

Ministère de l'Enseignement Supérieur

Et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun de Tiaret

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences de la Nature et de la Vie



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master II

Filière : Biologie

Spécialité : BIODIVERSITE ET CONSERVATIONS DES ECOSYSTEMES
FORESTIERS

THEME : Contribution à l'étude de l'impact de l'extraction de gaz de schiste sur la biodiversité végétale

Membres du jury :

Présenté par : M^{elle} BEN MOUSSA Amina

Président: M^r ZRARKA A

Examineur: M^r OUNES M

Promoteur: M ZOUBEIDI M

Co-promoteur : M REZZOUG W

Année universitaire : 2014 – 2015

REMERCIEMENTS

*Je remercie au préalable **ALLAH** pour m'avoir donné la vie, la santé, le courage, la force de parvenir à bout de ce travail.*

*Mes remerciements s'adressent à **M. ZOUBEIDI M** et **M REZZOUG O** pour avoir accepté d'être mes encadreurs et pour, leur encouragement, leur présence, leur suivi tout au long du travail et leur patience. Ma haute considération leur est dédiée pour n'avoir ménagé aucun effort dans la réalisation de cette modeste initiation à la recherche.*

*Je remercie également **M ZRARKA A** d'avoir accepté de présider le jury.*

*Tout comme je remercie vivement **M OUNES M** qui a accepté d'examiner ce travail.*

*Il m'est un devoir, voire une obligation d'exprimer ma profonde gratitude aux personnes qui de près ont contribué à la réussite de ce travail. C'est donc avec un cœur plein de joie et de reconnaissance que je remercie mon cousin **AIT AMRANE ABDELAZIZ** ainsi que mon très chère ami **BENOUADAH MOHAMED HICHAM** pour leur présence et leur soutien. Vous avez été un grand soulagement pour moi.*

Mes remerciements s'adressent aussi tous mes amis pour leur présence régulière quand j'en avais le plus besoin.

Je souhaite témoigner toute ma tendresse à mes parents et ma grande famille, qui m'ont accompagnée et soutenue tout au long de ce parcours.

Je tiens à remercier mes amies depuis l'école primaire jusqu'à aujourd'hui d'avoir participé à rendre cette aventure formidable.

Résumé :

La présente étude caractérise les différents types de gaz non conventionnels. Elle décrit le gaz de schiste ainsi que ses techniques d'extraction et expose les risques de ce gaz sur la biodiversité végétale.

Elle cherche à mettre en évidence l'importance de l'implantation de l'industrie de gaz de schiste en Algérie. Ce qui nous a permis suivant l'approche de SWOT de dégager les Forces, les Faiblesses, les Opportunités et les Menaces de ce gaz.

Mots clés : Gaz non conventionnels, Gaz de schiste, Techniques d'extraction, Biodiversité végétale, Algérie, SWOT.

Abstract:

This study characterizes the different types on non-conventional gases. It described shale gas and his extraction techniques and exposes the risks of this gas on plant biodiversity.

It seeks to highlight the importance of the implementation of the shale gas industry in Algeria. This allowed us following SWOT approach to identify the Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats of the gas.

Keywords: Non-conventional gases, Shale gas, Extraction techniques, Plant biodiversity, Algeria, SWOT.

ملخص:

هذه الدراسة تميز أنواع مختلفة من الغازات غير التقليدية. وصفت الغاز الصخري وتقنيات استخراجه وعرضت مخاطر هذا الغاز على التنوع البيولوجي النباتي.

وهي تسعى إلى تسليط الضوء على أهمية تنفيذ صناعة الغاز الصخري في الجزائر. هذا سمح لنا بعد نهج لتحديد نقاط القوة والضعف والفرص والتهديدات من هذا الغاز.

كلمات البحث : الغازات غير التقليدية، الغاز الصخري، وتقنيات الاستخراج، التنوع البيولوجي النباتي، الجزائر، SWOT.

Liste des abréviations	V
Liste des figures	VI
Liste des tableaux	VII
INTRODUCTION GENERALE.....	2
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	3
CHAPITRE I : LES GAZ NON CONVENTIONNELS.....	4
Introduction :.....	5
I.1 Définition	5
I.2. La formation des réservoirs de gaz et de pétrole :	5
I.2.1. Étape 1 : le dépôt de matière organique.....	5
I.2.2. Étape 2 : la sédimentation	6
I.2.3.Étape 3 : la migration et le piège	7
I.3. Les principaux types de GNC	8
I.3.1. Le gaz de schiste	8
I.3.2. Le gaz de houille	8
I.3.3. Le gaz de réservoir compact.....	8
I.3.4. Hydrates de méthane	9
CHAPITRE II : LE GAZ DE SCHISTE ET SES TECHNIQUES D'EXTRACTION	11
II. Le gaz de schiste :.....	12
II.1. Techniques d'extraction :.....	12
II.1.1. La fracturation hydraulique.....	13
II.1.2. Forages horizontaux ou directionnels.....	14
II.1.3. Puits multilatéraux	15
II.2. Le cadre règlementaire :.....	17
II.2.1. La phase d'exploration :.....	17
II.2.2. La phase d'exploitation :.....	17
CHAPITRE III : GENERALITES SUR LE GAZ DE SCHISTE	20
III. Introduction :.....	21
III.1. La production de gaz de schiste	21
III.2. Profil de production des puis	22
III.3. Qualité, quantité et coûts de production :	22
III.3.1. Qualité de la production :	22

III.3.2. Quantité de production :	22
III.3.3. Les coûts de production :	22
III.4. Les gisements de ressources non conventionnelles dans le monde:	23
III.5. Cas de l'Algérie.....	25
CHAPITRE IV : LES RISQUES POUR LABIODIVERSITE DE L'EXPLOITATION DU GAZ DE SCHISTE	28
IV.1. La biodiversité.....	29
IV.2. Les biens et services des écosystèmes	29
IV.3. Les principales menaces de la biodiversité :	30
IV.4. Les risques que peut causer l'exploitation du gaz de schiste pour la biodiversité.....	31
IV.4.1. Fragmentation et destruction des milieux naturels.....	31
IV.4.2. La pollution de l'eau :	31
IV.4.2.1. Effets de la pollution de l'eau sur la faune et la flore	32
IV.4.2.2. Routes de contamination de l'eau souterraine et de surface.....	33
IV.4.3. Pollution atmosphérique et changements climatiques	35
IV.4.3.1 Pollution atmosphérique	35
IV.4.3.2. Changements climatiques	36
IV.4.4. Aperçu des autres sources de risques pour la biodiversité	38
IV.4.4.1. Gestion des matériaux d'extraction	38
IV.4.4.2. Gestion des eaux usées	38
IV.4.4.3. Risques de séismes	39
IV.4.4.4.Déficit hydrique.....	39
IV.4.4.5. Bruit et lumière.....	39
APPROCHE METHODOLOGIQUE.....	41
1. Objectif :	42
2. Matrice de SWOT :	42
2.1. Dénomination :	42
RESULTATS ET DISCUSSION	44
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	47
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	50
ANNEXE	54

LISTE DES ABREVIATIONS

AIE : Agence Internationale de l'Énergie

ALNAFT : Agence Nationale pour la Valorisation des Ressources en Hydrocarbures

ARH : Autorité de Régulation des Hydrocarbures

BAD : Banque Africaine de Développement

COV : Composés Organiques Volatils

EIA : Energy Information Administration

EPA : Environmental Protection Agency

ESA : État stable alternatif

GES : Gaz à effet de serre

GNL : Gaz Naturel Liquéfié

IFPEN : Institut Français du Pétrole, Énergie Nouvelle

PRI : Publique Radio International

STD : Solides Totaux Dissouts

Figure 01 : le dépôt de la matière organique

Figure 02 : La sédimentation

Figure 03 : La migration

Figure 04 : Pyramide des différentes sources de gaz naturel selon la quantité de la ressource et la difficulté à l'exploiter

Figure 05: Localisation géologique des gaz non conventionnels

Figure 06 : principe de la fracturation hydraulique

Figure 07 : Principe du forage directionnel

Figure 08 : Utilisation combinée des techniques de fracturation hydraulique et du forage horizontal

Figure 09 : Exemple de puits multilatéraux

Figure 10 : Couverture d'une zone donnée par plusieurs puits utilisant les techniques de forages directionnels et puits multilatéraux et de fracturation hydraulique

Figure 11 : Techniques de production de gaz de schiste

Figure 12 : les différentes voies de contamination par du gaz ou des fluides de fracturations à travers le ciment

Figure 13 : Localisation des ressources non conventionnelles dans le monde

Figure 14 : Les bassins de gaz de schiste identifiés en Algérie.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Estimation de la durée d'exploitation d'un site d'exploitation de gaz de schiste (puits multilatéraux, 6 forages horizontaux avec fracturation hydraulique)

Tableau 02 : Gisement de gaz naturel techniquement exploitable par type et par région (AIE, 2012)

Tableau 03 : Gisements techniquement exploitables de gaz de schiste, réserves prouvées de gaz conventionnel et production gazière actuelle en milliers de milliards de pieds cubes estimés par ARI (EIA, 2013)

Tableau 4 : Matrice de SWOT

Tableau 5 : Résultats de l'analyse de SWOT

INTRODUCTION GENERALE

Alors qu'on entend dire depuis des décennies que les ressources fossiles (gaz et pétrole) s'épuisent et que la production d'hydrocarbures était amenée à ne plus pouvoir assumer la hausse des besoins, une révolution rapide et silencieuse s'est produite ces dernières années. En effet, depuis 2006 la production de gaz aux Etats-Unis est en croissance continue, ce qui amène des bouleversements géopolitiques majeurs dont les issues ne sont que très mal maîtrisées. Cette hausse soudaine de production de gaz en Amérique du nord a été possible par l'accès massif à des ressources dites non conventionnelles, dont les gaz de schistes sont l'expression la plus courante. Sous l'impulsion de l'exemple américain, l'exploration et l'exploitation d'hydrocarbures non conventionnels sont en cours de développement dans de nombreux autres pays. Cette fièvre des gaz de schistes est à l'origine de nouveaux débats enflammés car des questions restent ouvertes sur la réalité de l'innocuité environnementale des techniques d'extraction, mais aussi sur le bien-fondé de continuer à développer l'exploitation de ressources fossiles.

Le développement du gaz de schiste en Amérique du Nord bouleverse le marché mondial ce qui nous appelle à une réflexion sur les mutations en cours. Selon les publications de l'EIA, une part importante de ressources en gaz non conventionnel (gaz de schiste) a été identifiée en Algérie. Toutefois, il ne serait possible d'intégrer ce marché, que si ce gaz peut être exploité de façon fiable, viable et vivable.

Cette ressource sera-elle amenée à jouer un rôle important dans le développement de l'économie Algérienne ? Et que pourraient être les conséquences de son exploitation ?

Notre objectif vise à évaluer l'importance du gaz de schiste pour l'Algérie.

Nous allons connaître les différents gaz non conventionnels dans le premier chapitre. Nous parlerons dans le deuxième chapitre du gaz de schiste et à ses techniques d'extraction. Dans le troisième chapitre nous évoquerons l'impact de l'extraction du gaz de schiste pour la biodiversité et nous nous intéresserons à la production de ce gaz dans le quatrième chapitre.

Suivant l'approche de SWOT dans le cinquième chapitre nous identifierons les points forts, les points faibles, les opportunités et les menaces que peut présenter le gaz de schiste.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : LES GAZ NON CONVENTIONNELS

Introduction :

Dans le sous-sol, les hydrocarbures sont piégés dans des roches dites « réservoir ». Malgré cette appellation, il ne s'agit pas de vastes poches continues, mais de minuscules pores entre les grains qui forment la matrice de ces roches.

Les gaz non conventionnels, plus connu sous l'appellation de gaz de Schiste, ont fait leur apparition en 2008 sur le marché mondial, même si l'on en connaît depuis longtemps l'existence. Cela a bouleversé la donne énergétique aux Etats-Unis, et donc sur le marché mondial, eu égard à la part de ce pays dans la production et la consommation mondiales d'énergie. Pour l'instant, les autres états ne sont pas concernés, mais ils pourraient le redevenir rapidement. Les ressources en gaz non conventionnel semblent en effet considérables, et celui-ci pourrait constituer l'énergie du futur, à un moment où le nucléaire connaît quelques difficultés, et dans la mesure où il s'agit de la moins polluante des énergies fossiles, en termes d'émission de gaz à effet de serre. C'est en tout cas un facteur important d'indépendance énergétique pour les pays qui ont la chance de disposer de telles ressources (M.Percebois, 2012).

I.1 Définition

Le gaz non conventionnel est un gaz naturel composé essentiellement de méthane. La particularité de ce gaz pas rapport au gaz conventionnel provient des techniques avancées, non conventionnelles, que nécessite son extraction et non de sa nature chimique (M.Percebois, 2012).

Selon Ladislav 2012 l'appellation des gaz non conventionnels provient des caractéristiques géologiques de la roche qui les contient.

