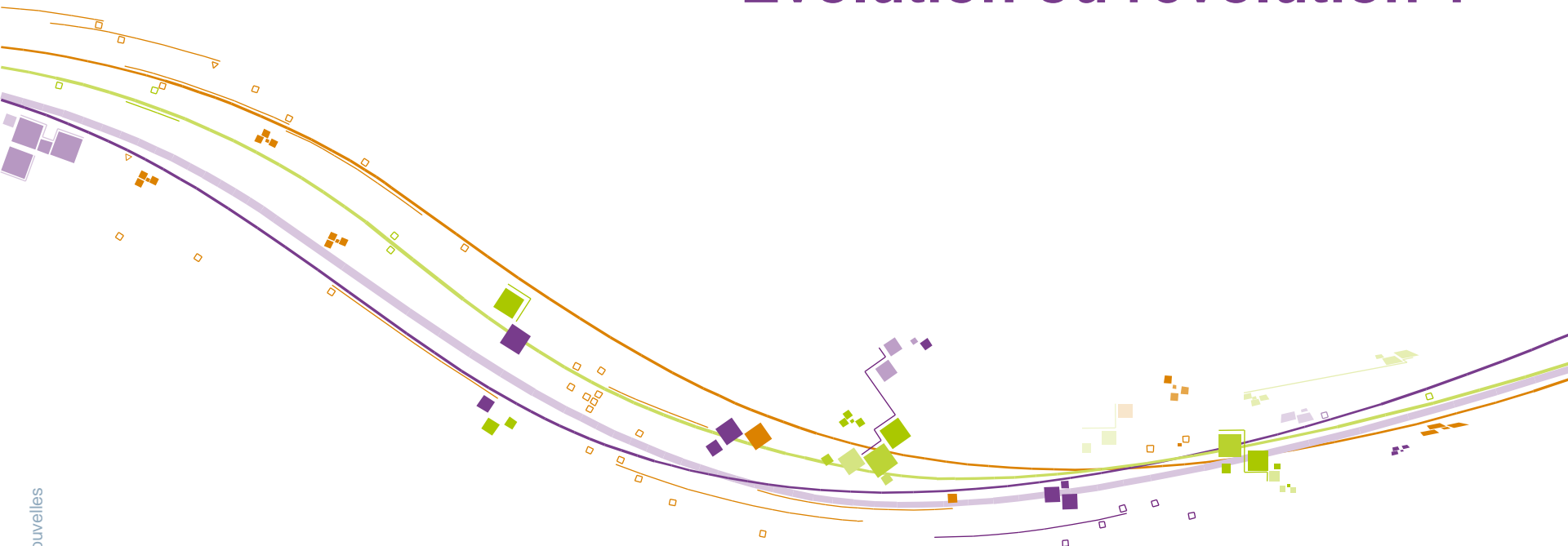


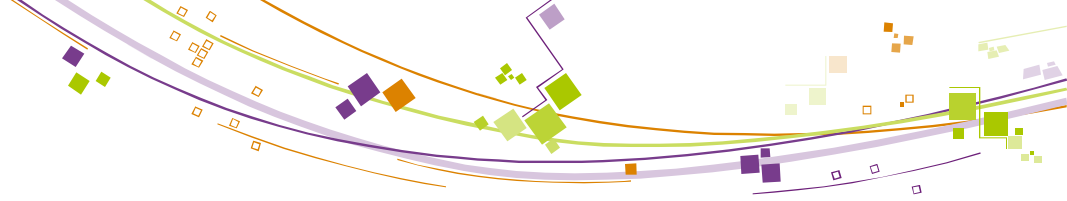
Les hydrocarbures de roche-mère

Évolution ou révolution ?



Roland VIALLY





Plan

- Le contexte énergétique mondial
- Les hydrocarbures de roche-mère
 - Quelques définitions et rappels géologiques
 - Un défi : Produire les hydrocarbures de roche-mère
 - Les techniques de production
 - Les impacts environnementaux
 - Une gageure: Evaluer les ressources et les réserves
- Le modèle américain : est-il transposable en France ?
- Conclusions : Les hydrocarbures de roche-mère : évolution ou révolution ?

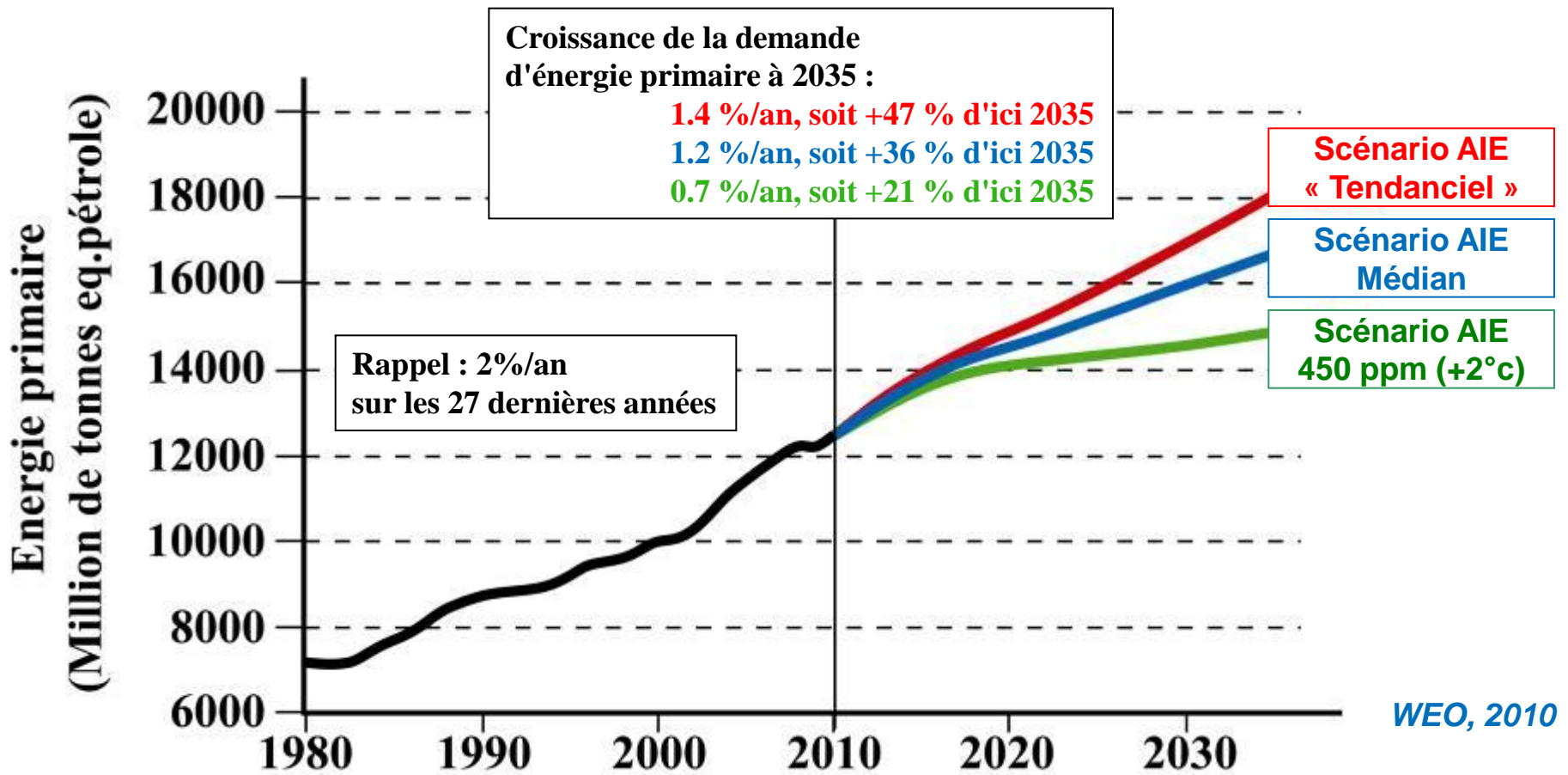


Plan

- **Le contexte énergétique mondial**
- Les hydrocarbures de roche-mère
 - Quelques définitions et rappels géologiques
 - Un défi : Produire les hydrocarbures de roche-mère
 - Les techniques de production
 - Les impacts environnementaux
 - Une gageure: Evaluer les ressources et les réserves
- Le modèle américain : est-il transposable en France ?
- Conclusions : Les hydrocarbures de roche-mère : évolution ou révolution ?

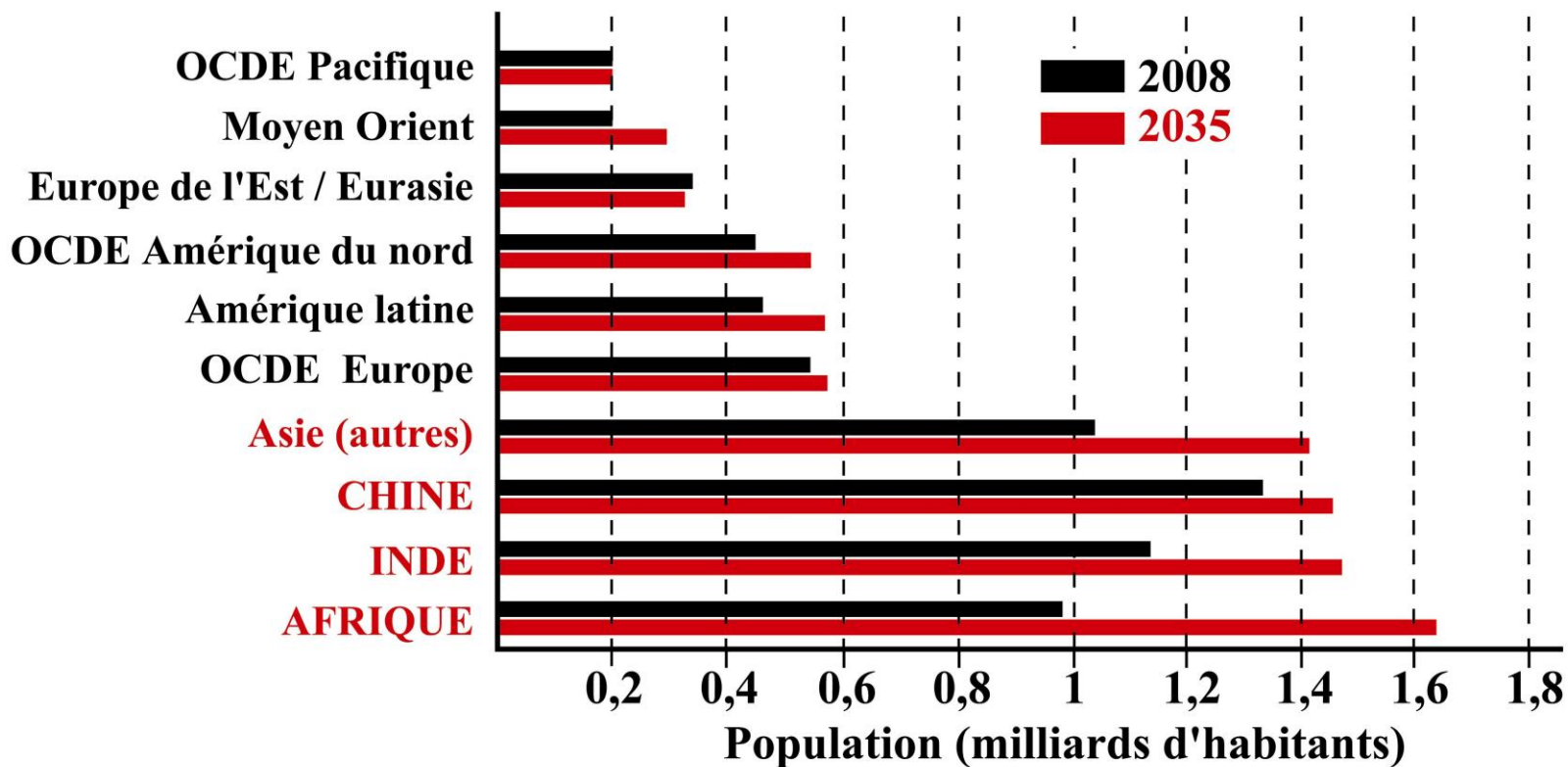
La demande mondiale en énergie primaire (1).

Les 3 scénarios de l'AIE.



La demande mondiale en énergie primaire (4).

