

géologiques et minières), l'IFPEN (Institut français du pétrole et des énergies nouvelles) et quelques entreprises qui produisent du pétrole dans le pays (notamment en Seine-et-Marne). Cependant, cette estimation est soumise à de grandes incertitudes : les réserves réelles pourraient être dix fois supérieures ou dix fois inférieures. En outre, on est loin de toujours savoir si les gisements seraient faciles à exploiter et rentables. Le cas de la Pologne, où l'Institut national de géologie a divisé par dix les premières estimations américaines après avoir réalisé quelques dizaines de forages exploratoires, est emblématique.

Le forage d'une cinquantaine de puits à travers la France suffirait sans doute à préciser les estimations, mais des blocages institutionnels l'empêchent. Dans l'Hexagone, l'État est propriétaire du sous-sol. Il doit donc soit délivrer des permis de forage, soit l'organiser lui-même. Or tous les permis ont été annulés et l'État ne souhaite pas investir dans un tel programme de reconnaissance. L'argument pour annuler les permis est que si une entreprise prend le risque financier d'un tel programme, elle voudra nécessairement exploiter ce qu'elle trouve, et ce au moindre coût. Pour l'instant, c'est le *statu quo*. Aux États-Unis, le propriétaire d'un terrain est aussi propriétaire du sous-sol, de sorte que les compagnies privées n'ont qu'à le rémunérer pour explorer et exploiter son sous-sol.

### PLS

**Quelles sont les conséquences de l'exploitation des gaz de schiste, notamment sur le plan géostratégique ?**

**G. P.-C. :** La première conséquence est une chute des prix du gaz, due à l'offre massive. Pour diminuer la saturation du marché, les États-Unis développent les débouchés autres que l'énergie. Ainsi, le pays connaît un renouveau de l'industrie pétrochimique, qui utilise le gaz comme matière première pour fabriquer divers composés, tels que des polymères. Par conséquent, certaines régions se réindustrialisent. Le phénomène concerne surtout les États-Unis, mais à terme toutes les régions productrices d'hydrocarbures (Arabie Saoudite, Algérie, etc.) pourraient en bénéficier.

Sur le plan géostratégique, les États-Unis sont devenus exportateurs de gaz et produisent



**UN FORAGE POUR L'EXTRACTION DE GAZ DE SCHISTE**, dans la formation sédimentaire d'Eagle Ford, au Texas. Plus difficiles à récupérer que les hydrocarbures conventionnels, les gaz et huiles de schiste nécessitent un grand nombre d'infrastructures (forages, bassins pour stocker l'eau, routes, etc.). Cette « pollution de surface » est l'un des problèmes majeurs de leur exploitation.

désormais autant d'énergie qu'ils en consomment. Dès lors, ils sont moins dépendants des pays exportateurs tels que la Russie.

### PLS

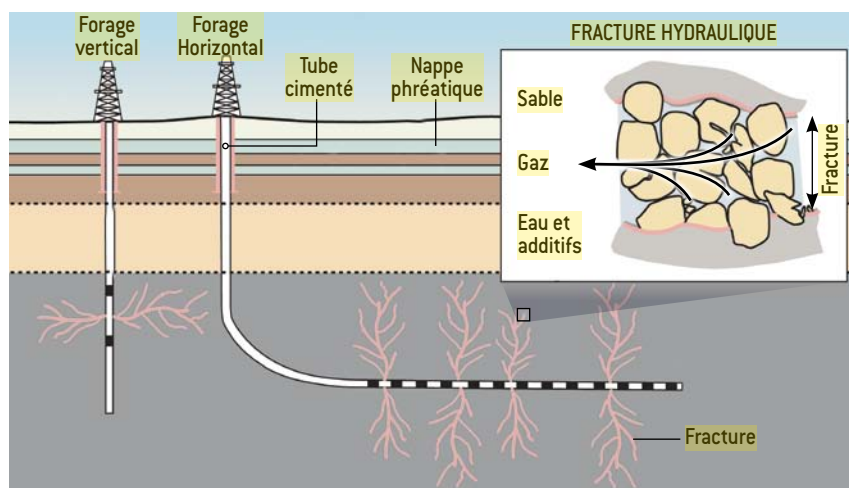
**Quels sont les principaux risques environnementaux liés à cette exploitation ?**

