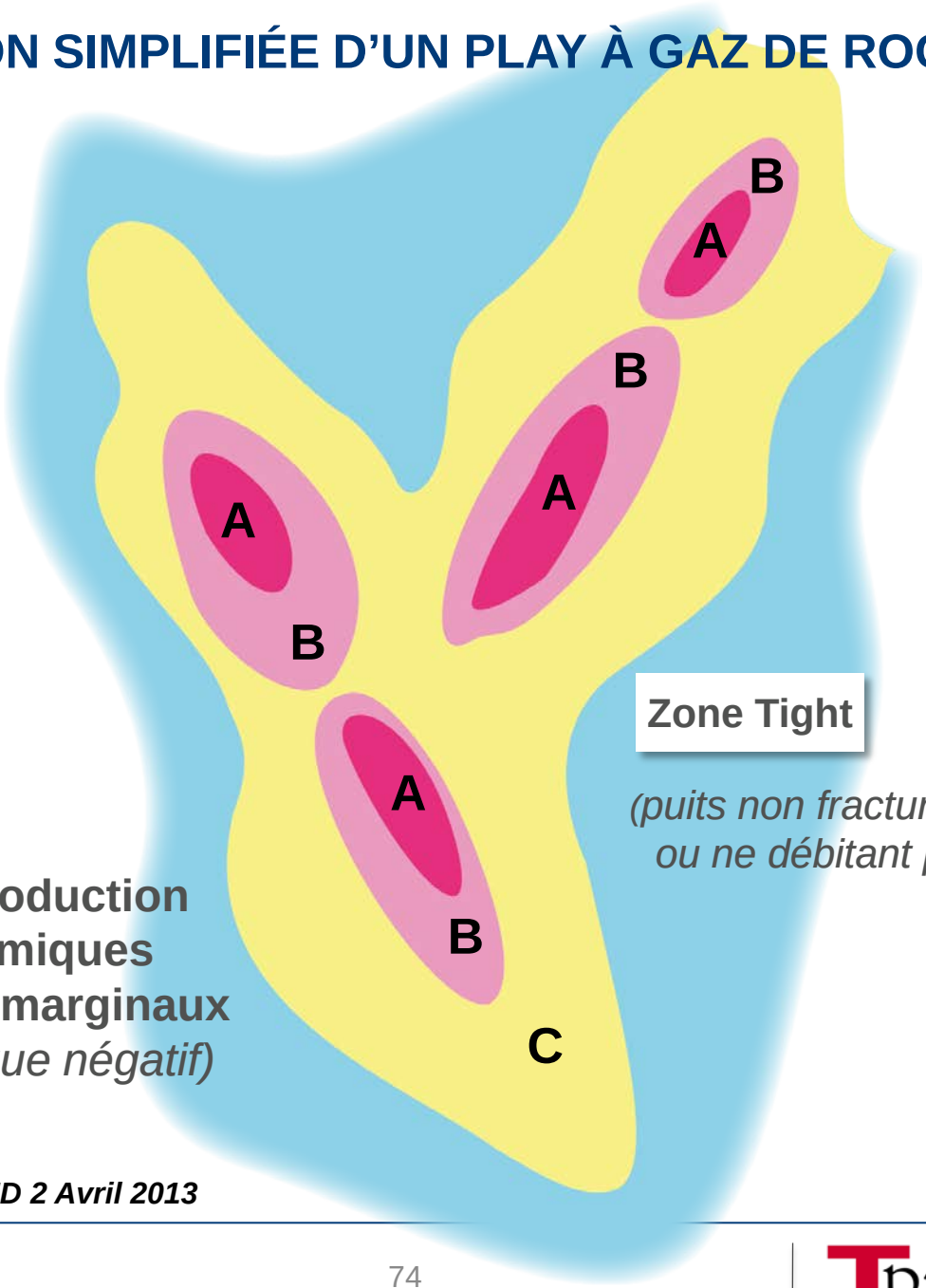
Figure 8. Barnett Shale horizontal wells. Red circles represent wells estimated to be commercial at $6.50/Mcf netback natural gas price. The Barnett core areas are shown. Data provided courtesy of IHS Inc. However, the analysis and opinions expressed here are solely those of the author and do not represent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

carte IHS Petra Reimers 2008 des volumes cumulées et annuels



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)

Source : PR BAUQUIS – LIED 2 Avril 2013

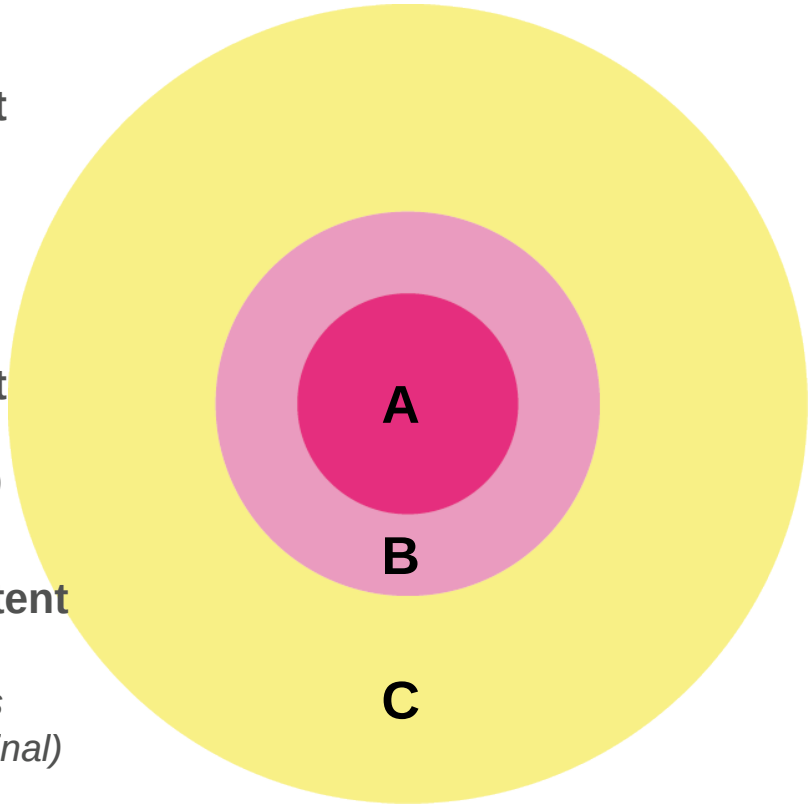
REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE D'UNE DISTRIBUTION DE PUITS DANS UN PLAY DE ROCHES MÈRES

- **Exemple théorique de distribution des puits dans un play de roches mères de 100 km² (puits supposés implantés selon une grille systématique)**

A **Les puits rapportent en chiffre d'affaires (huiles + gaz) 3 à 20 fois leur coût**

B **Les puits rapportent 1 à 3 fois leur coût** *(puits sub-économiques)*

C **Les puits ne rapportent que 0,1 à 1 fois leur coût** *(non économiques mais productifs en marginal)*



A **20 Km²**
20% des puits
60% des productions cumulées
(i e des réserves)

B **20 Km²**
20% des puits
20% des productions cumulées

C **60 Km²**
60% des puits
20% des productions cumulées

Source : PR BAUQUIS – LIED 2 Avril 2013

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

- **Deux grandes familles de pétroles 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 statisques 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 caratéristiques 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

Source : PR BAUQUIS – LIED 2 Avril 2013

PARTIE 7 : GAZ ET PÉTROLES DE ROCHES MÈRES AUX ÉTATS-UNIS

Quelques données de base
La révolution des prix du gaz naturel
Le desserrement de la contrainte pétrolière

BASSINS AMÉRICAINS (ROCHES MÈRES)

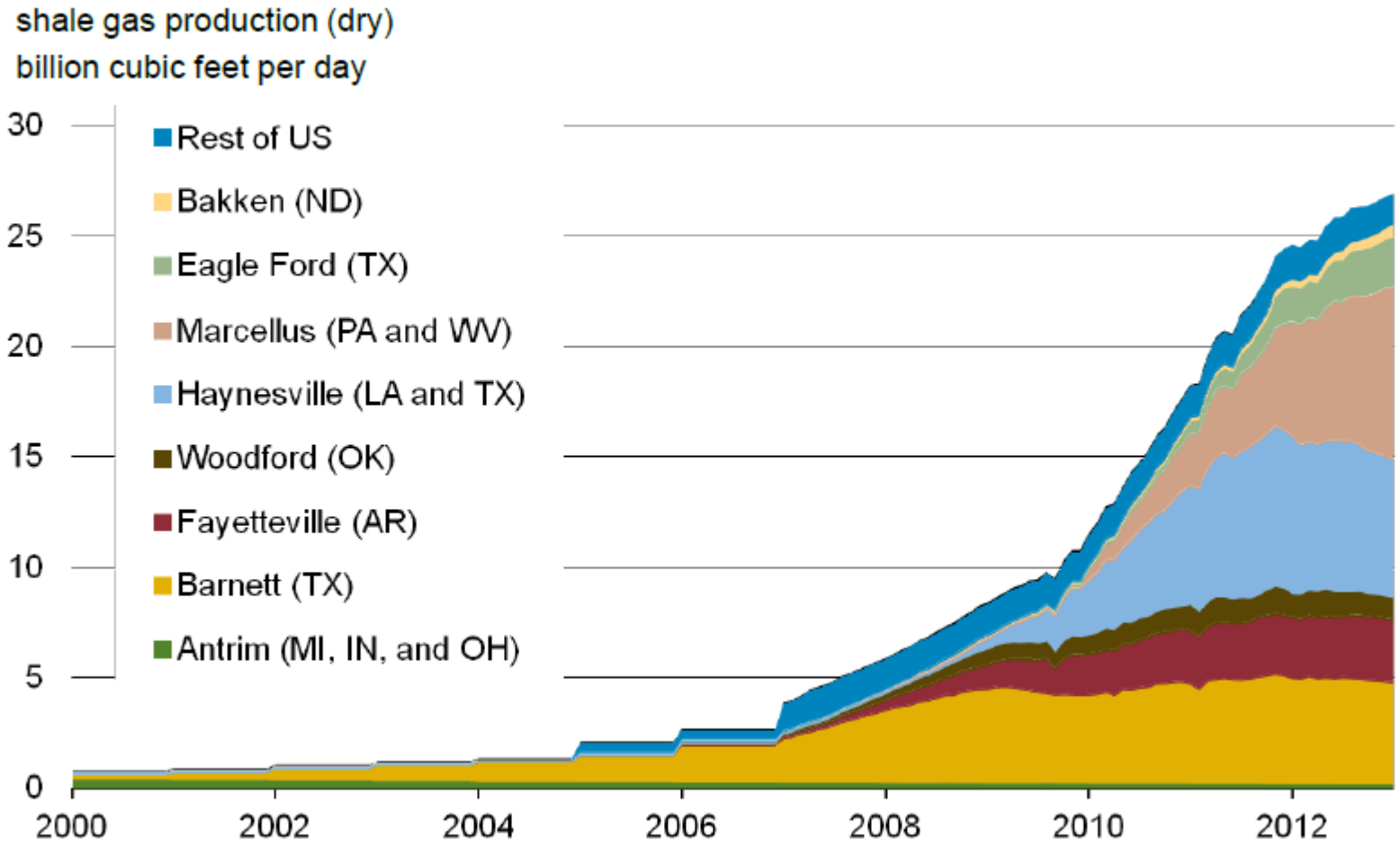
Source: Energy Information Administration based on data from various published studies.
Updated: May 9, 2011

