

Gaz de Schistes

Café des Sciences, Grenoble

19 février 2012

Quel est le lien entre Saint Augustin, Alessandro Volta et les feux follets ?

Réponse: le méthane (appelé aussi gaz naturel)

Fontaine ardente



Feu follet

La Gua, Isère

Le gaz de schiste en quelques mots

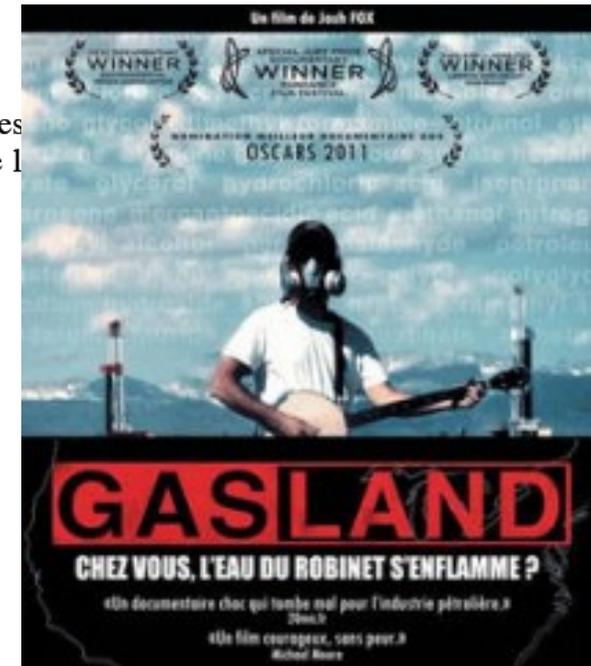
- Le gaz de shale est un **gaz naturel (méthane)** le plus souvent enfoui à **grande profondeur** (1500 à 3000 m), dans des roches compactes et imperméables. Ses réserves sont importantes et bien réparties dans le monde : on estime qu'elles pourraient fournir **120 à 150 ans de la consommation** actuelle de gaz naturel.
- En Europe, les réserves de gaz de shale sont estimées entre 3 000 à 12 000 milliards de m³ (entre 75 et 300 ans de consommation annuelle de la France).
- L'évaluation de ces réserves fait actuellement débat (par exemple en Pologne: entre 30 et 440 ans de consommation du pays).

Exploitation du gaz de schiste : vers une catastrophe sanitaire et environnementale ?

Par *m.boudet*

Créé le 10/03/2011 - 16:26

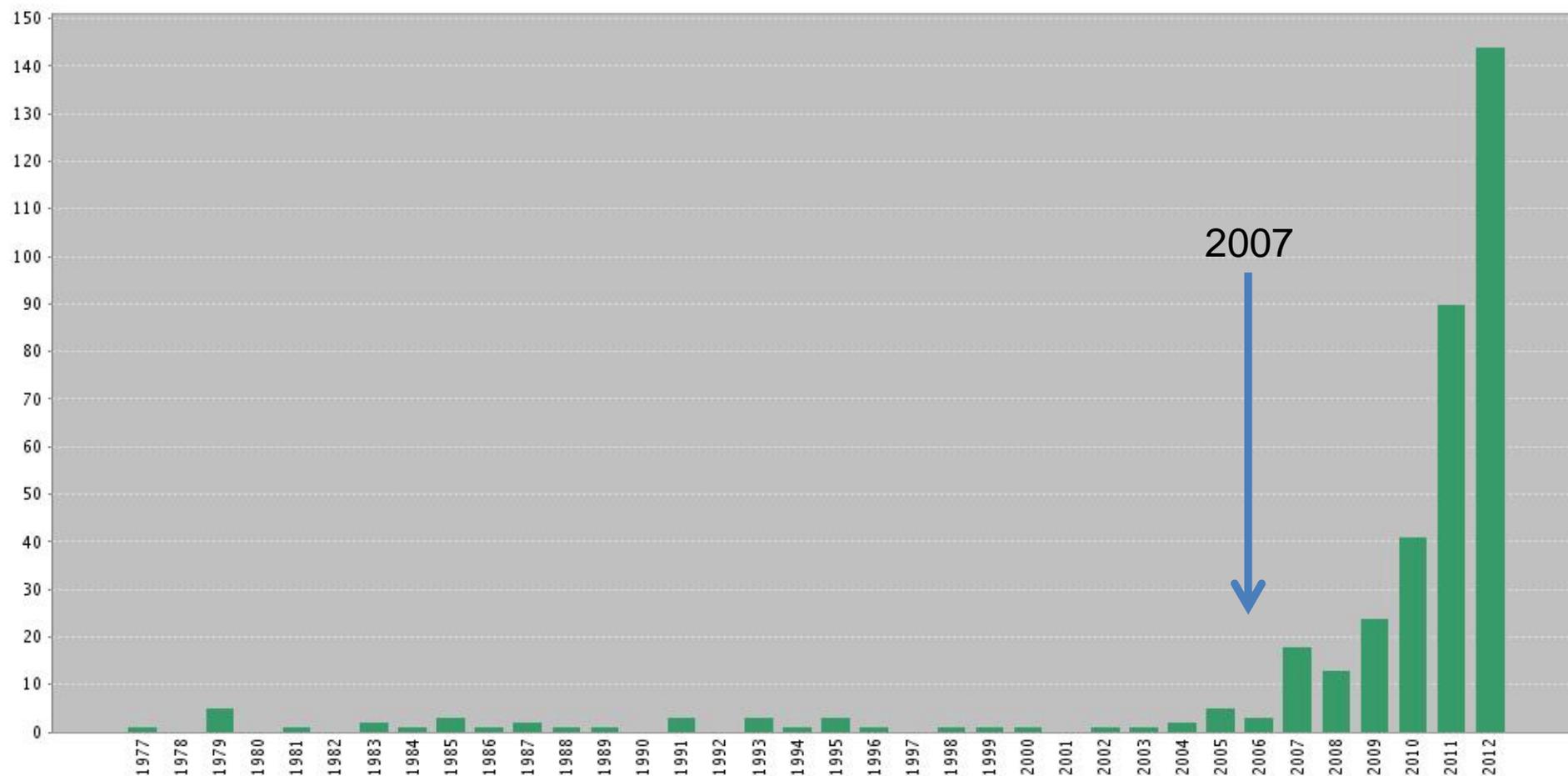
Déjà exploité aux Etats-Unis depuis 2008, le gaz de schiste commence depuis quelques la France. Pourtant, de récentes études américaines exposent les risques importants de l gaz. Il



Gasland by Josh Fox



L'état de la connaissance académique: **gaz de shale**



Nombre annuel de publications scientifiques ayant pour sujet « shale gas » ou « gas shale » dans le catalogue « Web of Science » entre 1975 et 2012. Leur nombre augmente fortement depuis 2007 (données au 31 Décembre 2012).

Une grande partie de la connaissance est « privée ». Le débat scientifique est très actif (et parfois « sportif »).

Loi du 13 juillet 2011

- Interdiction de la fracturation hydraulique sur la base juridique du principe de précaution
- Création d'une commission nationale d'orientation, évaluation des risques de la fracturation hydraulique ou de ses alternatives (décret 22 Mars 2012)
- Abrogation des permis utilisant la fracturation hydraulique
- La loi autorise la mise en œuvre d'expérimentations à seules fins de recherche scientifique

LOIS

LOI n° 2011-835 du 13 juillet 2011 visant à interdire l'exploration et l'exploitation des mines d'hydrocarbures liquides ou gazeux par fracturation hydraulique et à abroger les permis exclusifs de recherches comportant des projets ayant recours à cette technique (1)

NOR : DEVX110929L

L'Assemblée nationale et le Sénat ont adopté,

Le Président de la République promulgue la loi dont la teneur suit :

Article 1^{er}

En application de la Charte de l'environnement de 2004 et du principe d'action préventive et de correction prévu à l'article L. 110-1 du code de l'environnement, l'exploration et l'exploitation des mines d'hydrocarbures liquides ou gazeux par des forages suivis de fracturation hydraulique de la roche sont interdites sur le territoire national.

Article 2

Il est créé une Commission nationale d'orientation, de suivi et d'évaluation des techniques d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures liquides et gazeux.

Elle a notamment pour objet d'évaluer les risques environnementaux liés aux techniques de fracturation hydraulique ou aux techniques alternatives.

Elle émet un avis public sur les conditions de mise en œuvre des expérimentations, réalisées à seules fins de recherche scientifique sous contrôle public, prévues à l'article 4.

Cette commission réunit un député et un sénateur, désignés par les présidents de leurs assemblées respectives, des représentants de l'Etat, des collectivités territoriales, des associations, des salariés et des employeurs des entreprises concernées. Sa composition, ses missions et ses modalités de fonctionnement sont précisées par décret en Conseil d'Etat.

Article 3

I. – Dans un délai de deux mois à compter de la promulgation de la présente loi, les titulaires de permis exclusifs de recherches de mines d'hydrocarbures liquides ou gazeux remettent à l'autorité administrative qui a délivré les permis un rapport précisant les techniques employées ou envisagées dans le cadre de leurs activités de recherches. L'autorité administrative rend ce rapport public.

II. – Si les titulaires des permis n'ont pas remis le rapport prescrit au I ou si le rapport mentionne le recours, effectif ou éventuel, à des forages suivis de fracturation hydraulique de la roche, les permis exclusifs de recherches concernés sont abrogés.

III. – Dans un délai de trois mois à compter de la promulgation de la présente loi, l'autorité administrative publie au *Journal officiel* la liste des permis exclusifs de recherches abrogés.

IV. – Le fait de procéder à un forage suivi de fracturation hydraulique de la roche sans l'avoir déclaré à l'autorité administrative dans le rapport prévu au I est puni d'un an d'emprisonnement et de 75 000 € d'amende.

Article 4

Le Gouvernement remet annuellement un rapport au Parlement sur l'évolution des techniques d'exploration et d'exploitation et la connaissance du sous-sol français, européen et international en matière d'hydrocarbures liquides ou gazeux, sur les conditions de mise en œuvre d'expérimentations réalisées à seules fins de recherche scientifique sous contrôle public, sur les travaux de la Commission nationale d'orientation, de suivi et d'évaluation créée par l'article 2, sur la conformité du cadre législatif et réglementaire à la Charte de l'environnement de 2004 dans le domaine minier et sur les adaptations législatives ou réglementaires envisagées au regard des éléments communiqués dans ce rapport.

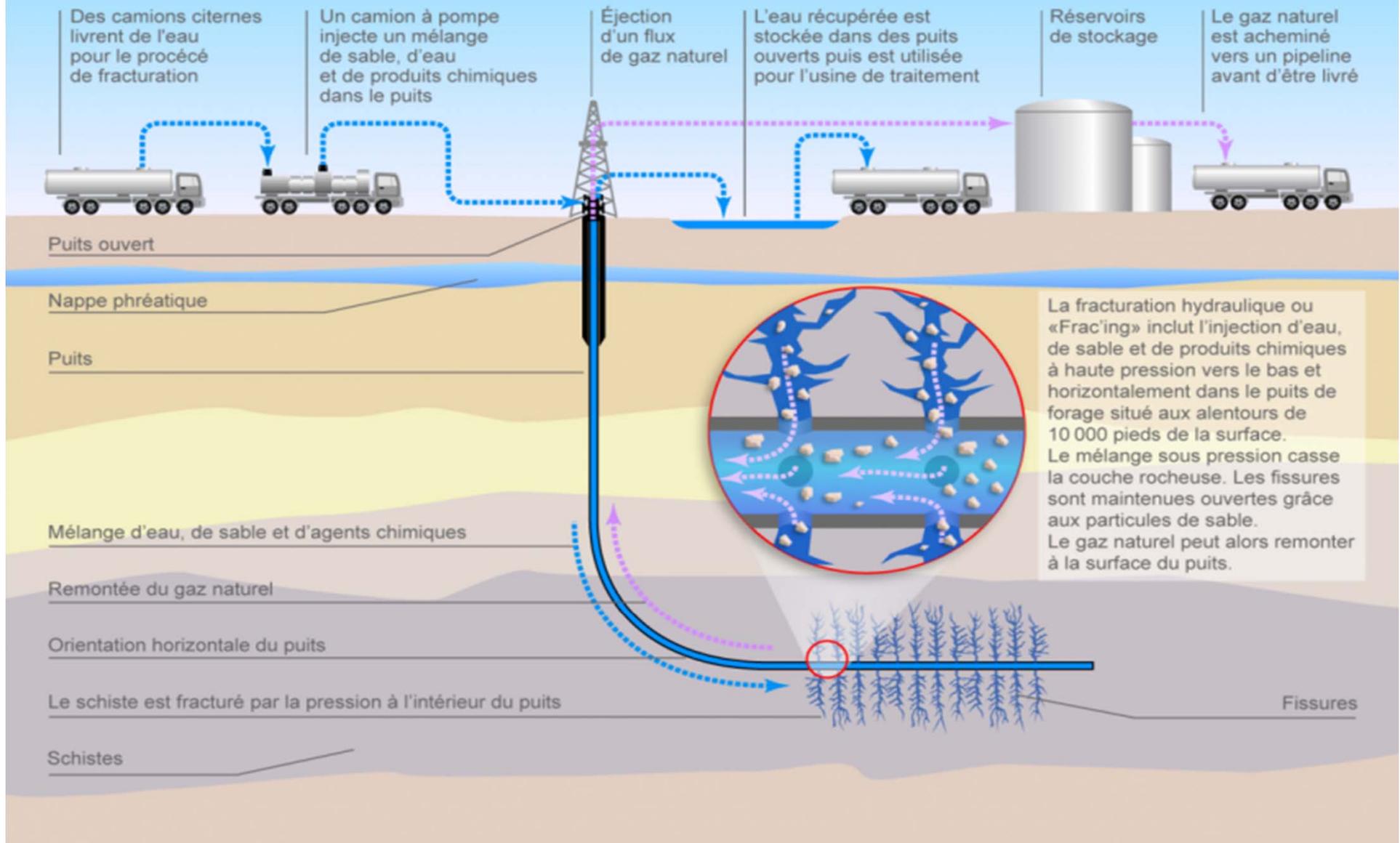
La présente loi sera exécutée comme loi de l'Etat.

