

IDENTIFICATION DE NOUVEAUX COMPOSÉS SUSCEPTIBLES D'ÊTRE UTILISÉS POUR LA FRACTURATION HYDRAULIQUE – Étude AENV12

**Persistance, potentiel de bioaccumulation et toxicité
vis-à-vis des organismes aquatiques**

Évaluation environnementale stratégique propre à Anticosti



Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec

2015

Ce document doit être cité de la façon suivante :

CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC.
2015. *Identification de nouveaux composés susceptibles d'être utilisés pour la fracturation hydraulique – Persistance, potentiel de bioaccumulation et toxicité vis-à-vis des organismes aquatiques – AENV12, Évaluation environnementale propre à Anticosti*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 23 p. et annexes.

Photo de la couverture : © Shutterstock.com

Publié avec l'autorisation du ministre du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec
© Gouvernement du Québec, 2015

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2015
ISBN : 978-2-550-73731-5

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Recherche et rédaction

Nathalie Paquet, M. Sc., écotoxicologue¹
Gaëlle Triffault-Bouchet, Ph. D., chef de division¹

Révision

Isabelle Guay, M. Sc., coordonnatrice du Service des avis et des expertises²
Sylvie Cloutier, M. Sc., biologiste, Service des avis et des expertises²
Sébastien Côté, M. Sc., chimiste¹

Révision linguistique et édition

Vicky Gagnon, adjointe administrative¹

¹ Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec.

² Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement.

SOMMAIRE

Une étude, réalisée par le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP, 2013) dans le cadre des travaux de l'évaluation environnementale stratégique sur le gaz de schiste, a évalué le danger intrinsèque pour la faune et la flore aquatiques des intrants de fracturation qui avaient été utilisés au Québec, selon les déclarations des industries du gaz de shale. La sélection des intrants de fracturation dépendant fortement du type de géologie rencontré et des caractéristiques du gisement à exploiter, les intrants de fracturation utilisés peuvent varier considérablement d'un puits à l'autre. Par conséquent, étant donné que l'exploration pétrolière pourrait être réalisée à l'aide de la fracturation hydraulique sur l'île d'Anticosti, il apparaissait nécessaire de déterminer si de nouvelles substances pourraient être utilisées comme intrant de fracturation par l'industrie gazière et pétrolière au Québec, par rapport à la liste établie en 2013.

D'après les informations disponibles, l'industrie pétrolière recourt globalement aux mêmes intrants de fracturation hydraulique que l'industrie gazière. Néanmoins, il a été établi que 48 composés supplémentaires pourraient potentiellement être utilisés au Québec pour la fracturation hydraulique des gisements non conventionnels de gaz et de pétrole. Le potentiel de persistance dans les milieux (potentiel de biodégradation), le potentiel de bioaccumulation dans les organismes aquatiques ainsi que le potentiel toxique vis-à-vis des organismes aquatiques de ces nouveaux intrants ont été déterminés à l'aide d'une revue de littérature.

De façon générale, les composés nouvellement identifiés comme intrants de fracturation, pour lesquels l'information est disponible, sont rapidement biodégradables (14) ou biodégradables (10). Sept substances sont classées persistantes dans l'environnement. Une seule, le di-iso-propylnaphthalène (CAS : 38640-62-9), présente un potentiel de bioconcentration dans les organismes aquatiques. Quelques composés nouvellement identifiés comme intrants de fracturation sont toxiques (3) ou très toxiques (7) pour les organismes aquatiques, quoique la majorité des composés (15) pour lesquels l'information était disponible présente une faible toxicité létale ou sous-létale pour les organismes aquatiques. Le dibromoacétonitrile (CAS : 3252-43-5) et le 3,5-diméthyl-2h-tétrahydro-1,3,5-thiadiazine-2-thione (CAS : 533-74-4) présentent à la fois un potentiel de persistance et une forte toxicité. Le 1-bromo-3-chloro-5,5-diméthyl-hydantoïne ou BCDMH (CAS : 16079-88-2) est l'autre substance qui apparaît comme très toxique pour les organismes aquatiques.

Plusieurs informations sur la persistance dans les milieux aquatiques, la bioaccumulation dans les organismes aquatiques ou la toxicité vis-à-vis de ces organismes sont manquantes pour de nombreux composés susceptibles d'être utilisés comme intrants de fracturation. Il est par conséquent recommandé d'acquérir ou d'obtenir des informations complémentaires sur les propriétés intrinsèques de ces composés.

TABLE DES MATIÈRES

1.	Introduction	1
2.	Identification des intrants de fracturation.....	4
	2.1 Composés initialement identifiés	4
	2.2 Composés nouvellement identifiés	4
3.	Propriétés intrinsèques des composés nouvellement identifiés.....	10
	3.1 Persistance des composés nouvellement identifiés	10
	3.2 Bioaccumulation des composés nouvellement identifiés.....	12
	3.3 Toxicité des composés nouvellement identifiés.....	15
4.	Conclusions	19
5.	Bibliographie	21

Annexe 1 – Propriétés physicochimiques des composés nouvellement identifiés

Annexe 2 – Liste de composés identifiés mais non documentés*

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 – Nouveaux composés susceptibles d’être utilisés comme intrants pour la fracturation hydraulique des gisements non conventionnels de gaz et de pétrole au Québec – Complément de la liste établie en 2013 (tableau 2, annexe 1; MDDEP, 2013)	6
Tableau 2 – Critères d’évaluation de la biodégradabilité.....	11
Tableau 3 – Biodégradabilité en milieu aquatique des composés nouvellement identifiés comme intrants de fracturation.....	11
Tableau 4 – Potentiel de bioaccumulation dans les organismes aquatiques des composés nouvellement identifiés comme intrants de fracturation	14
Tableau 5 – Critères d’évaluation de la toxicité potentielle des composés nouvellement identifiés comme intrants de fracturation vis-à-vis des organismes aquatiques.....	16
Tableau 6 – Potentiel toxique des composés nouvellement identifiés comme intrants de fracturation pour les organismes aquatiques	16

1. INTRODUCTION

Au Québec, dans la vallée du Saint-Laurent, le contexte géologique est favorable à la présence de gisements pétroliers et gaziers non conventionnels du fait de la présence d'anciens dépôts sédimentaires, dont l'origine remonte à environ 450 à 500 millions d'années (Lavoie et collab., 2009). Ceux-ci ont subi des conditions physicochimiques, des pressions et des températures suffisantes pour induire la maturation de la matière organique et sa dégradation thermique en hydrocarbures. Ces roches sédimentaires, appelées shales, sont très peu perméables, en plus d'être caractérisées par une microporosité dans laquelle le pétrole et le gaz formés peuvent être piégés. Du fait de la très faible perméabilité des shales, ces hydrocarbures sont plus difficiles à exploiter. On parle ainsi de « ressources non conventionnelles ». Pour les extraire, il faut stimuler la roche. Un des moyens de le faire est d'utiliser la fracturation hydraulique.

La fracturation hydraulique réfère au processus par lequel un fluide est injecté sous haute pression dans un puits pour créer un réseau de fractures dans une formation rocheuse afin de permettre la récupération de ressources pétrolières non conventionnelles. Elle est utilisée depuis environ 60 ans pour l'exploitation des gisements conventionnels, et depuis plus récemment pour les gisements non conventionnels. Les projets d'exploitation des ressources gazières et pétrolières par fracturation hydraulique devraient d'ailleurs représenter environ la moitié des projets de production nouvellement développés en 2035 (IAE, 2012, cité dans Stringfellow et collab., 2014).

