



HAL
open science

Accompagner l'innovation en maîtrisant les risques émergents

Christophe Didier, Mehdi Ghoreychi, Pierre Toulhoat

► **To cite this version:**

Christophe Didier, Mehdi Ghoreychi, Pierre Toulhoat. Accompagner l'innovation en maîtrisant les risques émergents. *Annales des mines - Série Responsabilité et environnement*, 2011, 64, pp.81-85. ineris-00961767

HAL Id: ineris-00961767

<https://ineris.hal.science/ineris-00961767>

Submitted on 20 Mar 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Accompagner l'innovation en maîtrisant les risques émergents.

**Christophe DIDIER, Mehdi GHOREYCHI, Pierre TOULHOAT
INERIS. Parc Technologique Alata. 60550 Verneuil-en-Halatte.**

On parle de « risques émergents » pour caractériser les risques induits par le développement d'une activité industrielle susceptible de provoquer, à terme, des effets néfastes sur l'environnement et la santé des personnes. De tels risques résultent souvent de l'essor de nouvelles technologies mais peuvent également découler de pratiques usitées de longue date mais qui « émergent » plus ou moins soudainement du fait de nouvelles connaissances scientifiques ou de l'évolution de la perception du public ou de la société.

Ainsi, la perception de l'exploitation des hydrocarbures non conventionnels, mise en œuvre depuis plus d'une décennie aux Etats-Unis, comme un risque émergent sur le territoire français relève sans nul doute de cette dernière catégorie. De sérieuses questions, fortement relayées par la société civile et les pouvoirs publics, sont en effet soulevées à propos des conséquences environnementales de l'exploitation de cette ressource.

Ces questions trouvent pour partie leur origine dans le retour d'expérience nord-américain. Sur les dizaines de milliers de puits d'extraction forés aux Etats-Unis, plusieurs exemples de situations accidentelles (fuites de gaz, pollution des nappes, etc.) ont été mises en évidence et fortement médiatisées notamment au travers du documentaire *Gasland* qui illustre les impacts environnementaux du procédé d'extraction lorsque celui-ci n'est pas parfaitement maîtrisé.

Dès lors qu'un développement industriel semble pouvoir présenter des risques mal connus (et quand bien même cela ne concerne qu'un pourcentage très réduit des sites d'extraction et peut résulter de négligences de certains opérateurs plutôt que d'une maîtrise défectueuse de l'ensemble de la filière), il est fréquent d'assister à une forte opposition des populations et associations locales. Dans le cas de l'exploitation des gaz de schiste sur le territoire français, cette opposition s'est cristallisée autour de la technique mise en œuvre pour permettre l'accès à la ressource : la fracturation hydraulique (CGIET-CGEDD, 2011). L'objectif principal de la technique d'exploitation consiste en effet à permettre l'accès au gaz piégé au sein de la roche mère en fracturant la matrice rocheuse trop peu perméable pour permettre la migration de fluides.

Pour ce faire, les exploitants s'appuient sur la technique de fracturation hydraulique qui consiste à injecter dans le sous-sol de l'eau sous des pressions suffisamment élevées pour induire la fracturation du massif rocheux. Dans les faits, on ajoute à l'eau du sable fin (ou des micro-billes de céramique) pour maintenir les fissures ouvertes ainsi que divers additifs chimiques pour faciliter la production de gaz (dissolvants, lubrifiants, biocides). Afin d'accéder au « zones ressources » qu'il convient de fracturer, des puits verticaux sont forés, souvent prolongés par un, ou plusieurs, forages horizontaux réalisés au sein de la couche réservoir. L'extension des fractures induites étant généralement limitée, il est nécessaire de forer plusieurs puits pour exploiter une vaste zone géographique.

Lorsque le procédé n'est pas convenablement mis en œuvre, la filière d'exploitation des hydrocarbures de roche mère par fracturation hydraulique peut générer divers risques et nuisances. Pour simplifier, on regroupera ces principaux impacts en trois catégories.

- Impacts non maîtrisés sur le massif rocheux (étanchéité des forages, extension et orientation des fissures, sismicité induite...).
- Pollution des nappes du fait de la migration non maîtrisée de contaminants (gaz, produits chimiques injectés, minéraux lixiviés...) dans l'environnement.

- Risques et impacts liés aux installations et usages de la surface (traitement des effluents, stockage et transport des produits, impacts paysagers...).