Fait à Paris, le 13 juillet 2011.

DECRET

Décret n° 2012-385 du 21 mars 2012 relatif à la Commission nationale d'orientation, de suivi et d'évaluation des techniques d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures liquides et gazeux

Gaz de schistes

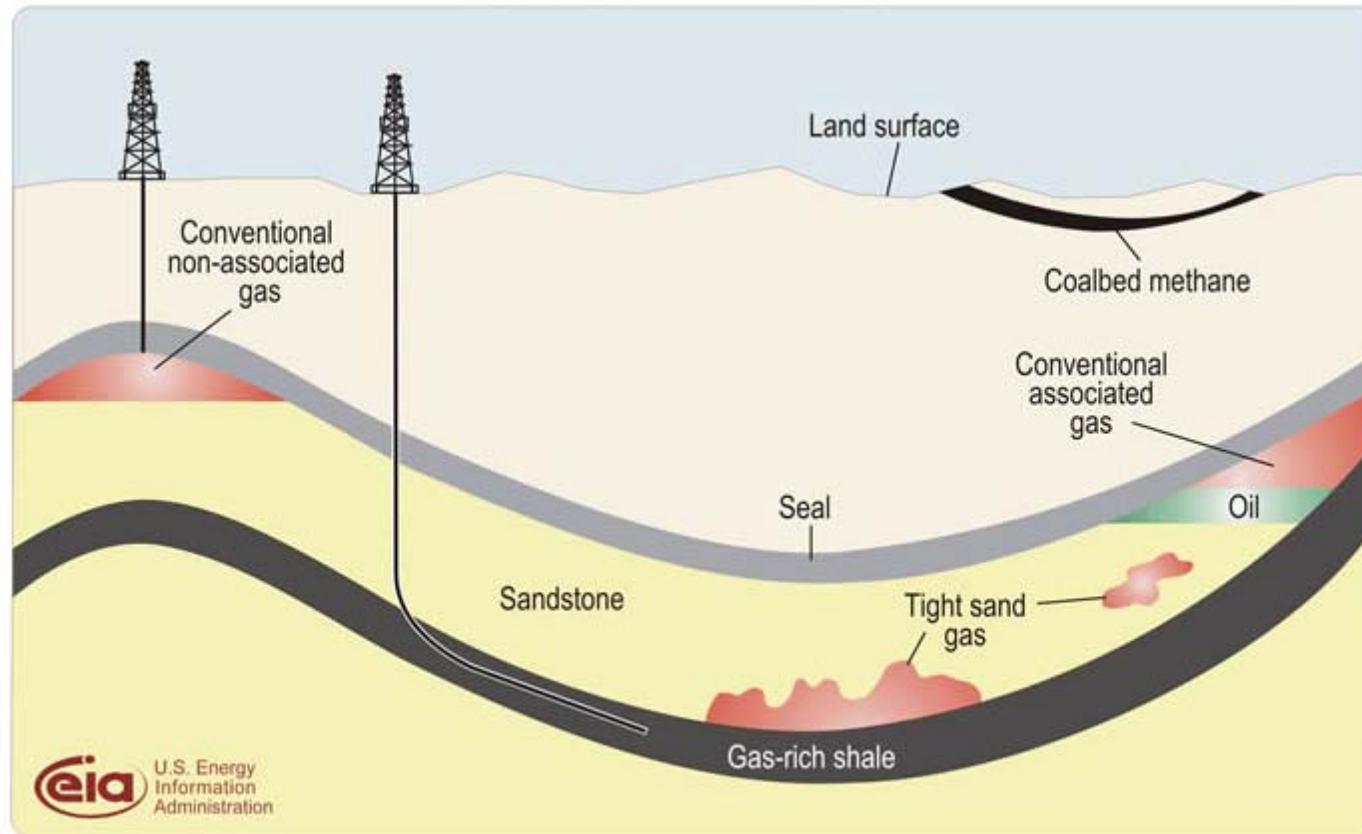


La fracturation hydraulique

- I. Qu'est-ce que le gaz de schiste ?**
- II. Comment est exploité le gaz de schiste ?**
- III. Les impacts environnementaux**
- IV. Les technologies alternatives à la fracturation hydraulique**
- V. Les enjeux économiques**

I. Qu'est-ce que le gaz de schiste ?

Les différents types de gisements de gaz



Gisement conventionnel:

roche poreuse et perméable (réservoirs de gaz dans des pièges structuraux)

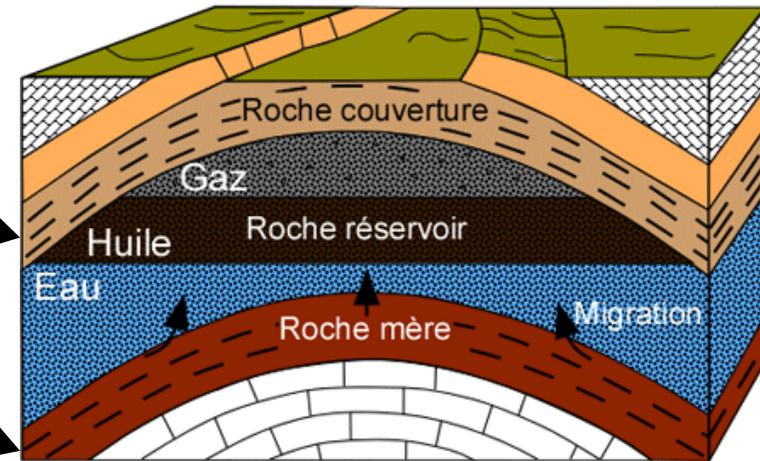
Gisement non conventionnel:

roche poreuse et imperméable (tight gas, shale gas, gaz de charbons)

Roches peu perméables: terminologie

➤ Roche de couverture

➤ Roche mère



- **schiste ou shale?**

- Un schiste est une roche sédimentaire métamorphisée à plus de 250 à 300°C, qui ne contient plus de méthane mais peut être riche en graphite.
- Un shale est une roche sédimentaires argileuse riche en carbone organique qui peut contenir de l'huile ou du gaz. L'expression juste serait donc «**shales gazifères**», «**gaz de shale**», ou «**gaz de roche-mère**».

Le gaz de shale en quelques mots

- Le gaz de shale est un **gaz naturel (méthane)** le plus souvent enfoui à **grande profondeur** (1500 à 3000 m), dans des roches compactes et imperméables. Ses réserves sont considérables et bien réparties dans le monde : on estime qu'elles pourraient fournir **120 à 150 ans de la consommation** actuelle de gaz naturel.
- En Europe, les réserves de gaz de shale sont estimées entre 3 000 à 12 000 milliards de m³ (entre 75 et 300 ans de consommation annuelle de la France).
- L'évaluation de ces réserves fait actuellement débat (par exemple en Pologne: entre 30 et 440 ans de consommation du pays, Exxon a arrêté l'exploration).

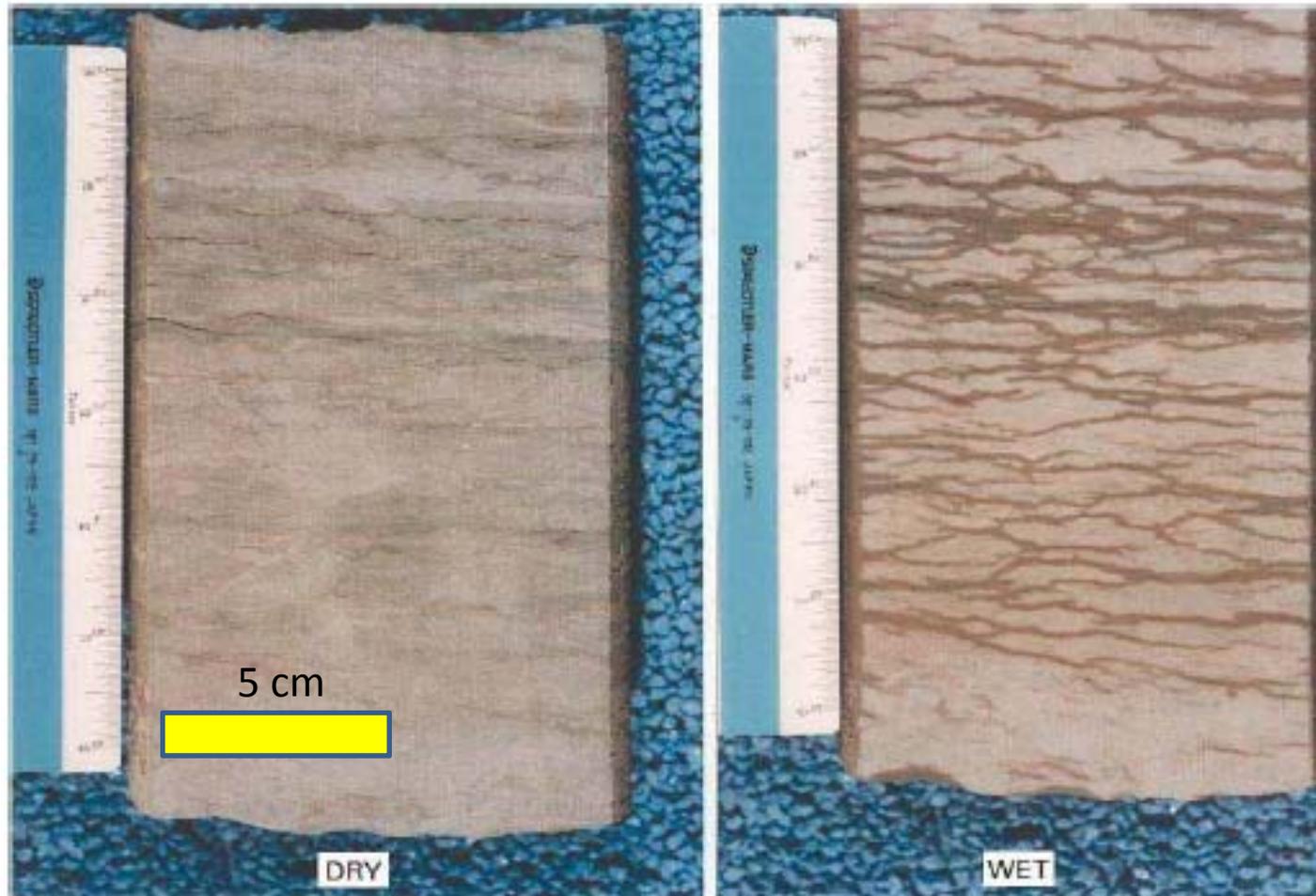
La roche mère / le réservoir



- Une roche anisotrope
- Un milieu fissuré à diverses échelles

Les shales ne sont ni perméables, ni homogènes.

Les shales sont partiellement fissurés



Carotte de la formation de shale de Bakken (USA) montrant des fractures à travers lesquelles les fluides circulent (Helms, 2005)

Quatre grands types d'hydrocarbures non-conventionnels

Gaz de shale: méthane (gaz shale)

Gaz de charbon: méthane (coalbed methane)

Gaz de mine: méthane (mine gaz)

Huiles de schistes: hydrocarbures souvent lourds (oil shale)

Et des similitudes dans l'exploitation

Roches peu perméables (shales, charbons): nécessité d'augmenter la perméabilité par fracturation

Fluides à viscosité différentes: gaz (faible viscosité) ou huiles (fortes viscosités)