**G. P.-C. :** La pollution du sous-sol n'est pas un problème aux profondeurs d'injection (en général 2 000 à 4 000 mètres), où l'eau déjà présente est bien moins pure que celle qu'on injecte. On évoque parfois le danger que cette eau remonte jusqu'aux nappes phréatiques. Mais c'est peu probable, en dehors de configurations géologiques particulières : il faudrait que l'eau migre sur plusieurs centaines, voire milliers, de mètres (les nappes sont à une profondeur de l'ordre de 100 mètres). De multiples travaux sont en cours pour mieux comprendre l'impact de la fracturation hydraulique sur l'hydrologie du réservoir, et ainsi mieux cibler les zones à risque. En revanche, l'eau qui remonte par le puits contient des additifs et peut être contaminée par divers composés toxiques ou cancérogènes ; on doit donc la gérer avec soin pour ne pas menacer la santé des exploitants.

Le risque principal est qu'il y ait fuite d'eau par les puits et que cette eau traverse les

nappes phréatiques. Techniquement, on sait gérer ce risque, qui existe d'ailleurs aussi dans les exploitations classiques (où la fracturation hydraulique est utilisée pour améliorer le taux de récupération). On assure par exemple l'étanchéité avec des tubes cimentés. Le problème est plutôt d'origine économique : les dispositifs de sécurité coûtent cher et les entreprises n'ont pas toujours fait les investissements nécessaires, d'où des cas de pollution aux États-Unis. Ce problème est plus aigu pour les hydrocarbures de schiste, car, en raison de la faible perméabilité de la roche, on doit forer bien plus de puits que dans les exploitations classiques. Et comme le prix du gaz chute, il faut creuser ces nombreux puits à moindre coût.

Selon moi, le seul problème qu'on ne sait pas résoudre techniquement est celui de la « pollution de surface » : les installations nécessaires occupent en effet beaucoup de place. Il faut construire des routes, des puits, des installations industrielles, ainsi que des bassins de décantation, car on remonte énormément d'eau des profondeurs ; on doit alors la stocker, puis la réinjecter ou la traiter avant de la rejeter dans l'environnement. De façon générale, la fourniture et la gestion de l'eau est l'une des problématiques à examiner attentivement dans une exploitation.



**LA FRACTURATION HYDRAULIQUE** consiste à injecter de l'eau sous pression dans le sol, afin de connecter les pores de la roche par des fissures et de récupérer le gaz qui y est piégé. Du sable mélangé à l'eau empêche les fissures de se refermer trop vite. L'eau sous pression, chargée de gaz, reflue ensuite naturellement dans le puits. Dans le cas des schistes, on utilise des forages horizontaux qui peuvent s'étendre sur plusieurs kilomètres.

## PLS

**On accuse aussi les forages d'entraîner des fuites de gaz à effet de serre...**

**G. P.-C. :** Il y a en effet des fuites de méthane, un puissant gaz à effet de serre, dans l'atmosphère. Là encore, ce n'est pas inhérent aux schistes, mais commun à toutes les installations d'extraction de gaz, et là encore, le problème est économique plus que technique : comme il faut creuser de multiples puits à faible coût, les bonnes pratiques permettant la maîtrise des fuites ne sont pas toujours respectées. Dans le bilan des schistes en termes d'émissions de gaz à effet de serre, il faut aussi rappeler que la combustion du gaz naturel émet moins de dioxyde de carbone que celle du charbon à énergie égale. Le bilan global suscite donc la controverse.

