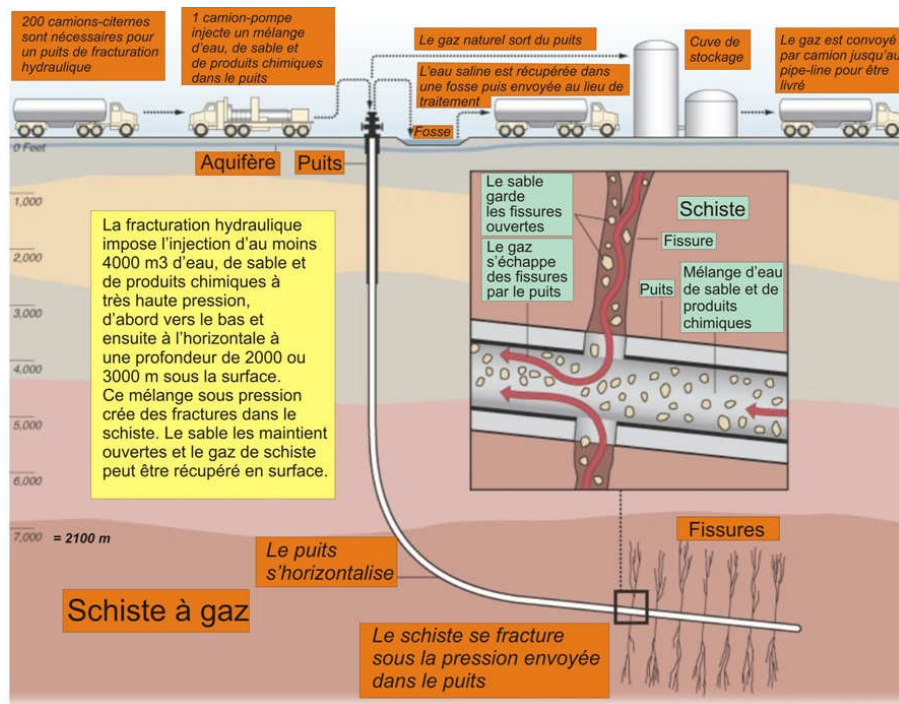


Le gaz de schistes : son exploitation



Résumé de l'exploitation du gaz de schiste

Après la lecture de cet article, ce schéma synthétique vous apparaîtra très simple et clair. Déjà, il sera plus grand.

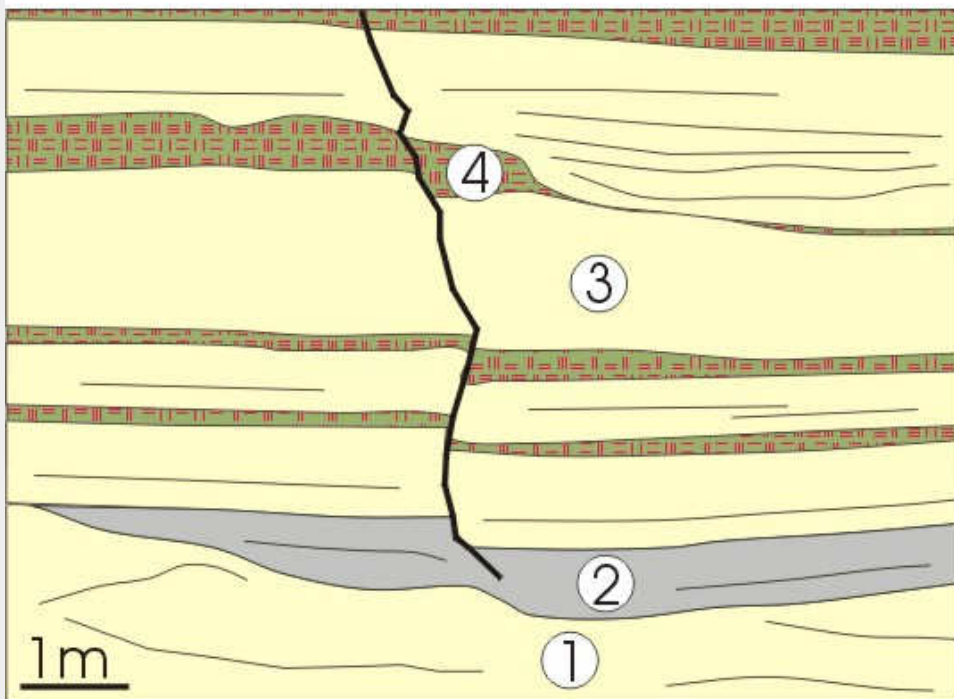
Le schiste

Le gaz de schiste est donc le gaz formé à partir de matière organique enfouie et toujours présent dans sa roche-mère (voir article "[Le gaz de schiste : sa formation](#)"). Cette roche-mère est schisteuse car elle s'est formée à partir du lieu de vie des plantes et animaux et que celui-ci correspond à de la vase, à de la boue, en bonne partie argileuse mais pas seulement.

