

Séance du 18 mars 2013

Les gisements d'hydrocarbures non conventionnels : sables bitumineux, schistes bitumineux, gaz et pétrole de schistes

par Pierre LOUIS

MOTS CLÉS

Sables bitumineux - Schistes bitumineux - Gaz de schistes - Pétrole de schistes.

RÉSUMÉ

Les potentialités et les problèmes posés par l'exploitation des sables bitumineux, des schistes bitumineux, des pétrole et gaz de schistes sont examinés. Des considérations économiques et géopolitiques résultant de ces nouvelles ressources sont indiquées.

Avant de parler de gisements d'hydrocarbures non conventionnels, nous allons donner quelques informations sur les gisements dits conventionnels en faisant ressortir leurs caractéristiques.

Les gisements conventionnels

Il s'agit d'hydrocarbures liquides ou gazeux (pétrole ou gaz) provenant de la dégradation de la matière organique, d'origine biologique, piégée dans des sédiments devenus roches sédimentaires. Ces roches sont dites roches mères : il se formera du pétrole ou du gaz en fonction des conditions de pression et de température auxquelles elles auront été soumises, c'est-à-dire en fonction de la profondeur à laquelle elles se seront trouvées placées. Le facteur temps joue également un rôle essentiel dans la maturation de la matière organique. Si bien que la matière organique qui se dépose maintenant ne donnera éventuellement du pétrole que dans quelques dizaines de millions d'années. Nous le consommons beaucoup plus rapidement qu'il ne se forme.

Ensuite il peut y avoir migration de ces hydrocarbures qui quittent la roche mère si celle-ci est perméable. Ils cheminent en suivant les zones perméables, toujours vers la surface, car ils sont moins denses que l'eau qui en général imprègne tout le sous-sol. Ils peuvent arriver en surface, alors ils ne donneront pas de gisements mais des suintements. Heureusement ils peuvent également être bloqués dans des structures géologiques appelés pièges et être à l'origine d'un gisement. C'est le cas classique d'une couche perméable (grès, calcaire fracturé..) recouverte d'une couche imperméable (argile), le tout ployé en anticlinal. Mais il existe bien d'autres contextes géologiques qui peuvent piéger les hydrocarbures au sein de roches dites réservoir ou magasin. C'est le travail du géophysicien de rechercher et

de caractériser ces pièges. La roche magasin étant perméable, un simple forage vertical, avec ou sans pompage, suffit pour extraire une proportion notable des hydrocarbures contenus dans le piège.

En résumé : pour qu'il y ait gisement conventionnel d'hydrocarbures, il faut donc que la roche mère ait été placée durant un temps important (de l'ordre de dizaines de millions d'années) dans des conditions de pression et de température suffisantes pour que la matière organique ait pu évoluer jusqu'au stade d'hydrocarbures et qu'elle ait été assez perméable pour laisser partir tout ou partie de ses hydrocarbures vers une roche magasin où ils auront été piégés. La roche magasin doit également présenter une perméabilité suffisante pour qu'un pompage suffise à procéder à l'extraction des précieux fluides.

Les gisements non conventionnels

Ces gisements conventionnels sont largement prospectés et exploités. Or la demande très forte en hydrocarbures amène à se tourner vers des gisements dits non conventionnels. On classe généralement dans les productions de type non conventionnel l'exploitation des sables bitumineux, des gaz et pétrole de schiste, des schistes bitumineux et également l'exploitation en off-shore profond et en régions polaires. Nous considérerons ici seulement comme pétrole non conventionnel un pétrole extrait en utilisant des techniques autres que la méthode traditionnelle par simple pompage. C'est pourquoi nous ne traiterons pas de l'exploitation en *off-shore* profond ou en régions polaires qui présente des difficultés particulières mais qui, sur le principe, reste classique. Pour nous les gisements seront donc non conventionnels soit par la nature du produit exploité soit par la nature du réservoir.

Dans un premier temps, nous allons nous intéresser aux gisements qui se caractérisent par l'exploitation d'hydrocarbures très lourds, situés dans des roches magasins, en pratique des sables, mais dont la viscosité ne permet pas le pompage classique. Ces gisements sont appelés "sables bitumineux" ou "*tar sands*" en anglais. Il est naturel de les étudier en premier car ils font le lien avec les gisements conventionnels. En effet s'ils ont longtemps été considérés comme un pétrole non conventionnel, en 2002 "*Oil et Gas Journal*" a fait passer les réserves connues de ces sables dans le champ du conventionnel. Ce qui a, d'ailleurs, immédiatement placé le Canada au deuxième rang mondial en ce qui concerne les réserves pétrolières prouvées et accru considérablement celles du Venezuela. Toutefois l'exploitation de ces huiles extra-lourdes est très particulière et très éloignée du schéma classique par simple pompage ce qui justifie pleinement leur examen ici.