Augmentation de la population et croissance mondiale



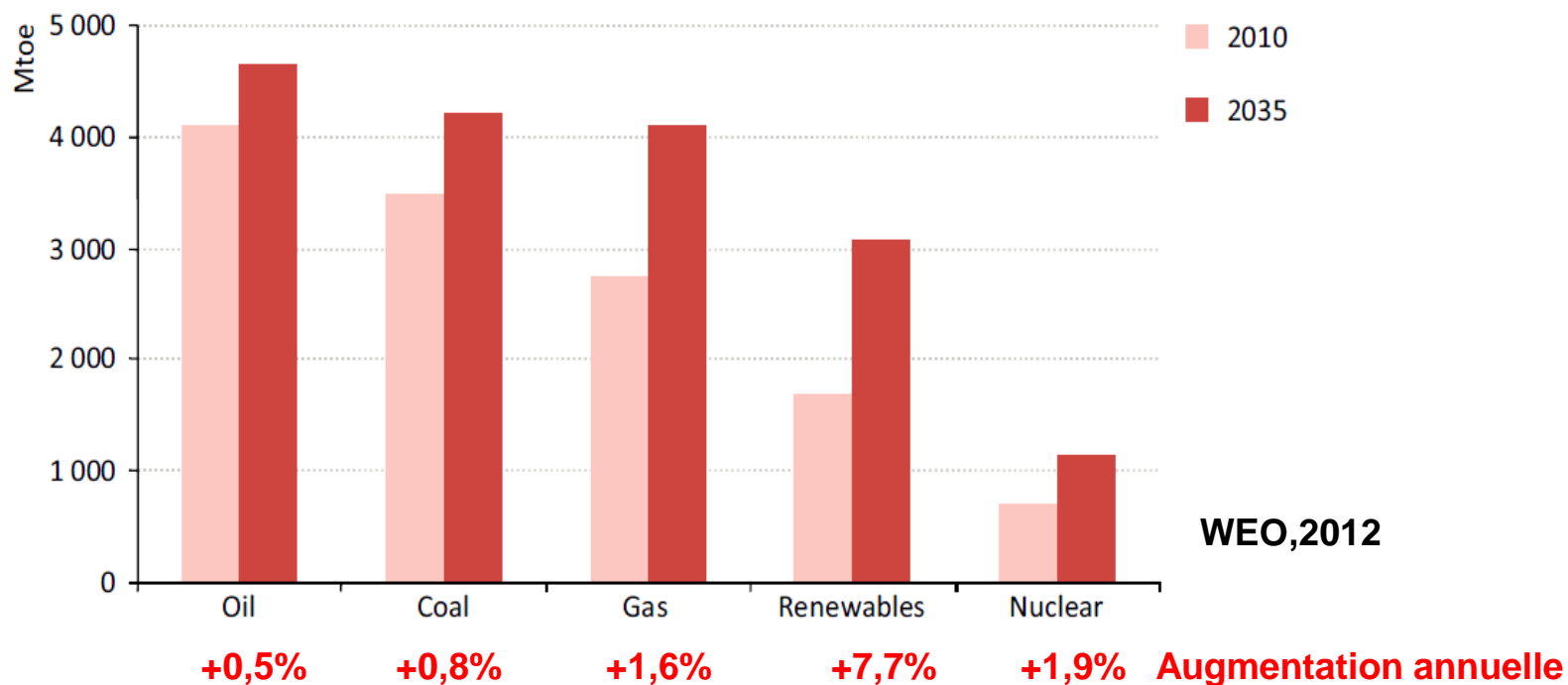
L'augmentation annuelle de la population sera de l'ordre de 1% jusqu'en 2035

La population devrait atteindre les 8,5 milliards en 2035

La croissance mondiale annuelle est estimée à 3% jusqu'en 2035 (AIE)

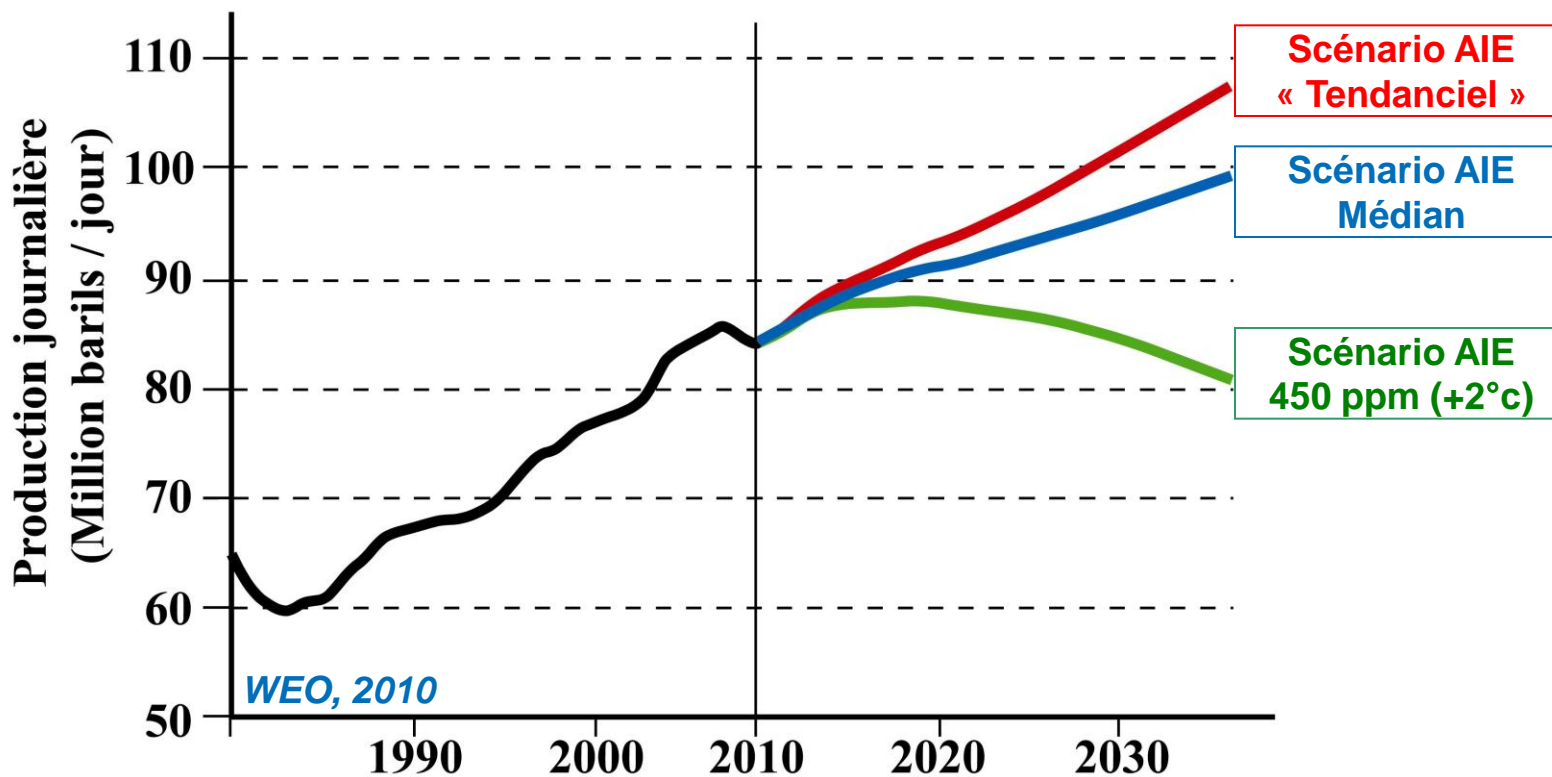
La demande mondiale en énergie primaire (5). Répartition par type d'énergie

World primary energy demand by fuel in the New Policies Scenario



Part des hydrocarbures (pétrole + gaz) dans le mix énergétique mondial
1990 : 56% **2010 : 54%** **2035 : 51%**

La demande mondiale en hydrocarbures liquides (1).

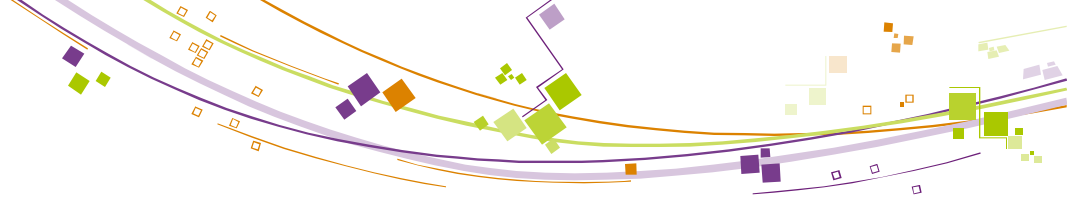


Scénario AIE médian : 100 millions barils / jours en 2035

Les ressources en hydrocarbures liquides seront-elles suffisantes ?

La demande mondiale en hydrocarbures liquides (2).



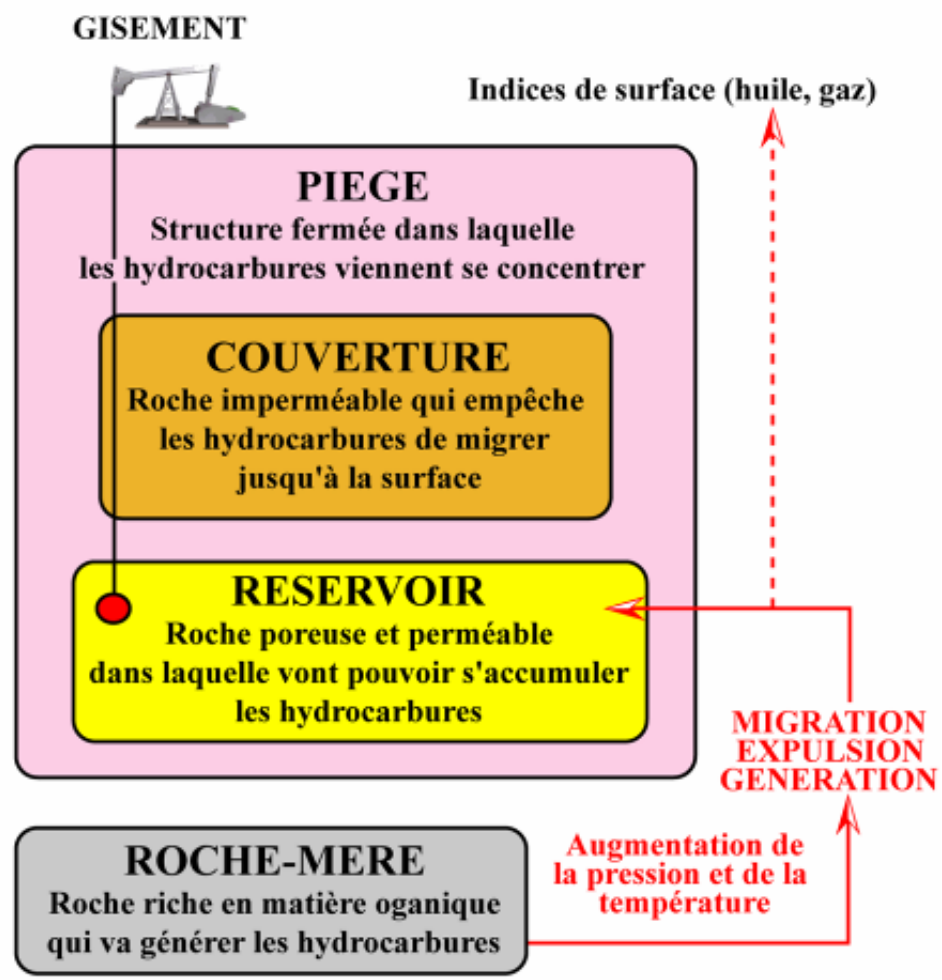


Plan

- Le contexte énergétique mondial
- **Les hydrocarbures de roche-mère**
 - **Quelque définitions et rappels géologiques**
 - Un défi : Produire les hydrocarbures de roche-mère
 - Les techniques de production
 - Les impacts environnementaux
 - Une gageure: Evaluer les ressources et les réserves
- Le modèle américain : est-il transposable en France ?
- Conclusions : Les hydrocarbures de roche-mère : évolution ou révolution ?

Les hydrocarbures conventionnels.

La notion de système pétrolier (1).



**HYDROCARBURES
CONVENTIONNELS**

On cherche à produire des hydrocarbures à partir de réservoirs poreux et perméables.

PLUS FACILE et MOINS CHER

Les hydrocarbures non conventionnels.

La notion de système pétrolier (2).