Le fluide de fracturation est généralement composé de 90 % d'eau, 9,5 % de sable ou d'autres agents à fine granulométrie et de 0,5 % d'intrants de fracturation. Ces intrants sont de différents types (acide, surfactant, gélifiant, anti-émulsifiant, biocide, etc.) et pourraient éventuellement présenter un danger pour les organismes qui seraient exposés à ces substances. Par conséquent, dans le cadre des travaux de l'évaluation environnementale stratégique sur le gaz de schiste, le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) a évalué le danger intrinsèque pour la faune et la flore aquatiques des intrants de fracturation qui avaient été utilisés au Québec, selon les déclarations des industries du gaz de shale. Le rapport final, produit en décembre 2013 (MDDEFP, 2013), présentait le potentiel de persistance dans les milieux (potentiel de biodégradation), le potentiel de bioaccumulation dans les organismes aquatiques ainsi que le potentiel toxique vis-à-vis des organismes aquatiques des intrants qui avaient été utilisés pour le forage et la fracturation hydraulique au Québec, pour l'exploration gazière. Cette étude a également porté sur les sous-produits de dégradation et de réaction des intrants après leur injection dans le puits.

La sélection des intrants de fracturation dépend fortement du type de géologie rencontré et des caractéristiques du gisement à exploiter. Par conséquent, les intrants de fracturation utilisés peuvent varier considérablement d'un puits à l'autre, comme cela a été rapporté pour les shales de Marcellus, aux États-Unis (Kargbo et collab., 2010; NYSDCE, 2011; NYCDEP, 2009). De plus, il est possible que les intrants de fracturation utilisés pour l'exploration de gisements non conventionnels contenant du pétrole soient sensiblement

différents de ceux qui sont utilisés pour la fracturation hydraulique visant les gisements non conventionnels ne contenant, *a priori*, que du gaz naturel.

Notons par ailleurs que, selon les caractéristiques géologiques locales, la fracturation peut être réalisée avec un fluide non aqueux, comme du propane/butane gélifié, du dioxyde de carbone liquide ou de l'azote, dans lequel sont ajoutés des intrants de fracturation. C'est en particulier le cas lorsque le shale est sensible à l'eau ou encore quand des hydrocarbures autres que du gaz naturel sont présents dans la roche. Le shale n'est ainsi pas exposé à l'eau, qui complique la récupération des hydrocarbures. Ainsi, au Nouveau-Brunswick, dans les régions de Penobscus et d'Elgin, le propane a été utilisé pour la fracturation de quelques puits après qu'il ait été liquéfié et que des intrants de fracturation y aient été ajoutés (AMEC, 2014). Selon la compagnie GasFrac, le propane permettrait d'augmenter la longueur des fractures et aiderait à la migration des hydrocarbures vers le puits. En Alberta et dans le shale de Marcellus, aux États-Unis, le gaz de pétrole liquéfié et le dioxyde de carbone liquéfié ont été utilisés en remplacement de l'eau pour le transport du propane dans les puits, réduisant ainsi la quantité d'eau nécessaire pour la fracturation hydraulique (Jenner et Lamadrid, 2013). Le dioxyde de carbone est un fluide de fracturation plus cher et corrosif, mais il peut préférentiellement déplacer le méthane (Rozell et Reaven, 2012). L'inconvénient majeur lié à l'utilisation du dioxyde de carbone est l'accélération de la dissolution des roches qui augmente l'étendue des fissures ouvertes, augmentant ainsi les risques de fuites. Enfin, le diesel a été utilisé dans certaines régions comme fluide de support pour dissoudre les intrants de fracturation avant leur mélange avec le fluide de fracturation, mais son utilisation est peu recommandée en raison des préoccupations environnementales qui lui sont associées. Cette technique est d'ailleurs interdite aux États-Unis (Clean Water Act). D'après la Canadian Society for Unconventional Resources, la fracturation à l'azote semble une bonne alternative puisqu'elle est moins coûteuse et améliore la production des puits à basse pression, en plus de réduire les coûts liés à la gestion de déchets (SCGNC, 2015). Ainsi, dépendamment du fluide de fracturation utilisé, la composition des intrants de fracturation pourrait vraisemblablement changer.

Par conséquent, étant donné que l'exploration pétrolière pourrait être réalisée à l'aide de la fracturation hydraulique sur l'île d'Anticosti, il apparaît nécessaire de déterminer si de nouvelles substances sont susceptibles d'être utilisées comme intrant de fracturation par l'industrie gazière et pétrolière au Québec, par rapport à la liste établie en 2013 (MDDEFP, 2013).

Étant donné qu'il existe peu d'informations sur le shale de la formation de Macasty, présent sur l'île d'Anticosti, les recherches ont porté sur les intrants de fracturation utilisés pour des shales similaires, actuellement exploités pour des gisements non conventionnels d'hydrocarbures, à la suite de fracturations hydrauliques. D'après ses caractéristiques, le shale de la formation de Macasty, qui est une unité géologique équivalente au shale d'Utica, présente une analogie géologique au shale de la formation de Point Pleasant, situé en Ohio (États-Unis), qui est en cours d'exploitation pour du gaz naturel liquéfié et du pétrole léger (Wickstrom, 2013; Bertrand et Malo, 2015; Malo et collab., 2015). Par conséquent, en l'absence d'informations sur le shale de la formation de Macasty, les informations disponibles sur les intrants du shale de la formation de Point Pleasant ont été recherchées.

Les intrants de fracturation utilisés dans les shales de Marcellus, soit les plus étudiés jusqu'à ce jour, ont également été répertoriés.

Pour chaque nouveau composé identifié comme un intrant de fracturation potentiel, la persistance (potentiel de biodégradation) dans les milieux aquatiques, le potentiel de bioaccumulation dans les organismes aquatiques et la toxicité vis-à-vis de ces organismes ont été documentés à l'aide d'une revue de littérature.

La recherche documentaire a été réalisée, dans un premier temps, dans les bases de données scientifiques reconnues pour colliger les articles publiés dans des périodiques scientifiques avec révision par les pairs. Les rapports publiés par des organismes gouvernementaux reconnus ont ensuite été consultés. Les principales sources consultées incluent, sans s'y limiter, les suivantes : BAPE, 2011; BAPE, 2010; MDDEFP, 2013; MRNF, 2010; INSPQ, 2010; Conseil des académies canadiennes, 2014; United States House of Representatives, 2011, et USEPA, 2011. La base de données FracFocus (<http://fracfocus.ca>, consultée entre septembre 2014 et janvier 2015), qui répertorie les intrants de fracturation utilisés autant au Canada qu'aux États-Unis, a également été interrogée. La participation de l'industrie à cette base de données demeure volontaire, excepté dans douze États américains, où elle est obligatoire (Arkansas, Colorado, Louisiane, Michigan, Montana, Nouveau-Mexique, Dakota du Nord, Oklahoma, Pennsylvanie, Texas, Virginie, Wyoming). Cette base de données est donc l'occasion d'obtenir une liste d'intrants de fracturation qui pourraient être utilisés au Québec. Enfin, les propriétés physicochimiques des substances identifiées ont été collectées dans plusieurs bases de données en ligne, telles que le *Hazardous Substances Data Bank* de la Bibliothèque nationale de médecine (National Library of Medicine) américaine (HSDB, 2014) ou le *Screening Information Data Set* de l'Organisation de coopération et de développement économiques. Des livres de référence et des fiches signalétiques ont également été consultés.