I - Les sables bitumineux

a) Définition

Les sables bitumineux sont un mélange de sable, d'argile, d'eau et d'huile extra-lourde. Ils sont constitués de grains de sable enrobés d'une couche d'eau comprenant des particules fines d'argile. Sur cette couche se dépose la pellicule d'hydrocarbures. Celle-ci peut être, suivant les conditions de gisement, soit une huile extra-lourde néanmoins suffisamment fluide pour être pompée difficilement (cas du Venezuela), soit une huile sans mobilité d'où l'appellation habituelle de bitume (cas

du Canada). Ces formations contiennent de 80 à 85% de matières minérales (sable et argile), 10 à 12% de bitume, 5% d'eau. Elles se situent à de faibles profondeurs, en surface le plus souvent au Canada, entre 350 et 600 m au Venezuela. L'origine du bitume et de ces huiles extra-lourdes est incertaine. Il est beaucoup trop visqueux pour avoir migré dans son état actuel. On pense, mais sans qu'il y ait unanimité, qu'il s'agissait à l'origine de pétrole conventionnel qui, après avoir migré dans des réservoirs trop peu profonds pour l'isoler du monde extérieur, a été dégradé, perdant ainsi ses composés les plus légers.

b) Répartition

Les réserves connues sont fortement concentrées dans deux provinces géologiques :

- au Canada. Plus précisément au nord de l'Alberta où se trouvent trois dépôts de bitume. Ensemble ces trois gisements couvrent environ 140 000 km² de forêt boréale, de tourbières et de zones humides peu peuplées. Les gisements les plus importants se situent près de la rivière Athabasca, autour de Fort Mac Murray et sont largement exploités. Nous les examinerons plus en détail un peu plus loin.
- au Venezuela. La "ceinture" de l'Orénoque située à environ 500 km au sud de Caracas présente un climat chaud et des gisements plus profonds qu'au Canada. Le brut, un simili-goudron, est préalablement fluidifié *in situ* en injectant un diluant puis extrait par pompage grâce à des forages horizontaux qui suivent sur plusieurs kilomètres les couches de grès bitumineux, elles-mêmes subhorizontales, qui vont de quelques mètres à quelques dizaines de mètres d'épaisseur. Après un double raffinage, on obtient un brut classique exportable. Actuellement les réserves estimées sont de l'ordre de 1200 milliards de barils (1 baril = 159 litres) mais les réserves récupérables ne seraient avec les techniques actuelles que de l'ordre de 8% (soit 100 milliards de barils, le potentiel de l'Irak ou de l'Iran). Si à l'avenir on arrivait à 25% de récupération, le bassin de l'Orénoque aurait le potentiel de l'Arabie Saoudite. Compte tenu des importantes réserves conventionnelles du Venezuela il n'est pas prévu dans l'immédiat d'exploiter ce brut extra-lourd de façon intensive.
- les réserves existant ailleurs dans le monde sont beaucoup plus faibles. Il existerait un vaste gisement en Sibérie orientale mais aucune information n'est disponible. Il se situe sur la côte arctique, le climat extrême et l'isolement expliquent que son exploitation ne soit pas envisagée pour le moment, d'autant plus que les réserves conventionnelles de la Russie suffisent à couvrir sa production et que cette exploitation ne présente donc aucun caractère d'urgence.

c) L'exploitation au Canada

Nous allons nous intéresser maintenant aux sables bitumineux du Canada, à ceux situés près de la rivière Athabasca dans l'état de l'Alberta. C'est en effet le seul endroit où se fait actuellement leur exploitation intensive. Nous examinerons successivement les techniques d'extraction, l'aspect économique et les problèmes environnementaux posés.

1 - LES TECHNIQUES D'EXTRACTION

Deux techniques sont utilisées :

- l'extraction *in situ* (en place) pour les dépôts enfouis à plus de 100 mètres de profondeur (c'est le cas de plus de 80% des gisements) ;

- l'exploitation minière à ciel ouvert pour les dépôts proches de la surface.

Pour l'extraction *in situ*, deux puits horizontaux sont forés l'un au-dessus de l'autre : on injecte de la vapeur par le puits supérieur pour fluidifier le bitume, celui-ci s'écoule par gravité jusqu'au puits inférieur d'où il est pompé vers la surface.

Pour l'exploitation minière, on commence par retirer la couche superficielle de terre arable qui sera stockée en vue de la réhabilitation du site après exploitation. On creuse ensuite une carrière dans la formation sous-jacente d'argile et de sable stérile pour atteindre les gisements et extraire à ciel ouvert les sables bitumineux. Ceux-ci constituent une couche d'une épaisseur de 40 à 60 mètres. Tout ce procédé est effectué à l'aide de camions de 365 tonnes et de grues colossales, dont les pelletées font 100 tonnes. Les mottes sont ensuite concassées, mélangées à de l'eau, transportées par pipelines vers une usine où le bitume est séparé du sable.

Qu'il provienne d'extraction minière ou *in situ*, le bitume n'est pas directement commercialisable, il faut donc lui faire subir des traitements complexes et coûteux qui le convertissent en un pétrole plus léger qui pourra alors être transformé dans des raffineries classiques.

2 - ASPECT ÉCONOMIQUE

Les réserves des gisements dits de l'Athabasca représenteraient plus de 1700 milliards de barils. Il est difficile d'en estimer la part récupérable. Il est évident que cette part dépend à la fois des techniques d'extraction utilisées et des cours mondiaux du pétrole. Dans un premier temps elle avait été estimée à 174 milliards de barils puis ensuite à 315 milliards par l'Office national de l'énergie du Canada, ceci en 2007 mais aucune donnée précise plus récente n'est disponible. Ces estimations sont probablement extrêmement conservatrices car basées sur un taux de récupération de 20% des ressources en bitume, alors que les compagnies pétrolières affirment qu'avec l'utilisation d'injection de vapeur d'eau et l'écoulement gravitationnel une récupération de 60% est réalisable à un prix bien sûr plus élevé mais qui demeure actuellement tout à fait rentable. Ce qui est certain, c'est qu'il s'agit de potentialités considérables. On a même parlé de plusieurs fois les réserves de l'Arabie Saoudite mais à un coût d'exploitation bien supérieur. La production en 2010 aurait été de plus de 2 millions de barils/jour et en augmentation rapide. On envisage 5 millions de barils/jour en 2015. Nous avons vu que le sable contient seulement environ 10% de bitume. Il faut donc exploiter une quantité gigantesque de sables bitumineux pour arriver à cette production. En effet deux tonnes de sable ne fournissent qu'un seul baril de bitume. Il en résulte d'importantes conséquences pour l'environnement.

