

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



DÉPARTEMENT Génie Minier

Mémoire de Master en Génie Minier

Thème

**Impact de la fracturation hydraulique sur
l'environnement**

Encadré par :

Mr. Larouci CHANANE

Réalisé par :

Abderrahmane MAHARRAR

Devant le jury :

Président : Dr. A. SEBAI, Professeur à l'ENP

Examineur : Dr. A. AKKAL, MCB à l'ENP

Promoteur : Mr. L. CHANANE, MAA à l'ENP

Promotion : Juin 2015

ملخص

التكسير الهيدروليكي هو تقنية مستخدمة لتعزيز إنتاج النفط والغاز الذي لا مفر منه في ظل ظروف معينة. هذه التقنية تم تطويرها للغاية، ومع ذلك فإنه لا يزال علم تجريبي حديث ومخاطره، خاصة على البيئة، لم يقدموا حتى الآن تحت السيطرة. لذلك، يجب أولاً أن يتم الكشف عن هذه المخاطر وتحديدها. وهذا هو الهدف من هذا التقرير

الكلمات المفتاحية

التكسير الهيدروليكي والمخاطر البيئية، الغاز الصخري

Résumé

La fracturation est une technique utilisée pour l'amélioration de la production des hydrocarbures et qui dans certaines conditions est incontournable. Cette technique est très développée, hélas, elle reste une discipline expérimentale très récente et ses risques, notamment sur l'environnement, ne sont pas encore maîtrisés. Afin de les cerner, ces risques doivent tout d'abord être détectés et définis. Ceci est l'objectif de ce rapport.

Mots clé

Fracturation hydraulique, risques sur l'environnement, gaz de schiste.

Abstract

Hydraulic fracturing is a technique used for production enhancement of hydrocarbons which is inevitable under certain conditions. This technique is very developed, however it still is a recent experimental discipline and its risks, especially on the environment, are not yet brought under control. For that, these risks must first be detected and defined. And this is the objective of this report.

Key words

Hydraulic fracturing, risks on the environment, shale gas.

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Dieu de m'avoir accordé ce que j'ai, ce que j'avais et ce que j'aurai.

Je remercie aussi l'ensemble de ma famille, plus spécialement mes parents pour leurs soutiens et efforts qu'ils ont fourni pour forger la personne que je suis maintenant.

Dans le cadre académique, je tiens tout d'abord à remercier les membres du jury qui ont accepté de bien vouloir examiner et juger ce travail.

Aussi, je remercie particulièrement Mr. Larouci CHANANE pour ses efforts et directives d'excellent promoteur qui m'ont énormément aidé à faire ce travail, comme je remercie aussi tous les enseignants du département Génie Minier.

A la fin, j'envoie un spécial remerciement pour l'équipe *Subsurface* du groupement Sonatrach- BP- Statoil, et plus spécialement mon Co. promoteur M. Andri Ansari.

Liste des figures

Figure 1 Production pré-fracturation Vs Production post-fracturation

Figure 2 différence entre le gaz conventionnel et le non conventionnel

Figure 3 Schéma de fracturation hydraulique pour l'exploitation du gaz de schiste

Figure 4 Graphe d'analyse de Nolte-Smith

Figure 5 Réserves mondiales en gaz de schiste et pétrole de schiste

Liste des tableaux

Tableau 1 Additifs chimiques et leurs rôle

Tableau 2 Profondeur de la nappe albienne dans la région de In Salah

Table des matières

I Introduction Générale	1
II Fracturation hydraulique	2
II.1 Processus de la fracturation hydraulique	2
a. Perforation	2
b. Injection du fluide et création de la fracture	2
c. Injecter le proppant et maintenance de la fracture.....	2
II.2. Hydrocarbure non conventionnel	3
a. Perméabilité	3
b. Exploitation: Puits horizontale Vs Puits vertical	4
III Risques existants	5
III.1. Pollution des eaux	5
III.1.1 Extension de la fracture	6
a. Risque	6
b. Mesures pour réduire ces risques.....	7
III.1.2. Additifs chimiques.....	9
a. Risque	9
b. Mesures à prendre pour réduire ces risques	10
III.1.3. Risques liés aux autres Opérations	11
III.1.4. Conclusion.....	12
III.2. Pollution d'air.....	12
III.3. Effet de serre	12
Gestion des Risques	13
Approche environnementale sur l'exploitation de gaz de schiste en Algérie ...	14
1. Introduction	14
2. Réserves.....	14
3. Nappe continentales.....	15
4. profondeur des réserves de gaz de schiste	16
5. Conclusion.....	16
Conclusion Général.....	17
Références Bibliographiques	18

I Introduction Générale

Dans l'exploitation des hydrocarbures non conventionnels, notamment le gaz de schiste, la fracturation hydraulique est une technique incontournable. Elle permet de multiplier considérablement la production jusqu'à atteindre une bonne rentabilité et amortir les coûts investis. Cependant, cette technique génère aussi bien des effets positifs sur la production que négatifs sur l'environnement naturel et social. Ces effets sur l'environnement sont traduits par de hauts risques, dont l'objet d'étude de notre travail de recherche s'intéressera brièvement à ces risques qui sont largement développés par la fracturation hydraulique sur l'environnement géologique et hydrogéologique.

Tout au long de ce travail de recherche, nous allons nous attarder sur certaines procédures qui ont été élaborées afin de minimiser l'ampleur de ces risques et essayer de les contrôler. A ce propos, la gestion des risques naturels, industriels et technologiques est impératif et nécessite d'être à pied d'œuvre et sans relâche, car durant tous ces siècles de développement, l'homme a pris des risques énormes pour ne pas dire incontrôlables à tous les niveaux et dans différents domaines relatifs à ses activités afin de parvenir de nos jours au niveau de développement actuel.