I.2. La formation des réservoirs de gaz et de pétrole :

Le pétrole et le gaz sont issus de la transformation de matières organiques (algues, plancton...) dans un processus qui dure plusieurs millions d'année (Ladislav, 2012).

I.2.1. Étape 1 : le dépôt de matière organique

La matière organique, composées essentiellement de carbone (C), d'hydrogène (H), d'azote (N) et d'oxygène (O₂), s'oxyde ou est souvent détruite par des organismes vivants. A l'oxygène, se combinent les molécules d'hydrogène et forment l'eau (H₂O), et les molécules

de carbone et forment du CO₂. La matière organique qui se dépose au fond des lacs et des océans se mélange à des matières minérales. Loin de l'oxygène et des organismes vivants et sous l'effet de la température, de la pression et du temps, la future roche mère, où seront produits les hydrocarbures, est ainsi formée (Ladislav, 2012).

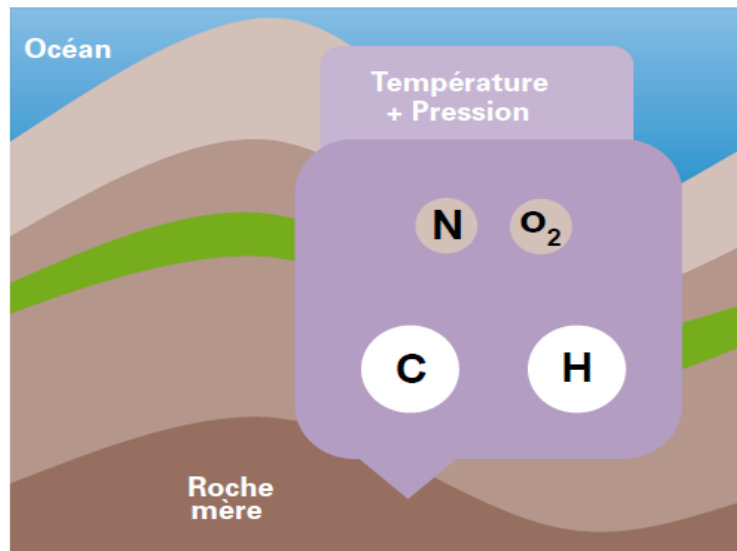


Fig 01: le dépôt de la matière organique (Total in Ladislav, 2012)

I.2.2. Étape 2 : la sédimentation

Sur cette roche mère, des sédiments se déposent et sous le poids des couches successives elle s'enfonce de plus en plus en profondeur. La température et la pression qui augmentent entre 2000 m et 5000 m, conduisent à des réactions chimiques qui transforment les molécules de carbone et d'hydrogène en kérogène, puis en hydrocarbures (pétrole et gaz).

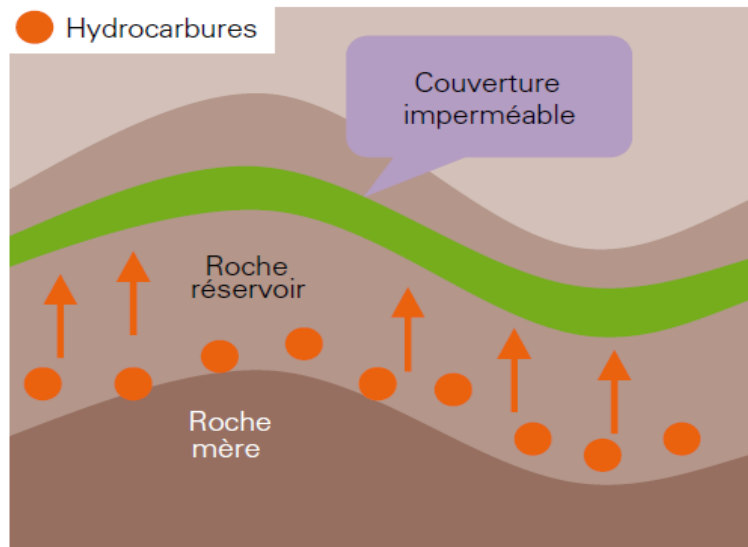
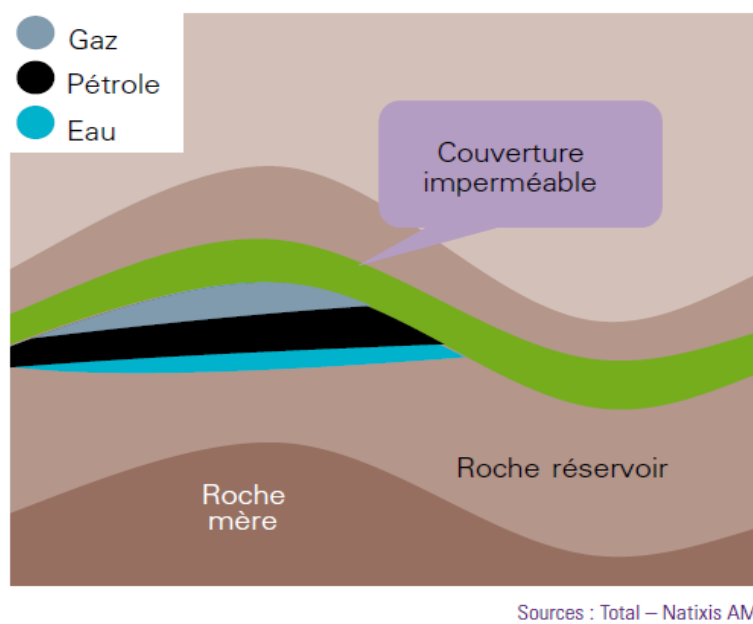


Fig 02 : La sédimentation (Total *in* Ladislav, 2012)

I.2.3.Étape 3 : la migration et le piège

Les molécules d'hydrocarbures remontent en surface à travers les fentes et les porosités des roches. Les molécules les plus volatiles s'échappent dans l'atmosphère, les plus lourdes s'oxydent près de la surface sous forme de bitume. En remontant, si ces molécules rencontrent une couche imperméable qui les empêche de migrer vers la surface, elles s'accumuleront dessous et constitueront ainsi la roche réservoir.



Sources : Total – Natixis AM.

Fig 03 : La migration (Total *in* Ladislav, 2012)

I.3. Les principaux types de GNC

Les gaz non conventionnels recouvrent principalement trois types de gisements dont l'exploitation répond à des problématiques communes : le gaz de schiste (ou *shale gas*), le gaz de réservoir compact (*tight gas*) et le gaz de houille ou de charbon (*coal bed methane*) (IRIS, 2012).

I.3.1. Le gaz de schiste

Le gaz de schiste est un gaz naturel contenu dans le schiste (roche mère) et qui présente une faible capacité à circuler dans cette dernière. Les formations de schiste sont riches en matière organique et représentent la source d'origine du gaz (IRIS, 2012).

I.3.2. Le gaz de houille

Le gaz de houille ou gaz de charbon (*CBM*, pour *Coalbed Methane*) est un gaz naturel présent dans les veines de charbon profondes (entre 800m et 1200m de profondeur), ces formations peuvent aussi être très peu profondes, à quelques centaines de mètres (IFPEN 2011).

Le processus de formation du charbon implique en effet la production de méthane, qui peut se retrouver sous la forme de poche : le grisou. Il peut aussi être absorbé par le charbon, il s'agit alors du gaz de charbon. Les gaz de charbon sont généralement produits dans des veines de charbon trop profondes ou de trop mauvaise qualité pour en exploiter le charbon. Le gaz peut également être produit lors de l'exploitation de mines de charbon, afin de limiter les risques d'explosion et de fournir une source d'énergie pour l'exploitation de la mine (Ladislas, 2012).

I.3.3. Le gaz de réservoir compact

Le gaz de réservoir compact est un terme générique pour tout gaz naturel résidant dans une formation peu perméable. On classifie généralement comme gaz de réservoir compact tout réservoir de gaz à faible perméabilité qui ne puisse être exploité de façon rentable sans technologie de stimulation de l'écoulement du gaz vers le puits – telle que la fracturation hydraulique (AIE, 2013).

Les gaz de réservoirs compacts (*tight gas* en anglais) sont assez proches du gaz conventionnel, car ils ont réalisé leur migration vers une roche réservoir. La seule différence avec le gaz conventionnel vient du fait que la roche réservoir a une faible perméabilité, ce qui rend plus difficile l'exploitation du réservoir. Les différences entre gaz conventionnel et gaz de réservoirs compacts étant assez réduites, certains pays comptabilisent ces ressources dans leurs réserves de gaz conventionnel. Les gaz de réservoirs compacts sont généralement situés à une profondeur comprise entre 1 500 m et 3 000 m (Ladislas, 2012).

Gaz de schiste, gaz de réservoirs compacts et gaz de charbon sont les seuls gaz non conventionnels actuellement exploités et qui devraient continuer à être développés dans les années à venir. Il existe toutefois un quatrième type de gaz non conventionnel: les hydrates de méthane (Ladislas, 2012).

I.3.4. Hydrates de méthane

Les hydrates de méthane sont une « autre » ressource de gaz non conventionnel présentant des réserves potentiellement très importantes (plusieurs fois supérieures aux réserves de gaz conventionnel). Les hydrates de méthane sont des molécules de méthane issues de la décomposition de matières organiques, qui se sont « associées » à des molécules d'eau dans certaines conditions (fortes pressions, faibles températures, faibles quantités de méthane). Ce processus de transformation du méthane en hydrate de méthane a concrètement lieu sous des sols gelés en permanence (pergélisols ou permafrost) et dans les sédiments océaniques (Ladislas, 2012).

Il s'agit de cristaux de glace composés d'eau emprisonnant du méthane. Ces hydrates se trouvent pour l'essentiel dans les fonds marins (à plus de 1500 m de profondeur) ou dans le pergélisol (permafrost) (à 200 m de profondeur). Son exploitation n'est pas connue pour l'instant et sera sans doute probable de se faire via des techniques d'injection d'eau chaude ou de produits chimiques (IRIS, 2012).

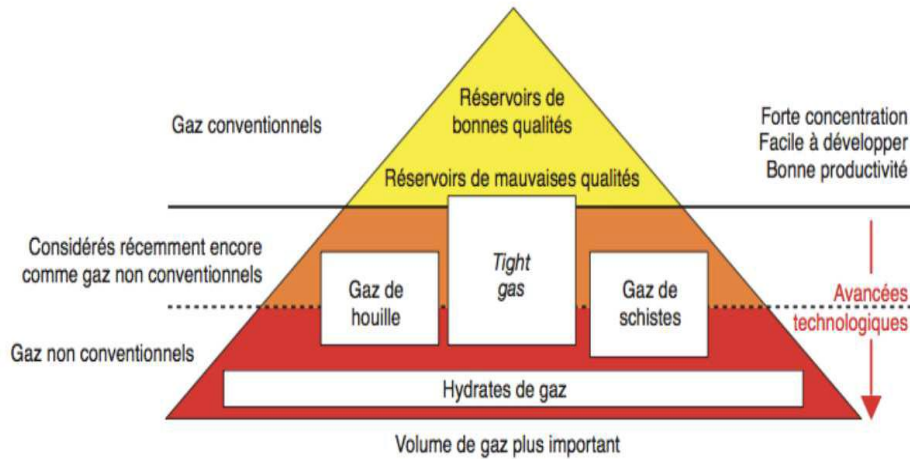
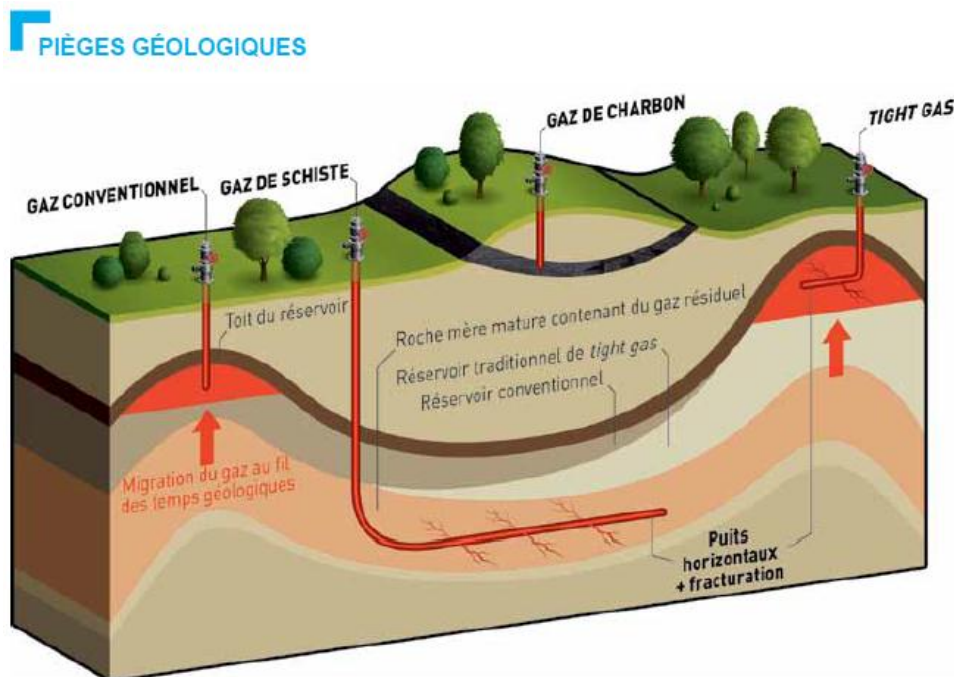


Fig 04 : Pyramide des différentes sources de gaz naturel selon la quantité de la ressource et la difficulté à l'exploiter (IFPEN 2011).

