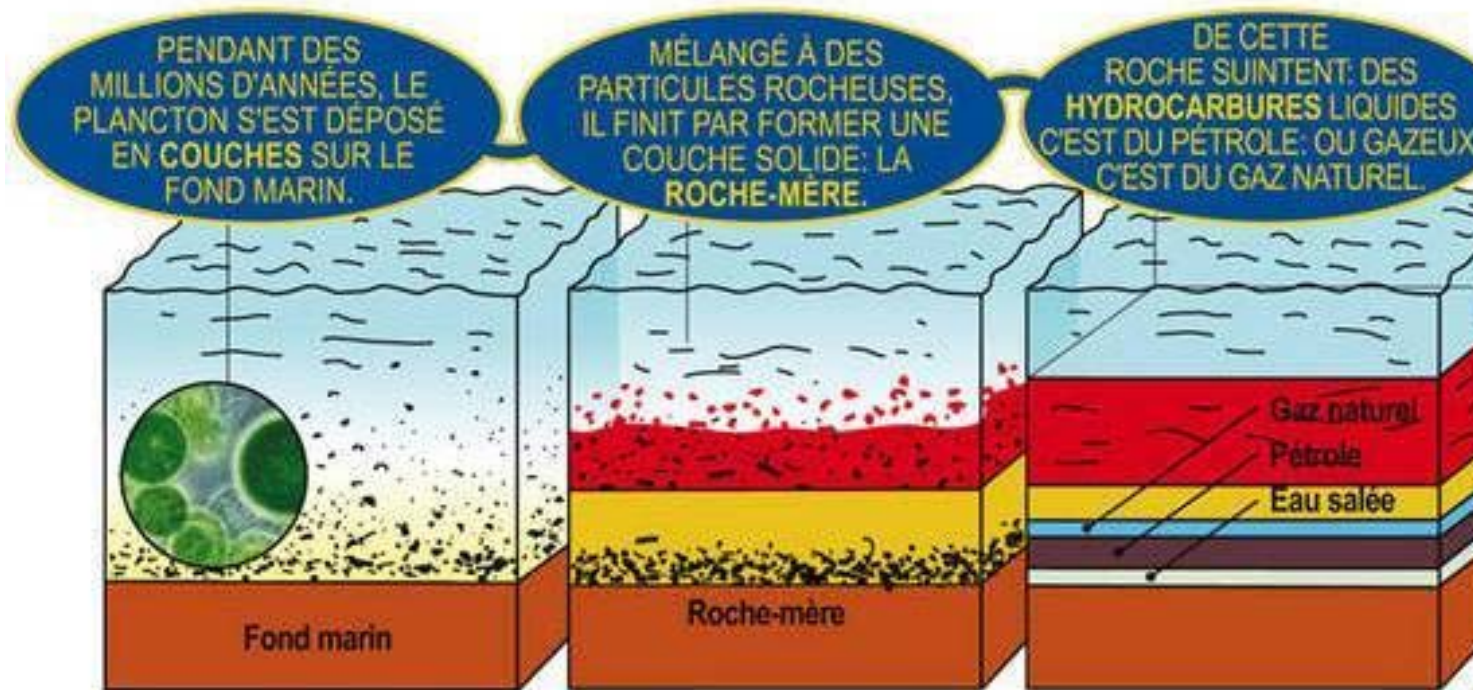


Notions simplifiées sur la nature des réservoirs pétroliers conventionnels et non-conventionnels

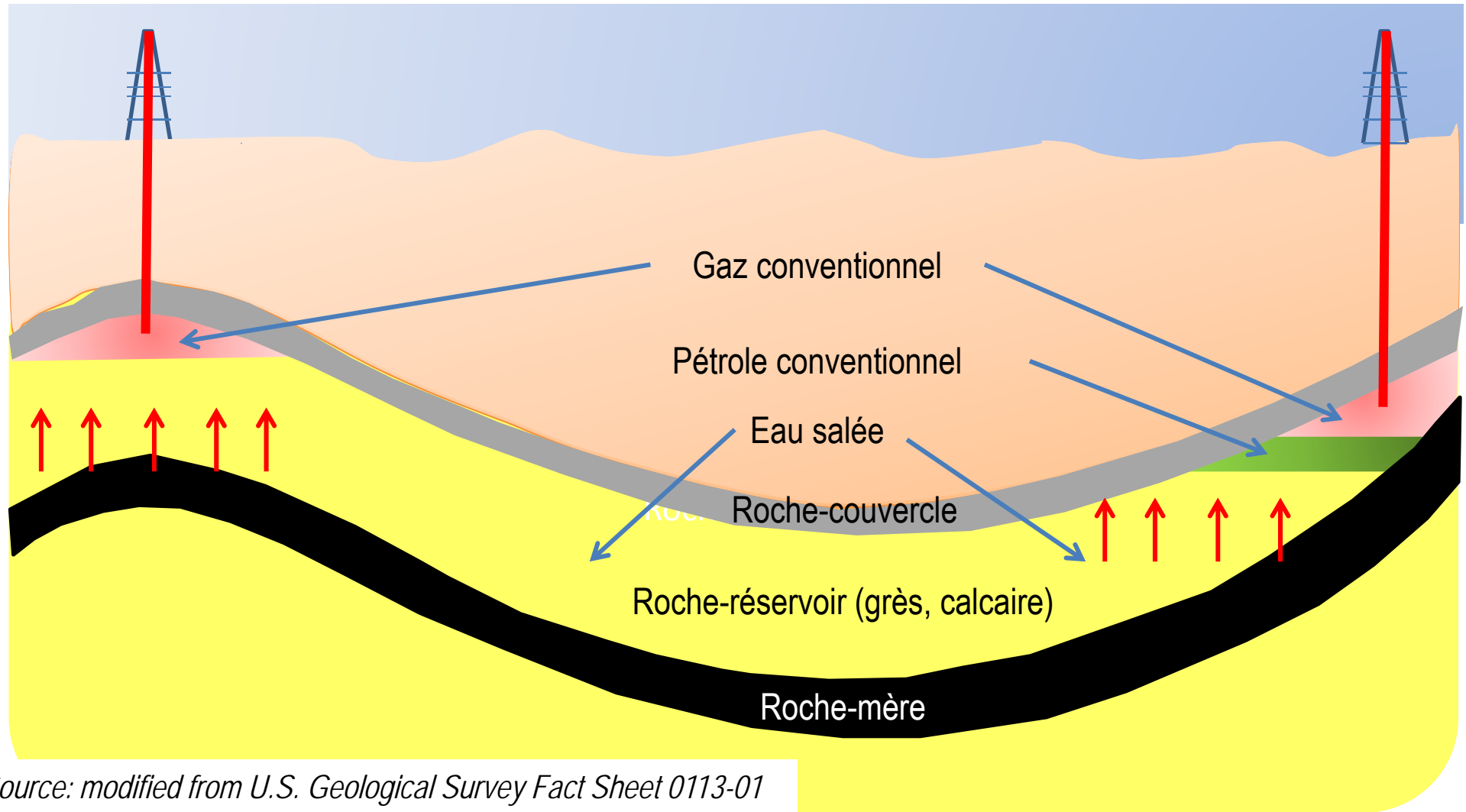
Au commencement, il y a ...



La roche-mère

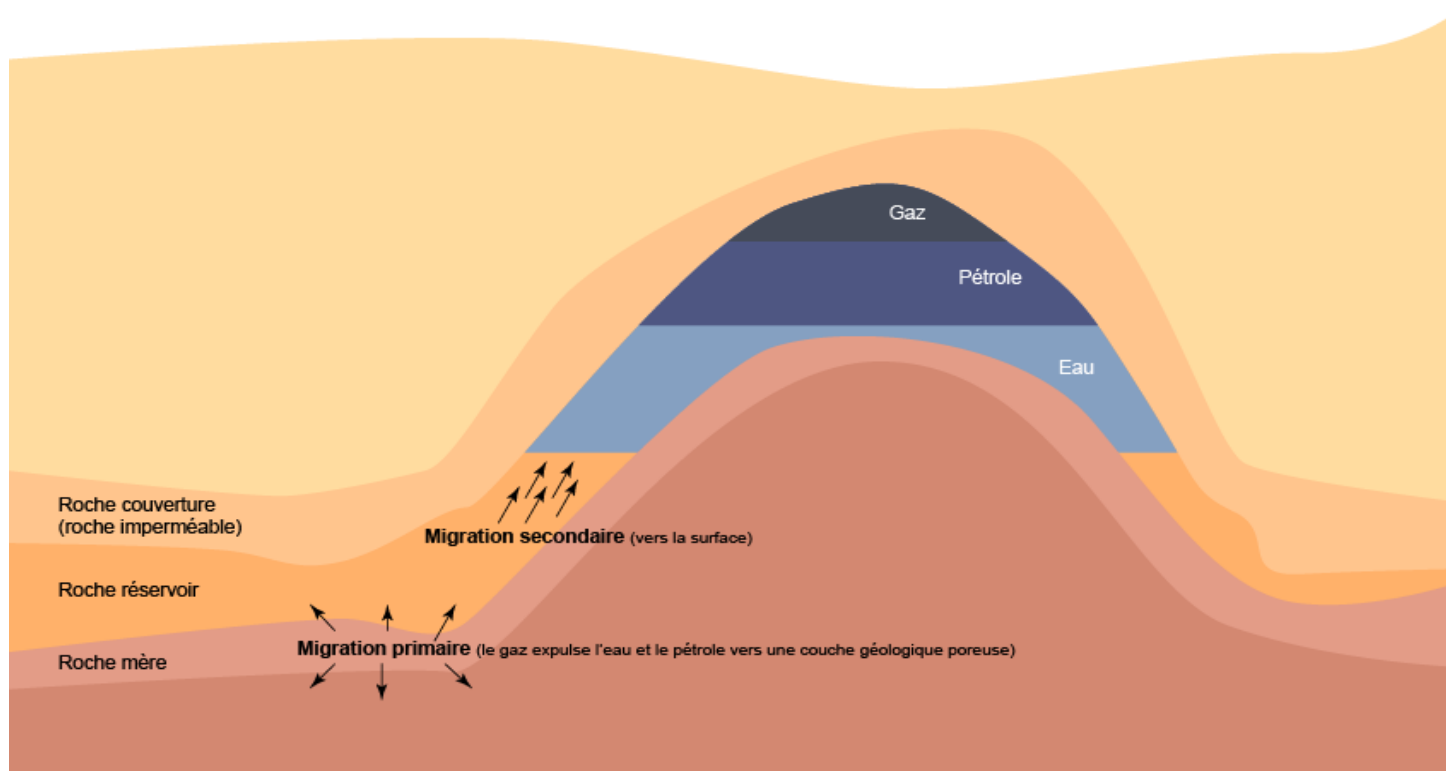
- La **roche-mère** désigne la roche où se forment des hydrocarbures. Ceux-ci sont issus de la transformation de sédiments riches en matière organique qui se déposent généralement sur les fonds océaniques. À l'échelle des temps géologiques, les sédiments marins s'enfoncent et se solidifient tandis que la matière organique (sous l'effet de l'enfouissement et de la température géothermique) se décompose en hydrocarbures liquides et gazeux. Généralement, une roche mère de pétrole s'est déposée dans un bassin anoxique dépourvue d'oxygène ce qui explique les conditions favorables à la préservation de la matière organique dans les sédiments.