Guy Maisonnier 3 octobre 2013

LES SPÉCIFICITÉS DU MODÈLE AMÉRICAIN

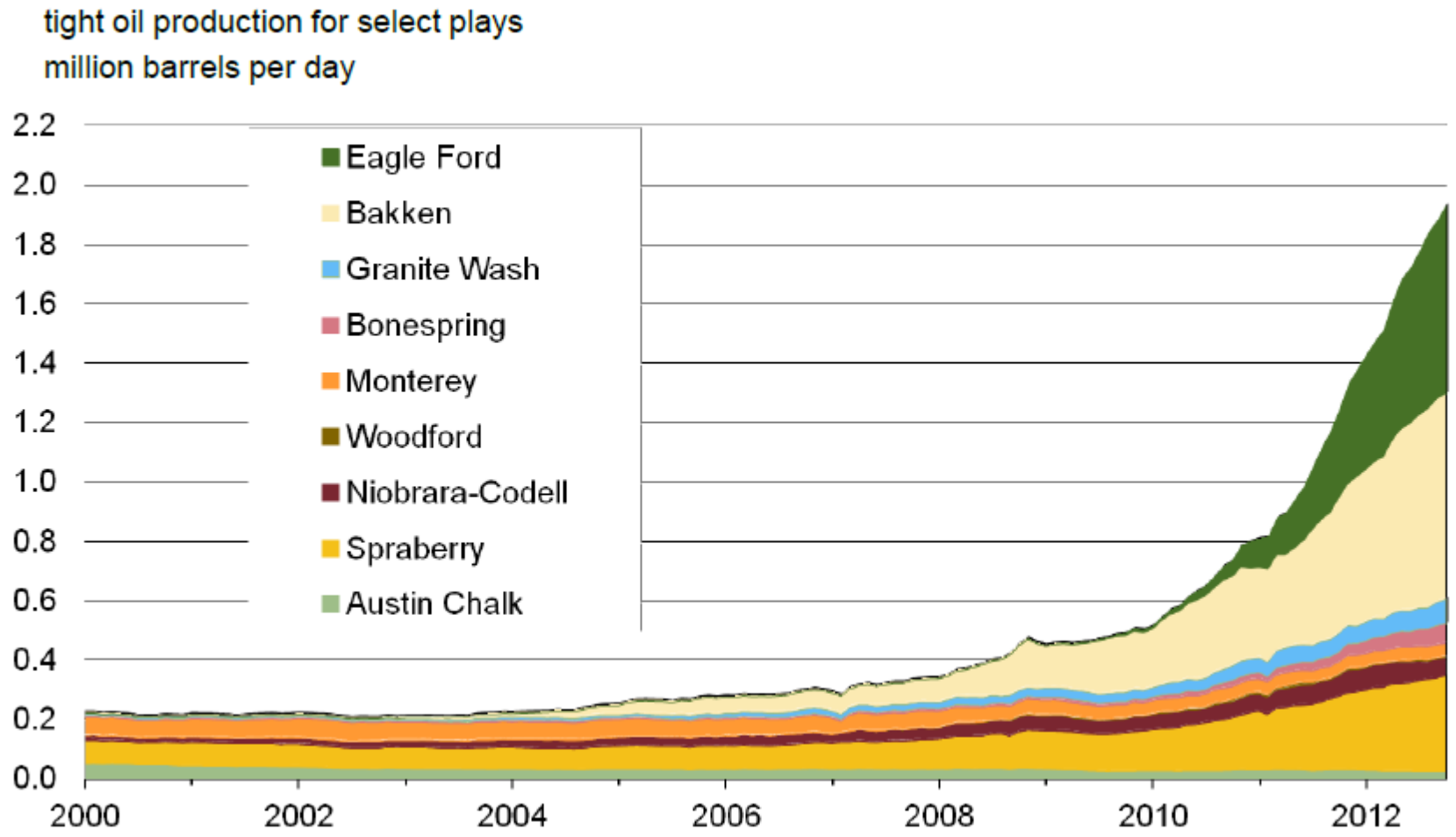
- Il est économiquement motivant pour une partie de la population locale: royalties pour les nombreux détenteurs de droits miniers (le sous-sol appartient aux propriétaires du sol), taxes locales, emplois etc.
- La législation est en général favorable à ce type d ’activités (fiscalité, autorisations d’opérer, environnement).
- De nombreuses sociétés de service, principalement de forage, sont présentes sur les sites avec les équipements et un personnel expérimenté dans les techniques, d’où des prix très compétitifs.
- Les populations sont habituées aux travaux des pétroliers dans de nombreuses régions mais n ’est pas toujours le cas.

GAZ DE SCHISTE PAR BASSINS



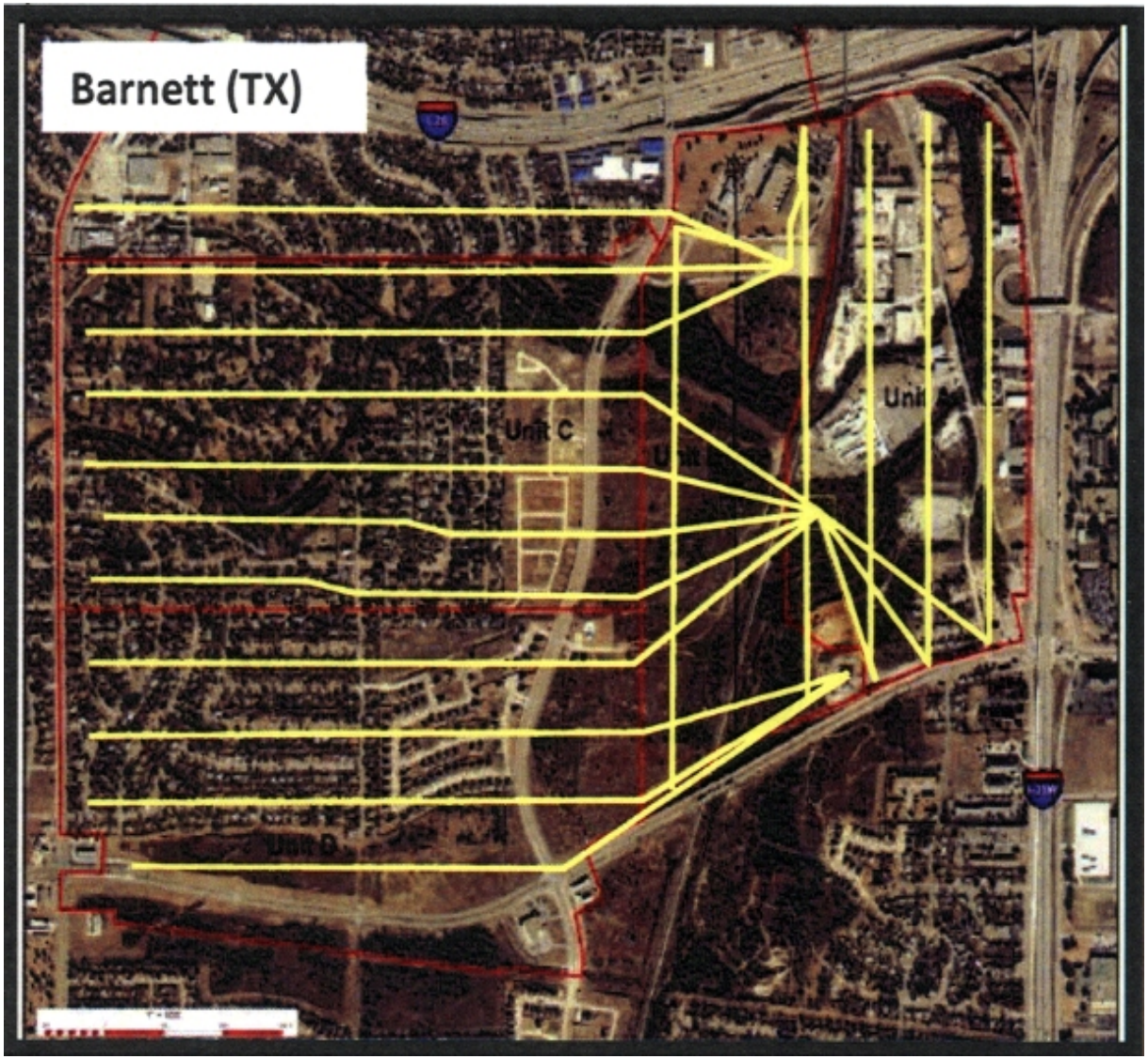
Guy Maisonnier 3 octobre 2013

HUILES DE SCHISTE PAR BASSINS

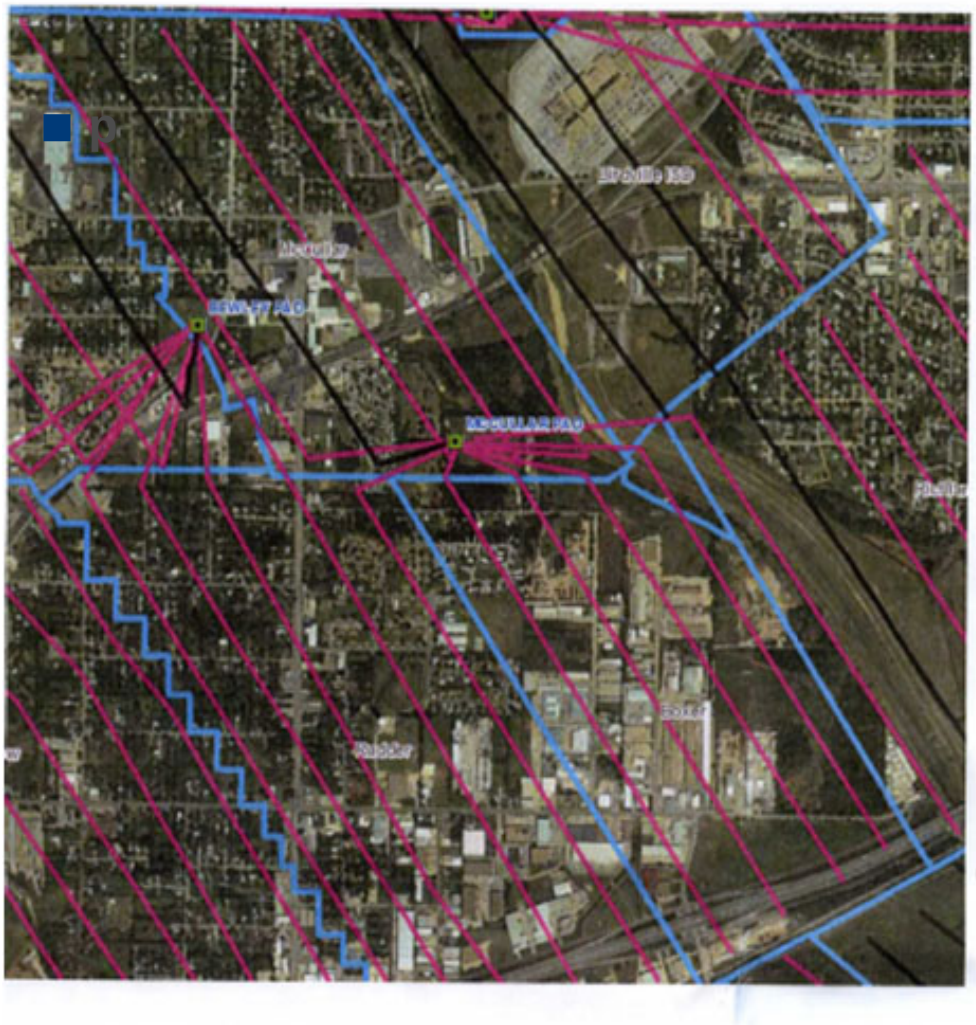


Guy Maisonnier 3 octobre 2013

TRAJECTOIRE DE PUITS EN ZONE URBANISÉE



CLUSTER DE PRODUCTION. AÉROPORT DE DFW (DALLAS)