HYDROCARBURES NON CONVENTIONNELS

Indices de surface (huile, gaz)

PIEGE

COUVERTURE

Hydrocarbures non conventionnels dans un réservoir conventionnel (sables bitumineux, huiles lourdes)

MIGRATION
EXPULSION
GENERATION

Hydrocarbures conventionnels dans un réservoir non conventionnel (Pétrole et gaz de schiste)

Augmentation de la pression et de la température

NON CONVENTIONNEL

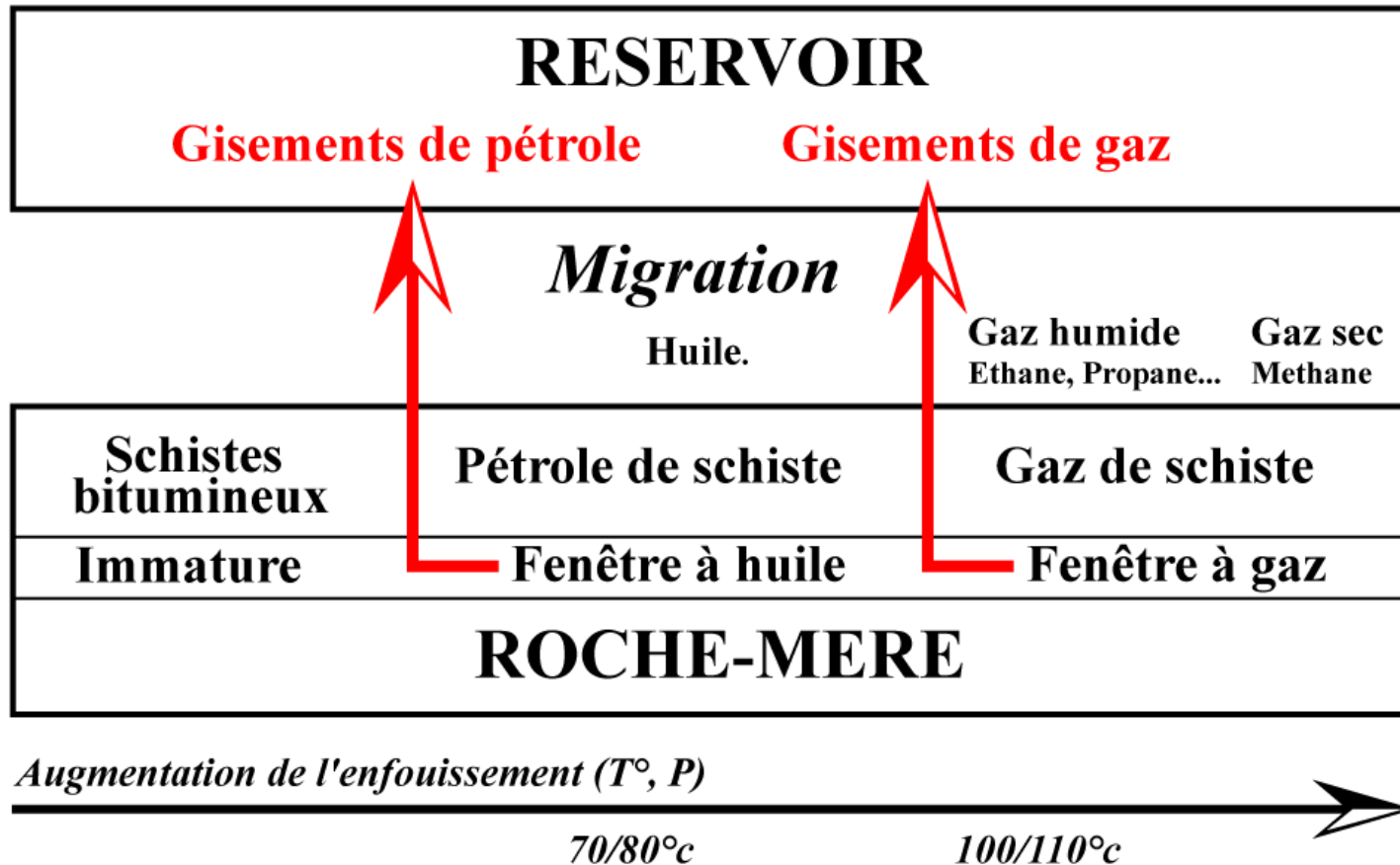
C'est le mode de production qui est non conventionnel pas les hydrocarbures !

HYDROCARBURES RESTÉS PIÉGÉS DANS LA ROCHE-MÈRE « Hydrocarbures de roche-mère »

Les hydrocarbures non conventionnels.

Les hydrocarbures de roche-mères.

Source IFPEN



CONVENTIONNEL
NON CONVENTIONNEL

Les hydrocarbures de roche-mère.

La roche-mère (1).



**Roche argileuse feuilletée (« schiste »)
contenant de la matière organique : roche-mère *sensu-stricto***

Les hydrocarbures de roche-mère.

La roche-mère (2).



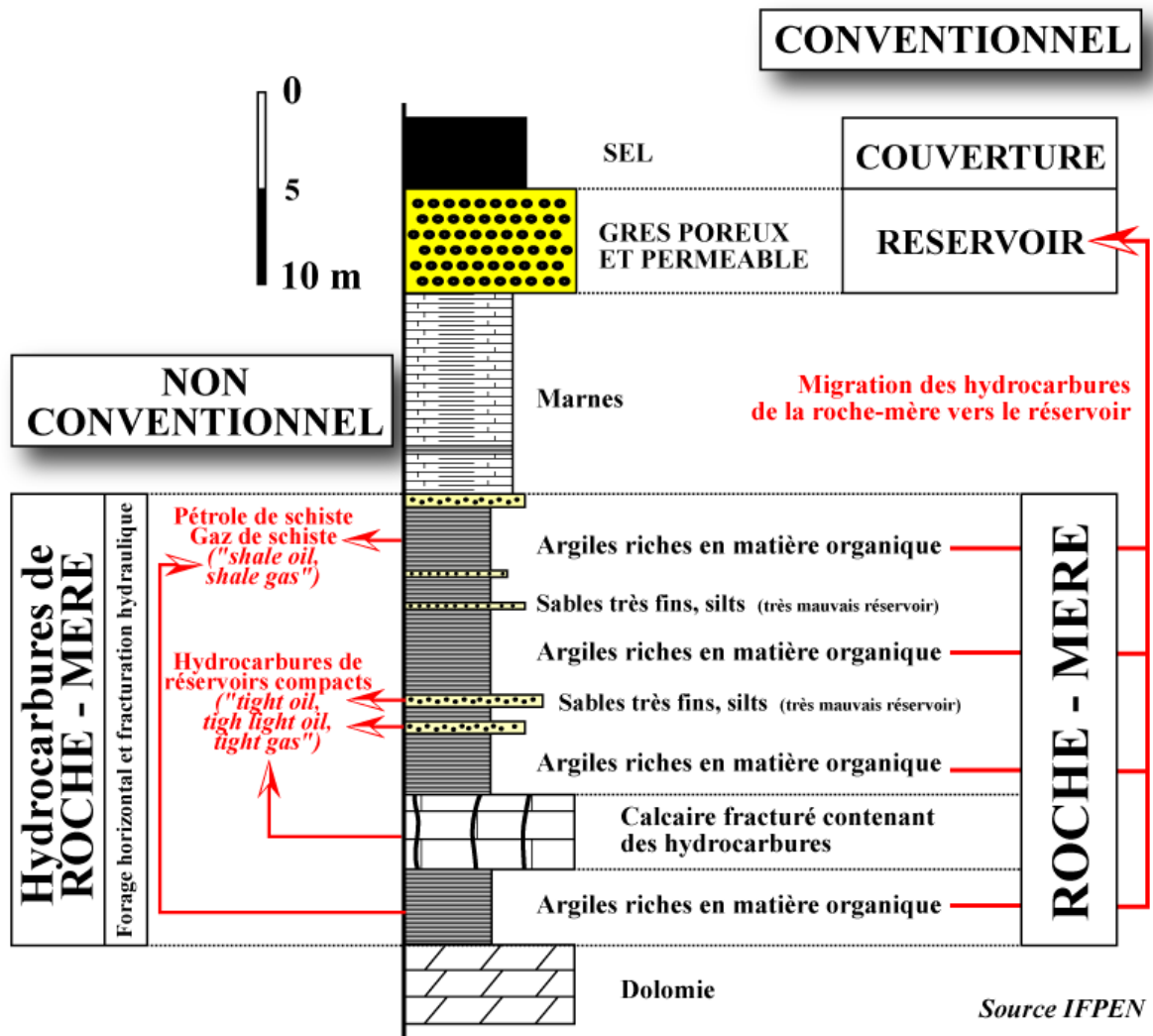
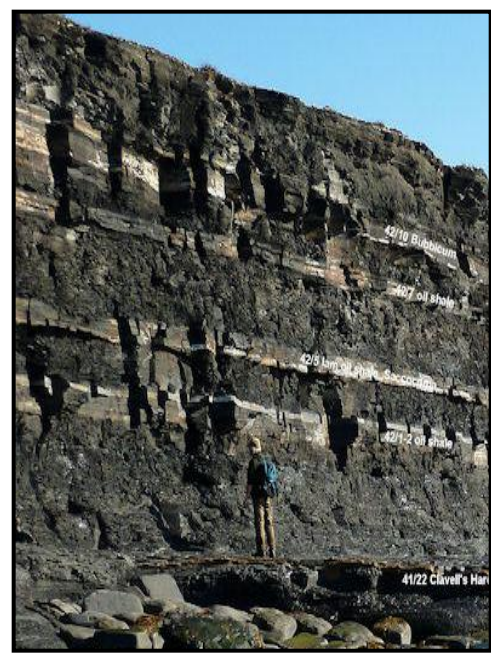
Affleurement de *Kimmeridge Clays* (Dorset)

Colloque LIED mardi 2 avril 2013 – Roland VIALLY – Hydrocarbures de roche-mère : évolution ou révolution ?

Les hydrocarbures de roche-mère.

La roche-mère (3).

La nature a horreur des classifications



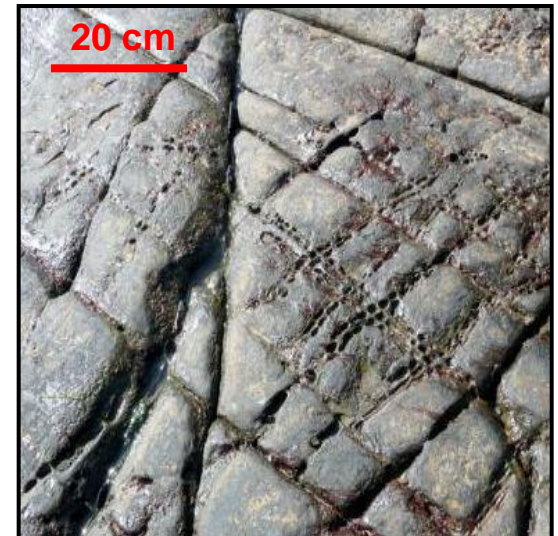
Source IFPEN

Les hydrocarbures de roche-mère.

Les fractures naturelles

Dans les "schistes" (non poreux et imperméables) les hydrocarbures se trouvent:

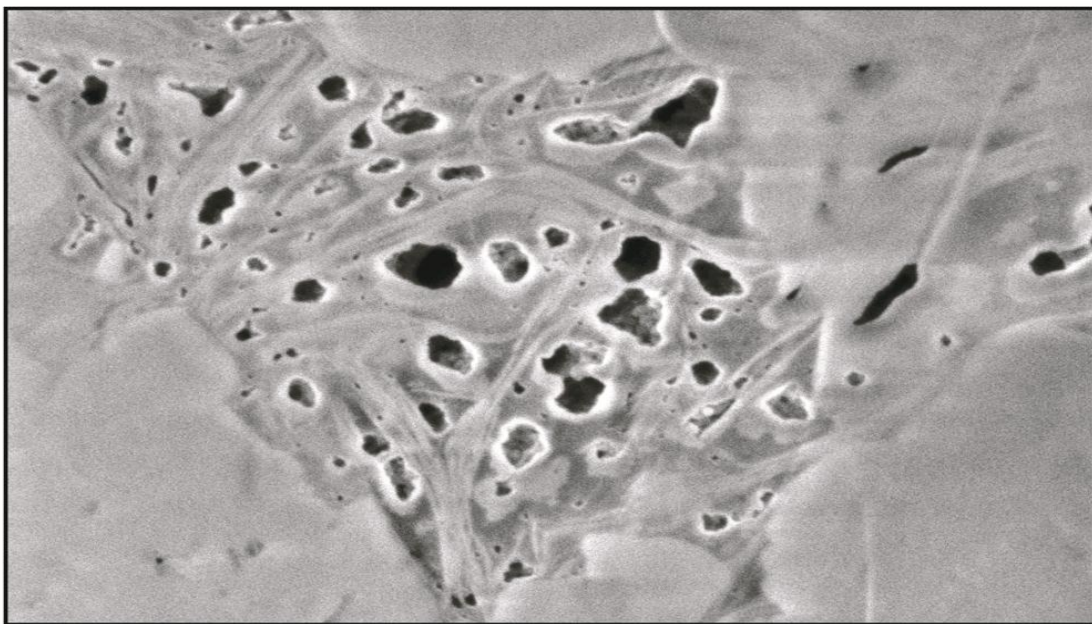
- Dans le réseau des fractures naturelles (libre)



Les hydrocarbures de roche-mère.

La porosité secondaire

- Dans la **porosité secondaire** issue de la transformation de la matière organique en hydrocarbures (libre mais pas ou peu mobile)



La fracturation naturelle ou artificielle permet de connecter la porosité secondaire et de produire les hydrocarbures....

Les hydrocarbures de roche-mère.

Adsorption et désorption

- Adsorbé sur la matière organique (piégé)

L'**adsorption** est un phénomène de surface par lequel des atomes ou des molécules de gaz ou de liquides se fixent sur une surface solide selon divers processus plus ou moins intenses grâce aux interactions de *Van der Waals*.

Le phénomène inverse, par lequel les molécules adsorbées sur une surface s'en détachent, sous l'action de l'élévation de la température, ou de la baisse de pression, se nomme la **désorption**.

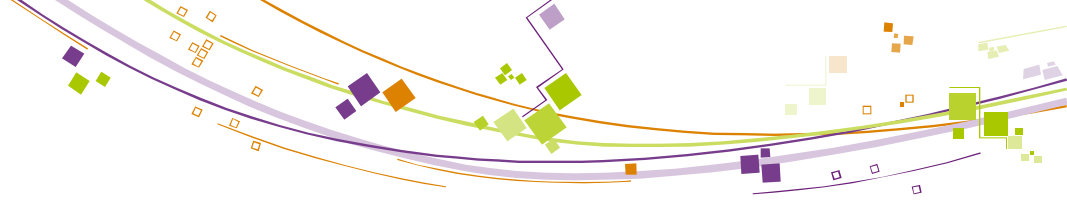
Grâce à leur structure cristalline en feuillets, les **argiles** sont de bons adsorbants naturels ainsi que la **matière organique** et notamment le charbon.