Réservoirs conventionnels d'hydrocarbures

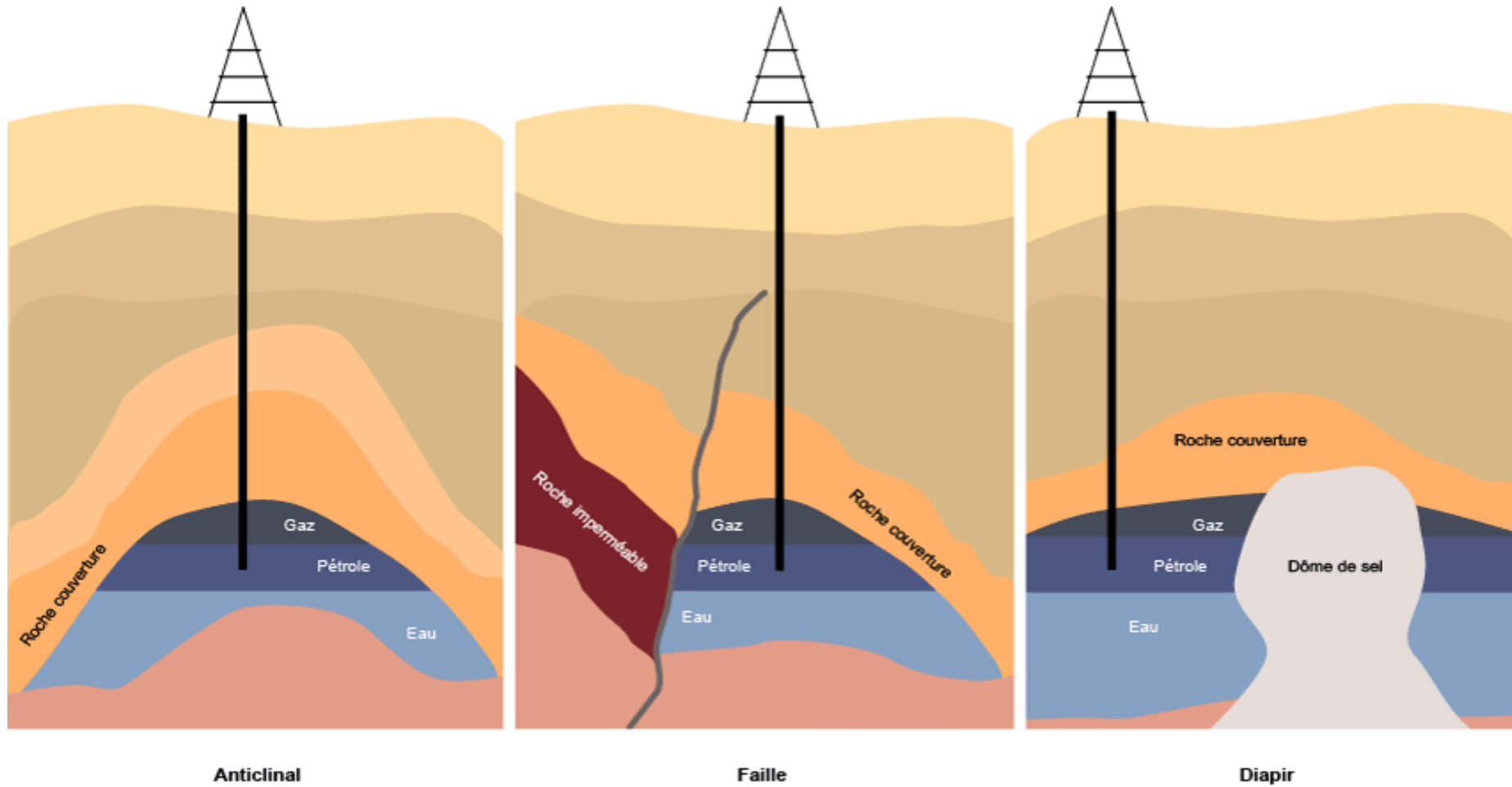


Source: modified from U.S. Geological Survey Fact Sheet 0113-01

Réservoirs conventionnels d'hydrocarbures



Réservoirs conventionnels d'hydrocarbures



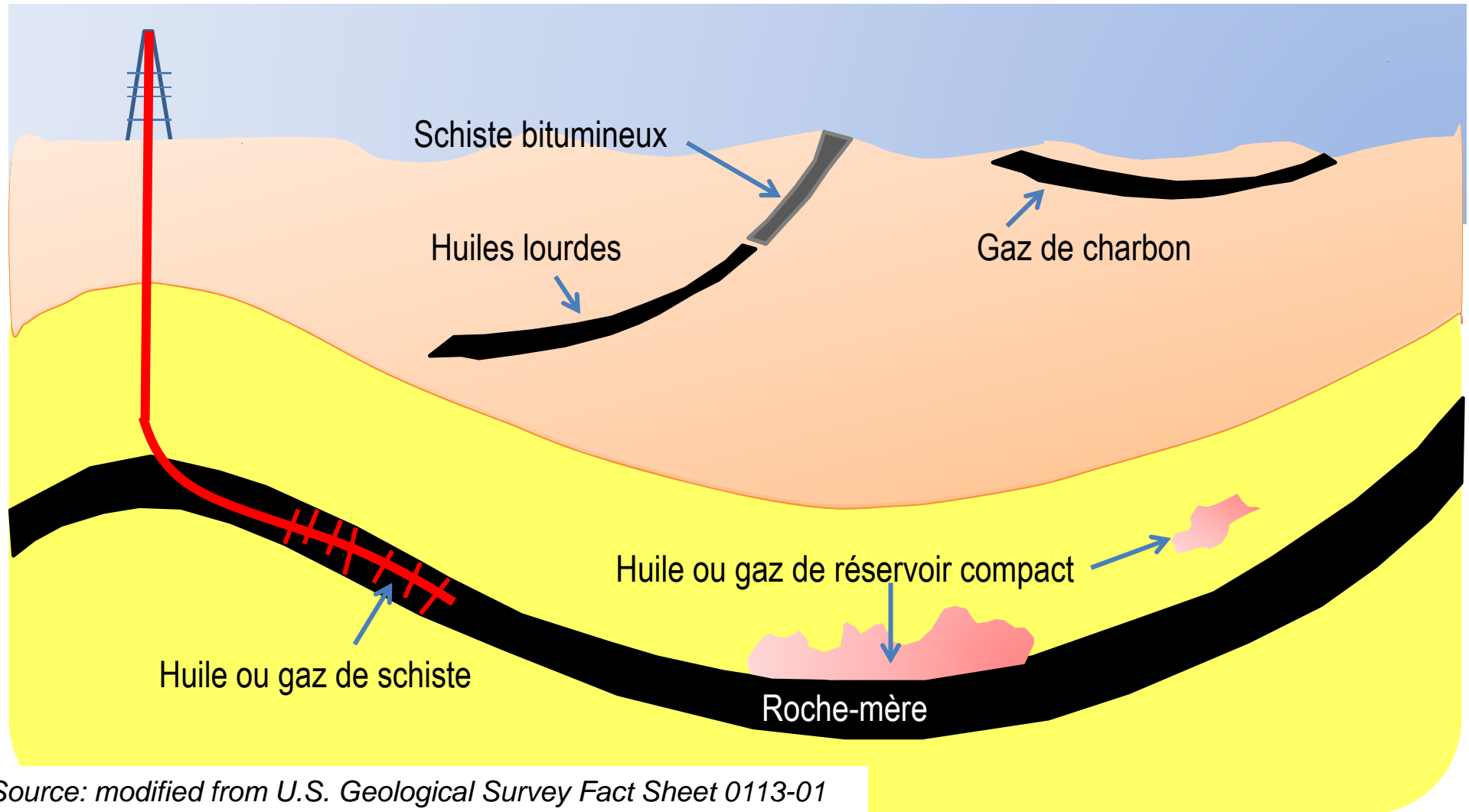
La roche-réservoir

- La roche-réservoir se définit comme une roche où des hydrocarbures s'accumulent. Sous l'effet de la pression, les hydrocarbures de la roche-mère migrent vers la surface à travers les strates de roches sédimentaires. Au cours de cette migration, les hydrocarbures peuvent rencontrer une couche imperméable. Ils se retrouvent piégés en dessous de ce « toit » (appelé roche-couverture), au sein d'une roche poreuse et perméable qui devient la roche-réservoir. Celle-ci est capable de concentrer de grandes quantités d'hydrocarbures, aboutissant à des gisements de pétrole et/ou de gaz conventionnels.

