



Étude E2-2

Détermination des cours d'eau des Basses-Terres du Saint-Laurent qui ne peuvent pas fournir le volume d'eau nécessaire à l'industrie du gaz de shale

Bureau de coordination sur les évaluations stratégiques
Centre d'expertise hydrique du Québec

Octobre 2013

Auteurs

Jean-François Cyr⁽¹⁾, Georges Gangbazo⁽²⁾ et Simon Lachance-Cloutier⁽¹⁾

Avec la collaboration d'Yves Lachance⁽³⁾

⁽¹⁾Ingénieur; M.Sc., Centre d'expertise hydrique du Québec

⁽²⁾Ingénieur; Ph. D. (sciences de l'eau), Bureau de coordination sur les évaluations stratégiques

⁽³⁾Technicien en arts graphiques et appliqués; DEC (cartographie), Direction du patrimoine écologique et des parcs

Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs

Photo de la page couverture

Paysage des basses terres du Saint-Laurent, à Sainte-Anne-de-la-Pérade (Québec, Canada)

Source : <http://biblio.alloprof.qc.ca/ImagesDesFiches/7500-7999-Histoire-deuxieme-cycle/7606/7606i3.jpg>

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2013

ISBN 978-2-550-69322-2 (PDF)

© Gouvernement du Québec, 2013

Avertissement

Le présent document a été réalisé dans le cadre de l'évaluation environnementale stratégique (ÉES) sur le gaz de schiste¹. Le choix et la présentation des faits ainsi que les opinions exprimées dans ce document n'engagent aucunement le Comité de l'évaluation environnementale stratégique sur le gaz de schiste.

Par ailleurs, l'information présentée dans ce document étant de nature générale, le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs et les auteurs n'assument aucune responsabilité pour toute mauvaise interprétation ou utilisation des résultats de la présente étude à une quelconque fin.

Note au lecteur

La présente étude est complémentaire à l'étude E1-1 intitulée « Évaluation des besoins en eau de l'industrie du gaz de shale, détermination des impacts environnementaux de l'utilisation de l'eau et élaboration d'avis quant à l'encadrement de l'industrie ».

¹ Un schiste est une roche soit sédimentaire, soit métamorphique qui se caractérise par une texture feuilletée. Pour éviter la confusion, la plupart des géologues canadiens-français préfèrent utiliser le terme « shale » lorsqu'il s'agit d'une roche sédimentaire silicoclastique à granulométrie très fine et réserver le terme « schiste » à la roche métamorphique (MRNF, 2010). Toutefois, le Bureau de la traduction du Canada et l'Office québécois de la langue française considèrent le terme « shale » comme un anglicisme et privilégient l'utilisation du terme « schiste » ou « schiste sédimentaire ». Malgré tout, nous emploierons le terme « shale » dans le présent document pour parler de ce qui est parfois appelé « schiste ».

Mandat

L'évaluation environnementale stratégique sur le gaz de shale, dont l'objectif premier est de combler le manque d'information sur les impacts appréhendés résultant de l'implantation de cette industrie au Québec, passe par la réalisation d'une série d'études présentées dans le plan de réalisation rendu public dans sa version définitive en avril 2012. Parmi celles-ci, il y a la présente étude E2-2 intitulée « Détermination des cours d'eau des Basses -Terres du Saint-Laurent qui ne peuvent pas fournir le volume d'eau nécessaire à l'industrie ».

Pour réaliser ce mandat, le Bureau de coordination sur les évaluations stratégiques (BCÉS) a sollicité la collaboration de deux autres directions du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP). Il s'agit de la Direction des politiques de l'eau (DPE) pour le choix des critères décrivant la disponibilité en eau dans les bassins versants en regard de prélèvements d'eau par l'industrie et du Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) pour la quantification de l'indicateur hydrologique choisi comme critère de disponibilité de l'eau dans les bassins versants concernés. La DPE a fourni au BCÉS) un avis technique écrit qui a servi à la rédaction du présent rapport.

Sommaire exécutif

La possibilité qu'une rivière fournisse le volume d'eau requis par l'industrie du gaz de shale dépend, d'une part, des caractéristiques (hydrologiques, écologiques, etc.) du cours d'eau concerné et, d'autre part, de la répartition dans le temps et dans l'espace des prélèvements d'eau que nécessite la fracturation des puits, ainsi que de leurs interactions avec les prélèvements d'eau existants. L'ensemble de ces informations n'étant pas connu au moment de la réalisation de la présente étude, la réponse qui peut être fournie se trouve limitée. Nous avons dû baser notre méthodologie sur un certain nombre d'hypothèses et de critères d'évaluation. Au lieu de déterminer les cours d'eau qui ne peuvent pas fournir le volume d'eau nécessaire, nous avons plutôt choisi d'illustrer quelle importance, relativement au débit de ces cours d'eau, pourraient présenter certains scénarios de prélèvement d'eau par l'industrie. Tenant compte de l'avis technique préparé par la Direction des politiques de l'eau, le débit de chacun des cours d'eau concernés, choisi comme référence pour ce faire, est l'indicateur de débit d'étiage de récurrence de deux ans calculé sur sept jours consécutifs ($Q_{2,7}$). Compte tenu du fait que l'exploitation du gaz de shale peut se faire en toute période de l'année, la période considérée aux fins de la présente étude pour le calcul du $Q_{2,7}$ est la période annuelle (du 1^{er} janvier au 31 décembre).

Deux cas de figure ont été définis et analysés, chacun correspondant à un scénario d'estimation des besoins en eau de l'industrie, soit 1) le débit critique qui serait prélevé par un site multipuits type (38,7 L/s) et 2) celui qui résulterait du fonctionnement simultané de cinq de ces sites multipuits types (193,5 L/s). L'importance relative de chacun de ces deux scénarios de prélèvement est exprimée en pourcentage de la valeur du débit d'étiage $Q_{2,7}$ annuel des cours d'eau concernés. Les figures A et B présentent ces résultats, respectivement pour le premier cas de figure analysé (débit de 38,7 L/s qui serait prélevé par un site multipuits type) et pour le second cas (débit de 193,5 L/s qui serait prélevé simultanément par cinq sites multipuits types).

L'avis technique de la DPE précise que le critère de 20 % de la valeur du $Q_{2,7}$ est actuellement un des critères servant à déterminer l'impact cumulatif des prélèvements d'eau dans un cours d'eau et qu'il ne sera pas le seul critère après l'entrée en vigueur prochaine de l'article 19 de la Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et visant à renforcer leur protection. Si on utilise néanmoins, à titre indicatif, ce critère comme angle d'interprétation des figures A et B, on peut considérer que celles-ci illustrent, dans une certaine mesure, la portion de cette « possible disponibilité » des cours d'eau qui pourrait être sollicitée par les prélèvements potentiels de l'industrie du gaz de shale.