Au regard de la sensibilité du débat engagé, le bien-fondé du développement de l'exploitation des ressources de type gaz ou huile de schiste sur le territoire français nécessitera que les deux principales interrogations relayées par la société civile puissent trouver des réponses factuelles et précisément renseignées. La première concerne le bilan environnemental global de la filière (bilan carbone [Tyndall Center, 2011], conséquences sur l'usage de l'eau et des terrains de surface, coût des traitements et des éventuelles nuisances à long terme, etc.) qu'il conviendra d'établir avec le plus de transparence et de clarté possible afin de mettre en évidence l'éventuelle pertinence de l'exploitation de cette nouvelle ressource énergétique. La seconde exige que des travaux de recherche et développement (analyse des risques, adaptation/développement de techniques d'exploitation ou de surveillance, etc.) soient menés dès l'amont afin de définir un cadre strict permettant de garantir une maîtrise optimale des risques sanitaires et environnementaux.

C'est ce dernier objectif qui fait l'objet du présent article.

Maîtriser les effets sur le massif rocheux

Le risque principal lié au procédé de fracturation hydraulique à évaluer avec précision concerne les fuites potentielles de divers contaminants (gaz, eau souillée) vers différents compartiments du milieu environnant (nappes phréatiques, surface, écosystèmes). A ce titre, deux zones fondamentales méritent d'être plus particulièrement prises en compte.

- 1- La première concerne les forages d'injection. Ces ouvrages constituent un point névralgique du complexe d'exploitation. Ce sont en effet eux qui sont en contact direct avec les différents aquifères, notamment les moins profonds qui sont aussi généralement les plus sensibles en termes de valorisation de la ressource en eau. Ces ouvrages sont des forages pétroliers classiques, généralement bien maîtrisés par les exploitants et qui ne constituent pas, de ce fait, un véritable « verrou scientifique » nécessitant des développements novateurs. Il n'en demeure pas moins que, sur la base des retours d'expériences d'incidents, l'US-EPA (United States Environmental Protection Agency) identifie clairement l'étanchéité des forages comme un facteur clé de prévention des fuites (EPA, 2011). Cette crainte est également partagée dans les différents domaines de stockage souterrain : celui de gaz naturels et d'hydrocarbures, le stockage de déchets radioactifs et le stockage de déchets toxiques. Dans tous les cas, les ouvrages d'accès verticaux (puits et forages) constituent la principale voie de transport de produits stockés ou de contaminants.

Deux éléments clés d'un forage contribuent à son étanchéité. Les « *casings* » ou tubages sont constitués de tubes d'acier qui permettent d'éviter la fermeture du forage par pression des terrains mais également d'isoler ce dernier des formations géologiques environnantes. La « *cementing* » ou cimentation permet de solidariser les casings aux parois du forage par l'injection de coulis en périphérie extérieure des tubages et de parfaire l'étanchéité de l'ouvrage. Si les tubages exigent un dimensionnement leur permettant de résister aux contraintes et pressions aussi bien externes (poussée des terrains) qu'internes (pression du fluide d'injection), c'est souvent la cimentation qui constitue le facteur le plus sensible. Une attention toute particulière doit ainsi être portée à la nature du ciment (au regard notamment des produits chimiques utilisés pour l'injection), à sa mise en place effective (permettant de s'assurer d'une bonne adhérence aux matériaux d'interface) et à son comportement dans le long terme, y compris durant la phase d'abandon.

Les conditions de réalisation, d'exploitation et de suivi des forages sont régies par une réglementation spécifique (on citera, à titre d'exemple pour la France, le Code Minier ainsi que le titre forage du Règlement Général des Industries Extractives « RGIE »). Dans l'éventualité d'un développement de l'activité « hydrocarbures non conventionnels », une mise à jour de ce titre forage s'avère souhaitable (recommandation du rapport de la mission d'inspection CGIET-CGEDD) en vue d'intégrer les spécificités liées à la technique de fracturation hydraulique.

- 2- La seconde zone d'intérêt concerne le secteur géographique au sein duquel se développent les fissures, à savoir en périphérie de la zone d'injection. Au regard des profondeurs pour lesquelles s'effectue l'exploitation des hydrocarbures de roche-mère (voisines ou supérieures à 1000 m), les fractures induites par le procédé se développent principalement dans le plan vertical¹. Pour rentabiliser l'exploitation tout en limitant les risques, il convient que les fractures se développent sur des distances et surfaces suffisamment importantes tout en évitant qu'elles ne se propagent jusqu'à des discontinuités (failles, discordances) susceptibles d'autoriser la mise en communication des fluides de production avec des couches plus perméables.