Le prix de revient d'un baril de pétrole commercialisable obtenu à partir des sables bitumineux est élevé pour plusieurs raisons : frais d'extraction, coût de la séparation du sable et de l'huile, traitement pour convertir le bitume en pétrole léger. Toutes ces opérations consomment en particulier énormément d'énergie. Dans ces conditions l'Office national de l'énergie du Canada estimerait à un peu plus de 40 \$ le prix de revient d'un baril de pétrole commercialisable. Il faut savoir à titre de comparaison qu'un forage pétrolier conventionnel terrestre peut fournir un baril de brut à un prix variant de 1\$ en Arabie Saoudite jusqu'à un peu plus de 6 \$ aux U.S.A. et au Canada. Par contre les coûts d'exploration sont très faibles ici ce qui n'est pas le cas dans les champs traditionnels. En effet les gisements de sable bitumineux sont bien connus et une estimation du taux de récupération peut être faite facilement en fonction du mode d'exploitation. Cet élément bénéfique doit donc être pris en compte

dans une comparaison. De toute manière quoiqu'il en soit, avec un cours mondial du brut au-dessus de 80\$ le baril, l'exploitation est largement rentable. Seules de soudaines baisses de prix laisseraient les producteurs dans l'incapacité de couvrir leurs investissements. C'est une éventualité peu probable, en effet en dehors d'une grave dépression mondiale, il n'y a guère que l'Arabie Saoudite qui aurait les moyens de se livrer à une éventuelle guerre des prix, ce qui serait étonnant compte tenu de ses propres besoins financiers nécessaires au maintien d'une paix sociale et à sa dépendance politique des U.S.A.

La majeure partie de la production est exportée actuellement vers les Etats-Unis par un réseau de pipelines mais cela pourrait changer. En effet, en juillet 2012 le gouvernement canadien vient de décider la réalisation d'un pipeline de l'Alberta vers la côte Pacifique ce qui permettra d'exporter vers l'Extrême-Orient. Il faut noter d'ailleurs que des sociétés chinoises ont déjà effectué d'importants investissements dans l'exploitation des sables bitumineux et qu'il en est de même pour des sociétés indiennes.

L'exploitation des sables bitumineux entraîne une véritable ruée vers l'ouest au Canada. En Alberta il n'y a aucun chômage. A Fort Mac Murray il est impossible de se loger, on loue des caravanes à prix d'or, toutes les professions trouvent à s'employer. Au niveau national ce boom pétrolier a un effet pervers car il a tendance à faire monter le dollar canadien et par suite à faire perdre de la compétitivité au reste de l'économie.

3 - IMPACT ENVIRONNEMENTAL

L'exploitation des sables bitumineux est un énorme problème environnemental. Nous allons voir qu'il se situe à deux niveaux, un niveau local bien sûr mais également au niveau international. L'extraction minière pour sa part, détruit complètement, dès l'ouverture de la mine à ciel ouvert, la forêt boréale et les traitements ont des conséquences directes sur la qualité de l'eau et de l'air.

a) Destruction de la forêt

La forêt boréale canadienne couvre 5 millions de km². Les sociétés pétrolières, pour leur défense, avancent qu'elles ne détruiront pas plus de 5% de cette surface et qu'elles pratiquent une restauration des sols qui permettra à la forêt de reprendre sa place. Il est exact qu'il y a des progrès dans ce domaine, en particulier en réinjectant les sables traités pour remplir les zones excavées et en remettant en place la couverture végétale préalablement stockée. Mais actuellement, quelque trente ans après l'ouverture de la première mine, aucun terrain n'est considéré comme véritablement réhabilité. En outre, la restauration des zones humides, telles que les tourbières est considérée comme impossible sinon à l'échelle de milliers d'années.

b) Problème de l'eau

Le problème de l'eau est double. D'abord celui de la quantité nécessaire. Pour 1 m³ de bitume extrait, il faut de 7 à 10 m³ d'eau. Actuellement la consommation de ces exploitations est comparable à celle d'une grande ville. Cette eau est puisée dans les grands cours d'eau, essentiellement dans la rivière Athabasca et dans les aquifères de la région. Avec l'intensification de cette exploitation, le problème de la ressource risque de se poser. Le deuxième aspect, celui de la pollution des eaux usées

se présente dès maintenant. Ces eaux entrées en contact, entre autres, avec des hydrocarbures et des métaux lourds, sont rejetées dans de gigantesques bassins de rétention. Si une fuite devait se produire, les conséquences seraient graves quand on sait qu'un simple contact entre un oiseau et ces eaux usées cause la mort instantanée de celui-ci. On récupère environ $\frac{3}{4}$ de l'eau de ces bassins qui est recyclée après traitement et réutilisée. Le dernier quart est emprisonné dans la partie solide des résidus qui restent dans les bassins et qui sont hautement toxiques. Incontestablement ces bassins posent un réel problème non encore résolu.

c) Problème de l'air

L'extraction des sables bitumineux est également responsable du dégagement d'agents polluants relâchés dans l'atmosphère. En produisant un baril de pétrole extrait de ces sables on génère trois fois plus de gaz à effet de serre que dans la production d'un baril classique. On génère également des polluants atmosphériques, tels que le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote, qui sont responsables de pluies acides entraînant l'acidification des lacs et des forêts. Le Canada, au niveau international, s'était engagé, en ratifiant le protocole de Kyoto à réduire d'ici 2012 ses émissions de gaz à effet de serre de 6% par rapport à l'année de référence (1990). Devant l'accroissement des émissions dues pour une part importante aux sables bitumineux de l'Alberta, le gouvernement Harper a décidé de se retirer du protocole de Kyoto le 12 décembre 2011. En effet, il avait constaté que déjà en 2002 les émissions étaient supérieures de 25% à l'année de référence et elles ne faisaient que croître.