Figure A. Variation spatiale du ratio (%) « débit prélevé (38,7 L/s) sur la valeur du débit d'étéage $Q_{2,7}$ annuel » le long des principaux tronçons de cours d'eau concernés situés à l'intérieur des corridors d'exploration du gaz de shale

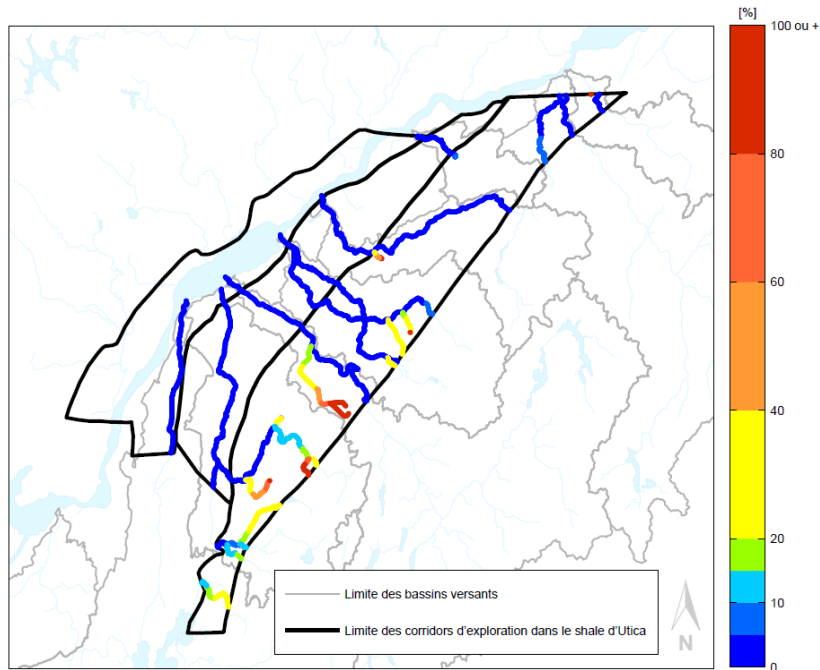
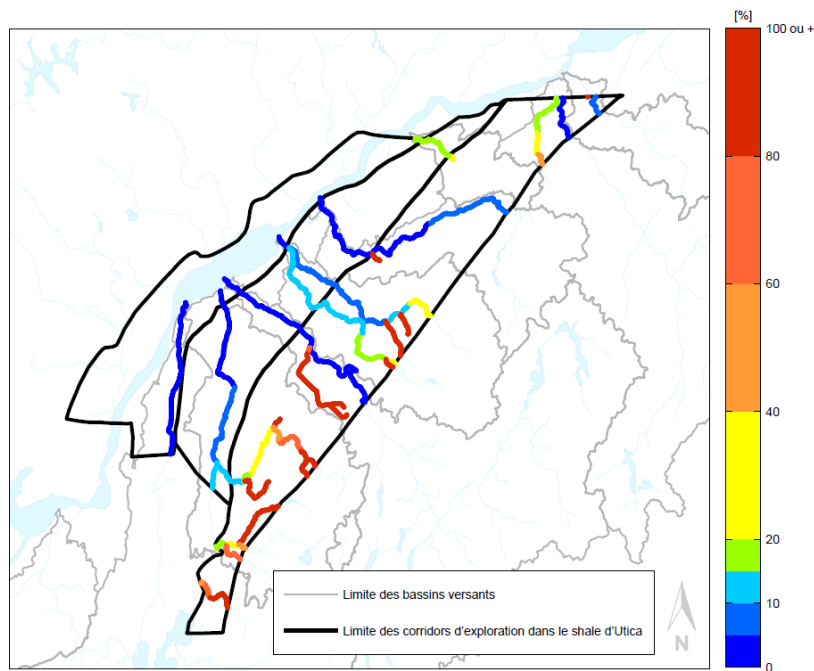


Figure B. Variation spatiale du ratio (%) « débit prélevé (193,5 L/s) sur la valeur du débit d'étéage $Q_{2,7}$ annuel » le long des principaux tronçons de cours d'eau concernés situés à l'intérieur des corridors d'exploration du gaz de shale



En ce sens, la figure A indique que, globalement, le débit prélevé d'un site multipuits type (38,7 L/s) se situerait dans la catégorie 0-5 % du débit d'étéage $Q_{2,7}$ pour environ 75 % du linéaire de cours d'eau illustré pour le territoire à l'étude. À l'autre bout du spectre, ce débit prélevé

constituerait plus de 20 % de la valeur du $Q_{2,7}$ pour environ 15 % du total du linéaire illustré. Pour cette catégorie de cours d'eau illustrés qui, en général, se situe logiquement dans la portion amont du territoire à l'étude, le critère de « 20 % du $Q_{2,7}$ » indiquerait que le débit prélevé par un seul site multipuits type utiliserait toute la capacité disponible de ces tronçons de cours d'eau.

Le portrait présenté par la figure B est analogue, mais diffère par ses résultats. Dans le cas où on compare le débit d'eau qui serait prélevé par le fonctionnement simultané de cinq sites multipuits types au débit d'étiage de ces cours d'eau, la figure B indique que, globalement, ce prélèvement de 193,5 L/s se situerait dans la catégorie 0-5 % du débit d'étiage $Q_{2,7}$ pour environ seulement 30 % du linéaire de cours d'eau illustré. Comme on pouvait s'y attendre, le déplacement des résultats se fait vers les pourcentages plus élevés de sollicitation du débit d'étiage des cours d'eau. Selon les résultats illustrés à la figure B, le pourcentage de cours d'eau qui serait alors sollicité à hauteur de 20 % ou plus de leur $Q_{2,7}$ par un tel prélèvement serait d'environ 30 %. Toutefois, il faut garder à l'esprit que le critère de 20 % du $Q_{2,7}$ s'applique cumulativement à la somme de tous les prélèvements effectués sur un même cours d'eau. Ce faisant, en considérant la très vraisemblable existence d'autres prélèvements dans ces bassins versants, on peut déduire facilement qu'une proportion supérieure à 30 % du linéaire de cours d'eau illustré n'aurait pas, selon ce critère, la capacité disponible pour accueillir cette sollicitation de 193,5 L/s de la part de l'industrie du gaz de shale dans le territoire à l'étude.

À cet égard, la comparaison des volumes annuels d'eau requis par l'industrie avec ceux des autres secteurs d'activité effectuant actuellement des prélèvements (excluant les prélèvements agricoles et piscicoles), a permis de faire un certain nombre de constats : 1) pour le scénario de développement minimal (à petite échelle) de l'industrie (scénario 3), défini par le Comité de l'évaluation environnementale stratégique sur le gaz de schiste (CEES, 2012), l'importance des besoins en eau annuels de l'industrie relativement aux autres secteurs d'activité (excluant les secteurs agricole et piscicole) est faible (variation entre 1 et 5 %) dans les bassins versants des rivières Chaudière, Etchemin, Nicolet, Richelieu, Saint-François et Yamaska. Elle est plus considérable (≈ 25 %) dans le bassin versant de la rivière Bécancour et est élevée (≈ 70 %) dans le bassin versant de la rivière Du Chêne; 2) pour le scénario de développement maximal (à grande échelle) de l'industrie du gaz de shale [scénario 5] (CEES, 2012), l'importance relative des besoins en eau annuels de l'industrie est plutôt faible (variation entre 3 et 10 %) dans les bassins versants des rivières Chaudière, Etchemin, Richelieu et Saint-François. Elle est plus considérable (≈ 25 %) dans les bassins versants des rivières Nicolet et Yamaska et extrêmement élevée dans les bassins versants des rivières Bécancour (≈ 110 %) et Du Chêne (≈ 400 %).