L'optimisation du procédé de fracturation des terrains passe notamment par une meilleure compréhension et maîtrise du mécanisme de fissuration des roches qui dépend étroitement du champ de contraintes régnant dans le massif ainsi que du comportement rhéologique de ce dernier. **L'analyse d'échantillons rocheux en laboratoire, la mesure in situ de champs de contraintes et le développement de modèles numériques permettant d'étudier les phases d'initiation et de propagation des fissures constituent des pistes de développement prioritaires.**

On privilégiera également **le recours à des outils de surveillance de la fracturation, en particulier la technique d'écoute microsismique passive qui consiste à détecter puis à localiser les foyers des « micro-séismes »** induits par le développement des fissures dans le sous-sol. Il est ainsi possible de s'assurer que le procédé est confiné au sein d'un espace bien maîtrisé.

Enfin, on gardera en mémoire que si les microséismes générés, à l'échelle locale, par la propagation de fissures résultant du procédé d'injection sont sans effet sur les terrains de surface (magnitudes très faibles), le cumul de petites perturbations du massif induites par le procédé peut, dans certaines circonstances très particulières, générer une redistribution des contraintes susceptibles de générer **une activité de « sismicité induite »**. Plusieurs cas ont ainsi été mis en évidence au Texas, en Arkansas et très récemment (mai 2011) dans la région de Blackpool (Grande-Bretagne). La magnitude de ce type de secousses est très variable et, si une très large majorité s'avère inférieure à 2, quelques cas font état de valeurs supérieures (2,3 à Blackpool et jusqu'à 4,0 en Arkansas).

¹ L'initiation et la propagation des fractures sont régies par la Mécanique de la Rupture (XXX) qui indique que ce phénomène est gouverné par l'état de contraintes naturelles régnant dans le massif. Plus précisément, la fracturation se propage dans la direction perpendiculaire à la contrainte principale mineure. Or, les mesures de contraintes in situ réalisées en France et à l'étranger montrent qu'au-delà d'une certaine profondeur, les contraintes principales extrêmes (majeure et mineure) sont horizontales tandis que la contrainte verticale est intermédiaire. Il en résulte donc que la fracturation hydraulique conduit en principe à des fractures verticales. Il n'en demeure pas moins que, localement, la direction de la fracturation peut changer du fait d'hétérogénéités en particulier aux interfaces des roches à fort contraste de propriétés mécaniques ou en contact avec des discontinuités. Ainsi, une fracture verticale rencontrant, au cours de sa propagation, une interface horizontale (anthropique ou naturelle) peut, sous certaines conditions, poursuivre sa progression le long de cette nouvelle interface.

La prédiction du déclenchement possible de phénomènes de sismicité induite et, à plus forte raison, des caractéristiques associées (lieu et période de survenue, magnitude, fréquence et vitesse ondulatoires, possibles effets de site) est une opération délicate du fait des nombreuses incertitudes pesant sur les caractéristiques des massifs rocheux. Elle exige une bonne connaissance des conditions géologiques et tectoniques en 3D du secteur d'exploitation, la présence d'un réseau de surveillance spécifiquement dédié à la détection et à la caractérisation de tels phénomènes et le développement d'outils numériques capables de prendre en compte la dimension dynamique des événements.

Maîtriser les impacts sur la ressource en eau

Une très grande majorité des situations accidentelles répertoriées aux Etats-Unis a concerné la pollution des aquifères par des produits chimiques ou par le gaz libéré de la roche-mère. C'est d'ailleurs sur ce sujet crucial que l'EPA a lancé un programme pluri-annuel de recherche, analyse et développement.

Dès lors que l'étanchéité des forages d'injection (mis en contact avec le fluide injecté ou celui extrait) ou de la couche-mère prise dans son ensemble (combinaison de chemins d'écoulement souterrains : fissures, failles, joints de stratification, couches perméables) fait défaut, il existe un risque de migration des fluides injectés ou présents dans le massif vers les aquifères sus-jacents.