Les roches impliquées dans un système pétrolier conventionnel

- Pour que le système pétrolier fonctionne, les roches doivent avoir des propriétés physiques particulières
- Pour la roche-mère – il faut une roche riche en matière organique (Total Organic Carbon $\geq 3\%$ et une maturation thermique adéquate)
- Pour les roches de réservoir et de couverture, ce sont les propriétés physiques de la porosité et de la perméabilité qui sont importantes

Réservoirs non-conventionnels d'hydrocarbures



Le gaz de schiste, c'est du gaz naturel

- On distingue le gaz thermogénique primaire, issu directement de la pyrolyse du kérogène, et le gaz thermogénique secondaire, formé par la pyrolyse du pétrole. Le gaz thermogénique comprend, outre le méthane (CH_4) à 80-95%, un taux variable d'hydrocarbures plus lourds, pouvant aller jusqu'à l'heptane (C_7H_{16}). On peut y trouver aussi du dioxyde de carbone (CO_2), du dioxyde de soufre (SO_2), du sulfure d'hydrogène appelé aussi " gaz acide " (H_2S), et parfois de l'azote (N_2) et de petites quantités d'hélium (He).

Roche-mère de gaz de schiste (*gas shale*)

- Ce type de gisement où la couche de « schiste » est à la fois roche-mère et roche-réservoir est celui du bassin Sud-Est de la France et du bassin Parisien.



Roche-mère de gaz de schiste (*gas shale*)

- Dans le Sud-Est de la France, cette roche-mère s'est formée principalement durant l'étage géologique du TOARCIEN , il y a 180 millions d'années
- A ce jour, seule la fracturation hydraulique permet de libérer une fraction du volume d'hydrocarbure contenu dans la roche-mère (20% maxi ?)

C'est Schuepbach qui l'écrit

Réf. : 2A/2011/07/10228

Monsieur,

Je m'adresse à vous en ma qualité de conseil de la société Schuepbach Energy LLC.

Par arrêté du Ministre de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement en date du 1^{er} mars 2010, la société Schuepbach Energy LLC a obtenu un permis exclusif de recherches de mines d'hydrocarbures liquides ou gazeux portant sur une partie des départements de l'Ardèche et du Gard dit « *Permis de Villeneuve-de-Berg* ».

En réponse à votre lettre du 26 juillet dernier, nous vous faisons savoir que la société Schuepbach Energy LLC a l'intention d'utiliser des forages suivis de fracturation hydraulique de la roche dans le cadre de l'exploration, puis de l'exploitation, de la zone concernée par le permis susvisé.

Nous vous prions de croire, Monsieur, en l'expression de notre considération distinguée,



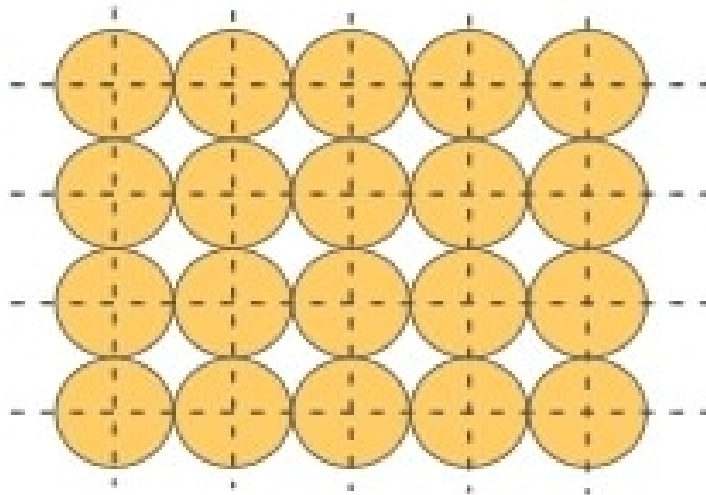
Marc Fornacciari
Avocat associé

Notions de Porosité et Perméabilité

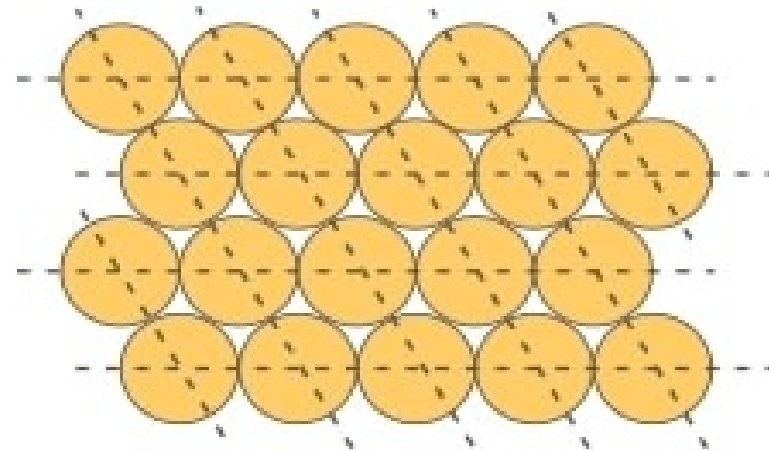
- La porosité est le pourcentage de vides par unité de volume dans un sédiment ou une roche. La mesure s'exprime en %.
- La perméabilité réfère à la capacité du sédiment ou de la roche à laisser circuler les fluides qui se trouvent dans les pores. La mesure s'exprime en Darcy.

