



État des connaissances sur la relation entre les activités liées au gaz de schiste et la santé publique

MISE À JOUR

INSTITUT NATIONAL
DE SANTÉ PUBLIQUE
DU QUÉBEC

Québec 

État des connaissances sur la relation entre les activités liées au gaz de schiste et la santé publique

MISE À JOUR

Direction de la santé environnementale
et de la toxicologie

Septembre 2013

AUTEURS ET COORDINATRICES SCIENTIFIQUES DE LA MISE À JOUR

Geneviève Brisson, anthropologue
Marie-Christine Gervais, conseillère scientifique
Christiane Thibault, chef de secteur – Expertise toxicologique
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, Institut national de santé publique du Québec

EXPERTS DES SECTIONS THÉMATIQUES

Risques technologiques

Rollande Allard, médecin-conseil
Leylà Deger, conseillère scientifique
Lise Laplante, médecin-conseil
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, Institut national de santé publique du Québec

Risques reliés à la pollution de l'air

Audrey Smargiassi, chercheure
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, Institut national de santé publique du Québec
Rémi Labelle, candidat à la maîtrise (B. Sc.)
Université de Montréal

Risques reliés à la contamination de l'eau

Céline Campagna, chercheuse d'établissement
Gaétan Carrier, médecin-conseil
Pierre Chevalier, conseiller scientifique
Patrick Levallois, médecin-conseil
Patrick Poulin, conseiller scientifique
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, Institut national de santé publique du Québec

Risques d'effets sur la qualité de vie

Emmanuelle Bouchard-Bastien, conseillère scientifique
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, Institut national de santé publique du Québec

RÉVISION SCIENTIFIQUE

Jean-Louis Durville, ingénieur général des ponts, des eaux et des forêts
Conseil général de l'environnement et du développement durable (France)

Gérard Lasfargues, directeur général adjoint scientifique
Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (France)

Alain Poirier, expert associé
Vice-présidence aux affaires scientifiques, Institut national de santé publique du Québec

Daniel Bolduc, directeur adjoint
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, Institut national de santé publique du Québec

Martin Vachon, conseiller scientifique
Bureau de coordination du développement durable, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs

Marie-Pier Brault, conseillère scientifique
Direction du suivi de l'état de l'environnement/Service des avis et expertises, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs

Yvon Couture, conseiller scientifique
Bureau de coordination sur les évaluations stratégiques, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs

Alix Fortin, chimiste experte
Bureau de coordination sur les évaluations stratégiques, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs

SECRÉTARIAT

Nicole Dubé
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, Institut national de santé publique du Québec

Ce document est disponible intégralement en format électronique (PDF) sur le site Web de l'Institut national de santé publique du Québec au : <http://www.inspq.qc.ca>.

Les reproductions à des fins d'étude privée ou de recherche sont autorisées en vertu de l'article 29 de la Loi sur le droit d'auteur. Toute autre utilisation doit faire l'objet d'une autorisation du gouvernement du Québec qui détient les droits exclusifs de propriété intellectuelle sur ce document. Cette autorisation peut être obtenue en formulant une demande au guichet central du Service de la gestion des droits d'auteur des Publications du Québec à l'aide d'un formulaire en ligne accessible à l'adresse suivante : <http://www.droitauteur.gouv.qc.ca/autorisation.php>, ou en écrivant un courriel à : droit.auteur@cspq.gouv.qc.ca.

Les données contenues dans le document peuvent être citées, à condition d'en mentionner la source.

DÉPÔT LÉGAL – 1^{er} TRIMESTRE 2014
BIBLIOTHÈQUE ET ARCHIVES NATIONALES DU QUÉBEC
BIBLIOTHÈQUE ET ARCHIVES CANADA
ISBN : 978-2-550-69666-7 (PDF)

©Gouvernement du Québec (2014)

RÉSUMÉ

En 2010, l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) avait produit une recension des écrits afin de documenter la relation entre les activités liées au gaz de schiste et la santé publique (Brisson *et al.*, 2010). Le présent document constitue une mise à jour de ce rapport. Cette démarche a été motivée par plusieurs événements dont la tenue d'une évaluation environnementale stratégique (ÉES) commandée par le gouvernement québécois¹, l'annonce de projets d'exploration pétrolière au Québec faisant appel à des techniques semblables, de nouveaux incidents aux États-Unis et au Québec associés à l'industrie gazière et la publication continue de données scientifiques sur le sujet. Cette mise à jour met en évidence les nouvelles connaissances publiées depuis 2010 sur les enjeux sanitaires reliés à l'industrie du gaz de schiste, confirme ou nuance certains éléments ou facteurs de risque soulevés en 2010 et identifie des lacunes dans les connaissances scientifiques reliées à divers facteurs de risque pour l'humain. Les thématiques abordées dans ce document sont les mêmes que dans le rapport de 2010.

Plusieurs équipes scientifiques de l'Unité de santé environnementale de l'INSPQ ont contribué à la réalisation de ce mandat, lequel s'inspire des approches de recension systématique des écrits. À l'aide de mots-clés spécifiques, plusieurs bases de données documentaires ont été consultées et divers moteurs de recherche ont été interrogés. Par la suite, les titres et les documents obtenus ont été évalués en regard de leur pertinence et de leur qualité scientifique, puis les textes retenus ont fait l'objet d'une synthèse critique.

Mise à jour des connaissances sur les risques à la santé

Les résultats de la recension d'écrits sont présentés selon différentes thématiques soit : les risques technologiques, les risques reliés à la pollution de l'air, les risques reliés à la contamination de l'eau et les risques d'effets sur la qualité de vie.

Risques technologiques

L'examen de la littérature depuis 2010 amène à constater qu'il n'y a pas eu beaucoup de données scientifiques nouvelles portant sur l'impact sur la santé humaine des activités d'exploration et d'exploitation des gaz de schiste. En lien avec la thématique, dix-huit études ont été retenues pour cette mise à jour. Les documents consultés permettent de tirer les constats suivants :

- Les explosions, les incendies, les fuites et les déversements de matières dangereuses sont les types d'incidents aux États-Unis et au Canada susceptibles de menacer la santé de la population. En termes d'ampleur, une recension aux États-Unis dénombre par exemple plus de 825 incidents environnementaux différents.
- La grande majorité des accidents survenus tout au long du processus d'exploration et de production du gaz sont associés à des erreurs humaines, à de la négligence, à des défaillances matérielles et à la complétion inadéquate des puits de forage.

¹ Dont les résultats sont attendus à l'automne 2013.

- Lors de déversements et de fuites de substances chimiques, les travailleurs, la population avoisinante et les premiers répondants sont les sujets les plus à risques de subir des préjudices sérieux.
- Le transport de matières dangereuses comporte des risques particuliers aux différentes phases du transport.

Les documents recensés soulèvent aussi des constats pour la gestion de ces risques :

- Un encadrement de l'industrie et un resserrement de la législation paraissent des mesures efficaces pour réduire la fréquence des événements environnementaux.
- Les mesures d'urgence et la surveillance demeurent des aspects de la gestion du risque à bien considérer, un des défis étant de favoriser la collaboration entre l'industrie gazière et les principaux organismes publics concernés.

Par ailleurs, les constats issus de la littérature permettent de constater que les connaissances de la nature, des quantités, des procédures de manipulation et de transport des substances chimiques utilisées par l'industrie gazière demeurent encore incomplètes. Ce manque de connaissances fait en sorte qu'il n'est pas encore possible d'évaluer le niveau potentiel d'exposition tant des travailleurs que de la population environnante à ces substances et de faire l'évaluation des risques.

Risques reliés à la pollution de l'air

L'exposition aux polluants de l'air est associée à plusieurs effets sur la santé, notamment à des effets cardiorespiratoires. La mise à jour quant aux risques sanitaires reliés à la pollution de l'air se fonde sur quatorze nouveaux écrits. Ces documents permettent de constater les éléments suivants :

- Diverses modélisations et mesures effectuées depuis 2010, à proximité de sites d'activités liés au gaz de schiste, permettent de prévoir des augmentations locales des concentrations de certains polluants de l'air et en particulier, celles des particules fines et de l'ozone et de ses précurseurs (c.-à-d. COV).
- Très peu d'études ont porté sur les risques à la santé associés à l'exposition aux polluants de l'air émis lors des activités associées à l'exploration et à l'exploitation du gaz de schiste. Quelques évaluations estiment que les risques sont plus importants pour les individus habitant à proximité de puits (p. ex., < 1 km) ou dans les comtés américains où les activités sont le plus concentrées.

Dans une perspective de gestion des risques, la littérature scientifique colligée et les règles de l'art suggèrent des approches d'estimation de risques à la santé, notamment quant à l'effet cumulé des composés émis dans l'air et quant aux mesures de polluants de l'air préalables à toutes activités d'exploration. De plus, les principes de gestion de risque appliqués en santé publique (Ricard, 2003) mènent à penser que le risque serait mieux géré en tenant compte de distances séparatrices entre des sites d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste et les zones habitées.

Finalement, les constats issus de la littérature montrent que la prise en compte des effets indirects à la santé associés à l'émission de gaz à effets de serre par les activités liées à l'exploration et à l'exploitation du gaz de schiste est requise pour documenter les risques de façon cohérente avec les modalités préconisées en santé publique.

Risques reliés à la contamination de l'eau

La littérature recensée pour cette mise à jour comporte dix-huit nouveaux textes. Ceux-ci montrent que les possibilités de contamination des eaux souterraines sont réelles. Notamment :

- Des contaminations sont survenues à la suite d'un accident, par exemple : lors d'une défaillance technique au moment de la fracturation avec rejet dans l'environnement des boues et produits de la fracturation; lors d'une fuite de gaz due à une défaillance des infrastructures des voies d'extraction; pendant les opérations normales d'extraction des gaz de schiste.
- Il a été démontré que des problèmes d'étanchéité des coffrages des puits d'extraction étaient à l'origine de cas de contamination survenus dans des conditions normales d'opération.
- Une hypothèse controversée suggère la migration accélérée des contaminants contenus dans la roche-mère vers la surface à travers des failles ou fissures causées ou accentuées par la fracturation hydraulique. Elle reste à confirmer ou à infirmer par de nouvelles recherches. Si cette hypothèse était confirmée, le risque de contamination des nappes phréatiques persisterait même si des solutions techniques définitives étaient apportées aux problèmes d'étanchéité.

Enfin, tout comme dans la recension de l'INSPQ en 2010 (Brisson *et al.*, 2010), l'exercice de recension montre que plusieurs connaissances restent à acquérir.

Risques d'effets sur la qualité de vie

La mise à jour de la littérature sur les effets à la qualité de vie et aux dimensions psychologiques et sociales a permis de colliger 22 nouveaux textes. Les nouveaux documents mis au jour ont confirmé les résultats présentés en 2010 (Brisson *et al.*, 2010). Les activités reliées à l'exploration et l'exploitation du gaz de schiste sont susceptibles de causer des impacts sur la qualité de vie et la santé sociale et psychologique, notamment quant aux aspects suivants :

- L'augmentation de la circulation, le bruit, la luminosité intense et les vibrations causées par ces activités industrielles occasionnent des nuisances pour la population avoisinante, particulièrement chez les résidents vivant à proximité d'un site de forage ou d'une route empruntée par les travailleurs.
- Le phénomène *boomtown* a été observé à maintes reprises dans les communautés états-uniennes exploitant le gaz de schiste. Lorsqu'il est présent, il entraîne des effets socioéconomiques, culturels et psychologiques. Ces impacts varient selon le profil de la communauté d'accueil, les infrastructures et les services offerts et le niveau de préparation des autorités.

- La pénurie de logements, l'augmentation du prix des biens et des services et l'augmentation des tensions et des conflits ont été constatées dans plusieurs cas étudiés.
- À leur tour, les nuisances et les effets sociaux ont causé chez certaines personnes du stress, de l'anxiété, de l'angoisse, des sentiments de perte de confiance et de perte de contrôle.

Les résultats issus de la littérature amènent à réfléchir notamment au moment où il convient d'investiguer et de caractériser chaque population concernée. Selon les règles de l'art en évaluation des impacts, réaliser ces activités avant l'arrivée de l'industrie permet habituellement de prévenir certains de ces effets sociaux et psychologiques.

Perspectives de réflexion pour la gestion du risque

La perspective de gestion des risques mise de l'avant par le réseau de la santé publique québécoise préconise des principes directeurs dans les dossiers de ce type, dont la transparence, la participation, l'équité, l'appropriation des pouvoirs, la prudence et la rigueur scientifique. En ce sens, des avancées scientifiques ont été réalisées et se poursuivent afin d'identifier les problèmes et de considérer les solutions permettant de réduire les impacts sanitaires de cette industrie. En revanche, de nouvelles questions scientifiques sont soulevées au sujet de plusieurs facteurs de risque dont l'impact à long terme sur la santé demeure préoccupant pour les communautés où se développe l'industrie gazière.

Par ailleurs, les résultats de cette recension démontrent l'importance de poursuivre des travaux de recherche dans la perspective d'orienter la démarche des instances concernées en matière d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste au Québec. Les constats de cette recension réitèrent aussi les paramètres jugés incontournables en gestion des risques, qui contribuent à prendre des décisions éclairées. Entre autres, les étapes suivantes sont importantes :

- Suivre l'évolution des recherches scientifiques.
- Documenter et rendre accessible les données associées à l'exposition aux divers facteurs de risque.
- Documenter et mesurer les paramètres présents avant toute opération.
- Établir des mesures de prévention et de protection pour limiter les risques à la santé.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX	VII
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES	IX
INTRODUCTION.....	1
1 MÉTHODOLOGIE.....	5
1.1 Stratégies de recherche documentaire.....	5
1.1.1 Stratégie de recherche documentaire générale	5
1.1.2 Stratégies de recherche documentaire spécifiques	6
1.1.3 Stratégies de recherche documentaire complémentaires	8
1.2 Stratégie d'analyse des publications obtenues.....	8
1.2.1 Sélection quant à la pertinence	8
1.2.2 Analyse de la qualité du document.....	9
2 LES RISQUES TECHNOLOGIQUES	11
2.1 Constats de 2010.....	11
2.2 Résultats de la recension 2013 sur les risques technologiques.....	12
2.2.1 Identification des risques pour la santé humaine	12
2.2.2 Effets à la santé potentiels	16
2.2.3 Exposition des populations.....	17
2.3 Bilan de la recension 2013 sur les risques technologiques.....	17
3 POLLUANTS DE L'AIR ÉMIS LORS DE L'EXPLORATION ET DE L'EXPLOITATION DU GAZ DE SCHISTE.....	19
3.1 Constats de 2010.....	19
3.2 Résultats de la recension 2013 sur les polluants de l'air	20
3.2.1 Estimation des émissions et modélisation des concentrations de polluants de l'air	20
3.2.2 Mesures des polluants de l'air	21
3.2.3 Risques à la santé.....	23
3.3 Bilan de la recension 2013 sur les polluants de l'air	24
4 L'EAU SOUTERRAINE ET DE SURFACE	27
4.1 Constats de 2010.....	27
4.2 Résultats de la recension 2013 sur l'eau.....	28
4.2.1 Nature et concentration des contaminants retrouvés dans l'eau souterraine	29
4.2.2 Sources, voies et processus possibles de contamination de l'eau souterraine	33
4.3 Bilan de la recension 2013 sur l'eau.....	36
4.3.1 Synthèse des résultats de la mise à jour 2013	36
4.3.2 Informations à acquérir pour la caractérisation du risque.....	38

5	ASPECTS ASSOCIÉS À LA QUALITÉ DE VIE ET À LA SANTÉ PSYCHOLOGIQUE ET SOCIALE	41
5.1	Constats de 2010.....	41
5.2	Résultats de la recension 2013 sur la qualité de vie	42
5.2.1	Nuisances potentielles de l'activité du gaz de schiste et effets sur la qualité de vie.....	42
5.2.2	Dimensions sociales associées à l'industrie du gaz de schiste	45
5.2.3	Dimensions psychologiques associées à l'industrie du gaz de schiste	50
5.3	Bilan de la recension sur la qualité de vie 2013	51
5.3.1	Synthèse des résultats.....	51
5.3.2	Informations à acquérir pour la caractérisation du risque	51
	CONCLUSION.....	53
	RÉFÉRENCES	57
ANNEXE 1	BILAN DES ÉTUDES REJETÉES POUR CHACUNE DES THÉMATIQUES	65
ANNEXE 2	TABLEAUX DESCRIPTIFS DES ÉTUDES RETENUES.....	73

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Bilan final de la stratégie de recherche par thématique.....	5
Tableau 2	Mots-clés et stratégies de recherche de la recherche générale pour la littérature scientifique.....	6
Tableau 3	Titres obtenus par la stratégie de recherche générale	6
Tableau 4	Mots-clés et stratégies de recherche employées pour les recherches thématiques.....	7
Tableau 5	Critères de pertinence associés au résumé	9
Tableau 6	Bilan du nombre d'études évaluées quant à la qualité, et sur lesquelles se base chacune des sections thématiques.....	10

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

2-BEP	2-butoxyéthanol phosphate
ATSDR	Agency for toxic substances and disease registry
ASHRAE	American Society of heating, refrigerating and air conditioning engineers
BAPE	Bureau d'audiences publiques sur l'environnement du Québec
BCOGC	British-Columbia Oil and Gas Commission
BTEX	Composés monoaromatiques (benzène, toluène, éthylbenzène et xylène)
CHEC	Center for Healthy Environments and Communities, University of Pittsburgh – Graduate School of Public Health
CIRC	Centre international de recherche sur le cancer
CO ₂	Dioxyde de carbone
COV	Composés organiques volatils
dB	Décibel
DMRM	Division of Mineral Resources Management, Department of Natural Resources de l'Ohio
DSP	Direction de santé publique
EID	<i>Energy in Depth</i>
GES	Gaz à effet de serre
H ₂ S	Sulfure d'hydrogène
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
HSDB	<i>Hazardous Substances Data Bank</i> , U.S. National Library of Medicine
IAIA	International Association for Impact Assessment
INSPQ	Institut national de santé publique du Québec
IRIS	<i>Integrated Risk Information System</i> , US EPA
MDDEP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MRNF	Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
MSSS	Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec
NO _x	Oxydes d'azote
NTP	<i>National Toxicology Program</i>
NYCDEP	New York City Department of Environmental Protection
NYSDEC	New York State Department of Environmental Conservation
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
ODNR	Ohio Department of Natural Resources

OMS	Organisation mondiale de la Santé
PADEP	Pennsylvania Department of Environmental Protection
PALTA	Pennsylvania Land Trust Administration
PEMA	Pennsylvania Emergency Management Agency
PM _{2,5}	Particules de matière dont le diamètre médian est inférieur à 2,5 µm
ppb	Particules par milliard
QEC	Questerre Energy Corporation
SGEIS	<i>Supplemental generic environmental impact statement</i> (New York State Department of Environmental Conservation)
SOx	Oxydes de soufre
SPL	<i>Sound pressure loudness</i> (niveau de pression du son)
TEUSA	Talisman Energy USA
US EPA	United States Environmental Protection Agency
USDE	United States Department of Energy
WVDEP	West Virginia Department of Environmental Protection

INTRODUCTION

Les conditions économiques qui prévalaient en 2010 ont favorisé une croissance des activités d'exploration du gaz de schiste sur le territoire du Québec, rendant plus probables les activités d'exploitation qui s'ensuivent. Le dossier du gaz de schiste continue donc à prendre de l'ampleur sur la scène publique québécoise. Cependant, la présence accrue de l'industrie a soulevé et soulève encore questions, inquiétudes et controverses à des échelles locales, régionales et nationales. En parallèle, sur la scène internationale, la question du gaz de schiste suscite aussi un intérêt croissant. Depuis 2010, plusieurs États américains, la France, la Belgique, la Pologne et le Royaume-Uni ont connu des débats à ce sujet, et ont lancé des programmes de recherche sur la question.

Les préoccupations de la population québécoise en lien avec les activités d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste sont en grande partie associées aux risques de contamination des réserves d'eau potable. Au Québec, cette problématique revêt une importance toute particulière puisqu'une forte proportion de la population réside dans la vallée du Saint-Laurent. La formation géologique de l'Utica, dans laquelle se concentre le gaz de schiste, se retrouve dans le sous-sol de cette région. Une grande proportion de la population occupant cette région dépend des sources d'eau potable souterraines locales tant pour répondre à leur besoin personnel que pour soutenir la production agricole.

Dès la mise en chantier des premiers puits de forage dans la région des basses-terres du Saint-Laurent, les acteurs interpellés par le développement de cette industrie ont voulu connaître l'impact de l'industrie sur la disponibilité et la qualité des ressources en eau potable. Les orientations privilégiées par le législateur aux États-Unis, lieu où l'on retrouve actuellement le plus grand nombre de puits de gaz de schiste et le plus grand bassin d'études sur le sujet, démontrent que ces préoccupations sont prises au sérieux (US EPA, 2011). Malgré les avantages que pourrait procurer cette industrie en comparaison à l'exploitation d'autres types de carburants fossiles (Jenner et Lamadrid, 2013), les résultats des études récemment publiées soulèvent de nombreux questionnements quant aux risques de contamination qui y sont associés.

La problématisation du dossier en 2010 a poussé le gouvernement québécois à mandater le Bureau des audiences publiques en environnement de tenir une audience générique (BAPE, 2011). Par la suite, le gouvernement a demandé une évaluation environnementale stratégique (CEES, 2011) dont les résultats sont attendus à l'automne 2013.

Mandat

En 2010, le ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS) a demandé à l'INSPQ de se pencher sur la question des risques à la santé associés au gaz de schiste. Un état des connaissances scientifiques disponibles a été publié sur le sujet (Brisson *et al.*, 2010), soulevant à la fois les effets potentiels documentés et le manque de données scientifiques permettant de bien documenter le risque sanitaire pour la population québécoise. Les facteurs pouvant induire des risques de contamination de l'eau et de l'air, les conditions pouvant causer des dommages lors d'accidents, et les impacts sur la qualité de vie, sur la santé psychologique et sociale devaient également être précisés.

Cet état des connaissances dressait un premier bilan de la question (Brisson *et al.*, 2010). En 2010, aux États-Unis, quelques incidents et accidents technologiques étaient documentés et quelques cas de contamination potentielle des nappes phréatiques attribuables à la fracturation hydraulique des formations rocheuses, faisaient l'objet d'investigations par l'Agence américaine de protection de l'environnement. L'absence de données de base sur la contamination de l'eau et de l'air avant le forage des puits en activités compliquait l'évaluation de la contamination attribuable exclusivement aux activités d'exploitation des gaz de schiste. Une absence de publications scientifiques avec revue de pairs sur ces sujets a été constatée à l'époque, et les données publiées sur les risques à la santé ou les risques de contamination des médiums (eau, air et sol) auxquels l'humain est exposé provenaient exclusivement d'écrits scientifiques non révisés par les pairs (littérature grise). Par ailleurs, les aspects sociaux et psychologiques montraient déjà des effets et des nuisances à partir d'une base de documentation scientifique solide. Enfin, étant donné l'absence de données techniques et contextuelles au Québec, il était impossible d'évaluer les risques à la santé au Québec. En définitive, plusieurs aspects de la question des risques sanitaires associée aux activités du gaz de schiste étaient insuffisamment documentés par des travaux scientifiques pour pouvoir renseigner, avec un degré d'évidence acceptable, sur le risque réel encouru par la population québécoise en lien avec les activités de cette industrie.

Divers événements ont motivé l'INSPQ à réaliser une mise à jour de son rapport de 2010 : une évaluation environnementale stratégique (ÉES) commandée par le gouvernement québécois, l'annonce de nouveaux projets d'exploration pétrolière qui recouraient à des techniques de forage semblables et la publication de nouvelles données scientifiques. La mise à jour se base sur les nouvelles connaissances publiées depuis 2010. Elle traite des risques sanitaires reliés à l'exploration et l'exploitation du gaz de schiste. Ce travail entend montrer dans quelle mesure certains éléments ou facteurs de risque soulevés en 2010 se confirment ou se nuancent. La mise à jour vise aussi à identifier les lacunes encore existantes dans les connaissances scientifiques reliées à divers facteurs de risque pour l'humain. Ce travail est en lien direct avec l'exercice réalisé par l'INSPQ en 2010 (Brisson *et al.*, 2010). Ces recensions d'écrits de l'INSPQ ne consistent pas en des évaluations de risque², car il manque des informations pour ce faire (p. ex., l'évaluation des besoins en eau de l'industrie, l'identification des substances utilisées lors du forage et de la fracturation, etc.), et que d'autres organismes se sont donné ce mandat tels que le Comité d'évaluation environnementale stratégique sur le gaz de schiste créé par le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) (CEES, 2013), ou encore l'US EPA³.

² Les principaux paramètres de la démarche d'évaluation de risque sont présentés dans le rapport initial de l'INSPQ sur les activités liées au gaz de schiste (Brisson *et al.*, 2010), ainsi que dans les Lignes directrices à ce sujet (MSSS, 2002).

³ L'organisme effectue l'évaluation des impacts potentiels de la fracturation hydraulique sur les ressources en eau potable (composés chimiques utilisés pour la fracturation, leurs propriétés physicochimiques et toxicologiques et, dans des zones en exploitation du gaz de schiste aux États-Unis, contamination des nappes phréatiques par les produits utilisés par l'industrie). Les résultats devraient être publiés en 2014 (US EPA, 2012).

Objectifs de la recension

La démarche vise à réaliser une synthèse thématique sur le gaz de schiste et ses relations avec les facteurs de risque à la santé humaine. Tout comme pour la recension initiale (2010), les travaux ont été encadrés par l'approche de gestion des risques (Ricard, 2003), donc par les principes et les règles de l'art préconisées pour aborder les risques toxicologiques et épidémiologiques.

La recherche bibliographique de la mise à jour a couvert la période du 16 octobre 2010 au 31 janvier 2013. Elle vise à répondre à la question de recherche suivante : les activités d'exploitation du gaz de schiste en milieu québécois sont-elles susceptibles d'entraîner des impacts sur la santé des populations avoisinantes?

Thèmes abordés

Les thématiques abordées dans ce document englobent la santé au sens large, soit non seulement l'absence de maladie, mais bien également les éléments contribuant au développement du bien-être personnel et communautaire (OMS, 1946). Les thèmes traités sont les mêmes que dans le rapport de 2010 soit les risques technologiques et sismiques, les risques de contamination de l'eau et de l'air et leurs conséquences à court et à long terme sur la santé humaine, l'impact sur les ressources d'eau potable, les nuisances (circulation, bruit, lumière, vibration) pour les résidents vivant à proximité des installations d'exploitation du gaz de schiste et des effets psychologiques et sociaux. La mise à jour concerne ainsi – et uniquement – les mêmes thématiques que celles soulevées en 2010 (Brisson *et al.*, 2010).

Dans ce document, l'expression « gaz de schiste » sera employée dans l'ensemble des contextes où il est question d'un mélange d'hydrocarbures légers piégés dans une matrice géologique susceptible de se débiter en feuillet. L'expression « shale » sera utilisée pour désigner une série sédimentaire stratifiée et argileuse, potentiellement riche en matière organique et en hydrocarbures (Foucault et Raoult, 2000).

1 MÉTHODOLOGIE

La démarche de mise à jour de l'INSPQ a adopté une méthodologie uniformisée pour les différentes thématiques traitées. Elle s'est inspirée de la méthode de recension systématique des écrits et notamment de l'approche du National Institute for Clinical Excellence (NICE, UK). Ce choix a pour objectif d'augmenter la validité de la recension en éliminant les associations fortuites, les résultats peu généralisables et les biais méthodologiques.

La méthodologie de recherche s'est déroulée en deux étapes principales, soit une stratégie de recherche documentaire et une stratégie d'analyse des résultats obtenus. Elle a recueilli et traité des documents anglophones et francophones publiés entre le 16 octobre 2010 et le 31 janvier 2013. Au total, 67 textes ont été sélectionnés à la suite de l'application de l'ensemble de la démarche (tableau 1).

Tableau 1 Bilan final de la stratégie de recherche par thématique

Principales étapes de la stratégie de recherche	Risques technologiques	Chapitres		
		Air	Eau	Qualité de vie
Titres mis à jour par les diverses stratégies	3632	2937	3165	4507
Titres rejetés	3614	2621	2827	4414
Titres jugés pertinents, retenus pour évaluation du résumé	84	282	338	105
Résumés rejetés (non pertinents) ^a	68	267	305	68
Articles retenus comme étant pertinents et soumis à une analyse de la qualité	16	15	33	37
Nombre de documents rejetés	1	1	17	15
Nombre total de documents retenus : 67	15	14	16	22

^a Lorsque le résumé n'était pas suffisant pour évaluer la pertinence, le document complet a été consulté pour évaluer la pertinence, selon les mêmes critères.

Afin de sélectionner ces documents, plusieurs stratégies de recherche ont été exploitées pour la documentation de cette mise à jour. Elles sont décrites ci-après.

1.1 STRATÉGIES DE RECHERCHE DOCUMENTAIRE

1.1.1 Stratégie de recherche documentaire générale

Une recherche générale pour toutes les thématiques confondues a d'abord été lancée dans diverses bases de données et diverses plateformes de recherche. Elle a permis de repérer la littérature scientifique avec révision par les pairs⁴ et la littérature grise⁵.

⁴ Proquest, 360 Search et Current Contents.

⁵ Google Scholar et Grey Litt.

Des mots-clés et des combinaisons de termes ont été identifiés (tableau 2) pour la littérature scientifique avec révision par les pairs. En ce qui concerne la littérature grise, les combinaisons suivantes ont été utilisées : *shale*, *shale AND health*, *shale AND risk*, *shale AND impact* pour Google Scholar, et dans la base Grey litt., *shale*, *shale gas*, *fracking*. Ces mots-clés et les bases de données utilisées sont sensiblement les mêmes que dans le rapport de 2010.