Drilling Info

Spud Date: 12/25/2010
TMD: 11,680'
TVD: 7,232'
Lateral Length: 4,026'
Drilling Days: 10
Shale Thickness: 320'

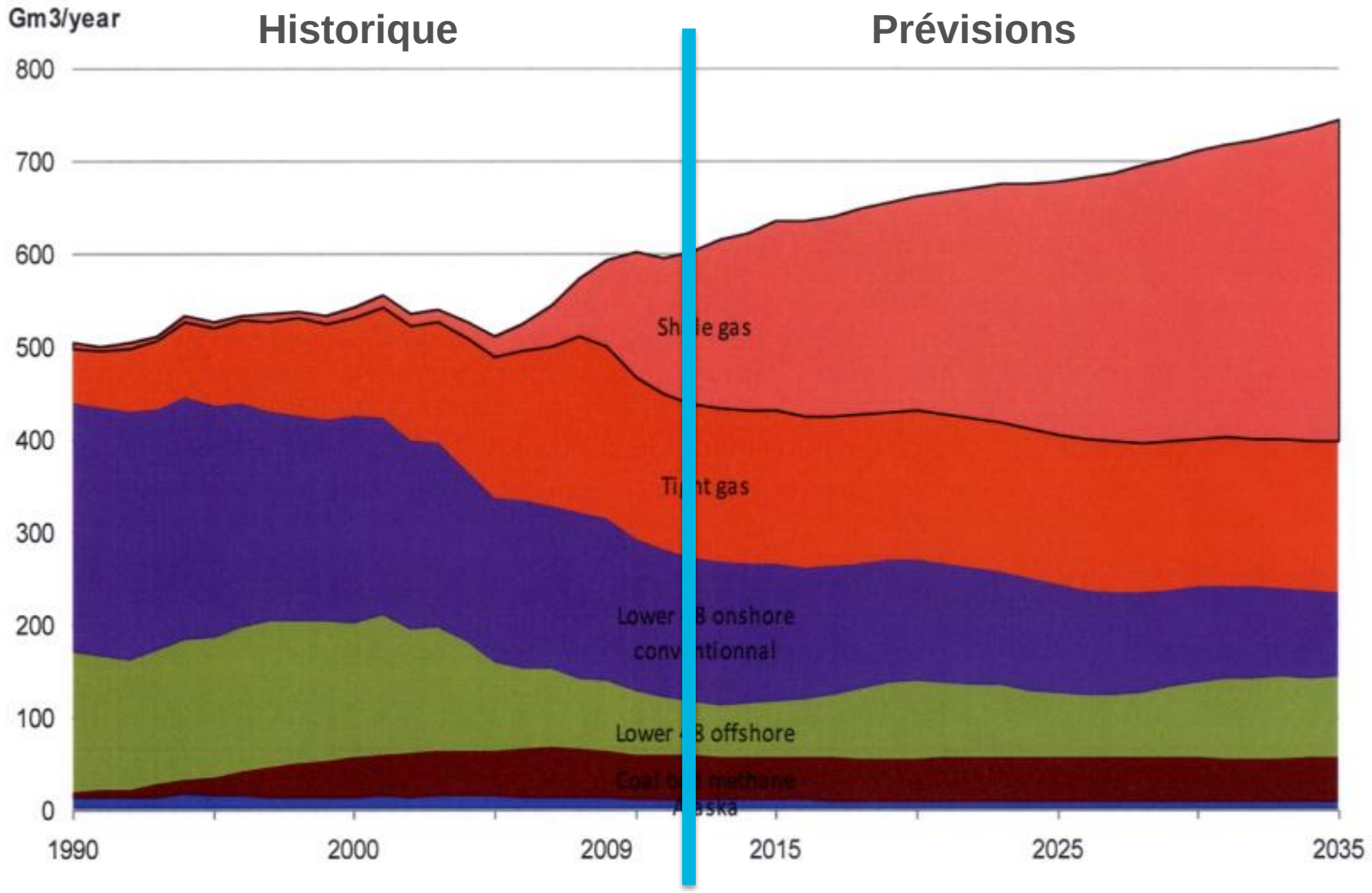
Completion Info

6 Stages
900,000 lbs of Proppant used
21,536 bbl of Fluid
3.6 Hours of Pump Time

Puits McCullar 4H

Sources: Chesapeake energy

IL S'AGIT BIEN D'UNE RÉVOLUTION DANS LA PRODUCTION GAZIÈRE AMÉRICAINE.

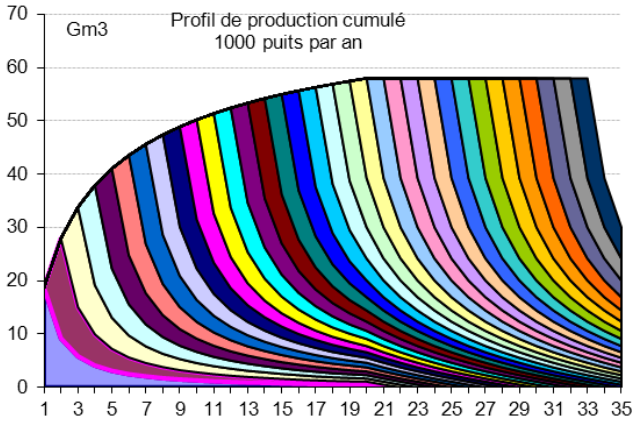


GAZ ET HUILES DE SCHISTE : MODÉLISATION BASE US « MOYENNE »

- **Technique & profil de production spécifiques**
  - **Nombre très important de puits de production**
    - US 2010 : 33 700 (50/50 P/G; 50% Hor.)
      2030 : 58 000 puits/an (80/84 : + de 80 000 puits/an)

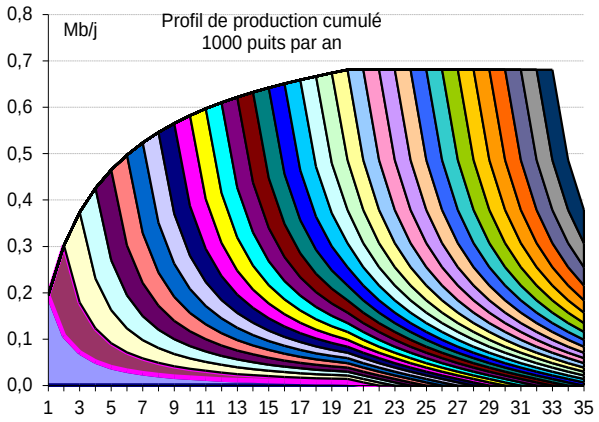
Exemple développement base 1 000 puits par an

Gaz de schiste -> 60 Gm3



Récupération par puits : 2 BCF/ 58 Mcm

Huiles de schiste -> 0,7 Mb/j



Récupération par puits : 0,25 Mbbl

D'après Guy Maisonnier 3 octobre 2013

LES ETATS-UNIS FUTURS EXPORTATEURS DE PÉTROLE ?

		Production US Pétrolière (NGL inclus) Mb/d (*)	Consommation US Mb/d	Ecart Cons^{t} – Prod^{t} (deficit)	Déficit en % Des besoins (**)
Réalisation	2008 2010 2011 2012 (est)	6,7 7,6 7,8 (9,0)	19,5 19,0 18,8 (18,5)	12,8 11,4 11,0 (9,5)	65% 60% 58% 51%
Estimation	2020 (*)	(a) (10) (b) (8)	(15,0)	5 à 7	33 à 47%
	2050	(a) (8) (b) (5)	(15,0) (12,0)	3 à 7	25 à 58%

(*) AIE (2018: 11,92!)

Estimations P.R. BAUQUIS (production version haute : a – production version basse : b

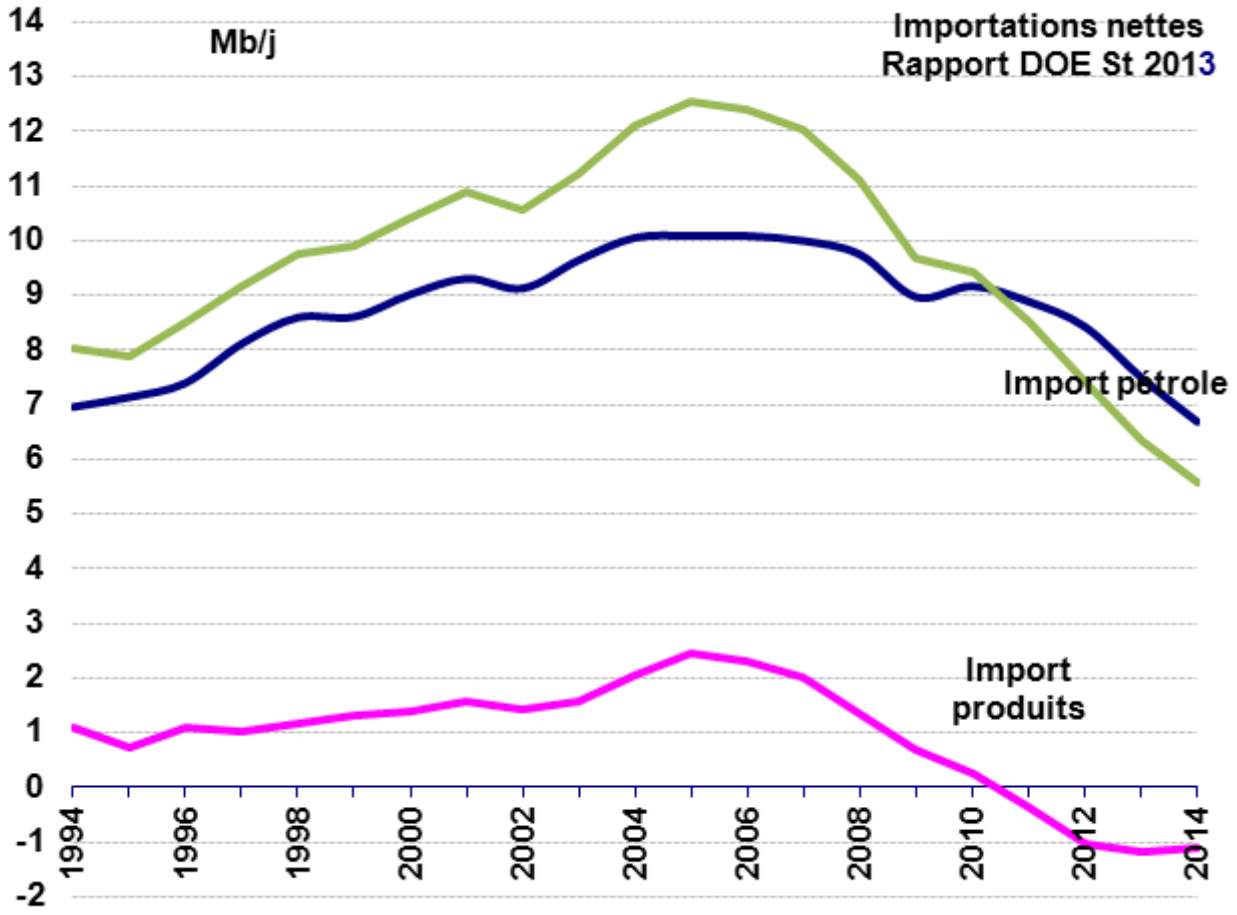
(*) Ne sont inclus que les NGL's allant dans le raffinage. Les « refinery gains » et les biocarburants ne sont pas inclus