## PLS

**On a aussi évoqué des risques de séisme et d'affaissement de terrain. Qu'en est-il ?**

**G. P.-C. :** Pour les séismes, il existe bien sûr des zones instables, qu'il faut éviter. En dehors de ces zones, le risque est mineur : on constate de la microsismicité, mais trop faible pour affecter l'environnement ou l'habitat. D'autres activités humaines ont d'ailleurs plus d'impact. Ainsi, selon une étude américaine publiée en 2012,

la géothermie avait provoqué des séismes plus nombreux et plus importants que l'exploitation des gaz de schiste.

Quant aux affaissements, on en a observé de légers dans les champs d'hydrocarbures conventionnels. Les réservoirs sont comme des éponges gorgées d'eau, qui se contractent en se vidant. En général, le terrain ne se tasse que d'un centimètre ou deux, ce qui ne pose pas de problème particulier. Pour les gaz de schiste, la situation est plus incertaine. Les roches sont sous-saturées en eau, c'est-à-dire qu'elles en absorbent beaucoup. On ne récupère que 30 ou 40 % de l'eau injectée. Le risque n'est donc pas tant de provoquer des affaissements que de modifier le comportement de la roche. Pour le comprendre, on peut se représenter une argile utilisée pour la poterie : quand on y ajoute de l'eau, on la transforme en une sorte de pâte à modeler. Dès lors, on pourrait provoquer des déformations et des mouvements de terrain, susceptibles de survenir plusieurs dizaines d'années après l'exploitation.

Le sentiment des ingénieurs est que le risque est faible, mais on manque de données scientifiques pour l'exclure totalement. Je ne connais que deux travaux publiés sur ce sujet. Dans mon laboratoire, nous avons lancé un projet pour l'étudier il y a un an, mais nos recherches, qui tentent d'éclaircir le phénomène au niveau moléculaire, sont encore très préliminaires.

## PLS

**L'Allemagne semble s'orienter vers une autorisation sous condition de l'exploitation. Des mesures réglementaires, telles des interdictions locales, vous semblent-elles suffisantes pour limiter les nuisances ?**

**G. P.-C. :** Le problème en France est que l'on ne connaît pas assez bien le sous-sol. Pour décider d'interdire ou de restreindre l'exploitation dans une certaine zone, on doit disposer d'un certain nombre de paramètres : degré de fissuration, sismicité, stabilité et hydrologie du sous-sol, etc. Si l'on cherche à légiférer aujourd'hui sans bien cerner tous ces paramètres, on risque d'aboutir à l'application systématique du principe de précaution et à une interdiction généralisée.

Avant de fixer un cadre réglementaire, il faut donc d'abord lancer un grand programme d'exploration du sous-sol. Plusieurs projets existent. L'Alliance nationale de coordination de la recherche pour l'énergie (ANCRE) a élaboré un programme de recherche sur les gaz de schiste qui coûterait environ 20 millions d'euros, et dont une partie importante serait consacrée à l'exploration. Pour l'instant, ces projets dorment sur les étagères...

Le seul cas sur lequel il serait intéressant de légiférer dès aujourd'hui est celui de la pollution de surface. Dans certaines zones, telles les réserves naturelles, les installations nécessaires à l'exploitation des schistes nuiraient trop au paysage et à la biodiversité.

## PLS

**Comment explore-t-on le sous-sol ?**

**G. P.-C. :** L'exploration se déroule en trois phases. D'abord, on analyse la géologie de la surface et on en déduit certains paramètres du sous-sol. Ensuite, on utilise des explosifs pour envoyer des ondes sismiques dans le sous-sol, dont on reconstitue les propriétés grâce à l'analyse des ondes réfléchies. Sur la base de cette reconnaissance géophysique, on réalise quelques forages pour vérifier et affiner les résultats.

## PLS

**Quelles pistes envisage-t-on pour améliorer les techniques d'extraction ?**