Tableau 2 Mots-clés et stratégies de recherche de la recherche générale pour la littérature scientifique

	Exposition Ressource et activités industrielles associées		Résultats Effets, impacts ou mesures	Bases de données
Stratégie 1	(<i>shale OR « shale gas » OR « fracking » OR « hydraulic fracturing » OR « shale industry » OR « shale gas operations » OR « shale gas extractions »</i>)			Proquest et Métamoteur 360 Search
Stratégie 2	<i>Idem</i>	AND	(<i>« risk assesement » OR « risk analysis » OR risk OR « environmental evaluation »</i>)	Proquest, Métamoteur 360 Search et Current Contents
Stratégie 3	<i>Idem</i>	AND	(<i>« population health » OR « health impacts » OR « public health » OR « Human Health » OR health</i>)	Proquest, Métamoteur 360 Search et Current Contents
Stratégie 4	Stratégie 2 + Stratégie 3			

Au total, 2655 titres ont été obtenus lors de la recherche générale à travers les bases de données suivantes : Proquest, 360 Search, Currents contents et Google Scholar (tableau 3). À noter qu'aucun document n'a été obtenu par la base Grey Litt.

Tableau 3 Titres obtenus par la stratégie de recherche générale

	Proquest	360 Search	Current contents	Google Scholar	Total de titres
Total de titres révisés	487	1421	146	601	2655 ^a

^a Il y a un chevauchement dans les publications obtenues par ces diverses stratégies.

1.1.2 Stratégies de recherche documentaire spécifiques

Pour chacun des chapitres de cette recension d'écrits, des recherches spécifiques ont aussi été faites avec des mots-clés et des bases de données propres au thème abordé (tableau 4). En général, cette recherche s'est amorcée par la sélection d'articles pertinents issus de la stratégie de recherche générale, puis en documentant chaque thématique par une recherche spécifique⁶.

⁶ En raison de la spécificité de certains sous-thèmes sur les risques technologiques, la professionnelle de recherche a d'abord effectué la recherche spécifique, puis a examiné les sources issues de la recherche générale.

Tableau 4 Mots-clés et stratégies de recherche employées pour les recherches thématiques

Chapitre	Gaz de schiste	Résultats	Date de consultation	Bases de données
Risques technologiques	(shale OR « shale gas » OR « shale play* » OR « Marcellus shale » OR « Barnett shale » OR « unconventional gas » OR fracking OR hydrofracking OR « hydro fracking » OR « hydro-fracking » OR hydrofractur* OR « hydro fracturing » OR « horizontal (fracing OR fraccing OR fracking OR fracturing) » OR « hydraulic (fracturing OR fracturation) » OR « frack* fluid* » OR « fracing fluid* » OR fraccing fluid* »)	AND (spill* OR blowout* OR blow-out* OR incident* OR accident* OR leak* OR « technological risk* » OR « technological hazard* » OR « industrial risk* » OR « industrial hazard* » OR « industrial danger* » OR failure* OR malfunction* OR blast* OR blowup* OR blow-up* OR release* OR « fugitive emission* » OR wound* OR injur* OR mortalit* OR fatal* OR « health risk* » OR « health hazard* » OR « health impact* » OR lesion* OR death* OR morbidity OR intoxicat* OR « adverse effect* » OR « emergenc* preparedness » OR « emergenc* plan* » OR « emergenc* manag* » OR « public safety » OR « risk management » OR « health risk assessment » OR « health risk determination » OR « risk assessment » OR « risk analysis » OR « risk analyses » OR public health » OR « population health » OR « environment health »)	14 au 18 mars 2013	OvidSP, Environmental Sciences and Pollution Management via ProQuest, SciVerse HUB, Google Scholar, Scirus
Air	(« shale gas » OR shale OR fracking OR « hydraulic fracturing » OR « shale gas industry » OR « shale gas operations » OR « shale gas extractions »)	AND (« air pollution » OR PM _{2,5} OR « particulate matter » OR particles OR VOC OR « volatile organic carbon » OR benzene, ozone, nitrogen, « sulphur dioxide »)	19-20 mars 2013	Métamoteur 360 Search et Google Scholar
Eau	(« shale gas » OR shale OR fracking OR « hydraulic fracturing » OR « shale gas industry" OR « shale gas operations » OR « shale gas extractions »)	AND Water	21 février au 19 mars 2013	Biological Abstracts (BIOSIS Reviews), Google Scholar
Qualité de vie	(shale OR « shale gas » OR fracking OR « hydraulic fracturing »)	AND (attitude OR perception OR psychologic* OR social OR psychosocial OR annoyance)	21 février au 15 mars 2013	Anthropology Plus, Ebsco (Human ressources abstract), Jstor, Science Direct

Les recherches thématiques ont permis de répertorier 77 documents sur les risques technologiques, 214 documents sur l'air, 109 documents sur l'eau et 652 documents sur la qualité de vie.

1.1.3 Stratégies de recherche documentaire complémentaires

La recherche s'est étendue à la documentation parallèle disponible, notamment pour identifier des documents issus d'agences gouvernementales et d'universités canadiennes ou américaines. Les sources parallèles suivantes ont été consultées :

- Une base de documents sur le gaz de schiste transmise par le Bureau de coordination sur les évaluations stratégiques (BCÉS) du MDDEFP;
- Des sites Internet pertinents⁷;
- La bibliographie des articles et publications repérés dans la littérature scientifique et la documentation complémentaire.

En ce qui concerne cette dernière stratégie de recherche, 6 documents ont été repérés pour les risques technologiques, 68 documents pour les polluants de l'air, 78 documents pour l'eau souterraine et de surface et 1200⁸ documents pour les aspects associés à la qualité de vie.

1.2 STRATÉGIE D'ANALYSE DES PUBLICATIONS OBTENUES

Une phase de sélection et d'analyse de l'ensemble des documents a suivi l'identification des documents par les stratégies de recherche présentées ci-dessus. Des critères de pertinence et de qualité ont été définis et appliqués aux titres et aux résumés mis au jour, puis aux textes complets. Seuls les documents sélectionnés comme étant pertinents et de qualité suffisante ont été retenus pour la recension. Les documents rejetés pour des raisons de qualité ont été consignés dans un tableau présentant les raisons de leur mise à l'écart (annexe 1, tableaux 1 à 4).

1.2.1 Sélection quant à la pertinence

D'abord, une sélection sur la base de la pertinence du titre a été effectuée. Le titre devait montrer un lien avec la question de recherche. Pour la recherche générale, le titre devait porter sur le gaz de schiste (ou activités industrielles associées) et sur son association avec l'une ou des thématiques abordées dans ce rapport; pour les recherches spécifiques, le titre devait porter sur l'un des quatre thèmes abordés dans ce document.

Par la suite, les résumés sélectionnés lors des démarches de recherche documentaire ont été soumis à une appréciation de leur pertinence (voir tableau 5).

⁷ Le site Internet « A Research Guide to the Marcellus and Utica Shales », disponible à l'adresse : <http://rpstrauss.pairservers.com/marcellusshale/sourcesbycategory.html>, a été consulté le 1^{er} mars 2013, de même que google.ca et google.com. L'ensemble a permis de repérer de nouveaux sites états-uniens et canadiens.

⁸ Tirés du site « A Research Guide to the Marcellus and Utica Shales », mentionné à la note précédente.

Un premier critère de sélection a trait au type de documents ou d'études.

- Les types de documents suivants étaient retenus : revues systématiques, études contrôlées et réparties au hasard, études à visée étiologique, études descriptives, analyses qualitatives, thèses, recensions d'écrits (avec méthodologie décrite) et rapports de groupes d'experts.
- Les types de documents suivants étaient exclus : lettres, éditoriaux, lettres et essais.

Ensuite, la pertinence a été jugée en regard de l'objectif de cette recension, soit à partir de critères liés à la population, à l'exposition et aux effets (tableau 5). Les documents jugés pertinents à la question de recherche répondent à un niveau de cotation Excellent (++) ou Acceptable (+). Les résumés présentant une ou plusieurs cotes Inacceptable (-) ont été refusés. Le manque d'information pour un critère entraînait une cote réduite.

Tableau 5 Critères de pertinence associés au résumé

Critère	Description	Excellent (+ +)	Acceptable (+)	Inacceptable (-)
Participants	L'étude doit se pencher sur une population exposée au moment de la recherche.	Famille Voisinage Ville Village Communauté	Région (large) Sous-groupe défini à l'intérieur d'une unité territoriale définie (femmes; enfants)	Non définie
Exposition	La source d'exposition étudiée doit présenter les caractéristiques du gaz de schiste.	Gaz de schiste	Hydrocarbures en général, incluant le gaz de schiste	Autres énergies
	Les conditions de l'exposition doivent être comparables au contexte québécois.	Étude réalisée au Québec	Étude réalisée ailleurs qu'au Québec, mais dans un contexte comparable en tout ou en partie	Aucune variable similaire pour le contexte
Mesure des effets	L'écrit doit traiter de changements dans la santé (au sens large) chez la population exposée.	Mesure des effets directs sur les critères	Mesure des effets indirects	Autres effets mesurés, à l'exclusion d'effets sanitaires

1.2.2 Analyse de la qualité du document

À la suite de l'application de critères de forme et de pertinence, les documents retenus ont été soumis à une évaluation de leur qualité scientifique selon des critères précis tels que l'indépendance des auteurs, l'indépendance du financement, la clarté des objectifs, la clarté de la méthodologie, le lien entre les objectifs et les résultats et finalement, la pertinence pour l'objectif de recherche. L'évaluation de la qualité a été confiée à deux personnes lorsque l'appréciation de la qualité exigeait un autre avis. Les documents rejetés sont présentés à l'annexe 1, et ce, pour chacune des thématiques. Au total, 67 études ont été retenues sur les 101 documents analysés (tableau 6).

Tableau 6 Bilan du nombre d'études évaluées quant à la qualité, et sur lesquelles se base chacune des sections thématiques

	Chapitres			
	Risques technologiques	Air	Eau	Qualité de vie
Articles retenus comme étant pertinents et soumis à une analyse de la qualité	16	15	33	37
Nombre de documents rejetés	1	1	17	15
Nombre total de documents retenus : 67	15	14	16	22

2 LES RISQUES TECHNOLOGIQUES

Ce chapitre porte sur les risques sanitaires et les urgences de santé publique associés aux technologies employées lors des activités d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste. Les aspects reliés à la sécurité et à la santé des travailleurs n'y sont pas traités spécifiquement, même si certains aspects sont abordés. La première section du chapitre synthétise les données scientifiques recensées avant 2010 par l'INSPQ (Brisson *et al.*, 2010) tandis que la deuxième section porte sur celles publiées depuis cette époque.

2.1 CONSTATS DE 2010

Lors de la publication du document « État des connaissances sur la relation entre les activités liées au gaz de schiste et la santé publique » en 2010, la recherche documentaire n'avait pu recenser de documentation scientifique révisée par les pairs en ce qui a trait aux impacts sanitaires reliés aux risques technologiques en lien avec l'industrie du gaz de schiste. Les données sur ce sujet provenaient notamment de rapports universitaires et d'autorités gouvernementales canadiennes et américaines, de même que de rapports d'enquêtes. Ces données avaient toutefois permis d'énoncer certains constats à l'égard d'accidents et d'incidents reliés à cette industrie :

- Des explosions, des incendies, des fuites et des déversements de substances dangereuses étaient les principaux accidents et incidents rapportés susceptibles de porter atteinte à la santé humaine en lien avec les activités d'exploitation du gaz de schiste. Ces situations avaient été constatées entre autres au Colorado, en Pennsylvanie, en Ohio, en Colombie-Britannique et en Virginie-Occidentale (Brisson *et al.*, 2010). De tels événements pouvaient survenir tout au long du processus d'exploration et d'exploitation tant sur le site qu'à l'extérieur de celui-ci, par exemple lors du transport routier de matières dangereuses. La fréquence de ce type d'événement était toutefois peu documentée et leur surveillance non systématique. Ainsi, il était alors impossible, selon l'information recueillie dans cet état des connaissances, d'estimer leur fréquence historique aux États-Unis et au Canada.
- De multiples causes avaient été associées à ces événements (erreur humaine, défaillances matérielles, erreurs techniques, entreposage inadéquat, migration de gaz, rupture d'un pipeline, accidents de transport, etc.). Outre ces causes de nature anthropique, certains incidents avaient été causés ou aggravés par des risques naturels (incendie à proximité, foudre, vent violent, pluie abondante, chaleur et froid extrême, etc.) (Brisson *et al.*, 2010).
- La gravité des atteintes à la santé documentées variait de blessures légères à des décès chez les travailleurs de l'industrie du gaz de schiste et au sein de la population. En raison de la localisation des sources de gaz, cette industrie pouvait être située à proximité des zones d'habitation. Par contre, dans plusieurs des cas, les incidents rapportés étaient survenus dans des zones éloignées de la population. Les travailleurs industriels étaient considérés comme étant les plus à risque d'être victimes des accidents découlant des activités de cette industrie, suivi de la population vivant à proximité des sites d'exploitation ou des réseaux routiers empruntés par les camions de transport. Aucune intoxication chimique n'avait été rapportée dans la littérature consultée.

- En matière de mesures d'urgence, diverses lacunes avaient été constatées. Certaines de ces lacunes concernaient la mise en œuvre des mesures d'urgence de cette industrie et d'autres, la coordination de ces mesures entre l'industrie et les autorités locales (Brisson *et al.*, 2010). L'élaboration et la mise à l'essai de plans de mesures d'urgence ainsi que le développement de partenariats entre les entreprises et les principaux organismes publics concernés représentaient des enjeux clés au regard de la gestion des risques technologiques en lien avec l'industrie du gaz de schiste.

Au Québec, certaines connaissances restaient à acquérir ou à approfondir afin d'évaluer les impacts sanitaires reliés aux risques technologiques en lien avec l'industrie du gaz de schiste, et ce, malgré celles obtenues après les incidents survenus aux États-Unis et en Colombie-Britannique. Pour ce faire, advenant la mise en place de puits, le document mettait en évidence l'importance d'élaborer des scénarios d'incidents plausibles et de déterminer leur rayon d'impact potentiel. De plus, il était suggéré de faire un inventaire détaillé pour chacun des sites en activité et à venir, recensant notamment : les substances chimiques utilisées sur le site et transportées sur les routes du Québec, les sites d'entreposage, le volume et la durée des activités, la proximité de la population, les plans de mesures d'urgence élaborés et une évaluation de la capacité réelle des petites municipalités à mettre en œuvre ces plans.

2.2 RÉSULTATS DE LA RECENSION 2013 SUR LES RISQUES TECHNOLOGIQUES

Depuis le 16 octobre 2010, les publications scientifiques spécifiques aux risques technologiques et aux urgences de santé publique associés à l'industrie du gaz de schiste sont rares. À ce jour, il n'existe pas d'études ciblées portant sur les risques technologiques et l'état de santé de la population avant, pendant ou après les activités d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste. Malgré les nombreux témoignages et récits d'incidents parus dans les médias, il n'existe pas non plus de répertoire officiel sur les accidents aux États-Unis ou au Canada, ce qui rend leur étude et la détermination des causes de ces accidents laborieuse. Tout comme pour le rapport de l'INSPQ sur le gaz de schiste et la santé publique (Brisson *et al.*, 2010), les renseignements recueillis par la suite proviennent principalement de rapports universitaires et d'autorités gouvernementales canadiennes et américaines tels que détaillés à l'annexe 2, tableau 1. Quinze publications ont été retenues quant à cette thématique.

2.2.1 Identification des risques pour la santé humaine

2.2.1.1 Risques en lien avec les installations d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste

Selon les écrits consultés lors de cette mise à jour, les principaux incidents identifiés aux États-Unis et au Canada susceptibles de menacer la santé de la population sont les explosions, les incendies, les fuites et les déversements de matières dangereuses. Les incendies et les explosions peuvent être causés par une éruption de puits, une surpression de gaz, une fuite ou rupture de pipeline et l'ignition de matériel inflammable lors de l'entreposage ou du transport. Les fuites et déversements de matières dangereuses peuvent se produire lors d'accidents routiers, de bris de valves, d'utilisation d'équipement mal ajusté

et lors d'une disposition inappropriée des déchets. Des conditions environnementales naturelles telles que tornades, foudre, tempêtes, inondations et feux de forêt, peuvent causer ou aggraver les incidents. Les événements survenus aux États-Unis et au Canada rapportés ci-dessous s'appuient sur des rapports d'enquête et des avis émis par des autorités étatiques et fédérales américaines, incluant des agences de protection de l'environnement (p. ex., Pennsylvania Department of Environmental Protection ou PADEP) :

- Le 17 janvier 2011, une éruption de tête de puits a provoqué une fuite incontrôlée pendant plusieurs heures de 21 000 gallons (79 494 litres) de liquide de fracturation dans le comté de Tioga, à proximité de la zone boisée d'un parc national. L'accident a été causé par une pression excessive et un manque de suivi par l'industrie lors des opérations (Considine *et al.*, 2012).
- Le 9 février 2011, une explosion d'une conduite de 36 pouces (environ 1 m) d'un pipeline a provoqué la mort de cinq personnes dans la population et détruit ou endommagé des douzaines de maisons à Allentown en Pennsylvanie. L'enquête a démontré que la compagnie opérant le pipeline installé en 1928 avait reçu plusieurs avis concernant la corrosion et le besoin de remplacement des tuyaux et l'installation de valves, mais qu'elle n'avait pas effectué les correctifs demandés (Pennsylvania PUC, 2012).
- Le 14 février 2011, une fuite de 1500 gallons (5678 litres) de boues et résidus de forage s'est produite à la suite d'un débordement incontrôlé d'un bassin de rétention dans le comté de Wyoming, Pennsylvanie. La compagnie n'avait pas rapporté l'incident à la PADEP alors qu'elle en avait l'obligation (Considine *et al.*, 2012).
- Le 23 février 2011, trois séparateurs de condensat (*wet gas*) ont pris feu, blessant trois sous-traitants dans le comté de Washington. L'enquête a déterminé que la cause était la manipulation inadéquate du condensat (Considine *et al.*, 2012).
- Le 20 avril 2011, une explosion de tête de puits a causé la fuite de 35 000 gallons (132 489 litres) de boues et de gaz pendant plus de 16 heures, forçant l'évacuation d'une douzaine de maisons situées à proximité, dans le comté de Bradford, Pennsylvanie (Schmidt, 2011; Considine *et al.*, 2012).

Une étude récente a présenté une analyse détaillée des avis d'infraction émis entre janvier 2008 et août 2011 par le PADEP à l'ensemble des compagnies exploitant les shales de Marcellus (Considine *et al.*, 2012). Cette analyse de 2 988 avis d'infraction a permis de constater que les incidents susceptibles de menacer la santé et la sécurité de la population demeurent, par ordre de fréquence, les fuites et les déversements de matières dangereuses sur le sol ou dans les eaux de surface, les explosions et éruptions de puits et les incendies. De ce nombre, 61,7 % (1 844 avis) ont été émis pour des raisons administratives ou de prévention et 38,3 % (1 144 avis) pour des infractions de nature environnementale. Considérant que plusieurs événements ont reçu plusieurs avis d'infraction, au total, 845 événements uniques ont été dénombrés. Parmi ces derniers :

- 35,0 % des événements portaient sur la restauration inadéquate des sites (328 mineurs et 2 significatifs);
- 30,2 % sur les déversements et les fuites mineures, mais entraînant une contamination des eaux de surface (258 mineurs et 8 majeurs);

- 20,6 % sur les déversements et les fuites mineures, mais entraînant une contamination des sols (149 cas de contamination mineurs et 85 majeurs);
- 8,7 % sur les problèmes de cimentation des puits entraînant des fuites de gaz⁹ (85 mineurs et 9 majeurs);
- 4,0 % étaient des fuites et des déversements qualifiés de « majeurs » (9 événements);
- 0,9 % portaient sur les éruptions et explosions de puits (4 événements);
- 0,5 % sur la migration de gaz (2 événements).

Un événement était considéré comme majeur dans l'un ou plusieurs des scénarios suivants : déversement majeur de matières dangereuses, contamination importante de sources d'approvisionnement d'eau, explosion et éruption de puits, migration de gaz et impacts importants sur la restauration des sites. Pendant la période à l'étude (de janvier 2008 à août 2011), 3533 puits ont été complétés et mis en exploitation et 25 événements ayant eu des impacts environnementaux majeurs se sont produits, soit une probabilité d'occurrence d'environ 0,7 %. Une autre étude s'est intéressée aux avis d'infraction émis par le PADEP. Les auteurs ont estimé la probabilité de survenue d'une éruption de puits aux conséquences graves à 0,11 %. Ces chiffres sont cependant considérés comme prudents (Staaf, 2012) et pourraient sous-estimer le portrait réel de la situation puisque portant seulement sur les infractions observées par les inspecteurs du PADEP. Un autre rapport suggère un risque important de fuites de méthane au Québec en lien avec les puits de l'industrie du gaz de schiste qui utilisent les méthodes de fracturation horizontale. Ainsi, parmi les nouveaux puits fracturés au Québec depuis 2008, 19 sur 31 ont présenté des échappements incontrôlés de méthane, soit 61,3 % des puits. Par comparaison, seulement 5 % des puits de gaz verticaux, forés par la méthode classique (sans fracturation), ont présenté des problèmes de fuites de méthane au Québec pour la même période (Durand, 2012).

Selon les enquêtes effectuées par le Département de protection environnementale de la Pennsylvanie (Considine *et al.*, 2012), la grande majorité des accidents survenus tout au long du processus d'exploration et d'exploitation du gaz sont dus à une combinaison de facteurs avec des liens complexes : erreurs humaines, négligence, défaillances matérielles et complétion inadéquate des puits de forage. Ceci indique que la fréquence des événements environnementaux pourrait être réduite par un meilleur encadrement de l'industrie et un resserrement de la législation. Une telle diminution a été observée en Pennsylvanie où le nombre de puits avec infractions est passé de 58,2 à 26,5 % de janvier 2008 à août 2011 après ce resserrement de la législation et grâce à l'augmentation du nombre d'inspecteurs chargés de la faire respecter. Il a été noté que les pratiques de l'industrie en matière de sécurité ne sont pas toujours conformes aux meilleures pratiques et qu'il existe de grandes variations entre les entreprises (BMHC¹⁰, 2012; Staaf, 2012).

⁹ Au Québec, une fuite de gaz de longue durée au puits de Leclercville en janvier 2011 a nécessité une recimentation du puits (Durand, 2012).

¹⁰ Bureau du médecin-hygiéniste en chef. Recommandations du médecin-hygiéniste en chef sur l'exploitation du gaz de schiste au Nouveau-Brunswick [En ligne]. Fredericton, Nouveau-Brunswick : ministère de la Santé du Nouveau-Brunswick; septembre 2012.

2.2.1.2 Risques liés au transport de matières dangereuses

Le transport de matières dangereuses comporte des risques particuliers aux différentes phases du transport, à savoir, le chargement, le transport proprement dit et le déchargement. Selon le produit transporté, un accident ou un simple incident peut potentiellement dégénérer en une catastrophe environnementale et humaine. Les impacts de la circulation lourde ont été examinés au moyen de différents scénarios par le Département de conservation de l'environnement de l'État de New York¹¹ (NYSDEC, 2011) durant les 50 premiers jours de la mise en service d'un puits. Les scénarios élaborés suggèrent qu'en l'absence de pipeline pour le transport de l'eau qui permettrait de réduire le nombre de voyages d'environ 50 %, celle-ci demanderait 1148 livraisons par camions lourds, dont 45 citernes de liquides de forage, 20 de produits chimiques, 100 de liquides de fracturation contaminés, 500 d'eau et 483 d'équipements et autres pour la construction du puits. Il y aurait en plus 831 livraisons par camions légers, dont 326 de produits chimiques variés. Au total, cela nécessiterait 1975 allers simples de camions chargés. Par ailleurs, il faut considérer que la distribution temporelle de la circulation n'est pas régulière et pourrait atteindre 250 voyages aller-retour par jour entre la 20^e et la 35^e journée d'un puits unique.

Dans un deuxième scénario de développement de trois plateformes de forage creusant chacune quatre puits par site¹² et, en tenant compte de l'effet cumulatif, on obtient un nombre de 600 à 800 déplacements de camions par jour entre la 70^e et la 120^e journée. Il est probable qu'une telle intensification de l'utilisation du réseau routier municipal, local et régional ait un impact sur les risques d'accidents de la circulation avec des conséquences allant de blessures mineures au décès. L'achalandage accru et la congestion pourraient avoir un impact sur les difficultés d'accès aux sites lors d'incidents. Des statistiques sur les causes de décès des travailleurs dans l'extraction gazière et pétrolière (NIOSH, 2012) indiquent que de 2003 à 2009, 29 % des décès sont survenus dans des accidents de la route, principalement à cause de la fatigue, du mauvais entretien des véhicules et des pratiques organisationnelles déficientes des transporteurs. De plus, une étude récente suggère que lors d'accidents avec perte de vie impliquant des matières dangereuses, il se produit des déversements dans 36 % des cas (Rozell et Reaven, 2012). Ces données démontrent que les impacts sanitaires potentiels d'un déversement ou d'une fuite de substances dangereuses d'un camion à la suite d'un accident ont une forte probabilité de survenue. À titre indicatif, le taux de décès toutes causes des travailleurs de l'industrie gazière et pétrolière est de 30,5 par 100 000, soit un taux sept fois plus élevé que pour l'ensemble des travailleurs du secteur industriel (4,0 par 100 000) (NIOSH, 2012).

2.2.1.3 La microsismicité induite

Les effets potentiels de la fracturation sur la survenue de tremblements de terre ou de glissements de terrain sont une préoccupation pour la population. Cependant, l'examen des magnitudes enregistrées sur un site des schistes de Barnett indique que la microsismicité induite directe à la suite des activités de fracturation hydraulique est très faible, et non perceptible par la population (CGIET-CGEDD, 2012; Green *et al.*, 2012). Toutefois, l'injection

¹¹ New York State Department of Environmental Conservation. (NYSDEC, 2011).

¹² Scénario habituel dans l'industrie. (NYSDEC, 2011).

de très grandes quantités d'eaux usées (liquides de fracturation) dans des puits d'élimination (technique courante au Texas) et à proximité de failles connues, pourrait avoir été la cause indirecte des séismes perceptibles de 2,3 dans le Lancashire (Royaume-Uni), de 3,3 à Cleburne (Texas) et de 3,8 à Etsho dans le bassin de la rivière Horn en Colombie-Britannique (BC Oil and Gas Commission, 2012). Selon Davies *et al.* (2013), voilà les trois seuls exemples connus de sismicité induite indirecte ayant été perçus par les populations avoisinantes malgré les milliers de puits ayant utilisé la fracturation hydraulique. Notons qu'après un temps d'arrêt, le Lancashire a repris l'exploitation des puits, mais avec des restrictions quant à la quantité de liquide pouvant être utilisée par épisode de fracturation et aucun séisme n'a été perçu depuis. La probabilité que la fracturation hydraulique cause des tremblements de terre ressentis par la population est donc extrêmement faible. Les experts dans le domaine de la sécurité civile pourraient évaluer le risque spécifique pour le territoire québécois en fonction de sa géologie.

2.2.2 Effets à la santé potentiels

Lors de déversements et de fuites de substances chimiques, les travailleurs, la population à proximité et les premiers répondants sont les sujets les plus à risques de subir des préjudices sérieux. On a rapporté qu'une infirmière de l'urgence d'un hôpital de Durango (Colorado) a eu de graves réactions attribuées par les médecins traitants à une contamination secondaire suivant son exposition aux liquides de fracturation qui imbibaient les vêtements d'un travailleur qu'on y avait amené (Moulton et Plagakis, 2012)¹³. Lors de cet événement, les médecins de l'urgence n'ont pas réussi à obtenir de la compagnie en cause de l'information sur la nature des produits chimiques utilisés auxquels le travailleur et l'infirmière avaient été exposés.

Malgré les nombreux rapports anecdotiques sur les symptômes rapportés par les personnes vivant à proximité des puits (maux de tête, étourdissements, pertes de conscience, saignements de nez, irritation des voies respiratoires, difficultés à respirer, nausées, vomissements, diarrhées, etc.) (Colborn *et al.*, 2011), et des hypothèses soulevées quant à des effets sur la santé animale¹⁴, il n'existe pas d'évaluation complète des risques potentiels sur la santé reliés aux activités d'exploitation du gaz de schiste. Des réservoirs à ciel ouvert laissent s'évaporer lentement ou laissent fuir leur contenu de produits chimiques sur les terrains et dans les cours d'eau voisins.

¹³ La contamination primaire est celle de la victime qui entre en contact avec une matière dangereuse lors de l'incident initial. La contamination secondaire fait référence aux autres intervenants qui entrent en contact avec la matière dangereuse encore présente sur la victime initiale ou sur du matériel contaminé provenant du site de l'incident. Dans tous les cas, l'avis des experts et la connaissance des produits en cause sont essentiels pour évaluer la toxicité.

¹⁴ Même si elle n'a pas été retenue, l'étude de Bamberger et Oswald (2012) attire l'attention sur la possibilité de tels effets des activités gazières. Elle rapporte des problèmes autodéclarés de santé d'animaux d'élevage, d'animaux de compagnie ainsi que de leurs propriétaires. Ces problèmes auraient été observés après des expositions accidentelles (fuites, éruptions de puits) à des liquides de fracturation ou des boues et résidus de forage. Les répondants citent des cas de décès rapides chez les animaux et des problèmes de reproduction et de malformations congénitales chez le bétail. Il est difficile de porter un jugement sur la force de la relation de cause à effet à cause des données incomplètes (dates et lieux des cas), ainsi qu'en raison des biais issus de l'échantillon choisi et du fait que ce soit des symptômes autodéclarés. Cependant, les auteurs soulèvent des questions intéressantes, entre autres sur la sécurité alimentaire. En effet, les animaux exposés pourraient produire de la nourriture destinée à l'alimentation humaine ou animale.