Les gisements d'hydrocarbures non conventionnels se localisent dans des profondeurs différentes, ils peuvent se situer dans les mêmes régions que les hydrocarbures conventionnels et plusieurs types d'hydrocarbures non conventionnels peuvent aussi se situer dans les mêmes régions (Franck Marco, 2013).



Réservoirs ultra-compacts, roche-mère, veine de charbon : les gaz non conventionnels se différencient par leur localisation géologique.

Fig 05: Localisation géologique des gaz non conventionnels (Total, 2012)

CHAPITRE II : LE GAZ DE SCHISTE ET SES TECHNIQUES D'EXTRACTION

II. Le gaz de schiste :

Les experts sont unanimes à désapprouver l'emploi du mot « schiste », qui provient d'une mauvaise traduction de l'anglais « *shale* ». En français, le mot « schiste » est employé pour désigner soit une roche sédimentaire argileuse (en anglais, *shale*), soit une roche dite métamorphique, obtenue en raison d'une augmentation très élevée de la pression et de la température (en anglais, *schist*). Seule la première catégorie de schiste est susceptible de renfermer des hydrocarbures. C'est pourquoi il paraît préférable de parler d'hydrocarbures de roche-mère ou, en faisant allusion à leurs modes d'exploitation, d'hydrocarbures non conventionnels (Jean-Claude et Christian, 2013).

Le gaz de schiste est un gaz naturel composé essentiellement de méthane, sa particularité par rapport au gaz conventionnel provient du fait que ces gaz n'ont pas encore effectué leurs migrations et sont donc emprisonnés dans la roche (IRIS, 2012).

Le gaz de schiste est le même combustible que celui extrait des gisements de gaz conventionnel terrestres, mais logé dans des formations géologiques différentes. Ces formations requièrent de nouvelles techniques d'extraction, qui génèrent des problèmes écologiques que ne posent pas le gaz conventionnel. Les gisements de gaz de schiste se situant généralement sur des sites géographiques différents de ceux des gisements de gaz conventionnel.

II.1. Techniques d'extraction :

La très faible perméabilité des gisements non conventionnels implique que les hydrocarbures ne circulent pas librement au sein de ces derniers. Ainsi, si l'on implantait un simple forage à travers de telles unités géologiques, le gaz ne parviendrait pas à s'échapper librement et seules de très faibles quantités seraient libérées. Pour pouvoir exploiter le gaz que renferment les très petits pores de ce type de roche, il convient de la drainer en lui donnant une perméabilité artificielle. Autrement dit, pour rendre économiquement viable ce type de gisement, il va falloir stimuler la production afin d'en extraire plus de gaz qu'il n'en sortirait naturellement (Michel, 2013).

Même si l'exploitation des gaz conventionnels nécessite de fortes compétences techniques, mais son principe d'extraction est relativement simple. Les réservoirs de gaz

étant sous pression, il suffit de les connecter à la surface à un forage vertical et le gaz remonte naturellement dans le tuyau de forage.

II.1.1. La fracturation hydraulique

Pour rendre rentable l'exploitation des gaz présents dans des roches peu perméables, il est nécessaire de créer artificiellement cette perméabilité. La technique utilisée, appelée « fracturation hydraulique », consiste à injecter dans le gisement un mélange d'eau, de sable et de produits chimiques à haute pression et en grande quantité : l'eau sous pression permet de fracturer la roche et le sable de maintenir les fractures ouvertes. Cela permet au gaz de circuler. Les produits chimiques servent à faciliter l'opération : biocides limitant la croissance des bactéries, acide chlorhydrique permettant de dissoudre les morceaux de roches présents dans le tuyau, produits permettant de réduire les pertes par frottements, produits permettant de maintenir le sable en suspension dans l'eau... (Ladislav, 2012).

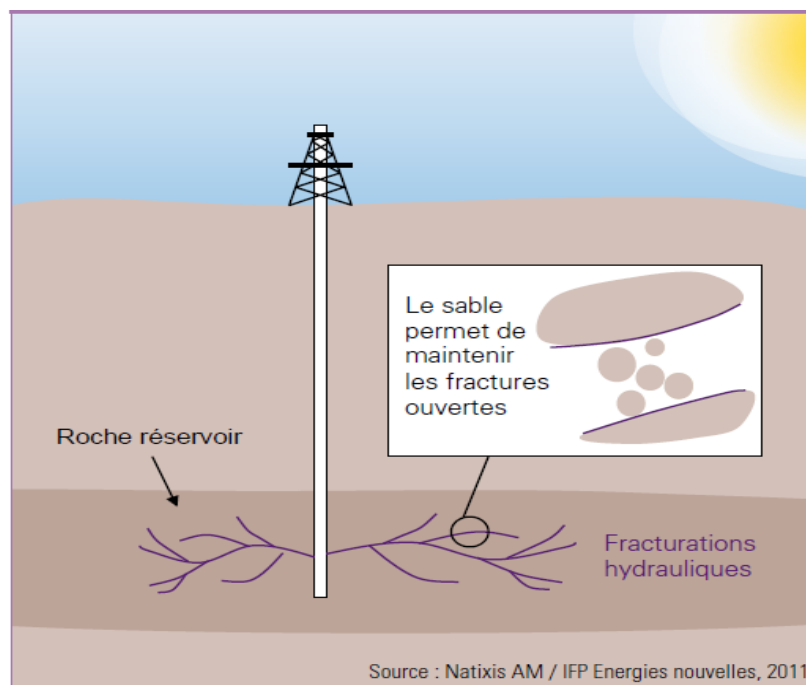


Fig 06 : principe de la fracturation hydraulique (IFPEN, 2011)

Il est important de noter que la fracturation hydraulique n'est pas une technologie nouvelle. Elle a été introduite commercialement par la société américaine Halliburton à la fin des années 1940. Le recours à la fracturation est systématique dans l'exploitation des gaz de

CHAPITRE II : LE GAZ DE SCHISTE ET SES TECHNIQUES D'EXTRACTION

schiste et des gaz de réservoirs compacts. Elle est aussi fréquemment utilisée pour l'exploitation des gaz de charbon. Cette technologie est également utilisée pour améliorer le taux de récupération de gisements traditionnels, de gaz comme de pétrole (Ladislas, 2012).

II.1.2. Forages horizontaux ou directionnels

Les forages directionnels sont une autre technique ayant permis d'améliorer considérablement les taux de récupération pour les réservoirs avec une faible perméabilité. Les réservoirs d'hydrocarbures peuvent avoir des géométries très variables. Un forage directionnel permet d'orienter la direction du forage, afin de maximiser la surface de contact entre un puits de forage et un gisement, et, ainsi, d'améliorer le taux de récupération (Ladislas, 2012).

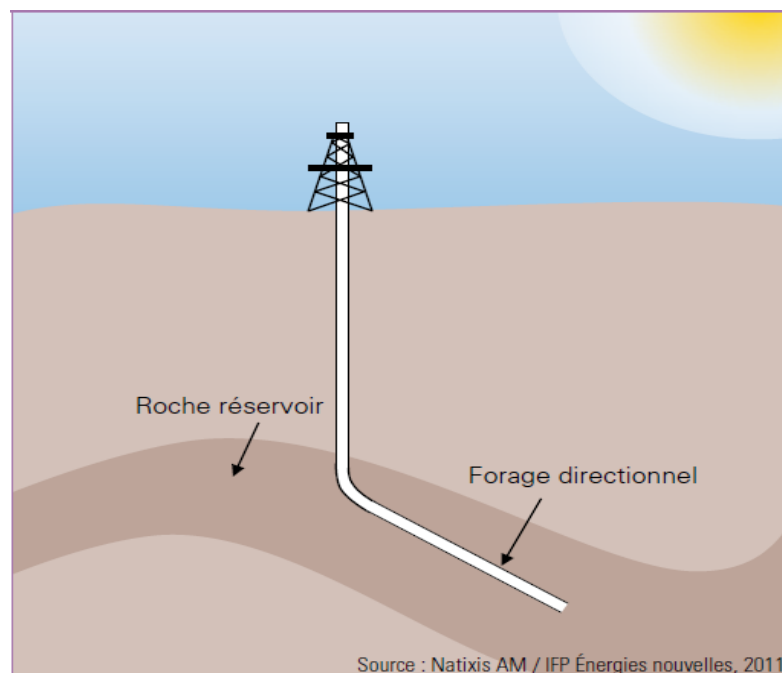


Fig 07 : Principe du forage directionnel (IFPEN, 2011)

Les puits conventionnels pouvaient déjà être inclinés de quelques degrés par rapport à la verticale. La technique de forage directionnel permet de réaliser des forages, où la section en profondeur sera à l'horizontal par rapport à la section verticale. La partie horizontale mesure en général aux alentours de 1 000 m à 2 000 m, même si des distances bien plus importantes sont possibles (le record dépasse les 10 000 m de longueur) (Ladislas, 2012).

Le schéma ci-contre illustre une utilisation combinée des deux techniques.

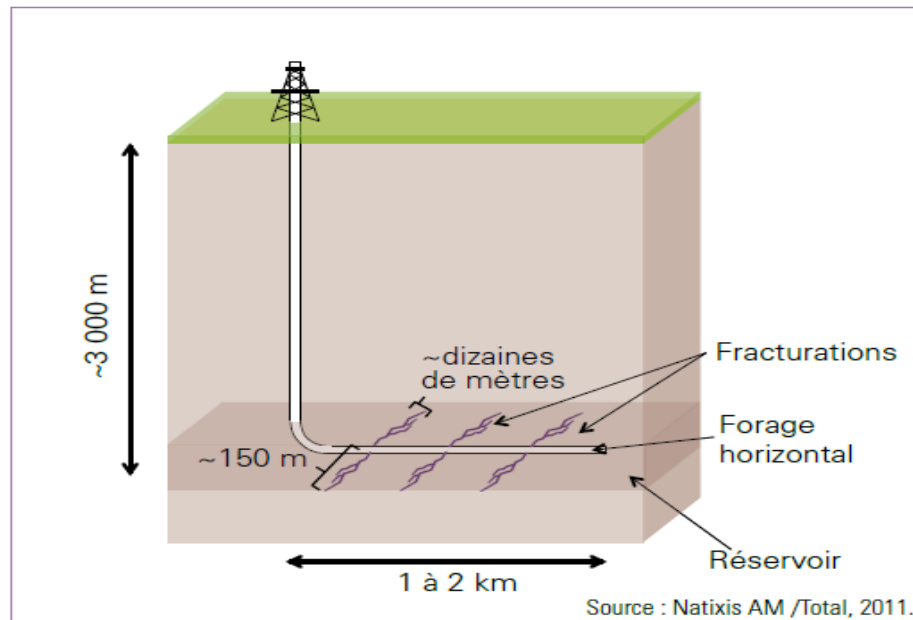


Fig 08 : Utilisation combinée des techniques de fracturation hydraulique et du forage horizontal (Total, 2011 *in* Ladislas, 2012).

C'est la combinaison des techniques de fracturation hydraulique et de forage horizontal, qui a pris son essor au cours des années 2000 dans le "Barnett Shale" au Texas, qui a permis une exploitation rentable des gaz de schiste. L'utilisation combinée de ces techniques est devenue quasi-systématique dans l'exploitation des gaz de schiste, de plus en plus fréquente dans l'exploitation des gaz de réservoirs compacts, et est parfois utilisée dans l'exploitation des gaz de charbon (Ladislas, 2012).

II.1.3. Puits multilatéraux

Afin d'optimiser un site de forage, il est aujourd'hui possible de réaliser plusieurs forages directionnels à partir d'un seul site. Cette technique, appelée « puits multilatéraux » (*multi-well pad* en anglais), permet également d'augmenter la quantité de gaz extraite par un seul site. Elle permet de réduire les coûts et le nombre de sites d'exploitation (Ladislas, 2012).