2. IDENTIFICATION DES INTRANTS DE FRACTURATION

2.1 COMPOSÉS INITIALEMENT IDENTIFIÉS

Plusieurs inventaires ont recensé des centaines d'intrants potentiellement utilisables lors de la fracturation hydraulique (Rozell et Reaven, 2012; Centner, 2013; Kassotis et collab., 2013). Au Québec, 36 produits commerciaux, comptant un total de 62 composés chimiques, ont été utilisés comme intrants pour la fracturation hydraulique de l'un ou l'autre des 18 puits de gaz de shale fracturés à ce jour. Sur les 62 composés chimiques, 54 ont été identifiés (numéros CAS disponibles) et ont été évalués au regard de leur danger intrinsèque pour la faune et la flore aquatiques par le MDDEFP (2013). Leur potentiel de persistance dans le milieu, de bioaccumulation dans les tissus des organismes aquatiques et de toxicité vis-à-vis de ces organismes a ainsi été documenté.

Selon les critères établis et les données disponibles en 2013, la majorité des composés qui ont été les plus fréquemment utilisés au Québec à ce jour pour la fracturation hydraulique sont fortement biodégradables, non bioaccumulables et peu toxiques (MDDEFP, 2013). Le danger intrinsèque de ces substances apparaît donc faible. Il s'agit essentiellement des alcools (méthanol et propanol) et des alcools éthoxylés.

Les conclusions de cette étude indiquaient aussi que trois composés présentent à la fois des potentiels de persistance, de bioaccumulation et de toxicité. Il s'agit du solvant naphta aromatique lourd, de l'octaméthylcyclotétrasiloxane et du chlorure d'ammonium triméthylque d'octadécyle (MDDEFP, 2013). Les distillats de pétrole C₉-C₁₆ présentent quant à eux un potentiel de persistance dans l'environnement et de bioaccumulation dans les organismes aquatiques, tandis que le 1,2,4-triméthylbenzène présente un potentiel de persistance dans l'environnement et de toxicité vis-à-vis des organismes aquatiques. De par leurs caractéristiques intrinsèques, ces cinq composés sont préoccupants pour le milieu aquatique. Toutefois, cette évaluation de danger ne tient pas compte des concentrations et des volumes utilisés, ni des traitements appliqués aux eaux de reflux issues de la fracturation, et ne permet donc pas d'évaluer le risque associé à ces composés pour le milieu aquatique. Cette évaluation indique qu'il faut porter une attention particulière à ces composés lors de l'évaluation des éventuels projets de fracturation hydraulique (MDDEFP, 2013).

2.2 COMPOSÉS NOUVELLEMENT IDENTIFIÉS

D'après les nombreux ouvrages consultés dans le cadre de cette revue de littérature, il apparaît que, pour produire du pétrole de shale, l'industrie pétrolière recourt globalement aux mêmes intrants de fracturation hydraulique que l'industrie gazière et emploie souvent la même technologie de forage de puits directionnels que pour l'exploitation du gaz de shale.

En recoupant la liste complète des intrants répertoriés dans la littérature à celle élaborée en 2013 par le Ministère, il a été établi que 48 composés supplémentaires pourraient potentiellement être utilisés au Québec pour la fracturation hydraulique des gisements non conventionnels de gaz et de pétrole. Ces composés sont présentés dans le tableau 1. Les critères d'établissement de cette liste sont les suivants :

- Les substances retenues correspondent à celles qui sont les plus communément utilisées dans les puits de fracturation au Canada et aux États-Unis;
- Lorsqu'une substance n'avait été utilisée que dans un seul puits, elle n'a pas été retenue dans la liste présentée dans le présent document étant donné la faible probabilité qu'elle soit utilisée au Québec;
- Les composés ne comportant aucun numéro CAS n'ont pas été retenus étant donné la difficulté de trouver des données spécifiques à ces substances;
- Les composés les plus communément utilisés par l'industrie n'ont pas été retenus étant donné que leur persistance dans l'environnement, leur potentiel de bioaccumulation et leur toxicité vis-à-vis des organismes aquatiques sont connus (p. ex., chlorure de sodium, chlorure de calcium, éthanol). La liste de ces composés est présentée à l'annexe 2.

Tableau 1 – Nouveaux composés susceptibles d’être utilisés comme intrants pour la fracturation hydraulique des gisements non conventionnels de gaz et de pétrole au Québec – Complément de la liste établie en 2013 (tableau 2, annexe 1; MDDEP, 2013)

Composé (nom français)	Composé (nom anglais)	CAS	Utilisation	Référence
Acétaldéhyde	Acetaldehyde	75-07-0	Agent inhibiteur de corrosion	Stringfellow et collab., 2014
Acétone	Acetone	67-64-1		
Acide fumarique	Fumaric acid	110-17-8	Agent gélifiant	
Acide sulfamique	Sulfamic acid	5329-14-6	Agent inhibiteur de corrosion	Broderick et collab., 2011
Alcool n-butylique	n-butyl alcohol	71-36-3	Solvant	Colborn et collab., 2011; Broderick et collab., 2011
Anhydre acétique	Acetic anhydride	108-24-7	Fluidifiant	Broderick et collab., 2011
1,2-Benzisothiazol-3(2H)-one	1,2-Benzisothiazol-3(2H)-one	2634-33-5	Biocide	
1-bromo-3-chloro-5,5-diméthyl-hydantoïne (BCDMH)	1-Bromo-3-chloro-5,5- dimethylhydantoin	16079-88-2	Biocide	Stringfellow et collab., 2014
Carboxyméthyl d’hydroxypropyle gomme de guar	Carboxymethyl hydroxypropyl guar gum	68130-15-4	Agent gélifiant	
Carboxyméthyl gomme de guar	Carboxymethyl guar gum	39346-76-4		
Cellulase	Hemicellulase enzyme	9012-54-8	Agent interrupteur (« breaker »)	
Cellulose de carboxyméthyl hydroxyéthyl éther	Carboxymethyl hydroxyethyl cellulose	9004-30-2	Agent gélifiant	
Chlorhydrate d’hydroxylamine	Hydroxylamine hydrochloride	5470-11-1	Agent inhibiteur de corrosion	Broderick et collab., 2011
Chloroacétate de sodium	Sodium Chloroacetate	3926-62-3	Biocide	

Composé (nom français)	Composé (nom anglais)	CAS	Utilisation	Référence
Chlorure de (chloro-3 propenyl-2(z))-1 triaza-3,5,7 azoniatricyclo-1 decane[3.3.1(3.7)]	1-(3-chloro-2-propenyl)-3,5,7-triaza-1-azoniatricyclo[3.3.1(3,7)] decane chloride	51229-78-8	Biocide	Broderick et collab., 2011
Chlorure de choline	Choline chloride	67-48-1	Contrôleur d'argile	Stringfellow et collab., 2014
Chlorure de didécyl diméthyl ammonium	Didecyl dimethyl ammonium chloride	7173-51-5	Biocide	
Chlorure de tétraméthyl ammonium	Tetramethyl ammonium chloride	75-57-0	Contrôleur d'argile	Stringfellow et collab., 2014; Colborn et collab., 2011
Chlorure de tributyl tétradécyl phosphonium	Tributyl tetradecyl phosphonium chloride	81741-28-8	Biocide	Stringfellow et collab., 2014
Complexe de zirconium d'hydroxy lactate de sodium	Zirconium hydroxy lactate sodium complex	113184-20-6	Agent de réticulation	
Cumène	Cumene	98-82-8	Solvant	Kassotis et collab., 2013; Broderick et collab., 2011
Dibromoacétonitrile	Dibromoacetonitrile	3252-43-5	Biocide	Colborn et collab., 2011; INSPQ, 2010
Difluorure d'ammonium	Ammonium difluoride	1341-49-7		Broderick et collab., 2011
Di-iso-propylnaphtalène	Naphthalene bis(1-methylethyl)	38640-62-9	Solvant	Stringfellow et collab., 2014; Kassotis et collab., 2013; INSPQ, 2010
N,N-diméthylformamide	N,N-dimethylformamide	68-12-2	Agent inhibiteur de corrosion	