A la fin, dans le cadre de l'exploitation du gaz de schiste dans certains champs gaziers d'Algérie, une petite approche introductive est développée sur les risques de la fracturation hydraulique sur l'aquifère Albien situé dans le territoire algérien.

II Fracturation hydraulique

Définition

La technique de la fracturation hydraulique consiste à créer une fracture dans la couche productrice de gaz à des profondeurs importantes du sous-sol, à l'aide des fluides visqueux injectés à haute pression, suffisante pour fissurer la roche réservoir et y créer une fracture.

Malgré cette simple définition, la fracturation hydraulique reste un processus assez complexe, dont les principales opérations sont les suivantes.

II.1 Processus de la fracturation hydraulique

a. Perforation

L'opération de perforation consiste à créer des trous en tubages (*casing*) à travers la formation à l'aide de pistolet (explosifs), pour permettre au fluide de fracturation d'entrer en contact avec la formation pour y initier et créer un réseau de fissuration et donner naissance à une fracture finale. Ces perforations serviront ultérieurement comme canaux de production, qui laissent passer le gaz ou le pétrole de la formation réservoir vers le puits. Il est alors logique que la perforation se fait au niveau de la couche productrice.

b. Injection du fluide et création de la fracture

Une fois les perforations sont réalisées, un fluide visqueux est injecté à haute pression à travers ces perforations vers la formation. La pression d'injection est suffisamment déterminée afin de fissurer la roche et faire propager la fracture aux dimensions de largeur et longueur voulues.

c. Injection du proppant et maintien de la fracture ouverte

Si le pompage des fluides s'arrête à ce stade, la fracture se referme en raison des pressions de fermeture de la formation. A cet effet, un agent de soutènement appelé : proppant, est injecté dans la fracture pour la maintenir ouverte une fois l'opération de fracturation est terminée.

A la fin de l'opération de la fracturation hydraulique, il en résulte une fracture de perméabilité très élevée allant du puits, à des dizaines voire à des centaines de mètres dans la formation. Cela génère une augmentation de la production telle qu'il est illustré dans la figure suivante.

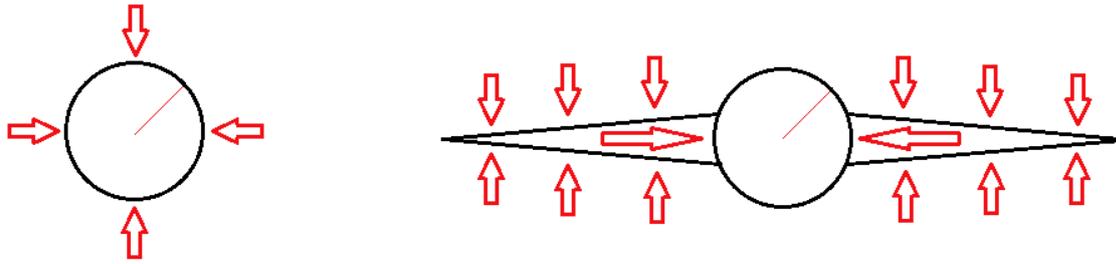


Figure 1 : Production pré-fracturation Vs Production post-fracturation (établi personnellement)

La fracturation hydraulique ne change pas la perméabilité de la couche productrice. Dans des conditions constantes du réservoir, le débit d'hydrocarbure que fournit la formation est le même avant et après la fracturation, ce qui change est la surface de collection d'hydrocarbure, créant une augmentation de quantité d'hydrocarbure collectée et ainsi une augmentation dans la production.

La création de la fracture se fait selon les lois physiques de la mécanique des fractures qui sont décrites dans ce qui suit. En association avec d'autres disciplines, ces lois physiques de la mécanique des fractures sont utilisées dans la conception et la simulation de la fracturation hydraulique. Cependant, les simulateurs ne reflètent pas réellement et fidèlement ce qui se passe en profondeur, au niveau du réservoir, mais donnent une approche assez précise que possible des propriétés de la fracturation hydraulique.

II.2. Hydrocarbures non conventionnels

Ce travail de recherche s'intéresse beaucoup plus aux risques de la fracturation hydraulique des réservoirs non conventionnels sur l'environnement naturel. Dans ce cadre, il est important de définir aussi bien les propriétés de ces réservoirs que leurs méthodes d'exploitations.

a. Perméabilité

Les hydrocarbures conventionnels sont distingués des hydrocarbures non conventionnels par leurs perméabilités. Les hydrocarbures non conventionnels sont de perméabilité très faible. A titre d'exemple, la (figure 2) suivante montre la différence entre les réservoirs de gaz conventionnel et non conventionnel.

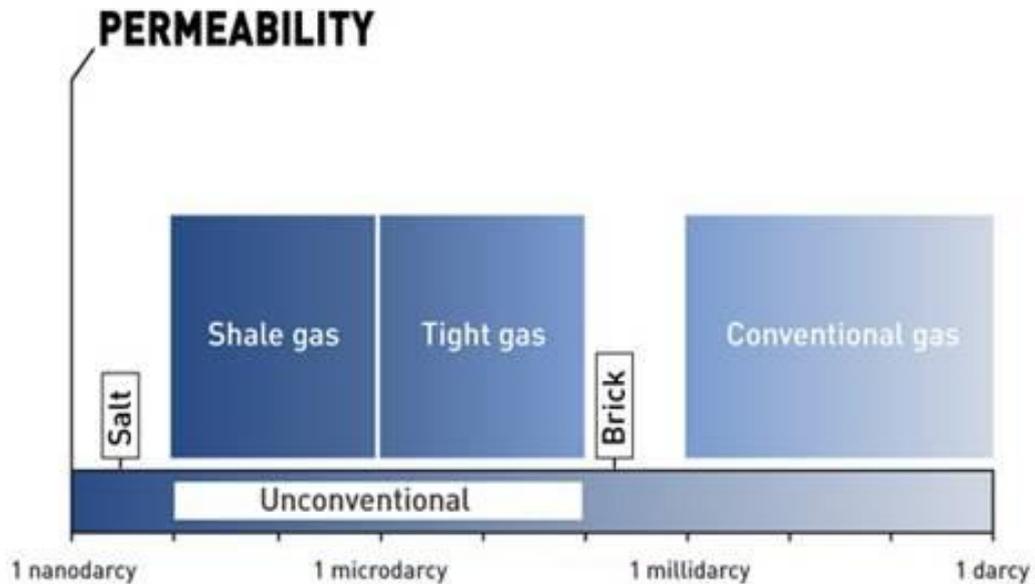


Figure 2 : Différence de perméabilité entre les réservoirs de gaz conventionnel et non conventionnel ^[1]