(**) Ces déficits seront à couvrir essentiellement par les importations mais aussi par les synthétiques produits aux US (biofuels)

Les USA ne semblent en aucun cas pouvoir devenir exportateurs nets de pétrole (contrairement aux vues de l'AIE ou du CERA)

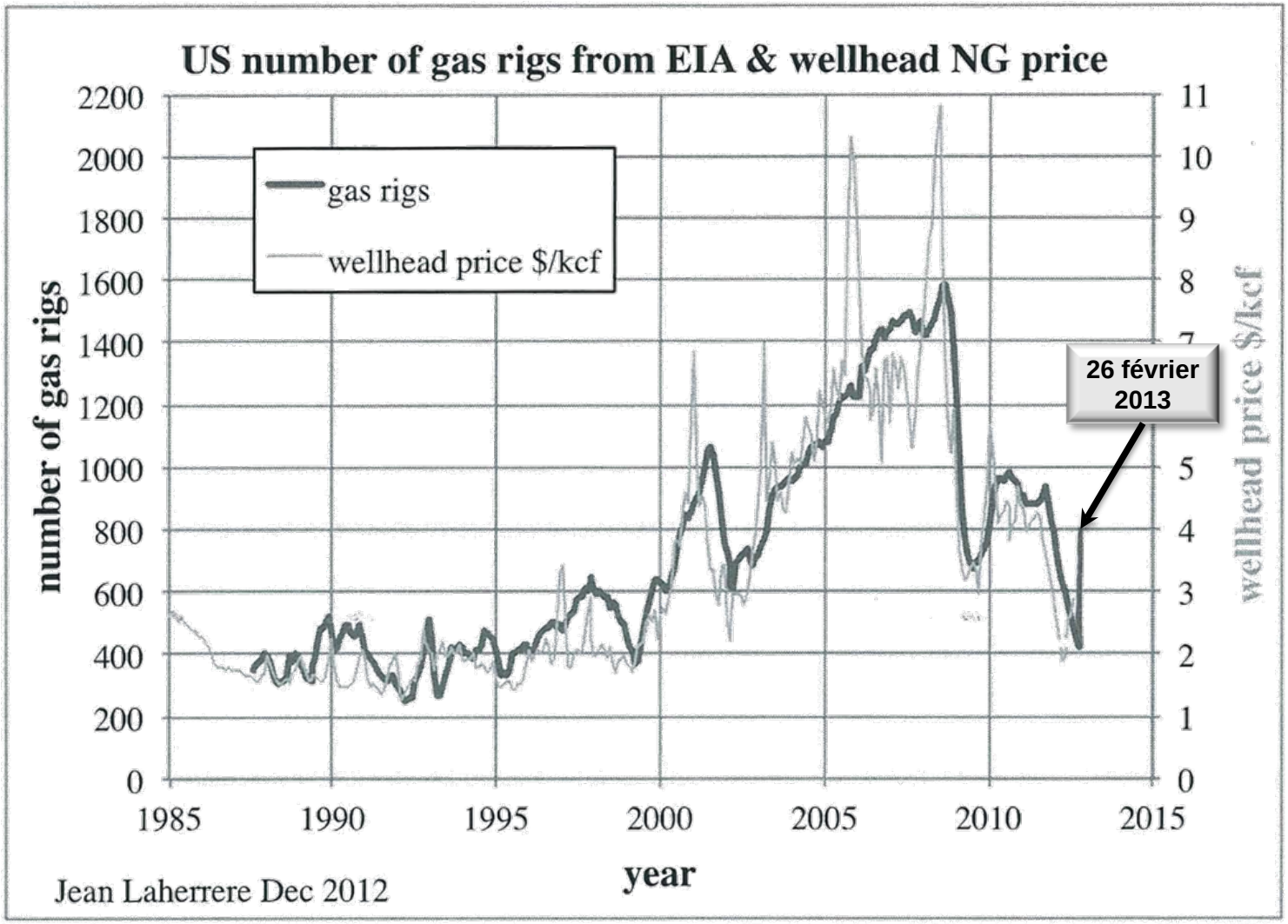
Source: PR BAUQUIS (Téréos: 06 2013)

BILAN IMPORTATIONS PÉTROLIÈRES AMÉRICAINES (1994-2014 est.)