Le charbon peut adsorber de fortes quantités de méthane.

*Lors du creusement des galeries de mines, la pression diminue et le méthane est désorbé.. c'est le fameux « **coup de grisou** » tant redouté des mineurs.*

*On peut produire ce méthane c'est la **gaz de houille** ou **CoalBed Methane (CBM)**.*



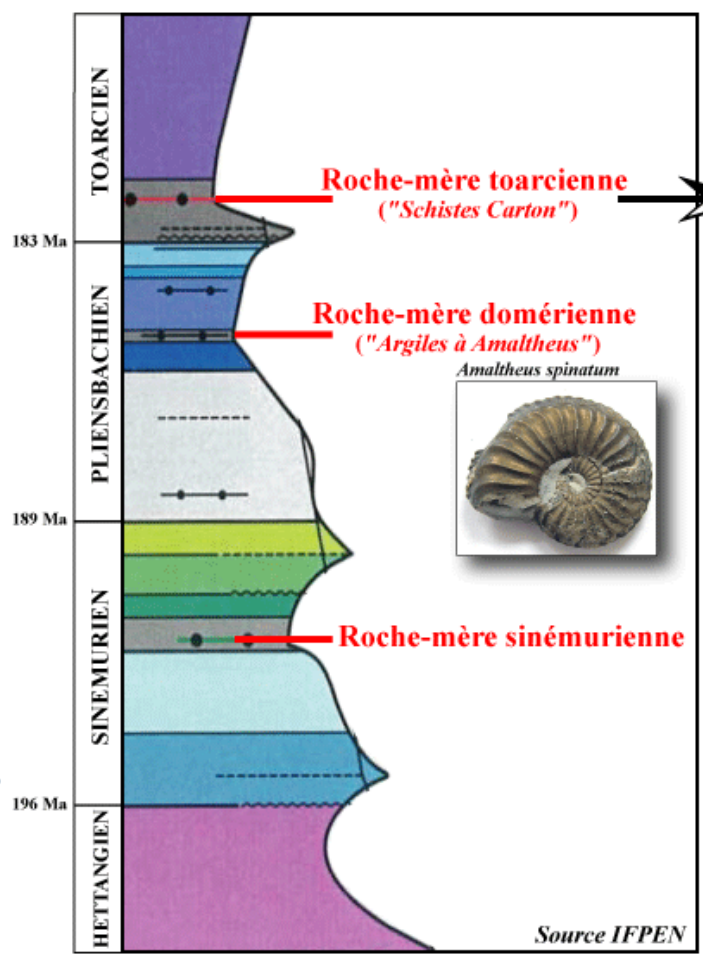
Plan

- Le contexte énergétique mondial
- **Les hydrocarbures de roche-mère**
 - Quelques définitions et rappels géologiques
 - **Un défi : Produire les hydrocarbures de roche-mère**
 - Les techniques de production
 - Les impacts environnementaux
 - Une gageure: Evaluer les ressources et les réserves
- Le modèle américain : est-il transposable en France ?
- Conclusions : Les hydrocarbures de roche-mère : évolution ou révolution ?

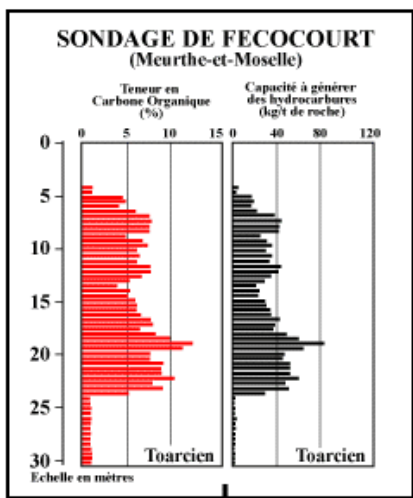
Produire les hydrocarbures de roche-mère.

Localiser les niveaux de roche-mère..

LES ROCHE-MERES DU LIAS SUPERIEUR



ANALYSES GEOCHIMIQUES



*Toarcien (« Argiles à poissons »)
Affleurement de Carcagny
(sud-est de Bayeux)*

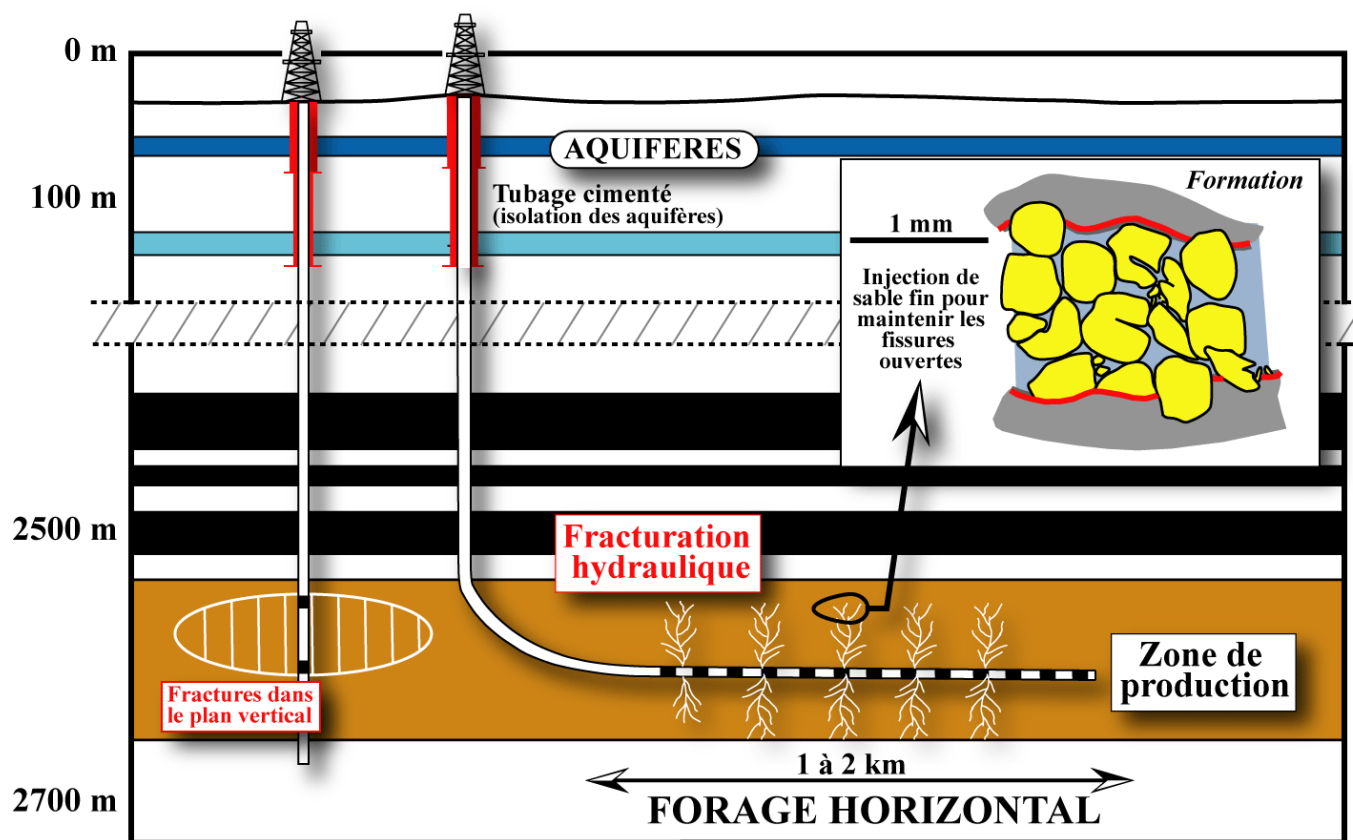
EVALUATION DU POTENTIEL PETROLIER

Produire les hydrocarbures de roche-mère.

Forages horizontaux et fracturation hydraulique.

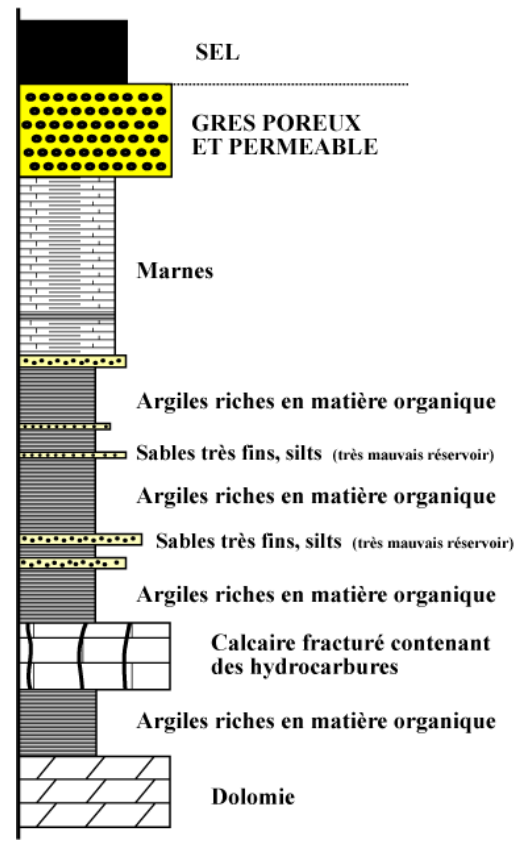
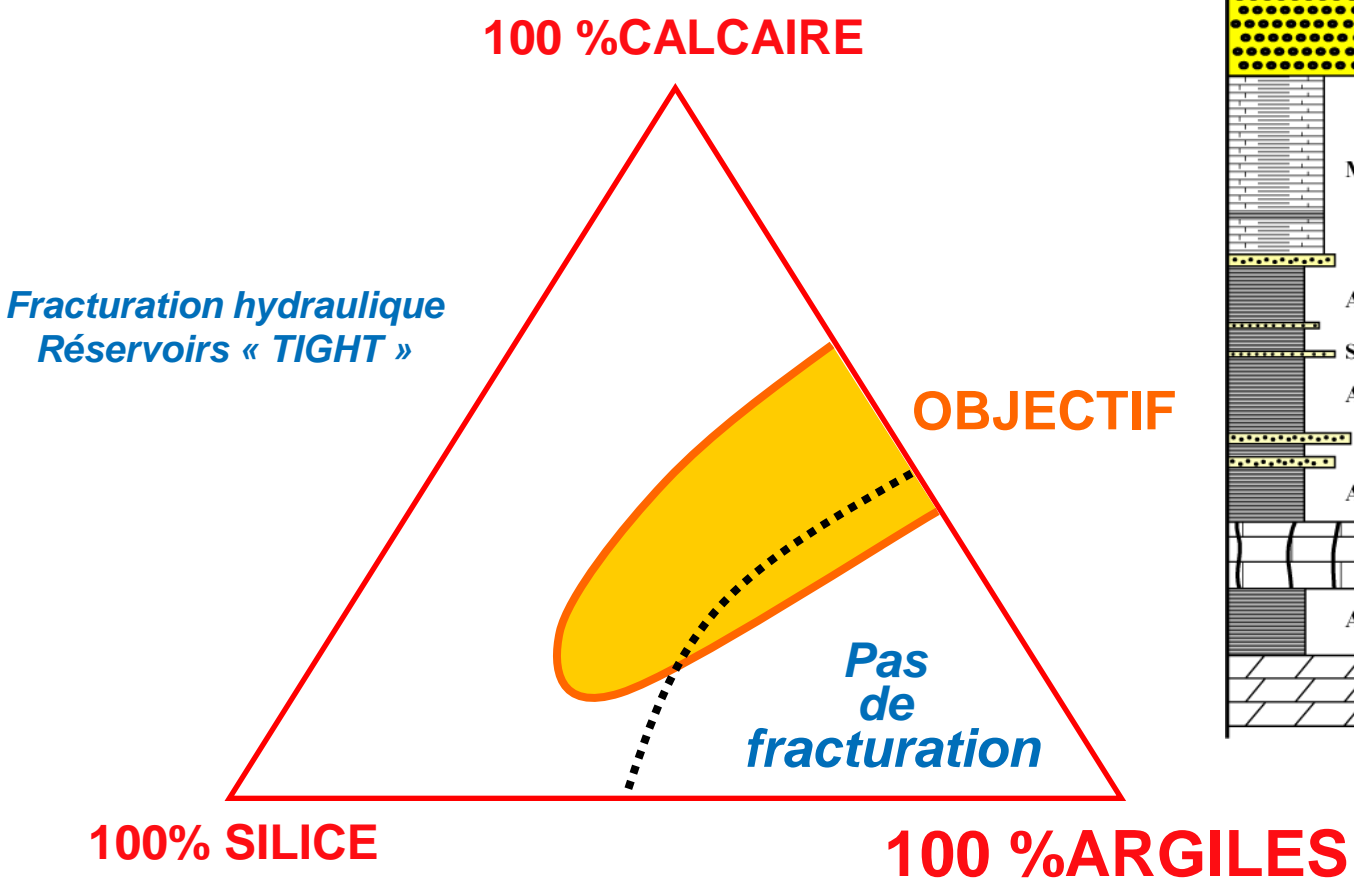
Un challenge : Produire des quantités commerciales d'hydrocarbures à partir d'un milieu très peu poreux et imperméable.