Notions de Porosité

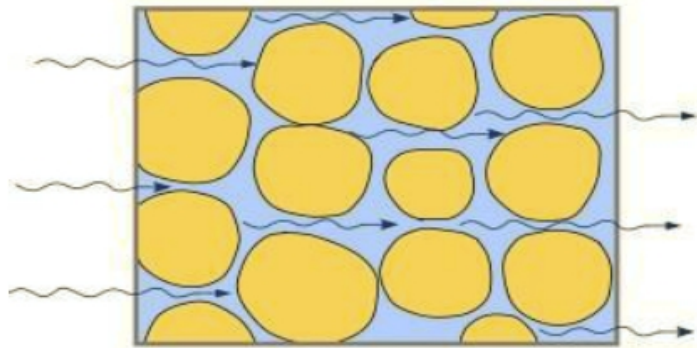
Tassement cubique
Po = 47,6%



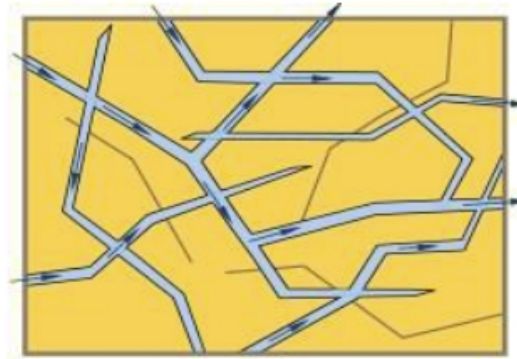
Tassement rhomboédrique
Po = 25,9%



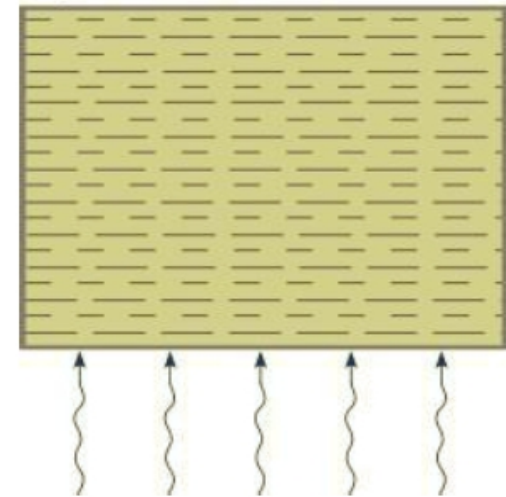
Notions de Perméabilité



Perméabilité
interparticulaire



Perméabilité
de fractures

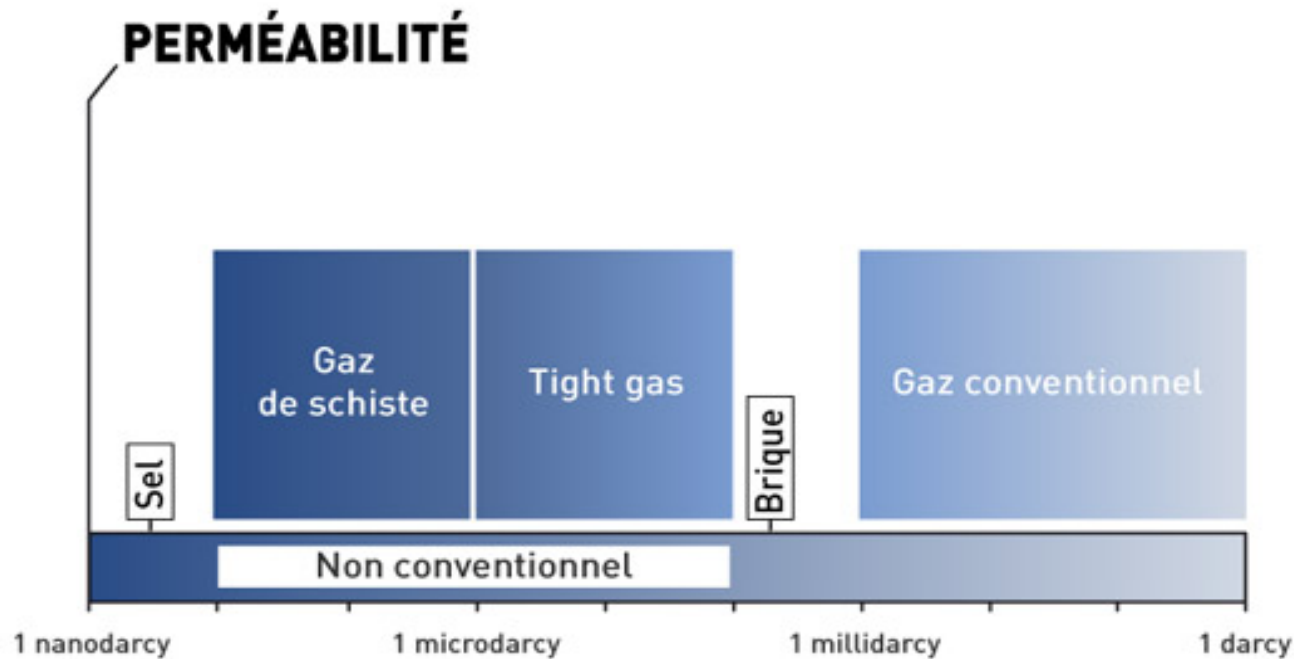


Peu poreux et
peu perméable

Réservoirs
conventionnels

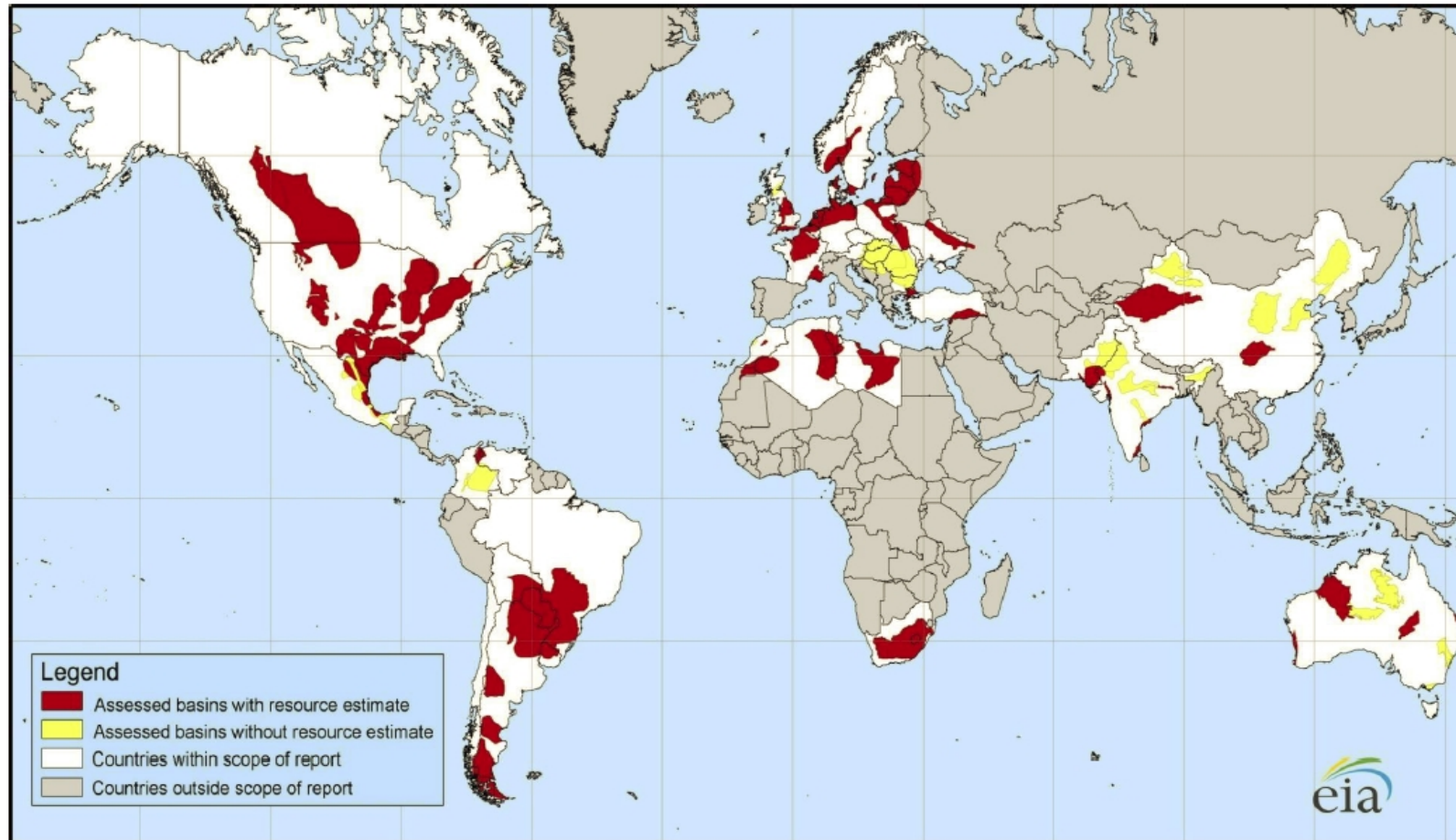
Gisements
non conventionnels

Notions de Perméabilité



La perméabilité, qui s'exprime en Darcy, est l'un des paramètres marquant la frontière entre réservoirs « conventionnels » et « non conventionnels ».

Evaluation des ressources de gaz de schiste des 48 principaux bassins de 32 pays



Source: U.S. Energy Information Administration

Estimation des réserves de gaz de schiste techniquement récupérables (Tcm = mille milliards de mètres cubes)

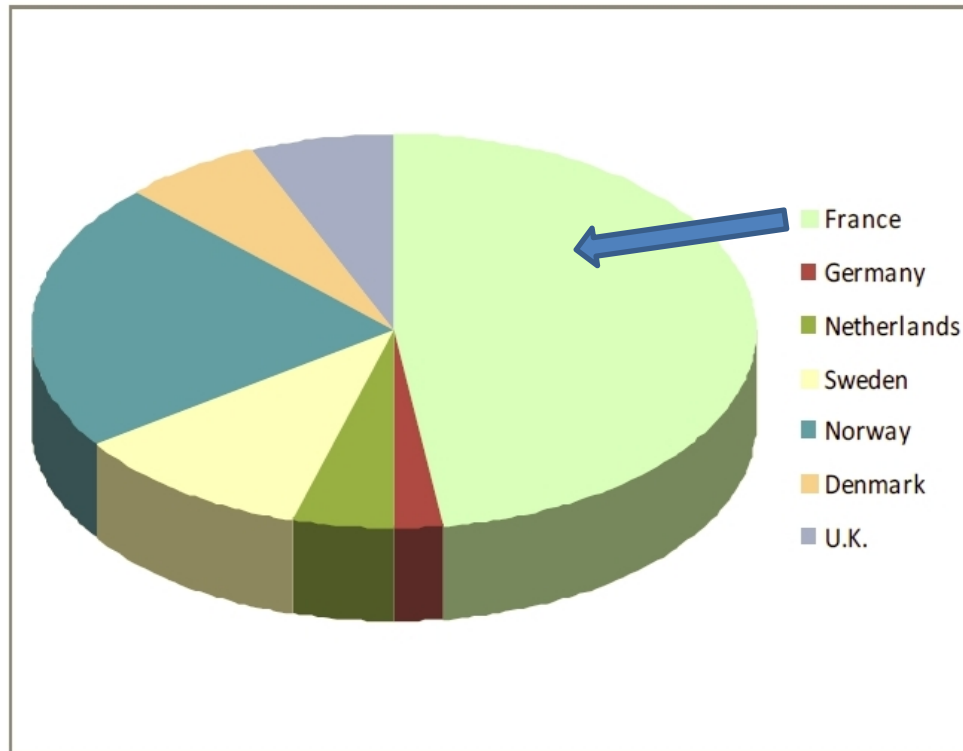
Continent	Country	Technically Recoverable (Tcm)
North America (non U.S.)	Canada and Mexico	30.3
	U.S.	24.4
Total North America	Canada, Mexico, U.S.	54.7
South America	Colombia, Venezuela, Argentina, Bolivia, Brazil, Chile, Uruguay, Paraguay	34.7
Europe	France, Germany, Netherlands, Sweden, Norway, Denmark, U.K., Poland, Lithuania, Kaliningrad, Ukraine, Turkey	17.7
Africa	Morocco, Algeria, Tunisia, Libya, Mauritania, Western Sahara, South Africa	29.5
Asia	China, India, Pakistan	39.8
Australia		11.2
Total		187.4
Total excluding U.S.		163.2