Dans un schiste, en plus de l'argile, on peut également y trouver du sable, souvent formé de quartz (dioxyde de silicium, SiO₂), des particules de taille intermédiaire de composition variable, y compris calcaire, formant le silt et donc, bien sûr, de la matière organique.

L'argile a des grains qui ont une taille <4 microns (1 micron= 1 millième de millimètre), le silt entre 4 et 62 microns, le sable entre 62 microns et 2 millimètres. Plus grossier encore, c'est le gravier.

On peut trouver ces grains de différentes tailles dans une même roche mais également en tant que niveaux se succédant.



Alternance sable, silt, argile

Coupe dans un système fluvial triassique (L'Escalette, Larzac, France). (1) rides et mégarides sableuses en milieu deltaïque ; (2) remplissage argileux d'un chenal après recoupement et abandon du méandre ; alternance de chenaux à remplissage sableux (3) et d'argiles et silts bordeaux de plaine d'inondation (4) (F. Boulvain, ULg)

Cette vase, riche en argile et silt, a la propension lors de son enfouissement, à former des plans discontinus qui la rend fissile et que l'on appelle schistosité de fracture (ou clivage) et qui correspond au plan d'aplatissement maximum de la roche. Il faut bien la distinguer des plans de stratification qui correspondent aux plans séparant des roches de compositions différentes. La schistosité de fracture ne sera parallèle à la stratification que dans certains cas particuliers.



Schiste en éboulis

La structure en plaquette, due à la schistosité est bien visible dans cet éboulis de schistes

Ces deux caractéristiques du schiste, sa nature argileuse et sa schistosité, sont essentielles pour bien comprendre la problématique de l'exploitation du gaz de schiste : c'est la nature argileuse qui retient le gaz (et qui fait qu'il n'est pas parti ailleurs) et c'est sa nature schisteuse, fracturée, qui en permet l'exploitation.

Comme il a également été expliqué dans "[Le gaz de schiste : sa formation](#)", le gaz peut être biosynthétique, formé par l'action des bactéries à faible profondeur ou thermosynthétique, formé à plus haute température et à plus grande profondeur (au moins 2 ou 3 km). Seul ce dernier nous intéresse ici.

Ces zones de schistes peuvent être plus ou moins épaisses, de quelques dizaines à quelques centaines de mètres d'épaisseur mais peuvent s'étendre sur de très grandes surfaces, ce qui en fait potentiellement des gisements de gaz extrêmement importants, de plusieurs centaines ou milliers de milliards de mètres-cubes mais répartis sur des centaines ou des milliers de km². Il y a donc beaucoup de gaz mais il est difficile de le récupérer.



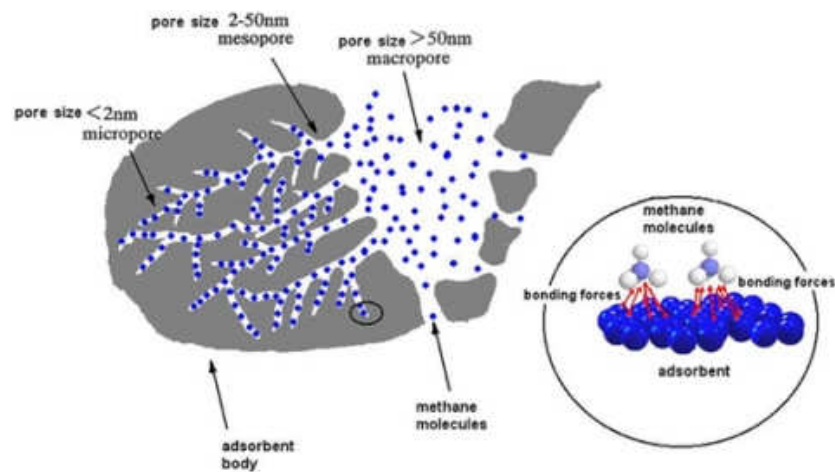
Schiste noir

Un schiste noir, roche-mère potentielle pour le gaz

Le gaz est donc retenu dans le schiste. On l'y trouve sous trois formes :

- 1) Le gaz libre logés dans les espaces interstitiels et les fractures ;
- 2) le gaz adsorbé, électriquement fixé à la matière organique et à l'argile ;
- 3) le gaz dissous dans la matière organique.

Cette dernière forme est anecdotique en termes de quantité.