FORAGES HORIZONTAUX et FRACTURATION HYDRAULIQUE.



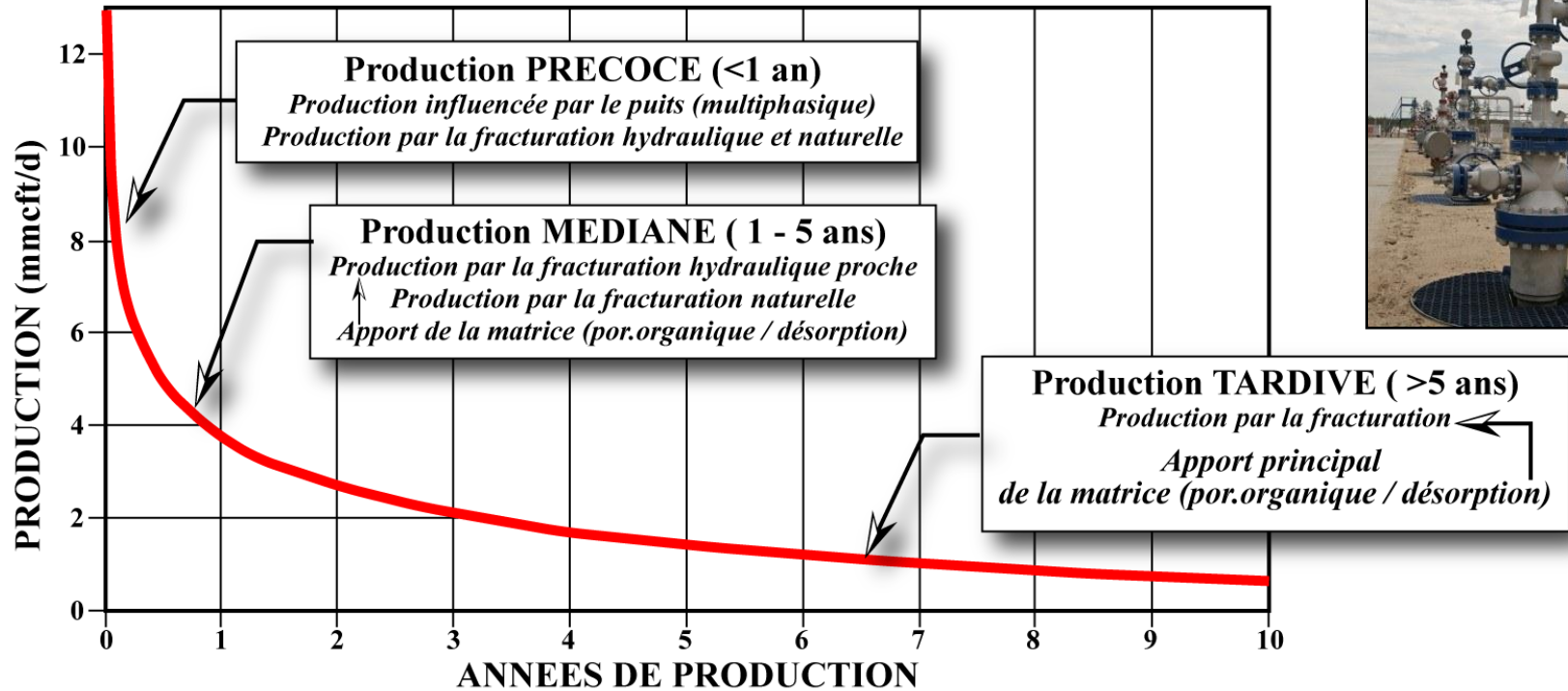
Produire les hydrocarbures de roche-mère. Effectuer une fracturation artificielle efficace.

La notion de « fracabilité » :



Produire les hydrocarbures de roche-mère.

Courbe de production.



Profil de production d'un puits de gaz de schiste (NEXEN, 2011)

1 mmcft/d = 28 317 m³

Du fait d'un faible rayon de drainage, la production décline rapidement...

Pour maintenir la production (et a fortiori l'augmenter) il faut forer de très nombreux puits

Produire les hydrocarbures de roche-mère.

Production (USA).

Nombre de puits à mettre en production par an pour maintenir la production
(D.Hughes*, 2013)

Gaz de schiste (14 plus grands champs)

HAYNESVILLE	774 puits
BARNETT	1507 puits
MARCELLUS	561 puits
FAYETTEVILLE	707 puits
EAGLE FORD	945 puits
WOODFORD	222 puits
GRANITE WASH	239 puits
BAKKEN	699 puits
NIOBRARA	1111 puits
ANTRIM	400 puits
BOSSIER	21 puits
BONE SPRING	206 puits
AUSTIN CHALK	127 puits
PERMIAN DELAWARE	122 puits

TOTAL 7 641 puits
Coût estimé 41 829 millions \$

Pétrole de schiste (10 plus grands champs)

BAKKEN	819 puits
EAGLE FORD	723 puits
BONE SPRING	211 puits
NIOBRARA	1139 puits
GRANITE WASH	267 puits
PERMIAN DELAWARE	99 puits
BARNETT	1306 puits
AUSTIN CHALK	73 puits
SPRABERRY	84 puits
MONTEREY-TREMBL.	48 puits

TOTAL 4 769 puits
TOTAL 12 410 puits

Produire les hydrocarbures de roche-mère.

Les défis environnementaux. (1)

 **L'empreinte au sol des installations et l'impact sur le paysage.**


 **La gestion de la ressource en eau.**

Les prélèvements d'eau et les conflits d'usage.

La composition et la toxicité des additifs chimiques contenus dans les fluides de fracturation.

Le recyclage des fluides de fracturation et des eaux de production.



 **La protection des aquifères et les risques de pollution de l'eau.**

Etanchéité des puits.

Pollution de surface.;



Produire les hydrocarbures de roche-mère.

Les défis environnementaux. (2)



La pollution de l'air.



La sismicité induite par la fracturation hydraulique.



Les nuisances associées aux installations d'exploration et de production.



Fort Worth, Texas



L'analyse du cycle de vie (ACV) des hydrocarbures de roche-mère.



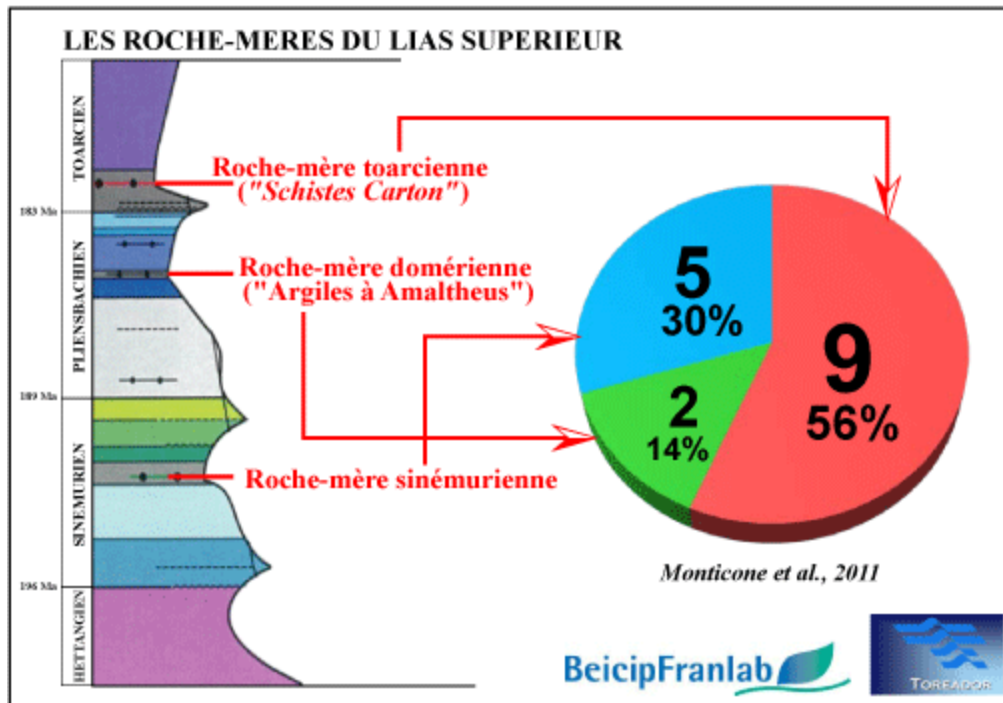
Plan

- Le contexte énergétique mondial
- **Les hydrocarbures de roche-mère**
 - Quelques définitions et rappels géologiques
 - Un défi : Produire les hydrocarbures de roche-mère
 - Les techniques de production
 - Les impacts environnementaux
 - **Une gageure: Evaluer les ressources et les réserves**
- Le modèle américain : est-il transposable en France ?
- Conclusions : Les hydrocarbures de roche-mère : évolution ou révolution ?

Evaluer les ressources et les réserves.

Les ressources

	Volume hydrocarbures générés (milliards de barils)	Volume hydrocarbures piégés dans les différentes RM (milliards de barils)
SCHISTES CARTONS (Toarcien)	45	9
Argiles à AMALTEUS (Domérien)	11	2
Argiles du Sinémurien	24	5
TOTAL	81	16



C'est le volume d'hydrocarbures restés piégés dans la roche-mère.

Calcul dépendant uniquement des données géologiques en dehors de toute considérations de faisabilité ou de rentabilité économique.

L'estimation des ressources est d'autant meilleure que les connaissances géologiques sont bonnes.

Centre du Bassin de Paris
10 000 de km²

Estimation :
16 milliards de barils en place
(Monticone et al., 2011)

Evaluer les ressources et les réserves.

Les ressources récupérables

Les **ressources récupérables** sont les ressources techniquement récupérables dans des conditions économiquement rentables.

En toute rigueur il faudrait donc préciser avec le chiffre donné les techniques prises en compte et les conditions économiques envisagées.

En pratique on prend souvent un taux de récupération calculé sur un bassin supposé proche de celui évalué.



EXEMPLE :

Taux de récupération pour le pétrole de schiste du bassin de Williston dans le Dakota du Nord (« Bakken formation ») **de 5 à 7%**.

Appliqué au centre du bassin de Paris, on obtient une valeur pour les ressources récupérables de l'ordre d'1 milliard de barils... (100 000 bbls/j pendant 27 ans)

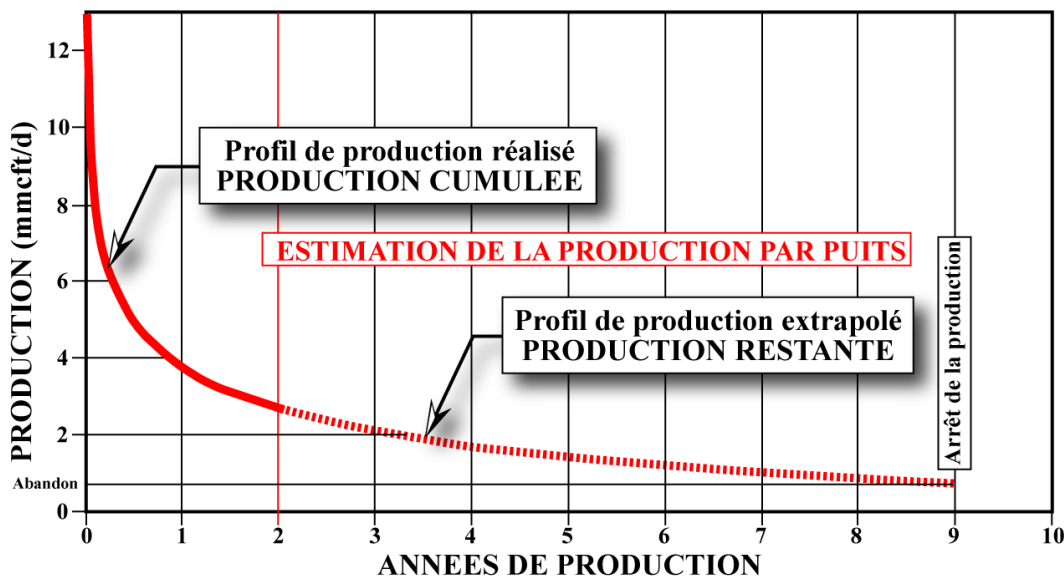
ATTENTION donc aux valeurs publiées notamment dans des bassins où la phase d'exploration n'a pas été finalisée !

Evaluer les ressources et les réserves.

Les réserves prouvées

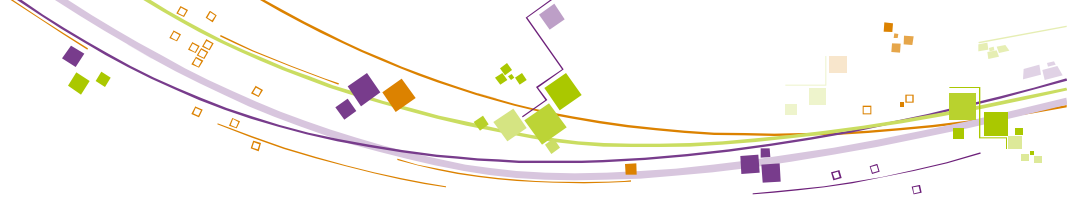
Les **réserves prouvées** sont les ressources qui ont été effectivement découvertes, reconnues et évaluées par des puits et dont les conditions économiques et législatives permettent leur extraction.