b. Exploitation: Puits horizontal Vs Puits vertical

Dans un réservoir de gaz conventionnel, une seule fracturation est suffisante pour créer une zone perméable près du puits (puits vertical) et augmenter la production au niveau attendu. Par contre, dans un réservoir non conventionnel de perméabilité très faible, une seule fracture est loin d'être suffisante. C'est la raison pour laquelle, des puits horizontaux sont utilisés dans l'exploitation des hydrocarbures non conventionnels. Cela permettrait de fracturer une grande partie du réservoir; tout le long de la partie horizontale au contact avec le réservoir, comme il est illustré dans la (figure 3) suivante.

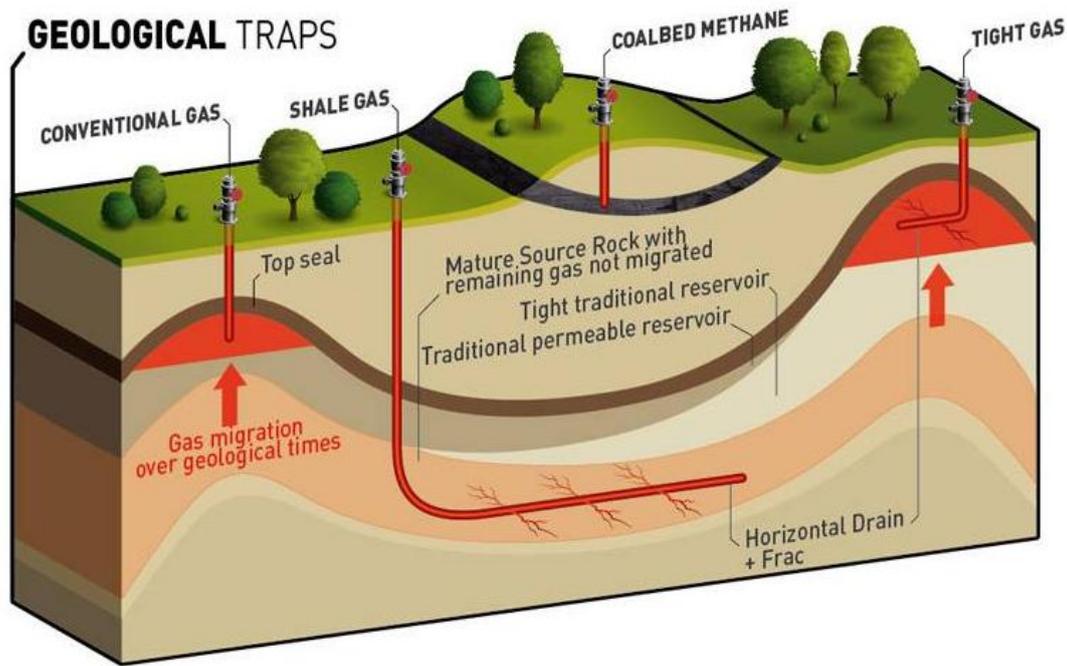


Figure 3 : Schéma de fracturation hydraulique pour l'exploitation du gaz de schiste^[1]

III Risques existants

La technique de fracturation hydraulique est une technique très développée par rapport à sa récente invention, malgré cela, elle demeure une technique expérimentale en cours de développement et de perfectionnement. Comme dans toute nouvelle technique, que ce soit dans le domaine pétrolier ou autre, il y a des avantages et des inconvénients qui sont traduits par des risques. Une technique maîtrisée implique que tous ses risques doivent être bien cernés et sous contrôle. Pour développer la technique de fracturation hydraulique, il est impératif d'analyser ses risques à différents termes et de les mettre en évidence en vue de les maîtriser.

III.1. Pollution des eaux

Les retombées sur la pollution des eaux souterraines est la préoccupation la plus importante des chercheurs environnementalistes contre la fracturation hydraulique. Des scientifiques et des chercheurs accusent les compagnies d'exploitation pétrolière et gazière de polluer les aquifères d'eaux. Bien qu'il n'existe aucune preuve réelle et tangible que la fracturation hydraulique pourrait être à l'origine de la pollution des ressources en eau. Cependant, les risques restent très réels et sont à prendre sérieusement en considération, d'où l'intérêt de notre travail de recherche à expliquer non seulement les risques qui sont très susceptibles d'affecter les nappes d'eaux souterraines mais aussi les mesures prises afin de réduire ces risques

III.1.1 Extension de la fracture

a. Risque

- **Base de la fracturation hydraulique**

La fracturation hydraulique est une technique expérimentale très avancée par rapport à d'autres techniques qui sont utilisées dans l'exploitation des hydrocarbures, la conception de l'opération de la fracturation hydraulique, consiste en un programme d'injection, contrôlant le débit et les volumes d'injection afin de contrôler la pression exercée sur la formation réservoir et ainsi contrôler la géométrie de la fracture. La conception prend aussi en considération toutes les caractéristiques pétrophysiques de la roche aussi bien de celle de la formation que celle de couverture. L'une des plus importantes caractéristiques pétrophysiques prise en considération dans le cadre de la gestion des risques pour la préservation de l'environnement est la pression des terrains.