Une partie de l'eau injectée, mais également des adjuvants chimiques, peut alors migrer dans le sous-sol pour rejoindre des cibles sensibles telles que les aquifères d'eau douce moins profonds que la roche-mère. A ceci peut également s'ajouter du gaz libéré par le processus de fracturation ainsi que diverses substances qui peuvent être mises en solution du fait des interactions physico-chimiques entre le fluide injecté et le massif rocheux (éléments traces métalliques, radionucléides, matières organiques, etc.).

Dans tous les cas, même en l'absence de fuites en milieu souterrain, **les effluents extraits doivent être traités en surface avant d'être rejetés dans le milieu environnant.** Ceci peut être à l'origine de risques de défaillance pour ce qui concerne le stockage, la manutention et le transport de fluides souillés, générant, de fait, **des risques de contamination du milieu par des écoulements de surface.**

L'une des priorités est donc de maîtriser au mieux l'emploi d'additifs chimiques afin **d'interdire le recours à des substances potentiellement dangereuses pour l'homme et les écosystèmes** (notamment les substances cancérigènes, mutagènes et repro-toxiques). Une analyse fine des produits envisagés par les exploitants, en termes de volume, de nocivité/toxicité, de réactivité (produits entre eux, sur les terrains et sur les éléments du forage) devra donc être entreprise, **conformément au règlement REACh.** A ce titre, des réflexions en termes d'interdiction ou de substitution des substances les plus critiques sont à envisager. Pour ce faire **une transparence totale est requise sur la nature des fluides injectés**, ce qui n'était pas le cas à l'origine aux Etats-Unis, les exploitants bénéficiant de clauses de confidentialité sur la nature des additifs utilisés.

Dans le même ordre d'idée, une analyse prévisionnelle de la nature et des teneurs des éléments traces d'origines minérale ou organique lixiviés de la roche-mère puis mis en solution (du fait d'un équilibre géochimique rompu par l'injection du fluide de fracturation) doit être menée précautionneusement dans les effluents extraits. Il convient en effet de définir et de dimensionner les techniques de traitement des effluents les plus adaptées afin d'éviter de rejeter dans le milieu environnant des substances non identifiées au préalable. Pour ce faire

des analyses précises de la nature des roches réservoirs devront être entreprises et des modélisations géochimiques dynamiques envisagées pour progresser dans la compréhension des phénomènes attendus. A ce titre, **certaines alternatives à la fracturation hydraulique, utilisant par exemple du GPL comme fluide d'injection méritent une attention particulière.** En effet elles présentent a priori l'avantage de limiter l'impact sur la ressource en eau ainsi que la lixiviation des terrains par rapport à l'utilisation d'un fluide aqueux.

De manière générale, des travaux de **modélisation des phénomènes de transfert réactif** au sein de la roche-mère ou dans les horizons sus-jacents devront être engagés, en s'appuyant sur une **caractérisation préalable des environnements géologique et hydrogéologique des sites pressentis.** Ils permettront en particulier d'identifier les principaux scénarios de risque, et de définir l'influence possible de failles, discontinuités ou ouvrages anthropiques environnants.

Comme pour le suivi de la fracturation du massif, **le recours à de la surveillance** s'avère également essentiel pour détecter **tout signe précurseur qui pourrait laisser présager un dysfonctionnement du système.** Ce processus passe par l'établissement de « lignes de base » permettant d'établir un « état zéro » **préalable à l'exploitation** et rendant possible une interprétation en termes de modification des caractéristiques initiales du milieu. Si la démarche s'avère classique pour ce qui concerne les aquifères superficiels, elle se révèle plus délicate dans le cas d'aquifères profonds pour lesquels les conditions de prélèvement et d'analyse des échantillons peuvent nécessiter le perfectionnement des technologies classiquement disponibles. La détection de migration de gaz, en profondeur ou en surface mérite également d'être systématisée dans l'emprise des travaux, et ce pour les différentes étapes de l'exploitation (état zéro, pendant l'exploitation, après l'arrêt).