Source: EIA ARI World Shale Gas Resources

Consommation mondiale de gaz naturel en 2009 = 2,94 Tcm

x 63,7

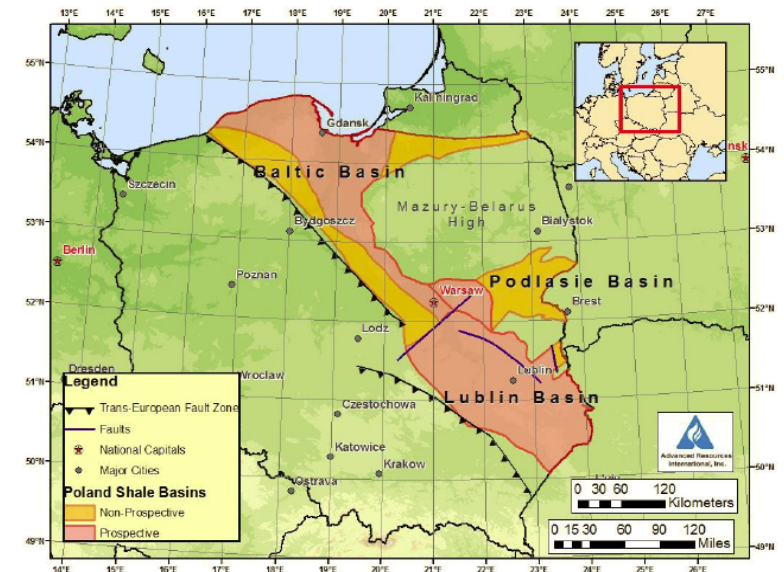
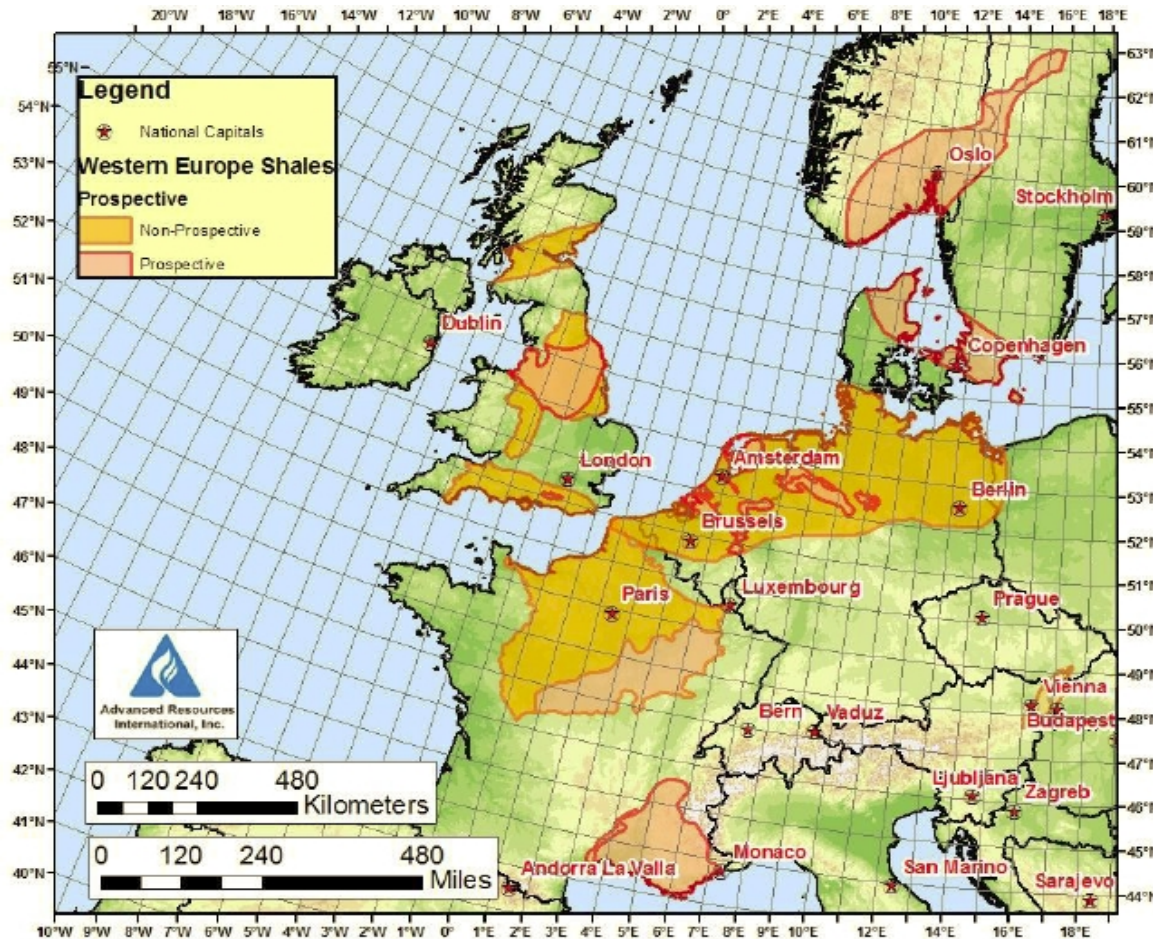
Estimation des réserves de gaz de schiste techniquement récupérables de l'Europe Occidentale



- France holds large technically recoverable shale gas resources (180 Tcf or 5.10 Tcm) in the Paris and South-East basins.
- Norway's (83 Tcf or 2.35 Tcm) and Sweden's (41 Tcf or 1.16 Tcm) shale gas resources are within the Alum shale of the Baltic basin.
- Smaller but still significant shale gas resources exists in Denmark (23 Tcf or 0.65 Tcm), Netherlands (17 Tcf or 0.48 Tcm) and Germany (8 Tcf or 0.23 Tcm).

Source: EIA ARI World Shale Gas Resources

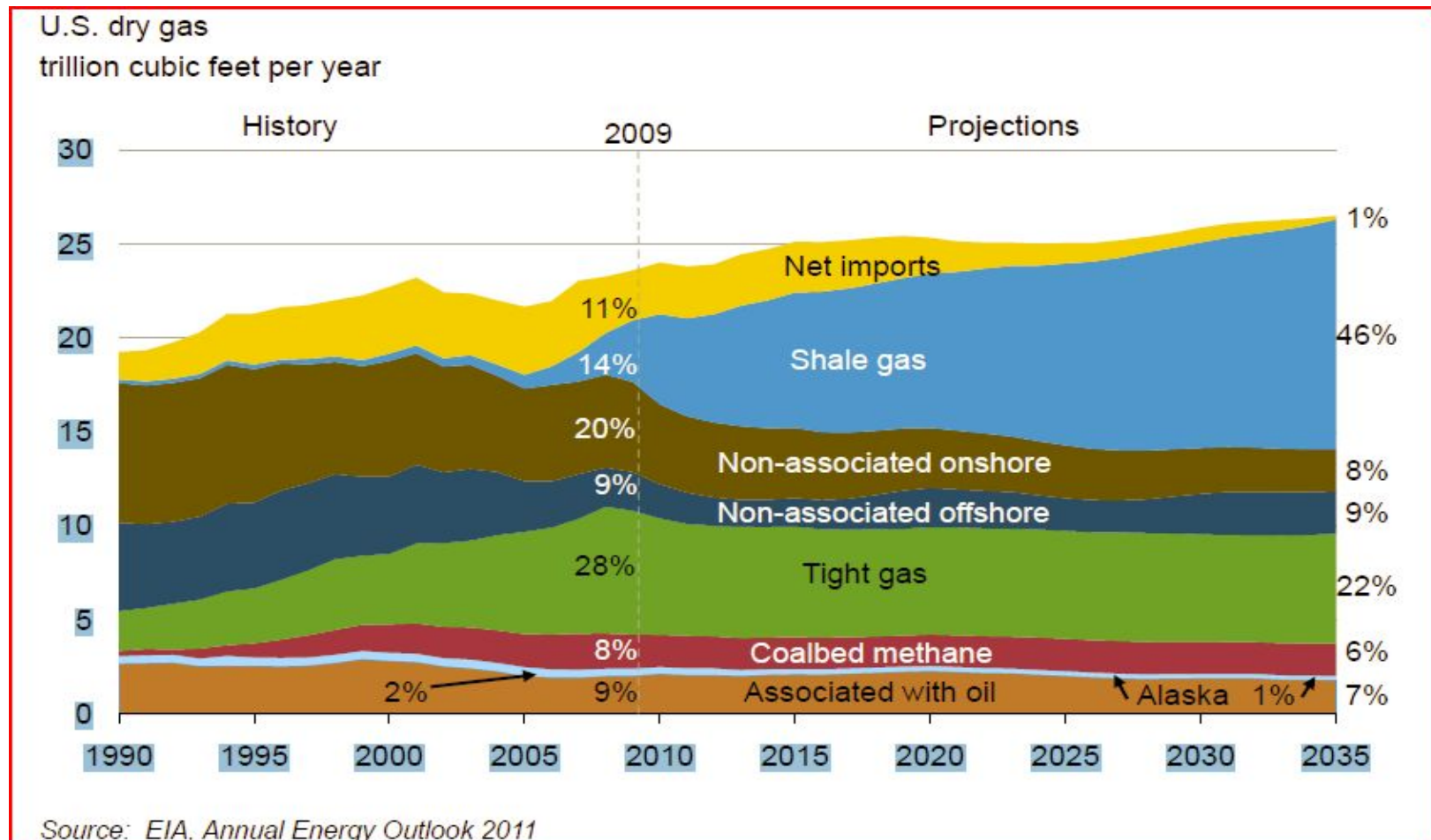
Bassins de gaz de schiste d'Europe Occidentale et de Pologne



Le gaz compact (*tight gas*)

- Le *tight gas* a migré de la roche-mère et a été piégé dans des réservoirs ultra-compacts de grès ou de craie, dont la porosité et la perméabilité sont très faibles souvent liées à une cimentation naturelle (bactéries) postérieure à l'accumulation. Les pores de la roche réservoir contenant le gaz sont minuscules, et la compacité de la roche est telle que le gaz ne peut s'y mouvoir que très difficilement.
- On a obligatoirement recours au forage horizontal et à la fracturation hydraulique pour le libérer.