L'encadrement législatif des prélèvements d'eau est appelé à changer avec l'entrée en vigueur prochaine de l'article 19 de la Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et visant à renforcer leur protection (Gouvernement du Québec, 2009). Ce changement établira de nouvelles façons de faire en matière de délivrance d'autorisation pour des prélèvements d'eau. En exerçant ce nouveau pouvoir d'autorisation qui sera introduit dans la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE), les impacts environnementaux du prélèvement ainsi que les conséquences sur les autres usagers doivent être pris en compte (articles 31.76 et 31.77 de la LQE). De plus, l'article 31.76 de la LQE mentionne que les prélèvements d'eau industriels ne pourront pas être autorisés au détriment de l'alimentation en eau potable et des besoins des écosystèmes.

Dans l'hypothèse où l'industrie du gaz de shale se développerait, la répartition spatiale et temporelle des prélèvements d'eau que nécessitent le forage et la fracturation des puits devra être connue. De plus, la répartition spatiale et temporelle de tous les autres prélèvements d'eau existants dans chaque bassin versant devra aussi être connue et une évaluation des impacts potentiels des prélèvements d'eau de l'industrie devra être réalisée au cas par cas au moment de toute demande d'autorisation de prélèvement d'eau en vertu de la LQE.

Table des matières

Mandat.....	iii
Sommaire exécutif.....	iii
Table des matières.....	vi
Liste des tableaux.....	vii
Liste des figures.....	vii
1. Introduction.....	8
2. Encadrement législatif des prélèvements d'eau.....	9
3. Méthodologie.....	10
3.1. Estimation des débits d'étiage des cours d'eau à l'étude.....	11
3.1.1. Débits d'étiage estimés aux stations hydrométriques.....	11
3.1.2. Détermination des cours d'eau concernés et ventilation spatiale des résultats.....	14
3.2. Estimation des besoins en eau de l'industrie dans chacun des bassins versants à l'étude.....	15
3.2.1. Estimation du besoin en eau d'un site d'exploitation type.....	15
3.2.2. Nombre potentiel de sites d'exploitation par bassin versant.....	19
3.2.3. Simultanéité d'opérations et de prélèvements d'eau dans un même bassin versant.....	20
4. Estimation de l'importance relative des débits qui pourraient être prélevés par l'industrie par rapport aux valeurs estimées du débit d'étiage des cours d'eau à l'étude.....	22
5. Comparaison des besoins en eau de l'industrie aux prélèvements d'eau existants dans chacun des bassins versants à l'étude.....	24
6. Conclusion.....	26
Bibliographie.....	28

Liste des tableaux

Tableau 1.1	Utilisations de l'eau de surface par secteur d'activité au Québec	10
Tableau 1.2	Comparaison des besoins en eau de l'industrie du gaz de shale à ceux d'autres usagers pour les eaux de surface	10
Tableau 3.1	Stations hydrométriques et valeurs des débits d'étiage retenues pour l'étude	13
Tableau 3.2	Nombre de puits dans les bassins versants en fonction de la superficie	22
Tableau 5.1	Volume d'eau prélevé (eau de surface et eau souterraine) par secteur d'activité pour chacun des bassins versants à l'étude	26
Tableau 5.2	Volume d'eau requis par l'industrie du gaz de shale par bassin versant selon les scénarios 3 et 5	26
Tableau 5.3	Comparaison des besoins en eau de l'industrie dans chacun des bassins versants à l'étude aux prélèvements en eau totaux des autres usagers, excluant les secteurs agricole et piscicole	27

Liste des figures

Figure 1.1	Emplacement des bassins versants à l'étude	11
Figure 3.2	Localisation des périmètres des bassins versants concernés à l'intérieur des corridors d'exploitation du gaz de shale	15
Figure 3.3	Variation spatiale de la valeur du débit d'étiage $Q_{2,7}$ annuel le long des principaux tronçons de cours d'eau concernés situés à l'intérieur des corridors d'exploitation du gaz de shale	16
Figure 3.4	Mode d'utilisation de l'eau aux fins du fonctionnement d'un site multipuits type : le cas d'un pompage de 24 heures par jour pour remplir les réservoirs	20
Figure 3.5	Corridors d'exploration dans le shale d'Utica	21
Figure 3.6	Estimation de la superficie occupée par chacun des bassins versants dans les corridors d'exploitation dans le shale d'Utica	22
Figure 3.7	Mode d'utilisation de l'eau aux fins du fonctionnement de cinq sites multipuits type : le cas d'un pompage de 24 heures par jour pour remplir les réservoirs	23
Figure 4.1	Variation spatiale du ratio (%) « débit prélevé (38,7 L/s) sur la valeur du débit d'étiage $Q_{2,7}$ annuel » le long des principaux tronçons de cours d'eau concernés situés à l'intérieur des corridors d'exploitation du gaz de shale	24
Figure 4.2	Variation spatiale du ratio (%) « débit prélevé (193,5 L/s) sur la valeur du débit d'étiage $Q_{2,7}$ annuel » le long des principaux tronçons de cours d'eau concernés situés à l'intérieur des corridors d'exploitation du gaz de shale	25

1. Introduction

L'ampleur des besoins en eau pour le forage et la fracturation des puits est l'un des principaux enjeux de l'exploitation du gaz de shale. En effet, il y a une étroite corrélation entre la quantité d'eau injectée dans un puits et la production de gaz (IEA, 2012; Nicot & Scanlon, 2012). Les prélèvements d'eau sont généralement effectués sur une courte période de temps. Cela dit, on ne peut pas prélever l'eau dans n'importe quel plan d'eau, car le prélèvement d'une grande quantité d'eau sur une courte période de temps peut réduire les débits de certains petits cours d'eau (Nicot & Hayes, 2010; U.S. EPA, 2010). De plus, il faut s'assurer de ne pas prélever de l'eau au détriment d'autres activités essentielles comme l'alimentation en eau potable, d'autres industries (CSR, 2012; Nicot & Scanlon, 2012; Office national de l'énergie, 2009) ou des besoins des écosystèmes aquatiques (Healy, 2012). Les risques de prélever une trop grande quantité d'eau par rapport à la capacité des cours d'eau sont plus élevés en période d'étiage où les débits de certains cours d'eau sont parfois très faibles (Garcia, 2012). C'est le cas aussi pendant les périodes de sécheresse, comme celles que le Québec a connues au cours de l'été 2012.