Limiter les risques et impacts liés aux installations et usages de la surface

Comme toute exploitation pétrolière, l'extraction d'hydrocarbures requiert le déploiement d'installations de surface destinées notamment aux activités de forage ainsi qu'à celles de collecte, de stockage, de traitement et de transport des fluides. La spécificité de l'extraction des hydrocarbures non conventionnels résulte principalement dans l'existence d'installations de mélange et d'injection, sous haute pression, de fluides comportant divers produits chimiques. La présence d'installation de traitement et de stockage des effluents constitue une autre spécificité. **Une adaptation des mesures de prévention des risques à ces quelques spécificités devra donc être engagée, aussi bien pour ce qui concerne les risques et impacts potentiels sur les hommes (travailleurs et riverains), les biens, les activités humaines et l'environnement.**

Parallèlement, dans une **logique d'analyse intégrée de la chaîne de production**, il conviendra d'identifier l'ensemble des impacts potentiellement induits par la filière pour mieux maîtriser leurs effets sur le milieu environnant. Parmi eux, on citera l'impact de l'activité sur la qualité de l'air ambiant (fuites de méthane, production de SOx, NOx, voire de benzène), les nuisances sonores et olfactives, la circulation d'engins, l'impact paysager et la limitation d'usage des terrains nécessaires à l'exploitation. Ces différents sujets ne constituent pas une priorité en termes de développement de connaissances dans une première phase de l'analyse. Ils ne doivent pas pour autant être négligés dans une logique d'évaluation intégrée de la filière et de définition de mesures d'atténuation et de prévention adaptées.

Perspectives

L'accompagnement du développement industriel dans une perspective de développement durable implique une capacité à maîtriser et à prévenir les risques émergents. Ceci permet d'éviter que des activités porteuses, en termes économique et stratégique, ne se révèlent, à terme, dommageables pour la sécurité ou la santé des personnes ou la protection de l'environnement.

Cette démarche de prévention constitue le cœur de la mission de l'INERIS qui s'attache à comprendre, prévoir et maîtriser les phénomènes et mécanismes, notamment physico-chimiques, potentiellement induits par l'activité industrielle. Son objectif est d'accompagner, dès l'amont, les innovations technologiques afin de les rendre propres et sûres. Sur le sujet des gaz de schiste comme sur bien d'autres (filière CO₂, nanotechnologies, batteries électriques, ondes électromagnétiques, chimie verte, etc.), l'Institut fournit son appui aux pouvoirs publics mais également aux industriels. Ses capacités de recherche et d'expertise contribuent notamment à développer des référentiels permettant de garantir le développement de technologies complexes dans une logique de maîtrise des risques et nuisances.

Les travaux portant sur la thématique des gaz et huiles de schistes sont menés en partenariat avec d'autres organismes français (IFPEN, BRGM) ou étrangers (au Canada et en Pologne notamment). Ils exigent en effet une mise en commun des compétences mais également des données disponibles. A ce titre, **l'accès à des informations précises pour mener à bien un retour d'expérience détaillé sur les défaillances observées aux Etats-Unis sera de toute première importance pour la communauté scientifique française.**

Dans le même ordre d'idée, l'une des suggestions du comité d'experts commun au CGIET et CGEDD porte sur la nécessité de réaliser des travaux scientifiques sur site par le biais de forages largement instrumentés pour mieux appréhender la réponse des terrains aux sollicitations induites par la fracturation hydraulique. Cette étape se révèlera essentielle pour l'acquisition de connaissances et de données capables de caler les modèles numériques développés pour restituer au mieux le comportement du massif et des fluides qui y circulent. L'INERIS s'inscrit pleinement dans cette logique de développement, d'un site « démonstrateur », tout comme dans celle, évoquée au début de l'article portant sur la nécessité d'entreprendre rapidement un bilan environnemental global pour juger du bien-fondé économique et stratégique du développement de la filière. L'ensemble des parties prenantes pourraient être impliquées dans le pilotage de ces expérimentations.

Conscient de la forte préoccupation d'une partie de la population sur les risques potentiellement induits par la filière « hydrocarbures de roche-mère », l'INERIS ambitionne de poursuivre son investissement sur la problématique de la maîtrise, dès l'amont, des risques et nuisances associés. Une mention explicite à cette problématique figure d'ailleurs dans le nouveau contrat d'objectifs signé très récemment entre l'Institut et l'Etat. Ces développements de connaissances prendront la forme, dans les mois et années à venir, de programmes de recherche ou d'appui conduits pour la Commission européenne, les pouvoirs publics ou les industriels.

Bibliographie

CGIET/CGEDD, 2011. Les hydrocarbures de roche-mère en France. Rapport provisoire. Avril 2011.

EPA, 2011. Draft Plan to Study the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources. EPA/600/D-11/001/February 2011/www.epa.gov/research, 140 p.

Tyndall center, 2011. Shale gas: a provisional assessment of climate change and environmental impacts. A report by researchers at The Tyndall Centre University of Manchester, January 2011, 87 p.