Incontestablement, actuellement le Canada met l'accent essentiellement sur le boom économique représenté par ces nouveaux hydrocarbures et n'attache pas l'importance qu'ils méritent aux problèmes environnementaux. Ceci probablement du fait de l'immensité de l'espace canadien (plus de 17 fois la France) et de la faible population indienne autochtone des régions concernées. Il faut espérer que dans un proche avenir, tant le gouvernement de l'Alberta que le gouvernement fédéral vont imposer des contraintes plus strictes aux exploitants même si elles devaient entraîner un surcoût important. Ces sociétés pourraient le supporter. Nous avons vu en effet que l'écart entre le prix de revient et le prix de vente du brut produit à partir des sables laisse une marge très confortable et il est peu probable que cet écart se réduise sauf crise économique mondiale majeure.

II - Les hydrocarbures extraits de roches mères

Les hydrocarbures non conventionnels que nous allons examiner maintenant, schistes bitumineux, pétroles et gaz de schistes, ont tous en commun d'être exploités à partir de roches mères et non à partir de roches magasins comme pour les hydrocarbures conventionnels. Il s'agit de roches d'origine sédimentaire, argileuses donc très peu perméables, à forte teneur en matière organique, aussi appelées schistes en raison de leur texture souvent feuilletée (mais le terme, traduction de l'anglais *shale* est en réalité inapproprié : en français un schiste est une roche métamorphique et ne peut contenir d'hydrocarbure ; nous le conserverons toutefois suivant l'usage courant). Les schistes bitumineux, le pétrole et les gaz de schistes se différencient en fonction de la maturité de la roche mère. Cela dépend essentiellement de la profondeur de son enfouissement à l'échelle des temps géologiques. Pour simplifier :

- si l'enfouissement a été inférieur à une profondeur d'environ 1000m, la matière organique contenue dans la roche mère ne subit qu'une transformation partielle en hydrocarbures, elle est appelée kérogène. Cette transformation incomplète forme les schistes bitumineux. Exploités en carrière généralement, ces schistes doivent ensuite être chauffés à forte température (400 à 500°) pour recréer le processus complet de maturation du pétrole qui peut ensuite être récupéré ;
- si l'enfouissement a été de 2 000 à 3 000 m, les conditions de température et de pression ont été suffisantes pour décomposer la matière organique en hydrocarbures liquides. On obtiendra alors ce que l'on appelle "l'huile de schiste" ou "le pétrole de schiste" termes synonymes ;
- si l'enfouissement de la roche mère a atteint plus de 3 000 m le pétrole issu de la matière organique se transforme alors en gaz appelé "gaz de schiste" qui restera piégé dans la roche ;
- à très grande profondeur (au-delà de 5 000 m) le gradient géothermique entraîne le *cracking* des hydrocarbures et interdit toute exploitation sauf quelques cas tout à fait exceptionnels.

a) Les schistes bitumineux

Des estimations faites en 2009 concernant les volumes de pétrole que l'on peut espérer obtenir à partir des schistes bitumineux sont de l'ordre de 2800 et 3100 milliards de barils soit beaucoup plus que les réserves conventionnelles mondiales. Une grande partie de ces réserves se trouve aux Etats-Unis (Colorado), en Russie, en Chine, au Brésil, au Maroc et en Estonie. Malgré ces potentialités, l'industrie des schistes bitumineux reste peu développée pour plusieurs raisons. La principale est le coût de production très élevé : il faut que le prix du baril sur le marché international soit d'au moins 80\$ pour que l'exploitation des schistes commence à être rentable. En outre l'émission des gaz à effet de serre est énorme compte tenu du traitement thermique à haute température nécessaire pour transformer le kérogène en hydrocarbures ; la pollution est encore bien pire que dans le cas des sables bitumineux. La consommation d'eau est également un réel problème. Pour toutes ces raisons, le coût étant bien sûr essentiel, beaucoup de projets qui avaient été lancés ont été temporairement abandonnés. Aujourd'hui, trois principaux sites d'exploitation continuent de fonctionner au Brésil, en Chine et en Estonie. L'Estonie est le seul pays où ce type d'exploitation est très important, 92% de l'électricité est produite à partir des schistes. Compte tenu de l'importance des réserves mondiales, de nombreux acteurs cherchent malgré tout actuellement à se positionner et examinent la possibilité de réduire les coûts et de maîtriser l'impact sur l'environnement. Mais les problèmes sont loin d'être résolus et aucune exploitation d'envergure n'est prévue dans l'immédiat.

b) Les pétroles et les gaz de schistes

1 - MISE EN ÉVIDENCE DES GAZ DE SCHISTES

On sait depuis longtemps que les schistes (tels que définis ci-dessus) contenaient des gaz sous pression. En effet leur pénétration, lors de forages pétroliers, pouvait donner lieu à de brutales éruptions. En fait ces gaz sont contenus dans la roche mère où ils ont pris naissance et où ils sont restés, la roche n'étant pas ou très peu perméable. Ces gaz, essentiellement du méthane sont souvent contenus dans des

micropores ne communiquant pas entre eux, ou éventuellement adsorbés sur des particules argileuses, d'où l'imperméabilité de la roche. Cette non-perméabilité a empêché les hydrocarbures de migrer. La roche mère est donc restée riche en gaz. Elle peut contenir jusqu'à 20 m³ de gaz (aux conditions de surface) par mètre cube de roche en place. C'est donc à la fois une roche mère et une roche magasin dont la porosité est appréciable mais dont la perméabilité est insignifiante et empêche toute extraction par des moyens classiques comme de simples forages. Des techniques récentes permettent d'extraire une fraction notable de ce gaz malgré l'imperméabilité de la roche.