Dans certaines régions des États-Unis, l'utilisation de l'eau pour la fracturation crée déjà des conflits avec d'autres usagers de l'eau au point de risquer de restreindre la production de gaz naturel dans le futur (Cooley & Donnelly, 2012). Les préoccupations concernant la disponibilité de l'eau ne se limitent pas seulement aux climats arides comme au Texas. La Pennsylvanie est généralement considérée comme un État riche en eau. Cependant, en août 2011, 13 permis de prélèvement d'eau approuvés préalablement dans le bassin versant de la rivière Susquehanna ont été suspendus temporairement à cause des débits jugés trop faibles; 11 de ces permis avaient été accordés à des projets de gaz naturel (Susquehanna River Basin Commission, 2011). Même si certaines parties de l'État étaient anormalement sèches, le bassin versant ne subissait pas une période de sécheresse à ce moment-là.

Dans le cadre de l'étude E1-1², Gangbazo (2013) a estimé que les besoins en eau pour forer et fracturer les puits au Québec pourraient varier entre 7,57 millions de mètres cubes (m³) pendant l'année 2019 et 45,6 millions de mètres cubes pendant l'année 2024. L'étude montre aussi que le Québec dispose de 990 000 millions de m³/année d'eaux renouvelables³ qui coulent dans plus de 4 500 rivières. Selon les données disponibles, les prélèvements d'eau de surface par les différents usagers représentent un très faible pourcentage du volume annuel d'eau disponible, soit 0,5 % (Gouvernement du Québec, 1997) ou 4 950 millions de m³/année (tableau 1.1). Les municipalités utilisent 49 % de ce prélèvement et le secteur manufacturier, 46 %, les mines et l'agriculture ne représentant qu'environ 5 % des prélèvements actuels (BAPE, 2000; MENV, 2002).

En se basant sur les données précédentes, Gangbazo (2013) a montré que pour l'ensemble du territoire québécois, les besoins en eau de l'industrie du gaz de shale ne représenteraient que de 0,0007 % à 0,0046 % du volume d'eau de surface disponible. Dans un autre ordre d'idées, ces besoins représentent seulement de 0,31 % à 1,88 % des prélèvements d'eau effectués par les municipalités ou de 0,48 % à 2,9 % des prélèvements d'eau par l'industrie des pâtes et papiers (tableau 1.2). Cela a amené l'auteur à conclure que, globalement, les disponibilités en eau de surface ne constituent pas une contrainte pour l'industrie du gaz de shale au Québec. Évidemment, il s'agit de comparaisons globales effectuées pour l'ensemble du territoire québécois et qui ne tiennent pas compte des disparités spatiales existant dans la demande

² Cette étude s'intitule comme suit : « Évaluation des besoins en eau de l'industrie du gaz de shale, détermination des impacts environnementaux de l'utilisation de l'eau et élaboration d'avis quant à l'encadrement de l'industrie ».

³ Les réserves en eau douce sont calculées à partir des débits annuels moyens des cours d'eau. Elles ne comprennent pas les eaux des lacs et l'eau souterraine.

comme dans la disponibilité. Alors, qu'en est-il pour les bassins versants situés dans les territoires qui sont concernés par un éventuel développement du gaz de shale?

Selon le BAPE (2011), neuf bassins versants pourraient être concernés par un éventuel développement des ressources gazières. Il s'agit des bassins versants des rivières Etchemin, Chaudière, Du Chêne, Bécancour, Nicolet, Saint-François, Yamaska, Richelieu et Châteauguay (figure 1.1). Cela dit, en superposant les corridors de développement de l'industrie du gaz de shale à la carte des bassins versants du Québec, on observe que le bassin de la rivière Châteauguay ne devrait pas être touché par un développement éventuel de l'industrie, comme nous le montrerons plus tard. L'objectif de la présente étude est de déterminer si certains de ces bassins versants ne pourraient pas fournir le volume d'eau nécessaire à l'industrie.

Tableau 1.1. Utilisations de l'eau de surface par secteur d'activité au Québec

Volume d'eau prélevé (millions de m ³)	Usagers (secteur d'activité)	Prélèvement d'eau	
		%	Millions de m ³
4 950	Municipal	49 [†]	2 425
	Manufacturier	46 [†]	2 277
	Agricole et minier	5 [†]	247

Sources : BAPE (2000); Gouvernement du Québec (1997); MENV (2002).

[†] Pourcentage par rapport au volume d'eau de surface.

Tableau 1.2. Comparaison des besoins en eau de l'industrie du gaz de shale à ceux d'autres usagers pour les eaux de surface

Usagers	Prélèvement d'eau (millions de m ³ /année)	Utilisation d'eau par l'industrie du gaz de shale (% [‡])
Industrie du gaz de shale ⁴		
Scénario 3	7,57	-
Scénario 5	45,6	-
Municipalités	2 425	0,31 à 1,88 ^{†††}
Secteur manufacturier	2 277	0,33 à 2,00 ^{†††}
Secteurs agricole et minier	247,0	3,05 à 18,4 ^{†††}
Industrie québécoise des pâtes et papiers [†]	1 572	0,48 à 2,9 ^{†††}
Industrie du ciment ^{††}	106,0	7,1 à 43,0 ^{†††}

[†] Soixante-neuf pour cent des prélèvements d'eau de surface servent à l'industrie québécoise des pâtes et papiers (Gouvernement du Québec, 1997).

^{††} Source : O'Shea (2010) cité par Junex Inc. (2010).

^{†††} Pour les scénarios 3 et 5 respectivement.

[‡] Pourcentage par rapport au volume d'eau prélevé par les autres usagers.

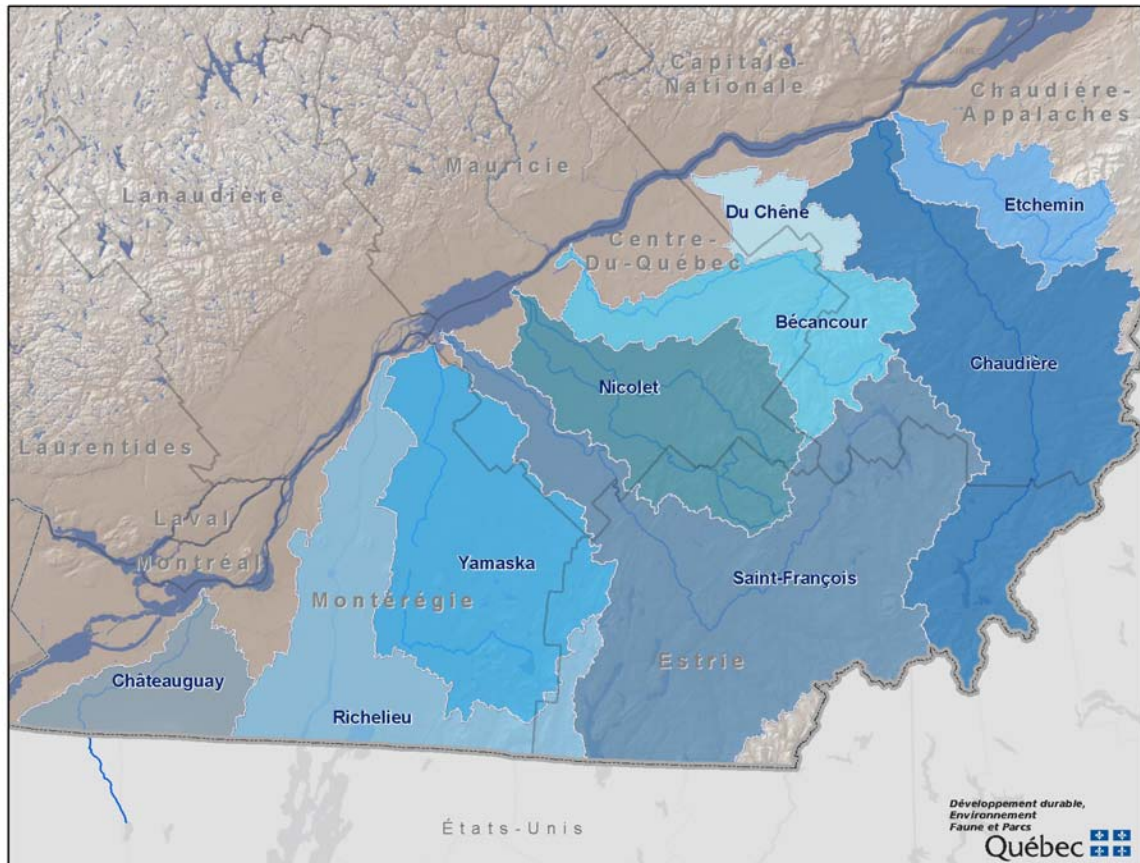
2. Encadrement législatif des prélèvements d'eau