2.2.3 Exposition des populations

À notre connaissance, les travaux de recherche du Colorado School of Public Health dont un premier rapport paru en 2010 (Witter *et al.*, 2010), sa révision et mise à jour en 2011 (Colorado School of Public Health, 2011), sont encore les seuls documents publiés identifiant des activités et des incidents spécifiques à l'industrie gazière, des milieux (air, eau, sol) pouvant être contaminés par des produits nocifs pour la santé humaine et des modes de contact potentiels chez l'homme (inhalation, ingestion, contact cutané).

La version révisée (Colorado School of Public Health, 2011) apporte peu d'éléments nouveaux, mais présente des recommandations sur la gestion des risques technologiques pour la ville de Battlement Mesa et le comté de Garfield qui sont pertinents et pourraient s'appliquer au Québec. Par exemple, pour diminuer les risques liés à l'augmentation du trafic routier, les auteurs proposent de construire un réseau de pipelines pour le transport de l'eau, ce qui pourrait réduire considérablement le transport par camion-citerne. Selon eux, une étude préalable de la circulation locale, l'utilisation de routes alternatives et des limites de vitesse strictes pourraient aussi réduire la sévérité des accidents s'il s'en produisait. Il est reconnu qu'un certain nombre d'incidents se produisent lors des phases de développement et de production du gaz. Afin de minimiser les impacts potentiels de ces incidents sur la santé de la population, les auteurs recommandent d'établir une étroite collaboration entre les premiers répondants de la municipalité (pompiers, policiers, équipes d'urgence) et l'industrie afin d'établir des plans d'urgence adéquats et de les tester efficacement, et ceci, avant même que le premier puits soit mis en fonction. Les autres recommandations traitent de ces plans d'urgence, lesquels devraient aussi comprendre : la liste à jour des produits chimiques spécifiques utilisés, un protocole pour aviser à l'avance les premiers répondants lors des activités à risque planifiées et un système de notification d'urgence pour la population.

2.3 BILAN DE LA RECENSION 2013 SUR LES RISQUES TECHNOLOGIQUES

L'examen de la littérature récente amène à constater qu'il n'y a pas eu beaucoup de données scientifiques nouvelles portant sur l'impact sur la santé humaine des activités d'exploration et d'exploitation des gaz de schiste. Dix-huit études ont été retenues pour cette mise à jour. Les documents consultés lors de cette mise à jour permettent de tirer les constats suivants :

- Les explosions, les incendies, les fuites et les déversements de matières dangereuses sont les types d'incidents aux États-Unis et au Canada susceptibles de menacer la santé de la population. En termes d'ampleur, une recension aux États-Unis dénombre par exemple plus de 825 incidents environnementaux différents.
- La grande majorité des accidents survenus tout au long du processus d'exploration et de production du gaz semblent dus à des erreurs humaines, à de la négligence, à des défaillances matérielles et à la complétion inadéquate des puits de forage.
- Lors de déversements et de fuites de substances chimiques, les travailleurs, la population avoisinante et les premiers répondants sont les sujets les plus à risques de subir des préjudices sérieux.

- Le transport de matières dangereuses comporte des risques particuliers aux différentes phases du transport.
- Un encadrement de l'industrie et un resserrement de la législation paraissent des mesures efficaces pour réduire la fréquence des événements environnementaux. Plusieurs États américains ont modifié leur réglementation et instauré une surveillance plus stricte afin de corriger divers problèmes causés par le développement très rapide de l'industrie gazière. Cela a permis de stabiliser et même de diminuer le nombre d'incidents (Considine *et al.*, 2012).
- Les informations disponibles laissent croire que les lacunes constatées en 2010 en matière de mise en œuvre des mesures d'urgence de l'industrie de même que dans la coordination des mesures d'urgence entre l'industrie et les autorités locales persistent aux États-Unis. Cela pourrait aussi représenter un défi particulier au Québec où les secteurs visés par l'exploration et l'exploitation du gaz de schiste sont situés à proximité des zones les plus densément peuplées de la province et en zones rurales habitées.
- Les mesures d'urgence et la surveillance demeurent des aspects de la gestion du risque à bien considérer, un des défis étant de favoriser la collaboration entre l'industrie gazière et les principaux organismes publics concernés (par exemple au Québec : municipalités, ministère de la Sécurité civile, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de Faune et des Parcs, ministère des Ressources naturelles, Commission de la santé et de la sécurité du travail, ministère de la Santé et des Services sociaux).

Enfin, les constats issus de la littérature portent à réfléchir au fait que les connaissances de la nature, des quantités, des procédures de manipulation et de transport des substances chimiques utilisées par l'industrie gazière demeurent encore incomplètes. Ce manque de connaissances fait en sorte qu'il n'est pas encore possible d'évaluer le niveau potentiel d'exposition tant des travailleurs que de la population environnante à ces substances et de faire l'évaluation des risques.

3 POLLUANTS DE L'AIR ÉMIS LORS DE L'EXPLORATION ET DE L'EXPLOITATION DU GAZ DE SCHISTE

Ce chapitre porte sur les expositions et les risques sanitaires associés aux contaminants de l'air liés aux activités d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste. La première section du chapitre synthétise les données scientifiques recensées avant 2010 par l'INSPQ (Brisson *et al.*, 2010) tandis que la deuxième section porte sur celles publiées depuis.

3.1 CONSTATS DE 2010

Dans l'État des connaissances sur la relation entre les activités liées au gaz de schiste et la santé publique publié en 2010 par l'INSPQ (Brisson *et al.*, 2010), les études spécifiques pour les activités sur les sites d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste montraient que, tout comme pour d'autres types d'activités industrielles, elles étaient susceptibles d'augmenter les niveaux des polluants émis tels que les particules, les oxydes d'azote (NOx) et de soufre (SOx) et les composés organiques volatils (COV). Les principales sources d'émissions de particules fines (PM_{2,5}, dont le diamètre médian est < 2,5 µm), de NOx et de SOx identifiées étaient les équipements (p. ex., véhicules lourds, pompes et compresseurs utilisés lors du forage) de même que l'utilisation de combustibles fossiles comme le diesel. Selon ces études, les COV aromatiques étaient susceptibles d'augmenter, surtout dans l'environnement immédiat des sites. Le sulfure d'hydrogène (H₂S) semblait aussi être associé à ce type d'exploitation, mais ne serait pas détecté dans les schistes d'Utica au Québec. Finalement, l'augmentation des émissions et des concentrations de particules grossières (dont le diamètre médian est > 2,5 µm) avait été constatée à proximité de sites d'exploration et d'exploitation notamment en lien avec la circulation de véhicules lourds sur les routes non pavées en gravier ou en terre.

Les travailleurs et les résidents qui demeurent à proximité du site semblaient les principaux groupes à risque de respirer ces polluants même si des données empiriques manquaient pour appuyer cette hypothèse.

Depuis longtemps, les effets de ces polluants sur la santé sont bien documentés dans la littérature générale sur la pollution atmosphérique, mais ne le sont pas de façon spécifique pour le gaz de schiste. En effet, les études sur les effets des polluants de l'air sur la santé ont surtout été effectuées en milieu urbain. Il est documenté que les polluants de l'air peuvent entraîner des effets sanitaires à la suite d'expositions de courtes durées (quelques heures à quelques jours) et à des expositions de longues durées (quelques années). Ainsi, une exposition à court terme aux principaux contaminants de l'air en milieu urbain (p. ex., NOx, SOx, PM_{2,5}) a été associée à une élévation des symptômes respiratoires, à une baisse des fonctions pulmonaires, à des augmentations de visites à l'urgence et d'hospitalisations pour des problèmes cardiorespiratoires. À long terme, l'exposition aux particules fines et aux émissions des véhicules routiers peut être associée à une altération du développement des poumons et au développement de l'asthme chez les enfants. L'augmentation de l'exposition prolongée aux particules fines a aussi été associée à la hausse des risques de mortalité notamment pour problèmes cardiorespiratoires. L'exposition aux COV aromatiques ainsi qu'aux composés monoaromatiques peut entraîner des effets aigus et chroniques lorsque les concentrations sont au moins 10 fois plus élevées que celles retrouvées dans l'air

ambiant général (documentées en milieu de travail). L'exposition à court et à long terme aux COV aromatiques en milieu de travail peut être associée à des effets cognitifs et comportementaux de même qu'à des cancers.

Même si dans certaines conditions urbaines et occupationnelles les effets de ces polluants sont bien connus, il était impossible d'estimer *a priori* le risque associé à leur exposition en lien avec l'exploitation et l'exploration du gaz de schiste au Québec, au moment de la publication de 2010 (Brisson *et al.*, 2010), car les conditions d'exposition n'étaient pas connues. Afin d'estimer les risques associés aux émissions des puits individuels ou de plusieurs puits situés sur un site restreint, l'INSPQ suggérait en 2010 que plusieurs éléments soient mieux documentés¹⁵.

3.2 RÉSULTATS DE LA RECENSION 2013 SUR LES POLLUANTS DE L'AIR

Depuis la publication du dernier document de l'INSPQ en 2010, différentes études se rapportant à la qualité de l'air extérieur ont été publiées et 14 études ont été retenues. Les résultats de ces études sont décrits dans les sections qui suivent et sont synthétisés à l'annexe 2, tableau 2. Les études récentes ont documenté les aspects suivants liés à l'exploration et à l'exploitation du gaz de schiste :

- a) les émissions de polluants de l'air et la modélisation des concentrations de divers polluants (notamment l'ozone) à partir des données d'émissions;
- b) les mesures de polluants (surtout les composés organiques volatils);
- c) les risques/impacts sanitaires (estimés à partir de modélisations et de mesures).

3.2.1 Estimation des émissions et modélisation des concentrations de polluants de l'air

Depuis 2010, des efforts ont été consentis à estimer les quantités de contaminants émis dans l'air ambiant. Les estimations d'émissions ont aussi été utilisées pour modéliser les concentrations de divers polluants dans l'air ambiant lors d'activités d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste.

Ainsi, ALL Consulting (2010) rapportent des estimations d'émissions d'oxydes d'azote (NOx) et de composés organiques volatils (COV) pour l'État de New York¹⁶. Dans ce rapport, afin d'estimer les émissions de polluants pour les shales de Marcellus à New York, le nombre de puits horizontaux forés annuellement a été fixé à 1570 (et à 174 verticaux/an). Le nombre de puits horizontaux maximum considéré était de 2216. Selon ce rapport, les émissions de COV et de NOx sont plus importantes lors de la phase de production. De plus, les émissions de

¹⁵ Par exemple, le type et le nombre des équipements mécaniques utilisés; les combustibles employés; la durée de fonctionnement de ces équipements et de la machinerie (nombre d'heures par jour, nombre de jours en activité); les taux d'émissions de polluants des équipements et installations et les concentrations de polluants attendues; le volume et la durée d'évaporation des lagunes pour les eaux usées; le volume final des eaux usées à traiter; le trafic routier supplémentaire induit; la distance entre les sources d'émissions et les milieux de vie des populations.

¹⁶ Ce document, visant à répondre aux questions du New York State Department of Environmental Conservation (NYSDEC) en 2010, a été rédigé pour l'Independent Oil and Gas Association. À noter que ce rapport a été publié quelques mois avant la période de recherche, mais qu'il a malgré tout été retenu ici pour la pertinence de ces résultats qui n'avaient pas été présentés dans le rapport de l'INSPQ de 2010 (Brisson *et al.*, 2010).

NOx et de COV associées aux activités liées à l'exploration et à l'exploitation du gaz de schiste constituent respectivement moins de 4 et 1 % des émissions totales de l'État. De plus, Pasci *et al.* (2013) estiment, en considérant tous les secteurs de production d'énergie dans le comté de Dallas-Fort Worth en 2012, qu'avec l'augmentation des activités liées à l'exploration et à l'exploitation du gaz de schiste, il y a globalement augmentation des émissions de COV, mais réduction des émissions de NOx et SOx.

Trois études américaines ont aussi estimé les concentrations de NOx, de COV ou d'ozone (O₃) dans l'air ambiant, à partir d'estimations d'émissions (Kemball-Cook *et al.*, 2010a,b; Olaguer, 2012; NYSDEC, 2011). Ainsi, Kemball-Cook *et al.* (2010a,b) ont estimé la production de gaz future et les émissions de contaminants de l'air pour les shales de Haynesville selon trois scénarios. Selon le scénario modéré en 2020 (200 puits actifs), 120 tonnes de NOx seront émises par jour à partir de cette source. La modélisation des concentrations d'O₃ pour 2012, à partir de ces estimations d'émissions, montre que ces derniers pourraient augmenter de plus de 15 ppb à certains endroits (scénario élevé) et de plus de 5 ppb pour une très grande région du nord-est du Texas et du nord-ouest de la Louisiane.

Une modélisation des concentrations ambiantes d'O₃ a aussi été réalisée à partir des estimations des émissions de NOx et COV pour un puits des shales de Barnett au Texas (Olaguer, 2012). Selon cet auteur, les torchères et les compresseurs seraient les sources principales de NOx et de COV (comme le formaldéhyde). Les niveaux horaires d'O₃ pour un puits des shales de Barnett augmenteraient de plus de 3 ppb à environ 2 km d'un puits émettant 100 000 m³/h de gaz (« flare », émissions aux torchères). Les niveaux pourraient quintupler à des distances plus importantes (c.-à-d. 16 km), sur de courtes périodes. Ces augmentations seraient plus importantes avec la présence de plusieurs puits dans une région. À noter que l'U.S. EPA prohibera les « flare » d'ici 2015 (EPA 2012). Selon Olaguer (2012), considérant le potentiel très réactif du formaldéhyde et sa contribution aux niveaux d'O₃, ses émissions devraient être contrôlées.

Finalement, des modélisations des concentrations de polluants de l'air (particules fines de moins de 10 et 2,5 µm – respectivement PM₁₀ et PM_{2,5} – SO₂, NO₂, monoxyde de carbone – CO, H₂S) à des sites multipuits dans les shales de Marcellus sont présentées dans le rapport « draft » du NYSDEC (2011). Selon ces modélisations, des augmentations de PM_{2,5} et PM₁₀ au-delà des standards américains (p. ex., 35 µg/m³ de PM_{2,5} pour 24 heures) surviendraient lorsque 10 puits seraient forés à un endroit. Il faut noter que selon l'industrie, il n'y aurait jamais plus de quatre puits forés par an, par site (NYSDEC, 2011). Les modélisations suggèrent qu'il faudrait être situé au moins à une distance de 500 m des sites pour respecter les normes de PM_{2,5}. Les maxima horaires de H₂S pourraient aussi être dépassés dans des conditions similaires (c.-à-d. 10 puits), en présence de composés soufrés.

3.2.2 Mesures des polluants de l'air

Quelques études ont récemment rapporté la mesure de contaminants de l'air, notamment d'hydrocarbures dont les COV, à proximité de sites d'activités liées à l'exploration et à l'exploitation du gaz de schiste (Swartouth *et al.*, 2013; Rich, 2011; ERG, 2011; PADEP 2011; Colborn *et al.*, 2012; Billings, 2012). Notons qu'il est difficile d'interpréter les mesures

absolues de polluants de l'air étant donné que des mesures précédant l'exploration et l'exploitation du gaz de schiste ne sont généralement pas rapportées et que de nombreux facteurs influencent les niveaux de polluants de l'air, dont les autres sources anthropiques et naturelles et les conditions météorologiques.

Rich (2011) a mesuré les niveaux de COV à 36 sites localisés à une distance moyenne de 2350 ± 1730 pi ($716 \text{ m} \pm 527 \text{ m}$) d'un puits dans les shales de Barnett au Texas. Selon Rich (2011), il y avait en 2008, 2000 puits horizontaux dans six des comtés de Dallas-Fort Worth. À titre indicatif, les niveaux moyens de benzène journaliers mesurés étaient de 18 ppb. Ceci équivaut à plus de six fois la moyenne annuelle d'un quartier industriel du Québec comme celui de l'est de Montréal. Dans l'étude de Rich (2011), une série de composés étaient corrélés au méthane, suggérant leur émission concomitante, dont le dichlorométhane, le méthyle isobutyle cétone, le 2,4-trichlorobenzène, le chloroforme et plusieurs autres COV. La présence de compresseurs sur les sites était associée à certains COV, notamment le benzène et ses dérivés.

Des mesures de COV et d'autres contaminants de l'air ont aussi été effectuées dans les comtés de Susquehanna (PADEP, 2011), de Washington et de Greene (PADEP, 2010) en Pennsylvanie, dans les shales de Marcellus. Lors de ces campagnes de mesures, certains composés comme le benzène et ses dérivés ont été mesurés et reliés aux activités dans les shales de Marcellus. Les niveaux moyens de benzène mesurés dans ces études (recueilli avec « canister »¹⁷) étaient de quelques ppb, mais des pics de concentration de 400 ppb sur 2 minutes ont été mesurés (entre autres près des compresseurs). Du méthyle mercaptan a aussi été détecté à des niveaux associés à la perception des odeurs. Les niveaux de CO, NO₂, dioxyde de soufre (SO₂) et O₃ ne dépassaient pas les standards américains.

Colborn *et al.* (2012) ont mesuré les COV au Colorado, à un site localisé à 1,6 km de 130 puits. Le méthane, l'éthane, le propane, le toluène, le formaldéhyde et l'acétaldéhyde ont été détectés dans tous les échantillons, mais les composés dont les concentrations étaient le plus élevées étaient le méthane, le dichlorométhane, l'éthanol, l'acétone et le propane. Les niveaux de benzène étaient presque toujours en deçà d'un ppb.

Au Wyoming, dans la ville de Pavillon, à un endroit situé sous les vents des activités d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste, Billings (2012) a mesuré l'O₃, le NO₂, les PM_{2,5} et PM₁₀ et les hydrocarbures (méthane et COV non méthaniques). L'auteur rapporte que toutes les mesures effectuées étaient inférieures aux standards américains (O₃ : 75 ppb/8h; PM_{2,5} : 15 µg/m³/24h), et plus faibles que les niveaux mesurés sous les vents d'autres sites d'activités liées au gaz de schiste. Quelques mesures de particules fines (PM_{2,5}) et d'O₃ se rapprochaient toutefois des standards, pour des raisons autres que les activités liées au gaz de schiste selon l'auteur. Des épisodes de smog régional expliqueraient entre autres, les niveaux élevés mesurés.

¹⁷ Dispositif de prélèvement d'air qui permet des mesures quantitatives de certains gaz.

3.2.3 Risques à la santé

À notre connaissance jusqu'à ce jour, aucune évaluation directe de l'exposition aux polluants de l'air, et de l'association entre cette exposition et la santé d'individus habitant à proximité de sites d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste, n'a été effectuée et publiée.

Quelques études ont toutefois comparé les mesures ou estimations de niveaux de polluants de l'air à proximité de sites d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste avec des normes ou recommandations (p. ex., PADEP 2011; Billings, 2012). Certains sont allés au-delà d'une telle comparaison et ont tenté d'estimer les risques à la santé associés aux activités d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste. Ainsi dans le rapport de ERG (2011), des mesures de COV effectuées à sept sites à Fort-Worth au Texas, dont certains très rapprochés des puits (p. ex., à 400 pi, soit 122 mètres), ont été comparées aux valeurs guides utilisées par l'US EPA pour évaluer les risques sanitaires associés aux polluants de l'air considérés « toxiques ». Selon ce rapport, le benzène, le tétrachlorure de carbone, l'acétaldéhyde et le formaldéhyde seraient les composés émis lors d'activités liées à l'exploration et à l'exploitation du gaz de schiste qui présenteraient le plus de risques pour la santé. Malgré ceci, il faut noter que toutes les mesures effectuées par ERG (2011) étaient sous les normes américaines ou recommandations visant à protéger la santé¹⁸; les niveaux de benzène étaient normalement sous un ppb.

Sur la base des mesures de concentrations de COV, McKenzie *et al.* (2012) ont estimé l'exposition subchronique et chronique et les risques de cancer pour les résidents du Comté de Garfield au Colorado. Les risques de cancer chez les gens habitant à moins d'un demi-mille (805 mètres) de sites d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste seraient plus importants que pour ceux habitant à plus d'un demi-mille (10 par rapport à 6 pour un million d'habitants), entre autres à cause de l'exposition au benzène (dont les concentrations utilisées étaient de quelques ppb).

Finalement une étude récente (Litovitz *et al.*, 2013) a estimé les émissions et les concentrations de COV, PM_{2,5}, PM₁₀, SO₂ et NOx ainsi que les coûts associés à l'exposition à ces composés dans les schistes de Marcellus en Pennsylvanie. Les coûts ont été dérivés à partir de relations entre les émissions de polluants et les dommages à l'environnement et à la santé, dont la mortalité et la morbidité. À l'échelle de l'État de la Pennsylvanie, les activités liées à l'exploration et à l'exploitation du gaz de schiste émettraient peu de contaminants de l'air. Toutefois, dans les comtés où les activités sont les plus concentrées, les émissions de NOx seraient de 20 à 40 fois plus élevées que les seuils d'émissions pour une seule industrie. La majorité des émissions seraient associées aux activités de production et persisteraient donc au-delà des développements initiaux (associés au forage et à la fracturation hydraulique). Les coûts associés aux émissions polluantes des activités d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste (dont les coûts santé) constitueraient

¹⁸ À noter que même si les normes sont respectées, cela ne signifie pas qu'il n'y a aucun risque pour la santé, ces normes étant basées sur la notion de « risque acceptable » (MSSS, 1999. Principes directeurs d'évaluation du risque toxicologique pour la santé humaine), disponible à l'adresse : [http://msssa4.msss.gouv.qc.ca/fr/document/publication.nsf/0/f92e5131a00f18308525684f00592634/\\$FILE/rap_pfinal.pdf](http://msssa4.msss.gouv.qc.ca/fr/document/publication.nsf/0/f92e5131a00f18308525684f00592634/$FILE/rap_pfinal.pdf), (consulté le 19 septembre 2013).

toutefois moins de 5 % des coûts associés aux émissions totales de polluants de l'air de l'État de la Pennsylvanie en 2008.

3.3 BILAN DE LA RECENSION 2013 SUR LES POLLUANTS DE L'AIR

L'exposition aux polluants de l'air est associée à plusieurs effets sur la santé, notamment à des effets cardiorespiratoires. Selon la présente analyse de la littérature, des augmentations locales des niveaux de certains polluants de l'air, particulièrement de particules fines et d'ozone et de ses précurseurs (c.-à-d. COV), sont à prévoir à proximité de sites d'exploration et d'exploitation avec les activités liées au gaz de schiste, selon diverses modélisations et mesures effectuées depuis 2010. Ces polluants sont émis tant par les équipements (p. ex., compresseurs) que par les torchères; la présence de compresseurs sur les sites serait cependant associée à des niveaux de contaminants plus élevés. Les émissions et les concentrations de polluants de l'air seraient plus importantes lors des activités de production que lors du forage et de la fracturation hydraulique.

Très peu d'études ont porté sur les risques à la santé associés à l'exposition aux polluants de l'air émis lors des activités liées à l'exploration et à l'exploitation du gaz de schiste. Selon quelques évaluations de risque, pour les individus habitant à proximité de puits (p. ex., < 1 km) ou dans les comtés américains où les activités sont le plus concentrées, les risques à la santé seraient plus importants.

Comparativement à 2010, il existe maintenant davantage d'information sur les émissions et les concentrations de polluants de l'air associés aux activités d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste pour aider à la caractérisation des risques au Québec. Toutefois pour une telle caractérisation, les règles de l'art nécessitent encore d'estimer les niveaux de polluants associés aux activités liées à l'exploration et à l'exploitation du gaz de schiste au Québec. Il est possible d'y arriver à partir d'estimations du nombre de puits qui seront forés annuellement au cours des prochaines années, de même que des endroits où ils le seront¹⁹. De plus, afin d'estimer de façon adéquate les risques à la santé associés à l'exploration et à l'exploitation du gaz de schiste, et considérant la présence concomitante de plusieurs composés lors de telles activités, les estimations de risques à la santé nécessiteront aussi que des approches soient développées pour que l'effet cumulé de l'ensemble des composés émis à l'air soit considéré.

Les données sur les émissions de gaz à effets de serre et les scénarios d'impacts sanitaires futurs associés aux bilans de production énergétique, en considérant les activités liées à l'exploration et à l'exploitation du gaz de schiste, n'ont pas été revus dans le présent document. Des études futures devront mieux documenter ces aspects. En effet, en plus des risques d'effets sanitaires directs potentiellement associés à l'exposition aux polluants de l'air tels les oxydes d'azote et de soufre, les particules, l'ozone et les COV, des effets indirects pourraient survenir, en lien avec l'augmentation des émissions de dioxyde de carbone et les impacts des changements climatiques.

¹⁹ Des scénarios sont d'ailleurs disponibles sur le site du Comité d'évaluation stratégique sur le gaz de schiste au : <http://ees-gazdeschiste.gouv.qc.ca/wordpress/wp-content/uploads/2012/11/Rapport-etude-P-1-CEES.pdf>, (consulté le 19 septembre 2013).

Étant donné que l'exposition aux polluants de l'air et les risques à la santé sont plus prononcés à proximité des sites d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste, il serait opportun de réfléchir aux distances nécessaires entre les sites et les aires d'activité des populations, de façon à limiter les risques associés aux impacts de la pollution de l'air. Des mesures de polluants de l'air, avant toute activité d'exploration et d'exploitation, devraient aussi être envisagées de façon à mieux cerner les impacts de ces activités advenant le cas où elles seraient autorisées dans certains secteurs du Québec.

4 L'EAU SOUTERRAINE ET DE SURFACE

Lors de la rédaction du rapport 2010, les aspects de la contamination de l'eau par les activités reliées à l'industrie du gaz de schiste se sont imposés comme des préoccupations importantes pour la santé publique.

Les sections suivantes synthétisent d'abord les principaux constats identifiés dans le rapport 2010, puis décrivent les résultats des données scientifiques recensées depuis 2010 quant aux aspects relatifs à la contamination de l'eau en lien avec l'industrie du gaz de schiste. Les faits saillants issus de l'analyse de cette revue de littérature seront émis dans la section « bilan de la recension EAU 2013 ».

4.1 CONSTATS DE 2010

Lors de la recherche bibliographique effectuée par l'INSPQ pour la rédaction de l' « État des connaissances sur la relation entre les activités liées au gaz de schiste et la santé publique » (Brisson *et al.*, 2010), aucune étude reliée à la contamination de l'eau ne rapportait d'effets à la santé liés à une exposition à de l'eau contaminée par cette activité. Par contre, quelques explosions survenues dans des habitations²⁰, avec comme conséquence certains décès, se sont produites à la suite d'une migration de méthane de la nappe phréatique aux puits artésiens résidentiels. Lorsque des cas de contamination étaient soupçonnés ou démontrés, des avis de non-consommation étaient rapidement produits, éliminant ainsi tout risque à la santé (Brisson *et al.*, 2010).

Les activités reliées à l'industrie d'extraction du gaz de schiste (la circulation, la machinerie, le forage, la fracturation hydraulique, le retour prévu d'une partie de l'eau de fracturation [reflux], son entreposage et son traitement, et l'extraction du gaz lui-même) constituaient théoriquement un risque pour la contamination de l'environnement en cas d'accidents ou d'altération de l'intégrité des installations de forage en place. La fracturation hydraulique utilise plusieurs substances chimiques pour extraire le méthane des formations rocheuses dans lesquelles il est emprisonné. Le rapport de 2010 indiquait que certaines de ces substances possèdent un potentiel toxique ou cancérigène reconnu (Brisson *et al.*, 2010). La consommation d'une eau potable contaminée par certaines de ces substances ainsi que le méthane lui-même représentait un risque pour les populations utilisant une telle eau (Brisson *et al.*, 2010). Des cas de contamination de l'eau souterraine étaient rapportés dans la littérature, mais leur lien avec l'exploitation du gaz de schiste était soupçonné, sans être confirmé.

La gestion des eaux usées provenant de cette industrie constituait également un enjeu important pour la protection des eaux de surface, notamment en raison de la concentration élevée de certaines substances chimiques potentiellement toxiques, en matières dissoutes

²⁰ Des explosions sont survenues aux États-Unis dans des résidences mal ventilées dans lesquelles le méthane provenant de l'eau potable s'était accumulé. Des cas documentés en Ohio et au Texas sont cités en exemple dans le rapport publié en 2010 (Brisson *et al.*, 2010).

totales et en radionucléides difficiles à traiter avec les traitements couramment utilisés par les usines municipales de traitement d'eaux usées (Brisson *et al.*, 2010)²¹.

À la suite de cet état des connaissances, il était impossible d'identifier et d'estimer le risque sanitaire associé à l'exposition aux contaminants potentiels de l'eau en lien avec l'exploitation du gaz de schiste au Québec. D'une part, les substances chimiques pouvant être utilisées par l'industrie pour le procédé de fracturation n'étaient pas connues, et d'autre part, les données disponibles provenant des cas de contaminations survenues aux États-Unis étaient insuffisantes pour pouvoir estimer les risques dans une zone encore inexploitée. De plus, il n'y avait aucun recensement de la fréquence des cas de contamination investigués, soit par l'industrie ou les autorités gouvernementales. Finalement, il y avait une quasi-absence de connaissances scientifiques quant à l'évaluation réelle de la contamination des sources d'eau potable en lien avec les activités de l'industrie d'exploitation du gaz de schiste²². Afin de caractériser les risques à la santé associés à la contamination de l'eau, plusieurs éléments se devaient d'être mieux documentés²³.