2 - TECHNIQUES D'EXPLOITATION

Le principe théorique d'exploitation est très simple : puisque la roche contenant le gaz est imperméable, il suffit de "la rendre perméable". C'est la fracturation hydraulique couplée à des forages horizontaux qui est utilisée actuellement même si d'autres techniques moins polluantes sont à l'étude.

Depuis déjà longtemps les pétroliers savent faire des forages inclinés et, en partant de forages verticaux, arriver à des forages horizontaux à la profondeur souhaitée. Il devient ainsi possible de suivre les couches de schistes sur plusieurs kilomètres par une technique comparable à celle utilisée dans l'exploitation *in situ* des sables bitumineux. Pour pouvoir récupérer le gaz contenu, il reste à fracturer la roche en injectant de l'eau sous une pression supérieure à la pression lithostatique, additionnée de sable destiné à maintenir ouvertes les fractures créées. Pour que le sable soit bien mobile dans l'eau de forage, puisse bien s'insinuer dans les fissures, des additifs seront mêlés à l'eau. Une fois la fracturation terminée, le gaz s'échappera par les fractures, comme dans n'importe quelle roche magasin et remontera par le forage. Cette fracturation ne peut pas se propager sur de très grandes distances, pratiquement une centaine de mètres dans le meilleur des cas autour du forage d'où l'intérêt d'un forage horizontal dans la couche de schistes. On peut ainsi fracturer une plus importante quantité de schistes à partir d'un seul puits, donc récupérer beaucoup plus de gaz.

3 - LES RÉSERVES DE GAZ DE SCHISTES DANS LE MONDE

On peut trouver un peu partout des chiffres difficiles à vérifier. Il semblerait que les ressources en gaz de schistes soient du même ordre de grandeur que celles de gaz conventionnel mais ces ressources seraient réparties différemment. Actuellement, aux U.S.A. la production est bien engagée. En particulier c'est une véritable ruée vers le Dakota du Nord, Etat où l'exploitation bat son plein et qui par suite est victime d'une véritable surchauffe économique. Plus généralement le gaz de schistes représentait déjà 14% en 2010 de la production totale de gaz des Etats-Unis et l'intention est de porter cette proportion à 45% vers 2030. Dès maintenant, les importations sont réduites pratiquement à néant. Les ressources potentielles mises au jour seraient gigantesques, garantissant près de cent ans de consommation future outre-Atlantique. Les sociétés ne publient pas le prix de revient de ce gaz mais ce que l'on peut constater c'est que les prix ont chuté et qu'actuellement le prix du gaz aux U.S.A. est de l'ordre du tiers du prix en Europe. Dans les prospectives de

l'Agence Internationale de l'Energie les Etats-Unis sont passés de pays prévus à l'avenir comme importateurs de gaz à pays prévus comme exportateurs. Devant cette réussite économique, des sociétés ont alors envisagé de transférer ce savoir-faire dans des gisements de pétrole de schistes. La différence de prix entre le gaz et le pétrole rend ce dernier beaucoup plus attractif. Mais les difficultés sont également beaucoup plus importantes pour extraire un fluide visqueux que pour extraire un gaz après fracturation. Il semble qu'il soit encore trop tôt pour évaluer la possible émergence d'une révolution du pétrole de schiste, mais on note déjà des signes encourageants à la fois dans le Dakota du Nord et au Texas. L'Agence Américaine de l'Energie estime que les USA vont accroître en deux ans, de fin 2012 à fin 2014, leur production de pétrole de 25%, ceci essentiellement grâce au pétrole de schistes. Ce qu'il faut noter dès maintenant c'est que de plus en plus de gisements fournissent un mélange de gaz et de pétrole. Il en résulte qu'actuellement, avec la baisse du prix du gaz aux USA provenant de l'extraction à grande échelle du gaz de schiste, les gisements de gaz "sec" (pauvres en condensats liquides) ne sont plus rentables. Total en particulier vient d'indiquer en janvier 2013 qu'il suspendait l'exploitation de tels gisements au Texas.

Hors des Etats-Unis, il n'y a pas de réelles exploitations mais des prospections sont en cours. En particulier en Pologne et également en Chine. La Pologne produit 94% de son électricité à partir du charbon, ce qui entraîne une production de CO₂ par habitant double de la moyenne européenne. Or les émissions de CO₂ sont réglementées et taxées au niveau de l'U.E., le pays risque donc de payer très cher cette spécialisation héritée de l'époque soviétique. Par ailleurs, le gaz dont la Pologne a besoin lui est vendu par la Russie à un prix élevé. En outre comme ils utilisent des infrastructures qui passent par l'Ukraine, si les Ukrainiens n'ont pas payé leurs factures et que les Russes décident de fermer les robinets, les Polonais se retrouvent piégés. Pour toutes ces raisons, la Pologne s'est engagée depuis 2009 dans la tentative de production de gaz et pétrole de schistes. Très vite une centaine de permis ont été attribués représentant près de la moitié du territoire polonais. Fin 2011, une quinzaine de forages d'exploration avaient été entrepris. Les autorités polonaises sont parties sur l'estimation assez conservatrice que 10% des permis pourraient donner lieu à une exploitation industrielle. A titre de comparaison, aux U.S.A., des statistiques publiées disent qu'après 10 ans le taux d'exploitation est de l'ordre de 40% des permis accordés, ce qui semble considérable.