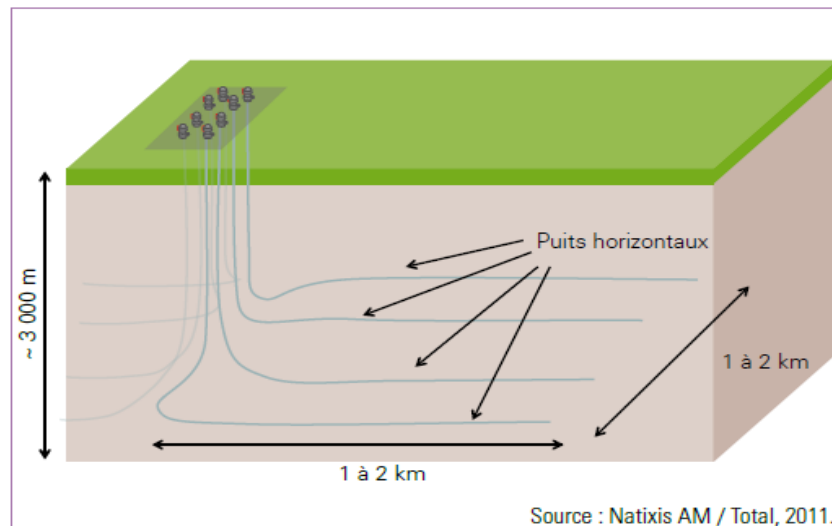


Fig 09 : Exemple de puits multilatéraux (Total, 2011 *in* Ladislav, 2012)

Cette technique de puits multilatéraux est également utilisée en combinaison avec la fracturation hydraulique et les forages horizontaux. La combinaison de ces trois techniques permet d'optimiser les rendements (Ladislav, 2012).

La production économique des gaz non conventionnels a imposé les forages horizontaux et la fracturation hydraulique mais a aussi, et surtout, impliqué la multiplication du nombre de puits afin d'en déployer à travers toute la couche à drainer (Michel, 2013)

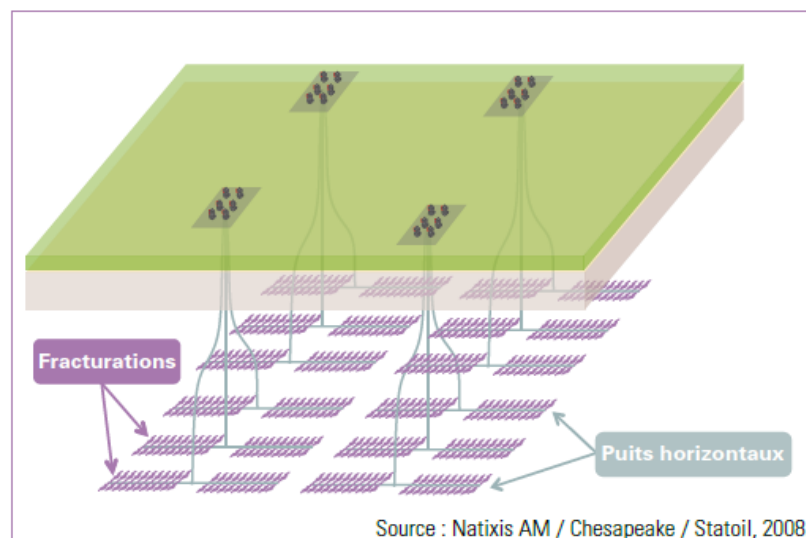


Fig 10 : Couverture d'une zone donnée par plusieurs puits utilisant les techniques de forages directionnels et puits multilatéraux et de fracturation hydraulique (Statoil, 2008)

II.2. Le cadre réglementaire :

Le ministère de l'énergie et des mines de l'Algérie, publie en 2012 les études qui ont été faites par l'ALNAFT et l'ARH concernant l'exploration et l'exploitation des hydrocarbures non conventionnels qui se réalisent selon un processus décliné à travers les phases suivantes :

II.2.1. La phase d'exploration :

Durant cette phase il s'agit de faire l'évaluation du potentiel en hydrocarbures à travers les études géologiques, les acquisitions et les interprétations sismiques.

Une fois le potentiel identifié et évalué, une phase pilote est entamée à l'effet de confirmer l'exploitation de ces hydrocarbures et préparer le plan de développement et d'exploitation.

Les études de risques et d'impact sur l'environnement accompagneront de façon systématique les étapes ci-dessus.

II.2.2. La phase d'exploitation :

Cette phase ne peut être entamée que si les résultats du pilote sont concluants et que toutes les mesures appropriées et relatives à la gestion des risques et impacts environnementaux sont assurées.

C'est pourquoi, il est primordial d'instaurer un dispositif réglementaire de contrôle et de surveillance strict portant sur les techniques, les procédures et les produits chimiques utilisés, en vue d'encadrer ces activités.

Aussi, la réglementation à élaborer sera basée sur les principes et règles ci-après :

- Mesurer et communiquer ;
- Regarder où forer ;
- Isoler les puits et empêcher les fuites
- Traiter l'eau de manière responsable ;
- Eliminer les évacuations, minimiser le torchage et les autres émissions de gaz ;
- Assurer un niveau « levé de performance environnementale

CHAPITRE II : LE GAZ DE SCHISTE ET SES TECHNIQUES D'EXTRACTION

Le tableau suivant synthétise les durées d'exploitation standards d'un site de gaz de schiste.

Tableau 1 : Estimation de la durée d'exploitation d'un site d'exploitation de gaz de schiste (puits multilatéraux, 6 forages horizontaux avec fracturation hydraulique) (Tyndall Centre, 2011)

Pré-production (activité intensive sur le site d'exploitation)	Production (activité réduite sur le site)
1 à 4 ans	10 à 15 ans

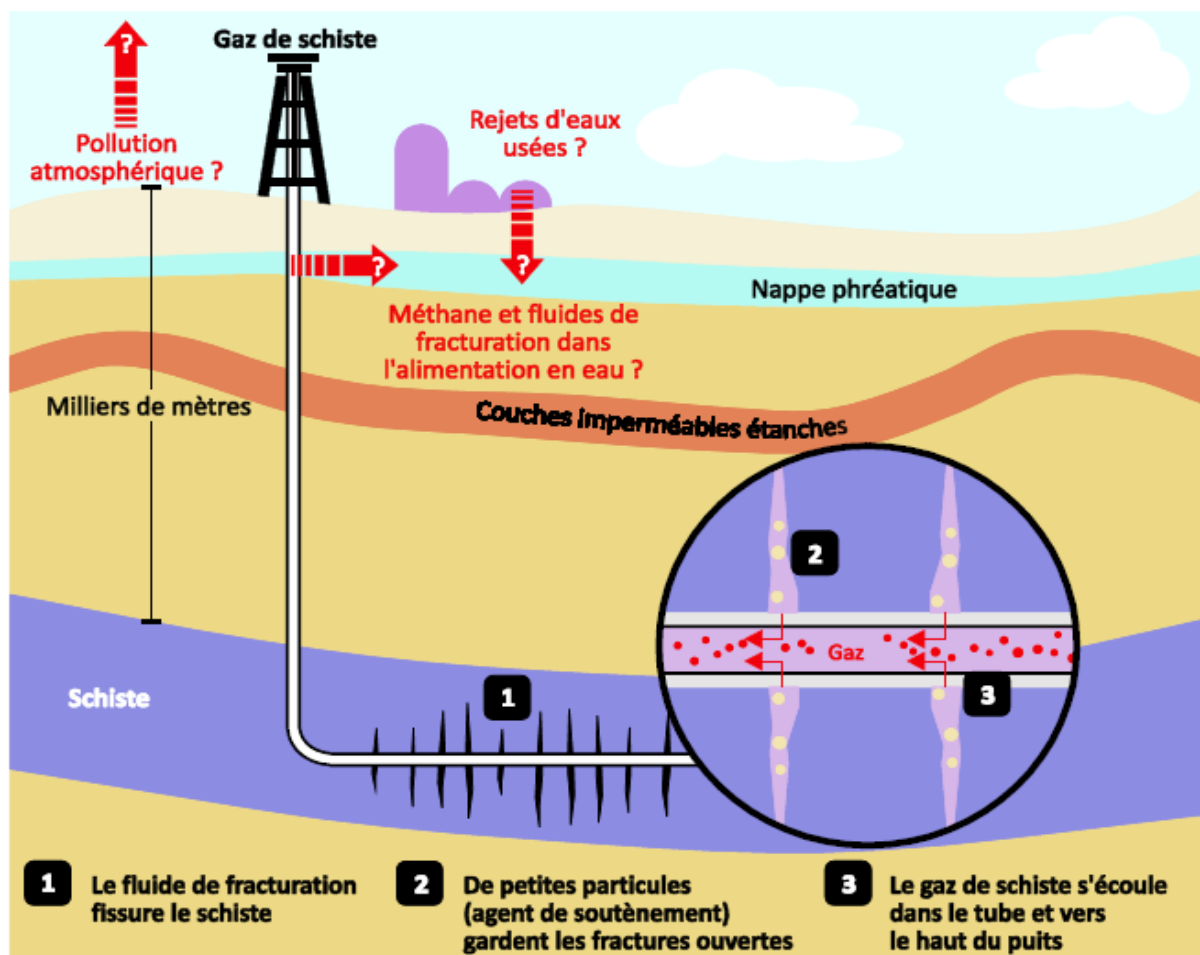


Fig 11 : Techniques de production de gaz de schiste (Aldhous ,2012 in IEA, 2013).

CHAPITRE II : LE GAZ DE SCHISTE ET SES TECHNIQUES D'EXTRACTION

Remarque : Les risques environnementaux sont indiqués par des flèches rouges. Bien que l'image présente un puits de gaz de schiste avec fracturation hydraulique multiples, certains des risques ici évoqués existent aussi avec les extractions de gaz conventionnel et de gaz de réservoir compact.

Il faut savoir que ces deux techniques, la fracturation hydraulique et les forages horizontaux, sont très souvent aussi utilisées, parfois depuis de nombreuses années, dans l'exploitation de roches réservoirs conventionnelles afin d'en améliorer la productivité et d'augmenter le taux de récupération des hydrocarbures.

CHAPITRE III : GENERALITES SUR LE GAZ DE SCHISTE

III. Introduction :

Aucune production commerciale de gaz de schiste, dans le monde, n'existait avant 1998. Cependant, en 2012, la production de ce dernier aux Etats-Unis a atteint près de 8 000 milliards de pieds cubes, ce qui revenait à un tiers de sa production totale de gaz, et plus de 7% de la production mondiale de gaz. Cette ressource accrue en gaz a entraîné une baisse de plus de la moitié du prix du gaz, remettant ainsi en cause l'intérêt relatif des gaz non conventionnels (BAD, 2014).

Une étude d'évaluation des gisements mondiaux techniquement exploitables de gaz de schiste, que l'on peut prédire avec un degré de certitude élevé, que l'extraction est possible avec la technologie existante et dans le contexte économique actuel, a été publiée en 2011 par l'Agence américaine pour l'information sur l'énergie (EIA). Cette étude a estimé que les gisements mondiaux techniquement exploitables de gaz de schiste représentaient près de 50% des gisements techniquement exploitables de gaz conventionnel, ce qui a induit au changement substantiels des avancées technologique sur la production gazière mondiale potentielle.

Les Etats-Unis connaissent une révolution de gaz de schiste qui prend une dimension planétaire, suite à la croissance rapide de sa production de gaz de schiste commercial au monde. Une hausse des exportations des Etats-Unis et une diminution de ses importations est entraînée par la forte augmentation de la production de gaz de schiste, et qui compense largement la baisse de la production d'autres sources de gaz de ce pays. Cette évolution a eu des effets marquants sur le marché mondial de gaz (BAD, 2014).

Les décisions d'investissements prises se sont révélées largement optimistes, concernant la fourniture de gaz naturel liquéfié (GNL) au marché d'importation américain, et l'offre de GNL, dont l'expansion été prévue, retourne vers le marché mondial et accentue la concurrence entre les exportateurs (BAD, 2014).

III.1. La production de gaz de schiste

Malgré que la production commerciale de gaz de schiste aux Etats-Unis reste limitée mais ce pays a accumulé une vaste expérience dans le domaine des techniques de production du gaz de schiste et qui présente un certain nombre de caractéristiques qui ont une incidence sur la disponibilité, la souhaitabilité et l'environnement (BAD, 2014).

III.2. Profil de production des puits

« Les puits de gaz de schiste ont généralement une vie productive plus courte que les puits de gaz conventionnel, dont la production peut durer jusqu'à 30ans. « La production de gaz de schiste sur un puits donné démarre rapidement, mais peut ensuite décliner entre 50 % et 75 % au cours de la première année (AIE 2009). La majeure partie du gaz récupérable est extraite en quelques années. ». Ces fortes variations de la production sont plus difficiles à gérer sur le plan commercial que pour le gaz conventionnel, car les fournisseurs risquent davantage d'enregistrer des écarts par rapport aux niveaux de ventes espérés.»

III.3. Qualité, quantité et coûts de production :

III.3.1. Qualité de la production :

Aux Etats-Unis, le taux de récupérabilité était l'initiale incertitude aux formations de gaz de schiste. Au fil du temps, cette expérience a permis de mieux évaluer cette récupérabilité. Les lieux de forage appropriés se trouvent là où les données géologiques sont riches, ce qui rend les estimations susceptibles d'être précises (BAD, 2013).