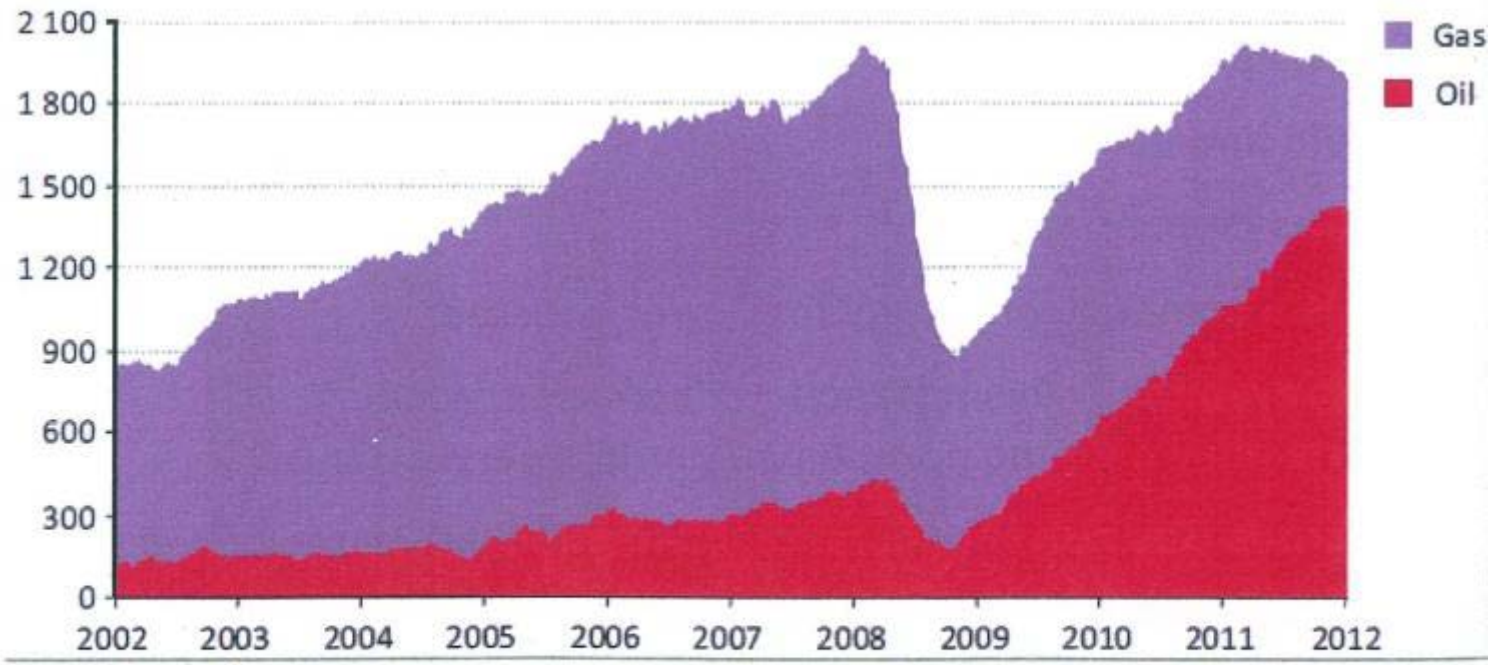


D'après Guy Maisonnier 3 octobre 2013

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

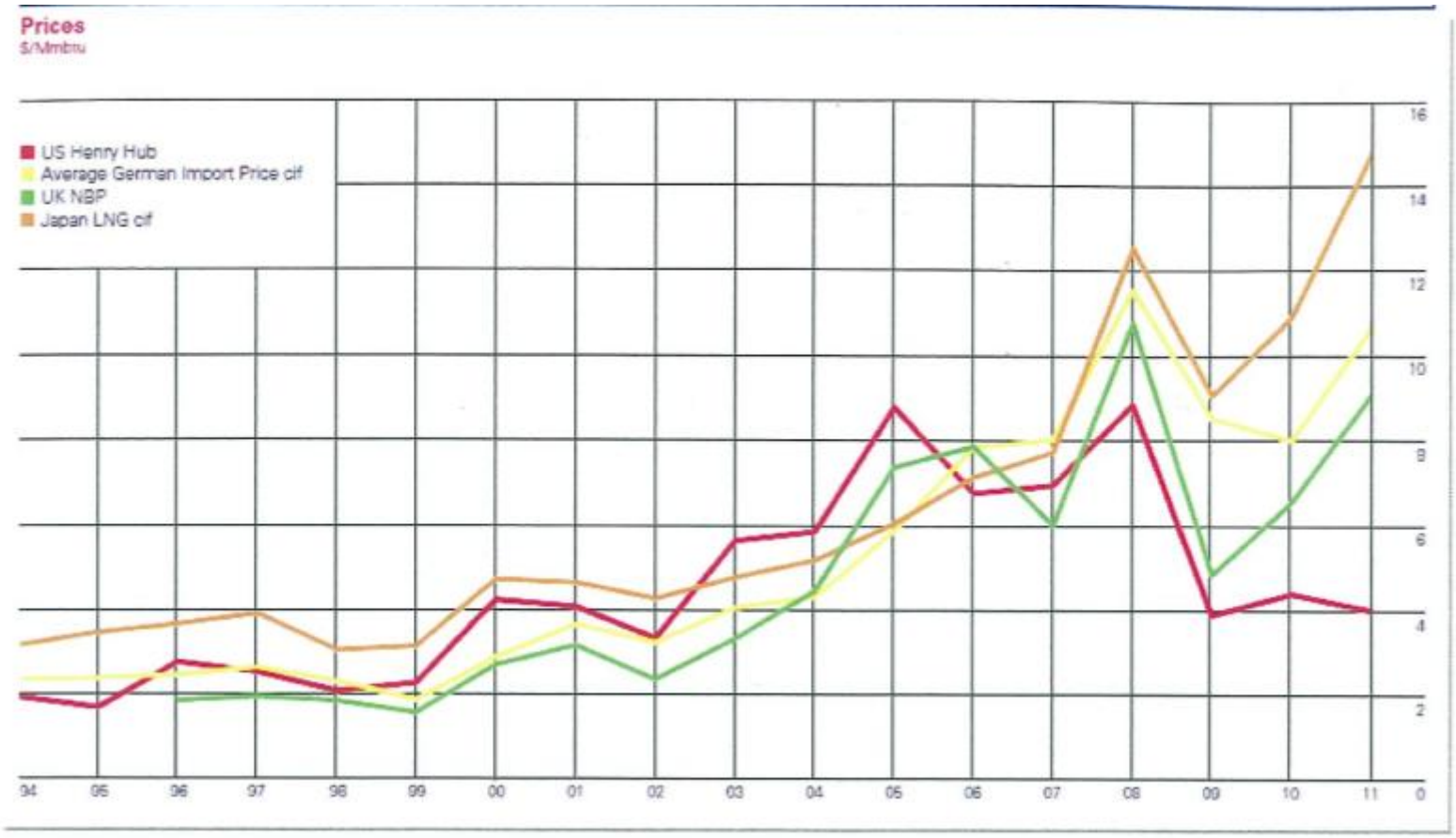


ACTIVE DRILLING RIGS IN THE US 2002 - 2012



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

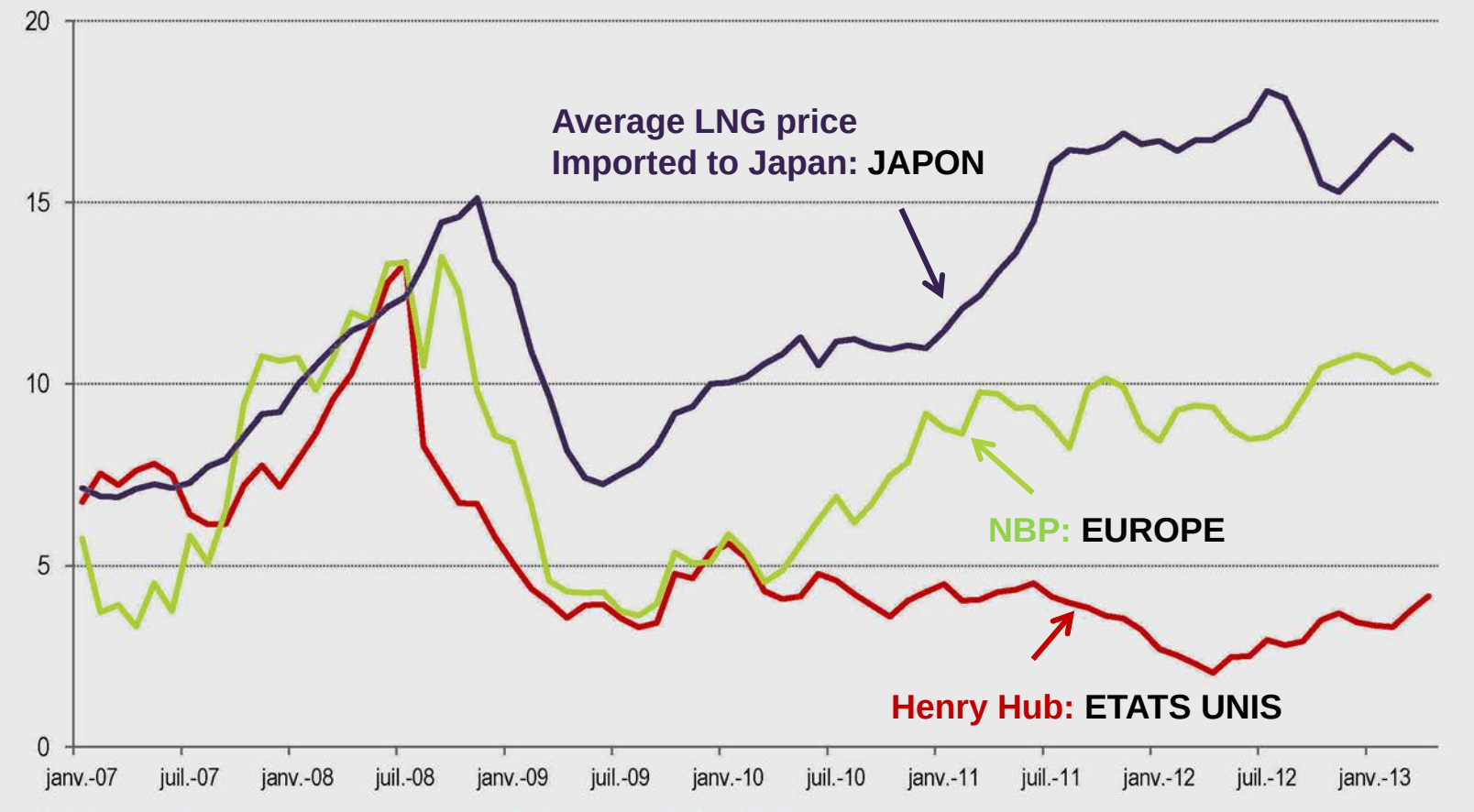
EVOLUTION OF NATURAL GAS PRICES (2) 1994 - 2011



Source: BP Statistical review 2012

LES PRIX DU GAZ DÉCONNECTÉS ENTRE LES RÉGIONS

- **Prix du gaz (moyennes mensuelles) en $Mbtu**



Sources: Platt's

ufip
UNION FRANÇAISE DES INDUSTRIES PÉTROLIÈRES

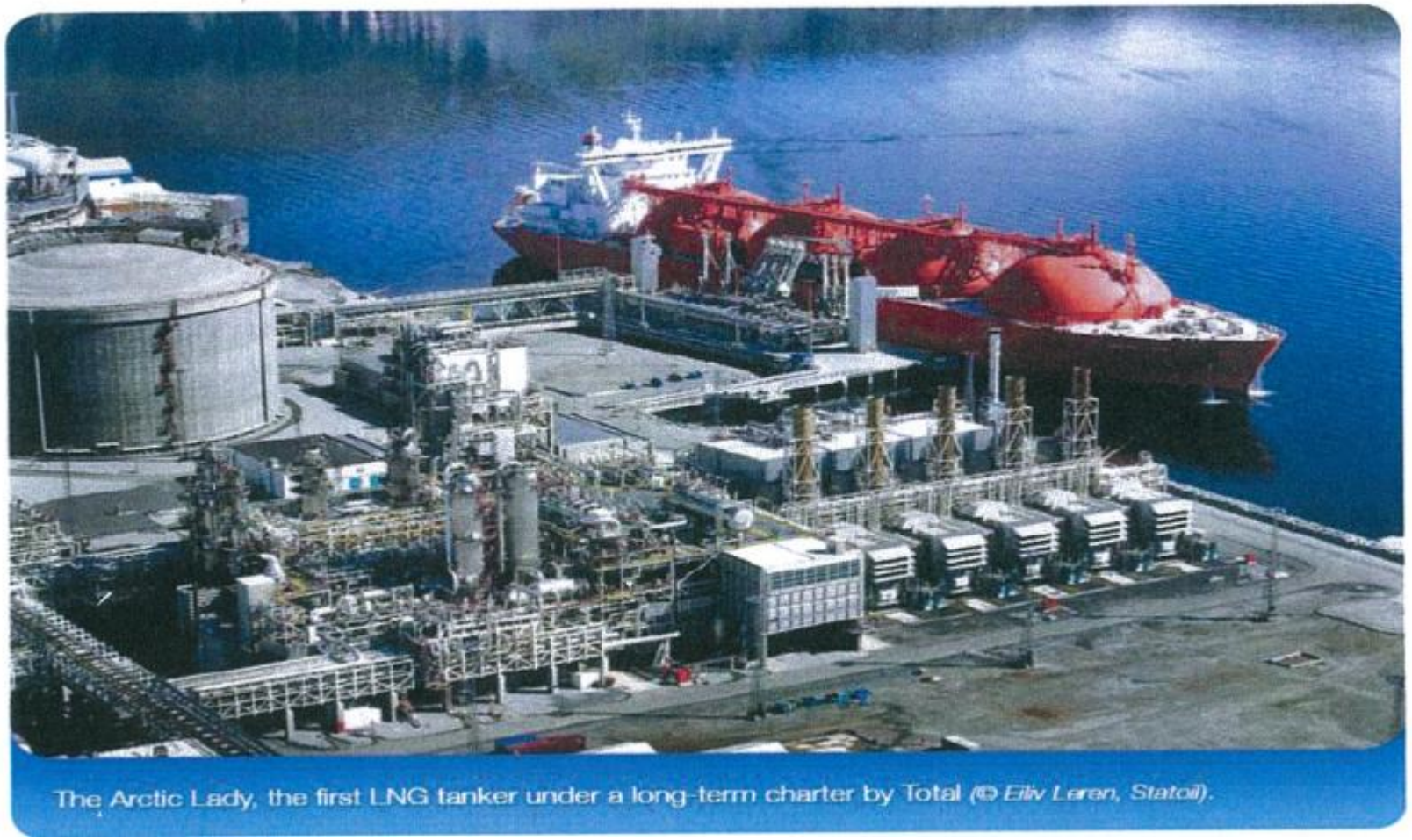
03 Octobre 2013

LES ETATS UNIS, FUTURS EXPORTATEURS DE GAZ.