C'est aussi une évaluation mais sur des données plus précises à partir de l'historique de production.



Il faut avoir un grand nombre de profil de production

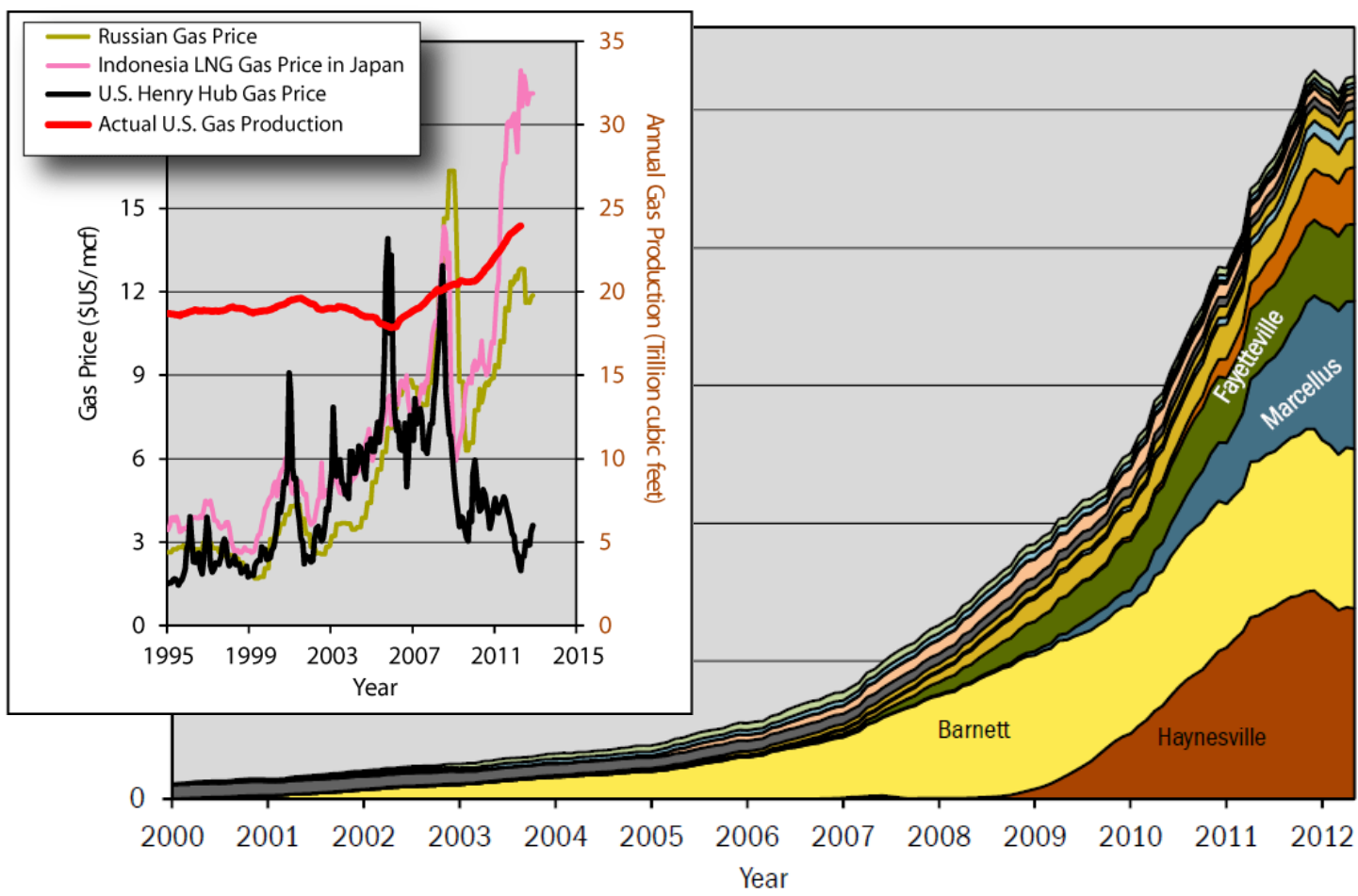
On peut ainsi calculer les réserves d'un bassin en extrapolant le nombre de puits pouvant encore être réalisés .



Plan

- Le contexte énergétique mondial
- Les hydrocarbures de roche-mère
 - Quelques définitions et rappels géologiques
 - Un défi : Produire les hydrocarbures de roche-mère
 - Les techniques de production
 - Les impacts environnementaux
 - Une gageure: Evaluer les ressources et les réserves
- **Le modèle américain : est-il transposable en France ?**
- Conclusions : Les hydrocarbures de roche-mère : évolution ou révolution ?

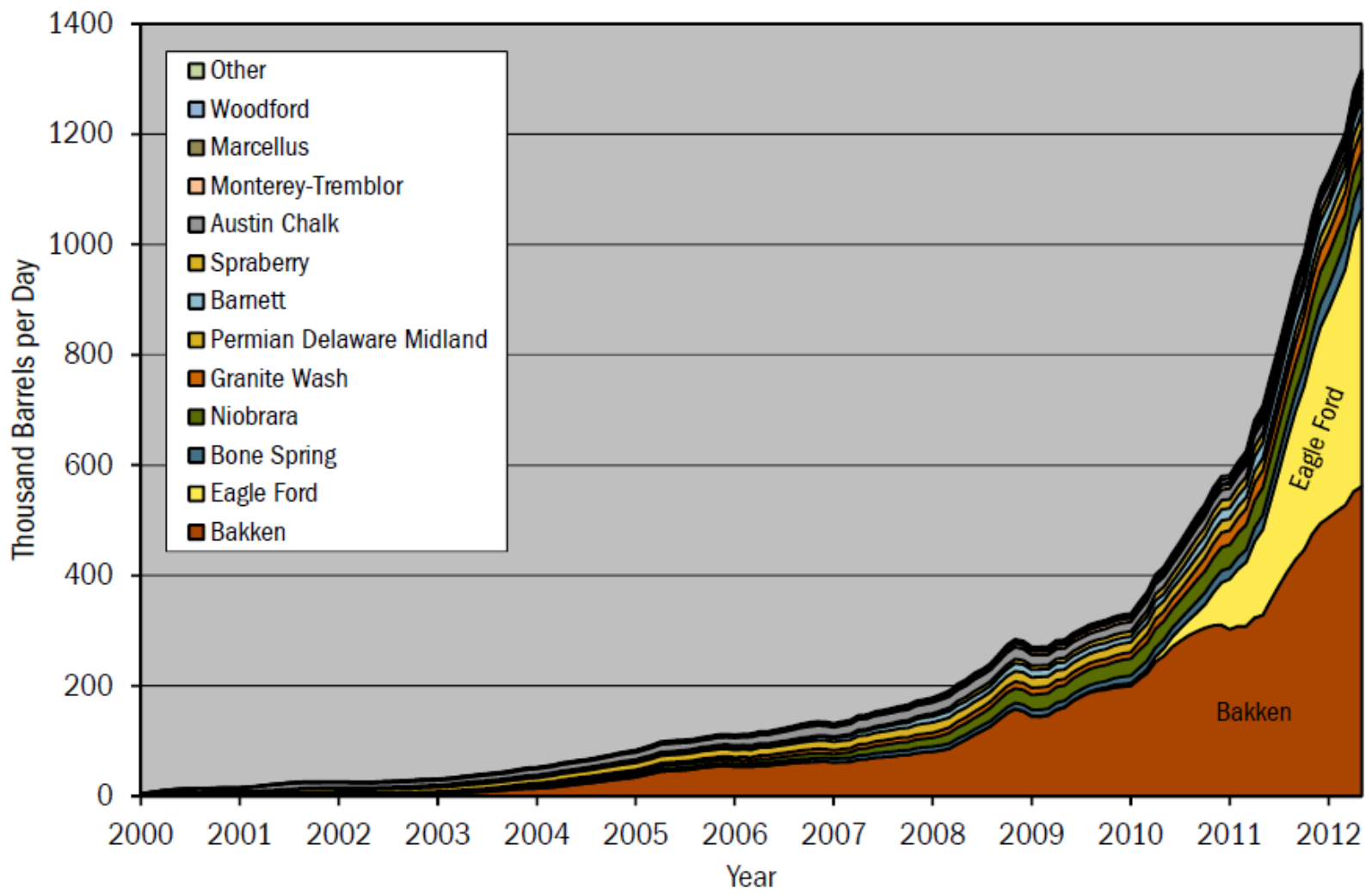
Le modèle américain. Le gaz de schiste



Production de gaz de schiste (2000- Mai 2012) (J.D.Hughes, 2013)

Les gaz de schiste représente maintenant 30% de la production gazière des USA

Le modèle américain. Le pétrole de schiste



Le modèle américain.

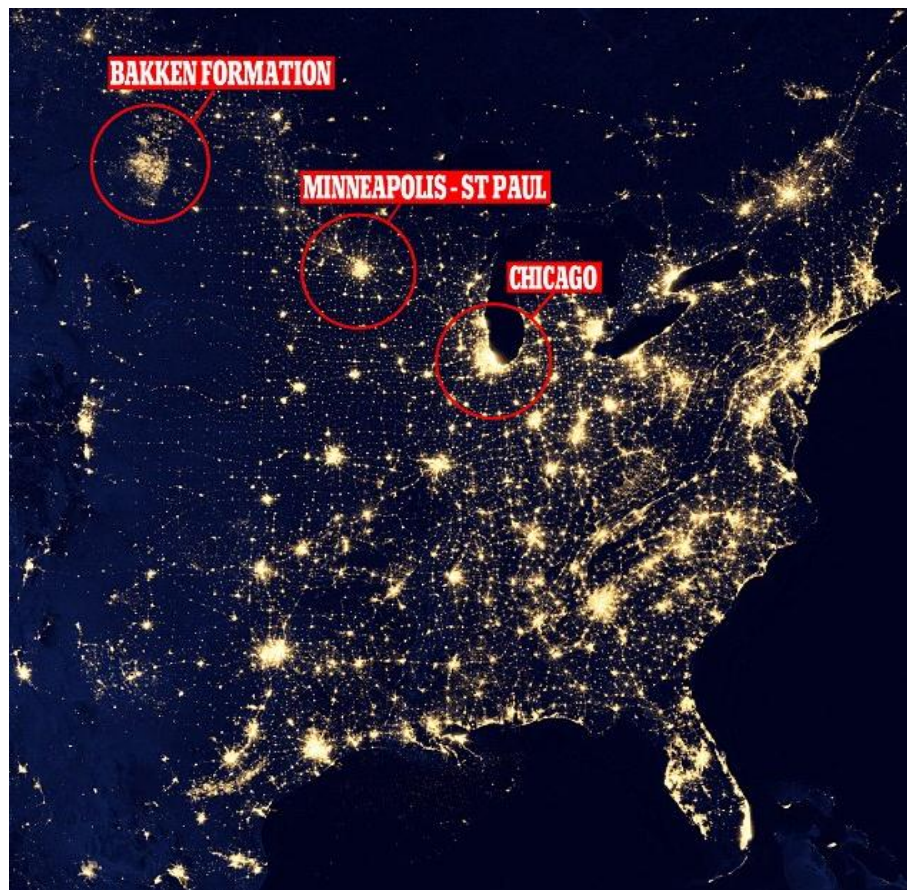
L'exploitation du pétrole de schiste dans le bassin de Williston (Bakken Fm)



Une partie du gaz produit est actuellement torché en attendant la construction d'un gazoduc

Source National Geographic

Image satellitaire de nuit
Source NASA

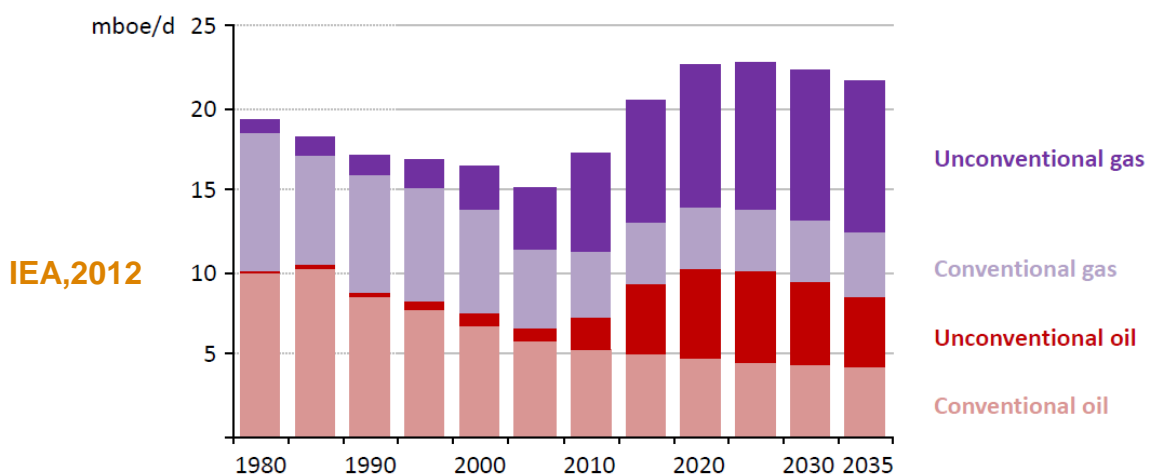


Le modèle américain. Des projections divergentes..