Le gaz compact (*tight gas*)



Le *tight gas* est actuellement la source principale de gaz aux USA

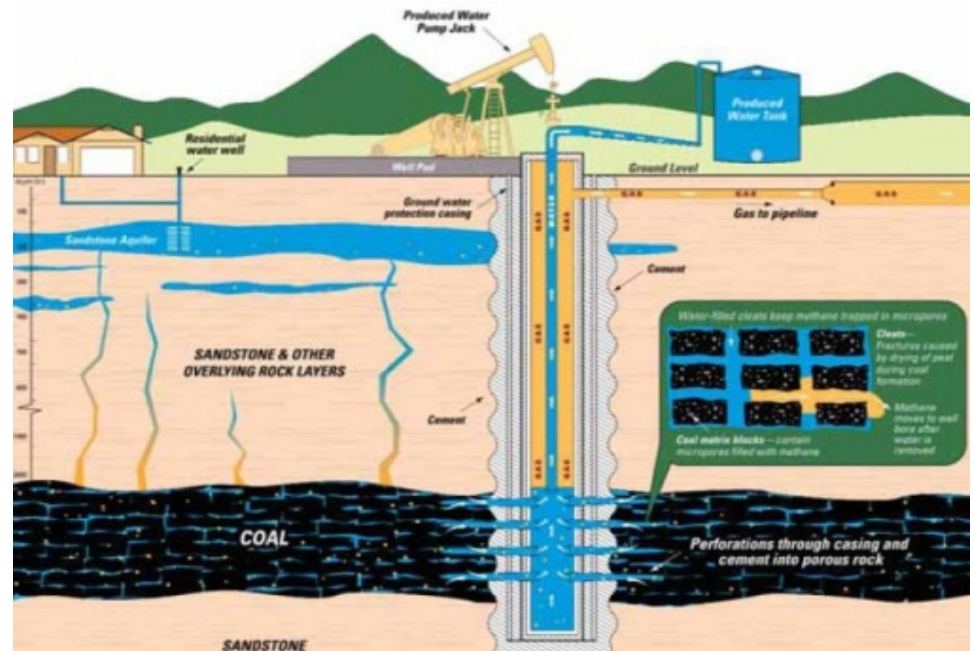
Gaz de charbon ou Grisou

(*Coal Bed Methane*)

- Le "gaz de charbon" ou Grisou est un nom donné au méthane, c'est-à-dire le gaz naturel, récupéré à partir des veines de charbon.
Le gaz de charbon peut être récupéré suivant trois voies :
- Le drainage dans les mines de charbon existantes (*Coal Mine Methane* ou CMM), pour des raisons de sécurité afin d'éviter le risque du "coup de grisou " mais aussi désormais pour valoriser le gaz
- Extraction à partir des mines de charbon abandonnées (*Abandoned Mine Methane* ou AMM) ;
- Production par forage des couches de charbon souterraines non exploitées (*Virgin Coal Bed Methane* ou VCBM).

Gaz de charbon (*Coal Bed Methane*)

- La production par forage vertical des couches de charbon souterraines (VCBM) est actuellement la plus courante. La technique consiste à réduire la pression dans le filon de charbon pour libérer le gaz par pompage de l'eau qu'il faudra ensuite séparer du gaz et « recycler ».
- Même si la roche est naturellement fissurée, celle-ci peut nécessiter une fracturation hydraulique pour stimuler la production de gaz



Huile de schiste (*Shale oil*)

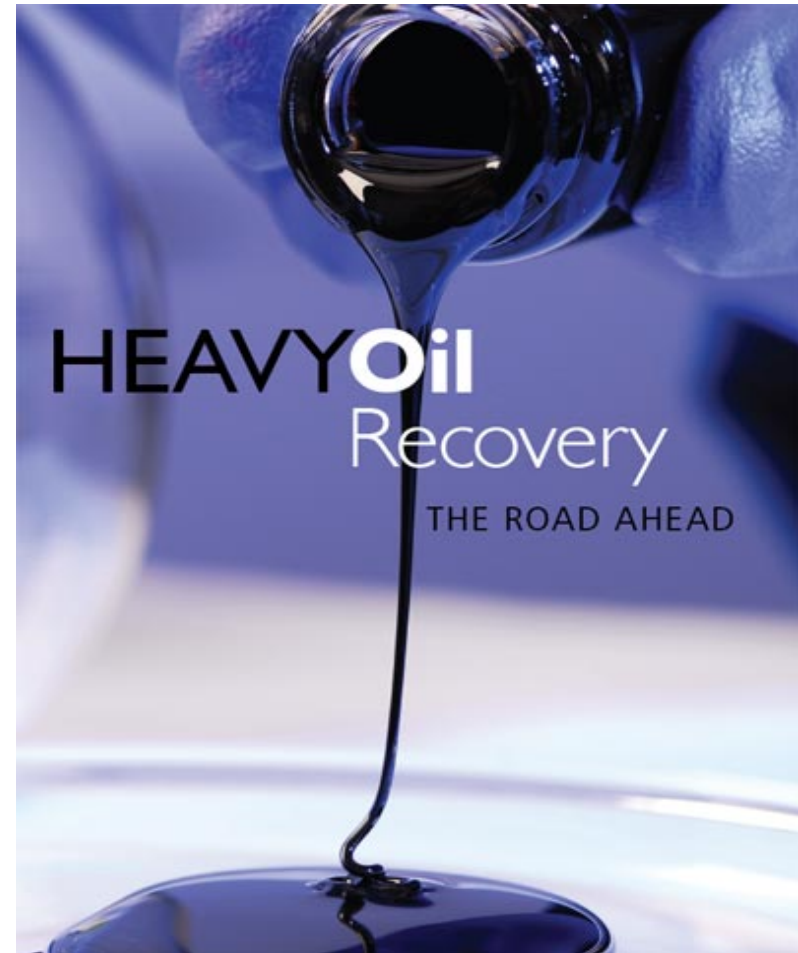
- Comme le gaz de schiste, ce pétrole est resté piégé dans la roche mère pour former un gisement de pétrole « non-conventionnel ».
- On a obligatoirement recours au forage horizontal et à la fracturation hydraulique pour l'extraire.
- En France, ce type de pétrole est surtout localisé dans le bassin parisien

Huile de réservoir compact (*tight oil*)

- Le « *tight oil* » a migré de la roche-mère et a été piégé dans des réservoirs ultra-compacts de grès ou de craie, dont la porosité et la perméabilité sont très faibles. Les pores de la roche réservoir contenant ce pétrole sont minuscules, et la compacité de la roche est telle que le pétrole ne peut s'y mouvoir que très difficilement.
- On a obligatoirement recours au forage horizontal et à la fracturation hydraulique pour l'extraire.

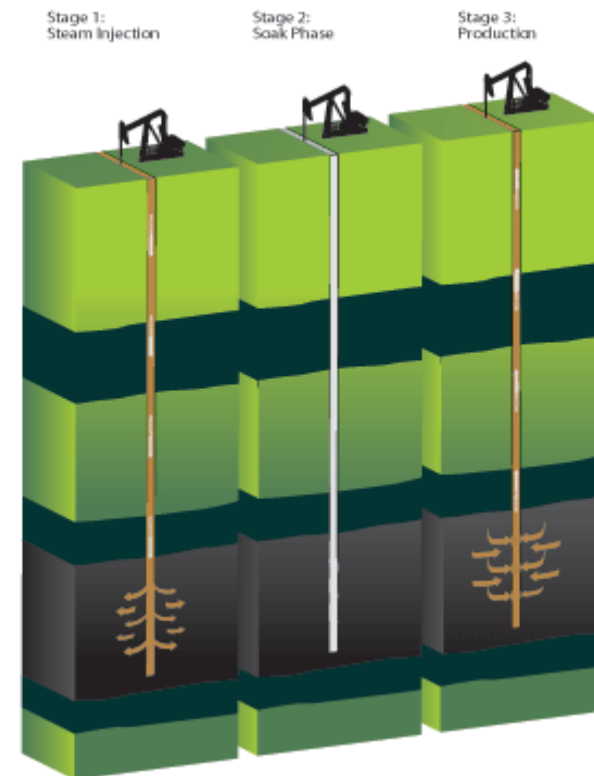
Huiles lourdes (*heavy oil*)