- **Mécanique de fracture**

La largeur de la fracture est toujours perpendiculaire aux contraintes maximales, laissant ainsi le profil de la fracture perpendiculaire aussi à la pression minimale pour créer la largeur. A de grandes profondeurs, la pression verticale est la plus dominante, ceci veut dire que la fracture se propagera en polarité verticale vers le haut et vers le bas.

Comme il a été cité précédemment, la fracturation hydraulique des réservoirs à gaz non conventionnels est opérée sur des puits horizontaux, ce qui implique qu'une importante force initiale à polarité verticale est à l'origine des injections des fluides de fracturation orientées dans la direction verticale.

Par conséquent, la fracturation hydraulique des puits horizontaux engendrera plus de fissurations en hauteur et profondeur, ce qui augmenterait le risque de contamination et de pollution des aquifères d'eaux.

- **Fracture naturelle dans la formation**

Dans les formations qui ont connu une forte activité tectonique, des fractures peuvent être développées. Les grandes fractures naturelles sont détectées à l'aide des méthodes géophysiques, et sont impérativement évitées car en raison de leurs présences, toute opération de fracturation hydraulique sera systématiquement annulée. Hélas, il n'est pas étrange de rencontrer des fractures naturelles moins grandes et qui sont difficilement repérables dans les grandes profondeurs. Ces derniers types de fractures sont de petites tailles et ne font que propager davantage la fracture créée. Toutefois, si un aquifère d'eau est présent dans le voisinage de la formation fracturée, le risque de polluer cet aquifère est imminent.

b. Mesures pour réduire ces risques

- **Control de la géométrie de la fracture**

Selon les mesures de précautions prises à priori, la roche couverture et la roche mère ne laissent pas la fracture se propager, car une grande pression y est appliquée.

En effet, la fracturation hydraulique dans la zone perméable ne s'étend généralement pas plus que l'intervalle visé, car la fuite (*leakoff*) absorbe la pression appliquée (la fuite défavorise le développement de la fracture) et ne la laisse pas se dissiper dans les zones moins perméables.

- **Conception de fracturation hydraulique et simulation**

Pour fracturer un réservoir, un programme d'injection de fluide visqueux (avec des additifs) est conçu à priori. Ce programme, ou autrement appelé conception de fracturation hydraulique, donne les directives d'injection tout en contrôlant le débit, le volume d'injection et autres paramètres y afférent. Avant d'appliquer le projet de fracturation hydraulique, une simulation est réalisée sur ordinateur pour donner forme à la géométrie de la fracture à créer conformément à ce qui a été conçu. Bien que cette conception reste loin de la réalité puisqu'il s'agit d'une simulation qui reste à valider sur terrain, mais, étant donné les progrès développés par les spécialistes concepteurs, ces simulateurs s'approchent de plus en plus de la réalité et donnent des résultats très fiables et d'une manière assez rapide.

- **Rayon d'influence de la fracturation hydraulique**

La conception idéale de la fracturation hydraulique serait de créer une fracture couvrant toute la couche productrice. *Une plus petite fracture aura un rendement plus faible, tandis qu'une plus large fracture aura sur le plan économique, un plus faible rendement économique car, créer de la longueur pour la fracture nécessite énormément de puissance hydraulique et d'énergie aussi bien en terme de volume d'eau que les additifs qui sont coûteux,* pour les compagnies de production, cela se traduit par des dépenses chères et inutiles.

En ce qui concerne l'environnement naturel et social, les ingénieurs spécialistes en environnement travaillant, pour le compte des compagnies pétrolières, en harmonie avec les ingénieurs de fracturation, sont dans l'obligation de conjuguer leurs efforts dans l'objectif d'assurer la protection de l'environnement naturel et de minimiser les risques des accidents environnementaux.

- **Suivi**

Pour plus de vérifications du rayon d'influence de la fracturation hydraulique (en termes de géométrie de la fracture), des techniques de suivi et de contrôle sont rigoureusement utilisées. Parmi ces techniques et méthodes nous citons notamment:

- **L'Analyse de Nolte-Smith**^[2]

L'analyse de Nolte-Smith, consiste à analyser les pressions de l'opération de fracturation hydraulique en vue de déterminer l'évolution de la géométrie de la fracture, comme il est illustré par le graphe donné dans la (figure 4) suivante.

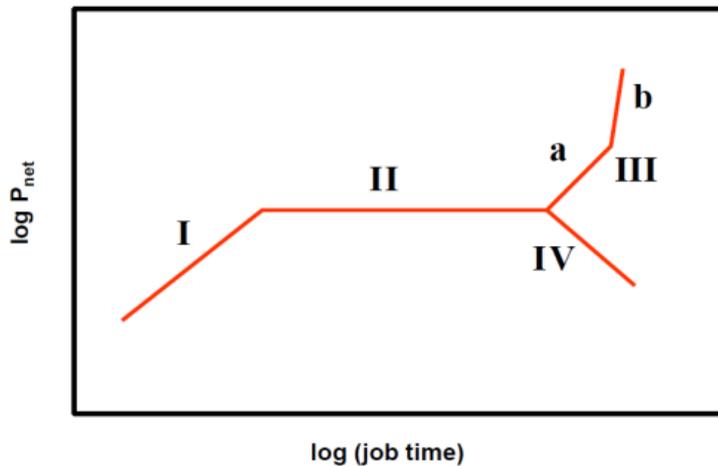


Figure 4 : Graphe d'analyse de Nolte-Smith ^[2]

Nolte utilisait une analyse mathématique pour montrer qu'à partir du gradient du log de la pression par le log de temps, la fracture se déforme d'une certaine manière, qu'on appelle mode, où on distingue :

- **Mode I** : Bon confinement de la hauteur; la fracture se propage préférentiellement dans la direction horizontale.
- **Mode II** : Croissance homogène de la fracture; la fracture se propage d'une manière elliptique dans la direction verticale et horizontale.
- **Mode III-a**: Ecran sur pointe (*Tip Screen Out TSO*); la fracture se remplit de proppant à sa pointe et par conséquent, les pressions se concentrent vers les parois; ainsi un élargissement de la fracture se produit.
- **Mode III-b**: *Screen Out*, blocage près du puits (entrée de perforation). Il n'est plus possible de pomper du proppant dans la fracture.
- **Mode IV**: La croissance en hauteur incontrôlée.