Adsorption du gaz naturel dans des pores de différentes tailles

Dans un schiste, les espaces interstitiels dans lesquels le gaz peut circuler sont 1000 fois plus petits que dans les pièges à gaz gréseux constituant les gisements traditionnels. Entre les pores, les espaces sont encore plus petits, de l'ordre de 20 fois plus grands qu'une molécule de méthane. Le schiste est donc une roche peu perméable. Les fractures par contre peuvent permettre au gaz de circuler plus facilement mais souvent, elles ne sont pas interconnectées et le gaz reste malgré tout piégé au sein du schiste.

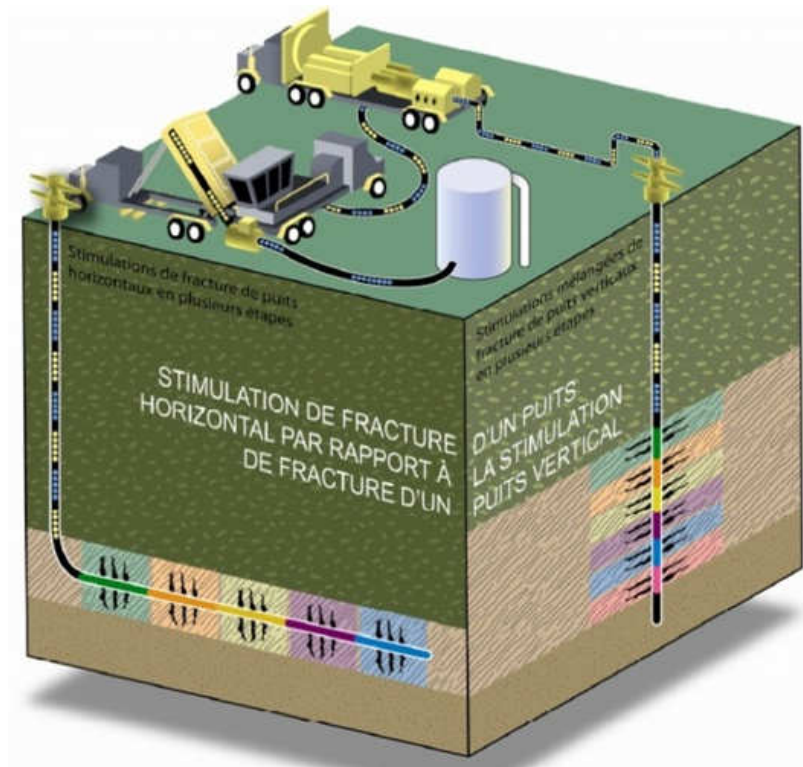
Plus le schiste sera argileux, plus il sera imperméable au gaz. S'il est plus silteux (particules plus grande que les particules argileuses) ou plus sableux, il sera plus perméable.

L'exploitation : forage et fracturation hydraulique

L'exploitation du gaz de schiste est, sur le plan du principe, simple : on fore un trou pour atteindre le schiste situé en profondeur, on fracture le schiste pour permettre au gaz de mieux circuler et on récupère le gaz par le même trou de forage.

En pratique, les problèmes sont nombreux.

Le forage horizontal Un forage vertical est peu efficace pour récupérer du gaz, il le draine sur un trop faible volume, sauf dans le cas d'épaisseur de schiste très importante, et encore. On a donc recourt au forage horizontal : quand le forage vertical a presque atteint le schiste riche en gaz, on oriente progressivement le trépan vers l'horizontale. Le creusement continue alors à l'horizontale sur des distances pouvant atteindre 2 km.



Forage horizontal et vertical



Un trépan ou tricône

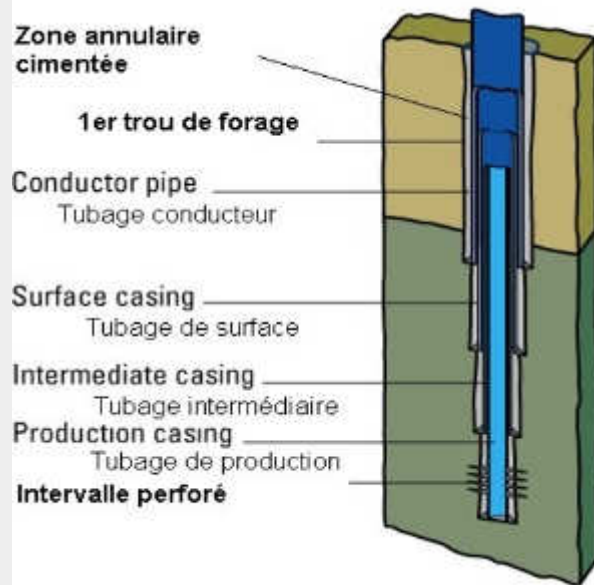
Forage, derrick et trépan. Un forage est composé d'un derrick, d'une tige et d'un trépan. Le derrick est le support aérien du système de forage, c'est une tour métallique d'une trentaine de mètres de hauteur qui sert à introduire verticalement les tiges de forage. Au bout de la première tige, il y a l'outil de forage, un trépan (du grec "trupaô", je perce) appelé aussi un tricône (car formé de trois cônes).