Gaz: fracturation + écoulement

Huiles: fracturation + écoulement + chauffage in-situ

II. Comment est exploité le gaz de shale ?



La phase de
prospection sismique

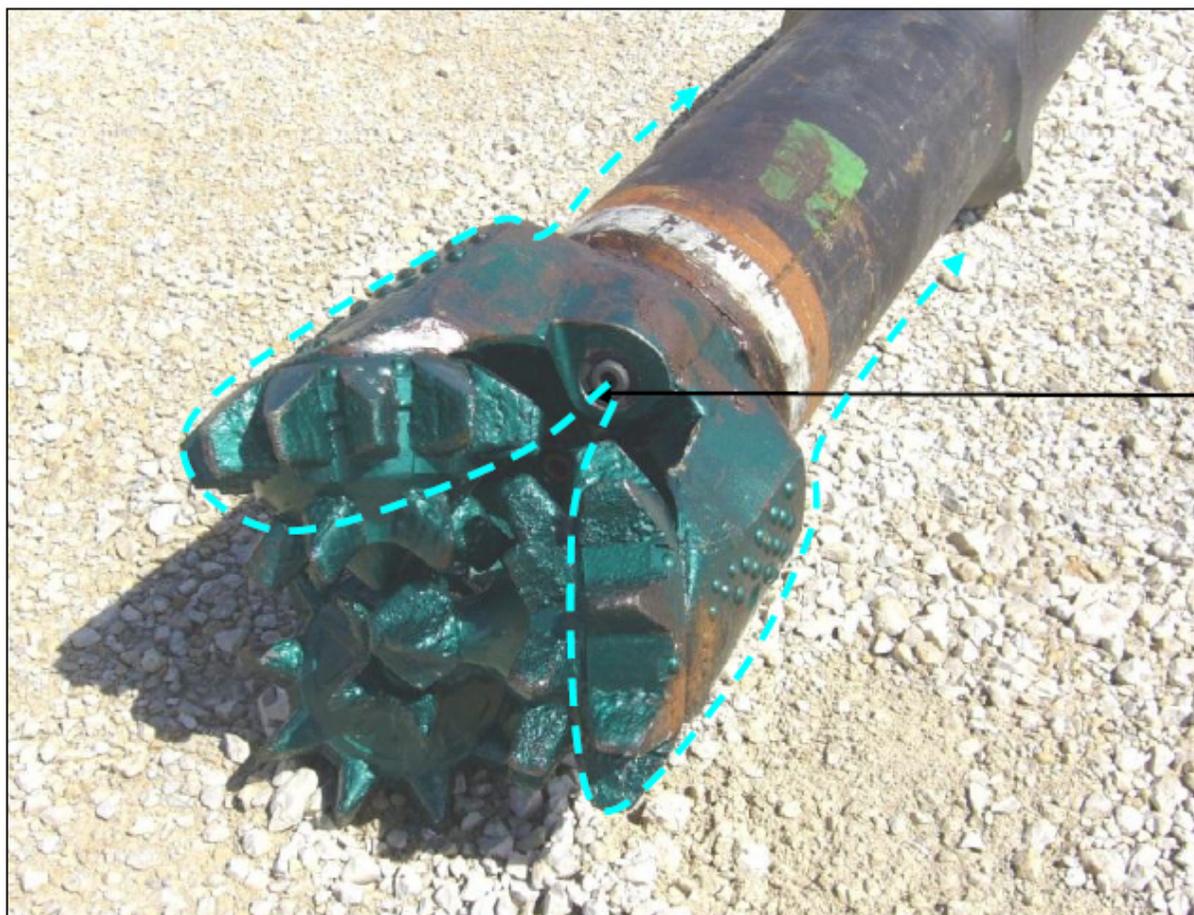




La phase de forage (~3-6 mois)



La phase de forage (~3-6 mois)

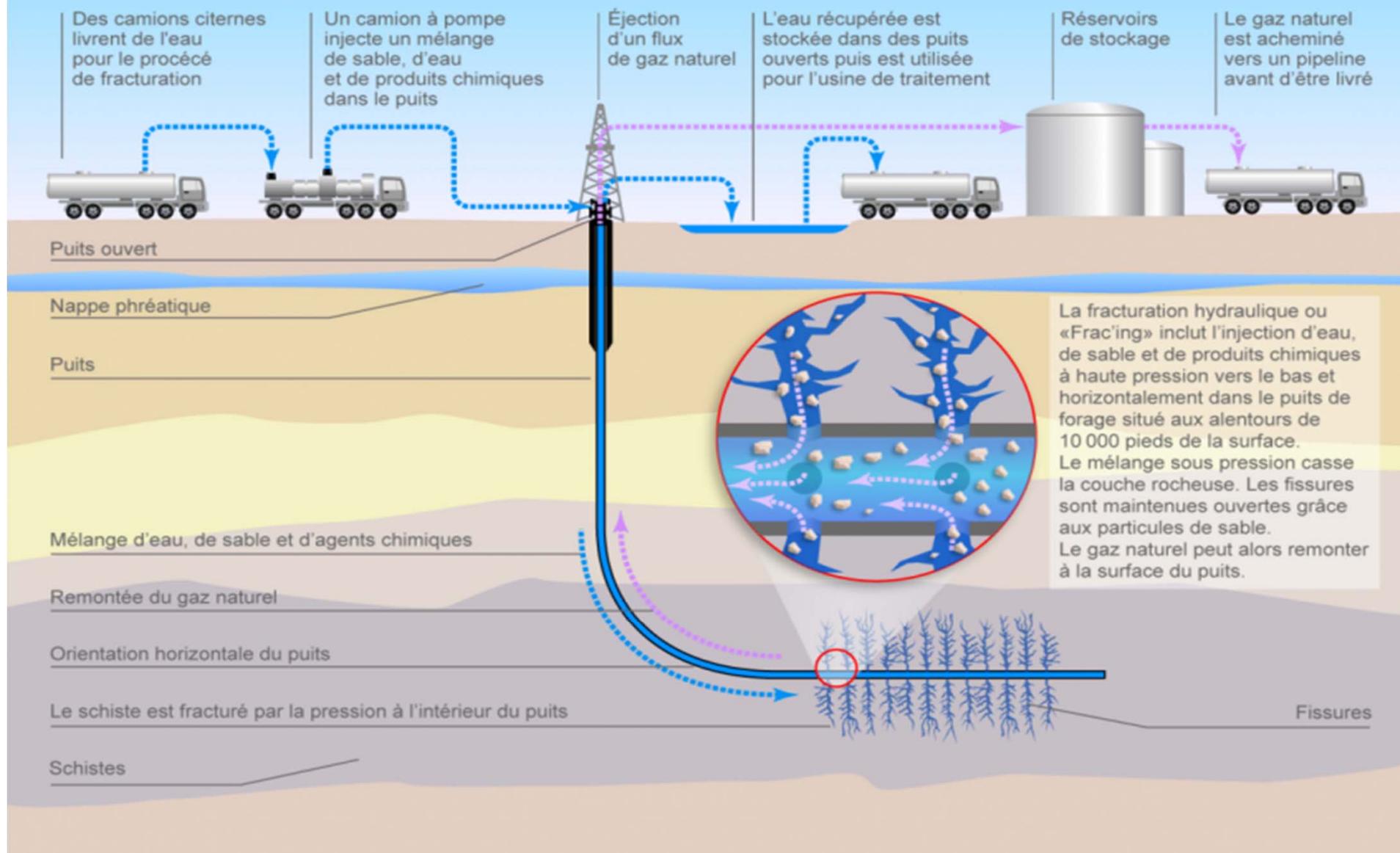


une des trois duses permettant
la circulation du fluide de forage

Outil de forage tricône 12-¼"

La phase de forage (~3-6 mois)

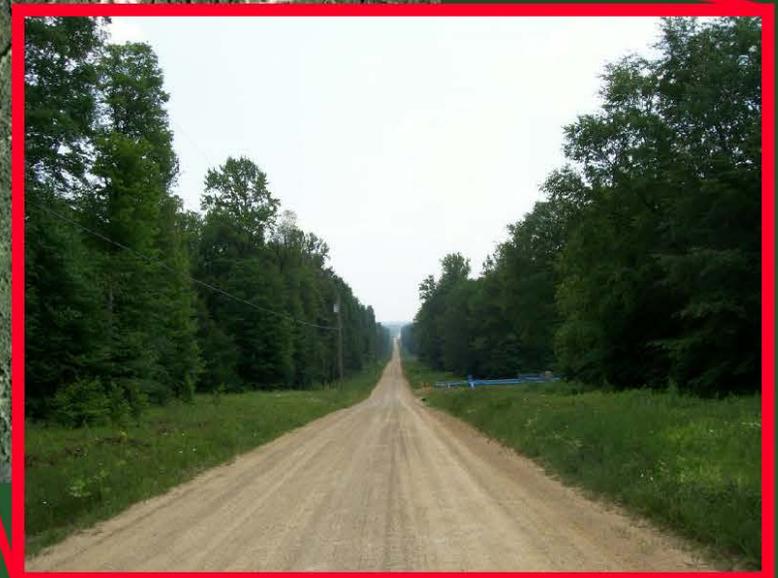
Gaz de schistes



La fracturation hydraulique

Volumes d'eau impliquées: 3,000 à 30,000 m³ par puits (~10 jours de consommation d'eau d'un golf 18 trous)

Landscape Impacts, Elk County, PA



(images from GoogleEarth, 2009)
(from Coleman and others, 2009)



En France il existe des sites industriels pétro-gaziers

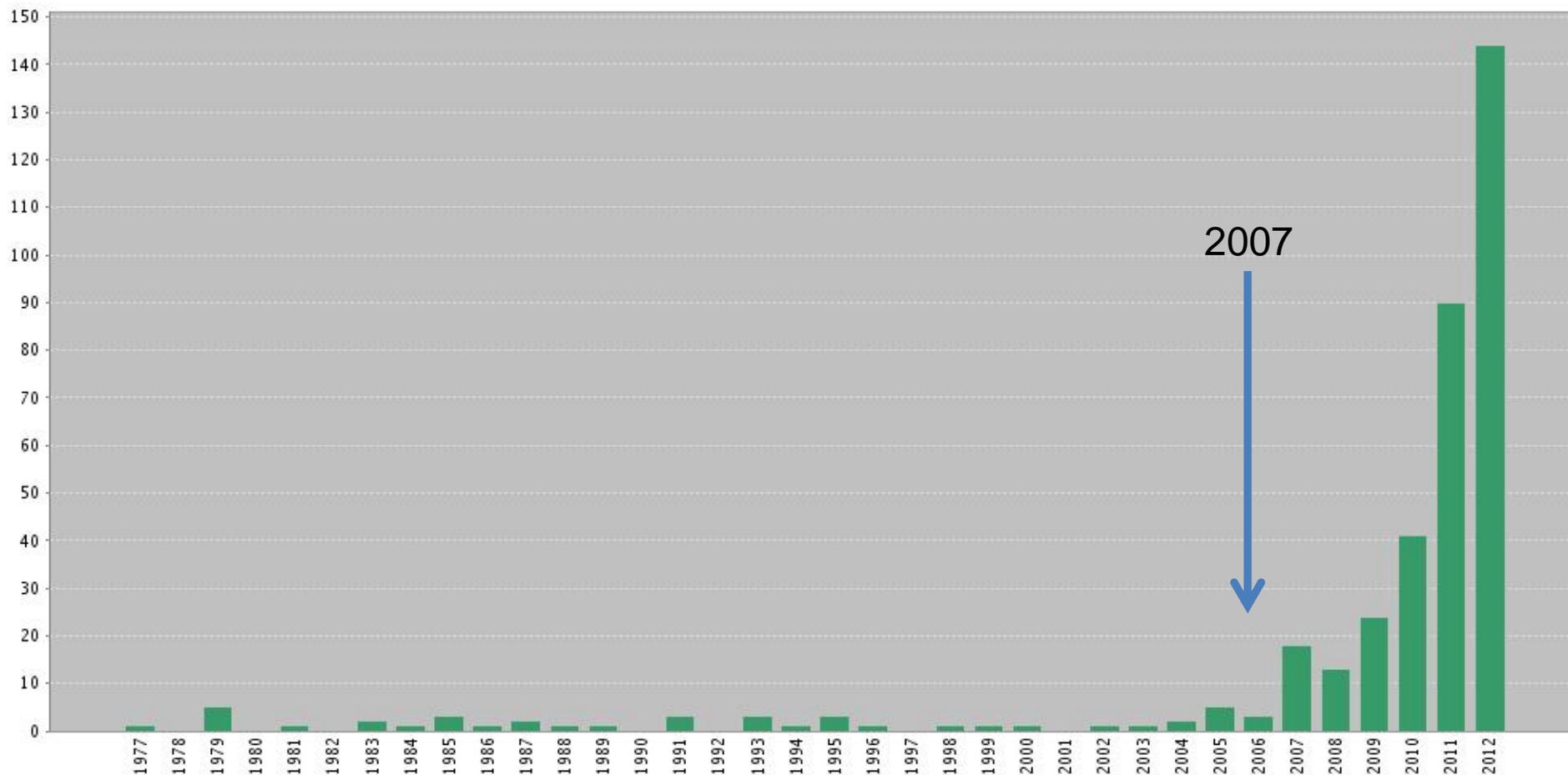


Site de stockage de gaz naturel à Etrez (01), Gournay-sous-Arandon (60), et aussi production à Lacq (64)

Différences entre la France et les USA

	Etats-Unis	France
Distribution d'eau	individuelle/réseau	par réseau
Propriété du sous sol	propriétaire du terrain	état
Habitat/accès	diffus/facile	concentré/ parfois difficile
Infrastructures exploitation	très développées	peu développées
Effets sur l'environnement	état fédéral/Etats	Etat/Europe
Normes		
Réserves gaz de schiste	partiellement connues	inconnues