Composé (nom français)	Composé (nom anglais)	CAS	Utilisation	Référence
3,5-diméthyl-2h-tétrahydro-1,3,5-thiadiazine-2-thione	3,5-dimethyl-tetrahydro-1,3,5-thiadiazine-2-thione (Dazomet)	533-74-4	Biocide	Colborn et collab., 2011; Broderick et collab., 2011
1,4-Dioxane	1,4-Dioxane	123-91-1	Solvant	Broderick et collab., 2011
Érythorbate de sodium	Sodium erythorbate	6381-77-7	Agent séquestrant le fer	Stringfellow et collab., 2014
Éthylamine	Ethylamine	75-04-7	Agent de réticulation	
Glutaraldéhyde	Glutaraldehyde	111-30-8	Biocide	Stringfellow et collab., 2014; Broderick et collab., 2011; INSPQ, 2010
Glyoxal	Glyoxal	107-22-2	Agent de réticulation	Colborn et collab., 2011
Gomme de guar	Guar gum	9000-30-0	Agent gélifiant	Stringfellow et collab., 2014; INSPQ, 2010
Gomme de xanthane	Xanthan gum	11138-66-2		Colborn et collab., 2011
2-Hydroxyéthyle cellulose	2-hydroxyethyl cellulose	9004-62-0		Stringfellow et collab., 2014; INSPQ, 2010
Hydroxypropyl cellulose	Hydroxypropyl cellulose	9004-64-2		Stringfellow et collab., 2014
2-Hydroxy propyle de gomme de guar	Hydroxypropyl guar gum	39421-75-5		
Laurylsulfate de sodium	Sodium lauryl sulfate	151-21-3	Surfactant	Broderick et collab., 2011
1-Méthoxy-2-hydroxypropane	1-methoxy-2-hydroxypropane	107-98-2	Solvant	

Composé (nom français)	Composé (nom anglais)	CAS	Utilisation	Référence
Oxyde d'éthylène	Ethylene oxide	75-21-8	Biocide	Colborn et collab., 2011; Broderick et collab., 2011
Persulfate d'ammonium	Ammonium persulfate	7727-54-0	Agent interrupteur (« breaker »)	Stringfellow et collab., 2014
Phosphate de tributyle	Tributyl phosphate	126-73-8	Agent anti-émulsifiant	Colborn et collab., 2011; INSPQ, 2010
Pyridinium	Pyridinium	16969-45-2	Agent inhibiteur de corrosion	Stringfellow et collab., 2014
Sel sodique de l'acide borique	Boric acid sodium salt	1333-73-9	Agent de réticulation	
Sulfate de tétrakis (hydroxyméthyl) phosphonium	Tetrakis (hydroxyméthyl) phosphonium sulfate	55566-30-8	Biocide	Stringfellow et collab., 2014; Colborn et collab., 2011
Sulfate de zirconium	Zirconium sulfate	14644-61-2	Agent de réticulation	Stringfellow et collab., 2014
Tétraborate de sodium décahydraté	Sodium tetraborate decahydrate	1303-96-4		Stringfellow et collab., 2014; Broderick et collab., 2011
Tétranitrate de zirconium	Zirconium tetranitrate	13746-89-9		Stringfellow et collab., 2014
Zirconate de triéthanolamine	Triethanolamine zirconate	101033-44-7		

3. PROPRIÉTÉS INTRINSÈQUES DES COMPOSÉS NOUVELLEMENT IDENTIFIÉS

Quelques caractéristiques physicochimiques ont été documentées pour les composés nouvellement identifiés comme intrants de fracturation, à savoir :

- La pression de vapeur, qui permet d'estimer leur potentiel de volatilisation;
- La solubilité dans l'eau;
- Le coefficient de partage carbone organique/eau (Koc), qui permet d'estimer la capacité d'une substance à s'adsorber sur la matière organique dissoute (MOD) ou en suspension (MES) et les sédiments;
- La dégradabilité des composés par des processus abiotiques tels que la photodégradation ou l'hydrolyse, qui peuvent constituer des étapes de transformation des substances sans qu'une dégradation totale soit atteinte et qui peuvent, par ailleurs, entraîner la formation de substances plus ou moins toxiques pour les organismes aquatiques;
- La biodégradabilité intrinsèque des composés en conditions aérobies et anaérobies.

Ces données sont présentées à l'annexe 1. Elles sont fournies à titre indicatif et ne font pas l'objet d'une interprétation dans le cadre du présent document.

3.1 PERSISTANCE DES COMPOSÉS NOUVELLEMENT IDENTIFIÉS

Le potentiel de persistance des composés nouvellement identifiés comme intrants de fracturation a été estimé par l'analyse de leur potentiel de dégradation dans l'environnement aquatique, c'est-à-dire leur transformation ultime en dioxyde de carbone (CO₂), en eau et en sels.

Les données issues d'essais de biodégradation réalisés selon les lignes directrices 301 et 302 de l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE) ont été privilégiées (OCDE, 1992; OCDE, 1981). Un composé est dit facilement biodégradable si une diminution de 70 % du carbone organique dissous (COD) est mesurée ou, dans le cas des méthodes respirométriques, si une consommation de 60 % de la demande théorique en oxygène ou une production de 60 % de CO₂ est enregistrée. Lorsque ces données n'étaient pas disponibles, nous avons consulté les bases de données reconnues et retenu leurs conclusions, généralement basées sur l'analyse des propriétés physicochimiques.

Pour les besoins de la présente étude, les données ont été classées selon les critères présentés dans le tableau 2. Ainsi, les composés ont été classés dans trois catégories : non biodégradable, biodégradable et rapidement biodégradable.

Tableau 2 – Critères d'évaluation de la biodégradabilité

Rapidement biodégradable	Minéralisation rapide et complète > 60 % ou > 70 % de la biodégradation est atteint en 28 j.
Biodégradable	Entre 20 % et 60 à 70 % (selon le test) de la biodégradation est atteint en 28 j.
Peu ou non biodégradable	Quantité de matière organique retirée négligeable dans les conditions des tests où moins de 20 % de la matière organique est biodégradée en 28 j.

Le tableau 3 présente le potentiel de biodégradation des composés nouvellement identifiés comme intrants de fracturation selon les trois catégories établies.

Tableau 3 – Biodégradabilité en milieu aquatique des composés nouvellement identifiés comme intrants de fracturation

	Composés	N° CAS
Rapidement biodégradable	Acétaldéhyde	75-07-0
	Acétone	67-64-1
	Acide fumarique	110-17-8
	Anhydride acétique	108-24-7
	Chloroacétate de sodium	3926-62-3
	Chlorure de choline	67-48-1
	Chlorure de didécyldiméthylammonium	7173-51-5
	N,N-diméthylformamide	68-12-2
	Glutaraldéhyde	111-30-8
	Glyoxal	107-22-2
	Laurylsulfate de sodium	151-21-3
	1-Méthoxy-2-hydroxypropane	107-98-2
	Oxyde d'éthylène	75-21-8
	Phosphate de tributyle	126-73-8
Biodégradable	Alcool n-butylique	71-36-3
	Carboxyméthyl d'hydroxypropyle gomme de guar	68130-15-4
	Carboxyméthyl gomme de guar	39346-76-4
	Cumène	98-82-8
	Di-iso-propylnaphthalène	38640-62-9
	Éthylamine	75-04-7
	Gomme de guar	9000-30-0
	2-Hydroxyéthyle cellulose	9004-62-0
	2-Hydroxy propyle de gomme de guar	39421-75-5
	Sulfate de tétrakis(hydroxyméthyl)phosphonium	55566-30-8

	Composés	N° CAS
Peu ou non biodégradable	Chlorure de tétraméthylammonium	75-57-0
	Dibromoacétonitrile	3252-43-5
	3,5-diméthyl-2h-tétrahydro-1,3,5-thiadiazine-2-thione	533-74-4
	1,4-Dioxane	123-91-1
	Persulfate d'ammonium	7727-54-0
	Sel sodique de l'acide borique	1333-73-9
	Tétraborate de sodium décahydraté	1303-96-4

De façon générale, les composés nouvellement identifiés comme intrants de fracturation, pour lesquels l'information est disponible, sont rapidement biodégradables (14) ou biodégradables (10). D'après les données disponibles, sept substances sont persistantes dans l'environnement.