C'est la tête du forage et il est muni de dents ou de pastilles en acier très dur. Le trépan attaque la roche en appuyant mais surtout en tournant à grande vitesse : il broie la roche en petits morceaux. Les tiges ont classiquement une longueur de 9 m. Au fur et à mesure du forage, on ajoute une nouvelle tige de 9 m en la vissant à la précédente.



Trépan au bout de sa tige, prêt à être utilisé

L'ensemble des tiges / trépan s'appelle le train de tiges. Pour les roches très dures, les dents des trépan ne sont pas assez solides et on utilise un outil en un seul bloc sertis de diamants, le minéral le plus dur sur Terre. Si l'on veut mieux connaître les roches traversées, on remplacera le trépan par un carottier : creux, il permet de remonter des cylindres de roches, les carottes.



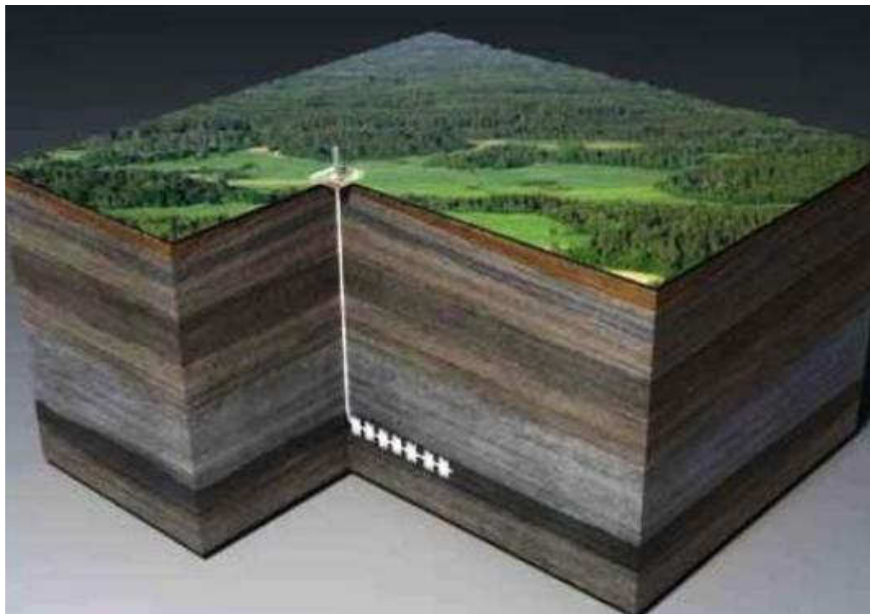
Tubage d'un forage pétrolier classique

Tubage. Pour éviter que le trou ne s'effondre ou pour éviter la contamination des nappes phréatiques éventuellement rencontrées, on effectue un tubage. On descend une série de tube creux que l'on visse les uns aux autres. Bien sûr, cela réduit le diamètre du trou et le trou de forage voit ainsi son diamètre diminuer au fur et à mesure du tubage. On peut ainsi passer d'un trou de forage initialement de 50 cm à un trou réduit à 20 cm au fond du forage.

Le puits d'un forage horizontal a une nettement plus haute probabilité de rencontrer des fractures naturelles du schiste. Le puits devra donc être creusé perpendiculairement ou tout au moins obliquement à la schistosité. Le forage horizontal est beaucoup plus adapté au gaz de schiste mais il est également beaucoup plus couteux. Un forage vertical coûte de l'ordre de 300.000 à 1 million € en fonction de la profondeur alors qu'un forage horizontal coûte entre 4 et 8 millions €.