La Chine, dans son douzième plan, a décidé de donner une place considérable au gaz, ce qui est une très bonne nouvelle pour l'environnement. Actuellement la grande majorité des centrales électriques chinoises fonctionne au charbon, or celui-ci produit beaucoup plus de CO₂ que le gaz, environ deux fois plus. Si ce plan est respecté, les Chinois deviendront les plus gros consommateurs du monde ; mais sauf découverte de gisements importants de gaz de schistes, ils ne pourront produire que la moitié de leurs besoins. Dans cette optique les deux grosses compagnies pétrolières chinoises viennent de signer en 2012 des accords d'exploration, de développement et de production de gaz de schistes, la société CNPC avec le groupe Shell et la société Sinopec avec le groupe Total. Des moyens importants vont donc être mis en œuvre dans les toutes prochaines années.

4 - IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES GAZ DE SCHISTES

Nous allons examiner successivement le problème de l'eau nécessitée par les forages, celui d'une éventuelle pollution des aquifères et enfin les dégradations superficielles liées à ce type d'exploitation. Nous n'évoquerons pas les problèmes de risque sismique lié à la fracturation hydraulique qui sont reconnus comme inexistantes par tous les sismologues sauf cas exceptionnel.

Problème de l'eau utilisée par les forages

Ici encore, comme pour les sables bitumineux, la question sera double : la quantité d'eau nécessaire et le recyclage des eaux usées. Le forage et la fracturation hydraulique nécessitent d'énormes quantités d'eau. On cite classiquement les chiffres de 10 000 à 15 000 m³ par forage (c'est-à-dire de l'ordre de 6 piscines olympiques). De telles quantités nécessitent une noria de camions citerne, d'autant plus importante que le nombre de forages est très élevé. En effet la technique des puits verticaux suivis de forages horizontaux ne permet d'exploiter les schistes que sur quelques km² au maximum autour de chaque puits, il en faut donc un grand nombre. Il est vrai que l'eau injectée dans le forage, lorsqu'elle remonte en surface pourra, après traitement être réutilisée pour de nouvelles fracturations, ce qui diminuera les besoins, mais ceux-ci restent importants. En fin de forage et de fracturation, des milliers de m³ d'eau polluée (par les additifs, éventuellement également des métaux lourds contenus dans les schistes) devront être traités. C'est un réel problème pour lequel des recherches actives sont conduites activement mais qui n'est pas encore résolu.

Problème des aquifères

Un dernier point concernant l'eau est souvent évoqué : le problème de la pollution des aquifères. Cette question est apparue aux U.S.A. à la suite des premières tentatives de forages qui n'étaient pas le fait de vrais professionnels mais de petites sociétés incompetentes à qui avaient été accordés des permis. On a pu voir effectivement dans un film comme *Gasland* du gaz inflammable jaillir d'un robinet d'eau potable. Cette situation est aujourd'hui impossible. En effet examinons objectivement la question. Les nappes phréatiques sont localisées suivant les lieux entre 100 et 500m sous terre alors que les gaz de schistes sont situés entre 2000 et 3000m de profondeur et que la fracturation ne s'étend pas à plus de 100m du tubage horizontal. Le risque n'existe donc qu'à la traversée de la nappe phréatique. Il faut bien sûr que le tube de forage soit bien étanche à ce niveau. Les spécialistes savent le faire. Dans le Dakota du Nord pour éviter tous risques, les foreurs utilisent un double tubage avec une double cimentation, l'une entre le tubage externe et l'encaissant, l'autre entre les deux tubages. Depuis le début des travaux, dans le Dakota du Nord, on ne signale pas d'accident. Il semble que, concernant cette question, les précautions soient bien prises mais il est évident qu'un accident est statistiquement toujours possible compte tenu du nombre très élevé de forages nécessaires (on parle à ce jour déjà de l'ordre de 60.000 effectués aux U.S.A.). Un risque supplémentaire pourrait exister si un réseau de failles permettait au gaz d'atteindre les aquifères, ce qui n'est pas du tout le cas ici.

Dégradation superficielle

Comme nous l'avons dit, un puits ne permet d'exploiter que quelques km². Pour exploiter complètement une couche horizontale il faut un puits environ tous les kilomètres. Une exploitation, au Colorado, a montré un espacement moyen entre les puits de 600 m avec une emprise au sol de chaque zone de forage de 150 à 200 m de côté. Après la période de forage et pendant toute la période d'exploitation, il faut réserver une zone d'environ 1/3 d'hectare. Tout un réseau de pistes doit relier entre eux ces puits pendant la période de forage pour permettre le passage d'engins et de camions ; il devra également être maintenu ensuite pendant la phase d'exploitation, si le gaz est évacué par citernes. Si le gaz est évacué par gazoduc, c'est tout un réseau de gazoducs qu'il faudra construire. Il y a donc là, comme on peut s'en rendre compte, un réel problème lorsque la zone est très peuplée. Ce n'est évidemment pas le cas dans le Dakota du Nord où la densité de la population est de l'ordre de 2 habitants/km². Les compagnies pétrolières indiquent qu'à l'avenir l'amélioration des techniques devra permettre un espacement des forages plus grand. C'est un champ important de leur recherche.