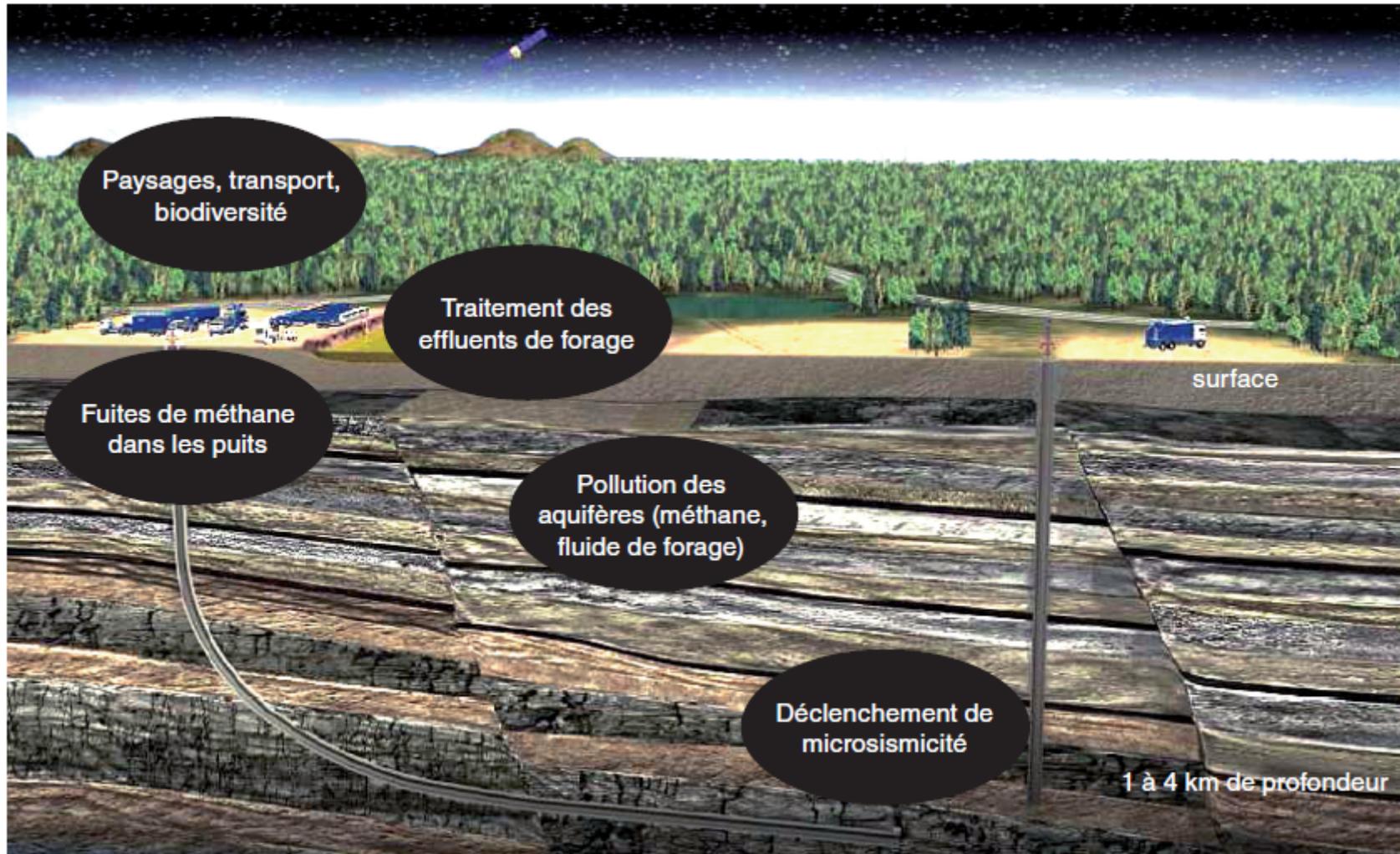
L'état de la connaissance académique: **gaz de shale**



Nombre annuel de publications scientifiques ayant pour sujet « shale gas » ou « gas shale » dans le catalogue « Web of Science » entre 1975 et 2012. Leur nombre augmente fortement depuis 2007 (données au 31 Décembre 2012).

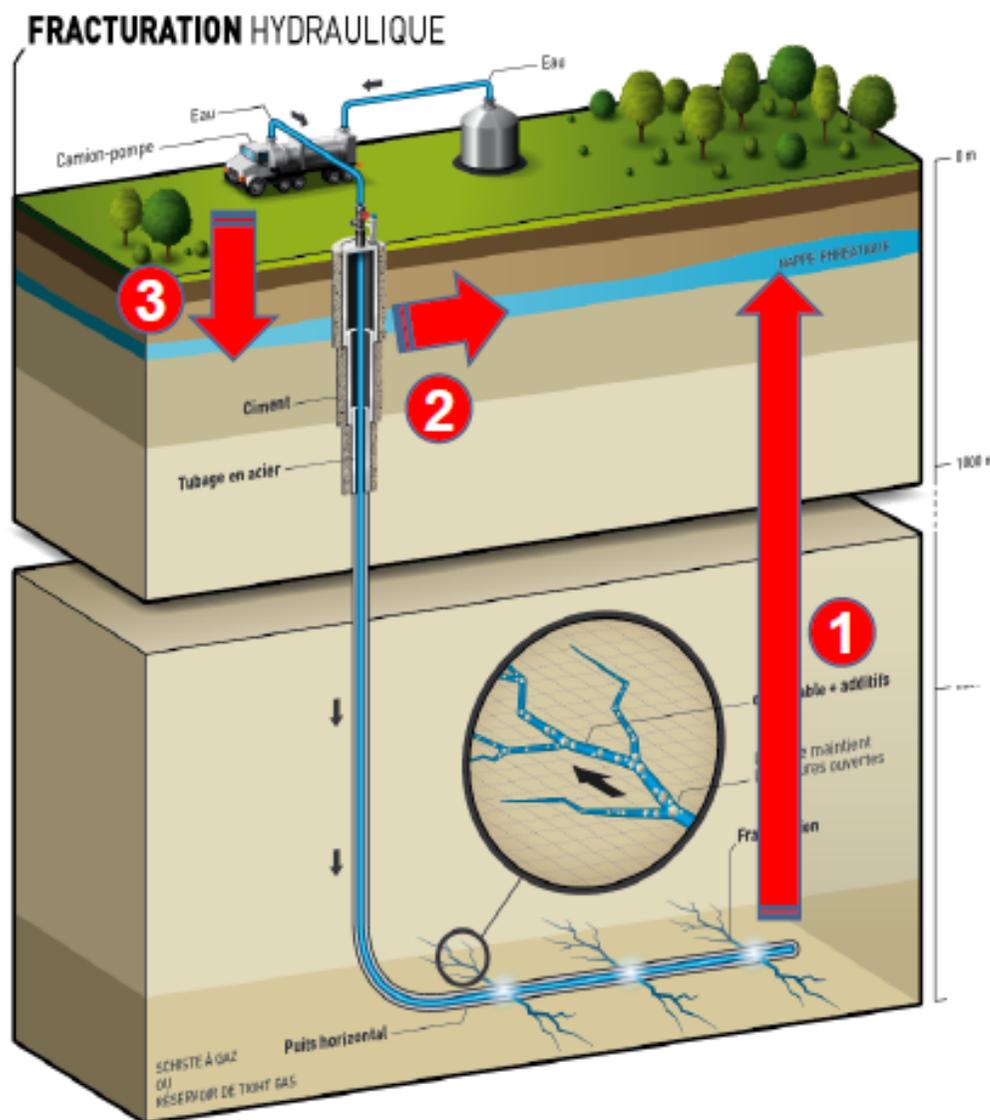
Une grande partie de la connaissance est « privée ». Le débat scientifique est très actif.

III. Les impacts environnementaux



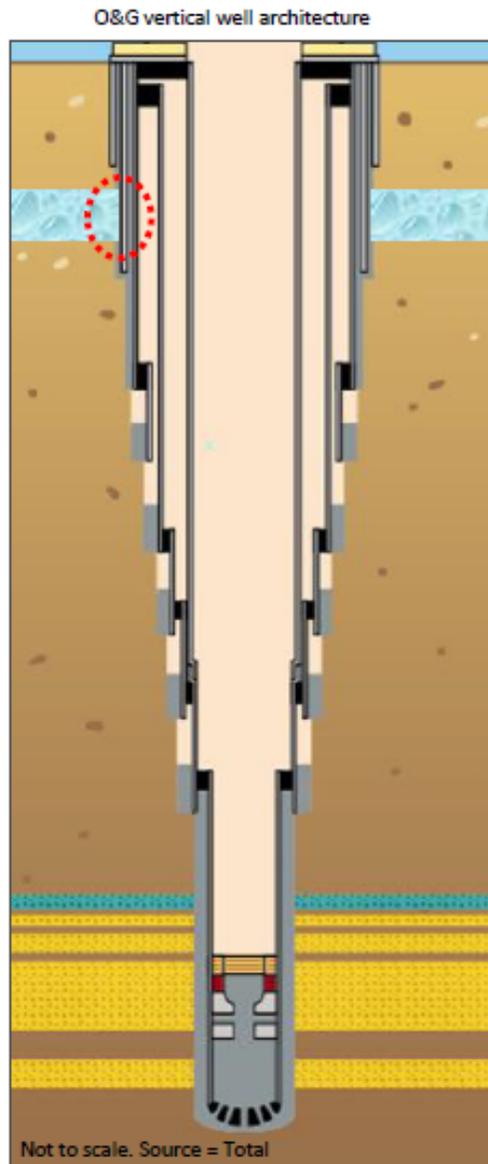
Technique de fracturation hydraulique par puits horizontaux et enjeux environnementaux associés à la production de gaz de schiste. Image de fond : Schlumberger.

Ce qui est spécifique aux gaz de shale



- Mise en contact avec un aquifère profond du fait du réseau de fissures existant.
- Mise en contact avec un aquifère profond du fait d'une fracturation progressant vers la surface.
- Emploi du procédé à une très grande échelle avec multiplication des puits.

Ce qui n'est pas spécifique aux gaz de shale



- Mauvaise étanchéité du tubage (casing) au passage d'un aquifère
- Fuite de surface (arrive aussi pour les gisements conventionnels)
- Traitement des eaux de forage (lixiviation, réinjection souterraine, filière de traitement en surface)
- Remplacement d'additifs dangereux par des équivalents moins nocifs.

Composition des fluides récupérés

Sels dissous totaux = **jusqu'à 6 fois l'eau de mer**

Autres gaz que le méthane: CO₂, H₂S, He

Composants de ces shales organiques:

Barium, Strontium, Sélénium, Mercure, Plomb, Arsenic

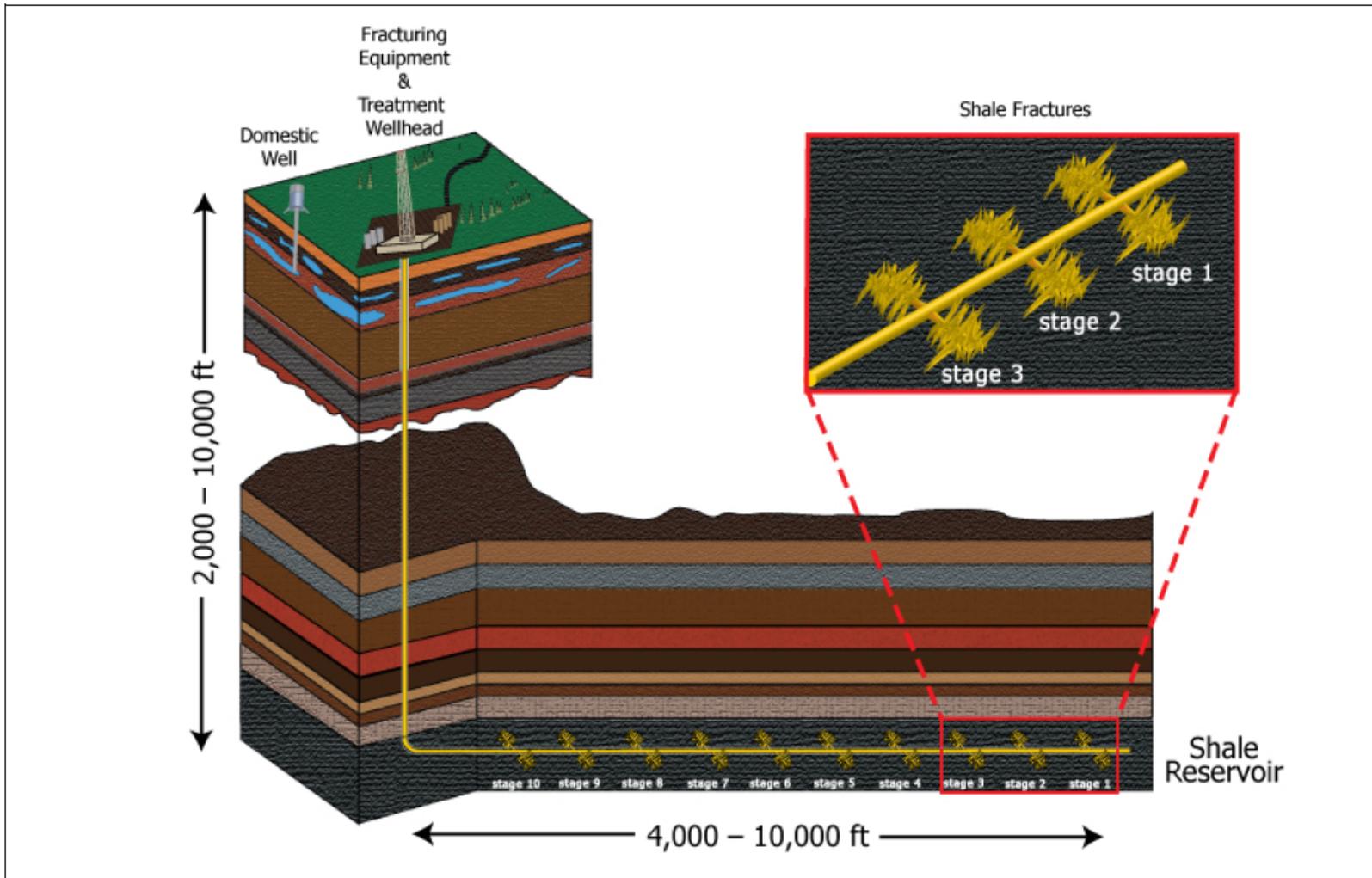
Probablement Uranium, Thorium, radium (radioactifs)

Cancérogènes et disrupteurs endocriniens injectés + transformés (en quoi?)