Derrick de forage dans un paysage américain



Situation sous ce même derrick

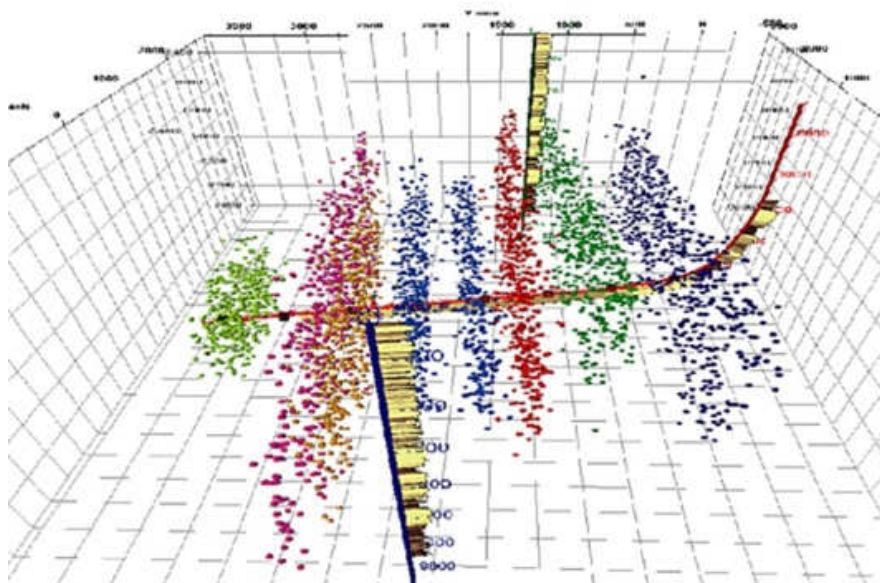
La fracturation hydraulique

Les fractures naturelles du schiste ne suffiront cependant pas à exploiter le gisement de gaz. Elles ne sont pas assez nombreuses et surtout elles ne communiquent pas assez entre elles. L'exploitation va donc créer des fractures artificielles en utilisant la méthode de la fraction hydraulique. C'est une méthode bien connue et largement employée par l'industrie pétrolière et gazière pour améliorer l'exploitation des réservoirs de faible perméabilité.

La fracturation hydraulique se fait en trois grandes étapes :

- 1) Le forage, dans notre cas, horizontal (voir plus haut).
- 2) La réalisation de petites explosions successives pour créer un premier jeu de fractures à proximité du forage. En isolant des sections le long de la partie horizontale du puits, des segments du trou de sonde peuvent être fracturés un à la fois au moyen de la technique dite de la fracture en plusieurs étapes. En écoutant à la surface et dans les puits avoisinants, on peut déterminer jusqu'où, dans quelle mesure et dans quelles directions le schiste a craqué sous l'action de la pression induite.
- 3) L'injection d'un fluide sous très haute pression pour élargir ces premières fractures et les prolonger. Un liquide est incompressible. Si on le comprime suffisamment en l'envoyant en profondeur, il va donc fracturer la roche et créer des chemins d'évacuation du gaz. Les pressions nécessaires sont énormes : 15000 psi ("pounds per square inch" ou livres par pouce carré) ce qui correspond à 1000 fois la pression atmosphérique, donc 1000 bar ou à 10,000 tonnes au m².

La situation après la fracturation peut être visualisée en réalisant une petite étude sismique. C'est la seule manière de savoir ce qui se passe.



Imagerie sismique

Une petite campagne sismique permet de visualiser les effets de la fracturation hydraulique

La nature du fluide.

Il s'agit le plus souvent d'eau, mais dans certains cas où la roche réagit mal à l'eau (certaines argiles gonflent en présence d'eau, ce qui a un effet contraire à celui recherché), on peut utiliser de l'azote, du CO₂ voire des dérivés pétroliers comme le propane. Nous ne considérerons ici que l'eau, le cas plus fréquent et qui serait utilisé dans le cas de nos causes.

Ce n'est cependant pas de l'eau pure qui est injectée. 1) On charge l'eau d'un agent de soutènement, soit du sable, soit des microbilles (de même taille qu'un grain de sable) de céramique, de verre ou de polystyrène, qui ont pour fonction d'empêcher les fractures créées de se refermer quand la pression est relâchée.



Différents agents de soutènement (proppants en anglais)

Ces différentes petites billes, de la taille d'un grain de sable, maintiennent ouvertes les fractures créées par la fracture hydraulique

2) On ajoute quelques %, typiquement 0,5 à 2%, de produits chimiques divers pour améliorer l'effet fracturant de l'eau. Il s'agit le plus souvent :

Produit chimique	Rôle	Produits engendrés= polluants
Acide chlorhydrique	dissout certains minéraux gênants	sels
Inhibiteur de corrosion	empêche la corrosion du train de tubes	détruits par micro-organismes
Contrôleur du fer	Empêche la précipitation de métal dans le tube en réagissant avec les minéraux	sels
Agent anti-bactérien	Détruit les bactéries de l'eau produisant des produits corrosifs	peu importants
Agent anti-dépôts	Empêche la formation de dépôts dans le tube et les équipements de surface	produit lui-même
Stabilisateur d'argile	réagit avec l'argile en formation par un processus d'échange ionique sodium-potassium	NaCl, sel de table
Réducteur de frottement	rend l'eau plus "glissante"	produit lui-même
Surfactant	rend l'eau plus visqueuse et plus efficace	produit lui-même
Agent gélifiant	rend l'eau plus "épaisse" pour que le sable reste bien en suspension	produit lui-même
Agent casseur	avec un effet retard, annule l'effet gélifiant en profondeur pour une meilleure pénétration de l'eau	ammoniaque, sulfates (sels)
Crosslinker	maintient la viscosité de l'eau malgré l'augmentation de la température	sels
NaOH	maintient un pH neutre de l'eau et ainsi l'efficacité des autres composants	sels et CO ₂