5 – ALTERNATIVE À LA FRACTURATION HYDRAULIQUE

Compte tenu de l'importance de la consommation d'eau et de la pollution par des additifs de l'eau utilisée, des alternatives à la fracturation hydraulique sont recherchées. Une option consiste à changer le fluide de fracturation. On peut envisager l'azote, le dioxyde de carbone, le propane... Une autre option consiste à créer un choc dynamique par des décharges électriques pour obtenir la fracturation. En ce qui concerne les additifs contenus dans l'eau, des progrès sont en cours qui conduiraient à utiliser des produits acceptés dans le domaine agroalimentaire (gomme de Guar par exemple).

D'importantes recherches sont effectuées dans le monde entier en vue d'améliorer au plan environnemental le mode de production tout en restant réalistes sur le plan économique. Rien n'a encore abouti pour se substituer industriellement à la fracturation hydraulique.

III - Quelques conséquences économiques et politiques des hydrocarbures non conventionnels**a) A l'échelle du monde**

Ces hydrocarbures non conventionnels représentent, comme nous venons de le voir, des réserves considérables et modifient profondément la vision que l'on pouvait avoir sur la fin des hydrocarbures. Le fameux *peak oil* (le pic de production suivi d'une décroissance) que certains voyaient imminent serait considérablement décalé dans le temps et peut-être même remplacé par un palier. En effet, les réserves prouvées sont de l'ordre de 50 ans des besoins actuels et les experts estiment, en tenant compte en particulier des possibilités considérables des sables et schistes bitumineux, que les réserves probables représenteraient un siècle et demi de la consommation mondiale présente. Cela entraîne un certain nombre de conséquences :

- 1 - Probablement un plafonnement du prix du pétrole, certes à un niveau élevé mais relativement stable alors que beaucoup pensaient qu'il risquait d'atteindre des sommets suite à l'approche de sa disparition. En ce qui concerne le gaz, dès maintenant on constate une baisse considérable du prix aux USA qui se répercutera à terme au reste du monde. Les Etats-Unis qui avaient prévus d'être importateurs vont devenir exportateurs dès que leurs usines de liquéfaction de gaz en construction seront opérationnelles, c'est-à-dire d'ici deux à trois ans. C'est une énorme déception pour la Russie qui rêvait d'exporter beaucoup de gaz vers les Etats-Unis. Actuellement déjà GAZPROM, le géant russe, a été obligé de baisser son prix de vente aux électriciens allemands et cela ne peut que continuer. Le danger serait que, par suite de ce plafonnement, le mix énergétique vers lequel l'ensemble du monde semble s'orienter, c'est-à-dire un mélange d'économie d'énergie, d'énergie nucléaire, de géothermie, d'éolien, de photovoltaïque, éventuellement d'exploitation des courants marins et bien sûr d'énergie fossile ne soit remis en cause. Il faut espérer que chaque pays suivant ses potentialités utilisera un éventail des possibilités qui lui sont offertes sans rester ou revenir au tout énergie fossile. Ce serait un bienfait des crises pétrolières récentes qui serait perdu et un aspect négatif de l'exploitation des nouveaux hydrocarbures si l'on devait assister à ce retour. Il faut toutefois noter, qu'au niveau environnemental, si la baisse du prix du gaz permettait de diminuer l'utilisation du charbon ce serait un réel progrès.
- 2 - Nous avons vu qu'avec les sables bitumineux de l'Alberta au Canada et les potentialités des USA en gaz et pétrole de schistes, le continent nord-américain sera probablement, dans quelques années, autonome sur le plan énergétique. On parle de 2020 au plus tard. Il est évident que cela aura des incidences géopolitiques. Le Moyen-Orient perdra progressivement une partie de son importance stratégique pour les USA et plus généralement l'OPEP pourrait voir son influence décliner. Même la Chine dont les besoins en hydrocarbures sont considérables, si les recherches en cours aboutissaient à la découverte de gisements importants, serait un peu moins dépendante de l'étranger, que ce soit actuellement du Moyen-Orient, de la Russie et probablement bientôt du Canada. En effet, lorsque le pétrole de l'Alberta atteindra la côte du Pacifique, il alimentera les pays de l'Extrême-Orient dont vraisemblablement la Chine. Plus généralement il est certain, vu l'importance des hydrocarbures dans l'économie mondiale, qu'une telle redistribution des ressources aura des conséquences politiques considérables que nous ne faisons qu'évoquer ici.
- 3 - Le prix de revient du pétrole de schistes aux U.S.A. qui se situe à un niveau inférieur au cours actuel du pétrole sur le marché mondial représente un atout économique important. Mais surtout le prix du gaz qui, aux U.S.A., est actuellement, grâce au gaz de schistes, le 1/3 du prix européen et le 1/5 du prix asiatique constitue une opportunité formidable de relance de la machine industrielle américaine. Des industries grosses consommatrices d'énergie telles que la pétrochimie et la production d'engrais envisagent de se réimplanter aux U.S.A. Plus généralement je donne, sous toutes réserves, une information récente qui évalue à 14% la baisse des coûts de production aux Etats-Unis, tous produits confondus, grâce à l'exploitation des hydrocarbures non conventionnels. Même si ce chiffre demande à être vérifié, il apparaît bien là un élément majeur à prendre en compte quant au devenir de l'économie américaine et à son

dynamisme. D'ailleurs le Président Obama estimait pour sa part à 600.000 la création d'emplois indirects résultant de la réindustrialisation liée au gaz de schistes.