- Généré dans une roche-mère ayant eu une température inférieure à 80°C, le pétrole lourd est un hydrocarbure naturellement biodégradable. Il se caractérise par une nature visqueuse asphaltique, dense, (similaire à la mélasse), Il est constitué de très grosses molécules incorporant environ 90% de soufre et des métaux lourds. Il contient également des impuretés telles que de la paraffine et des résidus de carbone qui doivent être filtrés avant raffinage. Il a une viscosité qui peut varier de 100 cp à 1,000,000 cp (centipoise)



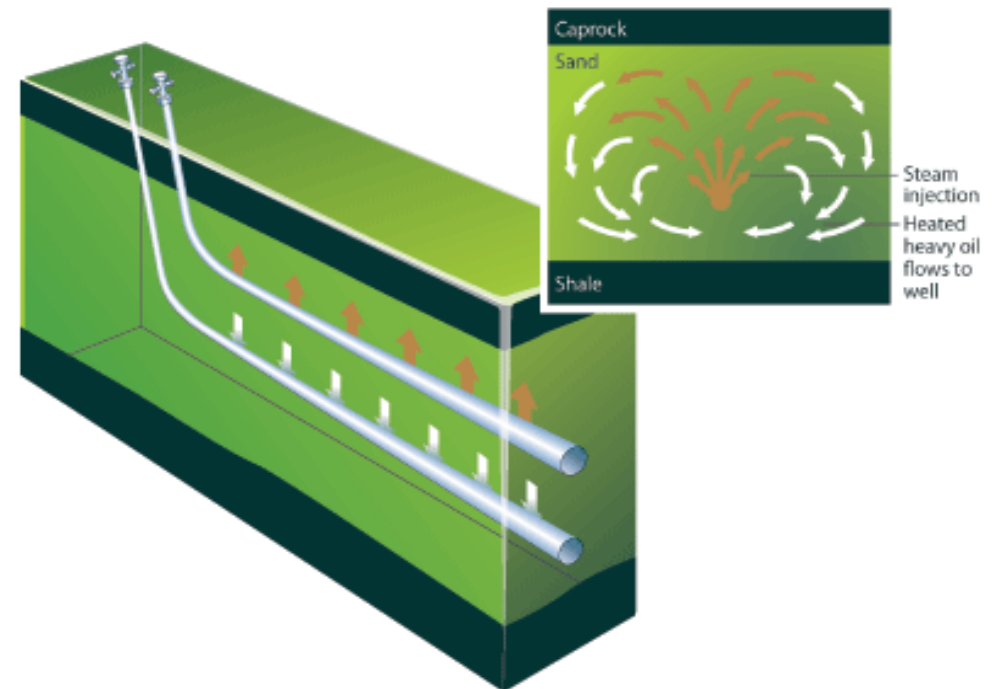
Huiles lourdes (*heavy oil*)

- Le pétrole lourd peut être défini comme un pétrole « non récupérable à l'état naturel au moyen d'un puits et des méthodes de production conventionnelles »
- Que l'on défini comme du pétrole «qui ne s'écoule pas ou ne peut être pompé sans être chauffé ou dilué par des produits couramment utilisés dans la fracturation hydraulique».



Extraction des huiles lourdes


- Il fait l'objet de vastes programmes de recherches pour développer les techniques de Récupération Assistée (*Enhanced Oil Recovery*) qui peuvent inclure de la fracturation hydraulique
- Problématique du transport



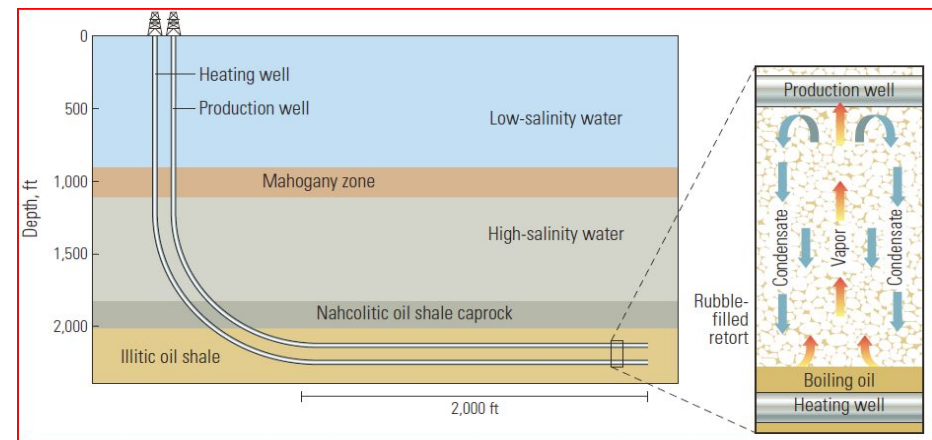
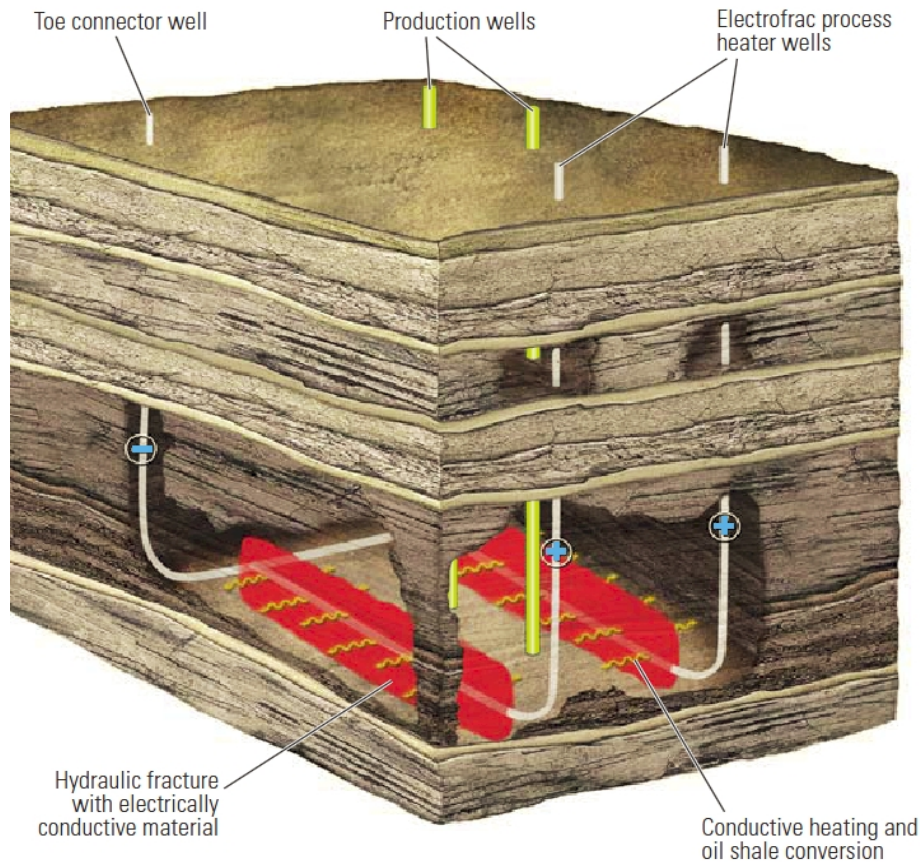
Schiste Bitumineux (*Oil shale*)

- Les schistes bitumineux sont abondants, mais produire son pétrole peut être compliqué. Depuis 1800, ces roches ont été exploitées dans des installations de surface où les hydrocarbures sont extraits. Maintenant, les pétroliers développent des méthodes pour chauffer la roche *in-situ* et ainsi pomper le pétrole à la surface. Le schiste bitumineux est le terme donné à cette roche sédimentaire, ayant une très fine granulométrie, contenant des quantités relativement importantes de matière organique immature (kérogène).
- C'est essentiellement une roche-mère qui aurait dû générer des hydrocarbures si elle avait été soumise durant l'enfouissement géologique aux températures et pressions nécessaires pendant un temps suffisant.