4.2 RÉSULTATS DE LA RECENSION 2013 SUR L'EAU

Depuis la publication du rapport de l'INSPQ en mars 2010 (Brisson *et al.*, 2010), quelques études scientifiques (dont certaines révisées par des pairs) ont été réalisées dans le but d'évaluer l'impact de l'extraction du gaz de schiste sur les ressources en eau potable et sur la santé. Pour les aspects reliés à la contamination des ressources en eau, 16 études ont été recensées et jugées de qualité suffisante pour la présente recension (annexe 2, tableau 3). Puisqu'aucune nouvelle information concernant la contamination des eaux de surface n'a été identifiée dans la littérature consultée depuis 2010, seuls les nouveaux éléments en lien avec la contamination des eaux souterraines seront présentés. Une importante proportion de ces recherches concernait des études de cas de contamination déclarés par les utilisateurs

²¹ Pour produire les réseaux de fractures nécessaires à l'extraction du gaz de schiste, les exploitants de puits doivent injecter jusqu'à 17 millions de litres de fluides (constitué à environ 98 % d'eau et 2 % d'additifs) à des pressions atteignant 69 000 kPa (kilopascal) (PADEP, 2013). La proportion de fluides injectés qui retourne à la surface au terme de ces opérations de fracturation varierait entre 9 et 34 % (Myers, 2012); la fraction de l'eau de fracturation qui n'est pas expulsée vers la surface (soit près de 80 % du volume de fluides injectés) étant largement séquestrée dans le réseau de fractures induites par ces activités. La première conséquence de ces opérations est donc une perte nette d'eau douce vers les formations géologiques profondes. La fraction des eaux de fracturation récupérée (communément appelées eaux de reflux) doit impérativement être traitée avant d'être retournée à l'environnement ou être réutilisée à diverses fins. En effet, ces eaux de reflux contiennent des additifs de fracturation ainsi que des contaminants dissous et particulaires issus des horizons géologiques profonds : métaux lourds, radionucléides, sels dissous, hydrocarbures, etc. (Brisson *et al.*, 2010).

²² L'Agence de protection américaine de l'environnement (US EPA) a été mandatée pour réaliser une étude exhaustive visant à déterminer les impacts sanitaires et environnementaux des activités de fracturation hydraulique sur les sources d'eau potable (US EPA, 2011).

²³ Par exemple, la liste complète des produits chimiques et des quantités utilisées lors des opérations, ainsi que leurs propriétés toxicologiques; le type d'événements pouvant mener à une contamination des sources d'eau potable par les substances utilisées ou par la mobilisation d'éléments naturels contenus dans la zone d'extraction du gaz (tels les constituants des saumures, métaux et hydrocarbures) libérés lors des opérations d'exploitation et la probabilité de survenue de ces événements; les concentrations environnementales pré et postexploitation des produits chimiques utilisés ou d'éléments naturels pouvant être libérés par les opérations; les populations potentiellement exposées dans les régions où l'exploitation du gaz de schiste est envisagée au Québec; l'ampleur et la durée des expositions possibles lors de la contamination des sources d'eau; la quantité d'eau utilisée par l'industrie et ses répercussions sur les sources d'eau potable; l'efficacité et la disponibilité des traitements des eaux usées; la durée et la réversibilité des contaminations, lorsque présentes; les mesures à prendre pour prévenir la contamination.

d'eau potable de source souterraine. Certaines d'entre elles visaient à vérifier la possibilité d'un risque de contamination systémique des ressources en eau potable en lien avec les procédés d'extraction des gaz de schiste ou d'altération de l'intégrité des installations nécessaires à cette extraction, à court ou à long terme.

Pour l'évaluation du risque sanitaire associé à une contamination de l'eau reliée à l'industrie du gaz de schiste, aucune étude jugée de qualité suffisante pour être retenue dans la recension parmi la vingtaine de documents considérés comme pertinents dans un premier temps²⁴ n'a été identifiée (annexe 1). En effet, plusieurs documents ou articles scientifiques généraux ont été publiés sur l'eau, la santé et le gaz de schiste, mais aucun de ceux retenus aux fins de la présente revue de littérature n'a véritablement évalué les effets à la santé liés à l'exposition à un ou des contaminants retrouvés dans l'eau potable en lien avec les activités liées à l'industrie du gaz de schiste. Il faut préciser que les problèmes de santé soupçonnés concernent surtout les maladies chroniques en lien avec une exposition à long terme à des produits chimiques à faibles doses, soit des maladies qui prennent des années à se manifester. La durée limitée de l'exploitation du gaz de schiste explique l'absence d'études épidémiologiques sur le sujet jusqu'à maintenant.

Cette section du rapport fait donc état des publications originales qui traitent des processus impliqués dans la contamination des sources d'eau potable. Ces publications seront abordées sous différents angles d'analyse, soit : 1) la nature des contaminants impliqués et 2) les sources, voies et processus de contamination suspectés.

4.2.1 Nature et concentration des contaminants retrouvés dans l'eau souterraine

Les récentes études de caractérisation des constituants et contaminants de l'eau souterraine ont permis d'assembler de nouvelles informations pertinentes concernant l'influence potentielle de l'industrie gazière sur la qualité de l'eau potable. Quelles qu'en soient leur forme (gazeuse, liquide ou solide) et leur source (naturelle²⁵ ou anthropogénique), la présence de certains d'entre eux dans les eaux de consommation est susceptible d'engendrer une exposition des populations faisant usage de cette ressource.

Méthane

Tout comme recensé en 2010, le méthane est le principal contaminant retrouvé dans les eaux souterraines situées à proximité des sites d'exploitation du gaz de schiste.

²⁴ Seul un document (résumé de congrès) a décrit un cas d'intoxication à l'éthylène glycol possiblement relié à la contamination d'un puits privé après une activité de fracturation hydraulique (convulsion généralisée et nécrose tubulaire aigüe avec identification de cristaux d'oxalate de calcium à la biopsie rénale, suggestive d'une intoxication à l'éthylène glycol) (Chintanaboina *et al.*, 2012). Cependant, aucune investigation de la qualité de l'eau du puits du patient n'a été réalisée (Communication entre Drs JayaKrishna Chintanaboina et P. Levallois le 6 mai 2013). Il a donc été impossible de valider la conclusion de l'auteur permettant de croire à un lien de cause à effet entre la fracturation hydraulique et les symptômes rapportés. Dans ce contexte, la faiblesse de la méthodologie (en particulier l'absence de l'analyse de l'eau du puits du patient) a fait en sorte que l'étude n'a pas été retenue.

²⁵ Certains contaminants sont susceptibles de se retrouver de façon naturelle dans les aquifères se situant au-dessus des formations riches en hydrocarbures, tels que le méthane et les saumures (DiGiulio *et al.*, 2011; Jackson *et al.*, 2013; Kappel et Nystrom, 2012).

Le méthane dans l'eau est un gaz peu toxique, inodore, incolore et sans goût. À de fortes concentrations dans l'eau, il peut s'évaporer dans l'air intérieur et poser un risque aigu d'explosion lorsqu'il représente de 5 à 15 % du volume d'air, cela sous l'effet d'une étincelle²⁶.

Un rapport préliminaire de l'organisme américain Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR, 2011) relate les résultats d'une enquête initiée à la suite d'un incident impliquant la défaillance d'une tête de puits en activité et visant à identifier les effets engendrés par le déversement d'importants volumes de liquide de fracturation sur la nappe phréatique. Dans le cadre de cette enquête, les auteurs ont échantillonné 7 puits privés à Leroy Township, dans le comté de Bradford en Pennsylvanie. Dans son rapport, l'ATSDR fait état de fortes concentrations de méthane (mais également d'éthane et d'hexane, constituants secondaires du gaz naturel) dans chacun des 7 puits privés investigués (situés à l'intérieur d'un rayon d'un mille – 1,6 km – du puits défectueux) (ATSDR, 2011). Dans les échantillons d'eau prélevés après l'incident, l'organisme rapporte que les concentrations de méthane étaient 10 fois plus élevées que celles spécifiées dans les données historiques régionales (soit entre 7,4 et 6200 µg/l).

L'étude de Osborn *et al.* (2011) a démontré la présence d'une contamination des puits d'eau potable situés à proximité des puits d'extraction de gaz de schiste opérationnels par du méthane et hydrocarbures légers provenant des formations géologiques profondes d'où est extrait le gaz de schiste. Ces auteurs ont procédé à l'évaluation des concentrations de méthane dans l'eau de 60 puits d'eau potable localisés dans les états de Pennsylvanie et de New York en utilisant des marqueurs de radioactivité émise par le carbone, l'oxygène et l'hydrogène qui permet de déterminer si le méthane et les hydrocarbures mesurés dans l'eau proviennent des sols profonds ou de surface. Les auteurs ont mesuré d'importantes concentrations de méthane dans l'eau des puits situés à proximité des sites d'extraction de gaz de schiste en activité (soit entre 10 et 29 mg/l) dans 13 des 60 puits investigués. Leurs résultats ont montré que 85 % des puits étaient contaminés par le méthane et que la concentration moyenne de méthane dans ceux localisés près des secteurs de forage était 17,5 fois plus élevée que celle mesurée dans les puits au-delà d'un kilomètre (19,2 et 1,1 mg/l). De plus, 9 des 26 échantillons d'eau prélevés dans les résidences situées à moins d'un kilomètre d'un puits d'extraction avaient des concentrations de méthane supérieures à 28 mg/l. Outre ces mesures, ils ont également défini la signature géochimique (ratio méthane – hydrocarbure complexe) et isotopique²⁷ du gaz dissous recueilli afin d'identifier la nature et la source de ce dernier. Cette procédure a permis de montrer que les hydrocarbures légers²⁸ présents dans l'eau du groupe de puits situés à moins d'un kilomètre des sites d'exploitation étaient de source thermogénique et que leurs caractéristiques chimiques correspondaient à

²⁶ Aux États-Unis, une concentration de méthane dissous dans l'eau, supérieur à 10 mg CH₄/L est considérée comme le seuil d'alarme d'un risque d'une explosion dans un milieu fermé. Au-delà de 28 mg CH₄/l d'eau, une intervention immédiate est exigée pour prévenir une accumulation qui pourrait entraîner une explosion.

²⁷ Voir Tilley et Muehlenbachs (2012; cité dans Jackson *et al.*, 2013) pour plus de détails.

²⁸ La zone thermogénique constitue le site de production du méthane ainsi que d'une variété d'hydrocarbures liquides plus lourds et matures (composés d'alcane à faible teneur de carbone pouvant aller jusqu'à l'heptane (C₇H₁₆) de même que de l'huile. Ces hydrocarbures sont formés par pyrolyse de la matière organique présente dans les formations schisteuses profondes. Dans la zone biogénique, seul le méthane est formé par l'activité bactérienne.

celles du gaz naturel extrait par certaines entreprises actives dans la région à l'étude. Il est à noter que la démarche analytique préconisée dans le cadre de cette étude n'a pas permis d'identifier de traces de contaminants associés aux eaux de fracturation ou de reflux. Bien que les processus de contamination impliqués dans ces cas de contamination demeurent indéterminés pour ces auteurs, ces résultats suggèrent un risque de contamination systémique en lien avec cette pratique (Osborn *et al.*, 2011).

Un rapport de l'organisme américain Environmental Protection Agency (DiGiulio *et al.*, 2011) rapporte également les résultats d'une enquête réalisée en région rurale dans une zone d'exploitation du gaz de schiste, portant sur la contamination de plusieurs puits d'eau potable près de la ville de Pavillion (Wyoming) (nappe phréatique; 35 puits privés, 2 puits municipaux et 3 puits d'observation). Cette enquête a été initiée en réponse à des citoyens qui se plaignaient d'une dégradation de la qualité de leur eau qu'ils attribuaient à la présence des installations d'extraction du gaz de schiste situées à proximité de leurs propriétés (DiGiulio *et al.*, 2011). Dans leur enquête, les auteurs rapportent des concentrations élevées de méthane dissous atteignant 19 mg/l dans certains puits domestiques ainsi que dans les puits de contrôle profonds (DiGiulio *et al.*, 2011). De façon générale, les concentrations de méthane mesurées dans l'eau des puits privés situés à proximité des puits gaziers en production étaient plus élevées. Les auteurs mentionnent cependant que l'acquisition de données supplémentaires est nécessaire pour identifier l'étendue ainsi que la source de cette contamination. Les résultats de cette enquête suggèrent un impact probable des activités de l'industrie gazière dans un contexte géologique où la fracturation hydraulique aurait favorisé la migration verticale de contaminants chimiques²⁹ vers les sources d'eau potable (c.-à-d. l'absence de barrière lithologique entre la formation d'intérêt et la nappe phréatique).

Ainsi, les nouvelles études publiées depuis 2010 démontrent un risque accru de contamination par le méthane près des sites d'exploitation de gaz de schiste (moins de 1 km), tant en exploitation normale que lors d'incidents rapportés.

Saumures

Comme expliqué en 2010, les saumures naturellement présentes dans les interstices des formations géologiques d'origine sédimentaire marine contiennent suffisamment d'ions solubles pour occasionner une contamination des eaux souterraines et de surface en cas de déversements ou de fuites accidentelles des eaux de reflux à la suite de la stimulation du puits. En 2013, une seule étude a pu démontrer une contamination de l'eau souterraine par des saumures provenant des formations profondes d'origine sédimentaires.

Bien que les volumes de saumures impliqués dans les cas de contamination par les eaux de reflux ainsi que la composition de celles-ci peuvent varier de façon importante, ces saumures contiennent généralement une importante charge en soufre (S²⁻), chlorures, sodium, arsenic, en baryum ainsi qu'en radium-226 (Jackson *et al.*, 2013). La salinité de ces saumures est généralement élevée pouvant atteindre plusieurs centaines de grammes par litre (Kresse *et al.*, 2012; Warner *et al.*, 2012).

²⁹ Voir section *Fluides de fracturation* plus loin.

Le rapport de l'ATSDR sur le déversement d'importants volumes de liquide de fracturation à Leroy Township (PA) rapporte un cas de contamination de la nappe phréatique associée à la dispersion d'ions solubles apparentés aux saumures (baryum, calcium, chlore, manganèse, magnésium, potassium, sodium, fer et lithium) (ATSDR, 2011). En effet, la concentration de certains de ces ions dans l'eau souterraine suivant l'incident était largement plus élevée que les concentrations historiques. Selon ce rapport, les concentrations de sodium retrouvées dans l'eau des puits investigués étaient importantes et auraient pu engendrer des altérations à la santé chez certains groupes d'individus qui auraient pu consommer cette eau (atteignant 21 g/l), causant par exemple de l'hypertension artérielle chez certaines personnes. Par contre, au regard des cas d'exposition rapportés, les auteurs du rapport indiquent que ce cas de contamination ne semble pas avoir causé d'effets délétères sur la santé des utilisateurs de la ressource (ATSDR, 2011). Ainsi, une contamination de la nappe phréatique par des saumures est possible lors d'incidents ou de déversements de fluide à la surface lors des opérations de gaz de schiste.

Fluides de fracturation

Les fluides de fracturation peuvent contenir de nombreux additifs chimiques dont la combinaison dépend des caractéristiques géologiques du site et de la préférence des opérateurs du forage. Cependant, ces substances sont encore mal caractérisées quant à leur usage dans la fracturation et en conséquence, aucune analyse de risque sérieuse ne peut être réalisée sans cette caractérisation. Des données de caractérisation sont attendues aux États-Unis en 2014 (US EPA, 2011; US EPA, 2012).

Comme mentionné précédemment, les fluides de fracturation sont constitués de solutions aqueuses enrichies de certains additifs chimiques (dont la combinaison varie selon les caractéristiques géologiques du site) notamment destinés à favoriser la formation et le maintien de fractures, ainsi que la désorption du méthane contenu dans les micro-interstices des horizons shaleuses. À l'heure actuelle, peu de données sont disponibles concernant les volumes et la nature des additifs qui pourraient être utilisés dans un contexte d'exploitation en sol québécois. La mise à jour de la littérature a permis de déceler seulement deux nouvelles études à ce propos. Elles ont rapporté des informations concernant la contamination potentielle de sources d'eau potable par les fluides de fracturation.

La première, soit celle de Rozell et Reaven (2012), a montré, à l'aide d'un modèle probabiliste, que parmi les voies de contamination identifiées, le risque de contamination engendré par la gestion des eaux de reflux sur le site de forage (de même que l'incertitude épistémique associée) était substantiellement plus important que les autres voies de contamination considérées dans le modèle (soit les déversements lors des activités de transport, les fuites du tubage de puits, les fuites à travers la roche fracturée et les incidents lors de l'élimination des eaux usées) (Rozell et Reaven, 2012).

La seconde étude, élaborée par la US EPA et traitant du cas de contamination de la municipalité de Pavillon (WY), a permis d'assembler certaines informations qui suggèrent que les eaux souterraines de cette région ont été contaminées par des fluides de fracturation issus de l'activité de l'un des 169 puits gaziers en production présents dans ce secteur (DiGiulio *et al.*, 2011). En effet, les eaux prélevées dans les résidences situées près de ces

puits gaziers (dans un rayon d'environ 10 km), avaient des concentrations de potassium (entre 43,6 et 54,9 mg/l) et de chlorure (466 mg/l), environ 18 fois plus élevées que celles mesurées dans les puits témoins. Selon les auteurs, la présence de ces produits dans les échantillons prélevés (présumés issus de la dégradation d'additifs tels le chlorure de potassium, le métaborate de potassium, l'hydroxyde de potassium et le chlorure d'ammonium) serait compatible avec une contamination de l'eau souterraine par les fluides de fracturation. Cette hypothèse est également supportée par la présence conjointe de substances organiques utilisées par l'industrie comme additifs, dont l'isopropanol, les diéthylène glycol et triéthylène glycol, le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et le xylène (DiGiulio *et al.*, 2011).

Ainsi, la contamination des eaux souterraines par certains composants des fluides de fracturation est possible, et peut davantage provenir d'une mauvaise gestion des eaux de reflux que des processus de contamination identifiés à la section 4.2.2. En effet, l'entreposage des fluides utilisés ou récupérés dans le processus d'exploitation dans des bassins de stockage en surface a probablement causé la contamination des eaux souterraines rapportée dans cette municipalité du Wyoming (DiGiulio *et al.*, 2011).

4.2.2 Sources, voies et processus possibles de contamination de l'eau souterraine

Bien que certaines évidences théoriques et études de cas rapportent un potentiel de contamination accrue des sources d'eau potable dans les secteurs contigus aux sites d'extraction du gaz de schiste, les processus impliqués dans la contamination des sources d'eau en condition d'exploitation normale demeurent une source de questionnements (US EPA, 2012). Afin de mieux comprendre les processus potentiellement impliqués dans la contamination des eaux souterraines, certains auteurs ont procédé à des travaux visant à vérifier différentes hypothèses communément avancées dans la communauté scientifique soit : 1) la migration de fluides par le puits d'extraction lui-même; 2) la migration de fluides souterrains par l'entremise de voies naturelles (c.-à-d. fractures et plans de failles); 3) la migration de fluides par l'entremise de nouveaux réseaux de fissures induits par la fracturation hydraulique (Osborn *et al.*, 2011; US EPA, 2012). Cette section présente les nouvelles études concernant les processus de contamination les plus fréquemment suspectés.

Contamination par le puits d'extraction

Les études identifiées confirment l'hypothèse soulevée en 2010 concernant les risques de contamination de l'eau par des gaz reliés à l'intégrité du coffrage de ciment du puits.

Les fuites associées au coffrage de ciment annulaire situé autour des canalisations des puits d'extraction constitueraient un problème chronique dans l'industrie gazière et résulteraient de la mise en œuvre de travaux de cimentation de piètre qualité (Jackson *et al.*, 2013). En effet, les discontinuités de la structure de béton isolant le tubage des puits de la roche encaissante sont fréquemment identifiées comme étant responsables des fuites observées. Ces discontinuités permettraient au gaz de migrer le long du puits de forage, depuis la zone de production (pressurisée sous l'effet de la fracturation hydraulique), vers les horizons superficiels poreux (de plus basse pression) qui renferment les aquifères. Des fuites pourraient également survenir à moyen ou à long terme à la suite de la détérioration des

tubages par la corrosion induite par les saumures et les pressions élevées (Jackson *et al.*, 2013).

À cet effet, Jackson *et al.* (2013) rapportent les résultats d'études effectuées dans l'Ouest canadien et aux États-Unis qui démontrent qu'entre 7 et 28 % des puits investigués sont affectés par des fuites de gaz. De plus, des fuites de méthane ont été observées dans l'environnement immédiat de 50 % des puits d'exploration récemment inspectés au Québec (Holzman, 2011). Finalement, dans leur rapport portant sur l'étude effectuée à Pavillion (Wyoming), les auteurs de l'US EPA ont également émis de fortes réserves au regard de certains puits gaziers qui auraient pu être directement impliqués dans la contamination de l'aquifère (DiGiulio *et al.*, 2011). Selon ces derniers, la présence de certaines aspérités et de discontinuités dans la matrice cimentée aurait pu constituer un passage préférentiel pour le gaz.

Ainsi, le potentiel de contamination ou de fuite causée par des défauts dans le coffrage de ciment annulaire situé autour des canalisations des puits ou par sa détérioration est bien présent et est appuyé par la littérature scientifique.

Contamination par les puits de forage abandonnés

Parmi les hypothèses avancées pour expliquer les cas de contamination, certains chercheurs suspectent l'implication d'anciens puits profonds abandonnés, dont la présence est largement répandue dans certains états américains et certaines provinces canadiennes tels que le Texas et l'Ontario (Jackson *et al.*, 2013). Ces puits, jadis destinés à l'activité gazière et pétrolière, sont susceptibles de contribuer à la contamination des nappes d'eau souterraine, si l'une ou l'autre des formations géologiques traversées par ces puits est soumise aux activités de fracturation hydraulique et d'enfouissement de fluides. Jackson *et al.*, (2013) rapporte d'ailleurs d'autres cas de contamination possiblement attribuables à ce type d'interactions survenus au Kentucky, au Kansas et en Alberta.

Ainsi, l'hypothèse soulevée en 2010 quant au risque de contamination de l'eau souterraine par les puits abandonnés est confirmée par la littérature revue.

Migration des fluides par les failles et les fractures naturelles

En 2010, la possibilité de contamination de l'eau souterraine par des failles ou des fractures naturellement présentes entre les horizons géologiques n'était qu'une hypothèse théorique. Cette hypothèse est maintenant plus solide au regard de la littérature révisée.

Warner *et al.*, (2012) ont récemment publié une étude dont les résultats entérinaient l'existence d'un pont hydraulique naturel entre les horizons géologiques riches en gaz de schiste et les aquifères superficiels constituant une source d'eau potable pour les populations du nord de la Pennsylvanie. À l'aide de traceurs géochimiques couramment employés dans ce type d'investigation, les auteurs ont démontré la présence de certaines voies d'échange entre ces horizons géologiques non liées à l'activité gazière récente.

L'analyse de la composition chimique³⁰ et isotopique³¹ de 426 échantillons d'eau souterraine provenant des alluvions de Catskill et de LockHeven, ainsi que de 83 échantillons de saumure prélevés en milieux profonds, suggère la migration de saumure des shales de Marcellus vers les horizons superficiels par des voies naturelles (plan de fractures et de failles) (Warner *et al.*, 2012). Selon les auteurs, la présence de ces intrusions d'eau salée n'est pas associée à la localisation des puits de gaz de schiste et demeure compatible avec les données obtenues antérieurement à l'implantation de cette industrie dans la région. Sur la base des données obtenues, Warner *et al.* (2012) concluent que les voies d'échanges naturelles associées au régime hydrodynamique et au contexte géostructurel du nord de la Pennsylvanie constitueraient un risque de contamination de la nappe phréatique en raison de la connectivité hydraulique naturelle entre cet horizon et les formations profondes. Ainsi, selon ces auteurs, les activités de fracturation favoriseraient les processus de transport des fluides dans les horizons riches en gaz ainsi qu'entre ces horizons, menant ainsi à une augmentation du risque de contamination de la nappe phréatique. Soulignons que l'interprétation des résultats de cette recherche suscite des discussions parmi la communauté scientifique aux États-Unis.

Ainsi, il semble que les activités de fracturation pourraient favoriser des échanges de gaz ou de fluides (saumures) entre les horizons géologiques (incluant les aquifères) grâce aux voies naturellement présentes.

Migration des fluides par les réseaux de fractures induite par les opérations

En 2010, l'hypothèse d'une contamination de l'eau souterraine par des failles ou des fractures induites lors des opérations de fracturation avait été soulevée. Cette hypothèse existe toujours au regard de la littérature révisée.

La mise à jour des connaissances n'a pas permis d'identifier une étude indiquant que des fractures engendrées par les activités de fracturation hydraulique se propagent au-delà des zones exploitées. À l'heure actuelle, les évidences fondées sur plusieurs centaines d'observations de puits en activité rattachées à 4 formations shaleuses des États-Unis témoignent en faveur d'un faible risque (~1 %) de propagation verticale des fractures au-delà de 500 m au-dessus de l'horizon géologique stimulé (Jackson *et al.*, 2013). Les auteurs ont évalué que l'élévation maximale des fractures pouvait atteindre 590 m. Ils ont aussi proposé d'observer une distance minimale de 600 m entre les horizons exploités et les aquifères et, de considérer un périmètre de sécurité à proximité de tout nouvel environnement géologique. Ces observations ont été corroborées par Fisher et Warpinski (Fisher et Warpinski, 2012) qui ont constitué un large registre de données de profondeur, de taille et de structure des fractures engendrées par la fracturation hydraulique. Selon ces derniers, les contraintes en présence dans les horizons shaleuses limiteraient la croissance horizontale des fractures, soutenant du même coup que ce procédé n'affecte généralement pas la conductivité hydraulique entre les horizons soumis à la fracturation et les aquifères.

³⁰ Bromures, chlorures, sodium, baryum, strontium et lithium.

³¹ Ratio $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$, H^2/H , $\text{O}^{18}/\text{O}^{16}$ et $\text{Ra}^{228}/\text{Ra}^{226}$. Abréviations : Sr/strontium; H/hydrogène; O/oxygène; Ra/radium.

Par ailleurs, Myers a proposé, à l'aide de modélisations, certains mécanismes indirects pouvant être impliqués dans la contamination des aquifères à la suite des activités de fracturation (Myers, 2012). Ces travaux suggèrent que les processus de transport advectif (c.-à-d. l'écoulement des fluides perpétrés sous l'effet des forces de compaction et d'écoulement gravitaires) nécessiteraient jusqu'à plusieurs dizaines de milliers d'années pour engendrer le déplacement de contaminants de sources profondes vers la surface. Ces travaux suggèrent également que la fracturation hydraulique pourrait diminuer ce temps de transport à quelques centaines ou dizaines d'années. De plus, les plans de fracture répertoriés dans les horizons géologiques associés aux shales de Marcellus constitueraient des axes de transport préférentiels pour les fluides souterrains (Myers, 2012). L'injection pressurisée de fluides de fracturation dans les horizons shaleuses induirait d'importantes hausses de pression dans les horizons géologiques ciblés engendrant de nouveaux réseaux de fractures accentuant la taille des anfractuosités³² existantes. Les résultats de cette modélisation montrent que les niveaux de pressions préstimulations seraient rétablis dans environ 300 jours. À la suite de la fracturation, un nouvel état d'équilibre hydrodynamique serait atteint en 3 à 6 ans. Toujours selon ce modèle et selon les données utilisées pour ces simulations, les processus de transport advectif pourraient permettre le transfert de contaminants vers la nappe phréatique en moins de 10 ans (Myers, 2012).

Ainsi, il n'existe pas de données qui confirment que les fractures induites se propagent horizontalement à l'extérieur des zones exploitées, mais certaines études confirment que des fractures induites se propagent verticalement jusqu'à 500 m (pour 1 % des opérations) au-dessus des horizons fracturés. Cette stimulation accélérerait le mouvement des fluides entre les horizons géologiques par ces réseaux de fractures induites. De nouvelles études restent nécessaires afin de statuer sur la question.

4.3 BILAN DE LA RECENSION 2013 SUR L'EAU

4.3.1 Synthèse des résultats de la mise à jour 2013

À la lumière des documents analysés lors de cette mise à jour, il a été constaté qu'il existe des risques de contamination des eaux souterraines à la suite d'accidents impliquant les installations d'extraction du gaz de schiste aux États-Unis, ainsi que des risques potentiellement associés aux opérations normales des installations de production de gaz de schiste. Les contaminants de l'eau documentés par les études consultées étaient principalement du méthane, de la saumure, ou certains constituants chimiques issus des fluides de fracturation. Certaines eaux contaminées par le méthane étaient destinées à la consommation humaine; les liens entre ces contaminations et les installations souterraines associées à l'industrie gazière ont été confirmés. Ces contaminations de l'eau potable ont mené à une interdiction de consommation de l'eau provenant de la zone affectée afin de protéger la santé humaine.

Parmi les études retenues, l'une d'entre elles rapporte un cas de contamination des eaux de surface et souterraines résultant du bris soudain de la structure d'un puits gazier lors des opérations de fracturation. Ce bris aurait engendré le déversement d'importants volumes

³² Cavités profondes et irrégulières se profilant à l'intérieur des unités géologiques et entre celles-ci.

d'eau de reflux sur le site de forage (ATSDR, 2011). Lors de tels événements, les fluides impliqués tendent à s'écouler dans l'environnement jusqu'à ce que la fuite soit colmatée. Toutefois, le risque de tels accidents demeure relativement limité et il est raisonnable de penser que des solutions techniques pourront être apportées pour réduire ce risque ou diminuer les impacts environnementaux associés.

D'autres études ont mis en évidence une contamination de l'eau potable de plusieurs résidences situées à proximité d'un puits d'extraction de gaz de schiste en activité normale (DiGiulio *et al.*, 2011; Osborn *et al.*, 2011). Une étude a conclu que la présence de méthane et de certaines des substances chimiques identifiées dans l'eau potable proviendrait des installations souterraines associées à l'industrie gazière, possiblement attribuables à des fuites dans le tubage des canalisations d'extraction du gaz ou dans le ciment servant de coffrage à ces canalisations (DiGiulio *et al.*, 2011). Dans tous ces cas, une interdiction de consommation de l'eau provenant de la zone affectée a été prescrite afin de protéger la santé humaine³³.