Autres composés organiques

Nécessité d'une filière de traitement de ces effluents industriels

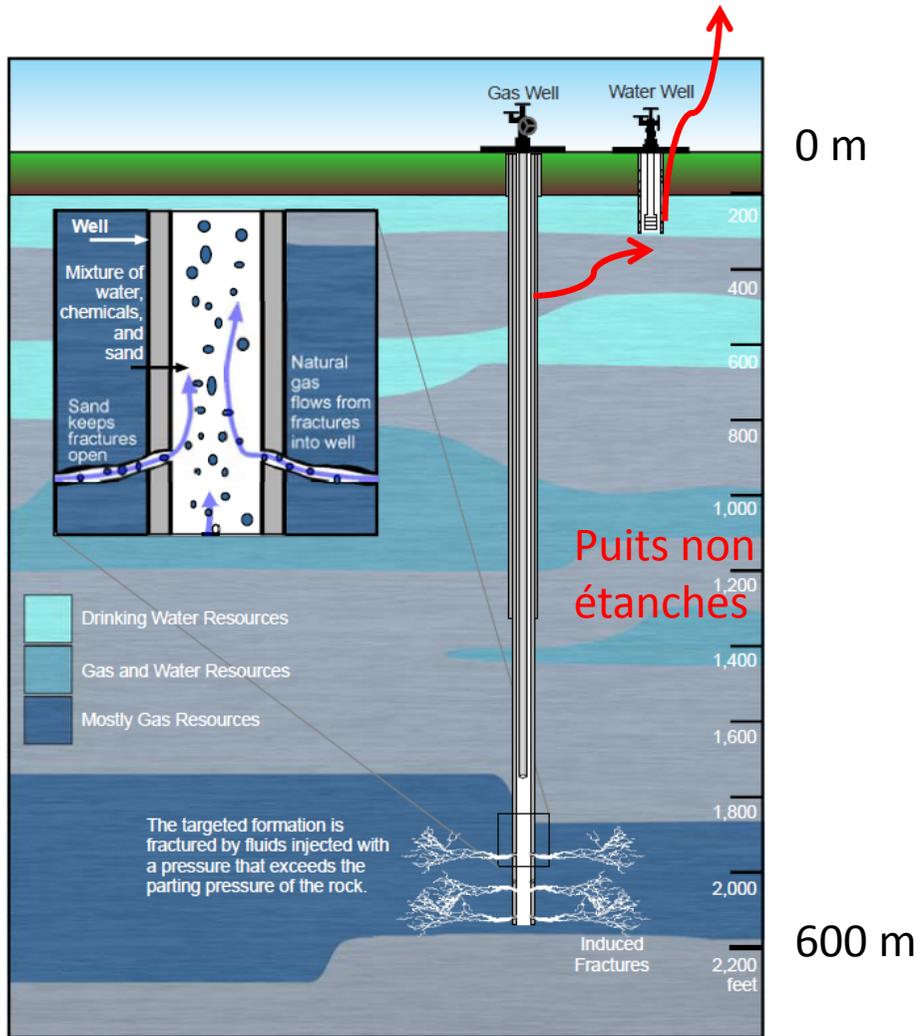
Schéma d'un forage horizontal utilisant une fracturation hydraulique



Les fractures sont en jaune (cf agrandissement). Le forage appelé « domestic well » donne une échelle comparative des profondeurs d'exploitation pour l'eau. Les profondeurs indiquées sont les moyennes observées pour les USA (les profondeurs et distances de 2000 et 10000 pieds correspondent à environ 600 et 3000 m).

Source: Induced seismicity potential in energy technologies, National Research Council of the National Academies; The national Academies Press Washington. 2012

Et dans votre cuisine ?



Gasland by Josh Fox

Dans le film Gasland, l'origine du méthane fait débat ans la communauté scientifique: biogénique (marais) ? gaz de shale ? contamination de surface ?

Origines possibles du méthane observé en surface

3 origines possibles

- 1- Méthane biogénique: généré par la respiration des microorganismes dans les couches plus superficielles
- 2- Méthane géogénique: flux naturel dans les zones de failles de fortes pressions
- 3- Méthane géogénique: fuites induites par les activités de fracturation

Différentiation possible des origines par la signature chimique.
Etudes actuellement en cours aux USA.

Migration vers les aquifères superficiels

Nature des chemins de migration

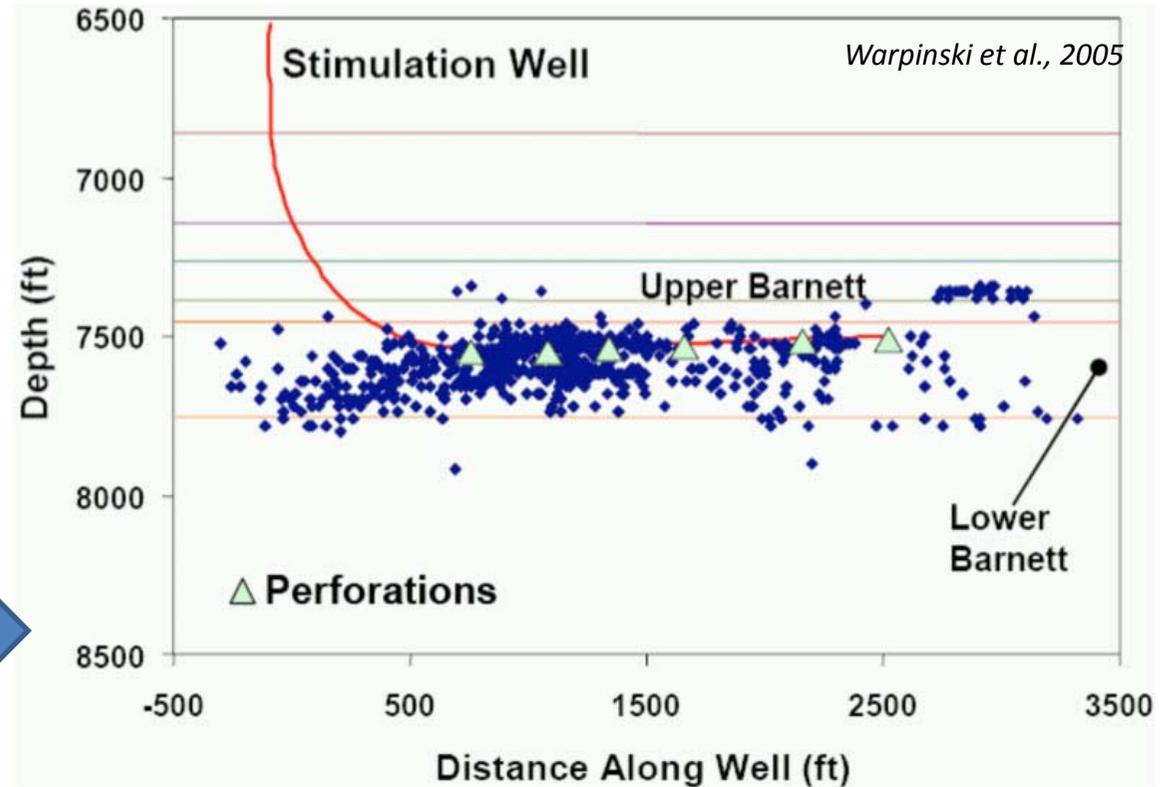
- fracturation existante
- fracturation induite
- puits de production ou puits voisins (surtout dans nasses de puits)
- composition de plusieurs des éléments précédents

Migration des gaz \neq Migration des fluides

- chemins d'écoulement différents
- processus de transport différents (vitesse de migration)

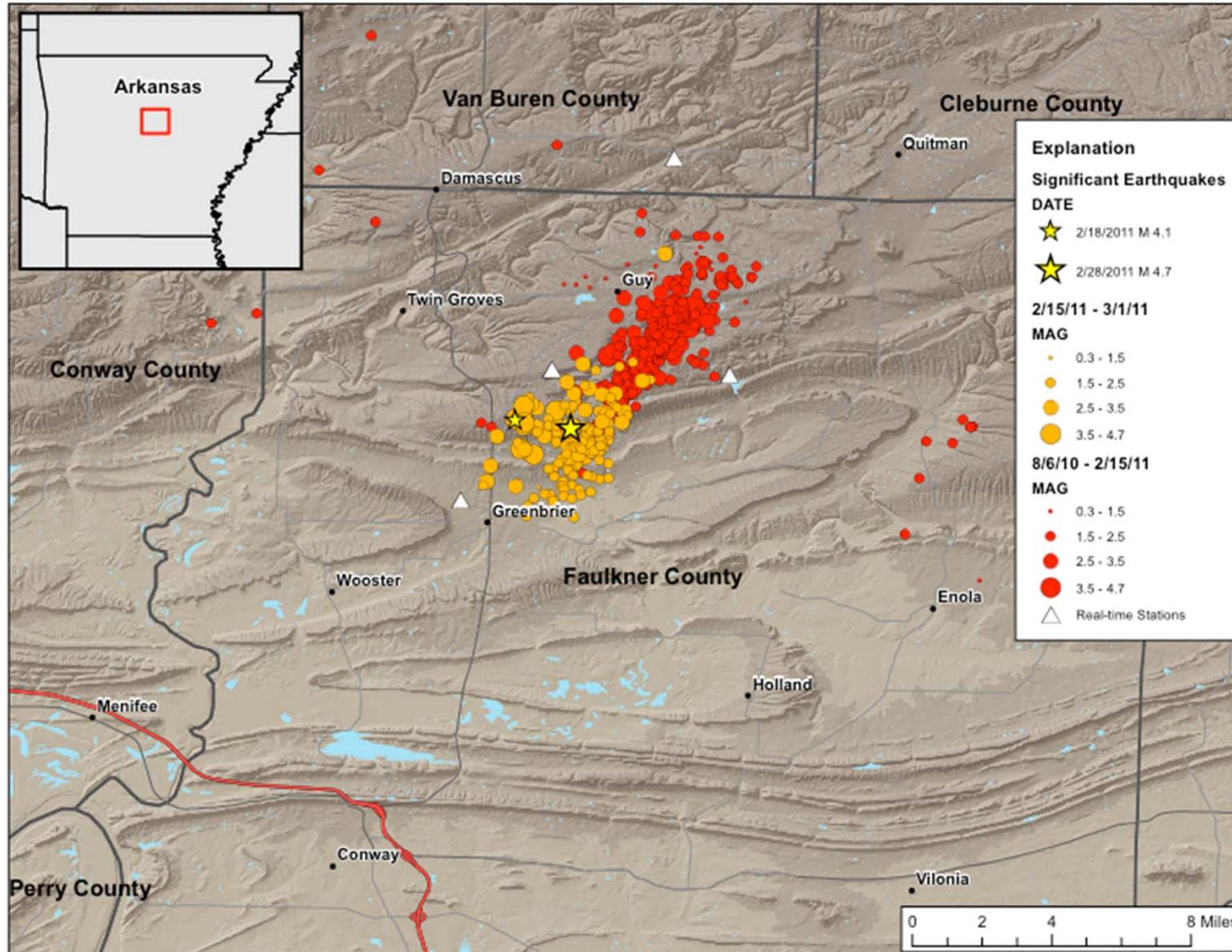
Risque sismique

Coupe au travers d'un puits de stimulation montrant six épisodes d'hydrofracturation et la sismicité induite (magnitude -1,0 to -2,5) en moins de 24 heures.



- **Sismicité induite:** elle est faible car les volumes d'eau injectés sont plutôt faibles et les injections sont de courtes durées (quelques heures à quelques jours). La magnitude est très faible.
- **La sismicité induite est différente de la sismicité déclenchée, possiblement plus forte.**

Sismicité déclenchée en Arkansas par injection en profondeur des eaux de production (Shale Gas, Arkansas, 2011)



Des séismes déclenchés par l'activité humaine

Déclenchement de sismicité

- Carrières
- Mines
- Mise en eau de réservoirs
- Injection de fluide (géothermie)
- Retrait de fluide (gaz, pétrole)