La production moyenne estimée d'un puits de pétrole de schiste dans les années à venir varie notablement d'un organisme à l'autre (Hughes, 2012)

	BAKKEN (Dakota)	EAGLE FORD (Texas)
Prod. constatée	270 000 barils	246 000 barils (>)
USGS :	64 000 à 241 000 barils	55 000 barils
IEA:	550 000 barils	280 000 barils
Industriels:	1 160 000 barils	445 000 barils (EOG)

US oil and gas production



Le modèle américain.

Les raisons du succès

- ✓ Des bassins sédimentaires favorables à l'exploitations des hydrocarbures de roche-mère déjà bien connus par les phases d'exploration et de production conventionnelles
- ✓ Un coût de production faible compris entre 3 et 8 \$/MBtu rendu possible par une très forte augmentation de la productivité des puits (30 Mm³ en 2007 – 70 à 180 Mm³ en 2012) malgré l'augmentation du coût des forages (4 M\$ en 2008 – 8 à 10M\$ en 2012).
- ✓ Un tissu industriel pétrolier et parapétrolier très développé et très réactif
- ✓ Un marché gazier déjà développé et un production gazière conventionnelle déclinante.
- ✓ Un droit minier favorable à l'exploitation des ressources compte-tenu des importantes retombées économiques locales en découlant.
- ✓ Une volonté politique d'indépendance énergétique et de prix bas de l'énergie contribuant à la compétitivité de l'économie américaine.

Le modèle américain.

Est-il transposable en France ? L'occupation du territoire

La France n'est pas comparable aux USA....

Les USA c'est les grands espaces... plus propices à l'exploitation des ressources du sous-sol



DENSITE DE POPULATION

USA : 31 habitants / km²
FRANCE : 112 habitants / km²



USA

Pennsylvanie (Marcellus Sh.) : 106 ha/ km²
Texas (Barnett Sh.) : 36 ha/km²
Dakota du Nord (Bakken Sh.): 4 ha/km²



FRANCE

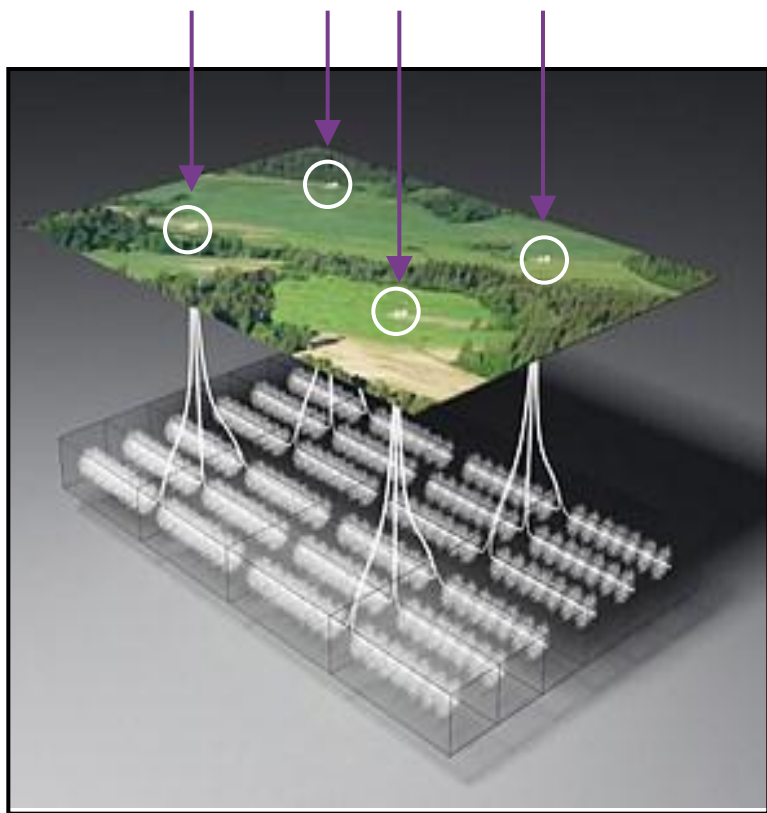
Seine & Marne : 224 ha/km²
Ardèche : 57 ha/km²
Guyane : 3 ha/km²

Le modèle américain.

Est-il transposable en France ? L'occupation du territoire

Ne pas confondre nombre de puits (drains) et nombre d'installations

« *Clusters* »



Une optimisation de l'architecture des puits horizontaux à partir de cluster de puits ("pad") permet de réduire l'emprise au sol des forages.

A partir d'une même plateforme de forage on peut réaliser jusqu'à **10 à 15 forages horizontaux. et drainer plus de 5 km²**

L'emprise au sol d'un pad est de l'ordre de 1 à 2 hectares.

Le modèle américain.

Est-il transposable en France ? L'occupation du territoire



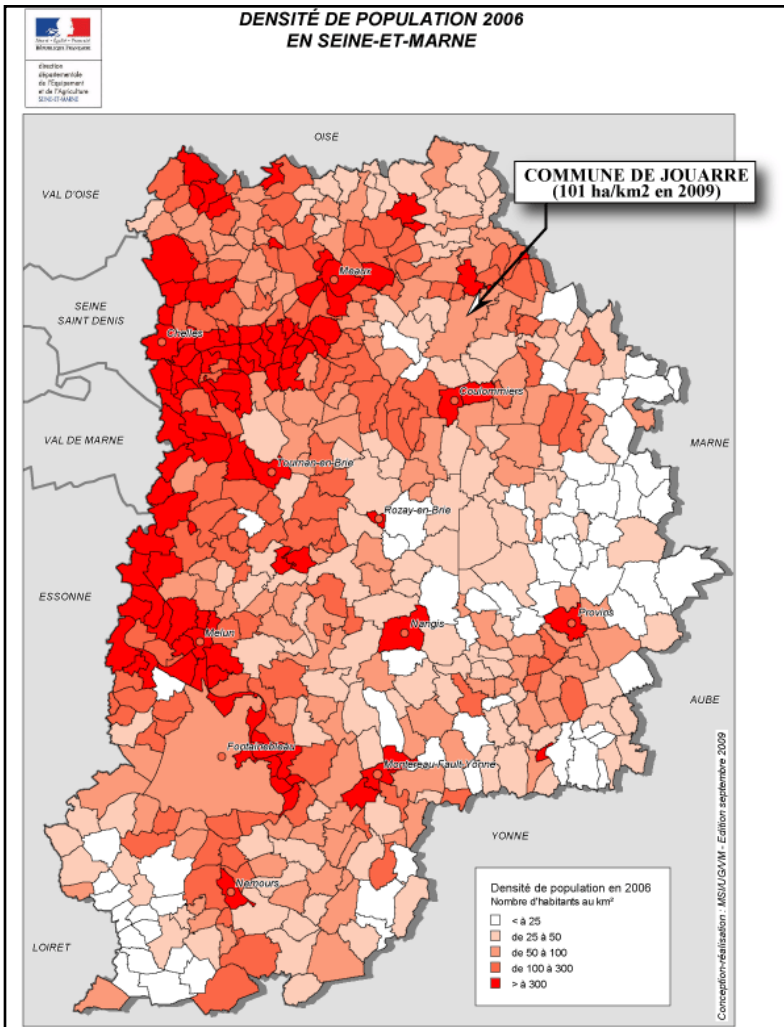
Ne pas confondre installations de production et mats de forage (derricks)...



Production (quelques années)



Le modèle américain. Est-il transposable en France ? L'occupation du territoire



SEINE-ET-MARNE
Commune de Jouarre






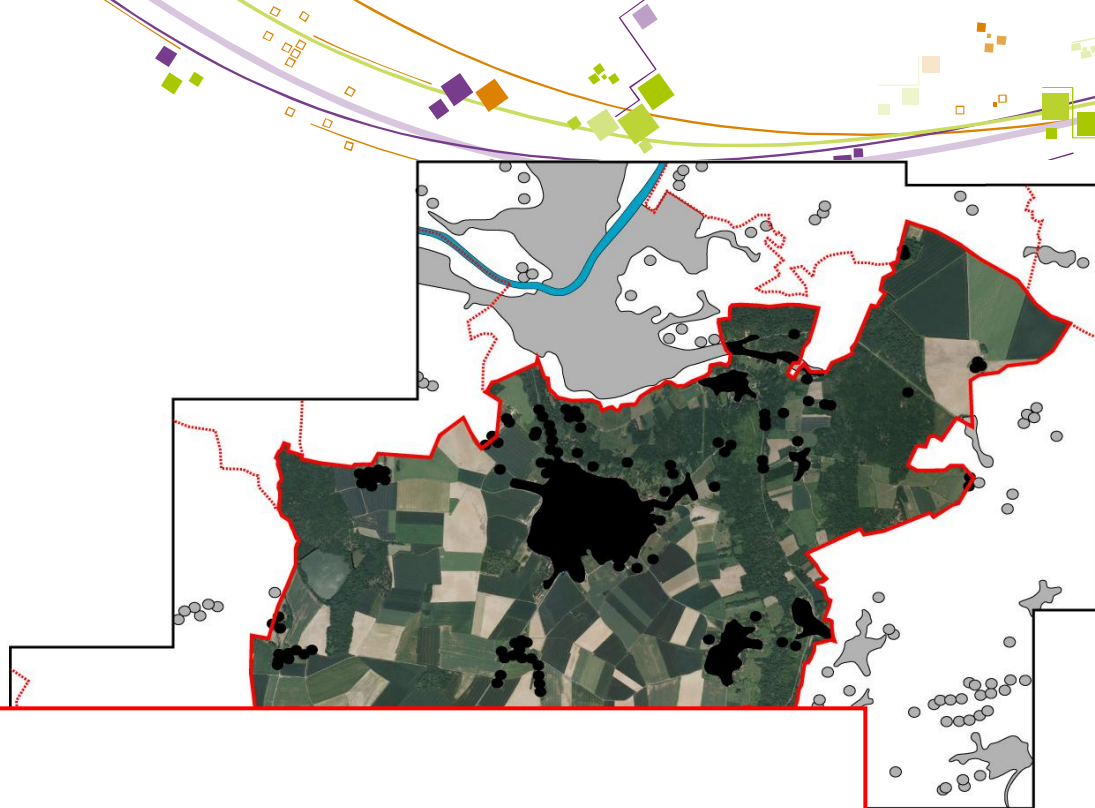
Arrondissement : MEAUX

Population : 4 247 habitants (2009)
Superficie : 42,19 km²
Densité : 101 habitants/km²

L'occupation du territoire

Habitations

-  **AGGLOMERATIONS**
-  **Isolées dans la commune**
-  **Isolées dans les communes limitrophes**



portail IGN

EXERCICE

Hypothèses :

- Ressources récupérables : **1 milliard de barils sur les 10 000 km²**
- Durée de la production: **25 ans (110 000 barils/j)**
- Production par puits: **250 000 barils (Bakken / Eagle Ford)**
- Nombre de drains: **4 000 drains**
- Nombre drains/cluster: **10 soit 400 clusters**
- Densité des clusters: **1 cluster par 25 km²**

Combien puis-je implanter de clusters sur la commune de JOUARRE si je veux être

- **A plus de 400 mètres d'une habitation.**
- **A plus de 750 mètres d'une habitation.**
- **A plus de 1 000 mètres d'une habitation**

