



Formation

TOXICOLOGIE – TOXICOCHIMIE FONDAMENTALES ET APPLIQUEES EN MILIEU DE TRAVAIL ET ENVIRONNEMENT

MONOGRAPHIE

Le gaz de schiste : Un enjeu mondial économique-politique

Steven Arod. (Genève, Suisse)
Promotion ATC 2011

L'industrie moderne, qui est née à la fin du 19^e siècle, a rapidement utilisé les matières fossiles (pétrole, huiles de schiste et gaz) pour produire de l'énergie et toute sorte de produits consommables, ceci grâce au progrès de l'ingénierie et de la chimie, qui ont permis l'accès à la matière fossile et à sa transformation chimique.

Pour produire de l'énergie, le gaz est l'élément le plus facilement exploitable, surtout du point de vue du transport puisqu'il est liquéfiable. Il existe sous deux formes : le gaz conventionnel (majoritairement formé de Méthane) accessible à partir de poches souterraines hermétiques et le gaz non conventionnel (lui-même constitué surtout de Méthane), distribué de façon diffuse dans différentes couches géologiques.

L'exploitation intensive du gaz conventionnel (le plus facile à obtenir) durant le 20^e siècle, a rapidement diminué dans les gisements naturels, surtout depuis les récentes tensions politiques dans les pays producteurs, ce qui rend l'accès à ces pays de plus en plus difficile et onéreux. Les occidentaux ont donc, pour palier à ces difficultés, commencé à utiliser des voies alternatives, comme l'extraction du gaz non conventionnel ou gaz de schiste. Bien que difficilement accessible et à un coût économique à la limite de l'acceptable, les techniques d'extraction utilisées, permettent de produire de l'énergie sur son propre sol. Cette expansion vouée à croître, va certainement aggraver l'équilibre écologique de notre planète, devenu déjà très fragile.

C'est ce dernier point, en analysant précisément la technique d'extraction de ce gaz de schiste, qui nous interpelle et nous interroge sur le fait que nous allons peut-être détériorer notre environnement et ceci à un niveau jamais atteint.

Considérons dans un premier temps les principaux pays producteurs de gaz dans le monde.

La situation géopolitique des producteurs de gaz naturel :

	Pays Producteurs	Montant Gaz Naturel (M baril/jour)
1	Russie	607.4
2	États-Unis	545.9
3	Canada	183.7
4	Iran	111.9
5	Norvège	89.7
6	Algérie	83.0
7	Arabie Saoudite	75.9
8	Royaume-Uni	72.4
9	Chine	69.3
10	Turkménistan	67.4
11	Indonésie	66.7
12	Pays-Bas	64.5
13	Malaisie	60.5
14	Qatar	59.8
15	Ouzbékistan	58.5

Tableau 1 : les pays producteur de gaz naturel

Voyons maintenant les divers types de gaz, les quantités produites et leur coût.

D'après le tableau 1, la Russie est le premier producteur, suivie par les USA, le Canada, l'Iran, la Norvège et l'Algérie. Les industries les plus consommatrices d'énergie viennent des pays d'Amérique du Nord. Les autres qui suivent après les pays nord-américains sont à part la Russie et la Norvège, les pays de l'Afrique du Nord, du Moyen-Orient et de l'Extrême-Orient.

Type de gaz/Ressources mondiales	En trillions de m ³	Estimation des Coût d'extraction en milliers de m ³)
Gaz de schiste	666	140 à 210 \$
Gaz de charbon	256	35 à 100 \$
Gaz conventionnel	185	n.e

Tableau 2 : Production mondiale des différents types de gaz et leur coûts d'extraction (d'après investor chronicle, avril 2010)

On constate (**voir tableau 2**) que le gaz de schiste est le plus abondant des autres formes de gisement de gaz. Or nous savons pertinemment que ces réserves sont limitées et non renouvelables. Pour ce qui est de la consommation mondiale, la Chine, les USA et la Russie sont les plus demandeurs en énergie (sans tenir compte des pays émergents comme l'Inde). Ceci crée une compétition pour l'accès à cette énergie avec certainement un désir de monopolisation de celle-ci à des fins politiques par les pays riches en gaz naturel (richesse d'énergie, égale pouvoir et influence politique). Ces détenteurs de ressources énergétiques peuvent donc facilement jouer de leur position avantageuse pour exercer soit des pressions sur les prix, voir du harcèlement en fonction aussi de leur inclinaison politique. L'histoire, présente nous montre que gaz et pétrole, sont à l'origine de nombreux conflits militaires, avec en plus une guerre économique larvée.