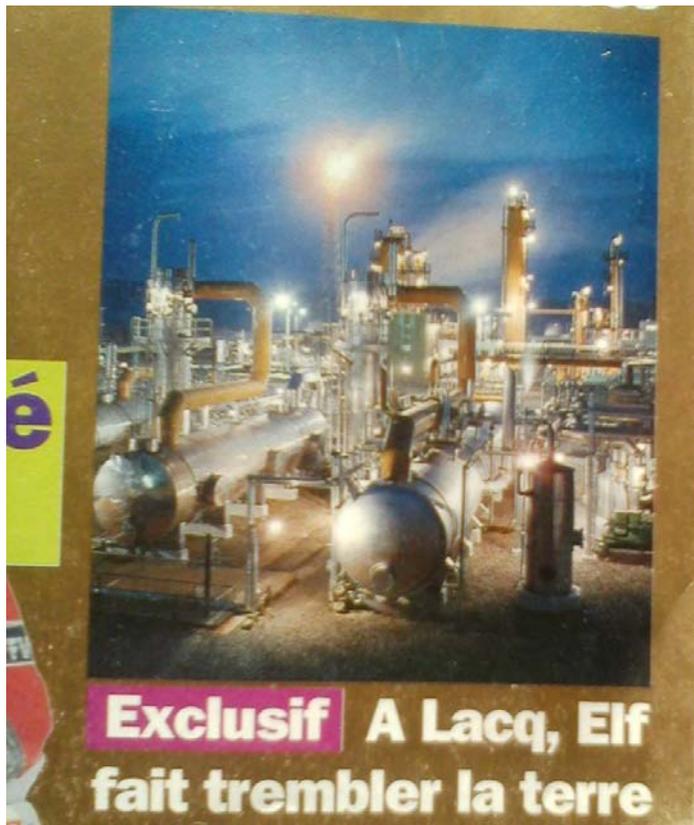
$M = 1 - 2$

$M = -2 - 5$

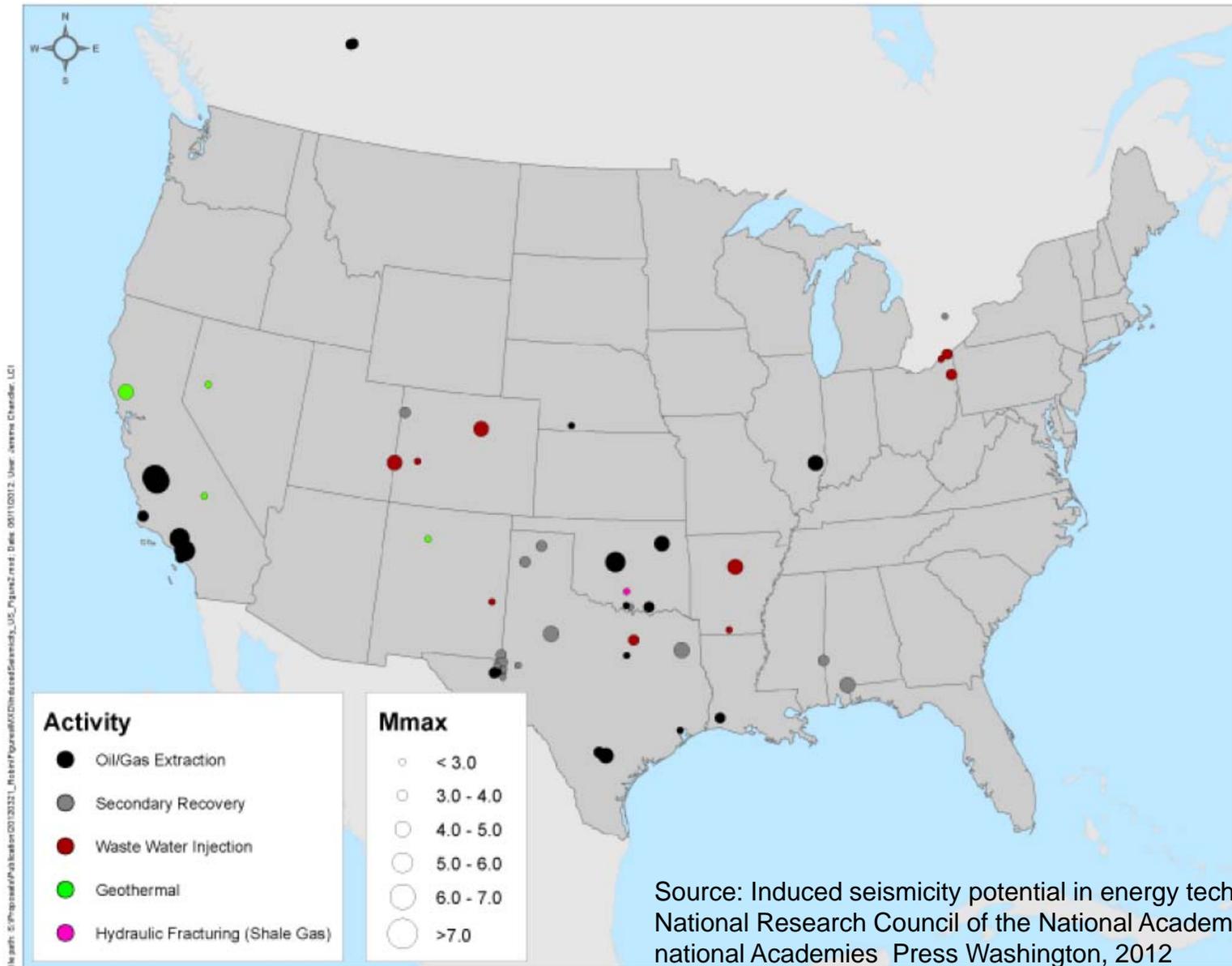
$M_{\max} = 6$

$M_{\max} = 5$

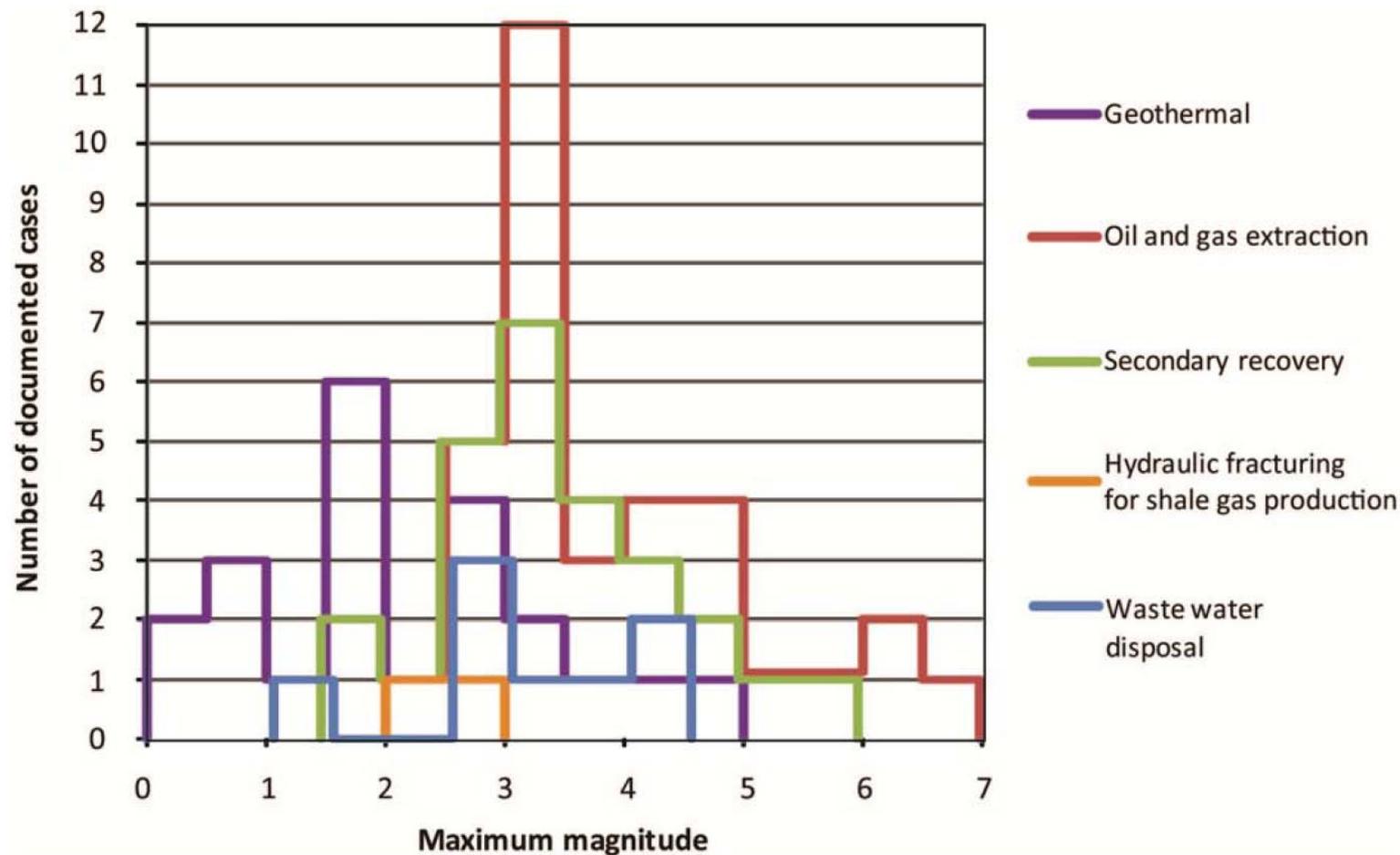
$M_{\max} = 6 - 7$



Carte de la sismicité induite aux USA à l'occasion de diverses injections de fluide



Histogramme des magnitudes maximales recensées des séismes probablement créés par des injections de fluides pour la production d'énergie aux USA



Source: Induced seismicity potential in energy technologies, National Research Council of the National Academies; The national Academies Press Washington, 2012

IV. Les nouvelles technologies

- En phase de tests sur le terrain pour les huiles de schistes et les gaz de charbon.
- En développement pour les gaz de schistes (aucune autre technologie que la fracturation hydraulique n'est utilisée, à notre connaissance).

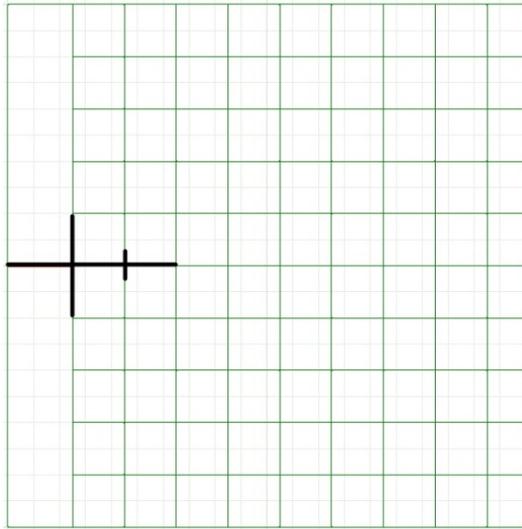
Quelles alternatives à la fracturation hydraulique?

- Réactiver le plus efficacement le réseau de fissures existantes sans créer trop de nouvelles fissures
- Augmenter la densité de fissures et non l'étendue de la fissuration
- Eviter d'utiliser un fluide de fracturation « stratégique » pour l'environnement,

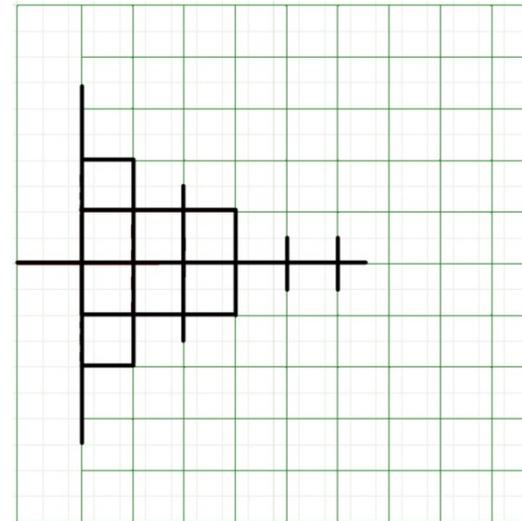
Deux pistes :

- *Changer le fluide de fracturation*
- *Changer le chargement*

Changer de fluide de fracturation



Mise en pression
à l'aide d'un
fluide



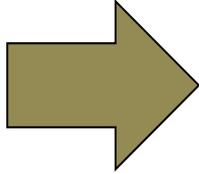
Diminution de la viscosité du fluide



Le fluide pénètre mieux le réseau existant et peut le réactiver.

Candidats : Propane, CO₂, Hélium, autres ?

Changer de fluide de fracturation



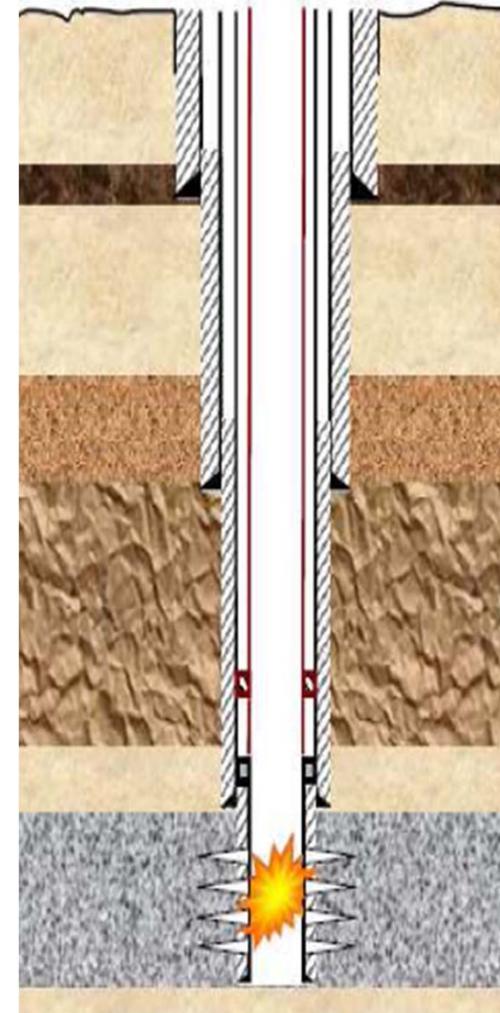
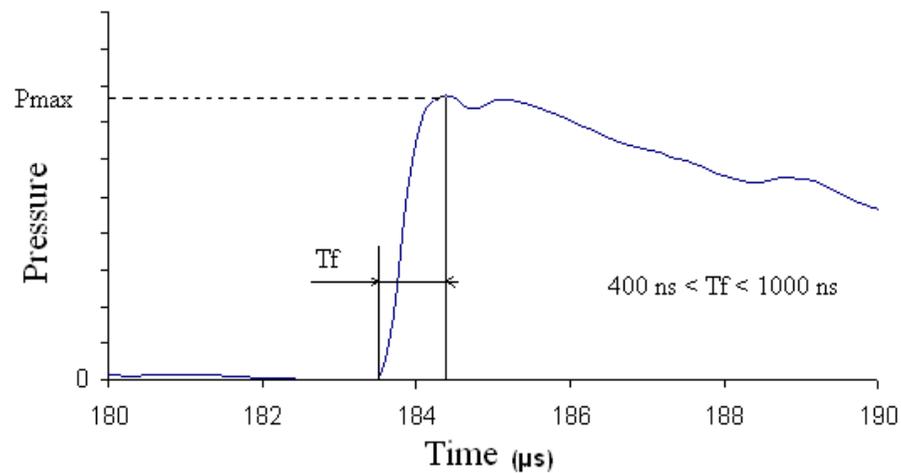
Des difficultés à résoudre....

- La compressibilité du fluide est un élément défavorable à son efficacité
- Précautions pour l'emploi de gaz inflammables ou dangereux
- Effets secondaires (corrosion)
- Disponibilité de la ressource

Changer le mode de chargement

Un chargement dynamique induit une microfissuration diffuse du matériau.