Le risque d'une contamination systémique des sources d'eau souterraine est préoccupant d'un point de vue de santé publique. Une telle contamination pourrait survenir lors des opérations normales d'extraction du gaz de schiste, à plus ou moins long terme, durant la période d'opération ou même plusieurs années suivant celle-ci. L'étude de Osborn *et al.* (2011) a établi un lien entre la contamination de l'eau potable de puits privés situés à proximité des puits de gaz de schiste par le méthane ainsi que par d'autres hydrocarbures légers d'origine thermogénique³⁴. Deux hypothèses probables concernant l'origine de la contamination par le méthane ont été soulevées soit : 1) la présence de fuites souterraines provenant du puits d'extraction lui-même, ou 2) l'influence de processus de migration du méthane et autres hydrocarbures légers depuis la zone d'extraction vers les nappes phréatiques. Une troisième possibilité suggère que les voies de migration naturelles des fluides souterrains pourraient être stimulées par la fracturation hydraulique; ce qui pourrait accélérer le transport vertical du gaz et de contaminants chimiques vers les aquifères. Ce risque potentiel de contamination de l'eau souterraine a été observé à la suite d'une période d'exploitation très courte soit une durée moyenne inférieure à cinq ans.

Bien que certaines études répertoriées dans cette section aient suscité des débats parmi la communauté scientifique, il n'existe actuellement aucune autre étude qui rejette l'hypothèse du risque de contamination systémique soulevé par ces études. La communauté scientifique s'entend cependant sur un point; il est nécessaire de poursuivre les recherches pour mieux documenter ce risque potentiel et, s'il est confirmé, d'en identifier formellement l'origine.

³³ À Pavillion, l'interdiction était toujours en vigueur en 2013. Les citoyens devraient avoir accès à de l'eau potable au moyen de citernes d'eau municipales avec stations de remplissage d'ici la fin de l'année 2013 : <http://yosemite.epa.gov/opa/admpress.nsf/0/DC7DCDB471DCFE1785257B90007377BF>, (consulté le 20 septembre 2013).

³⁴ Quoique les résultats de cette étude soient basés sur un nombre limité d'observations et que ces auteurs n'aient pu établir l'origine de cette contamination, il n'en demeure pas moins que cette étude interpelle la communauté scientifique.

La qualité et la quantité de l'eau destinée à la consommation humaine sont des enjeux importants en matière de santé publique. L'impact de la perte nette de ressources hydriques constitue un élément de préoccupation qui doit être évalué. L'enjeu le plus important concerne la qualité des réserves d'eau douce, puisque les études identifiées suggèrent un risque potentiel de contamination de l'eau souterraine après une période d'exploitation très courte, soit une durée moyenne inférieure à cinq ans. Cette contamination, une fois avérée, perdurerait pour de nombreuses années pouvant alors mener à des problématiques d'approvisionnement en eau potable de source souterraine, tel qu'expérimenté dans la municipalité de Pavillion, au Wyoming.

On ne peut exclure l'hypothèse d'un risque d'une contamination systémique des sources d'eau souterraine pouvant survenir lors des opérations normales d'extraction du gaz de schiste. D'ailleurs, aucune étude n'a pu rejeter cette hypothèse. Ces contaminations pourraient provenir des voies de migration naturelles des fluides souterrains qui pourraient être stimulées par la fracturation hydraulique; ce qui pourrait accélérer le transport vertical du gaz et de contaminants chimiques vers les aquifères.

4.3.2 Informations à acquérir pour la caractérisation du risque

Malgré le fait que différentes hypothèses reliées au processus de contamination de l'eau potable de puits privés situés à proximité des puits de gaz de schiste par le méthane ainsi que par d'autres hydrocarbures légers d'origine thermogénique aient été soulevées, l'un des éléments préoccupants liés à ce type d'hypothèse est associé au fait que les secteurs où ont été réalisées ces études ne sont exploités pour l'extraction du gaz de schiste que depuis très peu de temps; soit moins de 5 ans en moyenne.

D'un point de vue sanitaire, une exposition humaine à des substances chimiques, selon la nature des substances impliquées et le type d'exposition, peut engendrer des effets aigus (pouvant survenir rapidement après l'exposition), ou chroniques (pouvant survenir à long terme après une exposition prolongée et à de faibles concentrations). Le risque sanitaire est estimé en fonction des effets potentiels sur la santé et de la plausibilité d'une exposition. Ainsi, tant que ne seront pas connus la nature et la quantité des contaminants de l'eau, il sera impossible d'estimer l'exposition et par conséquent, le risque attribuable à cette industrie.

Dans le but d'évaluer le risque sanitaire qui serait attribuable aux activités de cette industrie advenant un cas de contamination de l'eau potable, de nombreux auteurs insistent sur l'importance de rassembler des données suffisantes de « bruit de fond »³⁵ représentatives (données antérieures aux activités d'extraction) ou de faire usage de marqueurs géochimiques dans un cadre méthodologique approprié pour discriminer la contamination potentiellement associée à l'exploitation du gaz de schiste de la contamination dite de source naturelle (Hunt *et al.*, 2012; Osborn *et al.*, 2011; US EPA, 2012). L'absence de telles données de « bruit de fond » est à l'origine des difficultés associées à la détermination de la part des contaminants mesurés dans l'eau potable, laquelle part est due aux activités industrielles lors de litiges mettant en jeu la santé publique (par exemple, le cas de Pavillion

³⁵ On peut aussi dire « état au temps zéro ».

décrit plus tôt, (DiGiulio *et al.*, 2011). De plus, plusieurs auteurs recommandent qu'il y ait une obligation de constituer une banque de données du bruit de fond dans tous les secteurs où cette industrie ne s'est pas encore implantée (Jackson *et al.*, 2013; Penningroth *et al.*, 2013; Stuart, 2012).

Au Québec, les résidences sont peu ventilées³⁶. Advenant un risque accru de contamination de l'eau de consommation par le méthane, ces contraintes pourraient favoriser l'accumulation de méthane dans l'air intérieur des bâtiments. Si l'une ou l'autre des hypothèses soulevées dans les documents retenus concernant l'origine de la contamination des puits d'eau potable lors des opérations usuelles d'extraction du gaz de schistes étaient avérées (c.-à-d. problèmes d'étanchéité des puits d'extraction ou augmentation de la migration des éléments provenant des formations géologiques profondes vers la surface), il sera essentiel de s'assurer que le risque de contamination des nappes phréatiques soit compris puis contrôlé avant de procéder à l'implantation de cette industrie au Québec.

En terminant, il importe de rappeler qu'aucun rapport ni publication scientifique relatifs aux effets réels ou potentiels à la santé humaine découlant d'une exposition à une eau contaminée par du méthane ou des substances chimiques provenant des opérations reliées à l'industrie du gaz de schiste n'ont été relevés. Comme indiqué précédemment, la plupart des cas confirmés de contamination des sources d'eau potable ont engendré des avis de non-consommation, ce qui a réduit conséquemment l'exposition des populations concernées.

³⁶ Les travaux menés en 1989 par le Conseil national de recherches du Canada (CNRC) dans 200 bâtiments résidentiels avaient montré que dans 99 % des habitations investiguées dans diverses régions au Canada, le taux moyen de renouvellement d'air intérieur était inférieur à 0,3 volume d'air par heure (standard de l'ASHRAE) pendant au moins une période de 24 heures, au cours de la période de chauffe (voir <http://archive.nrc-cnrc.gc.ca/fra/idp/irc/sc/ctus-n14.html> pour la description de cette étude). Plus récemment, Gilbert *et al.* (2006) ont mené une étude dans 96 résidences de la région de Québec et ont observé un taux moyen de changement d'air à l'heure de 0,2 (en condition de bâtiment fermé). Ces études témoignent du faible taux de ventilation des bâtiments résidentiels québécois.

5 ASPECTS ASSOCIÉS À LA QUALITÉ DE VIE ET À LA SANTÉ PSYCHOLOGIQUE ET SOCIALE

Les écrits sur les activités reliées à l'industrie du gaz de schiste mettent en lumière des interactions avec les milieux de vie des populations avoisinantes qui engendrent des changements de la qualité de vie et de la santé sociale et psychologique. La recension des écrits de 2010 (Brisson *et al.*, 2010) avait permis de cerner différents impacts, et ces derniers tendent à être confirmés par la présente mise à jour.

Afin de rendre compte des résultats recueillis, ce chapitre débute avec le résumé des constats de 2010 (Brisson *et al.*, 2010), et se poursuit avec les résultats de la nouvelle recension des écrits. Finalement, un bilan des résultats de 2013 est présenté.

5.1 CONSTATS DE 2010

Les constats sur les impacts sur la qualité de vie abordés dans l'« État des connaissances sur la relation entre les activités liées au gaz de schiste et la santé publique » sont basés dans une large mesure sur des publications scientifiques et font état d'effets survenus spécifiques au gaz de schiste. Il est donc possible que ces situations surviennent au Québec si des conditions similaires sont réunies.

Selon ces constats, l'exploration et l'exploitation du gaz de schiste ont entraîné une série de nuisances notamment par la circulation accrue des véhicules, des camions et de la machinerie industrielle, le bruit, la luminosité et les vibrations (Brisson *et al.*, 2010). Quant aux effets sociaux, ceux-ci sont, dans une large part, associés à l'augmentation rapide de la population et à l'arrivée de nouveaux membres dans une communauté ou une région, connues sous l'effet *boomtown* (Brisson *et al.*, 2010). Les documents mis au jour et analysant les effets spécifiques de l'activité reliée au gaz de schiste sur les populations avoisinantes ont peu abordé la question de la santé psychologique. Cela ne porte toutefois pas à conclure à l'absence d'effets ou encore à des effets mineurs sur la santé psychologique, mais a plutôt été lié au fait qu'un nombre restreint d'études était disponible sur ce sujet (Brisson *et al.*, 2010). Les retombées économiques positives ont souvent été évoquées dans la littérature sur le gaz de schiste notamment quant à la création d'emplois, à l'activité commerciale locale générée dans divers secteurs, et aux taxes et redevances (Brisson *et al.*, 2010). Toutefois, cette activité industrielle a présenté un bilan à moyen et long terme plutôt négatif notamment en ce qui concerne la capacité de logement, la sécurité et l'ordre public, la fragilisation du tissu social et l'apparition de conflits au sein de la communauté. Elle a, de plus, présenté des modifications sur le plan culturel et symbolique quant à la représentation de leur communauté par les citoyens à la suite de l'implantation de cette activité industrielle (Brisson *et al.*, 2010).

Afin de parvenir à une analyse plus fine de la situation québécoise, certaines connaissances à acquérir ou à approfondir ont été identifiées tant sur le plan scientifique que sur le plan des perceptions et des appréhensions des citoyens. La nécessité de développer et d'appliquer des méthodes d'évaluation des impacts psychologiques et sociaux a aussi été affirmée.

5.2 RÉSULTATS DE LA RECENSION 2013 SUR LA QUALITÉ DE VIE

La présente recension d'écrits sur la qualité de vie et la santé psychologique et sociale a mis au jour de nouvelles études scientifiques qui confirment ou apportent des nuances quant aux effets à la santé recensés en 2010 (Brisson *et al.*, 2010) en matière de nuisances, d'effets psychologiques et d'effets sociaux.

Des auteurs ont observé les impacts de l'exploration et de l'exploitation du gaz de schiste sur la circulation, le bruit, les vibrations et la luminosité de même que sur la qualité de vie des communautés à l'étude. Des études scientifiques se sont également penchées sur les conséquences psychologiques et sociales de l'implantation de ce type d'industrie dans une région, ce qui a permis de recenser des données spécifiques à l'industrie du gaz de schiste.

Pour cette recension d'écrits, 22 études ont été retenues (annexe 2).

5.2.1 Nuisances potentielles de l'activité du gaz de schiste et effets sur la qualité de vie

Les écrits répertoriés continuent de mettre en lumière les mêmes sources de nuisances spécifiques liées à l'exploration et l'exploitation du gaz de schiste. Ces nuisances paraissent affecter la qualité de vie des individus et des communautés. Les nuisances les plus étudiées dans la littérature récente concernent la circulation, le bruit, la luminosité et les vibrations.

Circulation routière

Parmi les nouveaux écrits recensés, plusieurs abordent spécifiquement les nuisances associées à la circulation routière reliée aux activités du gaz de schiste (Banerjee *et al.*, 2012; Perry, 2012; Schafft *et al.*, 2012; Randall, 2010; Rumbach, 2011; Christopherson et Rightor, 2012; Broderick *et al.*, 2011; NYSDEC, 2011; Greenplan, 2011; CSPH, 2011; BAPE, 2011). D'autres pointent ces éléments au sein d'études traitant le sujet du gaz de schiste de façon plus générale (Brasier *et al.*, 2011; Jacquet, 2012; Jacquet et Stedman, 2011; Weigle, 2010; Wynveen, 2011; Raimi, 2012).

Sources et durée

Les nouveaux documents confirment l'ampleur de la circulation et l'augmentation du trafic, notamment de camions lourds, sur les routes principales et secondaires (Rumbach, 2011; Christopherson et Rightor, 2012; Jacquet, 2012; Schafft *et al.*, 2012). Le nombre de voyages de camions lourds demeure variable, dépendamment des auteurs qui ont inclus ou non dans leurs estimations, les phases de la construction et de la fermeture du site³⁷ (Banerjee *et al.*, 2012; Brasier *et al.*, 2011; Perry, 2012; Raimi, 2012; Rumbach, 2011; Randall, 2010; Christopherson et Rightor, 2012; BAPE, 2011). De nouveaux facteurs influençant la densité de la circulation sont également énoncés, soit la disponibilité de l'eau sur le site et les autres voyages de camions nécessaires pour les activités connexes comme le déboisement, la construction des routes d'accès et la construction du pipeline de distribution (Perry, 2012; Banerjee *et al.*, 2012; NYSDEC, 2011).

³⁷ Le nombre de voyages par puits varie dans la littérature entre 320 et 1365 (Perry, 2012; Banerjee *et al.*, 2012; Raimi, 2012; Rumbach, 2011; Randall, 2010; Christopherson et Rightor, 2012; BAPE, 2011).

Plusieurs études confirment que le transport de l'eau nécessaire aux opérations de forage et de fracturation hydraulique est l'activité qui génère le plus de trafic, car elle représente plus de la moitié de l'ensemble des voyages de camions lourds³⁸ (Rumbach, 2011; Randall, 2010; Christopherson et Rightor, 2012; CMSC, 2011; BAPE, 2011; Banerjee *et al.*, 2012; Broderick *et al.*, 2011; CSPH, 2011; Greenplan, 2011). Ainsi, une étude sur un site actif dans le comté de Bradford, en Pennsylvanie, indique que le trafic durant le forage et la fracturation hydraulique équivaut à un départ ou une arrivée de camions toutes les trois à cinq minutes (Rumbach, 2011). Aux fins de l'évaluation de la densité du camionnage, les périodes de forage et de fracturation hydraulique paraissent encore les mêmes, soit de quatre à huit semaines (Rumbach, 2011; CMSC, 2011; BAPE, 2011; Greenplan, 2011). Selon Banerjee *et al.*, les périodes de construction (incluant le transport des matériaux de construction et la construction des routes) sont celles qui causent le plus de dommages aux routes³⁹, suivi par le transport de l'eau⁴⁰ et le transport de matériel spécialisé⁴¹ (Banerjee, *et al.*, 2012).

Effets

Au début de l'exploitation, dans certaines communautés à l'étude, l'augmentation de la circulation routière a été le premier changement perceptible et direct puisque les véhicules partagent les mêmes infrastructures que les résidents (Perry, 2012; Wynveen, 2011).

Les dommages suivants ont été recensés dans la littérature scientifique :

- Fissures, crevasses et inégalités de la chaussée (Banerjee *et al.*, 2012);
- Fermeture de la route (Schafft *et al.*, 2012).

Ces dommages peuvent s'accroître lorsque les camions lourds dépassent les limites permises en matière de poids, comme l'a démontré une vaste enquête policière réalisée dans le nord de la Pennsylvanie et en Arkansas (Randall, 2010).

La recension d'écrits montre également des effets multiples associés à la circulation accrue :

- Dégradation des conditions de conduite, particulièrement au niveau des routes secondaires, due à la détérioration et la destruction des routes locales (Brasier *et al.*, 2011; Wynveen, 2011; Schafft *et al.*, 2012; Jacquet, 2012; NYSDEC, 2011; Greenplan, 2011; Banerjee *et al.*, 2012);
- Changements dans les habitudes de déplacement (trajets, temps de déplacement, horaire des autobus scolaires) (Perry, 2012; Schafft *et al.*, 2012; BAPE, 2011);
- Augmentation des risques d'accident de la route (Brasier *et al.*, 2011; Schafft *et al.*, 2012; Jacquet, 2012; Rumbach, 2011; Christopherson et Rightor, 2012; Randall, 2010; NYSDEC, 2011; CMSC, 2011; BAPE, 2011; CSPH, 2011);

³⁸ Durant cette période, les camions doivent transporter des millions de gallons d'eau et de sable, ainsi que des produits chimiques et du matériel spécialisé (Raimi, 2012; Jacquet et Stedman, 2011; Banerjee *et al.*, 2012; Randall, 2010; Rumbach, 2011).

³⁹ Selon cette étude du Texas (comtés de Denton, Johnson, Tarrant et Wise, région des shales de Barnett), ces périodes avaient causé 13 % de dommages additionnels et 29 % de réduction de la durée de vie de la route (Banerjee *et al.*, 2012).

⁴⁰ 6 % de dommages additionnels et 16 % de réduction de la durée de vie de la route (Banerjee *et al.*, 2012).

⁴¹ 1,6 % de dommages additionnels et 5,6 % de réduction de la durée de vie de la route (Banerjee *et al.*, 2012).

- Augmentation de la poussière et des mauvaises odeurs de carburant (Perry, 2012; Christopherson et Rightor, 2012; Steinzor *et al.*, 2013; Rumbach, 2011).

Population affectée

Comme en 2010, les habitants à proximité des axes routiers représentent la population la plus exposée aux nuisances dues à la circulation (Wynveen, 2011; Broderick *et al.*, 2011). Au groupe le plus vulnérable identifié en 2010 (les enfants), s'ajoutent, grâce à une nouvelle étude, les personnes âgées ou celles ayant des problèmes de santé mentale. Williamson et Kolb ont observé en Pennsylvanie que ces groupes de personnes sont particulièrement intolérants devant une augmentation de la circulation dans leur milieu de vie (Williamson et Kolb, 2011).

Bruit et vibrations⁴²

Les études mises au jour dans la présente recension d'écrits font état de facteurs nouveaux, qui accentuent, dans certains contextes, les nuisances étudiées dans le rapport de 2010. Aux États-Unis, les activités de forage, qui se déroulent 24 heures par jour, n'ont jamais été aussi proches des résidences (Raimi, 2012; Wynveen, 2011). De plus, en certaines occasions, des activités reliées à l'exploitation du gaz de schiste ont dépassé de 35 décibels (dB) les niveaux de bruit environnant recommandés par l'OMS⁴³, ce qui occasionne une nuisance importante (Raimi, 2012; NYSDEC, 2011; Greenplan, 2011).

Sources et durée

Les sources de bruit spécifiquement attribuables à l'industrie du gaz de schiste ont été bien cernées en 2010, et plusieurs écrits les citent à nouveau (Wynveen, 2011; Raimi, 2012; Broderick *et al.*, 2011; NYSDEC, 2011; CMSC, 2011; CSPH, 2011; Greenplan, 2011). Rappelons ainsi que les périodes de construction des routes et du site et le procédé de fracturation hydraulique seraient les activités les plus bruyantes (Raimi, 2012; NYSDEC, 2011). Une nouvelle étude de littérature grise met à jour le bruit des compresseurs associé au pipeline de distribution comme source de nuisance, et celui-ci affecte également les résidences éloignées d'un site d'exploitation (Raimi, 2012)⁴⁴. Les compresseurs peuvent produire un bruit de 90 dB durant le jour et la nuit (Raimi, 2012; CMSC, 2011).

Effets

Outre les effets recensés en 2010, tels que les troubles de sommeil et la fatigue, le bruit provenant de l'augmentation des activités industrielles et du trafic est un facteur de stress important chez certains résidents qui bénéficient d'une qualité de vie rurale, comme l'a souligné Perry dans une étude ethnographique longitudinale menée auprès d'agriculteurs du comté de Bradford, en Pennsylvanie (Perry, 2012).

⁴² Les vibrations du sol ont été recensées dans un seul document de littérature grise et sont traitées dans cette section, car leurs sources et leurs impacts sur la santé sont du même type (CSPH, 2011).

⁴³ Les recommandations de l'OMS indiquent que le bruit environnant ne devrait pas dépasser 55 décibels (dB) le jour et 45 dB la nuit, et que le bruit de pointe la nuit ne devrait pas dépasser 60 dB (BAPE, 2011).

⁴⁴ Des stations de compresseurs peuvent être disposées tous les 40 à 100 milles (64 à 161 kilomètres) sur la ligne du pipeline afin de maintenir une pression constante. En Caroline du Nord, il y a cinq stations de compresseurs et elles fonctionnent 24 heures par jour (Raimi, 2012).

Selon plusieurs documents consultés, l'impact du bruit serait particulièrement important la nuit quand il n'y a pas d'autres bruits ambiants (Raimi, 2012; Broderick *et al.*, 2011; NYSDEC, 2011; Wynveen, 2011; BAPE, 2011).

Population affectée

Les résidences, les commerces et les institutions situés à proximité d'un site seraient davantage affectés⁴⁵ (Raimi, 2012; NYSDEC, 2011). Toutefois, il semblerait qu'aucune distance sécuritaire pour la santé entre une résidence et un site de forage n'ait été établie à l'heure actuelle (CSPH, 2011).

Luminosité

Selon les documents recensés, les deux sources lumineuses qui nuisent aux communautés avoisinantes sont les mêmes qu'en 2010, soit la torchère et l'éclairage du site d'exploitation (Perry, 2012; Wynveen, 2011; Broderick *et al.*, 2011; Raimi, 2012; Rumbach, 2011; CSPH, 2011; BAPE, 2011).

La luminosité intense durant les périodes d'exploration, de forage et de fracturation hydraulique provoque de la pollution lumineuse susceptible d'incommoder la population, mais les documents consultés ne précisent pas les effets à la santé directs de ce changement d'environnement (Rumbach, 2011; Perry 2012). Toutefois, l'éblouissement des automobilistes a été observé aux États-Unis et deux états ont légiféré en ce sens (Raimi, 2012)⁴⁶. Dans une perspective prospective, le rapport du BAPE souligne également que la couverture de neige en hiver pourrait contribuer à la diffusion de la lumière sur une plus grande distance, ce qui suppose que les effets pourraient être amplifiés durant la période hivernale (BAPE, 2011).

5.2.2 Dimensions sociales associées à l'industrie du gaz de schiste

Les nouvelles études revues par les pairs et la littérature grise tendent à confirmer les effets documentés en 2010 de certaines dimensions sociales dans un contexte d'exploitation de gaz de schiste, particulièrement au niveau de l'acceptabilité sociale et de l'effet *boomtown*.

Acceptabilité sociale

La présente recension d'écrits confirme que le niveau d'acceptabilité sociale varie au sein d'une même communauté dans laquelle l'industrie du gaz de schiste s'implante, notamment dans les régions géologiques des shales de Barnett et de Marcellus (Jacquet, 2012; Brasier *et al.*, 2011; Wynveen, 2011; Stedman *et al.*, 2011; Raimi, 2012; Christopherson et Rightor, 2012).

⁴⁵ Le New York State Department of Environmental Conservation (NYSDEC) estime qu'une résidence située à 2000 pieds (610 mètres) d'un site serait exposée à une intensité sonore d'environ 57 dB lors de la construction de la route, d'environ 52 dB lors de la construction du site et entre 67 et 72 dB lors de la fracturation hydraulique, comparativement à une résidence située à 50 pieds (15 mètres) d'un site et qui serait exposée à une intensité sonore de 89 dB, 84 dB et entre 99 et 104 dB respectivement pour les mêmes activités (Raimi, 2012; NYSDEC, 2011).

⁴⁶ Des états comme le Colorado et la Louisiane ont créé des zones tampons de 800 et 300 pieds (291 et 91 mètres) entre les sites de forage et les autoroutes pour ne pas éblouir les conducteurs (Raimi, 2012).

Les facteurs qui font varier l'acceptabilité sociale mis au jour dans les nouvelles études sont :

- Les avantages financiers (redevances) (Jacquet, 2012);
- L'attachement identitaire au lieu (Jacquet, 2012; Raimi, 2012; BAPE, 2011);
- Les attitudes en matière environnementale et politique (valeurs, partisanerie) (Jacquet, 2012);
- L'équité du processus d'implantation (Jacquet, 2012);
- L'attrait des nouvelles technologies pour certains citoyens (Wynveen, 2011; Christopherson et Righor, 2012).

Selon une vaste étude menée dans 29 comtés situés dans la zone géologique des shales de Marcellus (Stedman *et al.*, 2011), plusieurs citoyens demeurent indécis face aux activités du gaz de schiste⁴⁷. Selon les auteurs de l'étude, cette indécision pourrait venir d'un manque d'information, car 40 % des répondants déclarent détenir peu ou aucune connaissance sur les impacts potentiels de l'exploitation du gaz de schiste (Stedman *et al.*, 2011). De ce fait, l'auteur conclut que l'augmentation des activités d'information sur les impacts potentiels est susceptible de modifier le niveau d'acceptabilité sociale. Cependant, d'autres études sur l'acceptabilité sociale nuancent grandement cette conclusion⁴⁸.

L'effet boomtown

Les documents mis au jour présentent de nouveaux résultats quant à l'effet *boomtown* créé dans les communautés où les forages ont lieu. L'augmentation de la population liée aux activités du gaz de schiste est un facteur qui engendre plusieurs impacts économiques, sociaux et environnementaux (Wynveen, 2011; Brasier *et al.*, 2011; Christopherson et Righor, 2012; CMSC, 2011); ces derniers seront explicités dans les sections suivantes.

Les nouvelles études de cas confirment que les impacts sociaux sont généralement négatifs. Des conséquences sur le tissu social des communautés étudiées ont été mises au jour (Brasier *et al.*, 2011; Wynveen, 2011; Raimi, 2012; NYSDEC, 2011; Greenplan, 2011; Schafft *et al.*, 2012; CSPH, 2011). Les études de cas ont aussi relevé l'insuffisance en hébergement et en infrastructures (Brasier *et al.*, 2011; Wynveen, 2011; CSPH, 2011). Lorsque les activités d'exploitation sont terminées et que les employés de l'industrie ont déménagé, des communautés observées se sont retrouvées plus pauvres et moins peuplées qu'avant l'exploitation du gaz de schiste, et le rétablissement vers la situation qui prévalait auparavant s'est échelonné sur plusieurs années (Brasier *et al.*, 2011; Christopherson et Righor, 2012).

Effets socioéconomiques potentiels

Les effets recensés en 2010 sur l'augmentation des offres d'emplois et des activités commerciales se retrouvent encore dans certaines études récentes (Brasier *et al.*, 2011; Weigle, 2010; Christopherson et Righor, 2012). Deux études originales ont également

⁴⁷ Basée sur un échantillon de 2400 répondants résidant dans l'État de New York et en Pennsylvanie, cette étude démontre que 43 % des habitants sont en faveur de l'exploitation du gaz de schiste et 32 % sont contre, ce qui indique que le quart de l'échantillon est indécis (Stedman *et al.*, 2011).

⁴⁸ Voir par exemple les recensions sur les dimensions sociales des fermes porcines (Brisson *et al.*, 2007) et sur les éoliennes (Brisson, Gervais et Martin, 2013).

observé que cette stimulation économique locale contribue au freinage de l'exode de la jeunesse, mais également à l'augmentation du taux d'abandon des étudiants désirant tenter leur chance en travaillant pour l'industrie du gaz de schiste (Brasier *et al.*, 2011; Schafft *et al.*, 2012).

Comme mentionné en 2010, le prix des biens et services tendrait à augmenter pour les résidents locaux et pour les travailleurs de passage au sein des communautés d'accueil⁴⁹ (Brasier *et al.*, 2011; Raimi, 2012; Christopherson et Rightor, 2012), ainsi que le prix des locations de maison, car la demande augmenterait considérablement (Raimi, 2012).

Plusieurs nouveaux documents se sont penchés sur le tourisme et l'agriculture, car ces domaines semblent les plus touchés économiquement par l'arrivée de l'industrie du gaz de schiste (Rumbach, 2011; Perry, 2012; Christopherson et Rightor, 2012; Brasier *et al.*, 2011; Wynveen, 2011; Greenplan, 2011). À la lumière de leurs études dans l'État de New York, en Pennsylvanie et en Caroline du Nord, certains auteurs observent que l'industrialisation du paysage et la contamination des sols affectent négativement les industries du tourisme et de l'agriculture (Brasier *et al.*, 2011; Rumbach, 2011; Raimi, 2012).

Effets potentiels sur le tissu social

Les études scientifiques consultées présentent différents effets sur le tissu social, qui varient selon la communauté à l'étude (Brasier *et al.*, 2011; Perry, 2011; Perry, 2012; Wynveen, 2011; Schafft *et al.*, 2012), et ceux-ci sont confirmés par différentes sources de littérature grise (Raimi, 2012; NYSDEC, 2011; Greenplan, 2011; CSPH, 2011). Comme en 2010, l'augmentation de la population et l'arrivée de nouveaux membres dans la communauté, directement liés à l'effet *boomtown*, génèrent le plus d'impacts au niveau de l'ordre public, des dynamiques sociopolitiques et de la culture.