Il n'a pas été possible d'obtenir, par la revue de littérature, toute l'information nécessaire pour évaluer le potentiel de biodégradation de 15 autres composés :

- Acide sulfamique (CAS : 5329-14-6);
- 1,2-Benzisothiazol-3(2H)-one (CAS : 2634-33-5);
- 1-bromo-3-chloro-5,5-diméthyl-hydantoïne (BCDMH ; CAS : 16079-88-2);
- Cellulase (CAS : 9012-54-8);
- Cellulose de carboxyméthyl hydroxyéthyl ether (CAS : 9004-30-2);
- Chlorhydrate d'hydroxylamine (CAS : 5470-11-1);
- Chlorure de (chloro-3 propenyl-2(z))-1 triaza-3,5,7 azoniatriacyclo-1 decane[3.3.1(3.7)] (CAS : 51229-78-8);
- Chlorure de tributyltétradécylphosphonium (CAS : 81741-28-8);
- Complexe de ziconium d'hydroxy lactate de sodium (CAS : 113184-20-6);
- Difluorure d'ammonium (CAS : 1341-49-7);
- Gomme de xanthane (CAS : 11138-66-2);
- Hydroxypropyl cellulose (CAS : 9004-64-2);
- Pyridinium (CAS : 16969-45-2);
- Zirconate de triéthanolamine (CAS : 101033-44-7).

3.2 BIOACCUMULATION DES COMPOSÉS NOUVELLEMENT IDENTIFIÉS

Le potentiel de bioaccumulation des composés nouvellement identifiés comme intrants de fracturation pour les organismes aquatiques a été estimé par l'analyse des éléments suivants :

- Le facteur de bioaccumulation (FBA), c'est-à-dire le rapport entre la concentration d'une substance dans un organisme et sa concentration dans l'eau, en considérant l'exposition à l'eau, la nourriture, etc.;

- Le facteur de bioconcentration (FBC), c'est-à-dire le rapport entre la concentration de la substance dans un organisme et sa concentration dans l'eau. La bioconcentration est définie comme le résultat net de l'absorption, de la transformation et de l'élimination d'une substance par l'organisme suite à une exposition à l'eau uniquement;
- Le coefficient de partage octanol-eau (log Koe), qui correspond au rapport entre la concentration d'une substance dans l'octanol et sa concentration dans l'eau. Ce coefficient permet d'estimer le caractère lipophile d'une substance et sa capacité à se distribuer dans les graisses. On parle alors de potentiel de bioconcentration plutôt que de substance bioaccumulable, car le log Koe fournit une tendance qui doit être confirmée. En effet, il ne permet pas de prendre en considération les processus de métabolisation et d'élimination qui peuvent avoir lieu dans les organismes et qui peuvent diminuer les risques de bioaccumulation dans les tissus. Les substances ayant des log Koe compris entre 3 et 7 sont modérément hydrophobes, tandis que les substances ayant un log Koe supérieur à 7 sont hautement hydrophobes. Ces substances auront un fort potentiel d'accumulation dans les tissus adipeux des organismes suite à leur absorption.

Pour faciliter l'interprétation, les données ont été classées selon les critères suivants :

- Selon le Règlement sur la persistance et la bioaccumulation (RPB; Gouvernement du Canada, 2000) et la Politique de gestion des substances toxiques (PGST; Gouvernement du Canada, 1995), si le FBA est supérieur ou égal à 5 000, un composé est qualifié de bioaccumulable dans les organismes aquatiques.
- En l'absence de FBA, ce sont les FBC qui ont été utilisés pour classer les composés :
 - Si le FBC est supérieur ou égal à 5 000 (RPB et PGST), un composé est qualifié de bioaccumulable dans les organismes aquatiques;
 - Si le FBC est supérieur à 1 000 (USEPA; Great Lakes Water Quality Initiative), le composé est considéré comme étant suffisamment bioaccumulable dans les organismes aquatiques pour que les risques soient évalués;
 - Si le FBC est inférieur à 1 000, un composé est qualifié de peu bioaccumulable dans les organismes aquatiques.
- En l'absence de FBA et de FBC, le classement était basé sur les valeurs du log Koe. Selon le RPB et la PGST :
 - Si le log Koe est égal ou supérieur à 5, un composé est qualifié de fortement bioaccumulable dans les organismes aquatiques;
 - Si le log Koe est supérieur à 4 et inférieur à 5, le composé présente un potentiel de bioconcentration dans les organismes aquatiques.

Le tableau 4 présente le potentiel de bioaccumulation des différents composés dans les organismes aquatiques, selon les critères présentés ci-dessus.

Tableau 4 – Potentiel de bioaccumulation dans les organismes aquatiques des composés nouvellement identifiés comme intrants de fracturation

	Composés	N° CAS
Non bioaccumulable	Acétaldéhyde	75-07-0
	Acétone	67-64-1
	Acide fumarique	110-17-8
	Alcool n-butylique	71-36-3
	Anhydride acétique	108-24-7
	1-bromo-3-chloro-5,5-diméthyl-hydantoïne (BCDMH)	16079-88-2
	Chloroacétate de sodium	3926-62-3
	Chlorure de choline	67-48-1
	Chlorure de didécyldiméthylammonium	7173-51-5
	Chlorure de tétraméthylammonium	75-57-0
	Cumène	98-82-8
	Dibromoacétonitrile	3252-43-5
	N,N-diméthylformamide	68-12-2
	3,5-diméthyl-2h-tétrahydro-1,3,5-thiadiazine-2-thione	533-74-4
	1,4-Dioxane	123-91-1
	Érythorbate de sodium	6381-77-7
	Éthylamine	75-04-7
	Glutaraldéhyde	111-30-8
	Glyoxal	107-22-2
	Laurylsulfate de sodium	151-21-3
	1-Méthoxy-2-hydroxypropane	107-98-2
	Oxyde d'éthylène	75-21-8
	Persulfate d'ammonium	7727-54-0
	Phosphate de tributyle	126-73-8
	Sulfate de tétrakis(hydroxyméthyl)phosphonium	55566-30-8
	Tétraborate de sodium décahydraté	1303-96-4
Bioaccumulable	Di-iso-propylnaphthalène	38640-62-9

De façon générale, les composés nouvellement identifiés comme intrants de fracturation sont non bioaccumulables (26) dans les organismes aquatiques. D'après les données disponibles, seul le di-iso-propylnaphthalène (CAS : 38640-62-9) présente un potentiel de bioconcentration (FBC entre 1 000 et 5 000) dans les organismes aquatiques.