L'encadrement des prélèvements d'eau est appelé à changer avec l'entrée en vigueur prochaine de l'article 19 de la Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et visant à renforcer leur protection (Gouvernement du Québec, 2009). Ce changement établira de nouvelles façons

⁴ Le lecteur qui désire avoir des explications sur les scénarios peut consulter l'étude P-1 (CEES, 2012).

de faire en matière de délivrance d'autorisation pour des prélèvements d'eau. En exerçant ce nouveau pouvoir d'autorisation qui sera introduit dans la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE), les impacts environnementaux du prélèvement ainsi que les conséquences sur les autres usagers seront pris en compte (articles 31.76 et 31.77 de la LQE). De plus, l'article 31.76 de la LQE mentionne que les prélèvements d'eau industriels ne pourront pas être autorisés au détriment de l'alimentation en eau potable et des besoins des écosystèmes.

Figure 1.1. Emplacement des bassins versants à l'étude



Pour déterminer les impacts d'un projet de prélèvement d'eau, la localisation, la période ainsi que le débit de ce prélèvement, les autres prélèvements existants, usagers et écosystèmes doivent être connus. En plus des pouvoirs et responsabilités du ministre en matière d'autorisation des prélèvements d'eau qui ont été mentionnés précédemment, on utilise actuellement le critère de 20 % du $Q_{2,7}$ pour l'analyse des projets de prises d'eau⁵ (voir la section 3.1.1 pour plus de détails). Toutefois, dans certains cas, il peut être nécessaire de considérer d'autres critères afin de préserver les écosystèmes ainsi que les besoins des autres usagers.

3. Méthodologie

⁵ Fiche technique n° 14 sur les prises d'eau du *Guide d'analyse des projets d'intervention dans les écosystèmes aquatiques, humides et riverains assujettis à l'article 22 de la Loi sur la qualité de l'environnement*.

La possibilité qu'une rivière fournisse le volume d'eau requis par l'industrie dépend entre autres des impacts appréhendés sur l'environnement, tant de la part des prélèvements d'eau de l'industrie que de celle des prélèvements des autres usagers. Pour déterminer cette possibilité, il faut, d'une part, connaître les caractéristiques (hydrologiques, écologiques, etc.) du cours d'eau concerné et, d'autre part, la valeur ainsi que la répartition dans le temps et dans l'espace des prélèvements d'eau concernés, tant ceux prévisibles de la part de l'industrie du gaz de shale que ceux qui existent déjà dans les bassins versants concernés. C'est de cette façon qu'on peut évaluer les interactions (cumuls possibles) entre ces prélèvements et ainsi analyser les impacts potentiels sur les cours d'eau touchés. Dans l'hypothèse où l'industrie se développerait, ces informations devront être disponibles et une évaluation des impacts potentiels devra être réalisée au cas par cas lors de toute demande d'autorisation de prélèvement d'eau en vertu de la LQE. En l'absence d'une quantité suffisante d'informations au moment de réaliser la présente étude, la réponse qui peut être fournie, concernant la possibilité qu'un des bassins versants concernés puisse fournir le volume d'eau requis par l'industrie, se trouve limitée. Aussi, sur la base d'un certain nombre d'hypothèses, la méthodologie adoptée vise-t-elle plutôt à illustrer quelle importance, relativement au débit de ces cours d'eau (débit de référence), pourraient présenter certains scénarios de prélèvement d'eau par l'industrie. Compte tenu de la plus grande vulnérabilité des cours d'eau lors des périodes d'étiage, comme mentionné en introduction, de même que de l'avis technique obtenu de la Direction des politiques de l'eau du MDDEFP, le débit de référence choisi pour chacun des cours d'eau concernés est l'indicateur de débit d'étiage de récurrence de deux ans calculé sur sept jours consécutifs ($Q_{2,7}$).

La méthodologie utilisée comporte quatre étapes, à savoir :

- 1) Estimation des débits d'étiage des cours d'eau à l'étude;
- 2) Estimation des besoins en eau de l'industrie dans chacun des bassins versants à l'étude (pour cela, il a fallu présenter les besoins en eau de l'industrie sous la forme de débits à prélever [$Q_{\text{prel-industrie}}$]);
- 3) Comparaison des débits à prélever aux débits d'étiage des cours d'eau concernés en utilisant les ratios $Q_{\text{prel-industrie}}/Q_{2,7}$;
- 4) Comparaison des besoins en eau annuels de l'industrie aux prélèvements d'eau existants, dans chacun des bassins versants à l'étude.

3.1. Estimation des débits d'étiage des cours d'eau à l'étude

3.1.1. Débits d'étiage estimés aux stations hydrométriques

Le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) diffuse sur son site Internet les résultats d'estimation et la cartographie de débits d'étiage⁶ réalisés aux sites de plusieurs stations hydrométriques du Québec. La cartographie présentée permet d'obtenir un portrait rapide des débits d'étiage connus en différents points du réseau hydrographique. On peut consulter l'ensemble de ces résultats ainsi que la méthodologie de calcul suivie en utilisant le lien suivant : <http://www.cehq.gouv.qc.ca/debit-etiage/index.htm>.

⁶ Un étiage se définit comme une baisse périodique des eaux d'un cours d'eau. Il correspond au plus bas niveau des eaux atteint au cours de l'année. Il s'agit des débits observés lorsque l'apport en eau de ruissellement est faible ou nul et que l'écoulement souterrain est pratiquement seul à alimenter les eaux de surface. Au Québec, l'hiver est souvent propice aux étiages importants puisque les précipitations solides s'accumulent en surface sans atteindre le réseau de drainage ni la nappe d'eau souterraine. Les étiages peuvent aussi être observés en été ou au début de l'automne lorsque les précipitations se font rares pendant des périodes plus ou moins prolongées.