La composition exacte de ces produits est complexe et tenue secrète par les sociétés de forage. Mais globalement, il s'agit de benzène, ethylbenzène, toluène, xylène, naphthalène, hydrocarbones polycycliques aromatiques, méthanol, formaldéhyde, éthylène glycol, glycol éthers, en plus de HCl (acide chlorydrique) et NaOH (soude caustique) cités dans le tableau.

Ces produits, ou leurs dérivés produits pendant leur action, sont récupérés en bonne partie en surface en même temps que l'eau. C'est effectivement nécessaire pour laisser le gaz circuler ; si l'eau restait en profondeur, elle l'en empêcherait. Cependant, il n'est pas possible de la récupérer entièrement. On estime que 20 à 40% de l'eau injectée reste en profondeur.

Comme on peut le voir en étudiant le tableau ci-dessus, beaucoup de sels sont produits. L'eau récupérée est donc salée et agressive vu qu'une partie des produits initiaux sont toujours présents. Cette eau ne peut être réutilisée une deuxième fois pour fracturer la roche car les sels présents pourraient obstruer les tubes et les schistes eux-mêmes. Il faut donc la traiter ou la stocker (voir plus loin).



Tête de puits de fracturation hydraulique

Les caractéristiques du schiste sont importantes

Deux facteurs sont importants à considérer pour l'exploitation du gaz de schistes.



Le chêne et le roseau

Le roseau c'est l'argile, le chêne c'est le quartz

1) La nature, la composition du schiste. L'argile a tendance à absorber l'augmentation de pression, elle plie sous la pression hydraulique exercée sans casser. C'est le roseau de Jean de La Fontaine. Par contre, si le schiste est riche en quartz (silice) voire en calcite, il va se fracturer beaucoup plus facilement. Le quartz est bien plus dur que l'argile, mais il est plus cassant. De plus il crée des hétérogénéités au sein du schiste, ce qui favorise également la fracturation.

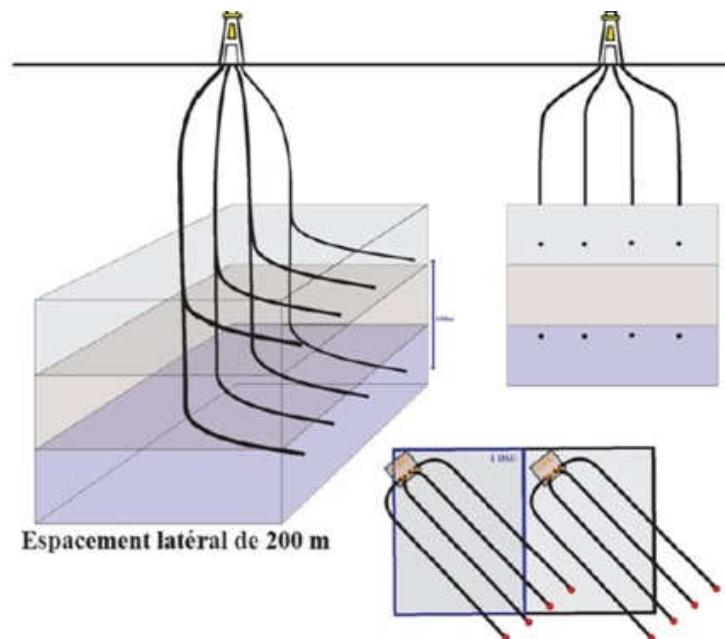
2) La pression interne du schiste. Comme le gaz naturel ne peut s'échapper du schiste en raison de la faible perméabilité de ce dernier, il s'accumule et augmente la pression interne du schiste. Dans le cas d'un schiste avec une forte pression interne, les fractures artificielles vont se propager plus facilement puisque le schiste est déjà naturellement proche du point de rupture. La surpression hydraulique vient s'ajouter à la surpression existante du gaz.

Une série de puits sont nécessaires

Étant donné les caractéristiques du schiste, même en utilisant des forages horizontaux et la fracturation hydraulique, le volume d'où est drainé le gaz reste limité. La communication entre les fractures reste faible dès que l'on s'éloigne du tracé du puits horizontal.