Il n'a pas été possible d'obtenir tous les renseignements requis pour évaluer le potentiel de bioaccumulation de 22 composés :

- Acide sulfamique (CAS : 5329-14-6);
- 1,2-Benzisothiazol-3(2H)-one (CAS : 2634-33-5);
- Carboxyméthyl d'hydroxypropyle gomme de guar (CAS : 68130-15-4);
- Carboxyméthyl gomme de guar (CAS : 39346-76-4);

- Cellulase (CAS : 9012-54-8);
- Cellulose de carboxyméthyl hydroxyéthyl éther (CAS : 9004-30-2);
- Chlorhydrate d'hydroxylamine (CAS : 5470-11-1);
- Chlorure de (chloro-3 propenyl-2(z))-1 triaza-3,5,7 azoniatricyclo-1 decane[3.3.1(3.7)] (CAS : 51229-78-8);
- Chlorure de tributyltétradécylphosphonium (CAS : 81741-28-8);
- Complexe de ziconium d'hydroxy lactate de sodium (CAS : 113184-20-6);
- Difluorure d'ammonium (CAS : 1341-49-7);
- Gomme de guar (CAS : 9000-30-0);
- Gomme de xanthane (CAS : 11138-66-2);
- 2-hydroxyéthyle cellulose (CAS : 9004-62-0);
- Hydroxypropyle cellulose (CAS : 9004-64-2);
- 2-Hydroxy propyle de gomme de guar (CAS : 39421-75-5);
- Pyridinium (CAS : 16969-45-2);
- Sel sodique de l'acide borique (CAS : 1333-73-9);
- Sulfate de zirconium (CAS : 14644-61-2);
- Tétranitrate de zirconium (CAS : 13746-89-9);
- Zirconate de triéthanolamine (CAS : 101033-44-7).

3.3 TOXICITÉ DES COMPOSÉS NOUVELLEMENT IDENTIFIÉS

La toxicité potentielle des composés nouvellement identifiés comme intrants de fracturation a été évaluée à partir de données écotoxicologiques qui permettent d'évaluer les effets à court terme (toxicité aiguë ou létale) ou à long terme (toxicité chronique ou sous-létale) de ces composés pour les organismes aquatiques (flore et faune).

Des données de toxicité létale mesurant la mortalité des organismes ont été utilisées pour juger du danger que représente un composé pour les organismes aquatiques exposés sur une courte période de temps. Ce sont en général des CL₅₀, c'est-à-dire des concentrations létales pour 50 % des organismes exposés, pour une exposition de courte durée (p. ex., 48 ou 96 h). Des données de toxicité sous-létale mesurant entre autres des taux de croissance ou de reproduction ont été utilisées pour juger du danger que représente un composé pour les organismes aquatiques exposés à des concentrations plus faibles, mais sur une plus longue période. Ce sont en général des CE₁₀₋₂₅, qui sont les concentrations efficaces de 10 à 25 % d'une fonction d'un organisme. On utilise aussi, de façon équivalente, des CSEO, c'est-à-dire des concentrations sans effet observable pour l'effet recherché.

Les données de toxicité qui ont été colligées dans la présente étude sont essentiellement issues d'essais de toxicité usuellement utilisés : mortalité de la daphnie *Daphnia magna* ou de la cériodaphnie *Ceriodaphnia dubia*, mortalité des jeunes truites *Oncorhynchus mykiss* et du mené tête-de-boule *Pimephales promelas*, reproduction de la cériodaphnie *Ceriodaphnia dubia*, croissance des larves du tête-de-boule *Pimephales promelas* et croissance de l'algue d'eau douce *Pseudokirchneriella subcapitata*. Notons que lorsque des données étaient disponibles pour d'autres organismes ou d'autres paramètres d'effets,

celles-ci ont également été retenues afin d'obtenir le plus d'informations possible sur la toxicité des composés identifiés.

Par ailleurs, lorsque disponibles, les critères chroniques pour la protection de la vie aquatique (CVAC) du MDDELCC ont été utilisés pour définir la toxicité potentielle des composés nouvellement identifiés comme intrants de fracturation.

L'ensemble des données disponibles a été classé selon les critères présentés dans le tableau 5. Pour la toxicité aiguë, la classification des composés est basée sur la CL₅₀ de l'espèce la plus sensible, c'est-à-dire la plus basse. Pour la toxicité chronique, la classification des composés est basée sur la CSEO ou la CE₁₀₋₂₅ de l'espèce la plus sensible ou sur le CVAC. La plus basse valeur entre le CVAC et les données de toxicité a été retenue.

Tableau 5 – Critères d'évaluation de la toxicité potentielle des composés nouvellement identifiés comme intrants de fracturation vis-à-vis des organismes aquatiques

Toxicité aiguë CL ₅₀		Toxicité chronique CE ₁₀₋₂₅ , CSEO ou CVAC	
< 1 mg/l	Très toxique	< 0,01 mg/l	Très toxique
1 à 10 mg/l	Toxique	0,01 à 0,1 mg/l	Toxique
> 10 mg/l	Peu toxique	> 0,1 mg/l	Peu toxique

Le tableau 6 présente le potentiel toxique des composés nouvellement identifiés comme intrants de fracturation pour les organismes aquatiques, selon les critères d'évaluation décrits ci-dessus.

Tableau 6 – Potentiel toxique des composés nouvellement identifiés comme intrants de fracturation pour les organismes aquatiques

	Composés	N° CAS
Très toxique	1-bromo-3-chloro-5,5-diméthyl-hydantoïne (BCDMH)	16079-88-2
	Chloroacétate de sodium	3926-62-3
	Chlorure de didécyl diméthyl ammonium	7173-51-5
	Cumène	98-82-8
	Dibromoacétonitrile	3252-43-5
	3,5-diméthyl-2h-tétrahydro-1,3,5-thiadiazine-2-thione	533-74-4
	Glutaraldéhyde	111-30-8
Toxique	Acétaldéhyde	75-07-0
	Laurylsulfate de sodium	151-21-3
	Phosphate de tributyle	126-73-8

	Composés	N° CAS
Peu toxique	Acétone	67-64-1
	Acide fumarique	110-17-8
	Alcool n-butylique	71-36-3
	Anhydride acétique	108-24-7
	Chlorure de choline	67-48-1
	Chlorure de tétraméthylammonium	75-57-0
	N,N-diméthylformamide	68-12-2
	1,4-Dioxane	123-91-1
	Éthylamine	75-04-7
	Glyoxal	107-22-2
	1-Méthoxy-2-hydroxypropane	107-98-2
	Oxyde d'éthylène	75-21-8
	Persulfate d'ammonium	7727-54-0
	Sulfate de tétrakis(hydroxyméthyl)phosphonium	55566-30-8
	Tétraborate de sodium décahydraté	1303-96-4

La majorité des composés (15) pour lesquels l'information était disponible présente une faible toxicité létale ou sous-létale pour les organismes aquatiques. Selon les données disponibles et d'après les critères d'évaluation retenus, il apparaît que plusieurs des composés nouvellement identifiés comme intrants de fracturation sont toxiques (3) ou très toxiques (7) pour les organismes aquatiques. Ces composés à l'état pur pourraient entraîner des effets néfastes pour les organismes aquatiques qui y seraient exposés.