Ordre public

Les résultats sur la criminalité demeurent mitigés, même à la lumière des nouvelles études. Certains auteurs observent que la venue de travailleurs étrangers au sein de certaines communautés accentue le taux de criminalité sur un territoire par l'augmentation du nombre de crimes (conduite en état d'ébriété, consommation de drogue et violence conjugale) (Brasier *et al.*, 2011; Raimi, 2012; Wynveen, 2011; CSPH, 2011; CMSC, 2011). Cependant, d'autres études ne démontrent aucune corrélation en ce sens et qualifient les épisodes de criminalité comme étant anecdotiques (Raimi, 2012; CSPH, 2011). Selon la recension d'écrits de Raimi (2012), la nature et la disponibilité des services de soutien offerts au sein de la communauté expliquent cette variation dans les données⁵⁰.

⁴⁹ Selon Jacquet, les prix des biens et services dans le comté de Sublette, au Wyoming, ont doublé sur une période de six ans (Christopherson et Rightor, 2012).

⁵⁰ Ainsi, une communauté avec plusieurs travailleurs étrangers et ayant développé les services en conséquence n'aurait pas davantage de criminalité, comparativement à un endroit rural où les travailleurs se retrouveraient seuls et sans ressources (Raimi, 2012).

Dynamiques sociopolitiques

Trois études scientifiques récentes se sont penchées spécifiquement sur des conséquences sociopolitiques déjà documentées en 2010, soit la création de regroupements citoyens spontanés et les clivages sociaux (Perry, 2011; Brasier *et al.*, 2011; Jacquet et Stedman, 2011).

Jacquet et Stedman ont étudié 35 groupes dans la région du Southern Tier, dans l'État de New York, et ont démontré que la mobilisation citoyenne peut contribuer favorablement à la sensibilisation du public à propos des impacts sociaux, économiques et environnementaux de l'industrie du gaz de schiste (Jacquet et Stedman, 2011).

Les conflits semblent toujours importants⁵¹. Ainsi, en Pennsylvanie, en Caroline du Nord et dans l'État de New York, des chercheurs ont étudié différentes coalitions de résidents qui s'opposent au sujet du gaz de schiste au nom de leurs valeurs, de leurs idées et de leurs intérêts (Brasier *et al.*, 2011; Weigle, 2010; Perry, 2011; Raimi, 2011; Jacquet et Stedman, 2011). La majorité des débats entourant l'opposition à l'exploitation du gaz de schiste tourne autour des risques à la santé et à l'environnement, particulièrement au niveau de l'eau potable et de l'utilisation de produits chimiques dans le procédé de la fracturation hydraulique (Jacquet, 2012; Weigle, 2010).

Les effets de l'arrivée de travailleurs étrangers sur les dynamiques sociopolitiques de certaines communautés sont également soulevés dans les nouveaux écrits (Brasier *et al.*, 2011; Wynveen, 2011; Christopherson et Rightor, 2012). Ces travailleurs, majoritairement mieux nantis et en transit, peuvent éprouver de la difficulté à s'intégrer à la communauté d'accueil, soit parce qu'ils considèrent la communauté comme un simple lieu de production, soit parce que la population locale ne les accepte pas (Perry, 2012; Brasier *et al.*, 2011; Christopherson et Rightor, 2012; Williamson et Kolb, 2011; Schafft *et al.*, 2012), ce qui peut générer des conflits. Cette donnée n'est toutefois pas généralisable, car les résidents partisans de l'industrie du gaz de schiste accueillent chaleureusement les travailleurs étrangers (Perry, 2012).

Culture

Plusieurs des études scientifiques recensées se déroulent en milieu rural et agricole et, comme en 2010, celles-ci démontrent de possibles changements du style de vie et de la perception de la région. Les effets mis au jour sont :

- Changement du caractère du village (Perry, 2011; Wynveen, 2011; Jacquet, 2012; Brasier *et al.*, 2011);
- Diminution de la qualité de vie (Perry, 2012; Raimi, 2012);

⁵¹ La littérature scientifique sur les conflits environnementaux, peu importe les ressources naturelles en cause, est abondante depuis plusieurs décennies (Boudon et Bourricaud, 1992; Freund, 1983). Elle montre que les dynamiques sociales d'une communauté sont généralement fragiles et que l'avènement d'un projet d'exploitation de ressources naturelles peut laisser des traces profondes au sein de cette dynamique, en plus de se répercuter sur un grand nombre d'autres dossiers et sur une longue période de temps. Selon la littérature sociale, en dégradant la cohésion sociale et en affaiblissant le capital social, l'avènement d'un projet d'exploitation des ressources naturelles peut ainsi limiter les capacités de la collectivité à travailler ensemble, à s'épauler pour d'autres projets de développement et à déployer ses capacités de résilience.

- Confrontation aux différences culturelles (Schafft *et al.*, 2012).

Effets potentiels sur les services et les infrastructures

Les nouveaux documents confirment que l'augmentation rapide de la population accroît la demande en logement, en éducation, en services d'urgence, en services sociaux, en services municipaux, en soins de santé et en surveillance policière (Brasier *et al.*, 2011; Raimi, 2012; Perry, 2012; Schafft *et al.*, 2012; Wynveen, 2010; Williamson, 2011; Christopherson et Rightor, 2012; Rumbach, 2011; Weigle, 2010; CSPH, 2011; Greenplan, 2012; CMSC, 2011; NYSDEC, 2011). Les petites municipalités en déclin démographique sont susceptibles de subir davantage de pression, particulièrement au niveau de l'hébergement et de l'approvisionnement en eau, car elles n'auront probablement pas investi avant l'implantation de cette industrie (Perry, 2012; Brasier *et al.*, 2011; Raimi, 2012; Williamson et Kolb, 2011).

L'hébergement représente encore une fois le domaine des connaissances le mieux documenté. Outre les effets recensés en 2010, soit la hausse du prix locatif et du coût d'acquisition, des cas ont été observés où la demande en hébergement des travailleurs temporaires a eu des impacts sur l'industrie du tourisme puisque la main-d'œuvre doit parfois loger dans les hôtels, motels et sites de camping⁵² (Rumbach, 2011; Christopherson et Rightor, 2012; Williamson et Kolb, 2011; NYSDEC, 2011).

Selon certaines études, la pénurie de logements peut également engendrer une demande des services d'accueil pour les enfants et pour les individus sans domicile fixe⁵³ (Williamson et Kolb, 2011; Christopherson et Rightor, 2012; CMSC, 2011). Par exemple, dans le comté de Bradford, en Pennsylvanie, les demandes de placements d'enfants en famille d'accueil ont augmenté de 10 % en 2010 et viennent de ménages qui n'ont pas réussi à trouver des maisons adéquates pour loger leurs familles. Dans ce comté, il est actuellement fréquent de voir deux ou trois familles vivant ensemble dans des conditions inappropriées depuis l'arrivée de l'industrie du gaz de schiste (Williamson et Kolb, 2011; CMSC, 2011).

Autorités locales : réponse et préparation

La situation des autorités locales semble être la même qu'en 2010. Certains écrits soulèvent encore le manque de ressources financières et humaines pour répondre adéquatement aux besoins des résidents en termes de services et d'infrastructures (Brasier *et al.*, 2011; Perry, 2012; Wynveen, 2011; Williamson et Kolb, 2011; Christopherson et Rightor, 2012). Le manque de communication et de transparence entre les autorités locales et la communauté paraît également observé dans certains milieux (Wynveen, 2011; Weigle, 2010; Christopherson et Rightor, 2012). Finalement, le besoin de planifier l'arrivée de cette industrie en se munissant d'études d'impacts, de banques de données, de ressources humaines adéquates et d'un budget spécifique au gaz de schiste, dans une perspective

⁵² En 2011, le taux d'occupation des hôtels dans le nord de la Pennsylvanie était de 95 % malgré la récession nationale (Rumbach, 2011).

⁵³ La ville de Williston au Dakota du Nord a atteint un taux de 19 % de résidents sans domicile (Christopherson et Rightor, 2012) et le comté de Sullivan en Pennsylvanie, un taux de 20 % (CMSC, 2011), alors que ces taux étaient à 0 % avant l'avènement de l'industrie.

globale, est un constat présenté dans quelques études de cas (Perry, 2012; Wynveen, 2011; Randall, 2010; Williamson et Kolb, 2011; Christopherson et Rightor, 2012).

5.2.3 Dimensions psychologiques associées à l'industrie du gaz de schiste

Les écrits répertoriés dans le cadre de ce mandat ont jeté plus de lumière sur les dimensions psychologiques associées à l'industrie du gaz de schiste. Quelques articles scientifiques ont recensé des manifestations de stress, d'anxiété et d'angoisse chez les résidents, ainsi que des sentiments de perte de contrôle et de perte de confiance. Ces manifestations sont reliées à l'exploitation du gaz de schiste, plus particulièrement à l'effet *boomtown*, au changement du mode de vie et aux nuisances (Perry, 2012; Brasier *et al.*, 2011; Wynveen, 2011; Steinzor *et al.*, 2013; Williamson et Kolb, 2011; Weigle, 2010). Des effets ont également été recensés dans certaines études d'impacts (CSPH, 2011; CMSC, 2011; BAPE, 2011).

L'étude de Steinzor *et al.*, réalisée dans 14 comtés en Pennsylvanie, s'est penchée sur les symptômes physiques et psychologiques de résidents habitant à une distance variant entre 350 pieds (107 m) et 5 milles (8 km) d'un site d'exploitation du gaz de schiste (Steinzor *et al.*, 2013). Plus du tiers des répondants a déclaré avoir souffert de dépression et de l'anxiété sévère⁵⁴. Il a aussi été constaté que plus les répondants vivaient à proximité d'un site, plus les symptômes ressentis étaient nombreux (Steinzor *et al.*, 2013). Selon la littérature scientifique récente, plusieurs facteurs peuvent contribuer à ces effets :

- Des tensions et des conflits individuels et collectifs au sujet des activités liées au gaz de schiste peuvent entraîner des symptômes de dépression et d'anxiété sévère (Perry, 2012).
- Le changement de mode de vie, vécu par des agriculteurs en Pennsylvanie, est un autre facteur qui engendrerait de la détresse et un sentiment de perte de contrôle (Perry, 2012).
- La pénurie de logements occasionne un stress important pour les individus et les familles et accroît la détresse de certaines populations déjà vulnérables (Williamson et Kolb, 2011; Brasier *et al.*, 2011). Ce stress peut être encore plus présent chez la population qui n'a pas de lien avec le développement économique de l'industrie du gaz de schiste (Braisier *et al.*, 2011).

Comme en 2010, la peur et la perte de confiance ont été recensées dans diverses études et découleraient de sources multiples. Des individus en Pennsylvanie et au Texas vivant à proximité de sites d'exploitation ont témoigné avoir peur des risques de contamination de l'eau et des risques d'explosion (Perry, 2012; Wynveen, 2011). Les mauvaises odeurs (synonyme de mauvaise qualité de l'air pour les résidents) sont aussi un facteur déclencheur de la peur (Perry, 2012; Steinzor *et al.*, 2013). Dans un ordre d'idées assez proche, l'arrivée des travailleurs étrangers semble engendrer un sentiment d'insécurité chez certains (CMSC, 2011) et l'augmentation des nuisances et des impacts négatifs a occasionné, dans certains cas étudiés, une perte de confiance envers les autorités (Brasier *et al.*, 2011; Weigle, 2010).

⁵⁴ Sur un total de 108 répondants, 37 % ont déclaré souffrir de dépression et 35 % d'anxiété sévère (Steinzor *et al.*, 2013).

5.3 BILAN DE LA RECENSION SUR LA QUALITÉ DE VIE 2013

L'État des connaissances publié en 2010 (Brisson *et al.*, 2010) avait permis de recenser des effets associés à la qualité de vie et à la santé psychologique et sociale réellement survenus et en lien direct avec le gaz de schiste. La présente recension a poursuivi cet exercice soit en nuancant les constats de 2010, soit en apportant des confirmations sur certains faits, soit en mettant au jour quelques nouveaux éléments.

5.3.1 Synthèse des résultats

Les principales nuisances associées aux activités reliées à l'exploration et l'exploitation du gaz de schiste demeurent l'augmentation de la circulation, le bruit, la luminosité et les vibrations. Les phases de la construction des routes et du site, du forage et de la fracturation hydraulique sont les activités les plus susceptibles d'incommoder la population avoisinante. Des effets sur le bien-être et les habitudes de vie ont été observés. Au niveau des dimensions sociales, les thématiques de l'acceptabilité sociale, du phénomène *boomtown*, de la socioéconomie, du tissu social et des services et infrastructures ont été bonifiées par de récentes études. Les nouveaux écrits confirment que l'augmentation rapide de la population et l'arrivée de travailleurs étrangers, associées au phénomène *boomtown*, engendrent plusieurs effets. Entre autres, cette augmentation d'effectif occasionne une pression accrue sur les services et les infrastructures et favorise les situations conflictuelles. Au niveau économique, l'arrivée de l'industrie du gaz de schiste stimule les activités commerciales de la région, mais elle favorise également l'augmentation du prix des biens et des services. Finalement, au niveau des dimensions psychologiques, les écrits démontrent que l'effet *boomtown*, le changement de mode de vie et les nuisances peuvent occasionner du stress, de l'anxiété et de l'angoisse, particulièrement chez les résidents de proximité, ainsi que des sentiments de perte de contrôle et de perte de confiance.

5.3.2 Informations à acquérir pour la caractérisation du risque

Plusieurs points demeurent encore à documenter en lien avec la qualité de vie et les effets psychologiques et sociaux liés aux activités du gaz de schiste. Les règles de l'art de l'évaluation d'impact proposent l'évaluation de l'état initial du milieu, et tout particulièrement lorsque l'impact sur la qualité de vie présente des variabilités selon les activités de l'industrie, la configuration du site et la communauté d'accueil. De même, la nécessité de considérer les sources, les effets et l'exposition des individus ou des communautés demeure un incontournable dans l'évaluation des risques à la santé. Pour l'ensemble des aspects associés à la qualité de vie et à la santé psychologique et sociale, le manque d'études comparatives et longitudinales est également un besoin à combler afin de connaître les impacts à long terme, et a été soulevé par plusieurs des nouveaux documents consultés.

Les écrits recensés font état d'effets réellement survenus et en lien direct avec le gaz de schiste. Il est donc possible que ces situations surviennent au Québec si des conditions similaires sont réunies. Toutefois, pour l'instant, beaucoup d'éléments sont manquants afin de permettre l'anticipation des effets sur la santé sociale et psychologique, à la fois sous un angle scientifique, mais également selon les perceptions et les appréhensions de certains citoyens.

CONCLUSION

S'intéresser aux activités liées au gaz de schiste est cohérent avec le mandat de la santé publique au Québec, tourné vers la protection et l'amélioration de la santé et du bien-être des populations. En effet, l'exploration et l'exploitation du gaz de schiste ont soulevé ici, et soulèvent encore aujourd'hui des inquiétudes et des débats scientifiques, techniques, sociaux et politiques, notamment au sujet des risques pour la santé humaine. La recension d'écrits de l'INSPQ en 2010 (Brisson *et al.*, 2010) tout comme la présente mise à jour, se situe donc dans une perspective globale de santé, entendue non seulement comme une absence de maladie, mais aussi comme une possibilité de maintenir et de développer toutes les facettes du bien-être individuel et collectif. L'INSPQ a donc cherché à en aborder les différentes facettes par ce document.

Cette démarche visait à recenser et à analyser la littérature scientifique, publiée depuis l'état des connaissances de 2010, portant sur les facteurs de risque pouvant avoir un effet sur la santé humaine en lien avec les activités d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste (accidents, contamination de l'eau et de l'air, impacts sociaux et sur la qualité de vie). Ce travail s'appuie sur une démarche méthodologique rigoureuse, semblable à l'approche de recension systématique, qui voit à la pertinence et la qualité des documents avant d'en réaliser une analyse critique.

Les résultats de cette mise à jour ajoutent des données probantes qui permettent de confirmer des hypothèses énoncées en 2010. De plus, aucun des résultats de la mise à jour n'a minimisé, ou infirmé, les résultats de la première recension des écrits (INSPQ, 2010). Cependant, plusieurs incertitudes persistent encore dans les connaissances scientifiques sur la relation entre les activités liées au gaz de schiste et la santé publique.

Pour chacune des thématiques abordées, de nouveaux constats et des pistes de recherche se dégagent.

Risques technologiques

L'examen de la littérature récente amène à constater qu'il n'y a pas eu beaucoup de données scientifiques nouvelles portant sur l'impact sur la santé humaine des activités d'exploration et d'exploitation des gaz de schiste. Dix-huit études ont été retenues pour cette mise à jour. Les documents consultés lors de cette mise à jour permettent de tirer les constats suivants :

- Les explosions, les incendies, les fuites et les déversements de matières dangereuses sont les types d'incidents aux États-Unis et au Canada susceptibles de menacer la santé de la population. En termes d'ampleur, une recension aux États-Unis dénombre par exemple plus de 825 incidents environnementaux différents.
- La grande majorité des accidents survenus tout au long du processus d'exploration et de production du gaz sont associés à des erreurs humaines, à de la négligence, à des défaillances matérielles et à la complétion inadéquate des puits de forage.

- Lors de déversements et de fuites de substances chimiques, les travailleurs, la population avoisinante et les premiers répondants sont les sujets les plus à risques de subir des préjudices sérieux.
- Le transport de matières dangereuses comporte des risques particuliers aux différentes phases du transport.
- Les documents recensés soulèvent aussi des constats pour la gestion de ces risques.
- Ailleurs dans le monde, un encadrement de l'industrie et un resserrement de la législation sont des mesures préconisées comme efficaces pour réduire la fréquence des événements environnementaux.
- Les mesures d'urgence et la surveillance demeurent des aspects de la gestion du risque à bien considérer, un des défis étant de favoriser la collaboration entre l'industrie gazière et les principaux organismes publics concernés.

Les constats issus de la littérature amènent à constater que les connaissances de la nature, des quantités, des procédures de manipulation et de transport des substances chimiques utilisées par l'industrie gazière demeurent encore incomplètes. Ce manque de connaissances fait en sorte qu'il n'est pas encore possible d'évaluer le niveau potentiel d'exposition tant des travailleurs que de la population environnante à ces substances et de faire l'évaluation des risques.

Pollution de l'air

L'exposition aux polluants de l'air est associée à plusieurs effets sur la santé, notamment à des effets cardiorespiratoires. Selon la présente analyse de la littérature, des augmentations locales des niveaux de certains polluants de l'air, particulièrement de particules fines et d'ozone et de ses précurseurs (c.-à-d. COV), sont à prévoir à proximité de sites d'exploration et d'exploitation avec les activités liées au gaz de schiste, selon diverses modélisations et mesures effectuées depuis 2010. Très peu d'études ont porté sur les risques à la santé associés à l'exposition aux polluants de l'air émis lors des activités liées à l'exploration et à l'exploitation du gaz de schiste. Quelques évaluations estiment que les risques à la santé sont plus importants pour les individus habitant à proximité de puits (p. ex., < 1 km) ou dans les comtés américains où les activités sont le plus concentrées.

Dans une perspective de gestion des risques, la littérature scientifique colligée et les règles de l'art suggèrent des approches d'estimation de risques à la santé, notamment quant à l'effet cumulé des composés émis dans l'air et quant aux mesures de polluants de l'air préalables à toute activité d'exploration. De plus, les principes de gestion de risque appliqués en santé publique (Ricard, 2003) mènent à penser que le risque serait mieux géré en tenant compte de distances séparatrices entre des sites d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste et les zones habitées.

Finalement, les constats issus de la littérature montrent que la prise en compte des effets indirects à la santé associés à l'émission de gaz à effets de serre par les activités liées à l'exploration et à l'exploitation du gaz de schiste est requise pour documenter les risques de façon cohérente avec les modalités préconisées en santé publique.

Contamination de l'eau

La littérature recensée pour cette mise à jour comporte dix-huit nouveaux textes. Ceux-ci montrent que les possibilités de contamination des eaux souterraines sont réelles. Notamment :

- Ces contaminations sont survenues après un accident, par exemple lors d'une défaillance technique au moment de la fracturation avec rejet dans l'environnement des boues et produits de la fracturation ou lors d'une fuite de gaz due à une défaillance des infrastructures des voies d'extraction ou encore, pendant les opérations normales d'extraction des gaz de schiste.
- Il a été démontré que des problèmes d'étanchéité des coffrages des puits d'extraction étaient à l'origine des cas de contamination survenus dans des conditions normales d'opération.
- Une hypothèse controversée suggère la migration accélérée des contaminants contenus dans la roche-mère vers la surface à travers des failles ou fissures causées ou accentuées par la fracturation hydraulique. Elle reste à confirmer ou à infirmer par de nouvelles recherches. Si cette hypothèse était confirmée, le risque de contamination des nappes phréatiques persisterait même si des solutions techniques définitives étaient apportées aux problèmes d'étanchéité.

Enfin, tout comme dans la recension de l'INSPQ en 2010 (Brisson *et al.*, 2010), l'exercice de recension montre que plusieurs connaissances restent à acquérir.

Qualité de vie

La mise à jour de la littérature sur les effets à la qualité de vie et aux dimensions psychologiques et sociales a permis de colliger 22 nouveaux textes. Les nouveaux documents mis au jour ont confirmé les résultats présentés en 2010 (Brisson *et al.*, 2010). Les activités reliées à l'exploration et l'exploitation du gaz de schiste sont susceptibles de causer des impacts sur la qualité de vie et la santé sociale et psychologique, et notamment, quant aux aspects suivants :

- L'augmentation de la circulation, le bruit, la luminosité intense et les vibrations causées par ces activités industrielles occasionnent des nuisances pour la population avoisinante, particulièrement chez les résidents vivant à proximité d'un site de forage ou d'une route empruntée par les travailleurs.
- Le phénomène *boomtown* a été observé à maintes reprises dans les communautés états-uniennes exploitant le gaz de schiste. Lorsqu'il est présent, il entraîne des effets socioéconomiques, culturels et psychologiques. Ces impacts varient selon le profil de la communauté d'accueil, les infrastructures et les services offerts et le niveau de préparation des autorités.
- La pénurie de logements, l'augmentation du prix des biens et des services et l'augmentation des tensions et des conflits ont été constatées dans plusieurs cas étudiés.
- À leur tour, les nuisances et les effets sociaux ont causé chez certaines personnes du stress, de l'anxiété, de l'angoisse, des sentiments de perte de confiance et de perte de contrôle.

Selon les règles de l'art en évaluation, investiguer et caractériser chaque population concernée est requis avant l'arrivée de l'industrie et permet de mieux prévenir certains de ces effets sociaux et psychologiques.

Perspectives de réflexion sur les risques sanitaires associés à l'exploration et l'exploitation du gaz de schiste

La perspective de gestion des risques mise de l'avant par le réseau de la santé publique québécoise préconise des principes directeurs dans les dossiers de ce type, dont la transparence, la participation, l'équité, l'appropriation des pouvoirs, la prudence et la rigueur scientifique (Ricard, 2003) ont guidé le processus d'analyse et de synthèse. Selon le réseau de la santé publique québécoise, respecter ces principes constitue une base nécessaire pour une gestion optimale des risques à la santé.

L'État des connaissances de 2010 (Brisson *et al.*, 2010) soulevait plusieurs préoccupations en regard des risques à la santé. La présente mise à jour montre que les nouvelles connaissances scientifiques ont conduit à une prise de conscience des autorités sur la nécessité de documenter les risques associés à cette industrie afin de mieux les contrôler et les prévenir. Des avancées en ce sens ont été réalisées et se poursuivent aux États-Unis. Ces travaux ont permis d'identifier des problèmes pour lesquels des solutions peuvent être apportées pour en réduire l'impact, particulièrement en matière de gestion des risques d'accident. En revanche, de nouvelles questions scientifiques sont soulevées au sujet de plusieurs facteurs de risque dont l'impact à long terme sur la santé demeure préoccupant pour les communautés où se développe l'industrie gazière, par exemple en ce qui concerne les risques de contamination des eaux souterraines. La communauté scientifique est interpellée par les résultats de ces nouvelles recherches. Des efforts concertés sont d'ailleurs mis en œuvre, particulièrement aux États-Unis, pour valider les hypothèses qu'elles soulèvent. Suivre l'évolution de ces recherches est primordial afin que le Québec soit à même de prendre des décisions éclairées en matière d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste sur son territoire.

Par ailleurs, les résultats de cette recension démontrent l'importance de poursuivre des travaux de recherche dans la perspective d'orienter la démarche des instances concernées en matière d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste au Québec. Les constats de cette recension réitérent aussi les paramètres jugés incontournables en gestion des risques, qui contribuent à prendre des décisions éclairées. Entre autres, les étapes suivantes sont importantes :

- Suivre l'évolution des recherches scientifiques;
- Documenter et rendre accessible les données associées à l'exposition aux divers facteurs de risque (nombre de puits forés annuellement, description des communautés, recension des populations vulnérables, etc.);
- Documenter et mesurer les paramètres présents avant toute opération;
- Établir des mesures de prévention et de protection pour limiter les risques à la santé.

RÉFÉRENCES

Introduction

- Brisson G, Campagna C, Carrier G, Chevalier P, Deger L, Gauvin D, Laplante L, Nantel A, Smargiassi A (2010). État des connaissances sur la relation entre les activités liées au gaz de schiste et la santé publique, Rapport préliminaire, Institut national de santé publique du Québec. Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, 73 p. Accessible à : http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1177_RelGazSchisteSantePubRapPreliminaire.pdf.
- Bureau des audiences publiques sur l'environnement - BAPE (2011). Développement durable de l'industrie des gaz de schiste au Québec. Rapport 273. Québec, 336 p.
- Comité d'évaluation environnementale stratégique - CEES (2013). Acquisition de connaissances dans le cadre de l'évaluation environnementale stratégique sur le gaz de schiste : Tableau des études, Évaluation environnementale stratégique sur le gaz de schiste (dernière mise à jour : 30 avril 2013), Accessible à : <http://ees-gazdeschiste.gouv.qc.ca/wordpress/wp-content/uploads/2013/04/Tableau-etudes-30-avril.pdf>.
- Foucault A, Raoult J-F (2000). Dictionnaire de géologie, Masson Sciences, 5^e édition, Éditions DUNOD, 379 p.
- Jenner S, Lamadrid AJ (2013). Shale gas vs coal: Policy implications from environmental impact comparisons of shale gas, conventional gas, and coal on air, water, and land in the United States. *Energy Policy*; 53: 442-53.
- Ministère de la Santé et des Services sociaux – MSSS (2002). Lignes directrices pour la réalisation des évaluations du risque toxicologique pour la santé humaine. Groupe scientifique sur l'évaluation du risque toxicologique de l'Institut national de santé publique du Québec, Québec, 46 p.
- OMS (1946). Préambule à la Constitution de l'Organisation mondiale de la Santé, tel qu'adopté par la Conférence internationale sur la Santé, New York, 19-22 juin 1946; signé le 22 juillet 1946 par les représentants de 61 États. 1946; (Actes officiels de l'Organisation mondiale de la Santé, n° 2, p. 100) et entré en vigueur le 7 avril 1948.
- Ricard S (2003). Cadre de référence de gestion du risque pour la santé publique. Québec : INSPQ, 73 p.
- US EPA (2011). Draft Plan to Study the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources, U.S. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development, Washington, D.C., EPA/600/D-11/001, 140 p. Accessible à : <http://www2.epa.gov/hfstudy>.
- US EPA (2012). Study of the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources. Progress Report, US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, DC., Report EPA/601/R-12/011, 195 p. Accessible à : <http://www2.epa.gov/hfstudy>.

Section 1 : Risques technologiques

- Bamberger M, Oswald RE (2012). Impacts of gas drilling on human and animal health. *New solutions : a journal of environmental and occupational health policy*; 22(1): 51-77.
- Brisson G, Campagna C, Carrier G, Chevalier P, Deger L, Gauvin D, Laplante L, Nantel A, Smargiassi A (2010). État des connaissances sur la relation entre les activités liées au gaz de schiste et la santé publique, Rapport préliminaire, Institut national de santé publique du Québec. Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, 73 p. Accessible à : http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1177_RelGazSchisteSantePubRapPreliminaire.pdf.
- British Columbia Oil and Gas Commission (2012). Investigation of observed seismicity in the Horn River Basin. Victoria, British Columbia; février 2012, 19 p. Accessible à : <http://www.bcogc.ca/node/8046/download?documentID=1270>, (consulté en mai 2013).
- Bureau du médecin-hygiéniste en chef (2012). Recommandations du médecin-hygiéniste en chef sur l'exploitation du gaz de schiste au Nouveau-Brunswick, Fredericton, Nouveau-Brunswick : Ministère de la Santé du Nouveau-Brunswick; septembre 2012, 85 p. Accessible à : <http://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/h-s/pdf/fr/MilieusSains/RecommandationsSurLexploitationDuGazDeSchiste.pdf>, (consulté en mai 2013).
- Colborn T, Kwiatkowski C, Schultz K, Bachran M (2011). Natural gas operations from a public health perspective. *Human & Ecological Risk Assessment*;17(5):1039-56.
- Colorado School of Public Health (2011). Battlement Mesa Health Impact Assessment (2nd Draft). Denver, Colorado: University of Colorado Denver, Colorado School of Public Health; février 2011. Accessible à : <http://www.garfield-county.com/environmental-health/battlement-mesa-health-impact-assessment-draft2.aspx>, (consulté en mai 2013).
- Conseil général de l'industrie, de l'énergie et des technologies et Conseil général de l'environnement et du développement durable (CGIET-CGEDD) (2012). Les hydrocarbures de roche-mère en France. Rapport initial et rapport complémentaire. Paris, février 2012, 201 p. Accessible à : <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/124000163/0000.pdf>, (consulté en mai 2013).
- Considine T, Watson R, Considine N, Martin J (2012). Environmental impacts during Marcellus Shale gas drilling: Causes, impacts, and remedies. Buffalo, New York : Shale Resources and Society Institute, State University of New York; juin 2012, 44 p. Accessible à : <http://cce.cornell.edu/EnergyClimateChange/NaturalGasDev/Documents/UBSRSI-Environmental%20Impact%20Report%202012.pdf>, (consulté en mai 2013).
- Davies R, Foulger G, Bindley A, Styles P (2013). Induced seismicity and hydraulic fracturing for the recovery of hydrocarbons. *Marine and Petroleum Geology*. Sous presse.
- Durand M. Annexe 7 : Les dangers potentiels de l'exploitation des gaz et huiles de schiste. Analyse des aspects géologiques et géotechniques. Avis technique. Colloque du Conseil régional Île-de-France, 7 février 2012, Paris. Dans : Risques potentiels de l'exploration et de l'exploitation des hydrocarbures non conventionnels en Île-de-France (2012). Paris : Conseil scientifique régional d'Île-de-France; mars 2012, p. 173-86.