En fonction des deux saisons typiques d'étiage rencontrées au Québec, soit l'hiver et la période de fin d'été/début d'automne, on considère souvent deux périodes de calcul des indicateurs de débit d'étiage. La première est la période annuelle complète (du 1^{er} janvier au 31 décembre). Celle-ci englobe à la fois les conditions hivernales et estivales, la plus critique de ces deux conditions constituant alors l'échantillon historique analysé. La seconde période de calcul est la période estivale, définie sur le plan hydrologique comme étant du 1^{er} juin au 31 octobre. La raison pour laquelle on considère de façon spécifique une période de calcul estivale vient du fait que plusieurs usages de l'eau sont particulièrement rattachés à cette période.

L'évaluation des débits d'étiage se fait au moyen des indicateurs hydrologiques statistiques. Parmi ceux-ci, l'indicateur appelé $Q_{2,7}$ est probablement l'indicateur hydrologique d'étiage le plus utilisé au Québec et est un des indicateurs présentés sur le site Internet du CEHQ. Il se définit comme étant la valeur du débit moyen calculé sur sept jours consécutifs d'étiage, dont la probabilité d'occurrence annuelle est de 50 % (valeur médiane). Autrement dit, il s'agit d'une situation qu'il est probable de rencontrer en moyenne une année sur deux (récurrence de deux ans) si on considère une série temporelle d'un grand nombre d'années.

Les opérations de l'industrie du gaz de shale requérant des prélèvements d'eau peuvent être réalisées en tout temps de l'année; elles peuvent donc avoir tant lors d'étiages hivernaux que lors d'étiages estivaux. Aussi, les valeurs de $Q_{2,7}$ qui seront considérées aux fins de la présente étude sont celles des $Q_{2,7}$ annuels, donc celles obtenues à partir de débits observés lors de la condition d'étiage la plus critique de chaque année de l'historique analysé (périodes du 1^{er} janvier au 31 décembre). Le tableau 3.1 présente l'information relative aux stations hydrométriques retenues. On y retrouve le numéro et le nom de la station, la superficie de son bassin versant, les valeurs des débits d'étiage annuels et estivaux de récurrence de deux ans ($Q_{2,7}$) ainsi que la période de l'historique utilisée pour le calcul de cette statistique.

Tableau 3.1. Stations hydrométriques et valeurs des débits d'étiage retenues pour l'étude

Station	Nom	Superficie km ²	Étiages annuels ($Q_{2,7}$)	Étiages estivaux ($Q_{2,7}$)	Période utilisée
			m ³ /s	m ³ /s	
023303	Etchemin	1 150,0	2,99	3,27	1981-2008
023401	Beaurivage	707,00	1,21	1,33	1970-2008
023402	Chaudière	5 822	9,37	10,0	1970-2008
023701	Petite du Chêne	361,00	0,57	0,55	1974-2006
024003	Bécancour	917,00	1,95	2,18	1970-2009
024013	Bécancour	229,00	0,58	0,71	1979-2008
024014_07	Bécancour	2 161,0	4,93	5,52	1970-2009
030101	Nicolet Sud-Ouest	550,00	0,68	0,75	1970-2008
030103	Nicolet	1 544,0	2,54	2,72	1970-2008
030215	Coaticook	526,00	1,08	1,20	1977-2008
030234	Eaton	646,00	0,95	1,00	1970-2008
030262_91	Saint-Germain	263,00	0,22	0,26	1973-2008
030282	Au Saumon	734,00	1,29	1,30	1975-2008
030304	Noire	1 509,0	1,36	1,45	1970-2008
030314	Yamaska Sud-Est	213,00	0,15	0,18	1969-2008
030345_41_34	Yamaska	3 366,0	3,58	4,09	1978-2008
030346_39	Noire	594,00	0,32	0,32	1982-2002
030346_39	Noire	594,00	0,32	0,32	1982-2002

030401	Richelieu	22 000	139,2	143	1970-2010
030420	Aux Brochets	396,00	0,27	0,27	1982-2008

Il est également possible de consulter les valeurs des débits d'étiage annuels et estivaux sous forme cartographique sur le site Internet du CEHQ, à l'adresse <http://www.cehq.gouv.qc.ca/debit-etiage/cartes/debits-etiage.htm>. Plus spécifiquement, les résultats relatifs aux bassins versants concernés par la présente étude figurent parmi ceux qui sont présentés sur les cartes des régions hydrographiques 02 et 03 qu'on peut respectivement consulter sur le site Internet du CEHQ au http://www.cehq.gouv.qc.ca/debit-etiage/cartes/debit_etiage_01_02_specifique_annuel.pdf et au http://www.cehq.gouv.qc.ca/debit-etiage/cartes/debit_etiage_03_specifique_annuel.pdf. Les valeurs de débit y sont présentées sous la forme de débits spécifiques, c'est-à-dire exprimés par unité de superficie du bassin versant de la station hydrométrique concernée (L/s par km²). On peut aussi y lire la superficie de chacun des bassins versants correspondants, de sorte qu'il soit possible de traduire ces valeurs spécifiques en valeurs absolues (L/s ou m³/s).

Dans le tableau 3.1 et sur les cartes, on constate que les valeurs des Q_{2,7} annuels sont en général légèrement inférieures à celles des Q_{2,7} estivaux pour les stations hydrométriques sises dans les bassins versants concernés par la présente étude. Cela indique que l'étiage le plus sévère de l'année peut parfois survenir en hiver. Il importe néanmoins de souligner que c'est au cours de l'été et de l'automne que survient la grande majorité des conditions d'étiage les plus critiques de l'année pour ces régions.

Mentionnons également que les valeurs des débits d'étiage présentées sur le site Internet du CEHQ ont été mises à jour en 2011 et que les plus récentes données disponibles utilisées lors de cette mise à jour datent de l'année 2010. Dépendamment des stations, certains historiques d'enregistrement plus ou moins récents peuvent toutefois avoir été utilisés. En général, seules les données enregistrées après 1970 ont été considérées dans les analyses statistiques afin de s'assurer que celles-ci ont été recueillies par des instruments automatiques et qu'elles sont de meilleure qualité.