Il n'a pas été possible d'obtenir tous les renseignements requis pour évaluer le potentiel toxique de 25 composés :

- Acide sulfamique (CAS : 5329-14-6);
- 1,2-Benzisothiazol-3(2H)-one (CAS : 2634-33-5);
- Carboxyméthyl d'hydroxypropyle gomme de guar (CAS : 68130-15-4);
- Carboxyméthyl gomme de guar (CAS : 39346-76-4);
- Cellulase (CAS : 9012-54-8);
- Cellulose de carboxyméthyl hydroxyéthyl éther (CAS : 9004-30-2);
- Chlorhydrate d'hydroxylamine (CAS : 5470-11-1);
- Chlorure de (chloro-3 propenyl-2(z))-1 triaza-3,5,7 azoniatriacyclo-1 decane[3.3.1(3.7)] (CAS : 51229-78-8);
- Chlorure de tributyltétradécylphosphonium (CAS : 81741-28-8);
- Complexe de zirconium d'hydroxy lactate de sodium (CAS : 113184-20-6);
- Difluorure d'ammonium (CAS : 1341-49-7);
- Di-iso-propylnaphthalène (CAS : 38640-62-9);
- Érythorbate de sodium (CAS : 6381-77-7);
- Gomme de guar (CAS : 9000-30-0);

- Gomme de xanthane (CAS : 11138-66-2);
- 2-Hydroxyéthyle cellulose (CAS : 9004-62-0);
- Hydroxypropyl cellulose (CAS : 9004-64-2);
- 2-Hydroxy propyle de gomme de guar (CAS : 39421-75-5);
- Pyridinium (CAS : 16969-45-2);
- Sel sodique de l'acide borique (CAS : 1333-73-9);
- Sulfate de zirconium (CAS : 14644-61-2);
- Tétranitrate de zirconium (CAS : 13746-89-9);
- Zirconate de triéthanolamine (CAS : 101033-44-7).

4. CONCLUSIONS

Onze composés susceptibles d'être utilisés comme intrants de fracturation sont, d'après les données recueillies, biodégradables à rapidement biodégradables, non bioaccumulables et peu toxiques. Le danger intrinsèque de ces composés apparaît donc faible. Il s'agit des substances suivantes :

- Acétone (CAS : 75-07-0);
- Acide fumarique (CAS : 110-17-8);
- Alcool n-butylique (CAS : 71-36-3);
- Anhydride acétique (CAS : 108-24-7);
- Chlorure de choline (CAS : 67-48-1);
- N,N-diméthylformamide (CAS : 68-12-2);
- Éthylamine (CAS : 75-04-7);
- Glyoxal (CAS : 107-22-2);
- 1-méthoxy-2-hydroxypropane (CAS : 107-98-2);
- Oxyde d'éthylène (CAS : 75-21-8);
- Sulfate de tétrakis(hydroxyméthyl)phosphonium (CAS : 55566-30-8).

Sept composés sont persistants dans l'environnement. Aucun de ces composés ne présente un potentiel de bioaccumulation dans les organismes aquatiques. Deux de ces composés s'avèrent être très toxiques et présentent par conséquent un danger intrinsèque important pour les organismes aquatiques. Il s'agit du dibromoacétonitrile (CAS : 3252-43-5) et du 3,5-diméthyl-2h-tétrahydro-1,3,5-thiadiazine-2-thione (CAS : 533-74-4). Ainsi, bien que ces substances soient non bioaccumulables, une attention particulière à leur égard est recommandée. Le sel sodique de l'acide borique (CAS : 1333-73-9) apparaît comme persistant dans l'environnement aquatique. Néanmoins, en milieu aqueux, il se transforme en acide borique ou en borates et ces composés ne sont ni bioaccumulables dans les organismes aquatiques ni très toxiques pour la vie aquatique (HSDB, 2014).

Un composé est bioaccumulable par les organismes aquatiques. Il s'agit du di-isopropylnaphthalène (CAS : 38640-62-9). En l'absence de données sur sa biodégradabilité et sa toxicité vis-à-vis des organismes aquatiques, son potentiel de danger ne peut être déterminé. Si cette substance était utilisée au Québec, il conviendrait d'acquérir ou d'obtenir les données manquantes afin d'évaluer le danger associé à ce composé pour les milieux aquatiques.

Dix composés sont toxiques ou très toxiques pour les organismes. Parmi ceux-ci, sept composés sont rapidement biodégradables et non bioaccumulables, soit :

- Acétaldéhyde (CAS : 75-07-0);
- Chloroacétate de sodium (CAS : 3926-62-3);
- Chlorure de didécyldiméthylammonium (CAS : 7173-51-5);
- Cumène (CAS : 98-82-8);
- Glutaraldéhyde (CAS : 111-30-8);
- Laurylsulfate de sodium (CAS : 151-21-3);
- Phosphate de tributyle (CAS : 126-73-8).

Bien que non bioaccumulable, le 1-bromo-3-chloro-5,5-diméthyl-hydantoïne ou BCDMH (CAS : 16079-88-2) apparaît comme très toxique pour les organismes aquatiques. Si cette substance était utilisée au Québec, il conviendrait d'acquérir des données sur sa biodégradabilité afin d'évaluer son potentiel de persistance dans les milieux aquatiques. Enfin, les deux derniers composés établis comme étant toxiques ou très toxiques sont le dibromoacétonitrile (CAS : 3252-43-5) et le 3,5-diméthyl-2h-tétrahydro-1,3,5-thiadiazine-2-thione (CAS : 533-74-4).

Notons que le danger intrinsèque d'une substance n'informe pas sur les risques associés à cette substance lorsqu'elle est présente dans l'environnement, après une situation particulière. Le risque écotoxicologique associé à une substance dans l'environnement est fonction des caractéristiques intrinsèques de cette substance, mais aussi des concentrations et de la biodisponibilité de la substance pour les organismes du milieu et des caractéristiques du milieu. Ainsi, le travail réalisé dans le cadre de la présente étude est une première étape à la définition des risques associés aux substances pouvant être utilisées comme intrants de fracturation.

Plusieurs informations sur la persistance dans les milieux aquatiques, la bioaccumulation dans les organismes aquatiques ou la toxicité vis-à-vis de ces organismes sont manquantes pour de nombreux composés susceptibles d'être utilisés comme intrants de fracturation. Il est par conséquent recommandé d'acquérir ou d'obtenir des informations complémentaires sur les propriétés intrinsèques de ces composés.

Finalement, un suivi des connaissances sur la technique de fracturation hydraulique est également recommandé, ces techniques continuant d'évoluer rapidement, tout comme la composition des intrants de fracturation.

5. BIBLIOGRAPHIE

- AMEC ENVIRONMENT & INFRASTRUCTURE. 2014. *Phased environmental impact assessment – Phase III : natural gas exploration at Elgin sub-basin, Elgin, New Brunswick – Final report*. Technical report for Corridor Resources Inc., 80 p.
- ANCRE. 2012. *Programme de recherche sur l'exploitation des hydrocarbures de roches mères*. 43 p.
- BAPE. 2011. *Développement durable de l'industrie des gaz de schiste au Québec. Rapport 273*. Québec, Québec : Bureau d'audiences publiques sur l'environnement.
- BAPE. 2010. *Intrants utilisés dans les solutions de fracturation - gaz de schiste, DB10*. Document déposé dans le cadre des audiences publiques sur le développement durable de l'industrie des gaz de schiste au Québec, le 6 octobre 2010. Québec, Québec : Bureau d'audiences publiques sur l'environnement.
- BERTRAND, R., ET M. MALO. 2015. *Comparaison entre la Formation de Macasty, l'Île d'Anticosti, Québec et quelques roches mères à hydrocarbures de l'Amérique du Nord*. 39 p.
- BRODERICK, J., ET COLLAB. 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.
- CENTNER, T. J. 2013. « Oversight of shale gas production in the United States and the disclosure of toxic substances ». *Resources Policy*, vol. 38, n° 3, p. 233-240.
- COLBORN, T., C. KWIATKOWSKI, K. SCHULTZ et M. BACHRAN. 2011. « Natural Gas Operations from a Public Health Perspective ». *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, vol. 17, n° 5, p. 1039-1056.
- CONSEIL DES ACADÉMIES CANADIENNES. 2014. *Environmental Impacts of Shale Gas Extraction in Canada. Ottawa (ON): The Expert Panel on Harnessing Science and Technology to Understand the Environmental Impacts of Shale Gas Extraction, Council of Canadian Academies*, 292 p.
- GOUVERNEMENT DU CANADA. 2000. *Règlement sur la persistance et la bioaccumulation*. Gazette du Canada, Partie II, vol. 134, n° 7, DORS/2000-107, p. 607-608.
- GOUVERNEMENT DU CANADA. 1995. *Politique de gestion des substances toxiques*. Environnement Canada, gouvernement du Canada. En ligne. <<http://www.ec.gc.ca/toxics/fr/policy.cfm>>.
- HSDB. 2014. « Comprehensive, peer-reviewed toxicology data for about 5,000 chemicals ». En ligne. <<http://toxnet.nlm.nih.gov/newtoxnet/hsdb.htm>>.
- INSPQ (INSTITUT NATIONAL DE SANTÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC). 2010. *État des connaissances sur la relation entre les activités liées au gaz de schiste et la santé publique – Rapport préliminaire*. Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, 91 p.