- Green C, Styles P, Baptie B (2012). Preese Hall Shale gas fracturing review & recommendations for induced seismic mitigation Westminster, United Kingdom: United Kingdom Department of Energy and Climate Change; avril 2012, 26 p. Accessible à : https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/15745/5075-preese-hall-shale-gas-fracturing-review.pdf, (consulté en mai 2013).
- Moulton S, Plagakis S (2012). The right to know, the responsibility to protect: State actions are inadequate to ensure effective disclosure of the chemicals used in natural gas fracking. Washington, DC : OMB Watch, 55 p. Accessible à : http://www.foreffective.gov.org/files/info/naturalgasfrackingdisclosure_med.pdf, (consulté en mai 2013).
- National Institute for Occupational Safety and Health – NIOSH (2012). Oil and gas extraction. Inputs: Occupational Safety and Health Risks. Atlanta, Georgia : Centers for Disease Control and Prevention. Accessible à : <http://www.cdc.gov/niosh/programs/oilgas/risks.html>, (consulté en mai 2013).
- New York State Department of Environmental Conservation – NYSDEC. Chapter 6: Potential Environmental Impacts: Transportation Impacts. Dans : New York State Department of Environmental Conservation, editor. Well Permit Issuance for Horizontal Drilling and High-Volume Hydraulic Fracturing to Develop the Marcellus Shale and Other Low-Permeability Gas Reservoirs. Supplemental Generic Environmental Impact Statement (SGEIS) on the Oil, Gas and Solution Mining Regulatory Program. Albany, NY: 2011. p. 6-300-6-316.
- Pennsylvania Public Utility Commission – PUC (2012). Bureau of Investigation and Enforcement. Formal complaint against UGI Utilities Inc. Docket C-2012-2225031. Harrisburg, Pennsylvania : Pennsylvania Public Utility Commission; juin 2012, 19 p. Accessible à : http://media.lehighvalleylive.com/allentown_impact/other/Pennsylvania%20Public%20Utility%20Commission%20complaint%20against%20UGI%20for%20Allentown%20gas%20explosion%20June%202011%202012.pdf, (consulté en mai 2013).
- Rozell DJ, Reaven SJ (2012). Water pollution risk associated with natural gas extraction from the Marcellus Shale. Risk Analysis; 32(8): 1382-93.
- Schmidt CW (2011) Blind rush? Shale gas boom proceeds amid human health questions. Environ Health Perspect;119(8): A348-A353.
- Staaf E (2012) Risky Business: An Analysis of Marcellus Shale Gas Drilling Violations in Pennsylvania 2008-2011 [en ligne]. Philadelphia, Pennsylvania : PennEnvironment Research & Policy Center; février 2012 (consulté en mai 2013). 8 p. Accessible à : http://pennenvironmentcenter.org/sites/environment/files/reports/Risky%20Business%20Violations%20Report_0.pdf.
- Witter R, McKenzie L, Towle M, Stinson K, Scott K, Newman L, et al (2010) Health Impact Assessment for Battlement Mesa, Garfield County Colorado (Draft 1 Report). Denver, Colorado : University of Colorado Denver, Colorado School of Public Health; Accessible à : <http://www.garfield-county.com/public-health/documents/1%20%20%20Complete%20HIA%20without%20Appendix%20D.pdf>, (consulté en mai 2013).

Section 2 : Polluants de l'air émis lors de l'exploration et de l'exploitation gazière non traditionnelle

ALL Consulting (2010). NYSDEC SGEIS Information Requests, Prepared for Independent Oil and Gas Association by ALL Consulting, PROJECT NO: 1284, September 16, 2010, 356 pages.

Billings K (2012). Wyoming Department of Environmental Quality Pavillion Station Data Summary – air quality division memorandum. Accessible à : http://www.eenews.net/assets/2012/10/31/document_gw_01.pdf, (consulté en mai 2013).

Brisson G, Campagna C, Carrier G, Chevalier P, Deger L, Gauvin D, Laplante L, Nantel A, Smargiassi A (2010). État des connaissances sur la relation entre les activités liées au gaz de schiste et la santé publique, Rapport préliminaire, Institut national de santé publique du Québec. Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, 73 p. Accessible à : http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1177_RelGazSchisteSantePubRapPreliminaire.pdf.

Colborn T, Schultz K, Herrick L, Kwiatkowski C (2012). An exploratory study of air quality near natural gas operations. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal (in press).

Erg (2011). City of Fort Worth natural gas air quality study. Interim ambient air monitoring report, 181 p.

EPA (2013). Accessible à : <http://www.epa.gov/airquality/oilandgas/actions.html>, (consulté en mai 2013).

Kemball-Cook S, Bar-Ilan A, Grant J, Parker L, Jung J, Santamaria W, Mathews J, Yarwood, G (2010a). Ozone impacts of natural gas development in the Haynesville Shale, Environmental science & technology; 44(24): 9357-63.

Kemball-Cook S (2011b). Development of an Emission Inventory for Natural Gas Exploration and Production in the Haynesville Shale and Evaluation of Ozone Impacts. Accessible à : http://www.epa.gov/ttnchie1/conference/ei19/session2/kemball_cook.pdf.

Litovitz A, Curtright A, Abramzon S, Burger N, Samaras C (2013). Estimation of regional air-quality damages from Marcellus Shale natural gas extraction in Pennsylvania. Environ Res Lett 8, doi : 10.1088/1748-9326/8/1/014017.

New York State Department of Environmental Conservation – NYSDEC (2011). Revised Draft Supplemental Generic Environmental Impact Statement on the Oil, Gas and Solution Mining Regulatory Program. Division of mineral resources. Accessible à : www.dec.ny.gov/data/dmn/ogprdsgeisfull.pdf.

Olaguer EP (2012). The potential near-source ozone impacts of upstream oil and gas industry emissions. Journal of the Air & Waste Management Association; 62(8): 966-77.

Pacsi AP, Alhajeri NS, Zavala-Araiza D, Webster MD, Allen DT (2013). Regional air quality impacts of increased natural gas production and use in Texas. Environ Sci Technol; 47: 3521-27.

Rich AL (2011). Air emissions from natural gas exploration and mining in the Barnett Shale geologic reservoir. THESIS, The University of Texas, Arlington, 209 p.

Swarthout R, Russo RS, Zhou Y, Mitchell B, Brandon Miller B, Lipsky EM, Sive BC (2013). Impacts of Marcellus Shale natural gas production on regional air quality. AGU meeting, 2012 (résumé d'un poster).

Section 4 : Eau souterraine et de surface

ATSDR (2011). Heath consultation (Chesapeake ATGAS 2H Well Site, Leroy Hill Road, Leroy, Leroy Township, Bradford County, PA), 38 p. Accessible à : <http://www.atsdr.cdc.gov/hac/pha/ChesapeakeATGASWellSite/ChesapeakeATGASWellSiteHC110411Final.pdf>.

Brisson G, Campagna C, Carrier G, Chevalier P, Deger L, Gauvin D, Laplante L, Nantel A, Smargiassi A (2010). État des connaissances sur la relation entre les activités liées au gaz de schiste et la santé publique, Rapport préliminaire, Institut national de santé publique du Québec. Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, 73 p. Accessible à : http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1177_RelGazSchisteSantePubRapPreliminaire.pdf.

Chintanaboina J, Muppidi V, Manahan F, Shrestha S, Gopavaram D (2012). Acute oxalate nephropathy probably due to « fracking » – an environmental and health concern. *Journal of Hospital Medicine*; 7 (Suppl. 2): 339.

DiGiulio DC, Wilkin RT, Miller C, Oberley G (2011). Draft Investigation of Ground Water Contamination near Pavillion, Wyoming, U.S. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. National Risk Management Research Laboratory, Ada, Oklahoma, EPA/600/R-00/000, 43 p. Accessible à : <http://www2.epa.gov/region8/draft-investigation-ground-water-contamination-near-pavillion-wyoming>.

Fisher K, Warpinski N (2012). Hydraulic-Fracture-Height Growth: Real Data, *SPE Prod & Oper*; 27(1): 8-19.

Holzman DC (2011). Methane found in well water near fracking sites. *Environ Health Perspect*; 119(7): A289.

Hunt AG, Darrah TH, Poreda RJ (2012). Determining the source and genetic fingerprint of natural gases using noble gas geochemistry: A northern Appalachian Basin case study. *AAPG Bulletin*; 96(10): 1785-1811.

Jackson RE, Gorody AW, Mayer B, Roy JW, Ryan MC, Van Stempvoort DR (2013). Groundwater protection and unconventional gas extraction: The critical need for field-based hydrogeological research. *Ground Water*; 51(4): 488-510.

Kappel WM, Nystrom, EA (2012). Dissolved methane in New York groundwater, 1999-2011, U.S. Geological Survey Open-File Report 2012-1162, 6 p. Accessible à : <http://pubs.usgs.gov/of/2012/1162>.

- Kresse TM, Warner NR, Hays PD, Down A, Vengosh A, Jackson RB (2012). Shallow groundwater quality and geochemistry in the Fayetteville Shale gas-production area, north-central Arkansas, 2011, U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2012-5273, 31 p. Accessible à : <http://pubs.usgs.gov/sir/2012/5273/>.
- Myers T (2012). Potential Contaminant Pathways from Hydraulically Fractured Shale to Aquifers. *Ground Water*; 50(6): 872-82.
- Osborn SG, Vengosh A, Warner NR, Jackson RB (2011). Methane contamination of drinking water accompanying gas-well drilling and hydraulic fracturing. *Proc Natl Acad Sci USA*; 108(20): 8172-6.
- PADEP (2013) Marcellus Shale. Bureau of Oil and Gas Management. Dernière mise à jour le 2013. Accessible à : http://www.portal.state.pa.us/portal/server.pt/community/marcellus_shale/20296
- Penningroth SM, Yarrow MM, Figueroa AX, Bowen RJ, Delgado S (2013). Community-based risk assessment of water contamination from high-volume horizontal hydraulic fracturing, *New Solut*; 23(1): 137-66.
- Rozell DJ, Reaven SJ (2012). Water Pollution Risk Associated with Natural Gas Extraction from the Marcellus Shale, *Risk Analysis*; 32(8):1382-93.
- Stuart ME (2012). Potential groundwater impact from exploitation of shale gas in the UK, British Geological Survey, Nottingham, UK, OR/12/001, 33 p. Accessible à : <http://nora.nerc.ac.uk/16467/1/OR12001.pdf>.
- US EPA (2011). Draft Plan to Study the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources, U.S. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development, Washington, D.C., EPA/600/D-11/001, 140 p. Accessible à : <http://www2.epa.gov/hfstudy>.
- US EPA (2012). Study of the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources. Progress Report, US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, DC., Report EPA/601/R-12/011, 195 p. Accessible à : <http://www2.epa.gov/hfstudy>.
- Warner NR, Jackson RB, Darrah TH, Osborn SG, Down A, Zhao K, White A, Vengosh A (2012). Geochemical evidence for possible natural migration of Marcellus Formation brine to shallow aquifers in Pennsylvania. *Proc Natl Acad Sci U.S.A*; 109(30): 11961-6.
- Section 5 : Aspects associés à la qualité de vie et à la santé psychologique et sociale**
- Banerjee A, Prozzi J, Prozzi, JA (2012). Evaluating the impact of natural gas developments on highways: A Texas case study. TRB-2012 Annual Meeting, Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, The University of Texas at Austin, Texas, 15 p.
- Boudon R, Bourricaud F (2011). Dictionnaire critique de la sociologie, PUF, Paris, 7^e édition, 2011, 768 pages. (1^{re} édition en 1982).

- Brasier KJ, Filteau MR, McLaughlin DK, Jacquet J, Stedman RC, Kelsey TW Goetz SJ (2011). Residents' perceptions of community and environmental impacts from development of natural gas in the Marcellus Shale: A comparison of Pennsylvania and New York cases. *Journal of Rural Social Sciences*; 26(1): 32-61.
- Brisson G, Campagna C, Carrier G, Chevalier P, Deger L, Gauvin D, Laplante L, Nantel A, Smargiassi A (2010). État des connaissances sur la relation entre les activités liées au gaz de schiste et la santé publique, Rapport préliminaire, Institut national de santé publique du Québec. Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, 73 p. Accessible à : http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1177_RelGazSchisteSantePubRapPreliminaire.pdf.
- Broderick J, Anderson K, Wood R, Gilbert P, Sharmina M (2011). Shale gas: an updated assessment of environmental and climate change impacts. A report commissioned by The Co-operative and undertaken by researchers at the Tyndall Centre, University of Manchester, 118 p.
- Bureau d'audiences publiques sur l'environnement – BAPE (2011). Développement durable de l'industrie des gaz de schiste au Québec, rapport 273, Bibliothèque et Archives nationales du Québec, Québec, 324 p.
- Christopherson S, Rightor N (2011). How shale gas extraction affects drilling localities: Lessons for regional and city policy makers. *Journal of Town & City Management*; vol. 2, 20 p.
- Citizens Marcellus Shale Commission – CMSC (2011). Marcellus shale: A citizens view. Pennsylvania Budget and Policy Center, 67 p.
- Colorado School of Public Health – CSPH (2011). Battlement Mesa Health Impact Assessment, 2th Draft. 83 p. Accessible à : <http://www.garfield-county.com/environmental-health/battlement-mesa-health-impact-assessment-draft2.aspx>.
- Freund J (1983). *Sociologie du conflit*, PUF, Paris, 380 p.
- Greenplan Inc. (2011). Community Impact Assessment: High Volume Hydraulic Fracturing. Prepared for The Tompkins County Council of Governments (TCCOG), 130 p.
- Jacquet J (2012). Landowner attitudes toward natural gas and wind farm development in northern Pennsylvania. *Energy Policy*; 50: 677-88.
- Jacquet J, Stedman RC (2011). Natural gas landowner coalitions in New-York State: Emerging benefits of collective natural resource management. *Journal of Rural Social Science*; 26(1): 62-91.
- New York State Department of Environmental Conservation – NYSDEC (2011). Chapter 6. Potential environmental impacts, in Revised Draft Supplemental Generic Environmental Impact Statement on the Oil, Gas and Solution Mining Regulatory Program. Division of mineral resources, p. 6.1-6.336.
- Perry SL (2012). Development, land use, and collective trauma: The Marcellus shale gas boom in rural Pennsylvania. *Culture, Agriculture, Food and Environment*; 34(1): 81-92.

- Perry SL (2011). Energy consequences and conflicts across the global countryside: North American agricultural perspective. *Forum on Public Policy*, 23 p.
- Raimi D (2012). The potential social impacts of shale gas development in North Carolina. The Sanford School of Public Policy, Duke University, 87 p.
- Randall CJ (2010). Hammer down: A guide to protecting local roads impacted by shale gas drilling. Working Paper Series, Department of City and Regional Planning, Cornell University, Pennsylvania, 12 p.
- Rumbach A (2011). Natural gas drilling in the Marcellus Shale: Potential impacts on the tourism economy of the Southern Tier. Technical Report. Department of City and Regional Planning, Cornell University, 35 p.
- Schafft KA, Glenna LL, Borlu Y, Green B (2012). Marcellus shale gas development: What does it mean for Pennsylvania schools? Marcellus Education Fact Sheet, Penn State Extension, The Pennsylvania State University, 8 p.
- Stedman R, Willits F, Brasier KJ, Filteau M, McLaughlin D, Jacquet J (2011). Natural gas development: Views of New York and Pennsylvania residents in the Marcellus Shale region. Research & Policy Brief Series; 39(January 2011), Community & Regional Development Institute (CaRDI), Cornell University, New-York, 2 p.
- Steinzor N, Subra W, Sumi L (2013). Investigating links between shale gas development and health impacts through a community survey project in Pennsylvania. *New Solutions*; 23(1): 55-83.
- Weigle JL (2010). Resilience, community, and perceptions of Marcellus shale development in the Pennsylvania wilds. The Pennsylvania State University, College of Agricultural Science, 256 p.
- Williamson J, Kolb B (2011). Marcellus natural gas development's effect on housing in Pennsylvania, Center for the Study of Community and the Economy, Lycoming College, 64 p.
- Wynveen BJ (2011). A thematic analysis of local respondents' perceptions of Barnett Shale energy development. *Journal of Rural Social Sciences*; 26(1): 8-31.

ANNEXE 1

BILAN DES ÉTUDES REJETÉES POUR CHACUNE DES THÉMATIQUES

Grille d'évaluation utilisée pour l'analyse de la qualité des articles

Critères	++	+	-	Impossible de se prononcer
Auteurs indépendants				
Financement indépendant				
Objectifs clairs				
Méthode claire				
Résultats en lien avec les objectifs				
Limites et biais énoncés				
Utilité pour la recherche				

Tableau 1 Bilan des études rejetées lors de l'évaluation de la qualité des articles pour le chapitre sur les risques technologiques

Auteurs	Raisons d'exclusion de l'article					
	Financement non indépendant	Apparence de conflits d'intérêts d'un ou plusieurs auteurs	Objectifs imprécis	Méthodologie faible ou problèmes méthodologiques	Résultats non liés aux objectifs ou aux conclusions (validité interne)	Non pertinent pour l'objectif de recherche
Bamberger et Oswald, 2012				X		
TOTAL				1		

Tableau 2 Bilan des études rejetées lors de l'évaluation de la qualité des articles pour le chapitre concernant les polluants de l'air émis lors de l'exploration et de l'exploitation gazière non traditionnelle

Auteurs	Raisons d'exclusion de l'article					
	Financement non indépendant	Apparence de conflits d'intérêts d'un ou plusieurs auteurs	Objectifs imprécis	Méthodologie faible ou problèmes méthodologiques	Résultats non liés aux objectifs ou aux conclusions (validité interne)	Non pertinent pour l'objectif de recherche
Sahasrabudhe <i>et al.</i> , 2011				X		
TOTAL				1		

Tableau 3 Bilan des études rejetées lors de l'évaluation de la qualité des articles pour le chapitre concernant l'eau souterraine et de surface

Auteurs	Raisons d'exclusion de l'article					
	Financement non indépendant	Apparence de conflits d'intérêts d'un ou plusieurs auteurs ¹	Objectifs imprécis	Méthodologie faible ou problèmes méthodologiques	Résultats non liés aux objectifs ou aux conclusions (validité interne)	Non pertinent pour l'objectif de recherche
1. Bishop, 2011				x		
2. Bruff, 2011	x	x				
3. CardnoEntrix, 2012	x	x				
4. Chintanobia (2012)				x		
5. Davies, 2011				x		
6. Saba, 2011				x		
7. Schon, 2011				x		
8. Engelder, 2012				x		
9. Engelder, 2012				x		
10. Hotzman, 2011				x		
11. Horwitt, 2011	x	x				
12. Myers, 2012				x		
13. Jackson <i>et al.</i> , 2011				x		
14. Osborn <i>et al.</i> , 2011				x		
15. Sahasrabudhe <i>et al.</i> , 2011						x
16. Saiers et Barth, 2012				x		
17. EPA, 2011						x
TOTAL	3	3		12		2

¹ Affiliation à l'industrie, à des groupes activistes.

Tableau 4 Bilan des études rejetées lors de l'évaluation de la qualité des articles concernant les aspects associés à la qualité de vie et à la santé psychologique et sociale

Auteurs	Raisons d'exclusion de l'article					
	Financement non indépendant	Apparence de conflits d'intérêts d'un ou plusieurs auteurs	Objectifs imprécis	Méthodologie faible ou problèmes méthodologiques	Résultats non liés aux objectifs ou aux conclusions (validité interne)	Non pertinent pour l'objectif de recherche
1. Clark <i>et al.</i> , 2012				x		
2. Finkel, 2013					x	x
3. Gannett Fleming GFX,				x		
4. Jacquet, 2011						x
5. Krupnick <i>et al.</i> , 2013						x
6. Linley, 2011		x				
7. Madsen <i>et al.</i> , 2011						x
8. Negro, 2012				x		x
9. O'Leary et Boettner, 2011						x
10. Perry, 2013						x
11. Schmidt, 2011				x		
12. Theodori, 2012						x
13. Theodori, 2011						x
14. Upadhyay et Bu, 2010				x		
15. Wilber, 2012		x				
TOTAL		2		5	1	9

Références des tableaux précédents

Section 2 : Risques technologiques

Bamberger M, Oswald RE (2012). Impacts of gas drilling on human and animal health. *New solutions: a journal of environmental and occupational health policy*; 22(1): 51-77.

Section 3 : Polluants de l'air émis lors de l'exploration et de l'exploitation gazière non traditionnelle

Sahasrabudhe S, Melillo J, Dertzbaugh T (2011). Potential Environmental Impacts Of Shale Gas Extraction On The State Of New Jersey. Masters project submitted in partial fulfillment of the requirements for the Master of Environmental Management degree in the Nicholas School of the Environment of Duke University. Accessible à : <http://hdl.handle.net/10161/3695>.

Section 4 : Eau souterraine et de surface

Bishop RE (2011). Chemical and Biological Risk Assessment for Natural Gas Extraction in New York CHO, Chemistry and Biochemistry Department, State University of New York, College at Oneonta, Draft, January 21, 2011.

Bruff M, Godshall N, Evans K (2011). An Integrated Water Treatment Technology Solution for Sustainable Water Resource Management in the Marcellus Shale. Final Scientific / Technical Report DE-FE0000833. Altela, Inc. 35 p. Accessible à : http://www.netl.doe.gov/technologies/oil-gas/Petroleum/projects/Environmental/Produced_Water/00833_MarcellusWater.html.

Cardno Entrix (2012). Hydraulic Fracturing Study. PXP Inglewood Oil Field, October 10, 2012, Prepared for Plains Exploration & Production Company. Accessible à : <http://www.ourenergypolicy.org/wp-content/uploads/2012/10/Hydraulic-Fracturing-Study-Inglewood-Field10102012.pdf>.

Chintanaboina J, Muppidi V, Manahan F, Shrestha S, Gopavaram D (2012). Acute oxalate nephropathy probably due to « fracking » – an environmental and health concern. *Journal of Hospital Medicine*; 7(Suppl. 2): 339.

Davies RJ (2011). Methane contamination of drinking water caused by hydraulic fracturing remains unproven. *Proc Natl Acad Sci USA*; 108(43): E871.

Engelder T (2012a). Capillary tension and imbibition sequester frack fluid in Marcellus gas shale. *Proc Natl Acad Sci USA*; 109(52): E3625.

Engelder T (2012b). The mechanisms by which the Marcellus Gas Shale sequesters residual treatment water (Rtw). *Geological Society of America Abstracts 2012 GSA Annual Meeting in Charlotte*. Paper n° 135-7.

Holzman DC (2011). Methane found in well water near fracking sites. *Environ Health Perspect*; 119(7): A289.

Horwitt D (2011). Cracks in the Façade. 25 Years Ago, EPA Linked “Fracking” to Water Contamination. *Environmental Working Group*. 36 p. Accessible à : www.ewg.org/gas-drilling-and-fracking.

- Jackson RB, Osborn SG, Vengosh A, Warner NR (2011). Reply to Davies: Hydraulic fracturing remains a possible mechanism for observed methane contamination of drinking water. *Proc Natl Acad Sci USA*; 108(43): E872.
- Myers T (2012). Author's Reply. *Groundwater*; 50(6): 828–30.
- Osborn SG, Vengosh A, Waner NR, Jackson RB (2011). Reply to Saba and Orzechowski and Schon: Methane contamination of drinking water accompanying gas-well drilling and hydraulic fracturing. *Proc Natl Acad Sci USA*; 108(37): E665-E666.
- Saba T, Orzechowski M (2011). Lack of data to support a relationship between methane contamination of drinking water wells and hydraulic fracturing. *Proc Natl Acad Sci USA*; 108 (37): E663.
- Sahasrabudhe S, Melillo J, Dertzbaugh T (2011). Potential environmental impacts of shale gas extraction on the state of New Jersey. Masters project submitted in partial fulfillment of the requirements for the Master of Environmental Management degree in the Nicholas School of the Environment of Duke University. Accessible à : <http://hdl.handle.net/10161/3695>.
- Saiers JE, Barth E (2012). Potential contaminant pathways from hydraulically fractured shale aquifers. *Ground Water*; 50(6): 826–8.
- Schon SC (2011) Hydraulic fracturing not responsible for methane migration. *Proc Natl Acad Sci USA*; 108(37): E664.
- US EPA (2011). Draft plan to study the potential impacts of hydraulic fracturing on drinking water resources. Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Washington, D.C. Report EPA/600/D-11/001. 69 p.
- Section 5 : Aspects associés à la qualité de vie et à la santé psychologique et sociale*
- Clark C, Burnham A, Harto C, Horner R (2012). Hydraulic fracturing and shale gas production: Technology, impacts, and policy. Environmental Science Division, Argonne National Laboratory, U.S. Department of Energy, 24 p.
- Finkel ML, Selegan J, Hays J, Kondamudi N (2013). Marcellus Shale drilling's impact on the dairy industry in Pennsylvania: A descriptive report. *New Solutions*; 23(1): 189-201.
- Gannett Fleming GFX Freight Solutions (2011). Marcellus Shale Freight Transportation Study. Final Report, prepared for Northern Tier Regional Planning & Development Commission, 88 p.
- Jacquet J (2011). Workforce Development Challenges in the Natural Gas Industry. Working Paper Series, Department of City and Regional Planning, Cornell University, 19 p.
- Krupnick A, Gordon H, Olmstead S (2013). Pathways to dialogue: What the experts say about the environmental risks of shale gas development. Resources for the future, Washington D.C., 81 p.
- Linley D (2011). Fracking Under Pressure. The environmental and social impacts and risks of shale gas development, Sustainalytics, Canada, 21 p.

- Madsen T, Schneider J, Staaf E (2011). In the shadows of the Marcellus boom. How shale gas extraction puts vulnerable Pennsylvanians at risk. PennEnvironment Research & Policy Center, 50 p.
- Negro SE (2012). Fracking wars: Federal, state and local conflicts over the regulation of natural gas activities. Zoning and Planning Law Report, February 2012, vol. 35, n° 2, 16 p.
- O'Leary S, Boettner T (2011). Booms and busts: The impact of West Virginia's energy economy. West Virginia Center on Budget & Policy, 24 p.
- Perry SL (2013). Using ethnography to monitor the community health implications of onshore unconventional oil and gas developments: Examples from Pennsylvania's Marcellus shale. *New Solutions*; 23(1): 33-53.
- Schmidt CW (2011). Blind rush? Shale gas boom proceeds amid human health questions. *Environmental Health Perspectives*; 119(8): A348-A353.
- Theodori GL (2012). Public perception of the natural gas industry: Data from the Barnett Shale. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*; 7(3): 275-81.
- Theodori GL (2011). Introduction: Special issue on social issues associated with unconventional natural gas development. *Journal of Rural Social Sciences*, 2011; 26(1): 1-7.
- Upadhyay SR, Bu M (2010). Visual impacts of natural gas drilling in the Marcellus Shale region. Department of City and Regional Planning, Cornell University, 38 p.
- Wilber T (2012). Under the surface: fracking, fortunes and the fate of the Marcellus Shale. Cornell University Press, Ithaca, Pennsylvania, 280 p.

ANNEXE 2

TABLEAUX DESCRIPTIFS DES ÉTUDES RETENUES

Tableau 1 Bilan des études retenues – risques technologiques

Auteurs, Année	Type de travail	Objectif de l'étude ou du rapport	Méthode de collecte	Pour articles scientifiques (de revue ou originaux)		
				Taille de l'échantillon	Période	Lieu de l'étude
1. Bamberger et Oswald, 2012	Article scientifique	Documenter des problèmes de santé de propriétaires d'animaux et leurs animaux (domestiques et bétail) résidant à proximité de sites d'extraction gazière (gaz conventionnel ainsi que gaz de schiste).	Études de cas individuels reposant sur des entrevues Recueil de données environnementales (eau, air, sol) et de résultats de tests de laboratoire (réalisés chez l'homme ou l'animal) lorsque disponibles	24 cas individuels	2011 Note : les auteurs précisent « l'année précédente ». La date précédant l'année de publication a donc été retenue	Six (6) états américains où l'industrie gazière est présente : Colorado, Louisiane, New York, Ohio, Pennsylvanie et Texas
2. British Columbia Oil and Gas Commission (BC OGC), 2012	Rapport gouvernemental	Présenter les résultats d'une enquête de la BC OGC visant, notamment, à examiner l'association entre l'exploitation du gaz et du pétrole de schiste et une activité sismique induite, anormale, enregistrée par Ressources naturelles Canada dans le bassin de Horn River, en Colombie-Britannique, entre avril 2009 et décembre 2011.	Revue de la littérature Analyse de données gouvernementales, fournies par Ressources naturelles Canada	38 événements sismiques	Événements sismiques enregistrés entre avril 2009 et décembre 2011	Bassin de Horn River, Colombie-Britannique, Canada
3. Bureau du médecin-hygiéniste en chef (BMHC), gouvernement du Nouveau-Brunswick, 2012	Rapport gouvernemental	Présenter un portrait des leçons tirées par d'autres administrations, particulièrement canadiennes et américaines, relativement à la santé publique et à l'exploitation du gaz de schiste et proposer des recommandations, notamment au regard de la protection de la santé publique.	Analyse documentaire Recueil des opinions d'expert de professionnels de la santé publique et environnementale			

Tableau 1 Bilan des études retenues – risques technologiques (suite)

Auteurs, Année	Type de travail	Objectif de l'étude ou du rapport	Méthode de collecte	Pour articles scientifiques (de revue ou originaux)		
				Taille de l'échantillon	Période	Lieu de l'étude
4. Colborn <i>et al.</i> , 2011	Article scientifique	Explorer les effets potentiels sur la santé associés à l'utilisation de divers produits chimiques lors des activités de l'industrie gazière.	Revue de la littérature. Analyse d'autres sources documentaires : bases de données toxicologiques, données et publications gouvernementales et industrielles disponibles, rapports d'incidents et de déversements	Liste de 955 produits, incluant 632 produits chimiques, utilisés lors d'opérations gazières	Données recueillies jusqu'en mai 2010	Divers états américains : Colorado, Wyoming, Nouveau-Mexique, Texas, Washington, Montana, Pennsylvanie, New York
5. Colorado School of Public Health, 2011	Rapport scientifique : volet évaluation d'impact sur la santé (version révisée de l'édition 2010)	Évaluer, à partir des connaissances et des expertises disponibles, les impacts potentiels sur la santé du développement d'un projet gazier et proposer des recommandations pour protéger la santé de la population concernée.	Analyse documentaire. Mesures environnementales. Élaboration de scénarios d'exposition.	Non précisée (lors du recensement de 2000, 5041 personnes ont été dénombrées à Battlement Mesa)	Données environnementales recueillies entre 2005 et 2010	Battlement Mesa, comté de Garfield, État du Colorado, États-Unis
6. Conseil général de l'industrie, de l'énergie et des technologies et Conseil général de l'environnement et du développement durable, 2012	Rapport scientifique gouvernemental français	Étudier, entre autres choses, les risques sanitaires et environnementaux associés à l'exploration et à l'exploitation des hydrocarbures de roche-mère en France.	Analyse documentaire. Entrevues (élus, organisation, associations, etc.)			