b) A l'échelle de la France

Actuellement la position du gouvernement est négative vis-à-vis de l'exploitation d'éventuelles ressources de gaz de schistes dans notre pays par la méthode de la fracturation hydraulique. Ceci se comprend parfaitement compte tenu de l'impact environnemental d'une telle exploitation. Mais on peut se demander s'il ne serait pas raisonnable d'autoriser des prospections avec, si nécessaire, mise en œuvre de cette fracturation hydraulique afin de vérifier la réalité de telles ressources tout en conservant un moratoire de quelques années sur leur exploitation. Ces travaux d'exploration de type scientifique pourraient avantageusement être conduits par la puissance publique, par exemple sous la maîtrise d'œuvre d'un organisme comme le BRGM, ce qui garantirait l'objectivité des résultats et le respect du cahier des charges que l'Etat imposerait. Le moratoire sur l'exploitation pour sa part permettrait de profiter des expériences en cours, polonaise et chinoise, qui se situent pour certaines dans des zones à forte densité de population comparable à celles qui existent chez nous. Je rappelle ici que les experts pensent que, si ressources il y a en France, elles se situeraient principalement dans les formations du lias marneux de l'est du bassin de Paris. Ces estimations reposent sur l'examen approfondi des résultats des forages effectués jadis dans le cadre de recherches classiques d'hydrocarbures. Cette localisation représente d'ailleurs une chance car cette région est tectoniquement calme et les failles y sont peu nombreuses. Le risque de pollution des aquifères par leur intermédiaire est donc inexistant. Ce ne serait pas le cas dans le Sud-Est de la France où il faudrait effectuer des études géologiques poussées pour écarter de tels risques.

Il serait également nécessaire, parallèlement à ces prospections, de modifier le code minier français qui est très ancien (la trame en remonte à Napoléon) afin d'y introduire des éléments présents dans les codes anglo-saxons. En particulier, il faudrait intéresser les propriétaires du sol ainsi que les collectivités locales à l'exploitation du sous-sol, ce qui n'est pas le cas actuellement en France où les productions du sous-sol sont intégralement gérées par l'Etat. Il est évident que, si l'on doit s'orienter un jour vers une exploitation des gaz ou pétrole de schistes, une telle modification est indispensable au préalable afin que toutes les parties concernées soient justement indemnisées des dégradations qu'elles auraient à supporter (dégradation des sols, des routes etc.) et puissent en tirer quelques avantages économiques.

Bien sûr, si au terme du moratoire il apparaissait après réflexion que des exploitations puissent être autorisées, des conditions devraient être imposées telles qu'épuration des eaux rejetées, remise en état des sites. Mais il me semble qu'il serait dommage, lorsque l'on sait que la facture d'importation d'hydrocarbures en France a été de 61 milliards d'euros en 2011, de ne pas faire de manière réfléchie le tour du problème avant de prendre une décision. Ce qui n'est malheureusement pas le cas actuellement. Il faut souhaiter qu'un débat dépassionné puisse voir le jour dans un proche avenir. Il pourrait conduire éventuellement à l'autorisation de travaux d'exploration dans un premier temps et par la suite si des potentialités devaient se concrétiser, après examen approfondi des résultats obtenus à l'étranger, soit à la prolongation du moratoire soit à un début d'exploitation. L'importance de l'enjeu est

si grande qu'il semble impensable qu'une telle réflexion ne soit pas conduite prochainement. Un espoir semble se faire jour. En effet une commission parlementaire vient d'être constituée qui devrait remettre un rapport à l'automne 2013 sur l'évaluation générale des méthodes d'exploitation des gaz de schistes.

Conclusion

Au terme de cet exposé dans lequel j'ai essayé d'examiner sans *a priori* le problème un certain nombre de conclusions se dégagent : il apparaît d'abord qu'avec les hydrocarbures non conventionnels s'ajoutant au mix énergétique, les besoins de la planète pourront être assurés encore pendant longtemps, probablement 1 à 2 siècles. Ceci à des prix de revient peu supérieurs à ceux pratiqués actuellement sur le marché mondial. Il sera ainsi possible d'attendre plus sereinement de nouvelles sources d'énergie, que ce soit la fusion nucléaire contrôlée permettant une déshydrogénation de l'eau ou peut-être une utilisation très large de la photosynthèse. L'avenir le dira.

Par contre, poursuivre l'utilisation des énergies fossiles nous obligera à produire moins de CO₂ pour le même service rendu. Une gestion dynamique de ce CO₂, par stockage souterrain en particulier, deviendra indispensable pour le bon équilibre de la planète.

Au plan géopolitique, nous avons vu qu'il y aura une redistribution des cartes, le Moyen-Orient perdant progressivement de son importance pour les U.S.A., le bloc Amérique du Nord redevenant exportateur. De même les gaz de schistes vont peut-être permettre à la Chine et à l'Inde de diminuer leur dépendance énergétique. En ce qui concerne la France, il serait raisonnable, comme nous l'avons vu, de vérifier la réalité de nos potentialités. Si celles-ci se vérifiaient et que nous décidions d'attendre des progrès dans les techniques d'exploitation pour les mettre en œuvre, nous aurions alors la satisfaction de laisser à nos enfants une richesse qui pourrait contrebalancer la montagne de dettes dont ils hériteront des générations passées. Plus généralement souhaitons que l'humanité sache faire de ces nouvelles ressources énergétiques une source de croissance tout en préservant notre environnement.

*Cette conférence était illustrée de schémas animés
et d'extraits de films documentaires de TF1 et Radio Canada.*