- **Log de température**

Tout le long du puits, une diagraphie de température est réalisée afin de connaître et déterminer la largeur de la fracture, car le fluide injecté à une température relativement basse par rapport à celle du réservoir. Avec la largeur de la fracture estimée, il est facile de déduire la longueur de la fracture avec le volume d'injection connu.

III.1.2. Additifs chimiques

a.) Risque

Le volume du fluide de fracturation hydraulique est composé de 98% à 99,2% d'eau, le reste de la proportion est un mélange d'additifs[3], certains de ces additifs sont toxiques. Même avec cette faible proportion, le volume de ces additifs devient important comparativement au volume total du fluide de la fracturation qui est plus grand.

Exemple:

- **Produits Chimiques utilisés**

Les produits chimiques utilisés dans la fracturation hydraulique sont listés dans le (tableau 1) suivant, avec leurs rôles que peuvent jouer et leurs résultats produits au niveau de la section visée.

- ✓ **Réactions chimiques et radioactivité**

Ces additifs sont bien dangereux pour l'environnement naturel. A titre d'exemple, nous prenons le premier additif qui est l'acide, Le tableau 1 montre que son rôle est de dissoudre les minéraux et d'initier les fissures dans la roche, alors que les résultats produits par cet acide se résument dans sa réaction avec les minéraux présents dans la formation pour donner naissance à des sels, eaux et du CO₂ qui est neutralisé par certaines substances minérales dans la formations.

Dans les réservoirs non conventionnels (gaz de schiste), la roche contient des minéraux contenant des éléments radiogènes (tels que l'uranium, etc.), leur mise en solution facilite la contamination radioactive et augmente le risque de polluer l'environnement [5], en l'occurrence les aquifères d'eaux présents au voisinage des formations réservoirs d'hydrocarbures tels que l'Albien, qui constitue une nappe d'eau s'étendant à l'échelle de la plateforme saharienne.

Tableau 1 : Additifs et leurs rôles^[4]

Additive	Purpose	Downhole Result
Acid	Helps dissolve minerals and initiate cracks in the rock	Reacts with minerals present in the formation to create salts, water, and carbon dioxide (neutralized)
Acid/Corrosion Inhibitor	Protects casing from corrosion	Bonds to metal surfaces (pipe) downhole. Any remaining product not bonded is broken down by micro-organisms and consumed or returned in produced water.
Biocide	Eliminates bacteria in the water that can cause corrosive by products	Reacts with micro-organisms that may be present in the treatment fluid and formation. These micro-organisms break down the product with a small amount of the product returning in produced water.
Base Carrier Fluid (water)	Create Fracture Geometry and Suspend Proppant	Some stays in formation while remainder returns with natural formation water as "produced water" (actual amounts returned vary from well to well)
Breaker	Allows a delayed break down of gels when required.	Reacts with the "crosslinker" and "gel" once in the formation making it easier for the fluid to flow to the borehole. Reaction produces ammonia and sulfate salts which are returned in produced water.
Clay and Shale Stabilization/control	Temporary or Permanent Clay Stabilizer to lock down clays in the shale structure	Reacts with clays in the formation through a sodium - potassium ion exchange. Reaction results in sodium chloride (table salt) which is returned in produced water. Also replaces binder salts like Calcium Chloride helping to keep the formation in tact as the Calcium Chloride dissolves.
Crosslinker	Maintains viscosity as temperature increases	Combines with the "breaker" in the formation to create salts that are returned in produced water
Friction Reducer	Reduces Friction effects over base water in pipe	Remains in the formation where temperature and exposure to the "breaker" allows it to be broken down and consumed by naturally occurring micro-organisms. A small amount returns with produced water.
Gel	Thickens the water in order to suspend the proppant	Combines with the "breaker" in the formation thus making it much easier for the fluid to flow to the borehole and return in produced water
Iron Control	Iron chelating agent that helps prevent precipitation of metal oxides	Reacts with minerals in the formation to create simple salts, carbon dioxide and water all of which are returned in produced water
Non-Emulsifier	Used to break or separate oil / water mixtures (emulsions)	Generally returned with produced water, but in some formations may enter the gas stream and return in the produced natural gas.
pH Adjusting Agent/Buffer	maintains the effectiveness of other additives such as crosslinkers	Reacts with acidic agents in the treatment fluid to maintain a neutral (non-acidic, non-alkaline) pH. Reaction results in mineral salts, water and carbon dioxide which is returned in produced water.
Propping Agent	Keeps Fractures Open allowing for hydrocarbon production	Stays in formation, embedded in fractures (used to "prop" fractures open)
Scale Inhibitor	Prevent Scale in Pipe and Formation	Product attaches to the formation downhole. The majority of product returns with produced water while remaining reacts with microorganisms that break down and consume the product.
Surfactant	Reduce Surface tension of the treatment fluid in the formation and helps improve fluid recovery from the well after the frac is completed	Some surfactants are made to react with the formation, some are designed to be returned with produced water, or, in some formations they may enter the gas stream and return in the produced natural gas.

b.) Mesures à prendre pour réduire ces risques

Opération de nettoyage (Clean Out)

Le cleanout est l'opération de nettoyer le réservoir du fluide de fracturation injecté dans la formation [glossary.slb]

Dans le cadre de la préservation de l'environnement, il est fondamental de nettoyer la formation des additifs toxiques et radioactifs pour réduire leurs effets sur l'environnement.