III.3.2. Quantité de production :

La récupération totale de gaz estimée varie d'un puits à l'autre, et il est difficile d'effectuer des prévisions tant qu'on ne dispose pas de données sur la formation de schiste. Eventuellement, la quantité de gaz qui serait produite à partir d'un puits devrait être mise en balance avec le coût du forage et les coûts et revenus de vente du gaz (BAD, 2014).

III.3.3. Les coûts de production :

Selon la BAD, 2014, en raison des dépenses liées à la fracturation, les coûts des forages pour l'extraction du gaz de schiste sont plus élevés que ceux utilisés pour la production des puits de gaz conventionnel.

« Dans les pays dont les réserves sont presque épuisées, le gaz conventionnel qui reste à exploiter risque de se trouver dans des régions moins accessibles et d'avoir un coût plus élevé, similaire à celui du gaz de schiste.»

« Là où les producteurs de gaz ont accès aux marchés d'exportation, par gazoduc ou sous la forme de gaz naturel liquéfié (GNL), le volume potentiel important des ventes améliore les aspects économiques de la production de gaz. Les gazoducs ou les usines de

liquéfaction permettent de réaliser des économies d'échelle importantes qui contribuent à rendre le gaz compétitif au plan international. Dans ces circonstances, l'emplacement des gisements de gaz devient déterminant. »

Les pays dont les gisements de gaz se situent loin de la côte doivent supporter les coûts élevés du transport du gaz jusqu'aux terminaux d'exportation.

III.4. Les gisements de ressources non conventionnelles dans le monde:

En 1997, Rogner réalise une l'étude qui a fournie l'estimation globale des ressources en gaz de schiste mais elle était antérieure à toute exploitation commerciale sérieuse. *« L'étude de l'EIA (2011b) réalisée par Advanced Resources International (ARI) a pu s'appuyer sur une expérience de production de plus de 10 ans aux États-Unis. ARI a passé en revue les données publiées sur 48 bassins de schiste dans 32 autres pays, contenant près de 70 formations de gaz de schiste. »*

Que les explorations confirmeront ou contrediront ces estimations, le rapport entre les réserves de gaz de schiste prouvées et non prouvées changera.

Le tableau suivant indique les estimations de AIE pour la fin 2011.

Tableau 02 : Gisement de gaz naturel techniquement exploitable par type et par région (AIE, 2012)

Région	Gaz conventionnel	Gaz de schiste	Gaz compact et méthane libéré par les couches de charbon	Total
Europe de l'Est/Eurasie	131	12	30	173
Moyen-Orient	125	4	8	137
Asie/Pacifique	35	57	36	128
Amériques OCDE	45	56	21	122
Afrique	37	30	7	74
Amérique latine	23	33	15	71
Europe OCDE	24	16	5	45
Monde	421	208	123	752

Ces chiffres montrent l'importance des réserves de gaz de schiste et le rôle important qu'elles pourraient jouer à l'avenir sur les marchés énergétiques mondiaux.

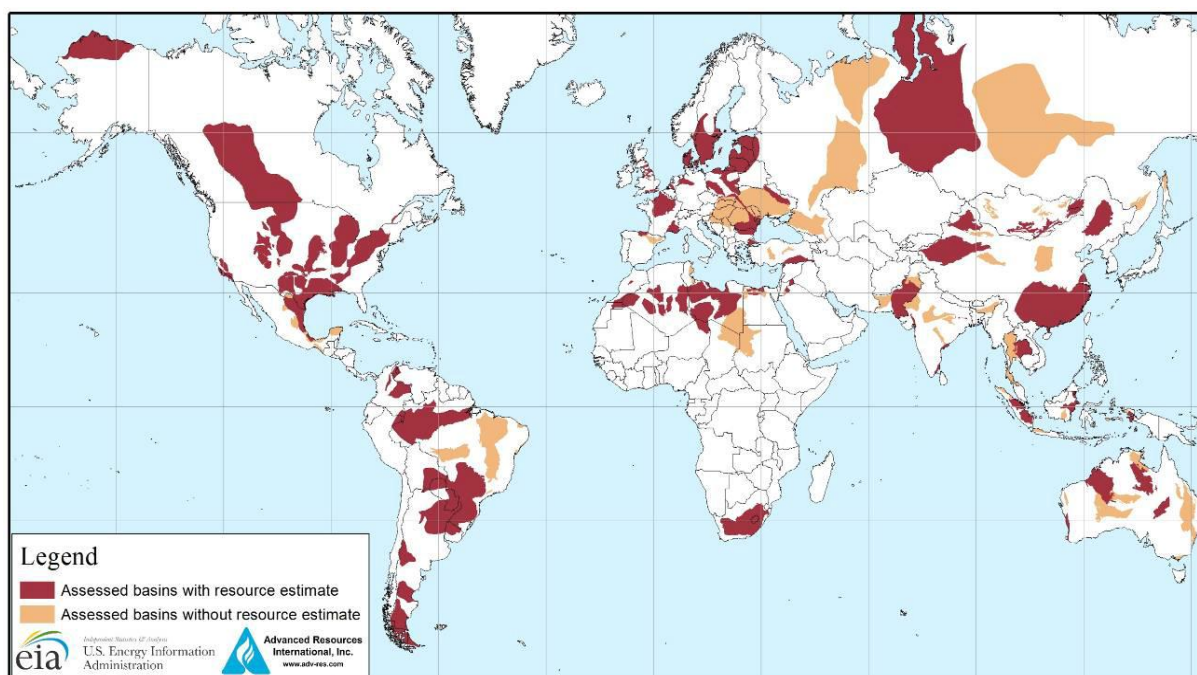


Fig 13 : Localisation des ressources non conventionnelles dans le monde (EIA, 2013)

Ces gisements techniquement exploitables sont évalués selon l'état actuel des connaissances techniques et des coûts de l'extraction. Les estimations des réserves évolueraient si ces deux facteurs devront changer de manière significative (EIA, 2013).

En Afrique, des estimations des réserves de gaz de schiste ont pu être réalisées pour l'Algérie, la Libye, la Tunisie, le Maroc, la Mauritanie et l'Afrique du Sud, ainsi que pour le territoire du Sahara occidental (BAD, 2014).

III.5. Cas de l'Algérie

Le pays fait partie des grand producteur et exportateur de gaz, mais la consommation nationale qui s'accroît rapidement aux points que les exportations de gaz conventionnel risquent de baisser. Le pays dépend largement des revenus tirés de l'exportation de gaz (90% de ceux-ci proviennent de la production d'hydrocarbures). De ce fait le gaz de schiste pourrait jouer un rôle important dans son économie en permettant un niveau élevé d'exportation sans ralentir la croissance nationale (BAD, 2014).

Sept bassins ont été identifiés comme potentiel en gaz de schiste dans le sud: Tindouf, Reggane, Ahnet, Mouydir, Ghadames Berkine et Illizi.

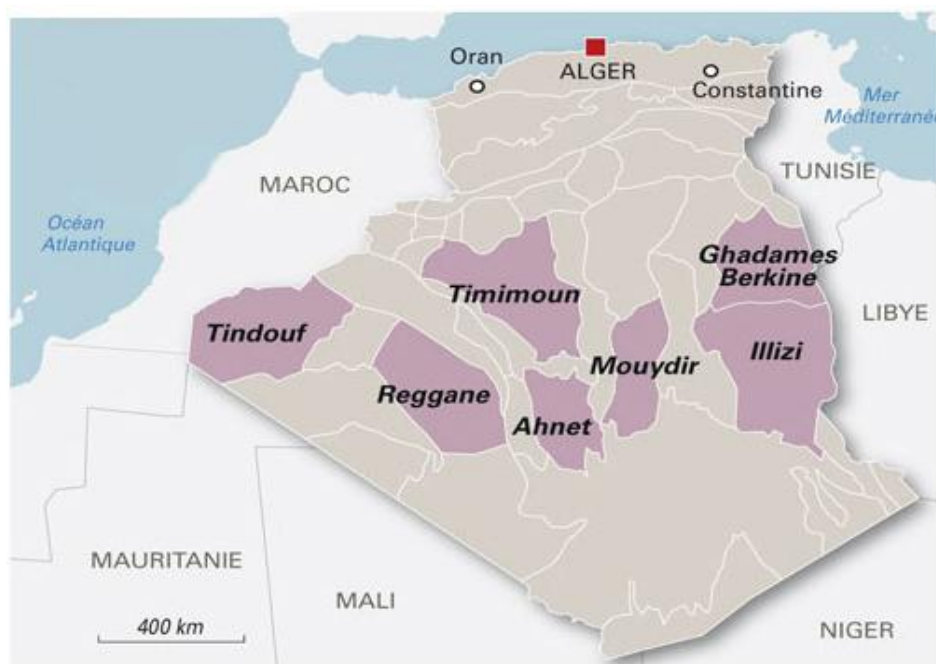


Fig 14 : Les bassins de gaz de schiste identifiés en Algérie (Total, 2015)

Tableau 03 : Gisements techniquement exploitables de gaz de schiste, réserves prouvées de gaz conventionnel et production gazière actuelle en milliers de milliards de pieds cubes estimés par ARI (EIA, 2013).

Position	Pays	Gaz de schiste estimé (billion de pieds cubes)
1	Chine	1,115
2	Argentine	802
3	Algérie	707
4	U.S.	665
5	Canada	573
6	Mexique	545
7	Australie	437
8	Afrique du sud	390
9	Russie	285
10	Brésil	245
Reste du monde		7,299

Selon un rapport de 2013 de l'EIA le sous-sol algérien détient la troisième réserve mondiale de gaz de schiste récupérables, après la Chine et l'Argentine, le tableau démontre l'importance que revêtera le gaz de schiste à l'avenir pour l'Algérie qui est le premier producteur de gaz conventionnel en Afrique (BAD, 2014).

Le pays est aussi un producteur de gaz de longue date, sa disposition d'infrastructures et d'expertise requise lui permet d'assurer un développement de grande ampleur à l'échelle de l'ensemble du secteur. La solidité de ses infrastructures destinées au marché national ou à l'exportation se fait témoigner par sa disposition d'un gazoduc de gaz naturel régional et de plusieurs gazoducs d'exportation ainsi que d'un terminal GNL (BAD, 2013).

« Les seuls aspects qui restent une inconnue concernant le développement du gaz de schiste sont les divers risques environnementaux associés à sa production. La fracturation, nécessitant d'énormes quantités d'eau dans des zones où les ressources hydrauliques sont rares, risque de s'avérer très problématique. Il sera nécessaire de mettre en place une réglementation garantissant que les eaux usées soient traitées de manière adéquate et que les déversements soient évités. Sur cette question, l'Algérie devra profiter de l'expérience des

États-Unis qui a vu ses pratiques évoluer sous la pression des groupes de protection de l'environnement et l'opinion publique. Concernant l'évacuation et le torchage de gaz, bien que ce problème concerne tout particulièrement les premières phases du développement des puits de gaz de schiste, Sonatrach est membre depuis plusieurs années du Partenariat mondial pour la réduction des gaz torchés (GGFR) et participe activement à la déduction de ces émissions (Observatoire Des Multinationales, Social, Ecologique, Politique, 2015). »

L'Algérie est un pays exportateur nets de gaz, et il est considéré comme un producteur potentiel de gaz de schiste.

CHAPITRE IV : LES RISQUES POUR LABIODIVERSITE DE L'EXPLOITATION DU GAZ DE SCHISTE

En 2010, la convention sur la diversité biologique rappelle :

«...le large éventail des interactions entre les différents éléments de la diversité biologique rend la planète habitable par toutes les espèces, y compris l'espèce humaine. Notre santé physique, ainsi que notre santé économique et sociale, dépendent de l'approvisionnement continu en divers services écologiques qu'il serait extrêmement onéreux ou impossible de remplacer. Ces services que nous procure la nature sont si variés qu'ils sont quasiment infinis (Secrétariat de la Convention internationale sur la diversité biologique, 2010) »

IV.1. La biodiversité

La diversité biologique, ou biodiversité est un facteur absolu et indispensable de la qualité de l'environnement. Elle fait référence à la multiplicité, à l'équilibre et à l'abondance des écosystèmes et de l'ensemble vivant dont on fait partie et dont on dépend étroitement.

« Elle se définit comme la gamme complète des variations que présente la vie sur Terre, et doit être considérée à trois niveaux: la diversité des espèces, la diversité génétique à l'intérieur d'une même espèce, et la diversité des écosystèmes, représentée par les différentes communautés biologiques et leurs associations avec leur environnement physique et chimique (Primack, 2010). »

Les biens et services fournis par des écosystèmes en bonne santé sont proportionnels à la richesse d'une biodiversité maintenue. Malgré notre dépendance à l'égard des ressources biologiques, les activités humaines modifient les aires naturelles et réduisent rapidement la diversité biologique qu'elles abritent. Aujourd'hui, les espèces disparaissent à un rythme de **50 à 100** fois supérieur au rythme historique, et cette extinction devrait s'accélérer encore considérablement (Secrétariat de la Convention internationale sur la diversité biologique, 2010).