Tableau 1 Bilan des études retenues – risques technologiques (suite)

Auteurs, Année	Type de travail	Objectif de l'étude ou du rapport	Méthode de collecte	Pour articles scientifiques (de revue ou originaux)		
				Taille de l'échantillon	Période	Lieu de l'étude
7. Considine <i>et al.</i> , 2012	Étude descriptive	Documenter les causes et les impacts environnementaux associés à l'industrie du gaz de schiste dans le bassin de formation Marcellus, en Pennsylvanie.	Analyse documentaire Analyse de données gouvernementales : avis d'infraction émis par le Département de protection environnementale de la Pennsylvanie	2988 avis d'infraction (échantillon initial)	Janvier 2008 à août 2011	Bassin de formation Marcellus, État de la Pennsylvanie, États-Unis
8. Davies <i>et al.</i> , 2013	Article scientifique	Examiner l'association entre des événements sismiques enregistrés et l'exploitation des hydrocarbures par fracturation hydraulique.	Analyse documentaire (littérature et scientifique, rapports, communications présentées dans le cadre de conférences, etc.)	198 cas d'activité sismique induite (provenant de 66 publications et rapports, données publiées seulement)	Événements sismiques reliés à l'activité humaine depuis 1929	Données de divers pays, sur plusieurs continents (Amérique du Nord, Europe, Asie, Afrique et Océanie)
9. Durand, 2012	Rapport d'experts	Analyser les dangers potentiels reliés à l'exploitation des gaz et huiles de schistes d'un point de vue géologique et géotechnique.	Analyse documentaire (cas d'exploration et d'exploitation nord-américains)		Non précisée	Shales Haynesville et Barnett du Texas, shale Marcellus de l'État de la Pennsylvanie, États-Unis. Shale Utica, province du Québec, Canada

Tableau 1 Bilan des études retenues – risques technologiques (suite)

Auteurs, Année	Type de travail	Objectif de l'étude ou du rapport	Méthode de collecte	Pour articles scientifiques (de revue ou originaux)		
				Taille de l'échantillon	Période	Lieu de l'étude
10. Green <i>et al.</i> , 2012	Rapport (avis) d'experts	Analyser les données recueillies sur les risques de sismicité induite en lien avec la fracturation hydraulique (forage d'exploration du gaz de schiste) et proposer des recommandations, y compris des mesures de mitigation.	Analyse documentaire (rapports techniques indépendants, données gouvernementales, études et données fournies par la compagnie concernée)	Deux événements sismiques enregistrés et autres données provenant la compagnie concernée ainsi que de rapports géotechniques indépendants (données brutes, modélisations)	Deux événements sismiques, à l'origine des études et des analyses réalisées, enregistrés en avril et mai 2011	Comté de Lancashire, Royaume-Uni
11. Moulton et Plagakis, 2012	Rapport d'analyse (politiques publiques)	Analyser les politiques publiques en lien avec l'industrie du gaz de schiste. Une section du rapport examine les risques environnementaux et sanitaires associés à la fracturation hydraulique.	Analyse documentaire (législation et réglementation, données gouvernementales, données scientifiques, publications préparées par diverses associations, etc.)		Non précisée	États-Unis

Tableau 1 Bilan des études retenues – risques technologiques (suite)

Auteurs, Année	Type de travail	Objectif de l'étude ou du rapport	Méthode de collecte	Pour articles scientifiques (de revue ou originaux)		
				Taille de l'échantillon	Période	Lieu de l'étude
12. New York State Department of Environmental Conservation, 2011	Rapport scientifique gouvernemental	Au regard du transport, présenter les estimations obtenues et élaborer divers scénarios (y compris le transport de matières dangereuses) en lien avec les activités de l'industrie du gaz de schiste et analyser les impacts environnementaux potentiels associés.	Analyse documentaire : données provenant d'un rapport produit par une firme de consultation (Ecology and Environment Engineering, PC), des autorités de New York (transport) et de l'industrie. Élaboration et analyse de scénarios liés au trafic routier	Non précisée	2011	État de New York, États-Unis
13. Pennsylvania Public Utility Commission (PUC), Bureau of Investigation and Enforcement, 2012	Plainte déposée par une autorité gouvernementale de la Pennsylvanie contre une compagnie gazière à la suite d'un accident qui a porté atteinte à la santé et à la sécurité de la population	Aviser la compagnie gazière concernée des infractions commises à l'encontre de lois en vigueur et exiger, notamment, la mise en place de mesures correctives.	Enquête et analyse de l'accident (entrevues, observations, examen de rapports et de données de la compagnie concernée)	Non applicable	Plainte déposée le 11 juin 2012 Survenue de l'accident (fuite de gaz suivie d'une explosion et d'un incendie, avec blessés et décès au sein de la population) : 9 février 2011	Allentown (lieu exact de l'accident), État de la Pennsylvanie, États-Unis

Tableau 1 Bilan des études retenues – risques technologiques (suite)

Auteurs, Année	Type de travail	Objectif de l'étude ou du rapport	Méthode de collecte	Pour articles scientifiques (de revue ou originaux)		
				Taille de l'échantillon	Période	Lieu de l'étude
14. Rozell et Reaven, 2012	Article scientifique	Analyser le risque de contamination de l'eau en lien avec l'extraction de gaz naturel dans le bassin de formation Marcellus, en Pennsylvanie.	Analyse de données provenant de la littérature (rapports, littérature scientifique, etc.) selon une analyse (modèle) probabiliste	Non précisée	Non précisée	Bassin de formation Marcellus, État de la Pennsylvanie, États-Unis
15. Schmidt, 2011	Article scientifique de synthèse (sur un sujet d'actualité)	Examiner les principales préoccupations environnementales et sanitaires en lien avec le développement et les activités de l'industrie du gaz de schiste.	Analyse documentaire	Non applicable	Non précisée	Divers états et régions des États - Unis
16. Staaf, 2012	Étude descriptive	Documenter les infractions aux lois environnementales en vigueur en lien avec l'industrie du gaz de schiste, dans le bassin de formation Marcellus, en Pennsylvanie.	Analyse de données gouvernementales : avis d'infraction émis par le Département de protection environnementale de la Pennsylvanie	3335 violations environnementales par 64 compagnies d'extraction gazière	1 ^{er} janvier 2008 au 31 décembre 2011	Bassin de formation Marcellus, État de la Pennsylvanie, États-Unis

Tableau 2 Bilan des études retenues concernant les polluants de l'air émis lors de l'exploration et de l'exploitation gazière non traditionnelle

Auteurs, Année	Type de travail	Objectif de l'étude ou du rapport	Méthode de collecte	Pour articles scientifiques (de revue ou originaux)		
				Taille de l'échantillon	Période	Lieu de l'étude
1. All Consulting, 2010 ¹	Rapport faisant état de nouveaux faits scientifiques	Rapport technique d'information sur les impacts environnementaux de la fracturation hydraulique à haut volume. On y retrouve des estimations d'émissions à l'air.	Estimations d'émissions à partir d'estimations du nombre de puits au développement maximal	Données provenant de l'agence de protection de l'environnement (EPA), la commission sur la qualité environnementale du Texas (TCEQ), du département de la conservation de l'environnement de l'État de New York NYSDEC, du Conseil de gouvernance du Nord du Texas (NTCOG), du Département de l'environnement du Nouveau-Mexique (NMED), du département de l'environnement et de la santé publique du Colorado (CODPHE) et le commissariat de l'air de la Californie (CARB.	Entre 1995 et 2010 (selon le rapport)	État de New York, États-Unis

Tableau 2 Bilan des études retenues concernant les polluants de l'air émis lors de l'exploration et de l'exploitation gazière non traditionnelle (suite)

Auteurs, Année	Type de travail	Objectif de l'étude ou du rapport	Méthode de collecte	Pour articles scientifiques (de revue ou originaux)		
				Taille de l'échantillon	Période	Lieu de l'étude
2. Billings, 2012	Rapport faisant état de nouveaux faits scientifiques ²	Mesures de la qualité de l'air sous les vents balayant les développements gaziers et pétroliers.	Mesures à une station permanente située à 5,75 milles du village	Collecte de données sur l'O ₃ , NO ₂ , CH ₄ , hydrocarbures, PM ₁₀ , PM _{2,5} , la vitesse et l'orientation des vents, la quantité de précipitations, les radiations solaires et l'humidité relative	Entre le : 27 janvier 2011 et 31 mars 2012	Village de Pavillon, État du Wyoming, États-Unis
3. Colborn <i>et al.</i> , 2012	Article scientifique	Mesure de la qualité de l'air avant, pendant et après le forage et la fracturation hydraulique.	Mesures effectuées à une station fixe installée pour les besoins de l'étude	Échantillons sur 24 heures de COV, HAP, collectés à toutes les semaines.	Entre le : 2 novembre 2010 et 11 octobre 2011	Ville située dans l'ouest de l'État du Colorado, États-Unis
4. ERG, 2011	Rapport faisant état de nouveaux faits scientifiques	Mesure de la qualité de l'air ambiant.	Mesures effectuées par des stations disposées en 7 lieux différents dans la ville de Forth Worth	Échantillons de COV, collectés tous les 3 jours	Entre le : 4 septembre 2010 et 31 octobre 2010	Fort Worth, État du Texas, États-Unis
5. Kembball-Cook <i>et al.</i> , 2010a	Article scientifique	Projection des émissions de NO _x , COV et CO par l'exploration et la production des shales de Haynesville pour les années 2009-2020 selon trois scénarios de développement et modélisation photochimique pour l'année 2012.	Données gouvernementales, littérature et modèle informatique	Données des agences réglementaires des états du Texas et de la Louisiane et résultats d'une revue de la littérature	Modélisation pour 2012, projection des émissions de 2009-2020	Nord de l'État du Texas et de la Louisiane, États-Unis

Tableau 2 Bilan des études retenues concernant les polluants de l'air émis lors de l'exploration et de l'exploitation gazière non traditionnelle (suite)

Auteurs, Année	Type de travail	Objectif de l'étude ou du rapport	Méthode de collecte	Pour articles scientifiques (de revue ou originaux)		
				Taille de l'échantillon	Période	Lieu de l'étude
6. Kemball-Cook <i>et al.</i> , 2010b ³	Article scientifique	Inventaire des émissions de NOx, COV et CO par l'exploration et la production des shales de Haynesville pour les années 2009-2020 selon trois scénarios de développement et modélisation photochimique pour l'année 2012.	Données gouvernementales, Littérature et Modèle informatique	Données des agences réglementaires des états du Texas et de la Louisiane et les résultats d'une revue de littérature	Modélisation pour 2012 et Projection des émissions de 2009-2020	Nord de l'État du Texas et de la Louisiane, États-Unis
7. Litovitz <i>et al.</i> , 2013	Rapport scientifique	Estimation des émissions des polluants dans l'air, des dommages potentiels qu'ils pourraient avoir sur la santé et des coûts découlant de ces problèmes.	Modèle Air Pollution Emission Experiments and Policy (APEEP)	Données provenant du GASP, du PADEP et du NYSDEC	2011	État de la Pennsylvanie, États-Unis
8. McKenzie <i>et al.</i> , 2012	Article scientifique	Estimation des risques cancérigènes et non cancérigènes résultant d'une exposition chronique et subchronique aux hydrocarbures générés par les activités de développement du gaz naturel pour des personnes résidant aux abords des installations.	Mesures environnementales	Données de toxicité et mesures de la qualité de l'air ambiant collectées toutes les 24 heures par une station fixe et le long d'un périmètre incluant 4 puits de forage dans le comté de Garfield	Janvier 2008 à novembre 2010	Comté de Garfield, État du Colorado, États-Unis

Tableau 2 Bilan des études retenues concernant les polluants de l'air émis lors de l'exploration et de l'exploitation gazière non traditionnelle (suite)

Auteurs, Année	Type de travail	Objectif de l'étude ou du rapport	Méthode de collecte	Pour articles scientifiques (de revue ou originaux)		
				Taille de l'échantillon	Période	Lieu de l'étude
9. NYSDEC, 2011	Rapport faisant état de nouveaux faits scientifiques	Élaboration d'un modèle de la qualité de l'air capable de représenter divers scénarios d'exploitation.	Modèles AERMOD pour simuler les émissions des puits	Données provenant du NYSDEC, de l'industrie et de rapports antécédents	2009	État de New York, États-Unis
10. Olaguer, 2012	Article scientifique	Élaboration d'un modèle 3D de la dispersion de l'air pour simuler la formation d'O ₃ par d'hypothétiques zones d'exploitation de gaz naturel.	Modèle informatique	Données de qualité de l'air provenant en majorité d'une étude commandée par la ville de Fort Worth	Non rapportée	Dallas-Fort Worth, État du Texas, États-Unis
11. PADEP, 2011	Rapport faisant état de nouveaux faits scientifiques	Mesure de la qualité de l'air.	Mesures effectuées par le laboratoire mobile d'analyse (MAU) du PADEP	Échantillons de COV sur 2 minutes et sur des périodes de 24 heures pendant 4 semaines	Entre août 2010 et octobre 2010	Nord-est de l'État de la Pennsylvanie, États-Unis
12. Pacsi <i>et al.</i> , 2013	Article scientifique	Estimation de la consommation de gaz naturel pour produire de l'électricité et des émissions provenant de la production du gaz naturel afin de mieux cerner ces changements sur la quantité d'émissions et les concentrations d'O ₃ et de particules avec un modèle photochimique.	Modèle CAMx	Données provenant des projections de 2012 pour la ville de Fort Worth (TCEQ. 2010)	2012	Aire Dallas-Fort Worth, état du Texas, États-Unis

Tableau 2 Bilan des études retenues concernant les polluants de l'air émis lors de l'exploration et de l'exploitation gazière non traditionnelle (suite)

Auteurs, Année	Type de travail	Objectif de l'étude ou du rapport	Méthode de collecte	Pour articles scientifiques (de revue ou originaux)		
				Taille de l'échantillon	Période	Lieu de l'étude
13. Rich, 2011	Thèse de doctorat	Mesures de niveaux atmosphériques de COV à plusieurs sites de forage et de l'exploitation des shales de Barnett.	Mesures environnementales	Échantillons d'air collectés sur 36 sites répartis dans 7 comtés aux abords des aménagements orchestrés pour l'exploitation du gaz naturel	Non rapportée	Dallas-Fort Worth Metroplex, État du Texas, États-Unis
14. Swarthout <i>et al.</i> , 2013 ⁴	Article scientifique	Mesure de la qualité de l'air.	Mesures effectuées dans les localités, mais également près des installations d'exploitation	235 échantillons récoltés sur une aire de 8500 km ²	16-18 juin 2012	Sud-Est de l'État de la Californie, États-Unis

¹ Rapport complexe non linéaire sous forme de questions de la part du NYSDEC et de réponses de l'IOGA.

² Ce n'est pas un article scientifique de par la forme, mais il en a toutes les vertus.

³ Cette étude est la même que Kemball-Cook, 2010a, la première ayant été publiée et l'autre pas. Toutefois, lors de la sélection des articles, les deux étaient de qualité méthodologique suffisante pour être retenues.

⁴ L'article de Swarthout *et al.* (2013) ne comprenait que le résumé et n'a donc pu être examiné en profondeur.

Tableau 3 Bilan des études retenues concernant l'eau souterraine et de surface

Auteurs, Année	Type de travail	Objectif de l'étude ou du rapport	Méthode de collecte	Pour articles scientifiques (de revue ou originaux)		
				Taille de l'échantillon	Période	Lieu de l'étude
1. ATSDR, 2011	Rapport	Évaluation et recommandations en lien avec un incident sur un site de forage.	Échantillons d'eau issus de puits privés	Échantillons d'eau en provenance de 7 puits privés	27-28 avril 2011	Leroy Township, Pennsylvanie
2. DiGiulio <i>et al.</i> , 2011	Étude de cas	Caractérisation de la contamination de la nappe phréatique.	Échantillons d'eau issus de puits privés, municipaux et de contrôle	Échantillons issus de plus de 50 puits	2009-2011	Ville de Pavillon, Wyoming
3. Fisher et Warpinski, 2012	Article original	Caractérisation des fractures induite par la fracturation hydraulique	Réfraction sismique et enregistrement sismique	Analyse de plus de 1000 mesures de terrain	2001-2012	Texas, Oklahoma et nord des États-Unis
4. Hunt <i>et al.</i> , 2012	Article scientifique	Caractérisation du gaz naturel.	Échantillons de puits du nord du bassin Appalachien	15 échantillons de gaz en provenance de puits de forage	Dans les années 90	État de New York
5. Kappel et Nystrom, 2012	Bref rapport	Synthèse des connaissances.	Synthèse de littérature et analyse de résultats originaux	Échantillons de puits privés provenant de 239 localisations différentes	1999-2011	État de New York
6. Kresse <i>et al.</i> , 2012	Étude de cas	Caractériser la contamination de la nappe phréatique.	Échantillons d'eau issus de puits privés	Échantillons issus de plus de 127 puits	2012	Comté de Van Buren et de Faulkner, centre-nord de l'Arkansas
7. Jackson <i>et al.</i> , 2013 ¹	Rapport	Recension des écrits et identification des avenues de recherche.	Revue de littérature, méthodologie non définie	Non définie	Non définie	
8. Jenner et Lamadrid, 2013	Article scientifique	Évaluation des impacts environnementaux et sanitaires.	Revue, méthodologie non définie	Non définie	Non définie	États-Unis
9. Myers, 2012 ²	Article scientifique	Comprendre les processus de transport des fluides souterrain.	Modélisation			

Tableau 3 Bilan des études retenues concernant l'eau souterraine et de surface (suite)

Auteurs, Année	Type de travail	Objectif de l'étude ou du rapport	Méthode de collecte	Pour articles scientifiques (de revue ou originaux)		
				Taille de l'échantillon	Période	Lieu de l'étude
10. Osborn <i>et al.</i> , 2011	Article original	Comprendre les sources de contamination.	Échantillons d'eau issus de puits privé	Échantillons d'eau en provenance de 68 puits privés		État de New York et de Pennsylvanie
11. Penningroth <i>et al.</i> , 2013	Article original	Analyse de risque de contamination.	Échantillons d'eau de surface et données d'eau souterraine compilées	350 échantillons d'eau de surface + 35 000 analyses d'eau souterraine	2009-2012	État de New York
12. Rahm et Riha, 2012	Article original	Stratégie de développement gazier.	Revue de littérature, politique et projections			État de New York
13. Rozell et Reaven, 2012	Article original	Analyse de risque environnementale.	Modèle probabiliste et données de la littérature			Shale de Marcellus
14. Stuart, 2001	Rapport UK	Documenter les risques potentiels pour l'eau souterraine	Revue de littérature			Royaume-Uni
15. US EPA, 2012	Rapport d'étape	Documenter les effets de l'exploitation du gaz par fracturation hydraulique sur les ressources en eau.	Revue de littérature, étude de terrain, étude de laboratoire, modélisation, évaluation de risque		2011 à septembre 2012	États-Unis
16. Warner <i>et al.</i> , 2012	Article original	Caractériser la conductivité hydraulique entre les étages stratigraphiques.	Échantillons d'eau issus de puits	426 échantillons d'eau et de 83 échantillons de saumure	2012	Nord de la Pennsylvanie

¹ Synthèse sur les problèmes de contaminations environnementales.

² Les conclusions font l'objet de commentaires formulés par d'autres auteurs.

Tableau 4 Bilan des études retenues en lien avec les aspects associés à la qualité de vie et à la santé psychologique et sociale

Études	Méthodes de collecte des données	Taille de l'échantillon (n =)	Pays, Population spécifique concernée et période de collecte	Impacts mesurés			Qualité évaluée	
				Bien-être	Santé psy.	Santé sociale	++	+
1. Banerjee, Prozzi et Prozzi, 2012	- Analyse de banques de données - Consultation d'experts. - Modèles mathématiques	Non mentionné	- États-Unis - État du Texas, région des shales de Barnett (n = ?) - Période de collecte non mentionnée	x			x	
2. Brasier <i>et al.</i> , 2011	- Étude comparative entre deux comtés pour lesquels l'exploitation des gaz de schiste est importante et deux comtés avec peu ou pas d'exploitation. - Entrevues semi-dirigées avec des répondants des quatre comtés.	71 répondants	- États-Unis - Population de quatre comtés (Washington County, Bradford County, Lycoming County, PA et Steuben County, NY) - Entrevues réalisées entre août 2009 et janvier 2010	x		x	x	
3. Broderick <i>et al.</i> , 2011	- Analyse documentaire (rapports, articles de journaux et études de cas des États-Unis).	Non mentionné	- Royaume-Uni - Population aux États-Unis (n = ?) - 2011 (Mise à jour du rapport : <i>Shale gas: a provisional assessment of climate change and environmental impacts</i> , Wood <i>et al.</i> , 2011)	x		x		x
4. Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE), 2011	- Consultation d'experts - Visites sur le terrain - Consultation du public	- 95 experts et spécialistes - 199 mémoires	- Canada - Population des régions de la Montérégie, du Centre-du-Québec et de Chaudière-Appalaches, Québec - Septembre à décembre 2010	x		x	x	
5. Christopherson et Rightor, 2011	- Analyse documentaire - Étude de cas	Non mentionné	- États-Unis - Comtés du nord de la PA et comtés du sud de l'État de NY (n = ?) - Période de collecte non mentionnée	x		x		x
6. Citizens Marcellus Shale Commission, 2011	- Consultation du public - Consultation d'experts	- 400 participants - 100 commentaires sur le site Web	- États-Unis - Population de 48 comtés, PA - Août et septembre 2011	x		x	x	

Tableau 4 Bilan des études retenues en lien avec les aspects associés à la qualité de vie et à la santé psychologique et sociale (suite)

Études	Méthodes de collecte des données	Taille de l'échantillon (n =)	Pays, Population spécifique concernée et période de collecte	Impacts mesurés			Qualité évaluée	
				Bien-être	Santé psy.	Santé sociale	++	+
7. Colorado School of Public Health (CSPH), 2011	- Analyse documentaire - Portrait de la communauté. - Consultation du public	Non mentionné	- États-Unis - Population de Battlement Mesa, Garfield County, CO (5041 résidents) - 2010 (Révision de l'HIA initiale)	x	x	x		x
8. Greenplan Inc., 2011	- Analyse documentaire de recherches scientifiques et de rapports gouvernementaux	Non mentionné	- États-Unis - Population de Tompkins County, (16 municipalités), NY (n = ?) - Période de collecte non mentionnée	x		x		x
9. Jacquet, 2012	- Questionnaires - Données géospatiales	1028 propriétaires terriens	- États-Unis - Population de la région du Northern Pennsylvania (Tioga et Bradford Counties) - 2011		x	x	x	
10. Jacquet et Stedman, 2011	- Entrevues semi-structurées. - Groupe de discussion (<i>focus group</i>).	- 13 dirigeants de coalitions de citoyens (entrevues) - 4 chefs de coalitions émergentes (<i>focus group</i>)	- États-Unis - Population de la région du Southern Tier (huit comtés) dans l'État de NY - Printemps 2010	x		x	x	
11. New York State Department of Environmental Conservation (NYSDEC), 2011	- Consultation du public. - Consultation d'experts - Analyse documentaire - Visite sur le terrain	Non mentionné	- États-Unis - État de New York (n = ?) - 2011 (Révision du <i>Supplement Generic Environmental Impact Statement</i> (SGEIS) initial)	x		x	x	

Tableau 4 Bilan des études retenues en lien avec les aspects associés à la qualité de vie et à la santé psychologique et sociale (suite)

Études	Méthodes de collecte des données	Taille de l'échantillon (n =)	Pays, Population spécifique concernée et période de collecte	Impacts mesurés			Qualité évaluée	
				Bien-être	Santé psy.	Santé sociale	++	+
12. Perry, 2012	<ul style="list-style-type: none"> - Étude ethnographique longitudinale. - Entrevues, groupe de discussion (<i>focus group</i>) et observation participante. - Analyse d'archives et utilisation de SIG (<i>geographic information system</i>). 	<ul style="list-style-type: none"> - 68 résidents et 24 propriétaires terriens (entrevues); - 7 propriétaires terriens agriculteurs (<i>focus group</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> - États-Unis - Résidents et propriétaires terriens de Bradford County, PA - Été 2009 à janvier 2012 	x	x	x	x	
13. Perry, 2011	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse ethnographique et interprétative de la documentation et des politiques à l'aide d'un modèle conceptuel. 	Non mentionné	<ul style="list-style-type: none"> - États-Unis et Canada - Population d'agriculteurs aux États-Unis (Wyoming et Pennsylvanie) et au Canada (Alberta et Québec) (n = ?) - Mars à mai 2011 		x	x	x	
14. Raimi, 2012	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse documentaire. - Étude comparative de sept états américains. - Régressions linéaires. 	Non mentionné	<ul style="list-style-type: none"> - États-Unis - Population de 15 comtés, North Carolina (n = ?) - Période de collecte non mentionnée 	x		x		x
15. Randall, 2010	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse documentaire. 	Non mentionné	<ul style="list-style-type: none"> - États-Unis - État de New York (n = ?) - Période de collecte non mentionnée 	x				x
16. Rumbach, 2011	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse documentaire et de bases de données. - Étude comparative avec la région du Northern Tier en PA - Entrevues. 	<ul style="list-style-type: none"> - Non mentionné - 12 entrevues avec des experts 	<ul style="list-style-type: none"> - États-Unis - Population de la région du Southern Tier Central (Trois comtés : Chemung, Schuyler et Steuben) dans l'État de NY (n = ?) - Période de collecte non mentionnée 	x		x		x

Tableau 4 Bilan des études retenues en lien avec les aspects associés à la qualité de vie et à la santé psychologique et sociale (suite)

Études	Méthodes de collecte des données	Taille de l'échantillon (n =)	Pays, Population spécifique concernée et période de collecte	Impacts mesurés			Qualité évaluée	
				Bien-être	Santé psy.	Santé sociale	++	+
17. Schafft, 2012	- Questionnaires envoyés (940) à 358 établissements scolaires et entrevues avec des dirigeants. - Analyse documentaire.	- 42 % des questionnaires retournés (environ 395) - 50 entrevues	- États-Unis - Milieu scolaire (directions, gestionnaires et employés) de la région Northern Tier, PA - Printemps et été 2011	x		x		x
18. Stedman <i>et al.</i> , 2011	- Questionnaires envoyés (6000) aléatoirement chez des résidents des 29 comtés.	34 % des questionnaires retournés (36 % de la PA et 32 % de NY), ce qui représente un échantillon d'environ 2040 résidents	- États-Unis - Population de 29 comtés dans la zone des shales de Marcellus, PA et NY - Octobre 2009 à mars 2010	x		x	x	
19. Steinzor, Subra et Sumi, 2013	- Questionnaires - Échantillonnage de la qualité de l'air et de l'eau dans 35 résidences.	108 répondants dans 55 résidences	- États-Unis - Population de 14 comtés en Pennsylvanie - Août 2011 à juillet 2012	x	x		x	
20. Weigle, 2010	- Groupes de discussion (<i>focus group</i>) et entrevues. - Analyse documentaire. - Observation de rassemblements de résidents.	- 165 répondants - 200 résidents observés	- États-Unis - Population de 12 comtés en PA (525 000 résidents) - Deux années (2009-2010)	x	x	x	x	
21. Williamson et Kolb, 2011	- Entrevues dirigées.	- 70 répondants	- États-Unis - Population de six comtés en Pennsylvanie - Période de collecte non mentionnée	x	x	x	x	
22. Wynveen, 2011	- Questionnaires envoyés (1533) aléatoirement chez des résidents des deux comtés (784 à Wise County et 749 à Johnston County). - Analyse documentaire.	600 questionnaires (299 à Wise County et 301 à Johnston County)	- États-Unis - Population de deux comtés (Wise County et Johnston County) au Texas - Printemps et été 2006	x	x	x	x	



EXPERTISE
CONSEIL



INFORMATION



FORMATION

www.inspq.qc.ca



RECHERCHE
ÉVALUATION
ET INNOVATION



COLLABORATION
INTERNATIONALE



LABORATOIRES
ET DÉPISTAGE

Institut national
de santé publique

Québec