Après l'opération de la fracturation hydraulique et sous l'effet des additifs chimiques, le fluide visqueux redevient moins visqueux, c.à.d. que les polymères sont dans ce cas non liés les uns aux autres dans la formation ou dans la fracture, où la perméabilité est limitée, ces polymères se coincent dans les pores et réduisent la perméabilité.

Nettoyer la formation du fluide de fracturation, constitue une double raison, où le fluide est pompé, ensuite évacué vers des centres spéciaux pour traitement.

Levage artificiel (*Artificial lifting*)

Le nettoyage de la formation se fait par la technique de **Levage artificiel**, cette technique consiste à pomper les fluides de fracturation vers la tête du puits.

Injecter de l'Azote dans le tubage pour réduire le poids du fluide dans la colonne du puits et faciliter le pompage du fluide non désiré.

Réduction de la toxicité

Dans la mer du nord, des agences des UK et Norvège[6], spécialisées dans le domaine, ont développé en ce sens des procédés très pointus, qui ont eu un impact très positif sur la réduction de la toxicité au moyen des applications chimiques anti-microbiologiques (**biocides** : pesticides, **sufactants** : détergents) à un taux considérablement acceptable. Ces derniers assurent le nettoyage et la désinfection des surfaces ou des parois de puits, tubage et fracture de l'activité bactérienne.

III.1.3. Risques liés aux autres Opérations

Puits mal cimenté

Un puits mal cimenté signifie que le tubage (*casing*) n'est pas bien collé à la formation comme il se doit, ce qui implique que la zone de contact casing-ciment ou ciment-formation est très vulnérable. Dans un tel puits, le fluide injecté à haute pression dans la formation peut s'infiltrer et s'insinuer dans la zone fragile mal établie en allant en haut ou en bas de la couche visée. Cette Infiltration peut atteindre des couches sensibles telles que les réserves d'eau, si toutefois, elles se trouvent près de la couche visée.

Puits épuisés

La fracturation hydraulique utilise des fluides dont la température ambiante, est basse comparée à la température des grandes profondeurs. L'injection de ces fluides de fracturation à haut débit de pompage, implique un refroidissement très rapide des puits, et cela signifie un rétrécissement rapide dans le diamètre du puits, qui risque d'endommager le tubage et de causer des cassures dans le même puits. A travers ces cassures, le fluide de fracturation hydraulique peut s'échapper et polluer le sol ou même des nappes d'eau avoisinantes.

III.1.4. Conclusion

Concernant la pollution des eaux souterraines, la fracturation hydraulique peut représenter selon les conditions, de très grands risques qui parfois, s'avèrent incontrôlables. Pourtant, plein de mesures et de dispositions sont prises pour diminuer ces risques. Avec une certaine discipline et une certaine application rigoureuse et précaution, le risque de contamination des eaux souterraines peut-être réduit à un niveau minimal acceptable.

L'impact de la fracturation hydraulique ne touche pas seulement le sous-sol (environnement géologique), mais aussi l'écosystème saharien et parfois la couche d'ozone (contribuant ainsi à l'accentuation de l'effet de serre).

III.2. Pollution de l'air

Le processus de la fracturation hydraulique engage une quantité considérable d'énergie pour le forage des puits, pressuriser les matériaux à injecter, transporter des équipements sur site...etc. Le processus lui-même injecte vers les profondeurs et pompe en surface une variété de produits chimiques volatils qui peuvent, s'ils ne sont pas traités et piégés, s'échappent librement vers l'atmosphère et polluent tout l'air atmosphérique de la région.

La pollution développée lors de l'opération de fracturation de la formation de gaz de schiste est équivalente à la quantité de celle de l'exploitation de gaz naturel conventionnel, mais pas par quantité de gaz produite.

III.3. Effet de serre

La fracturation hydraulique est une technique qui utilise de grandes quantités d'énergie (énergie des pompes d'injection des fluides de fracturation hydraulique). Cette énergie qui doit être générée et utilisée sur site (est généralement loin des infrastructures énergétiques) par des générateurs qui utilisent des carburants émettant des gaz à effet de serre. En effet, une fois la fracturation est achevée et le puits commence à produire du gaz, il se peut qu'il y ait des fuites de méthane (CH_4) et autres gaz à effet de serre vers l'atmosphère, sciemment, si le puits est mal foré. D'autant plus que le torchage des gaz dû à la fracturation hydraulique produit aussi certains gaz à effet de serre tels le CO_2 , etc.

Gestion des Risques

Dans tout développement réalisé par l'homme, certains risques ont été pris, et cela s'applique aussi aux pratiques de développement d'exploitation du gaz de schiste, qui s'avère clairement comme une opération très risquée selon les conditions. C'est la raison pour laquelle, les procédures de la gestion des risques sont cataloguées et assujetties aux *normes ISO-31000* ou une norme équivalente, qui prennent aussi en considération les activités spécifiques à l'exploitation de gaz de schiste ^[10].

- **Préparation d'urgence pour les risques sur l'environnement**

Pour veiller scrupuleusement à la sauvegarde de l'environnement et empêcher sa dégradation sur les lieux de l'exploitation du gaz de schiste ^[10], une série de mesures de précautions et de préparation d'urgence obligatoire doivent être prises en considération durant toutes les opérations de fracturation.

- **Evaluation d'impacts environnementaux**

Une évaluation d'impacts environnementaux (*Environmental Impact Assessment EIA*) doit être établie et revue ultérieurement par un expert indépendant. Cette évaluation est adaptée selon la complexité du processus d'exploitation.