IV.2. Les biens et services des écosystèmes

Les biens et services fournis par les écosystèmes sont :

- La purification de l'air et de l'eau,
- La stabilisation et la modération du climat,
- La modération des inondations, de la sécheresse, des températures extrêmes et de la force des vents,

- La fertilité des sols, notamment, le cycle de renouvellement des nutriments,
- La pollinisation des plantes, y compris des nombreuses plantes cultivées,
- La lutte contre les parasites et les maladies,
- La conservation des ressources génétiques qui entrent, pour une part essentielle, dans la production des plantes cultivées et des animaux d'élevage, des médicaments, et d'autres produits et
- Les avantages d'ordre culturel et esthétique.

IV.3. Les principales menaces de la biodiversité :

Selon Primack, 2010 les sept principales menaces à la biodiversité résultant de **l'action humaine** sont, par ordre d'importance, les suivantes :

- La destruction des habitats;
- La fragmentation des habitats;
- La dégradation des habitats, incluant celle induite par la pollution;
- Les changements climatiques globaux;
- La surexploitation des espèces pour l'usage humain;
- L'introduction d'espèces envahissantes;
- L'augmentation de la dissémination des maladies.

Ces menaces se développent si rapidement et à si grande échelle que les espèces ne sont pas capables de s'adapter génétiquement aux changements ou de se déplacer vers un milieu plus hospitalier.

Les différents stress imposés aux écosystèmes par les **activités humaines** peuvent avoir des effets inattendus et irréparables sur la diversité biologique. En effet, bien que les écosystèmes démontrent une certaine résilience aux changements (i.e. une tendance et une aptitude à retourner à leur état initial suite à une perturbation), une fois que le seuil de résistance écologique est atteint, même une petite perturbation pourra, sans anticipation, faire basculer l'écosystème de son état stable actuel à un état stable alternatif (ESA) (Suding, 2004).

IV.4. Les risques que peut causer l'exploitation du gaz de schiste pour la biodiversité

Les risques qui ont été les plus traités dans les débats sociaux entourant les menaces à la biodiversité survenant d'une exploitation intensive des gaz de schiste sont en lien avec la fragmentation du territoire forestier, la pollution de l'eau de l'air ainsi que d'autres risques que nous présenterons ci-dessous.

IV.4.1. Fragmentation et destruction des milieux naturels

La déforestation pour des installations d'industrie ou de forage ainsi que pour les structures connexes (routes, ...etc.) dans des milieux naturels impliquerait divers impacts sur ces derniers et leurs fonctionnalités.

La première cause de la perte de la biodiversité est la destruction de l'habitat qui résulte de l'expansion des populations humaines et de leurs activités (Primack, 2010).

L'exploration et l'exploitation du gaz de schiste implique une industrialisation à grande échelle du territoire, ce qui nous permet de conclure une perte en zones agricoles exploitables et de zones forestières, en plus d'une dégradation et d'une fragmentation des habitats floristiques et faunistiques résiduels.

La perte et la fragmentation de l'habitat, bien que très souvent liées, sont deux concepts différents. Alors que la perte d'habitat fait référence à la diminution nette de la superficie de ce dernier, la fragmentation fait référence au morcellement d'un espace continu en plusieurs parcelles de plus petite taille (Fahrig, 2003). Il peut y avoir perte d'habitat sans fragmentation, mais le contraire est impossible.

Une fois fragmentés, les milieux sont de plus en plus petits, éloignés et les effets de lisière sont plus importants. Les milieux naturels se retrouvent ainsi isolés entre eux et ne permettent plus des échanges génétiques optimaux entre les populations afin qu'ils demeurent fonctionnels. Les individus sont de plus soumis à des plus grandes pressions de prédation et peuvent éprouver des difficultés supplémentaires pour l'alimentation et la reproduction.

IV.4.2. La pollution de l'eau :

La pollution est la forme la plus subtile et la plus universelle de dégradation environnementale (Relyea, 2005).

IV.4.2.1. Effets de la pollution de l'eau sur la faune et la flore

La pollution de l'eau est une grande menace à l'intégrité des écosystèmes et à la biodiversité qu'ils abritent. Les nutriments et produits chimiques – pesticides, herbicides, produits du pétrole, métaux, détergents, déchets industriels, etc. – qui se retrouvent dans l'eau peuvent tuer directement certains organismes tels que les larves d'insectes, les poissons, les amphibiens et même les mammifères marins, ou peuvent rendre l'environnement si inhospitalier que les espèces ont de la difficulté à s'y développer (Relyea, 2005).

En plus des additifs chimiques qui sont volontairement ajoutés aux fluides de fracturation, les eaux usées qui refluent suite aux fracturations sont enrichies de certaines substances qui se trouvaient initialement dans la roche. Typiquement, il s'agit de sels en concentration élevée, d'hydrocarbures (benzène, toluène, éthylbenzène, xylène), de solides totaux dissouts (STD) de moins de 0,002 cm de diamètre, de métaux et de substances radioactives (uranium, radium, radon, thorium, plomb-201) (Parfitt, 2010; RMES, 2010; US-EPA, 2012).

Sur le plan toxicologique, ce qui est important ce n'est pas la concentration, c'est la quantité qui va être présente et la quantité que les humains vont éventuellement absorber (Hains et coll., 2010 *in* Marie-Odile, 2012). On peut supposer que c'est le cas également pour les animaux.

En plus des produits chimiques, les sels sont présents en concentration très élevée dans les eaux usées suite à la fracturation, comme nous l'indique une observation de Mary Beth Adams, une chercheuse du U.S. Forest Service (Guilliland, 2011 *in* Marie-Odile, 2012). Mme Adams a étudié ce qui est arrivé lorsque quelque 280 000 litres d'eaux usées ont été épandus sur le sol d'une **forêt** expérimentale en **Virginie**, emmenant la concentration de sels à une valeur 50 fois supérieure à la normale : toutes les plantes du terrain sont mortes en l'espace de deux jours, **les feuilles des arbres** ont commencé à brunir en l'espace de dix jours, et plus de la moitié des 150 arbres du terrain sont morts en l'espace de deux ans. Les eaux usées épandues ne provenaient pas d'un puits de gaz de schiste, mais Mme Adams assure que la salinité générale des eaux des puits conventionnels et des puits non conventionnels est la même. Bien qu'un plus petit ratio volume de fluide/surface d'épandage puisse mitiger les effets nocifs de la salinité sur les végétaux, il n'en demeure pas moins qu'une telle observation met en lumière la quantité impressionnante de sels retirés de la roche mère et distribués dans l'environnement.

IV.4.2.2. Routes de contamination de l'eau souterraine et de surface

Au regard des effets néfastes de la pollution chimique et de l'augmentation des STD dissous dans l'eau sur la faune et la flore aquatiques, marines et terrestres, il importe de se questionner sur les probabilités de contamination des eaux de surface et souterraine dues aux activités de l'industrie des gaz de schiste.

- Contamination des eaux souterraines

L'expérience aux États-Unis nous montre qu'effectivement, une partie du méthane composant les gaz de schiste fuit dans l'eau. En d'autres mots, il est fort probable que la contamination au méthane ait résulté des opérations de fracturation.

Toutes ces fuites rapportées seraient principalement dues à des défauts dans la cimentation des puits. Et ces défauts seraient pratiquement inévitables, comme nous l'apprend la EPA ; le revêtement de béton des puits se dégrade de manière prononcée dans les régions situées à proximité des zones de fracturation, ce qui implique que la force de fracturation exploite les faiblesses dans le ciment ou en crée, tout simplement (PRI, 2011 *in* Marie-Odile,2012).

La figure illustre les différentes voies de contamination par du gaz ou par le fluide de fracturation à travers le ciment.

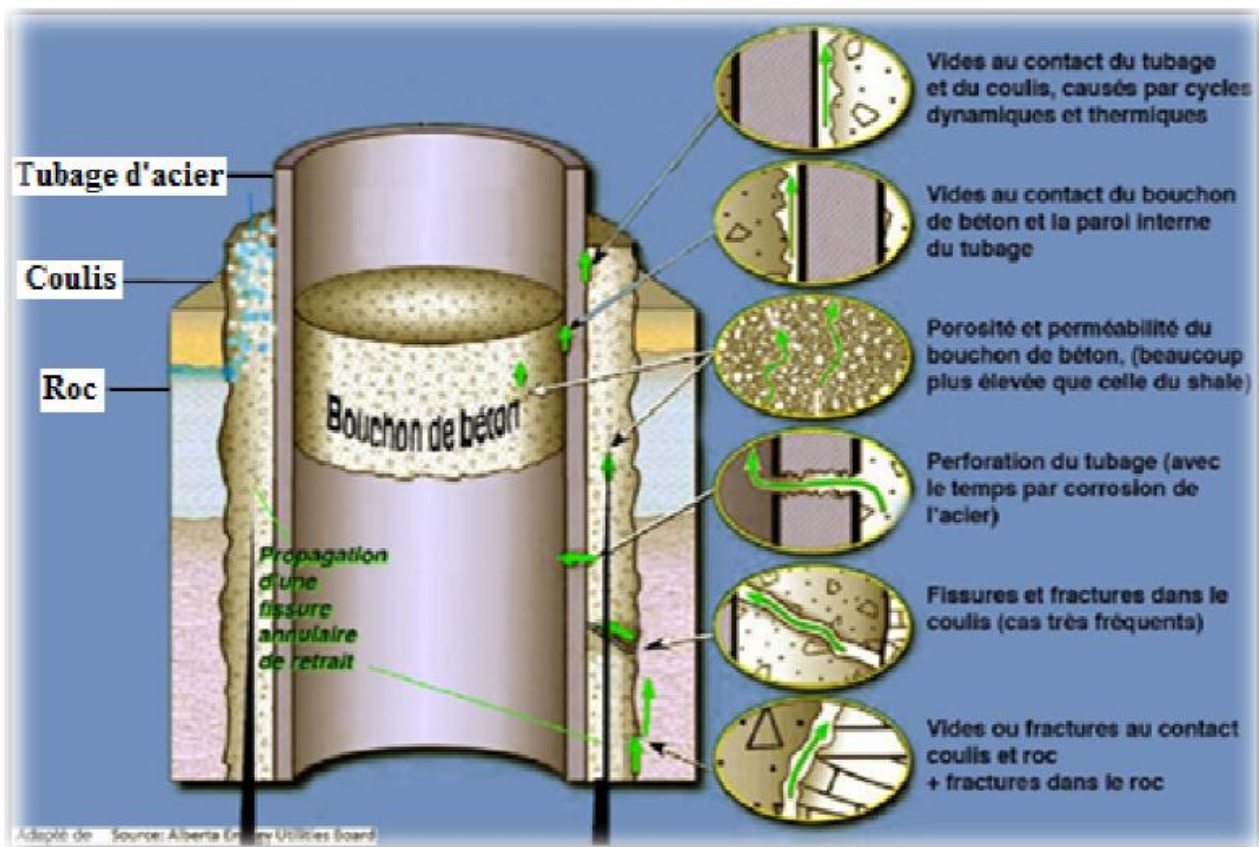


Fig 12 : les différentes voies de contamination par du gaz ou des fluides de fracturations à travers le ciment (Durand, 2011 in Marie-Odile 2012)

En plus des fuites de gaz ou de produits chimiques à travers le coffrage du puits, la contamination de l'eau souterraine peut résulter de la fracturation même de la roche. En effet, à travers les années, Ingraffea (Parfitt, 2010) a appris qu'il est très rare que le shale ne soit pas déjà fissuré; ces fissures naturelles sont en fait recherchées par les industries puisque, d'une part, une plus petite quantité d'énergie est nécessaire pour fracturer le shale et que, d'autre part, les nouvelles voies ouvertes dans la roche par la fracturation pourront former un réseau avec les fissures naturelles. Plus le réseau de fissures est important, plus la quantité de gaz qui s'échappe de la roche est grande. Mais un tel réseau présente également des risques : si les failles naturelles sont verticales et que la fracturation permet de les relier au nouveau réseau de fissures, le fluide de fracturation pourra migrer verticalement dans la formation rocheuse jusqu'à atteindre, dans certains cas, l'eau douce souterraine.

« Puisque les **gaz de schistes** sont typiquement sur pressurisés, et puisque le processus d'hydro-fracturation accroît la pression dans la masse de roche pendant une courte période,

il est possible que le processus de fracturation puisse ouvrir une voie vers les aquifères (Parfitt, 2010). »

Comme les eaux souterraines sont reliées aux eaux de surface par le cycle de l'eau (Parfitt, 2010), la contamination des eaux souterraines risque d'affecter les cours d'eau et les espèces qui y vivent.