- **Une autorisation d'exportation de GNL donnée dès 2012 au groupe Chenières pour la vente en Europe (UK et autres).**
- **Deux autres autorisations d'export de GNL données en 2013.**
- **Une douzaine de demandes d'exportation à l'étude.**
- **Une lutte politique interne aux US appelée à se durcir entre les sociétés favorables à ces exportations (pétroliers, sociétés de services, engineerings) et celles opposées (grands consommateurs de gaz : électriciens, chimistes, autres industriels).**

Les USA (et le Canada) vont devenir des exportateurs de GNL dès 2016

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

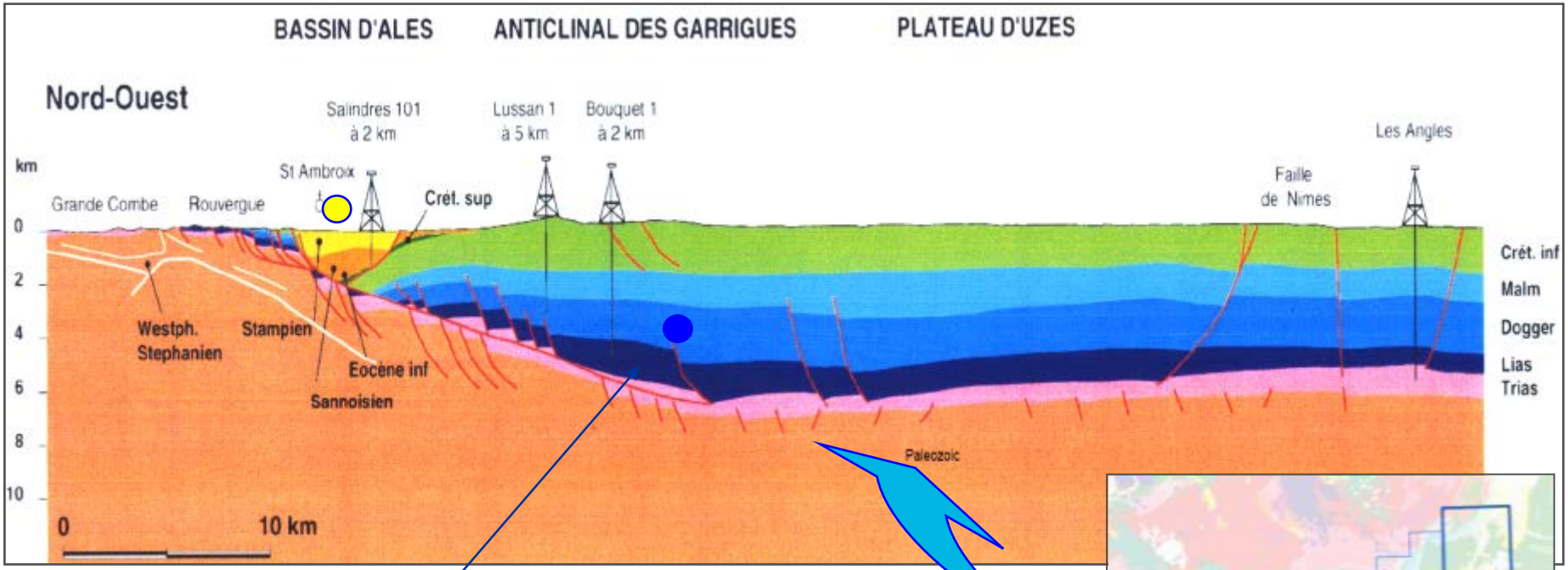


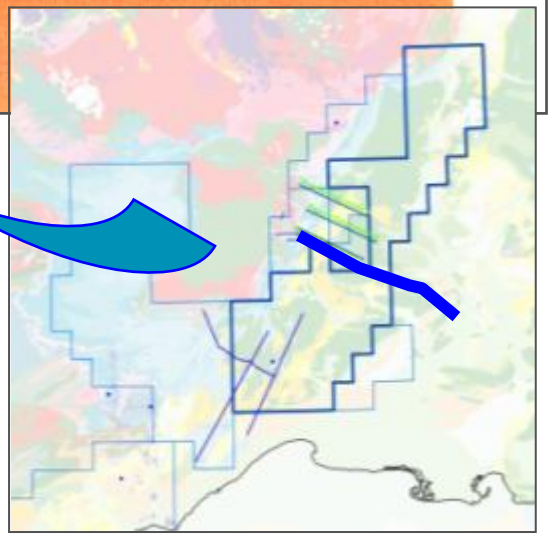
The Arctic Lady, the first LNG tanker under a long-term charter by Total (© Eiliv Læren, Statoil).

PARTIE 8 : GAZ ET PÉTROLES DE ROCHES MÉRES EN FRANCE ET EN EUROPE

Des conditions fondamentales différentes des USA
L'absence d'alternatives à la fracturation hydraulique
Un potentiel géologique… à confirmer au plan économique

SOUTH EAST BASIN : REGIONAL NW-SE CROSS-SECTION

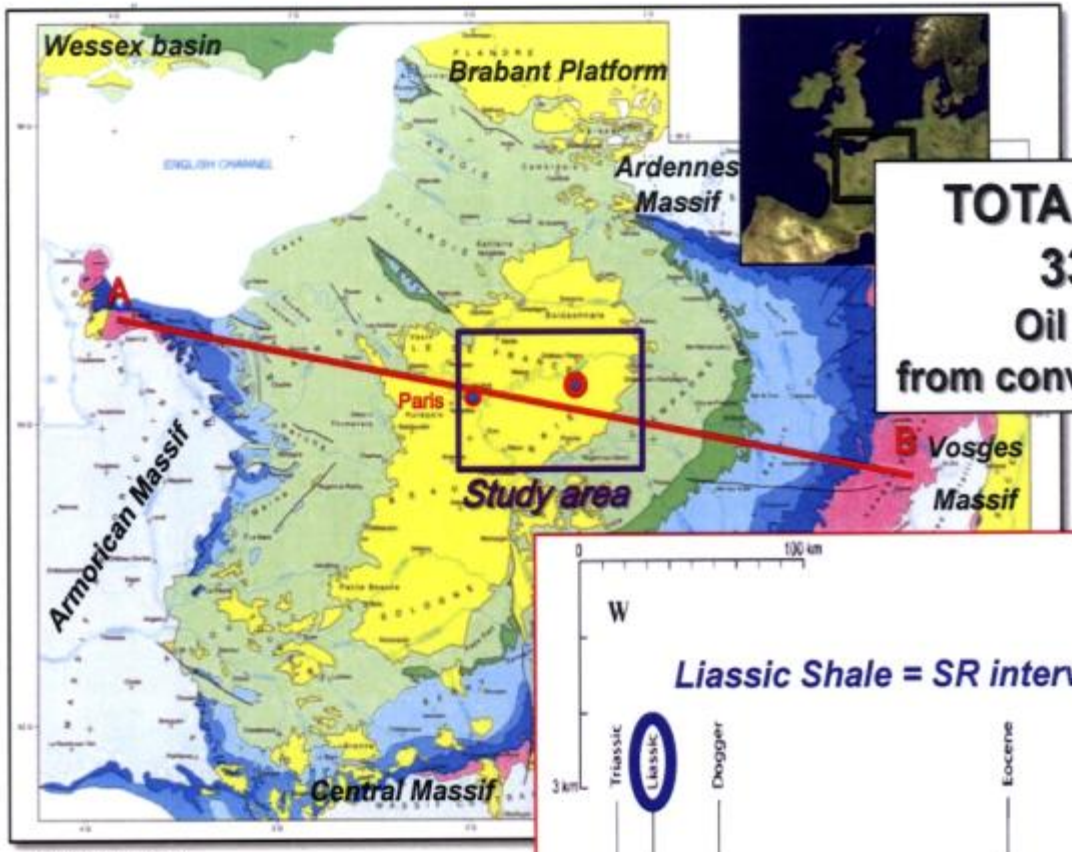




Lias (Lower Jurassic) section

→ **effects of tethysian rifting along the margin**
(Middle Triassic to lower Cretaceous)
+ West European rifting (Oligocene)

Paris Basin Geology

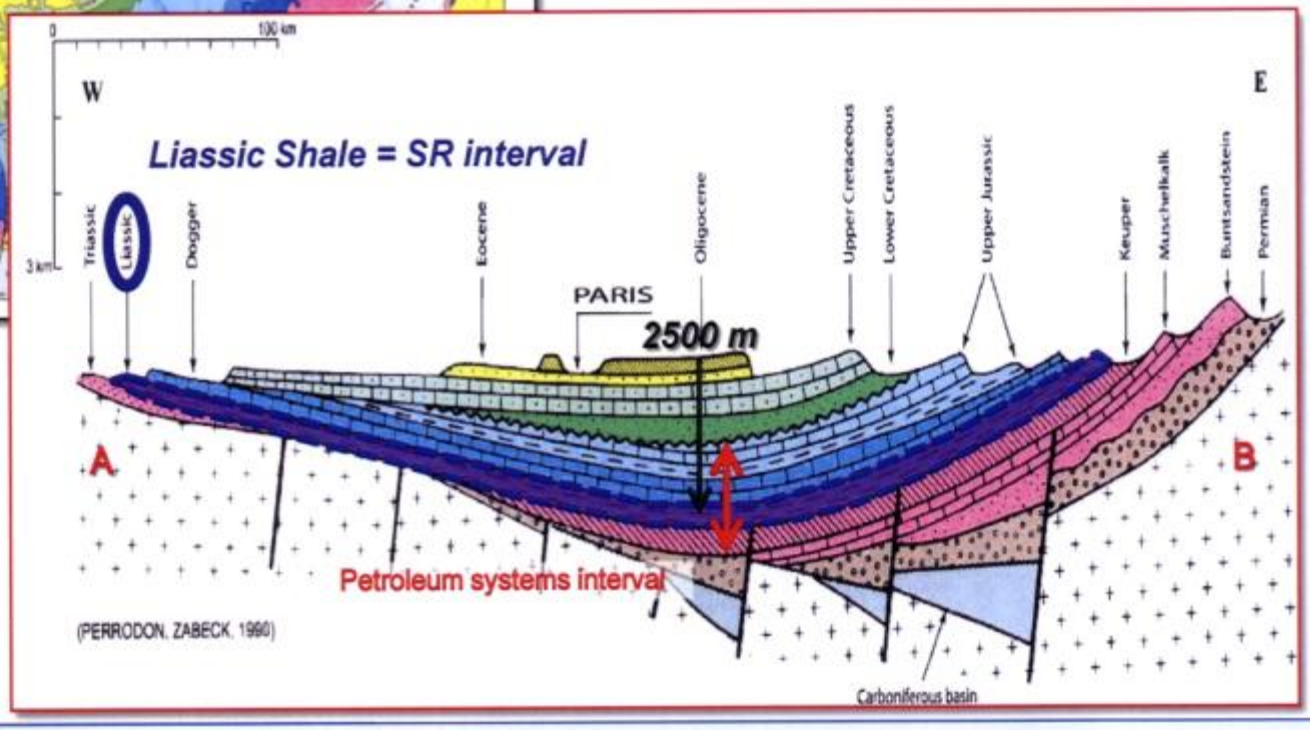


IFP Report, 2002

TOTAL OIL Produced (1958 – 2000)