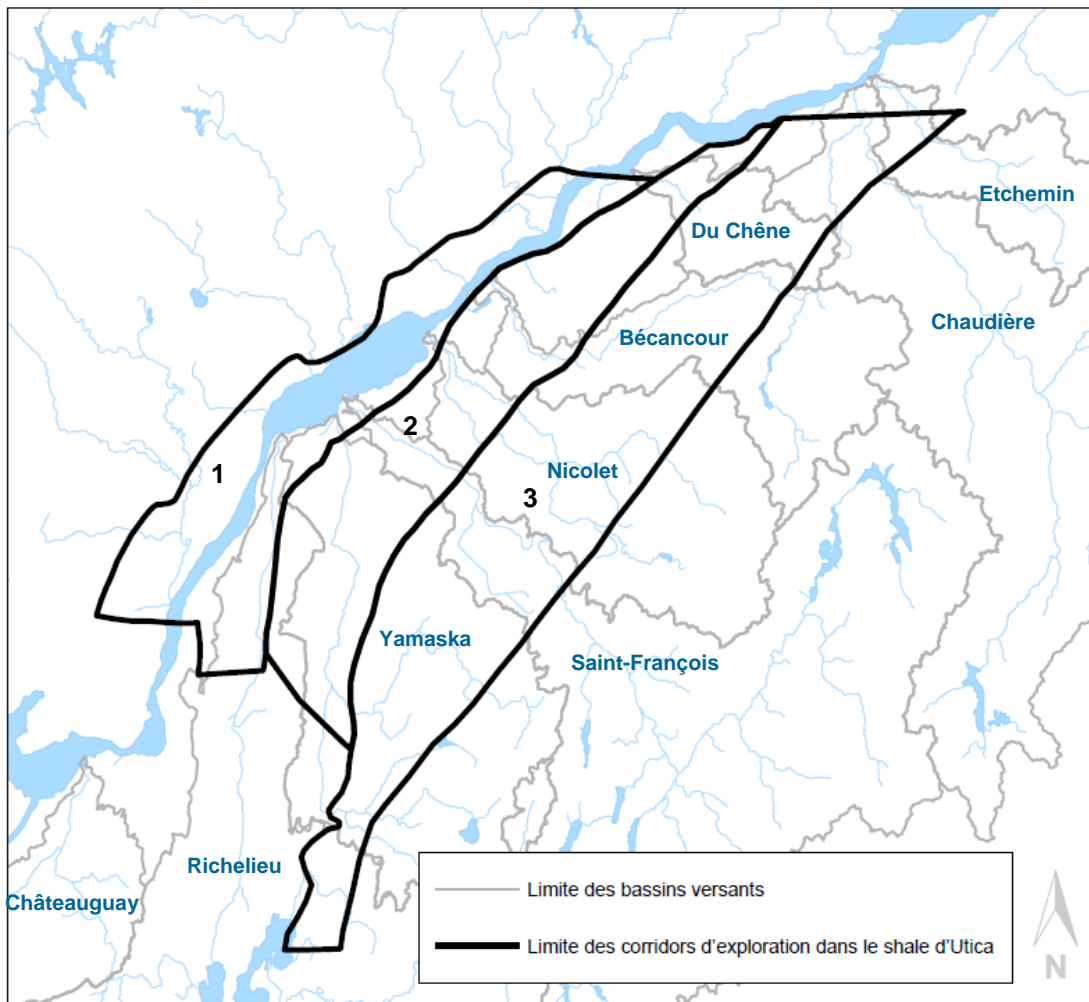
Un tableau consignant l'information relative aux débits d'étiage pour l'ensemble des stations hydrométriques exploitées par le CEHQ est disponible à l'adresse <http://www.cehq.gouv.qc.ca/debit-etiage/Tableau-debits-etiage-stations-hydrometriques.pdf>. Il importe également de faire remarquer que les valeurs de débits d'étiage retenues ne tiennent compte d'aucune projection relative à l'impact potentiel des changements climatiques sur le régime hydrique des cours d'eau. À cet égard, le lecteur peut consulter le document intitulé « Atlas hydroclimatique du Québec méridional – Impact des changements climatiques sur les régimes de crue, d'étiage et d'hydraulicité à l'horizon 2050 », disponible sur le site Internet du CEHQ à l'adresse <http://www.cehq.gouv.qc.ca/hydrometrie/atlas/index.htm>.

De façon générale, les projections hydroclimatiques réalisées pour la production de cet atlas permettent d'anticiper à l'horizon 2050 un changement important dans la variation saisonnière du régime hydrique des cours d'eau du Québec méridional. Elles mènent notamment à conclure que, pour la région correspondant aux bassins concernés par l'étude, les débits moyens mensuels de décembre à février risqueraient fort probablement d'augmenter de l'ordre de 30 à 70 %, tandis que ceux des mois de juillet à octobre accuseraient vraisemblablement une diminution de l'ordre de 15 à 25 %. En ce qui concerne plus particulièrement les étiages d'été et d'automne, les projections à l'horizon 2050 indiquent qu'ils seraient fort probablement à la fois plus sévères (diminution des Q_{2,7} d'environ 10 à 18 %) et plus longs (de l'ordre de 20 à 40 jours de plus par année présentant un débit sous la valeur du Q_{2,7} actuel). On peut donc s'attendre à ce que, dans cette région, les étiages d'été et d'automne constituent alors davantage les conditions d'étiage les plus critiques de l'année et que moins d'eau soit disponible pour les prélèvements lors de ces conditions.

3.1.2. Détermination des cours d'eau concernés et ventilation spatiale des résultats

Pour les besoins de la présente étude, il faut avoir une ventilation spatiale des valeurs de $Q_{2,7}$ qui sont estimées aux stations hydrométriques illustrées sur le site Internet du CEHQ. Plus précisément, l'étude s'intéressera en particulier aux différentes valeurs de cet indicateur pouvant varier le long des tronçons des cours d'eau principaux des bassins versants concernés, qui se retrouvent à l'intérieur des périmètres des corridors d'exploration du gaz de shale. La figure 3.2 localise ces zones d'intérêt ainsi que le tracé de ces cours d'eau principaux drainant les bassins versants concernés.

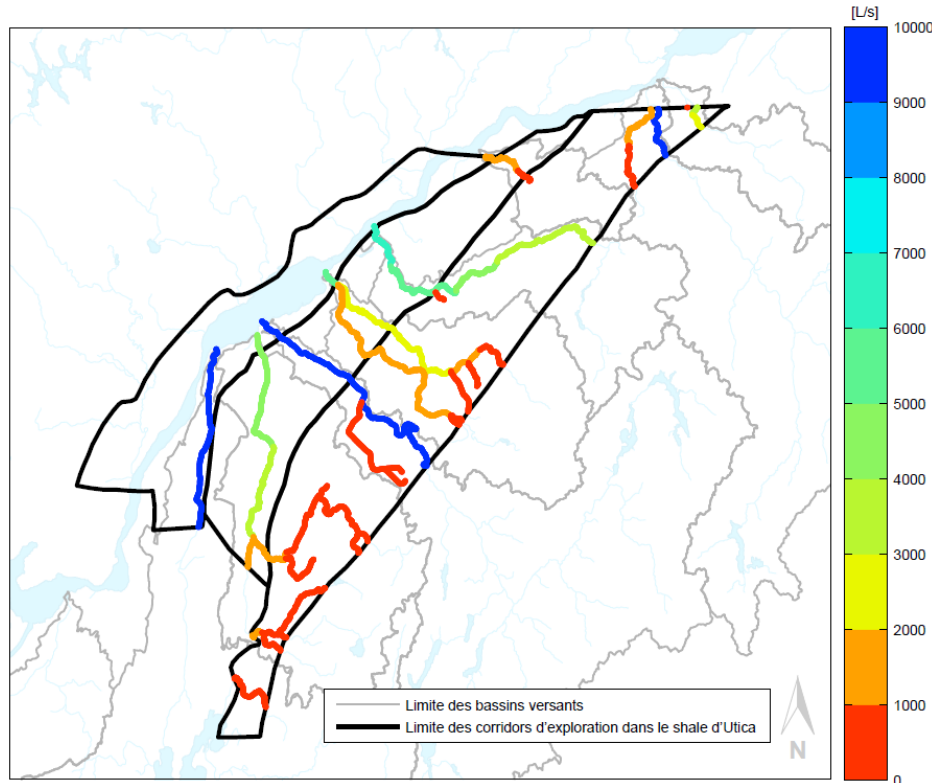
Figure 3.2. Localisation des périmètres des bassins versants concernés situés à l'intérieur des corridors d'exploration du gaz de shale