On peut en déduire que les pays mal positionnés par rapport à ces sources énergétiques sont tentés d'investir dans la technologie du gaz de schiste, pour se rendre moins dépendants des pays producteurs (ce qui est le cas de la Pologne par rapport à la Russie) ; ou pour les pays qui en sont riches et qui veulent économiser leurs réserves naturelles, lesquelles prennent de la plus-value au fil du temps.

Donc la technologie d'extraction du gaz de schiste arrive à point pour satisfaire ces prises de position, même si on constate en regardant le tableau 2 que le coût de la technologie est plus onéreux, comparé au gaz de charbon et au gaz

naturel. C'est donc cette stratégie, en grande partie de nécessité politique, qui fait le succès de la technologie de l'extraction du gaz de schiste.

L'extraction du gaz de schiste n'est donc pas un accident fortuit, à la recherche de nouvelles méthodes de production énergétique. Celui-ci est dû à une diminution brutale des ressources de base, associée à une situation politique internationale qui ne permet pas parmi les nations, une planification concertée et une distribution juste des ressources planétaires. D'autant plus que la paix sociale se bâtit sur la croissance économique, dévoreuse d'énergie dans les sociétés occidentales.

On constate aussi que pratiquement tous les pays pauvres en ressources énergiques, ont malgré tout dans leur sous-sol du gaz de schiste diffus, au niveau de leurs couches géologiques. La technologie de l'extraction du gaz de schiste permet donc à ces pays, l'accès à leur propre énergie. C'est aussi cet état de fait, qui a pour conséquence qu'on s'apprête à utiliser cette technologie à grande échelle dans tous les pays, avec évidemment un risque potentiel de pollution, lui aussi exponentiel.

La technique d'extraction du gaz de schiste :

Contrairement à l'exploitation du gaz conventionnel, que l'on trouve concentré dans des poches hermétiques à moyennes profondeurs, le gaz non conventionnel est localisé à de grandes profondeurs, très diffus dans les strates géologiques. La technique d'extraction fait donc appel à des moyens technologiques de grande envergure.

Forage vertical :

On débute un par forage vertical (**voir figure 1**), qui nécessite le passage à travers les nappes phréatiques. On va ensuite isoler le forage de la nappe phréatique aquifère en installant une tuyauterie cimentée, qui a pour but de ne pas contaminer l'eau de la nappe phréatique, lors du passage des produits chimiques d'extraction.

Le carottage vertical peut ensuite se continuer sur plusieurs centaines de mètres, voire des kilomètres. La technique va ensuite consister à faire pénétrer sous pression des agents chimiques, lesquels vont faciliter la fracturation de la roche. En effet, on doit fracturer la roche, pour que celle-ci puisse libérer le gaz qu'elle retient dans ses microanfractuosités avec des liquides sous pression, mais aussi grâce à des agents chimiques qui vont faciliter la désorption de gaz des microanfractuosités de la roche. Il est important à ce stade de stabiliser les fractures, par injection de sable fin (voire avec des billes de céramique), ce qui évite la fermeture de ces fractures. La nature des très nombreux produits chimiques utilisés pour la fracturation (leur nombre peut aller de quelques dizaines à quelques milliers !) est généralement un secret industriel et varie selon la nature des couches géologiques rencontrées. L'agent chimique modifie la consistance de la roche afin de permettre l'évacuation du gaz, sous l'effet de la pression. On pourrait imaginer cette action comme celle d'un agent chimique « déboucheur » qui permettrait après fracture du bouchon (la roche), formé dans le siphon d'un évier, et qui va permettre à l'eau (ici l'eau saturée en gaz) de s'évacuer. Ce siphon peut être considéré comme

unidirectionnel, car le principe de fracturation consiste à faire des ouvertures multidirectionnelles, à partir d'un forage vertical (**voir figure 1**).

À partir de ces puits verticaux, un réseau de nombreux canaux par forage horizontal peut être entrepris. Ces carottages permettent d'accéder aux strates géologiques sur une grande surface horizontale, en vue d'obtenir de meilleurs rendements.

Forage horizontal. Voir figure 2 :

Effets mécaniques concernant la transformation du sous-sol

La question que l'on se pose maintenant, est de savoir quelles peuvent être les conséquences de la profonde modification du sous-sol ?