Il est donc nécessaire de réaliser plusieurs puits. Aux USA, où la technique est déjà implantée, 3 ou 4 et jusqu'à 8 puits sont nécessaires par section, une section étant un carré de 1 mille de côté (1 mille = 1,609 km, donc un carré de 2,6 km²). Il est cependant possible de creuser plusieurs puits horizontaux de 2 km de long à partir

d'un seul emplacement de 1 hectare, ce qui réduit l'empreinte en surface à un puits en surface par section.

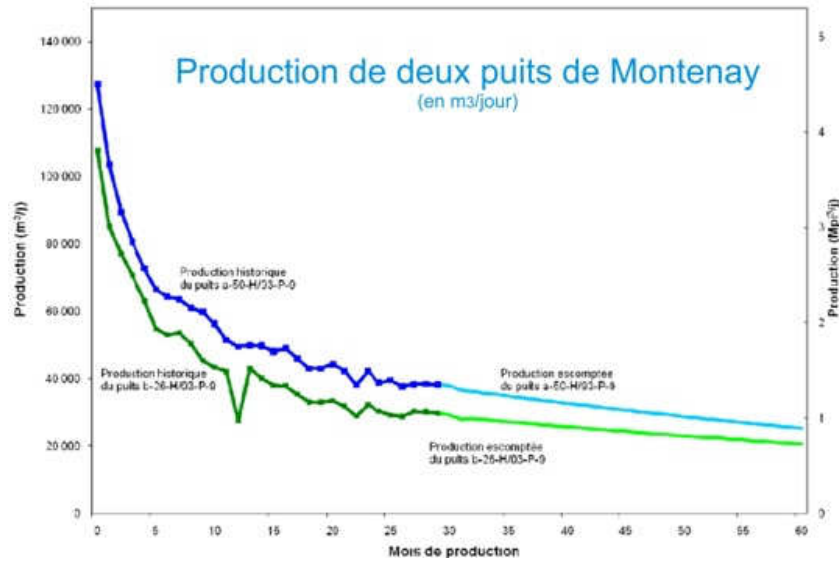


Plusieurs puits horizontaux à partir d'un même endroit

Quelle récupération du gaz ?

Lors de l'exploitation du gaz naturel conventionnel, quand le gaz est piégé dans une roche poreuse, 95% du gaz est en général récupéré. Dans le cas du gaz de schiste, les taux de récupération sont de l'ordre de 20% même avec un forage horizontal de haute densité et avec un recours intensif à la fracturation hydraulique. Le schiste est peu perméable et c'est ainsi.

Le volume de gaz récupéré est très important au départ mais diminue rapidement dans les mois qui suivent et une récupération faible mais constante peut ensuite durer des années. Il n'est pas possible de connaître à l'avance le volume de gaz qu'un puits horizontal pourra récupérer mais en moyenne, on peut évaluer ce volume à une centaine de millions de m³ sur plusieurs années. Après quelques années, il est possible de recourir à nouveau à de la fracturation hydraulique pour rouvrir des fractures refermées et en ouvrir de nouvelles.