Schiste Bitumineux (*Oil shale*)

- Dans la nature, il peut prendre des millions d'années à des températures comprises entre 100 °C et 150 ° C, pour générer des hydrocarbures dans la plupart des roche-mères. Mais ce processus peut être accéléré en chauffant la roche riche en kérogène très rapidement et cela à des températures très élevées ($\geq 500^{\circ}\text{C}$), générant ainsi des hydrocarbures liquides en un temps très court : de quelques minutes à quelques années
- Différentes techniques sont en phase d'expérimentation, certaines incluant de la fracturation hydraulique 

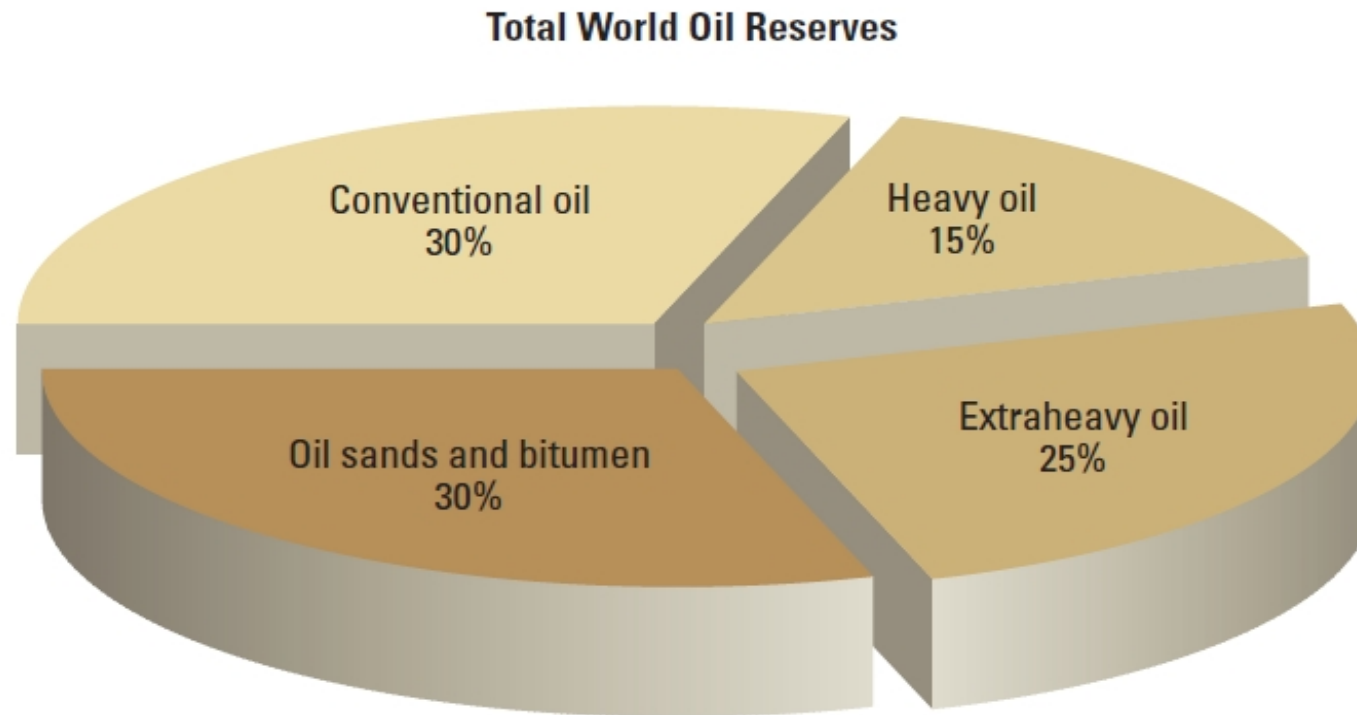
Converting Oil Shale to Shale Oil



Procédé AMSO (50% Total)

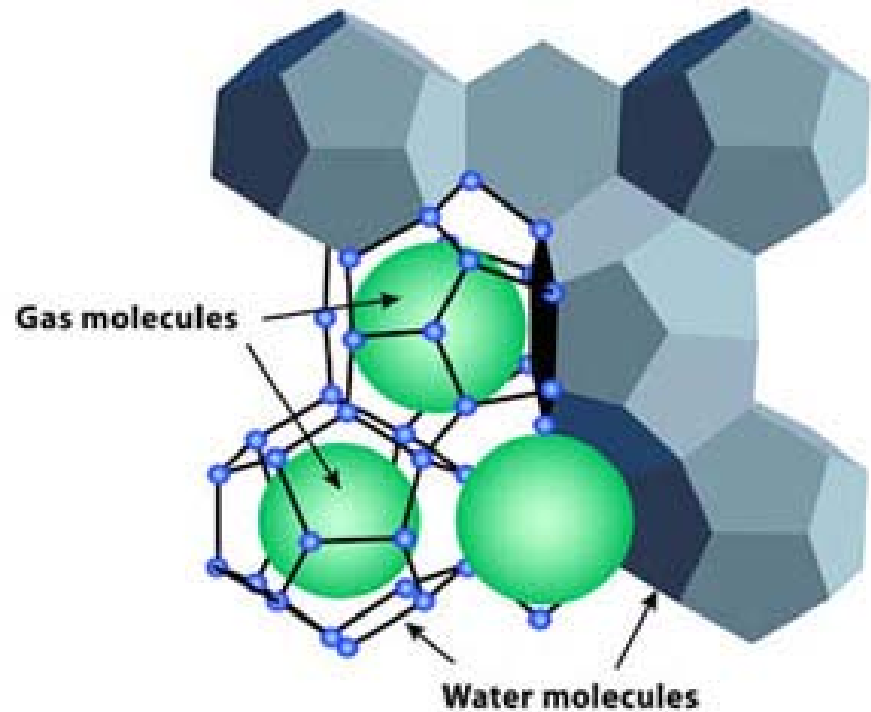
Procédé ExxonMobil Electrofrac

Estimation des réserves mondiales d'huiles



^ Total world oil reserves. Heavy oil, extraheavy oil and bitumen, make up about 70% of the world's total oil resources of 9 to 13 trillion bbl.

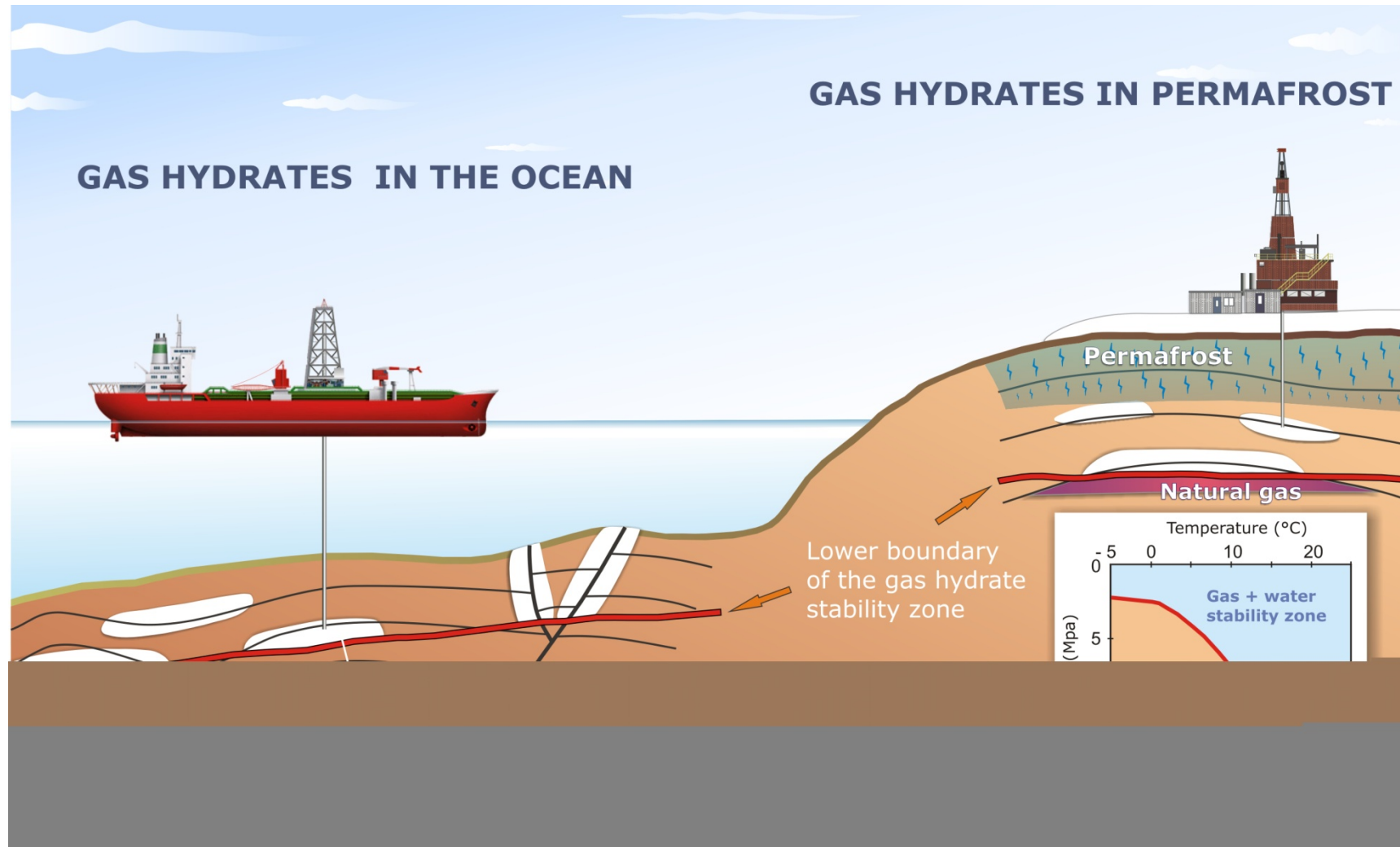
La glace qui brule : Les hydrates de méthane sont-ils la prochaine “fantastique” réserve mondiale de gaz?



Hydrate de méthane

- Un hydrate de méthane est un composé organique naturellement présent dans les fonds marins, sur certains talus continentaux, ainsi que dans le permafrost des régions polaires. C'est un des réservoirs d'hydrocarbures planétaires.
- Ce composé glacé est inflammable dès qu'il fond et en présence d'oxygène ou d'un oxydant : il s'agit en effet d'une fine « cage » de glace dans laquelle est piégé du méthane issu de la décomposition de matière organique relativement récente (par rapport à celle qui a donné le pétrole et le gaz naturel) effectuée par des bactéries anaérobies.

Exploitation des hydrates de méthane



Estimation des réserves mondiales des hydrates de méthane