L'extraction du gaz de schiste est un procédé chimique qui produit des fractures de strates géologiques. Il y a donc modification de la strate et cette déstabilisation du sol en profondeur, mécaniquement parlant, peut faciliter des mouvements sous la pression naturelle des plaques géologiques¹. Ce remaniement du sous-sol n'est peut-être pas à notre avantage, car cela peut avoir un impact sur l'écosystème (un sous sol par exemple, dont la perméabilité a changé, peut modifier les nappes phréatiques, les marais...) et l'on n'est pas non plus, à l'abri de miniséismes....

Transformation chimique du sous-sol

Le problème le plus inquiétant est la pollution chimique, car il peut y avoir transformation chimique de la roche, sous l'action de divers réactifs (HCl, HF...). Par ailleurs, de quelle façon se transforment ces agents chimiques, capables de réagir entre eux ? Difficile de le savoir avec précision, puisque la technologie et la composition exacte des fluides de fracturation sont gardées secrètes. Néanmoins on a isolé des produits de transformation, à partir des eaux du sous-sol, dont la présence est la preuve de l'efficacité de ce « réacteur chimique » souterrain.

Grâce aux données américaines, en particulier de l'Agence environnementale américaine (US-EPA), un certain nombre de produits ont été identifiés :

- Agents de soutènement (Silice cristalline, billes de Céramique)
- Acides forts (HCl)...
- Surfactants, pour diminuer la tension superficielle (2-Butoxyéthanol, Isopropanol)
- Stabilisant de l'Argile (KCl)
- Agents gélifiants (Gomme Guar, Hydroxyéthylcellulose)

¹ D'un point de vue géo mécanique, l'augmentation de la pression dans la couche de roche-mère du schiste provoque une fracturation orientée, généralement horizontalement dans la direction de la composante horizontale du stress maximal et correspond au mouvement des plaques tectoniques.

- Inhibiteurs de dépôts (Ethylèneglycol, Propylèneglycol)
- Agents de contrôle du pH (Na_2CO_3 , K_2CO_3 , NH_4Cl ...)
- Agents de tenue des gels (Persulfate d'ammonium)
- Agents de contrôle du taux de Fer (Acide citrique, EDTA)
- Inhibiteurs de corrosion (dérivés de la Quinoléine, Diméthylformamide : DMF)
- Biocides-antiseptiques (Glutaraldéhyde, DBNPA²...)

Les composés chimiques sont classiquement classés en deux groupes :

- les composés minéraux (éléments chimiques du tableau périodique)
- les composés organiques, composés du Carbone, lié à lui-même ou surtout lié à l'Hydrogène : ces derniers sont nommés Hydrocarbures...

Dans ces familles de molécules chimiques, à la toxicité potentiellement aiguë ou à long terme, on trouve, pour ne citer que quelques unes :

- Composés du Chlore comme l'Hypochlorite de sodium, le Chlorite de sodium (irritants)
- Nitrites et Nitrates (toxiques de l'Hémoglobine, d'où anémie et classés cancérigènes probables chez l'Homme par le CIRC, depuis 2010)
- Ammoniaque (irritant)
- Chlorures (hypertension, liée au NaCl)
- Trichlorure d'aluminium (AlCl_3 , irritant, neurotoxique central suspecté)
- Acétate de chrome trivalent $\text{Cr}(\text{CH}_3\text{COO})_3$, un allergisant
- Diazote (N_2) peut entraîner de l'anoxie
- Composés du Chrome hexavalent, type Chromates (Composés CMR)
- Composés du Bore (Reprotoxiques)...

Cette « soupe » d'agents chimiques peut être à l'origine de la formation de composés très toxiques, à partir des substances fossiles du sous-sol : nous avons, ainsi des Alcanes qui peuvent être oxydés en composés très réactifs lesquels se retrouvent dans les nappes phréatiques.

En conclusion, l'extraction par fracturation du gaz de schiste est une technique qui nous réserve de bien désagréables surprises en ce qui concerne la pollution de l'environnement. Sans compter que de nombreux produits chimiques présents en final dans le liquide de sortie sont de redoutables cancérigènes comme le Benzène et le Formaldéhyde, mais aussi de puissants reprotoxiques comme les dérivés du Bore (Borates...) et dans une moindre mesure le Toluène. Ces réactions chimiques souterraines ne sont absolument pas contrôlées et la dynamique des mouvements du sous-sol peut accentuer ce phénomène...

Un avenir plein « d'anti-promesses », pour les futurs exploitants !

Genève, le 27 septembre 2011

L'ATC remercie M. Eloy DIAZ pour ses remarques et corrections judicieuses.

² 2,2-Dibromo-3-nitrilopropionamide