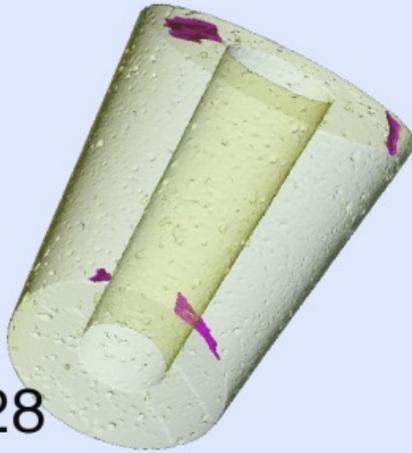
Il est plus localisé autour de la source.
Pas de propagation incontrôlée....



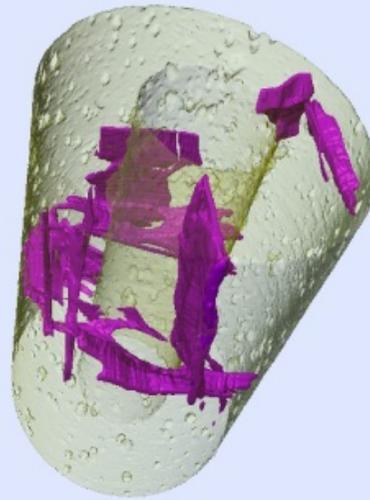
De la fracturation à la fragmentation...

Impulsions répétées

T 028

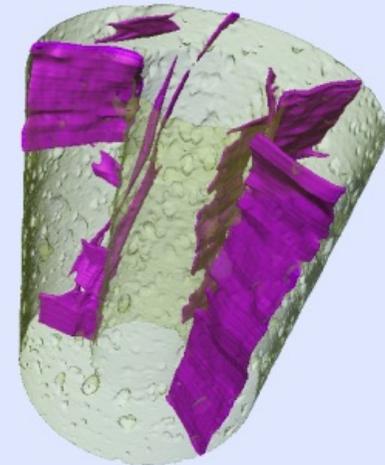


T 19



Perméabilité x 10

T 17



Perméabilité x100

Profondeur de gisement équivalente : 2000 m

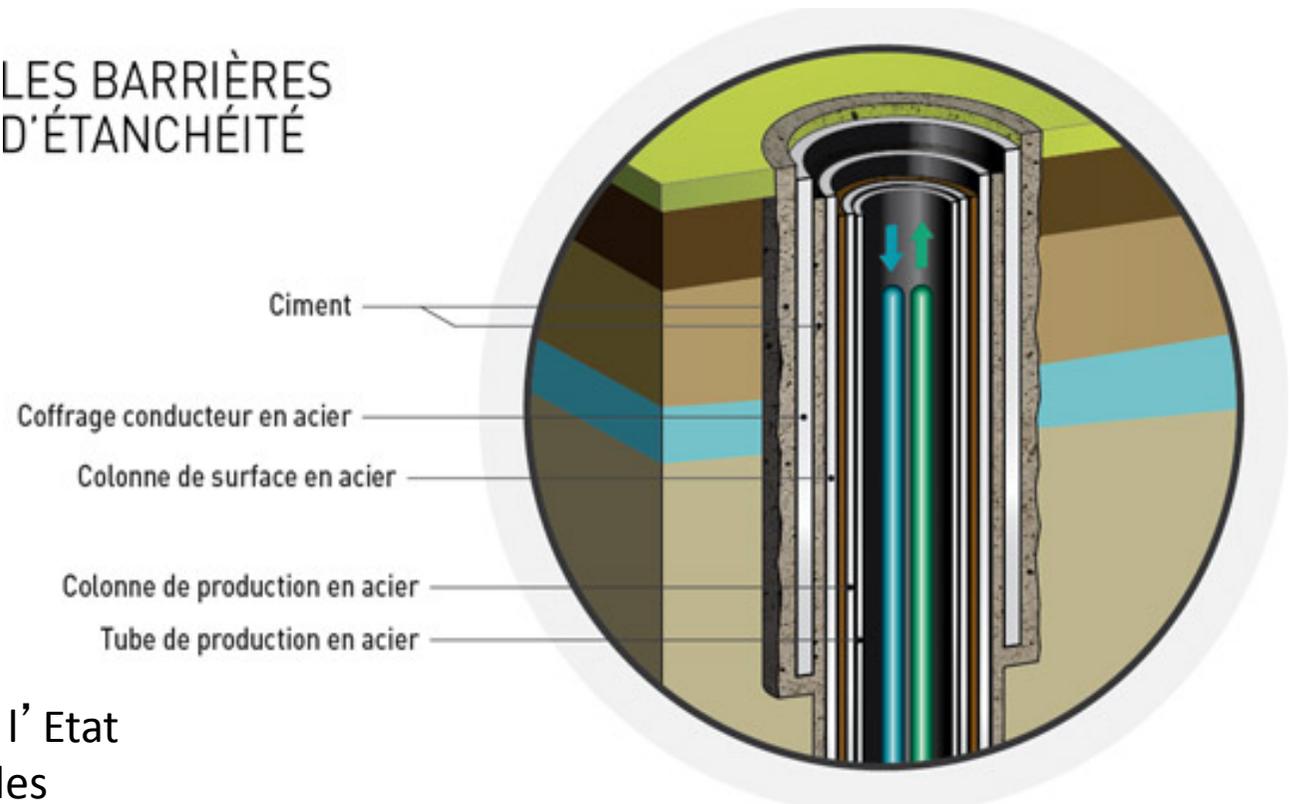
Mais aussi mieux contrôler la fracturation hydraulique

- Réduire la consommation d'eau
- Pour éviter la lixiviation des éléments toxiques présents dans les formations géologiques, l'eau d'injection doit être inerte vis-à-vis des roches
- Utiliser des additifs inoffensifs pour l'environnement
- Développer des technologies minimisant les fuites

Mieux étanchéifier les puits et suivre les fuites

- Concept multi-barrière dans la construction des puits

LES BARRIÈRES D'ÉTANCHÉITÉ



- Gestion du sous-sol limitée à des opérateurs agréés par l'Etat
- Monitoring et surveillance des aquifères de surface et des fuites dans l'atmosphère

Contrôler et limiter les impacts environnementaux

- 1) Evaluer le coût en eau et en énergie de l'exploitation des gaz de schistes et comparer les flux de gaz à effet de serre émis par rapport aux autres énergies fossiles ;
- 2) Publier la liste des produits injectés lors des fracturations hydrauliques ;
- 3) Mettre au point la filière de traitement des effluents avant le début d'exploitation, et publier la composition des fluides rejetés dans l'environnement ;
- 4) Limiter les dégradations du paysage (empiètement sur de nombreux sites et création des voies d'accès nécessaires, lagunes abandonnées, transport lors des phases d'exploitation) ;
- 5) Quantifier l'impact de l'exploitation d'un grand nombre de sites de forage sur la biodiversité ;
- 6) Prendre en compte et mesurer la sismicité de la région exploitée ;
- 7) Assurer un suivi spécifique de la qualité des eaux de consommation et de l'air avant, pendant et après l'exploitation ainsi qu'un suivi de l'étanchéité des puits pendant et après la phase d' exploitation.

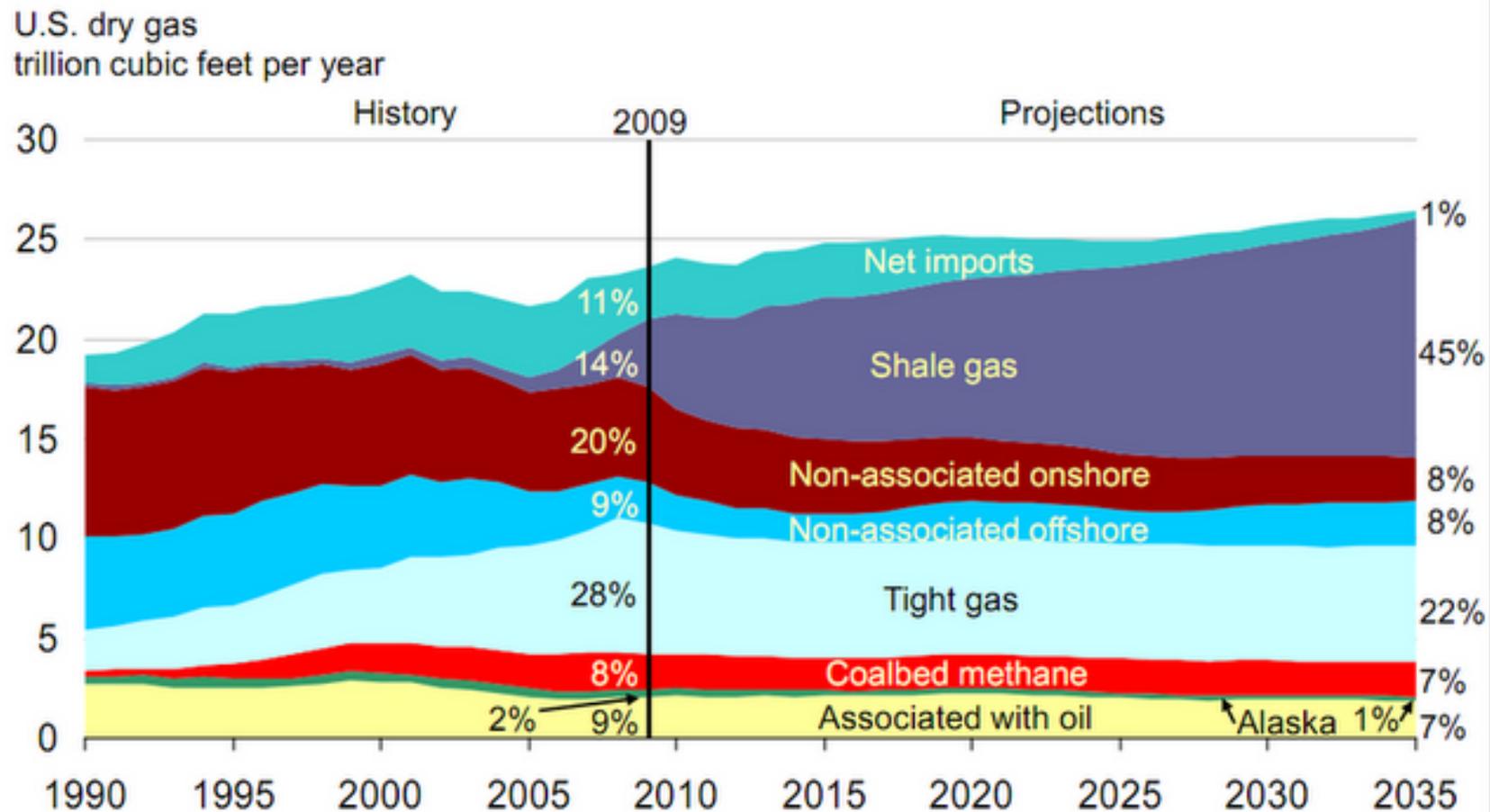
V. Les enjeux économiques

Géopolitique: 40% des importations européennes viennent de Russie



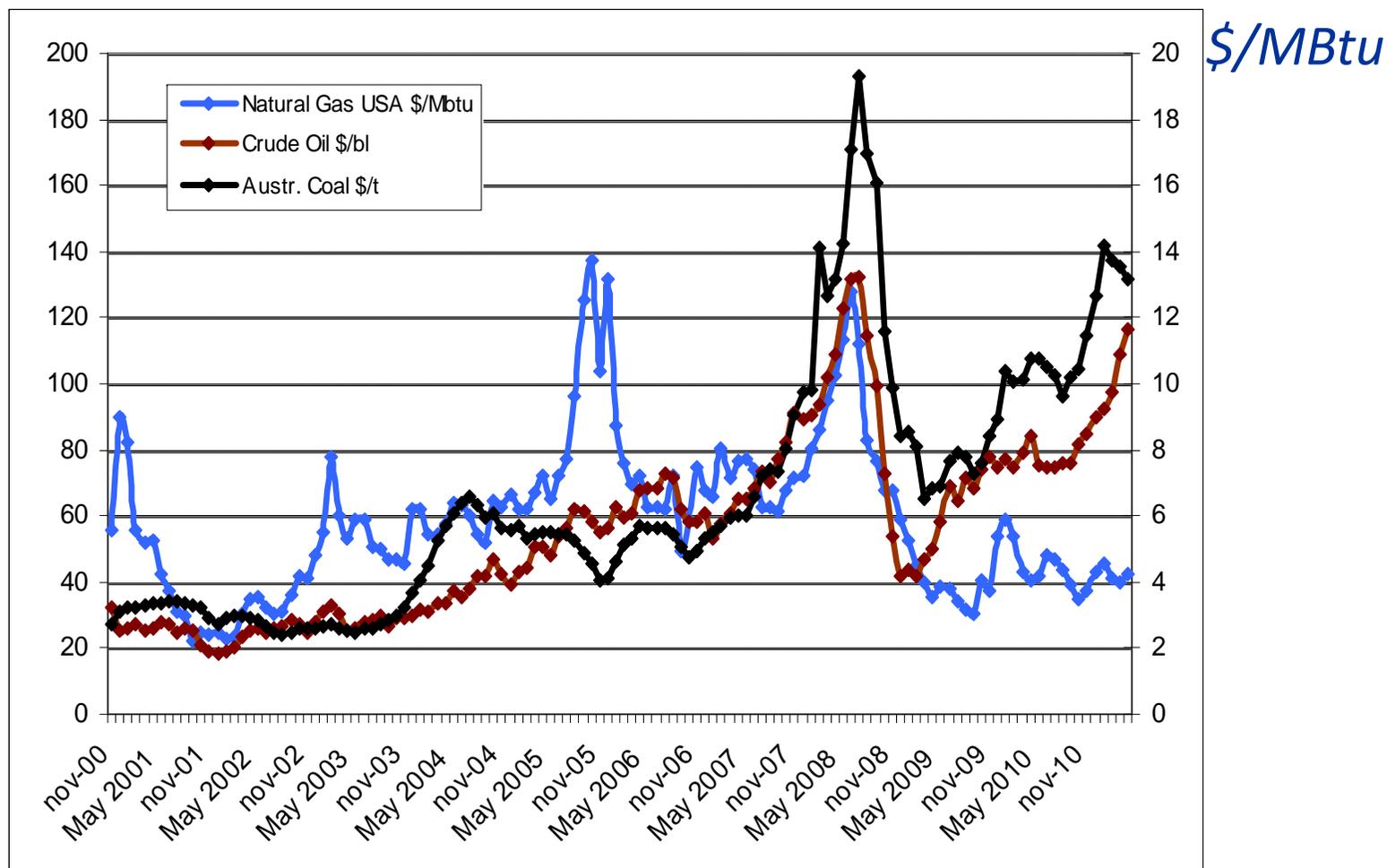
Gaz de shale: bientôt 50% de la production américaine ?