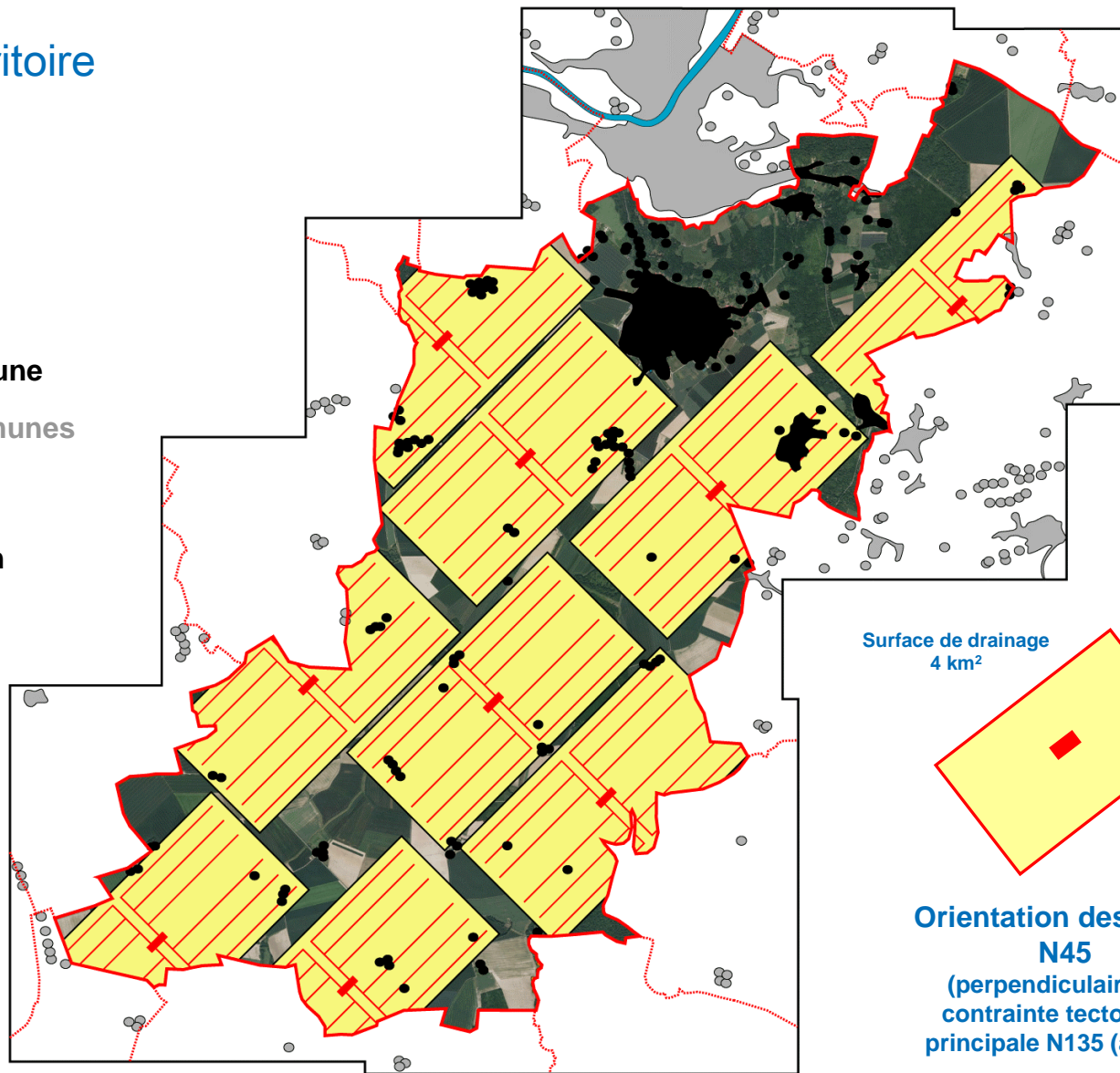
L'occupation du territoire

Habitations

-  **AGGLOMERATIONS**
-  **Isolées dans la commune**
-  **Isolées dans les communes limitrophes**
-  **PERIMETRE 400 m**

9 pads possibles

Source : portail IG



Surface de drainage
4 km²

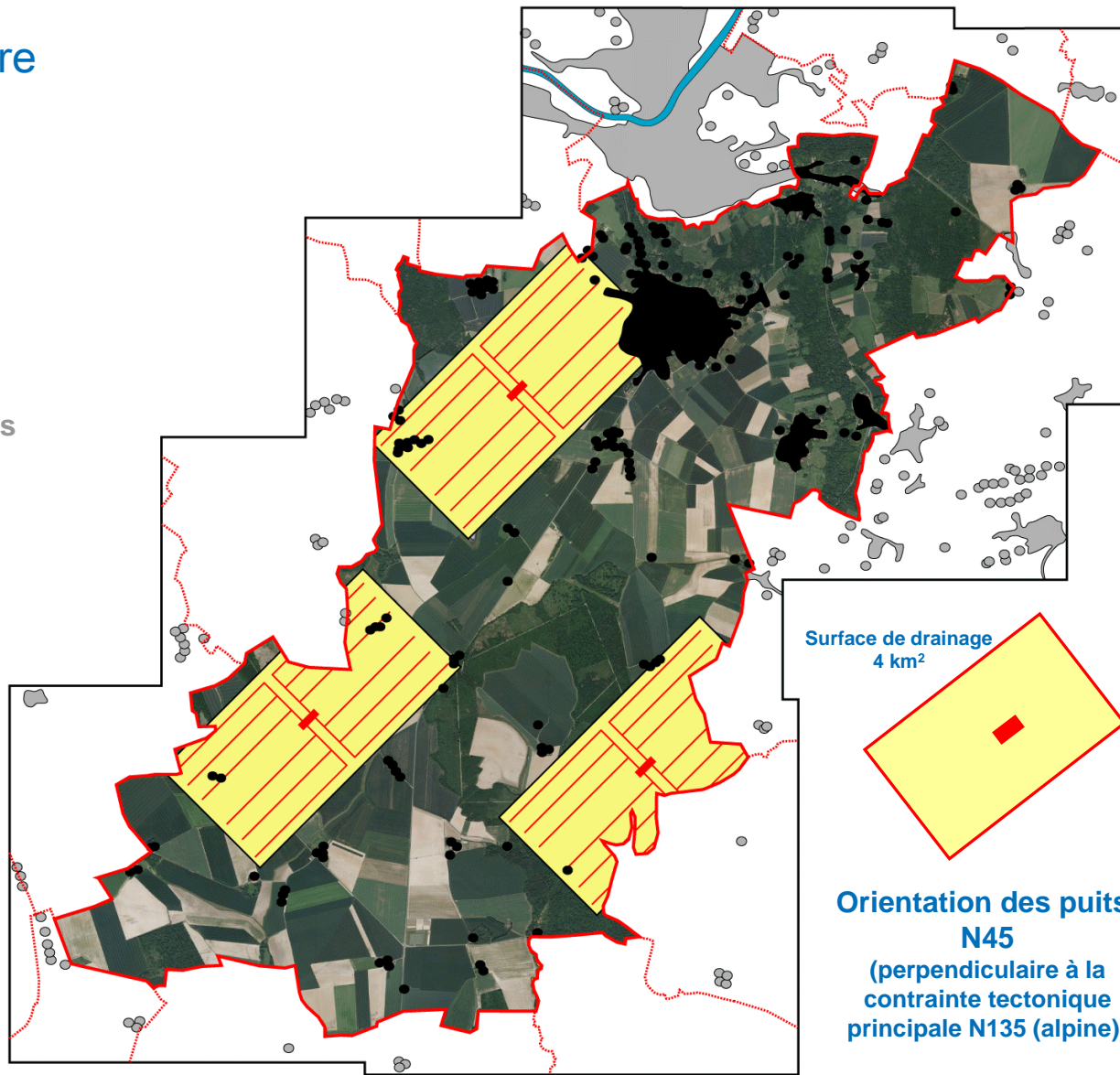
Orientation des puits:
N45
(perpendiculaire à la
contrainte tectonique
principale N135 (alpine))

L'occupation du territoire

Habitations

-  **AGGLOMERATIONS**
-  **Isolées dans la commune**
-  **Isolées dans les communes limitrophes**
-  **PERIMETRE 750 m**

3 pads possibles

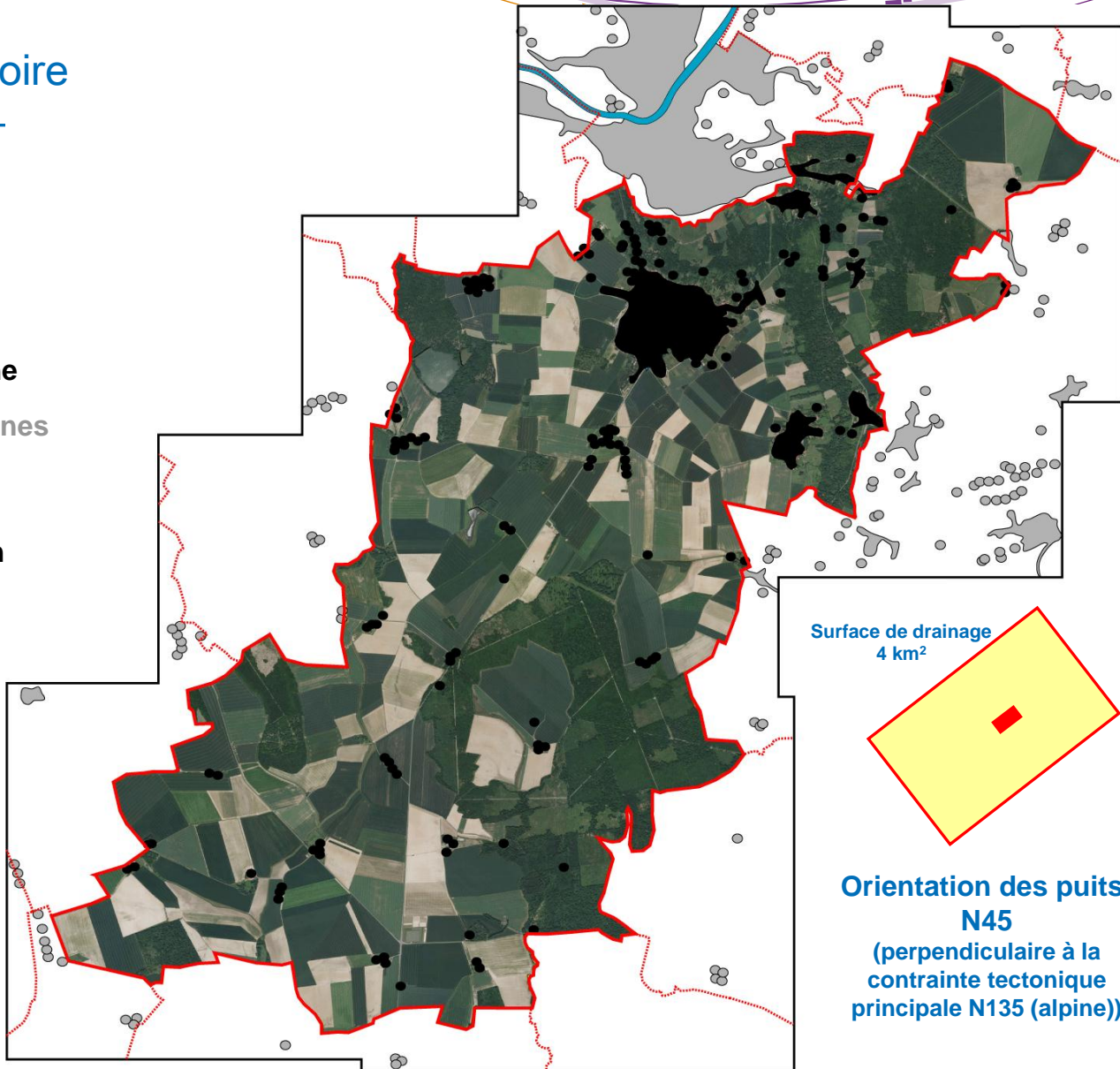


Source : portail IGN

L'occupation du territoire

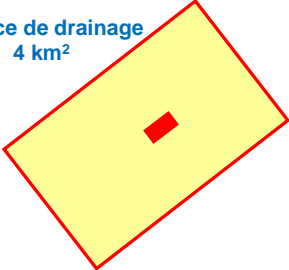
Habitations

-  **AGGLOMERATIONS**
-  **Isolées dans la commune**
-  **Isolées dans les communes limitrophes**
-  **PERIMETRE 1 000 m**



**Pas
d'implantation
possible**

Surface de drainage
4 km²



**Orientation des puits:
N45**
(perpendiculaire à la
contrainte tectonique
principale N135 (alpine))

Source : portail IGN



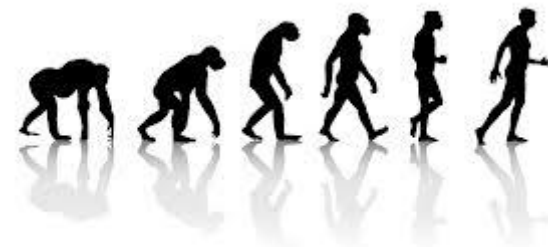
Plan

- Le contexte énergétique mondial
- Les hydrocarbures de roche-mère
 - Quelques définitions et rappels géologiques
 - Un défi : Produire les hydrocarbures de roche-mère
 - Les techniques de production
 - Les impacts environnementaux
 - Une gageure: Evaluer les ressources et les réserves
- Le modèle américain : est-il transposable en France ?
- **Conclusions : Les hydrocarbures de roche-mère : évolution ou révolution ?**

CONCLUSIONS.

Les hydrocarbures de roche-mère : Évolution ou Révolution ?

ÉVOLUTION



- Les hydrocarbures de roche-mère ne remettent pas en cause la notion de système pétrolier, ils placent seulement la **roche-mère** au centre de l'exploration et de l'exploitation.
- L'exploitation des hydrocarbures de roche-mère utilise de manière **intensive** des techniques utilisées dans l'exploitation des hydrocarbures conventionnel (**forage horizontal et fracturation hydraulique**)
- Les ressources en hydrocarbure de roche-mère sont certainement importantes mais **NE CONSTITUENT PAS UNE NOUVELLE ÈRE D'HYDROCARBURES ABONDANTS ET PAS CHERS...** Ces ressources permettront d'assurer la transition énergétique.

CONCLUSIONS.

Les hydrocarbures de roche-mère : Évolution ou Révolution ?

RÉVOLUTION



• Le développement rapide aux USA de l'exploitation des hydrocarbures de roche-mère, l'exploitation de **nouvelles ressources fossiles** à relancé le débat sur le mix énergétique mondial.

De part les impacts environnementaux locaux ou globaux liés à cette exploitation, ce débat a atteint le grand public et est devenu un **débat de société.**

*Shale gas is part of the future and the government "will make it happen",
George Osborne (UK Chancellor, Mars 2013)*



Les futures (R)ÉVOLUTIONS ?

Schistes bitumineux (« oil shale »)



Hydrate de méthane
(« gas hydrate »)



Innovater les énergies