33.5 * 10^9 kg → ~ 0.25 Bbbl

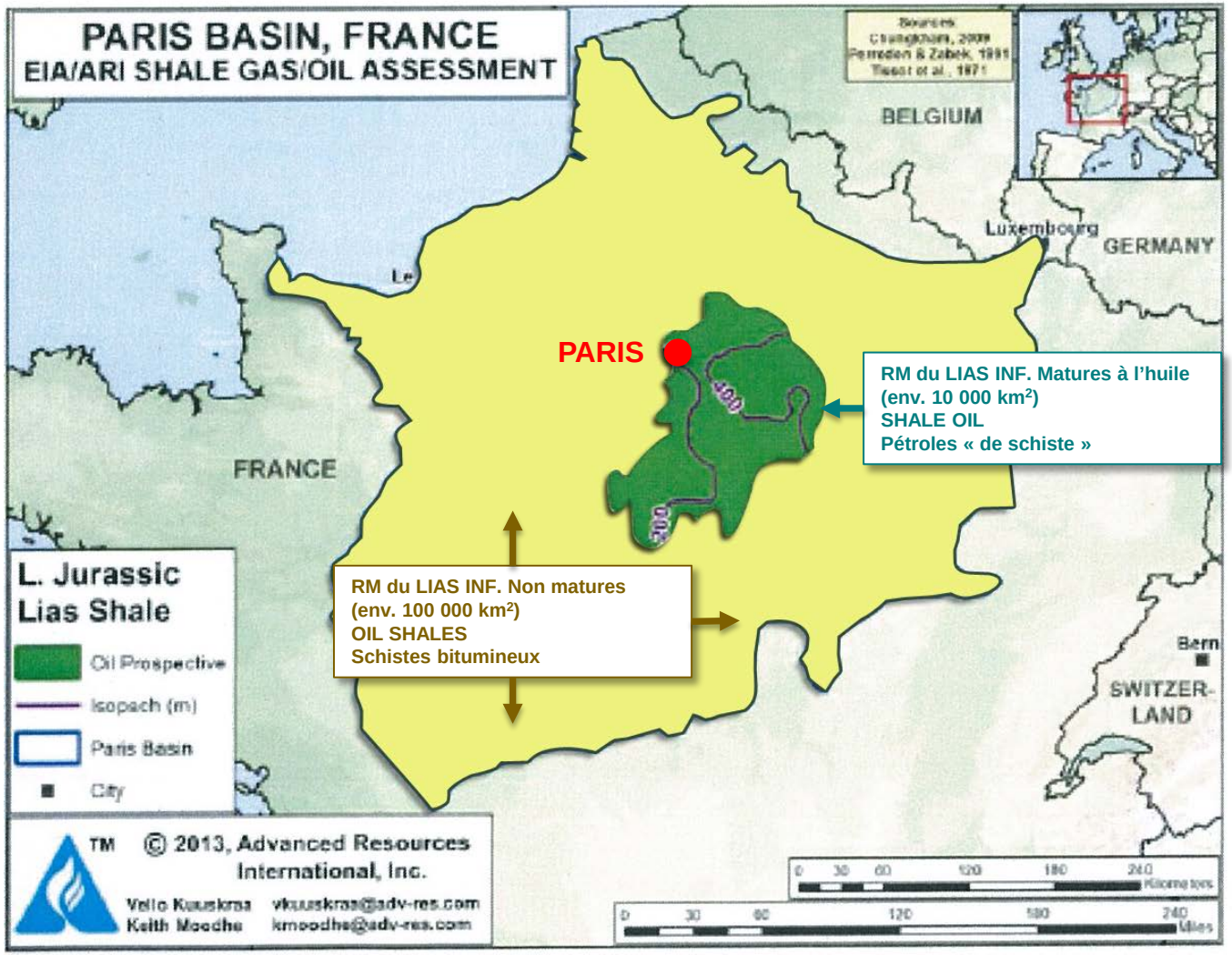
Oil represents 93% of produced HC, from conventional reservoir only, at present day.



Liassic = Lower Jurassic in W. Europe

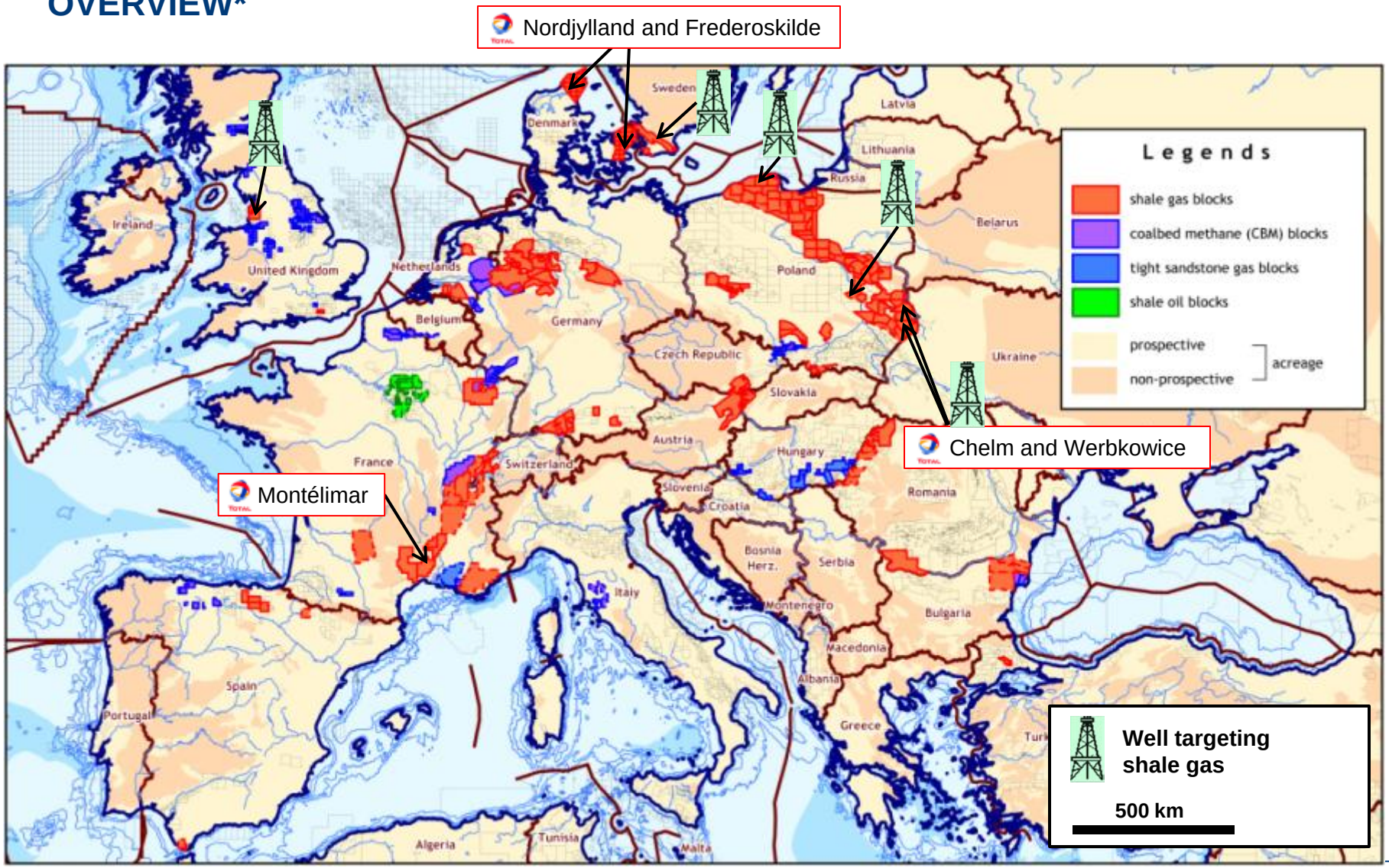
@Beicip-Franlab

LE LIAS INFÉRIEUR: PRINCIPALES ROCHES MÈRES DU BASSIN PARISIEN (*SCHISTES CARTON DU TOARCIEN ET AUTRES*)



Sources d'après EIA – ARI 2013

SHALE GAS - EUROPE
LICENSING SITUATION AND EXPLORATION ACTIVITY - GENERAL OVERVIEW*



*: from IHS 2010 - Unconventional Resources in Europe Focus on Shale Gas and CBM

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 3 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 (1ER 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

Source : PR BAUQUIS – LIED 2 Avril 2013

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 PUITS 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 jours 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

Source : PR BAUQUIS – LIED 2 Avril 2013

LES ENJEUX ÉCONOMIQUES DES HYDROCARBURES DE ROCHES MÈRES EN FRANCE

Un enjeux majeur

- Les 10.000 km^2 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 ¾ 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

MODÉLISATION DU POTENTIEL PÉTROLIER DES ROCHES MÈRES DU BASSIN PARISIEN

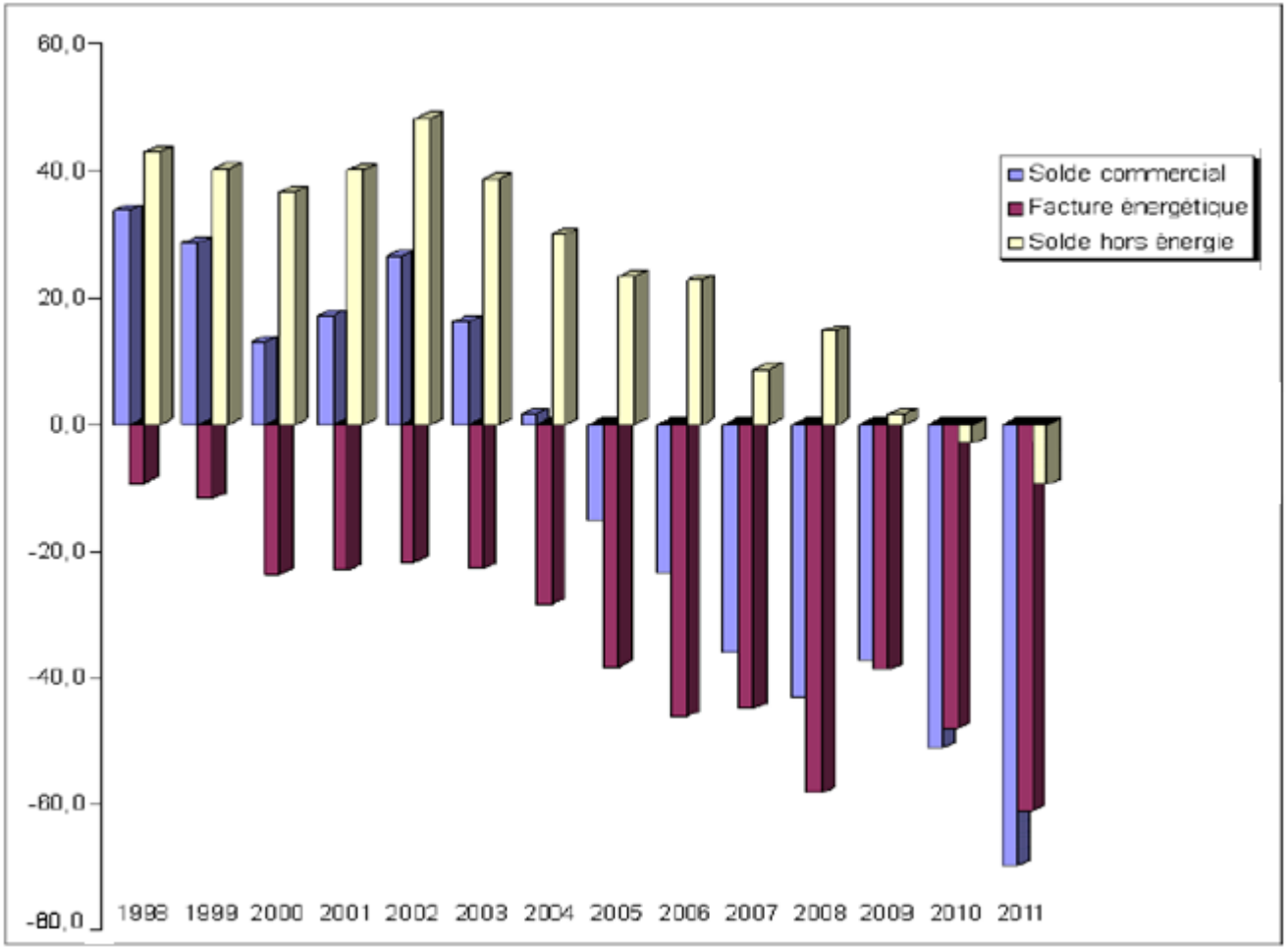
- But du modèle: estimer les volumes d'HC restant dans les couches argileuses

- 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)

BALANCE COMMERCIALE ET FACTURE ÉNERGÉTIQUE EN FRANCE (EN G€)



Source: Assemblée Nationale

CONCLUSIONS SYNTHÉTIQUES SUR LES GAZ DE SCHISTES AUX USA ET HORS USA

Aux USA

- 25% de la production US en 2012 (150 Gm3 sur 600).
- 40 à 50% prévus à l'horizon 2020 – 2030
- Des impacts économiques majeurs liés à l'écroulement du prix du gaz
- Les prix d'équilibre 2015-2025 seraient environ double des prix fin 2012 (3$/MMBtU) mais moitié de ceux en Europe (6$/MMBtU versus 12$) pour un prix du brut supposé être à 100 $/BBL (pour le Brent)

Hors USA

- Potentiels de production encore inconnus: ils pourraient être élevés dans certains pays (Russie, Argentine, Chine, Algérie, Libye …)
- Les impacts essentiels seraient en termes de balance des paiements, d'emplois et de substitution au charbon.
- **Ces productions n'auraient que peu ou pas d'impact sur les prix du gaz dans ces pays (contrairement au cas des US).**

PARTIE 9 : CONCLUSIONS ET RÉFLEXIONS

CONCLUSIONS (AVEC TOUTES LES INCERTITUDES DE L'EXERCICE)

- Les pétroles de roches mères ***ne pourront pas nous éviter d'atteindre un maximum*** de la production pétrolière mondiale (dite peak oil ou pic pétrolier) entre 2015 et 2025.