- JENNER, S. et A. J. LAMADRID. 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*, vol. 53, p. 442-453.
- KARGBO, D.M., R.G. WILHELM et D.J. CAMPBELL. 2010. « Natural Gas Plays in the Marcellus Shale: Challenges and Potential Opportunities ». *Environmental Science & Technology*, vol. 44, n° 15, p. 5679-5684.
- KASSOTIS, C. D., D. E. TILLITT, J. W. DAVIS, A. M. HORMANN et S. C. NAGEL. 2013. « Estrogen and Androgen Receptor Activities of Hydraulic Fracturing Chemicals and Surface and Ground Water in a Drilling-Dense Region ». *Endocrinology*, vol. 155, n° 3, p. 897-907.
- LAVOIE, D., N. PINET, J. DIETRICH, P. HANNIGAN, S. CASTONGUAY, A.P. HAMBLIN et P. GILES. 2009. *Petroleum resource assessment, Paleozoic successions of the St. Lawrence platform and Appalachians of eastern Canada*. Commission géologique du Canada, dossier public n° 6174, 273 p.
- MALO, M., R. LEFEBVRE, F.A. COMEAU et S. SÉJOURNÉ. 2015. *Synthèse des connaissances portant sur les pratiques actuelles et en développement dans l'industrie pétrolière et gazière*. Soumis au Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles. Janvier 2015 – Québec. Rapport de recherche 1553.
- MDDEFP. 2013. *Détermination exhaustive des substances utilisées, ou susceptibles de l'être, pour le forage et la fracturation au Québec, et des sous-produits de dégradation et de réaction; évaluation de leurs propriétés toxicologiques et de leur potentiel de biodégradation, de bioaccumulation, de persistance et de toxicité globale*. Direction du suivi de l'état de l'environnement et Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Québec. ISBN 978-2-550-69919-4 (PDF), 85 p. + annexes.
- MRNF. 2010. *Développement du gaz de schiste au Québec*. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 26 p.
- NYCDEP. 2009. *Final impact assessment report: Impact assessment for natural gas production in the New York City water supply watershed*. New York City Department of Environmental Protection, and Hazen and Sawyer, Environmental Engineers and Scientists, New York City, 51 p.
- NYSDEC. 2011. *Revised Draft Supplemental Generic Environmental Impact Statement on the Oil, Gas and Solution Mining Regulatory Program – Well Permit Issuance for Horizontal Drilling and High-Volume Hydraulic Fracturing to Develop the Marcellus Shale and Other Low-Permeability Gas Reservoirs*. New York State Department of Environmental Conservation, 1537 p.
- OCDE (ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE). 1981a. *Ligne directrice de l'OCDE pour les essais de produits chimiques – Biodégradabilité dite intrinsèque : essai MITI modifié (II)*, 302 A. 22 p.

- OCDE (ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE). 1981b. *Ligne directrice de l'OCDE pour les essais de produits chimiques – Biodégradabilité dite intrinsèque : essai MITI modifié (II)*, 302 B. 22 p.
- OCDE (ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE). 1981c. *Ligne directrice de l'OCDE pour les essais de produits chimiques – Biodégradabilité dite intrinsèque : essai MITI modifié (II)*, 302 C. 22 p.
- OCDE (ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE). 1992. *Ligne directrice de l'OCDE pour les essais de produits chimiques – Biodégradabilité facile*, 301. 63 p.
- ROZELL, D. J., et S. J. REAVEN. 2012. « Water Pollution Risk Associated with Natural Gas Extraction from the Marcellus Shale ». *Risk Analysis*, vol. 32, n° 8, p. 1382-1393.
- SCGNC (SOCIÉTÉ CANADIENNE DES GAZ NON CONVENTIONNELS). 2015. « Introduction à la fracturation hydraulique ». En ligne. <http://www.csur.com/sites/default/files/Hydr_Frac_French_web.pdf>. Page consultée le 24 février 2015.
- STRINGFELLOW, W. T., J. K. DOMEN, M. K. CAMARILLO, W. L. SANDELIN et S. BORGLIN. 2014. « Physical, chemical, and biological characteristics of compounds used in hydraulic fracturing ». *Journal of Hazardous Materials.*, vol. 275, p. 37-54.
- USEPA (U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). 2011. « Plan to study the potential impacts of hydraulic fracturing on drinking water resources ». EPA/600/R 11/122, Washington, DC, 174 p.
- U.S. HOUSE OF REPRESENTATIVES, COMMITTEE ON ENERGY AND COMMERCE. 2011. *Chemicals Used in Hydraulic Fracturing*. Minority Staff Report. 32 p.
- WICKSTROM, L. 2013. « Geology and activity of the Utica-Point Pleasant of Ohio ». Tulsa Geological Society dinner meeting, March 5.

**ANNEXE 1 – PROPRIÉTÉS PHYSICOCHIMIQUES DES COMPOSÉS
NOUVELLEMENT IDENTIFIÉS**

ANNEXE 2 – LISTE DE COMPOSÉS IDENTIFIÉS, MAIS NON DOCUMENTÉS*

Annexe 2 – Liste de composés identifiés, mais non documentés*

Composé (nom français)	Composé (nom anglais)	CAS
Chlorure de calcium	Calcium chloride	10043-52-4
Peroxyde de calcium	Calcium peroxide	1305-79-9
Chlorure de potassium	Potassium chloride	7447-40-7
Métaborate de potassium	Potassium metaborate	13709-94-9
Persulfate de potassium	Potassium persulfate	7727-21-1
Oxyde de magnésium	Magnesium oxide	1309-48-4
Dioxyde de magnésium	Magnesium dioxide	14452-57-4
Dioxyde de chlore	Chlorine dioxide	10049-04-4
Chlorure de sodium	Sodium chloride	7647-14-5
Éthanol	Ethanol	64-17-5
Sulfate de cuivre	Copper sulfate	7758-98-7
Sulfate de fer	Ferrous sulfate	7720-78-7
Sulfate de nickel	Nickel sulfate	7786-81-4
Bisulfite de sodium	Sodium bisulfite	7631-90-5
Sel tétrasodique de l'acide éthylènediaminetétraacétique anhydre	Tetrasodium Ethylenediaminetetraacetate	64-02-8

* Les composés les plus communément utilisés par l'industrie n'ont pas été retenus étant donné que leur persistance dans l'environnement, leur potentiel de bioaccumulation et leur toxicité vis-à-vis des organismes aquatiques sont connus.