1. **Meilleure technique disponible et meilleure pratique environnementale**

L'évaluation de la meilleure technique disponible (*Best Available Technique BAT*) et de la meilleure pratique environnementale (*Best Environmental Practices BEP*), doit être établie, à l'étape de conception des activités de l'exploitation du gaz de schiste, par l'approche d'analyse du risque acceptable nommée *ALARP* (*As Low As Reasonably Possible*).

2. **Produits chimiques**

La fracturation hydraulique utilise des produits chimiques qui sont nocifs pour l'environnement, de surcroît, un impact potentiel de stockage est à prévoir, d'où les dispositions d'utilisation de ces produits chimiques seront prises pour qu'ils soient réduits au maximum tout en permettant une opération raisonnablement faisable.

Approche environnementale sur l'exploitation de gaz de schiste en Algérie

1. Introduction

Dans le cadre de la mise en évidence des réserves de gaz de schiste en Algérie et les études d'exploitabilité de ces dernières, le projet d'exploitation de gaz de schiste a été lancé. Ceci a provoqué un grand dilemme concernant l'impact de la fracturation hydraulique sur l'environnement, avec des preuves tangibles que la fracturation hydraulique peut causer une pollution de la nappe d'eau dans la région d'In Salah, située au centre de la plateforme saharienne. Cette question nécessite d'être amplement vérifiée au moyen des analyses et évaluations avec des éléments physiques réels explicatifs et indicatifs. Cette petite partie met en question un seul paramètre (celui de la distance séparant l'aquifère Albien des couches productrices de gaz à exploiter) concernant les risques de la fracturation hydraulique sur la pollution de la nappe albienne dans la région d'In Salah en Algérie qui est la distance séparant le réservoir du gaz de schiste de la nappe Albienne.

2. Réserves

Selon un classement mondial des réserves de gaz de schiste répertoriées, l'Algérie détient **707 Tcf** (*Trillion cubic feet* = Trillion de pied cubique) de gaz de schiste, ce qui lui a permis d'être classée à la quatrième place en terme de réserves mondiales en gaz de schiste. Ses réserves, 9% du gaz de schiste du total mondial, représente la première richesse énergétique du pays.

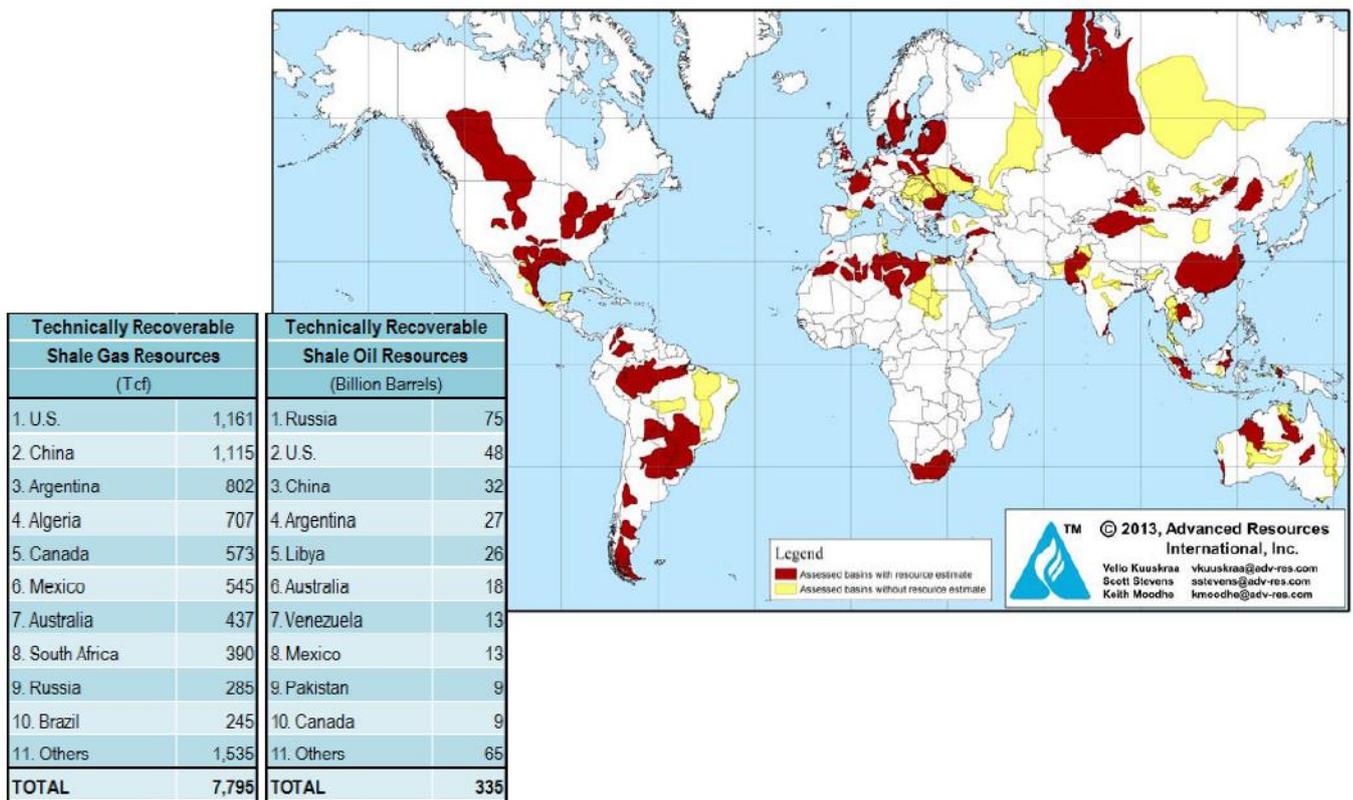


Figure 5 : Réserves mondiales en gaz de schiste et pétrole de schiste^[2]

3. Nappe continentale

La région de **Touat-Gourara** et **Tidikelt** est l'ensemble de la région d'In Salah, où l'exploitation de gaz de schiste a débuté en association avec la compagnie pétrolière **Total**. Dans cette région, suite aux sondages de valorisation des ressources en eaux souterraines, l'Agence Nationale de Gestion Intégrée des Ressources en Eau, a communiqué dans leurs rapports officiels les données qui sont consignées dans le tableau 2) suivant. D'après cette agence, la seule réserve hydrique souterraine présente est la nappe albienne qui se trouve à 150m de la surface topographique.