Shale gas offsets declines in other U.S. supply to meet consumption growth and lower import needs



Le prix du pétrole, prix directeur de l'énergie ?

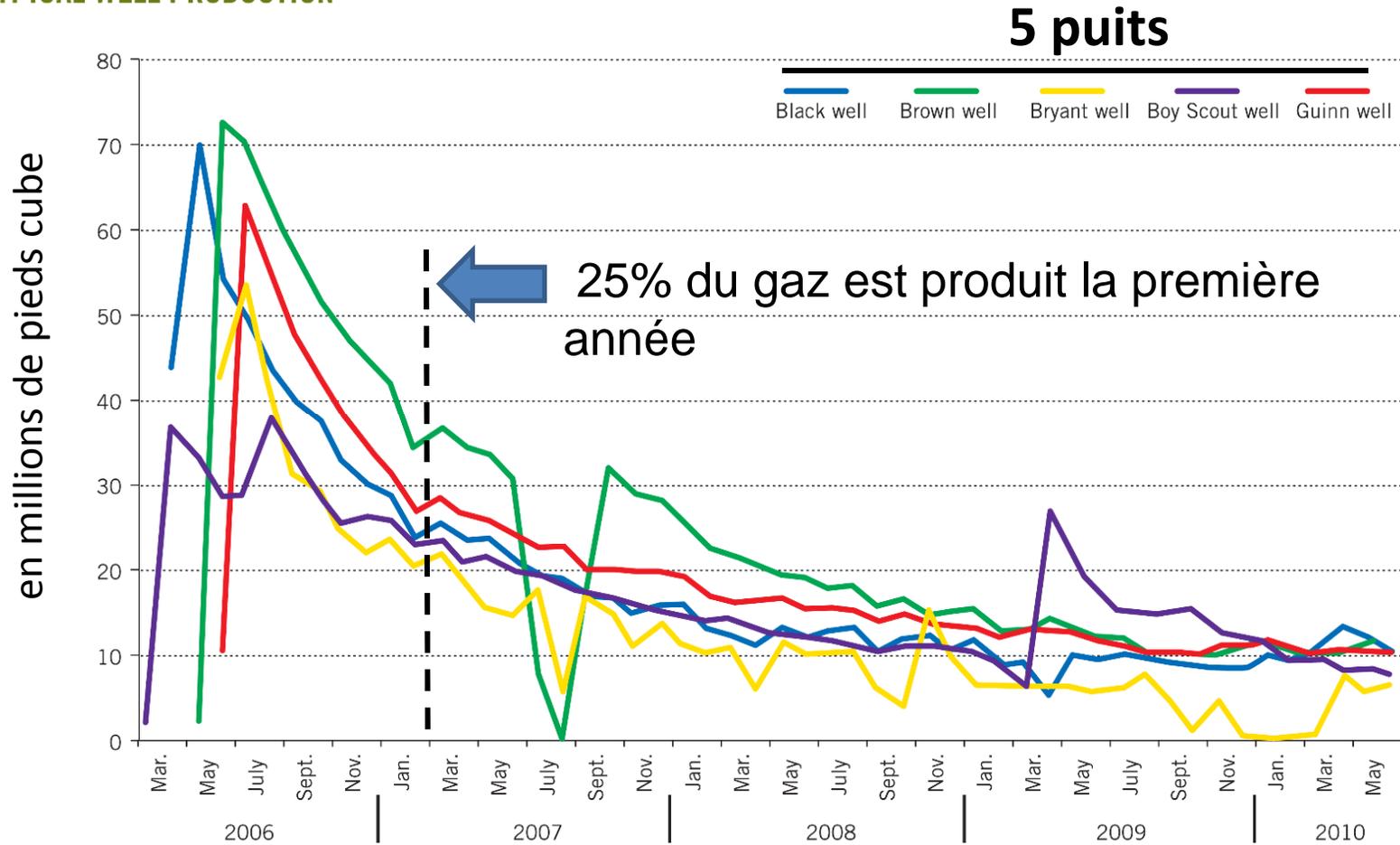
\$/bl
\$/tC



\$/Mbtu

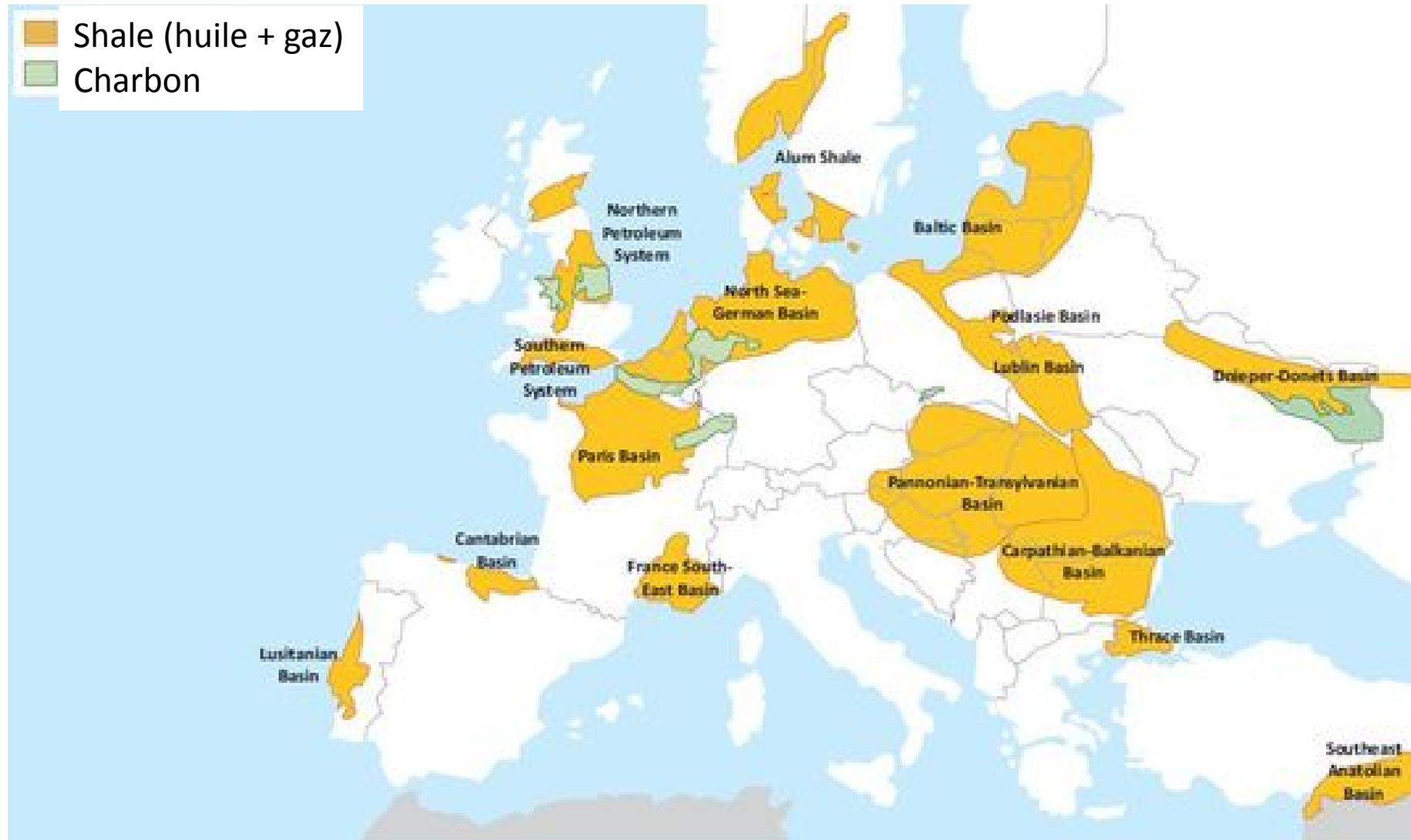
Production à Fayetteville (USA)

TYPICAL WELL PRODUCTION



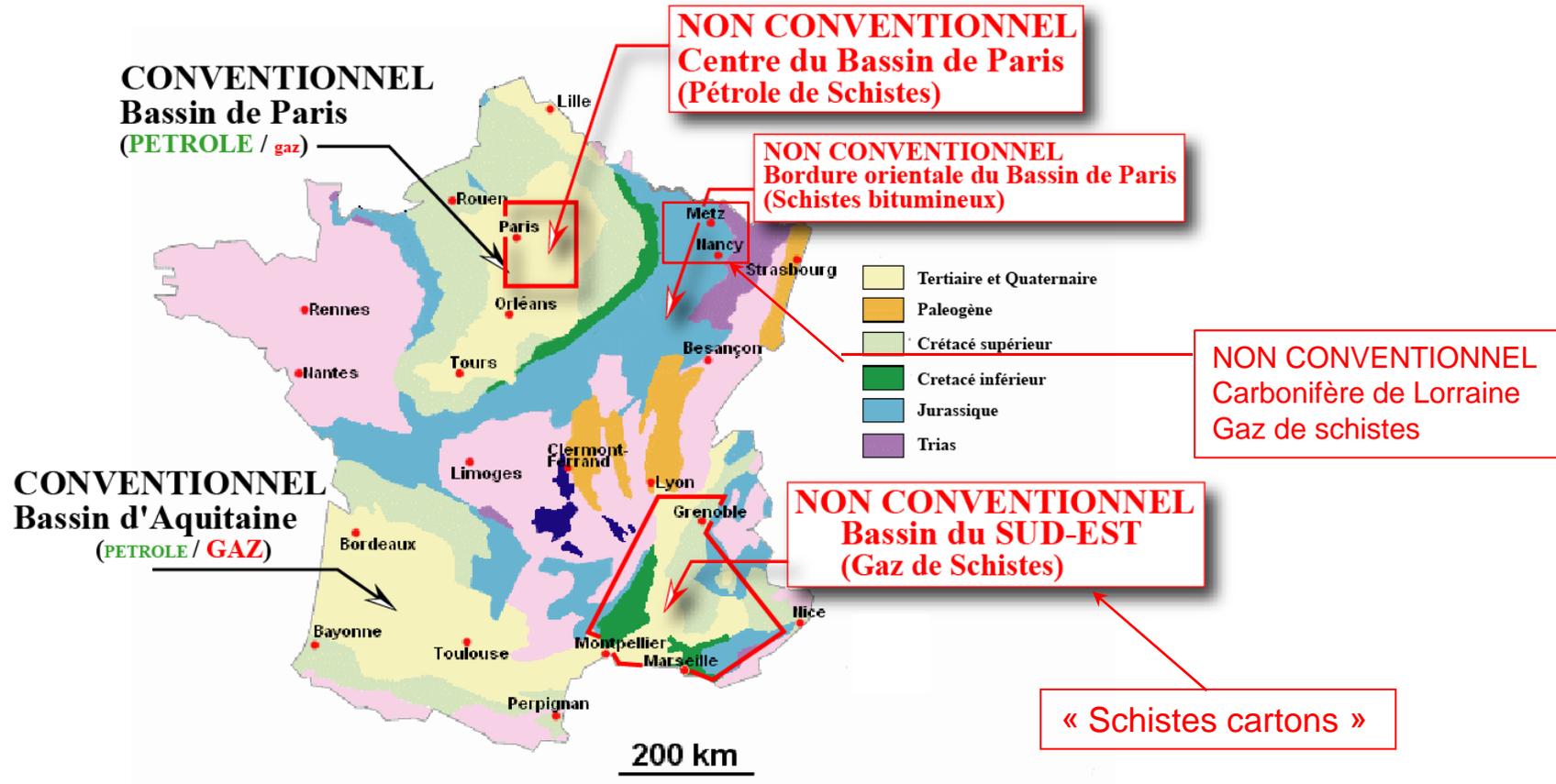
James E. Mason, Hydrogen Research Institute, Farmingdale, NY, Oil & Gas journal

Les ressources de gaz de shale et gaz de charbon en Europe



Source: Le Monde, 21/12/2012

Les hydrocarbures de roche-mère en France



Quel volume de gaz de shale ? On ne le connaît pas: entre 10 ans ? et 100 ans ?
de consommation française

En conclusion sur les gaz de shale ?



Photographie : Pierre Thomas



- Arguments économiques
- Arguments environnementaux
 - Arguments sanitaires
 - Principe de précaution
 - Connaissances nouvelles



Et vous, pouvez-vous vous faire votre propre opinion ?

C'est le moment: grand débat sur l'énergie