- Contamination des eaux de surface

En plus de la contamination des eaux de surface passant par la contamination de l'eau souterraine, l'industrie du gaz de schiste présente des risques directs pour la contamination des eaux de surface par des déversements accidentels de produits de fracturation ou d'eaux usées, durant le transport, l'entreposage ou encore à cause de bris d'équipement (Parfitt, 2010). Les produits de fracturation sont mélangés entre eux et avec l'eau directement au site de fracturation, ce qui implique de nombreux voyages de camions remplis de produits chimiques non dilués (United-States House of Representatives, 2011); les accidents impliquant les camions transportant ces substances représentent donc d'énormes risques de contamination.

En somme, qu'il s'agisse de contamination souterraine ou de surface, les substances chimiques, les sels, les STD, les métaux et les matières radioactives ont un grand risque de se retrouver dans le cycle de l'eau, affectant la faune et la flore de nombreux habitats aquatiques, marins ou terrestres et les services qu'ils rendent aux communautés humaines.

IV.4.3. Pollution atmosphérique et changements climatiques

Les risques pour la biodiversité reliés à la pollution atmosphérique et aux changements climatiques sont traités dans une même section de cet essai, puisque les deux résultent des émanations de substances dans l'air dues aux méthodes d'exploitation des gaz de schiste. Ces émanations sont principalement de deux sources : d'une part, de l'utilisation de la machinerie et, d'autre part, des fuites de méthane et d'autres composés volatils toxiques dans l'air (Marie-Odile, 2012).

IV.4.3.1 Pollution atmosphérique

Les procédés inhérents à l'extraction des gaz de schiste peuvent mener à la migration du fluide de fracturation, des eaux usées ou du gaz lui-même vers les eaux souterraines ou vers la

CHAPITRE IV : LES RISQUES POUR LABIODIVERSITE DE L'EXPLOITATION DU GAZ DE SCHISTE

surface. Les mêmes procédés peuvent également favoriser la migration vers l'air du méthane (composant le gaz de schiste à plus de 90%) et d'autres composés volatils présents dans la roche ou dans le fluide de fracturation (Jackson et coll., 2011).

De manière générale, les opérations **gazières** et **pétrolières** relâchent d'énormes quantités **d'oxydes de soufre** et **d'azote** dans l'air (Primack, 2010). Les opérations d'exploitation des gaz de schiste relâchent en plus, à chaque étape de production et de transport du gaz, des tonnes de composés organiques volatils (COV) qui se mélangent avec les oxydes de soufre et d'azote pour produire de l'ozone (Kelley, 2012; TEDX, 2012 *in* Marie-Odile, 2012).

Selon toute logique, les effets nocifs de la pollution atmosphérique sur la santé humaine devraient trouver écho chez les autres espèces formant le Vivant. Et de fait, dans certaines régions du monde, incluant l'est de l'Amérique du nord, la pollution de l'air endommage et affaiblit plusieurs espèces d'arbres et les rend plus susceptibles aux attaques par les insectes, les champignons et les maladies (Primack, 2010). L'affaiblissement et, éventuellement, la mort des arbres ont des répercussions sur tout l'écosystème dont ils font partie; quand les arbres meurent, plusieurs des autres espèces animales et végétales qui peuplent la forêt, et particulièrement les lichens, s'éteignent rapidement (Primack, 2010).

En plus d'être des précurseurs d'ozone, les oxydes de soufre et d'azote se combinent également avec l'humidité de l'air pour produire des acides sulfuriques et nitriques (Primack, 2010). Ces acides deviennent partie intégrante des systèmes nuageux et diminuent dramatiquement le pH des pluies, créant des pluies acides qui affaiblissent les arbres et mènent à leur dépérissement sur de grandes superficies. Les pluies acides diminuent également le pH du sol et des plans d'eau et y augmentent la concentration de métaux toxiques comme l'aluminium.

IV.4.3.2. Changements climatiques

Les émissions de gaz pendant l'extraction du gaz de schiste peuvent être divisées en trois sources principales (Wood et coll., 2011 *in* Marie-Odile, 2012) :

- 1) Les émissions dues à la combustion des combustibles fossiles utilisés pour faire fonctionner l'équipement de forage (foreuses, pompes, compresseurs, etc.), pour retirer le gaz sur le site et finalement pour transporter l'équipement, les ressources et les déchets sur le site et hors de celui-ci;

- 2) Les émissions fugitives de gaz qui s'échappent de manière non contrôlée durant la construction du puits et les étapes de production;
- 3) Les émissions ventilées, qui résultent du gaz naturel qui est récolté et brûlé sur le site ou qui est ventilé directement dans l'atmosphère de manière contrôlée (torchage).

La première source mise en évidence est responsable de beaucoup plus d'émissions pour les puits de gaz non conventionnel que pour les puits de gaz conventionnel. Ceci s'explique par le fait que les puits non conventionnels sont plus gros, demandent plus de temps de forage et des équipements plus lourds, nécessitent davantage d'étapes de fracturation – chacune des fracturations laissant fuir du méthane – et davantage de cimentation. Ils produisent également plus de boues usées, ces boues laissant s'échapper d'importantes quantités de méthane. Lorsque toutes les étapes d'exploration, d'exploitation et de transport sont prises en compte, les fuites de méthane des puits de gaz non conventionnels seraient donc de 30% à 2 fois plus élevées que celles des puits de gaz conventionnels (Howarth et coll., 2011 *in* Marie-Odile, 2012). Ainsi, l'exploitation des gaz de schiste serait plus néfaste pour la qualité de l'air et pour le climat que l'exploitation du gaz conventionnel.

Mais plus que de considérer les fuites de méthane, pour pouvoir comparer les empreintes des différents combustibles, on doit comparer toutes les émissions de GES qui seront produites pendant l'ensemble du processus : émissions associées à la recherche, aux différentes et multiples phases de l'exploitation et au transport. Lorsque l'on compare à celles du pétrole les émissions produites sur l'ensemble du cycle de vie du gaz de schiste, il apparaît que l'empreinte de ce dernier est plus grande que celle du pétrole pour tous les horizons temporels considérés, et particulièrement pour un horizon de 20 ans (Howarth et coll., 2011 *in* Marie-Odile, 2012).

Bien qu'il y ait déjà eu au moins 10 cycles de réchauffement et de refroidissement successifs au cours des derniers 2 millions d'années, il est fort probable que, cette fois, les espèces animales et végétales ne seront pas capables de s'adapter assez rapidement pour survivre au réchauffement d'origine anthropique que nous vivons présentement, et qui se produit bien plus rapidement que les réchauffements précédents (Primack, 2010).

De même, les espèces qui ont une plus grande capacité à modifier leur biologie en fonction des nouvelles conditions environnementales auront un avantage adaptatif par rapport

aux autres. À titre d'exemple, certaines plantes ont déjà commencé à répondre aux changements de température en montrant une floraison et une feuillaison précoces et en utilisant le carbone supplémentaire dans l'air pour accroître leur vitesse de croissance; ceci a déjà des répercussions sur les populations de pollinisateurs et d'herbivores en lien avec ces plantes (Primack, 2010). Des communautés biologiques entières peuvent s'éteindre si les espèces dominantes, animales ou végétales, ne sont pas capables de s'adapter aux nouvelles conditions climatiques (Primack, 2010).

IV.4.4. Aperçu des autres sources de risques pour la biodiversité

De nombreuses autres sources d'inquiétudes pour le maintien de la diversité biologique ont été énoncées.

IV.4.4.1. Gestion des matériaux d'extraction

On sait que la roche elle-même contient des sels en concentration élevée, des hydrocarbures, des métaux et de substances radioactives, ce qui justifie la crainte de contamination de l'environnement suite à l'extraction de la roche. Cette extraction pourra, de plus, mener à une augmentation des STD dans l'eau.

IV.4.4.2. Gestion des eaux usées

La gestion des boues usées suite aux activités de fracturation pose des risques de contamination. Jusqu'à maintenant, aux États-Unis, les énormes quantités d'eaux usées résultant de la fracturation hydraulique ont été disposées de deux manières : soit en les injectant profondément dans les formations rocheuses souterraines, soit en les traitant dans des usines d'épuration municipales (Parfitt, 2010). D'une part, l'injection des eaux usées, qui sont typiquement très salées et qui contiennent des produits chimiques et des métaux lourds, peut mener à la contamination des réserves souterraines. D'autre part, les usines municipales d'épuration des eaux ne sont pas conçues pour traiter les eaux usées provenant de la fracturation hydraulique, ce qui peut mener à la contamination des cours d'eau. Quant à la réutilisation de ces eaux pour des fracturations subséquentes, leur grande salinité et la grande quantité de STD qu'elles contiennent peut rendre difficile cette alternative (Parfitt, 2010). De toute manière, une partie de ces eaux contaminées retournera dans le cycle de l'eau en surface ou en sous-terrain.

IV.4.4.3. Risques de séismes

Selon certaines observations d'événements en **Arkansas**, au **Texas**, en **Californie**, au **Royaume-Uni**, en **Allemagne** et en **Suisse**, des scientifiques affirment qu'une **augmentation** du risque de séismes pourrait être reliée aux activités de fracturation. Le gouvernement de l'Ohio a d'ailleurs indiqué récemment qu'une douzaine de séismes dans le nord-est de cet état américain avaient fort probablement été provoqués par l'injection souterraine d'eaux usées lors du forage de gaz de schiste (Smyth, 2012 *in* Marie-Odile, 2012). Ces séismes pourraient ouvrir des failles dans la roche qui permettraient le lien entre les fluides de fracturation et les aquifères, polluant ces derniers.

IV.4.4.4. Déficit hydrique

Que l'eau nécessaire à la fracturation soit puisée des cours d'eau de surface ou des nappes d'eau souterraines, il demeure qu'une importante quantité d'eau sera retirée du réseau hydrique pour répondre à la demande de l'industrie des gaz de schiste. Cette eau sera en partie perdue, du moins à court terme, puisque seulement de 15 à 80% de l'eau injectée pour la fracturation sera récupérée à la surface. La grande pression qui sera exercée sur les réserves hydriques dans les régions où il y aura du forage sera d'autant plus aggravée par les changements climatiques, qui favorisent l'évaporation de l'eau et la sécheresse en certains endroits (Wood et coll., 2011 *in* Marie-Odile, 2012).

IV.4.4.5. Bruit et lumière

Les activités de forage et de fracturation, les torchères qui brûlent l'excédent de méthane et le trafic sur les routes créent un excédent de bruit et de luminosité des régions sous exploration gazière. Le bruit peut avoir des conséquences néfastes sur la faune, entre autres sur les oiseaux qui voient leur système de communication affecté, ce qui a des répercussions sur leurs comportements territoriaux et sur leur succès de reproduction. La lumière artificielle peut, elle aussi, perturber la vie sauvage, entre autres en affectant la régulation de la croissance des végétaux, en influençant le comportement de reproduction et de recherche de nourriture des oiseaux, et en influençant le comportement des grenouilles nocturnes (Seiler, 2001 *in* Marie-Odile, 2012).

Suite à des modifications des conditions environnementales ou des assemblages d'espèces présentes sur un territoire donné, les écosystèmes peuvent facilement basculer dans

CHAPITRE IV : LES RISQUES POUR LABIODIVERSITE DE L'EXPLOITATION DU GAZ DE SCHISTE

un nouvel état stable alternatif, et le retour aux conditions initiales peut être impossible ou très difficile et coûteux à atteindre. Les écosystèmes modifiés par l'implantation de l'industrie des gaz de schiste seront donc, selon toute probabilité, perdus à jamais.

APPROCHE METHODOLOGIQUE

1. Objectif :

L'objectif de cette recherche consiste à dégager les points forts, les points faibles, les opportunités et les menaces que peut présenter l'industrie du gaz de schiste.

2. Matrice de SWOT :

2.1. Dénomination :

L'abréviation SWOT correspond à : Strengths – Weaknesses – Opportunities – Threats qui signifie : Forces – Faiblesses – Opportunités – Menaces

L'analyse SWOT ou matrice SWOT, est un outil permettant d'identifier les points forts, les faiblesses, les opportunités et les menaces d'une entreprise particulière. Les points forts et les faiblesses sont les facteurs internes qui créent la valeur ou la détruisent. Les opportunités et les menaces sont les facteurs externes qu'une entreprise ne peut pas contrôler. C'est une représentation de la situation d'un produit ou d'un service face au marché (Colette et Hédia-Hadjaj, 2006)

Elle utilise comme support une matrice à quatre fenêtres : Forces, Faiblesses, Opportunités, Menaces.

Tableau 4 : Matrice de SWOT

Forces Strengths (+)	Faiblesses Weaknesses (-)
Opportunités Opportunities (+)	Menaces Threats (-)

Cette méthode nous a permis d'identifier les forces et les faiblesse que peut présenter l'industrie de gaz de schiste à la lumière des opportunités et menaces de l'environnement externe.