Tableau 2 : Profondeur de la nappe albienne dans la région d'In Salah^[8]

Région du Touat-Gourara et Tidikelt

Nappe	Profondeur (m)	Niveau Statique(m)	Débit (l/s)	RS(g/l)
Albien	150	5	20	1/2

Profondeur des réserves de gaz de schiste

Les profondeurs des réserves algériennes en gaz de schiste dans la région d'In Salah se trouvent à des profondeurs de 1500m à 3000m sous la surface topographique. A titre d'illustration, le forage du premier puits-pilote (**AHT1- H2**) de gaz de schiste en Algérie, a été entamé en août 2008, situé à une profondeur de 1.800m en vertical et de 2.000m en horizontal^[9].

Il est évident que, dans le cas d'In Salah, la nappe albienne est loin du niveau de la fracturation hydraulique du gaz de schiste; située pratiquement à un intervalle de 1650m.

Conclusion

La fracturation hydraulique est une technique en cours de développement et que ses risques ne sont pas encore bien cernés. Son utilisation en Algérie est considérée comme précoce selon certains experts environnementalistes, mais avec le risque de contaminer la nappe continentale Albienne paraît minime vu la grande distance entre le niveau de fracturation hydraulique et la profondeur de la nappe, qui est de 1650m. Ceci, ne met pas en écart l'implication de la fracturation hydraulique dans la pollution des aquifères d'eaux, mais il n'en demeure pas moins de vérifier s'il n'y a pas d'autres opérations qui sont susceptibles de causer la pollution de la nappe albienne à In Salah tel que le forage qui est considéré comme une opération fortement polluante du sous-sol. La problématique concernant l'impact de la fracturation hydraulique et de l'exploitation de gaz de schiste sur l'environnement en Algérie constitue un vaste sujet de recherche qui n'est qu'à ses débuts.

Impact sur le développement des autres secteurs

Avec les ressources en gaz et en pétrole conventionnels qui sont entrain de baisser, ainsi que la baisse des prix des hydrocarbures, les autorités Algériennes ont opté pour le gaz de schiste comme alternative aux sources d'énergies, bien qu'elles soient conscientes de ce qui a déjà été discuté précédemment dans ce travail relatif aux risques aussi bien sur l'environnement que sur l'économie. Cette orientation concentrée sur l'exploitation de gaz de schiste, a affaibli l'opportunité de développer les autres secteurs d'Industries et exploitation de l'énergie solaire, etc.

Conclusion Générale

Il est important de souligner à la fin de ce travail, qu'il n'y a pas de progrès sans prendre des risques, ceci s'applique à toutes les disciplines relatives au développement et à l'utilisation des différents types d'énergie, dérivant des hydrocarbures conventionnels ou non conventionnels, géothermique, éolien, solaire, hydro-électrique, nucléaire, etc.

La prise de conscience des risques dus à la fracturation hydraulique met en lumière les problèmes dont il faut faire face afin d'assurer un développement cohérent et en harmonie avec les normes du respect et de sauvegarde de l'environnement naturel. Les techniques de fracturation hydraulique diffèrent d'une entreprise d'exploitation à une autre, et malheureusement aucune ne partage ses secrets techniques et technologiques avec l'autre, souci de veille technologique oblige. Ceci ne facilite pas la tâche aux pétroliers et ne rassure guère les environnementalistes non plus. La transparence est nécessaire en de pareilles circonstances, afin de mettre en évidence les risques encourus et de travailler en coordination dans l'objectif premier est de maîtriser ou à la limite, diminuer les risques à un niveau acceptable.

Ce modeste travail de recherche ne constitue pas un document exhaustif sur les risques de la fracturation hydraulique, non plus sur les mesures à prendre ou les procédures à adopter afin de les réduire. Par conséquent, on estime qu'il est considéré comme une introduction à un travail de recherche plus avancé, visant à mettre en exergue les points fondamentaux qui ne sont pas encore élucidés.

Références bibliographiques

[1] <http://www.total.com/en/energies-expertise/oil-gas/exploration-production/strategic-sectors/unconventional-gas/presentation/three-main-sources-unconventional-gas?FFbw=kludge1FF>.

[2] Michael J. Economides, « **Modern Fracturing: Enhancing Natural Gas Production** », Publishing-2007. BJ Services Company.

[3] <http://fracfocus.org/water-protection/drilling-usage>

[4] <http://fracfocus.org/chemical-use/>“ **why-chemicals-are-used** ”.

[5] Kenneth P. Green, « **Managing the risks of hydraulic fracturing** », Décembre 2014. Fraser Institute.

[6] SPE 101, frac-paper 152596 – “ **Hydraulic fracturing** ”

[7] Agence de Bassin Hydrographique Sahara Ministère des Ressources en Eau - Agence nationale de : **Gestion Intégrée des Ressources en Eau**.
http://www.abhs.dz/php/fr/caracteristique_par_region.php

[8] Vello A. Kuuskraa, Scott H. Stevens, Keith D. Moodhe, « **WORLD SHALE GAS AND SHALE OIL RESOURCE ASSESSMENT** », May 2013. ADVANCED RESOURCES INTERNATIONAL, INC

[9] Sonatrach « **Premier forage pilote de gaz de schiste en Algérie** » - Extrait du Portail Algérien des ENERGIES RENOUVELABLES, Décembre 2014.

[10] DET Norsky Veritas AS, « **Risk Management of Shale Gas Developments and Operations** », Janvier 2013. DVN Risk Management Services.