- à un niveau ***"plateau"*** situé vers 100 Mb/j
  (ondulant entre 95 Mb/j et 105 Mb/j pendant 10 à 30 ans)

- ***la production de pétrole déclinera ensuite lentement****: ce plafonnement puis ce déclin* modifiront le monde de l'énergie et pourraient contraindre la croissance économique mondiale

- ***le prix du baril de pétrole devrait rester durablement élevé*** :100 à 200 $ par baril (en $2013) durant cette période « plateau »
  (en moyenne, avec des variations chaotiques : accidents politiques, crises économiques…)

Passage d'un "demand-driven system" à un « supply constrained system »

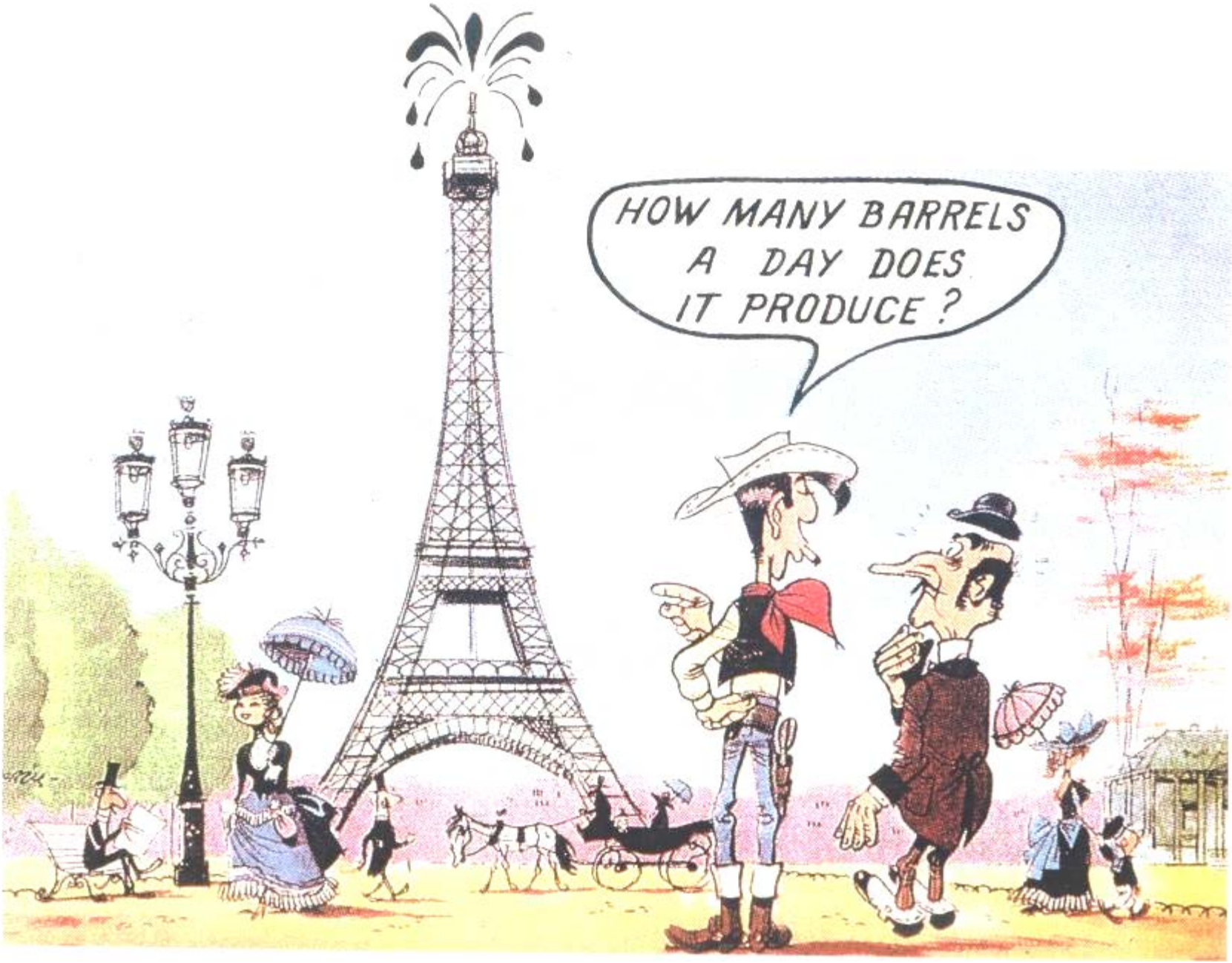
QUELQUES MOTS POUR TERMINER

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

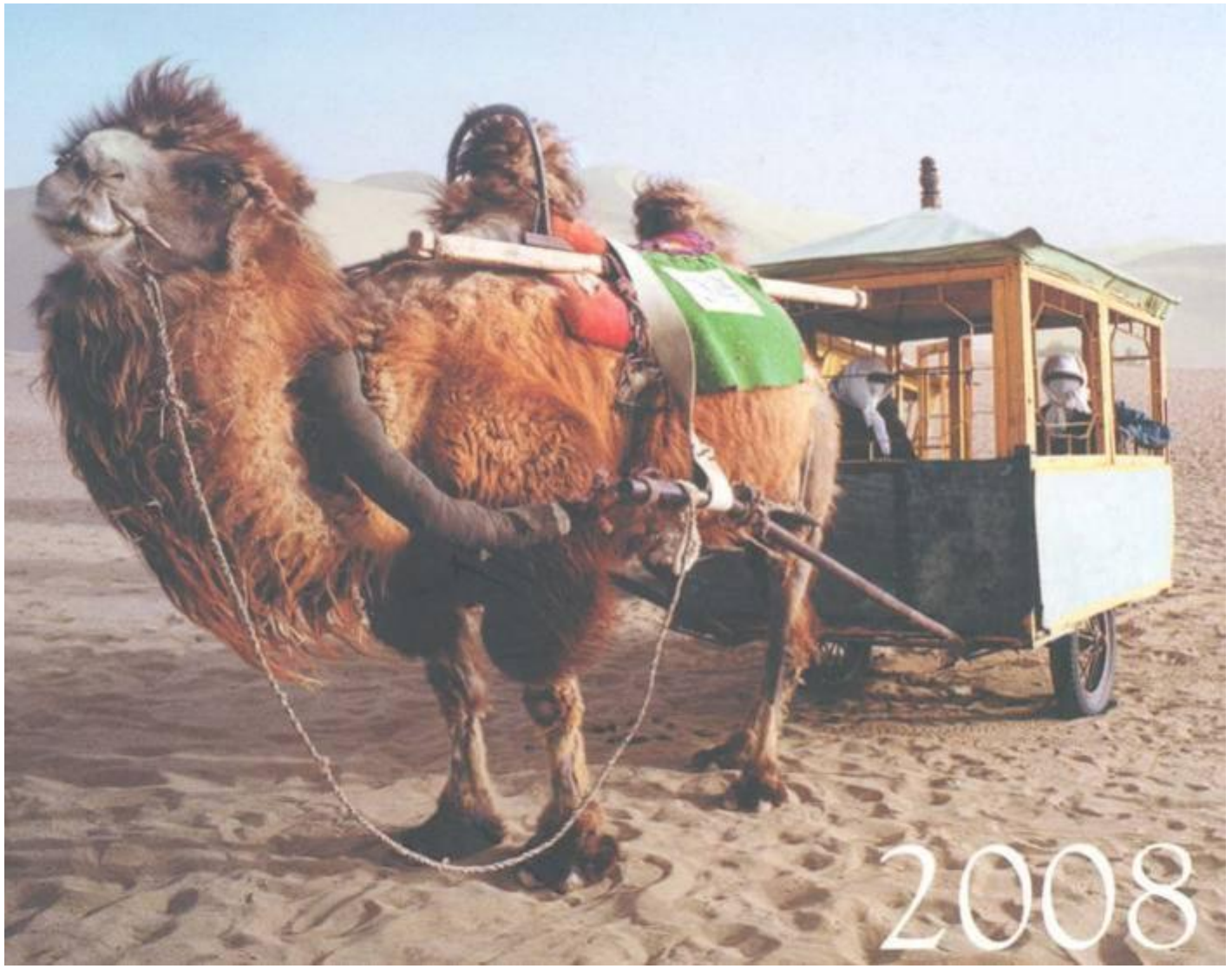
UN AVENIR SANS ÉNERGIES FOSSILES NI NUCLÉAIRES AU COURS DE CE SIÈCLE SEMBLE MALHEUREUSEMENT IMPOSSIBLE.

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)


HOW MANY BARRELS
A DAY DOES
IT PRODUCE ?

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



EXERCICE DE REFLEXION POUR LES ELEVES

EN 10 MINUTES ET EN UNE PAGE

1. **Demain, vous êtes premier ministre de François Hollande (donc lié par les engagements du Président). Expliquez ce que serait votre politique concernant les « gaz de schistes » en France jusqu'à la fin du quinquenat:**
   - **Vis-à-vis des permis annulés**
   - **Au plan technique (en France ou hors de France)**
   - **Au plan législatif ou règlementaire**
   - **Quels rôles pour les organismes publics et lesquels?**

2. **Même question mais dans un contexte où le Président modifierait ses engagements et vous laisserait carte blanche.**
   Expliquez ce que vous feriez sur les divers plans: techniques, règlementaires, législatif, attribution ou non de permis, etc…)

(သင့်ကို) ကျေးဇူးတင်ပါတယ
Bedankt
gracias
Terima Kasih
Thank you
谢 谢
Cám ơn
شکرا
спасибо
merci
grazie
Obrigado
ขอบคุณมาก
Tusen takk