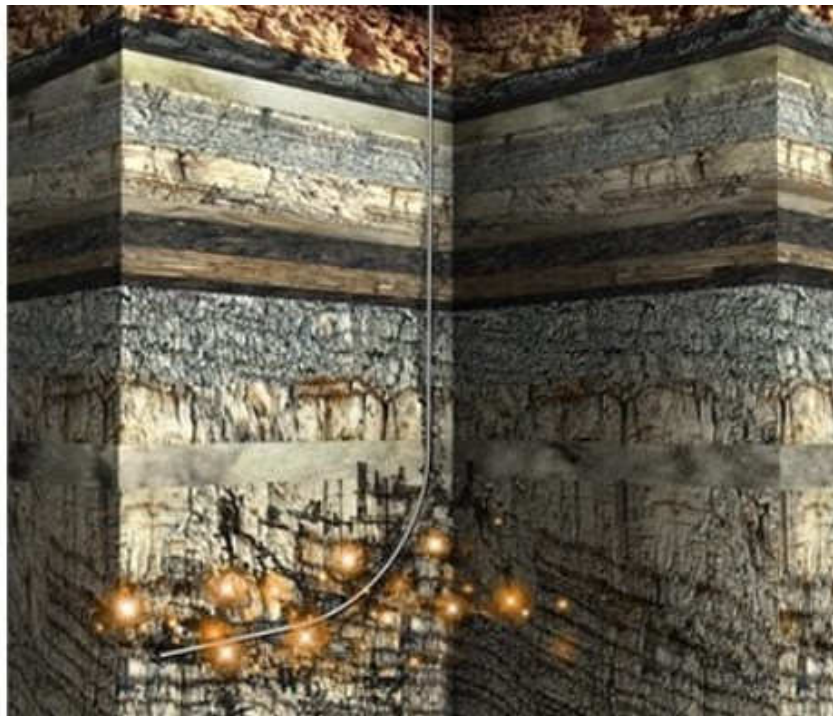


Courbe de production du gaz de schiste

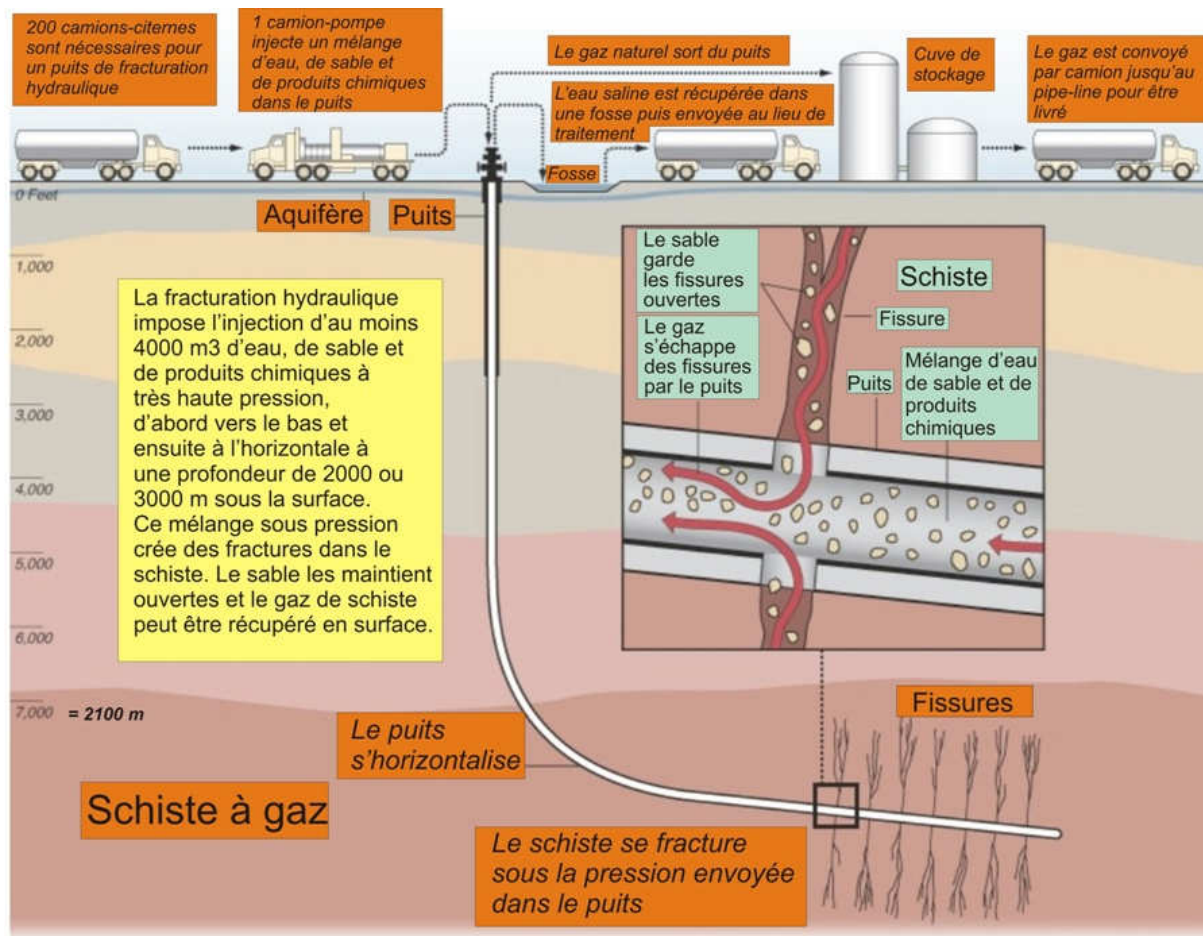
La surpression crée un grand débit au départ mais il décroît rapidement pour durer longtemps à plus faible débit

A quel rythme ?

Au Canada, le rythme de mise en valeur du gaz de schistes pourrait être limité par la disponibilité des ressources requises, comme l'eau douce, les agents de soutènement des fractures ou les appareils de forage capables de forer des puits de plusieurs kilomètres de longueur. En France, la situation est encore plus difficile à évaluer.



Forage horizontal et fracturation hydraulique
Vue d'artiste



A voir :

[Le gaz de schistes : sa genèse](#)

[Le gaz de schistes : intérêt et problèmes](#)

A suivre :

Le gaz de schistes : la situation en Périgord Noir - Haut Quercy

Jean-Paul Liégeois, géologue