L'étape, la plus importante, consiste à **élaborer une stratégie cohérente** pour cette étude et les identifiez en fonction des éléments qui sont sortis dans notre grille SWOT :

1. comment garder et/ou améliorer mes forces ?
2. comment transformer et/ou éliminer mes faiblesses ?
3. comment tirer parti de mes opportunités ?
4. comment neutraliser les menaces ou les retourner à mon avantage ?

RESULTATS ET DISCUSSION

Cette partie expose l'évaluation de l'importance du gaz de schiste suivant l'approche de SWOT.

Tableau 5 : Résultats de l'analyse de SWOT

Points forts	Points faibles
<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation des réserves de gaz. - Réduction de la dépendance à l'égard du pétrole. - Création de nouveaux emplois. - Soutient de la croissance économique. - Localisation des gisements facilitée par rapport au gaz conventionnel 	<ul style="list-style-type: none"> - Forte empreinte territoriale. - Risques environnementaux supplémentaires à gérer. - Importante consommation d'eau. - Ressource fossile (limitées dans le temps et émissive en CO2) - Coûts d'extraction élevés.
Opportunités	Menaces
<ul style="list-style-type: none"> - Nouvelle ressource potentielle pour l'Algérie; - Maintient sa place dans l'exportation. - Exploitation qui fournit des renseignements sur d'autres ressources du sous-sol. - Progrès techniques utilisables pour l'exploitation des autres ressources du sous-sol profond. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ralentit le développement des ressources renouvelables. - Conflits d'utilisation potentiels avec d'autres ressources du sous-sol. - Probables atteintes environnementales (eaux souterraines, sols, air). - Changements géopolitiques, potentiellement sources de nouveaux conflits.

Le croisement des éléments internes et externes engendre :

Forces / Opportunités :

Cet axe présente une priorité maximale :

- Avec la force de l'augmentation des réserves de gaz qui peut devenir une opportunité, tant qu'elle continue à satisfaire les besoins du marché national et international.
- La localisation des gisements de gaz de schiste devient une opportunité car nous n'avons pas besoin de forer aléatoirement pour chercher les hydrocarbures, il suffit de localiser la roche mère pour explorer le terrain, ce qui diminue les coûts liés à l'exploration des hydrocarbures.

Faiblesses / Opportunités :

- Si les opérations de forage et de cimentations sont faites suivant les règles de l'art (annexe 1), les risques de pollutions seront donc extrêmement minimes, et puisque les gisements de gaz de schiste se localisent dans des régions sahariennes ou il y a peu de végétations et peu de populations par rapport aux régions du nord, donc nous pouvons éliminer les risques environnementaux.
- La Sonatrach qui est membre depuis plusieurs années du Partenariat mondial pour la réduction des gaz torchés et participe activement à la déduction de ces émissions, ce qui réduit le point faible des émissions de CO₂ dans le temps qui devient une opportunité.

Forces / Menaces :

- Si on se focalise à la localisation des gisements facilitée et que nous exploitons chaque site dont la roche mère est présente nous pouvons détruire les écosystème et compromettre l'élargissement des terrains agricoles.

Faiblesses / Menaces :

- L'esthétique du paysage sera détruite par la forte empreinte territoriale de l'implantation de l'industrie du gaz de schiste, si ce point ne pourrait pas être bien géré après l'abondance des puits il deviendrait une menace et détériore l'écosystème.
- La mauvaise gestion des eaux usées ainsi que les coûts d'extraction élevés, pourraient constituer une forte menace si le rendement des puits ne sera pas rentable.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Suite à la définition du développement durable qui est un «*développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs* » nous ne pouvons pas inscrire le gaz de schiste dans une optique de développement durable. En effet, le gaz de schiste étant une ressource naturelle non renouvelable, son exploitation aujourd'hui rend cette ressource non disponible pour les générations futures, et pourrait compromettre la capacité de ces dernières à répondre à leurs besoins. Plus la ressource s'épuisera rapidement, plus les générations qui nous suivront, risquent de souffrir de ce déclin, ne pouvant disposer du temps nécessaire à une transition vers des sources alternatives d'énergie.

Si l'Algérie décide tout de même de se lancer dans l'exploitation des gaz de schiste, devant les risques exposés dans cet essai pour la conservation de la biodiversité, et ceux, effleurés, pour la santé humaine, un des principes du développement durable se doit absolument d'être respecté; il s'agit du **principe de prévention**. Cet éloge de la prévention nous dit qu'« *en présence d'un risque connu, des actions de prévention, d'atténuation et de correction doivent être mises en place, en priorité à la source* » (Loi sur le développement durable in Marie-Odile, 2012). C'est dire que des mesures devraient être prises en amont de l'exploitation pour diminuer le plus possible la perte et la fragmentation des habitats, la pollution de l'eau et de l'air, de même que les émissions atmosphériques de GES résultant de l'implantation de l'industrie. Cependant, l'application du principe de prévention sous-entend que nous connaissons déjà suffisamment les risques pour être en mesure de les réduire au minimum.

L'industrie des gaz de schiste n'en est encore qu'à ses balbutiements et il existe des lacunes flagrantes dans la compréhension des répercussions sociales et environnementales qu'elle peut avoir dans son milieu d'implantation. Étant donné ce manque d'informations, l'Algérie devrait donc plutôt se tourner vers le **principe de précaution**. Ce principe s'applique « *lorsqu'il y a un risque de dommage grave ou irréversible* » et stipule que « *l'absence de certitude scientifique complète ne doit pas servir de prétexte pour remettre à plus tard l'adoption de mesures effectives visant à prévenir une dégradation de l'environnement* » (Loi sur le développement durable in Marie-Odile, 2012).

L'application du principe de précaution commande, en premier lieu, de combler le manque de connaissances en réalisant des études scientifiques nécessaires à l'évaluation des risques environnementaux et sociaux de l'implantation de l'industrie des gaz de schiste.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Afin de diminuer les risques à la source, il serait essentiel que les compagnies effectuent des tests de cimentation avant les premières fracturations; que toutes les eaux usées soient récupérées, entreposées de manière sécuritaire puis traitées afin de répondre à des standards assez élevés pour qu'elles puissent être réutilisées pour des fracturations subséquentes; et que tous les déchets potentiellement dangereux soient transportés par des transporteurs sécuritaires certifiés vers des usines de traitement également certifiées (Parfitt, 2010).

Toutefois, prendre la décision de se lancer dans l'exploitation des gaz de schiste en Algérie, signifierait tout de même de développer l'Algérie au-delà de ses besoins énergétiques et de poursuivre des objectifs de croissance économique en misant sur l'utilisation d'une nouvelle source d'hydrocarbures.

Pour que le développement des gaz de schiste soit durable et profite aux générations futures, il faudrait envisager cette ressource comme une énergie de transition permettant de remplacer les sources d'énergie considérées plus polluantes comme le pétrole, dans une volonté de se diriger rapidement vers un portrait énergétique d'où les hydrocarbures conventionnels auraient disparu.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **AIE, 2009 et 2010**, World Energy Outlook.
- **AIE, 2011**, « L'Âge d'or du gaz ».
- **AIE, 2011**, «CO2 Emissions from Fuel Combustion 2011 –Highlights ». Extrait de <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/name,4010,en.html> Consulté le 15/01/2015.
- **AIE, September 2013**, « Des Règles d'or pour un Âge d'or du gaz ».
- **Agence Nationale pour la Valorisation des Ressources en Hydrocarbure, Autorité de Régulation des Hydrocarbures, Octobre 2012**, « Les HYDROCARBURES conventionnels et non conventionnels ».
- **Comité d'experts chargé de l'évaluation Harnacher la science et la technologie pour comprendre les incidences environnementales liées à l'extraction du gaz de schiste, Janvier 2014**, « Incidences environnementales liées à l'extraction du gaz de schiste au Canada ». Extrait de http://www.scienceadvice.ca/uploads/fr/assessments%20and%20publications%20and%20news%20releases/shale%20gas/shalegas_fullreportfr.pdf Consulté le 15/01/2015
- **Donald Kaberuka, Groupe de Banque Africaine de Développement, 2014**, « Le gaz de schiste et ses implications pour l'Afrique et la banque africaine de développement ».
- **Fahrig, L. 2003**, « Effects of habitat fragmentation on biodiversity. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics»
- **Franck Marco, janvier 2013**, « HYDROCARBURES NON CONVENTIONNELS LE CAS DES ETATS-UNIS »
- **Gabriel Marty, Juillet 2011**, « L'exploitation des gaz de schistes, entre promesses économiques et conséquences environnementales ».
- **Howarth, R.W, 2011**, « Greenhouse gas emissions from shale gas: Is this a 'clean' fuel? Conférence annuelle de l'Association américaine pour l'étude du pic gazier et pétrolier » (Washington, DC, 2-5 novembre 2011).
- **IFP Énergies nouvelles, Avril 2011**, « Les hydrocarbures non conventionnels ». Extrait de <http://www.ifpenergiesnouvelles.fr/content/download/70931/1521477/version/1/file/IFPEN+++Les+hydrocarbures+non+conventionnels.pdf> Consulté le 15/01/2015
- **Jackson R.B., B. Rainey Pearson, S.G. Osborn, N.R. Warner et A. Vengosh, 2011**, «Research and policy recommendations for hydraulic fracturing and shale gas extraction. Center on Global Change, Duke University, Durham, NC».

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **La revue international et stratégique – Institut de Relations Internationales et Stratégiques, Mardi 17 janvier 2012**, « LA GAZ NON CONVENTIONNEL, Facteur d'indépendance énergétiques ? »
- **Ladislav Smia, Mirova Responsible Investing 2013**, « Le gaz de schiste et autres gaz non conventionnels »
- **M. Jean-Claude Lenoir, sénateur, et M. Christian Bataille, député, 2013**, « Techniques alternatives à la fracturation hydraulique pour l'exploration et l'exploitation des gaz de schiste »
- **MARIE-ODILE NOËL, OCTOBRE 2012**, « LES RISQUES POUR LA BIODIVERSITÉ DE L'EXPLOITATION DES GAZ DE SCHISTE DANS LA VALLÉE DU SAINT-LAURENT »
- **Michel Meyer, SIG, Février 2013** « Les gaz de schistes - Définition, état des lieux et perspectives ». Extrait de <http://www.rts.chemissionsgeopolitidisdivers4756191.html> **BINARYDossier-gaz-de-schiste-SIG.pdf** Consulté le 11/01/2015
- **Observatoire Des Multinationales, Social, Ecologique, Politique, Mars 2015**, « Total et le gaz de schiste algérien ». Extrait de <https://france.ATTAC.org/IMG/pdf/total-rapport-vf.pdf> Consulté le 05/04/2015
- **Parfitt, B, 2010**, «Fracture lines: Will Canada's water be protected in the rush to develop shale gas? Program on Water Issues, Munk School of Global Affairs at the University of Toronto».
- **Primack, R.B, 2010**. Essentials of conservation biology, cinquième édition. Sinauer Associates, Inc., Publishers, Sunderland, Massachusetts, États-Unis.
- **Relyea, R.A, 2005**. «The impact of insecticides and herbicides on the biodiversity and productivity of aquatic communities. Ecological Applications».
- **Relyea, R.A. 2005**, «The impact of insecticides and herbicides on the biodiversity and productivity of aquatic communities. Ecological Applications»
- **Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique, Avril 2010**, « Assurer la pérennité de la vie sur Terre. La convention sur la diversité biologique : pour la nature et le bien-être de l'humanité »
- **Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique, Avril 2010**, «Assurer la pérennité de la vie sur Terre. La convention sur la diversité biologique : pour la nature et le bien-être de l'humanité».
- **Seiler, A, 2001** « Ecological effects of roads: a review. Introductory research essay. Department of conservation biology. Swedish University of Agricultural Sciences » Extrait de <http://idd00s4z.eresmas.net/doc/transp/ecoeffectsonroads.pdf>
- **Suding, K.N., K.L. Gross et G.R. Houseman, 2004**, «Alternative states and positive feedbacks in restoration ecology. Trends in Ecology»

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Total** (2011, novembre) - Les gaz non conventionnels, des ressources pour le futur. Extrait de http://www.total.com/MEDIAS/MEDIAS_INFOS/5070/FR/TOTAL-gaz-non-conventionnel.pdf Consulté le 15/01/2015
- **Observatoire des multinationales et Basta, 2015**, «Total et le gaz de schiste Algérien »
- **Tyndall Centre, 2011**, «Shale gas : a provisional assessment of climate change and environmental impacts». Extrait de http://www.tyndall.ac.uk/sites/default/files/tyndall-coop_shale_gas_report_final.pdf Consulté le 02/02/2015.
- **U.S. Energy Information Administration** (2012) – Annual energy Outlook.
- **U.S. Energy Information Administration, Juin 2013**, « Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States »
- **United-States House of Representatives, Committee on Energy and Commerce, 2011**, «Chemicals used in hydraulic fracturing».

ANNEXE

Annexe 1 : Architecture type d'un puits de gaz de schiste (IFPEN, 2011)