Puisque l'information primaire disponible concernant les valeurs des $Q_{2,7}$ annuels demeure celle obtenue aux stations hydrométriques, on utilise certaines techniques pour transposer ces valeurs de $Q_{2,7}$ calculées aux stations hydrométriques vers d'autres sites dans ces bassins versants. Différents critères d'applicabilité, exposés sur le site Internet du CEHQ, servent à guider le choix des techniques à utiliser en fonction des situations rencontrées. Le résultat de cet exercice peut ensuite être cartographié afin d'illustrer, au moyen d'une légende de couleurs, la variation spatiale obtenue de la valeur des $Q_{2,7}$ le long des tronçons des cours d'eau principaux en

question. Le résultat de cet exercice est illustré à la figure 3.3. Celle-ci présente la variation estimée, le long des tronçons des cours d'eau concernés, des valeurs du $Q_{2,7}$ annuel calculées aux diverses stations hydrométriques sélectionnées à cet effet aux fins de la présente étude. Comme il fallait s'y attendre, les débits augmentent de l'amont vers l'aval des cours d'eau à mesure que la superficie tributaire du bassin versant qui s'y draine s'accroît.

Figure 3.3. Variation spatiale de la valeur du débit d'étiage $Q_{2,7}$ annuel le long des principaux tronçons de cours d'eau concernés situés à l'intérieur des corridors d'exploration du gaz de shale



3.2. Estimation des besoins en eau de l'industrie dans chacun des bassins versants à l'étude

3.2.1. Estimation du besoin en eau d'un site d'exploitation type

Selon Gangbazo (2013), les besoins en eau de l'industrie pour la stimulation par fracturation hydraulique d'un puits sont de l'ordre de $1\,670\text{ m}^3$ par étape de fracturation, une étape correspondant à un segment d'environ 120 m. Ceci représente donc $21\,710\text{ m}^3$ pour un puits vertical avec une extension horizontale ayant typiquement une longueur d'environ 1 600 m, nécessitant 13 étapes de fracturation. Aux fins de la présente étude, il est nécessaire de traduire ces besoins en fonction du débit d'eau prélevé dans un cours d'eau. Pour ce faire, on réfère au rapport intitulé « Document synthèse – Projet type concernant les activités liées au gaz de schiste au Québec » (CIRAIG, 2012).

Bien que les installations d'exploitation puissent varier d'une entreprise à l'autre, il convient, aux fins de la présente étude, de définir tout d'abord les caractéristiques d'un site d'exploitation type (site multipuits) pour lequel les besoins en eau seront estimés.

Nombre de puits verticaux d'un site multipuits type

« À l'étape de développement, les entreprises procèdent habituellement au forage de plusieurs puits verticaux sur une surface réduite (site de 120 m x 120 m). [...] Le nombre de puits (6 ou 8) varie selon les caractéristiques géologiques du shale et l'expertise de la compagnie de forage. » (CIRAIG, 2012). Aux fins de l'estimation des besoins en eau de la présente étude, nous retenons une configuration à six puits horizontaux pour un site multipuits.

Longueur type d'un puits horizontal

La longueur d'un puits horizontal « ...peut atteindre plusieurs centaines de mètres de long (1600 m) » (CIRAIG, 2012), quoique la technologie a progressé rapidement et que les distances horizontales peuvent dépasser facilement les deux kilomètres. Aux fins de la présente étude, nous retenons une valeur typique de 1 600 m.

Étape de forage et de cimentage des puits

La première étape consiste à forer les puits. On fore d'abord un puits vertical permettant d'atteindre la profondeur voulue et on procède ensuite au forage d'un ou de deux puits horizontaux, selon les caractéristiques géologiques du shale et l'expertise de la compagnie de forage. Aux fins de la présente étude, nous considérons qu'un puits vertical dessert un puits horizontal.

Une fois le premier puits horizontal foré, la même séquence est ensuite répétée cinq autres fois pour obtenir au total six puits horizontaux, chacun étant desservi par un puits vertical. L'étape de forage et de cimentage des puits requiert un volume d'eau relativement faible comparé à celui requis pour l'opération subséquente de fracturation. Nous négligeons donc ce volume dans le calcul des prélèvements.

Étape de fracturation des puits horizontaux

Après avoir foré les six puits horizontaux du site, on passe à leur fracturation hydraulique. Dans le cas du site multipuits type défini dans la présente étude, nous considérons que la fracturation est faite en procédant un puits à la fois. La fracturation se fait par étapes successives englobant chacune deux tronçons d'environ 120 m de longueur, plus une dernière étape couvrant un segment résiduel d'environ 120 m. Ainsi, pour un puits d'une longueur de 1 600 m, on considère que la fracturation nécessite 13 étapes successives et que deux étapes peuvent être réalisées pendant une journée.

La fracturation complète d'un puits se réalise donc sur une période continue d'environ 6,5 jours au total. On procède ainsi à cinq autres séquences similaires d'environ 6,5 jours chacune pour la fracturation subséquente des cinq autres puits du site multipuits. Au total, la fracturation des six puits du site multipuits type nécessite donc une opération continue d'environ 39 jours.

Comme nous l'avons mentionné précédemment, chaque étape de fracturation d'un puits, sur un segment de 120 m, nécessite en moyenne un volume de 1 670 m³ d'eau. Puisqu'on procède à deux étapes de fracturation par jour. Le volume quotidien requis est de 3 340 m³, ce qui correspond à un débit moyen quotidien requis de 38,7 L/s, débit qui doit être pratiquement disponible tout au long des 39 jours de fracturation (la portion résiduelle de 120 m à fracturer pour chaque puits n'étant pas aussi critique en ce qui concerne le débit requis). Au total, le volume d'eau requis pour la fracturation de chaque puits est donc 21 710 m³, pour un total de 130 260 m³ pour l'ensemble des six puits du site.

L'eau requise pour la fracturation provient de deux sources :

- 1) Par prélèvement dans une source d'eau qui, dans le cas de la présente étude, est un cours d'eau faisant partie des bassins versants visés par l'étude;
- 2) Par récupération d'eaux usées préalablement utilisées pour une opération précédente de fracturation et dont une partie reflue subséquemment dans le puits vertical. Le rapport du CIRAIG (2012) mentionne en effet que pour « [...] réduire le prélèvement d'eau au minimum, l'industrie du gaz naturel récupère et réutilise une partie de la même eau pour fracturer plusieurs puits, lorsque d'autres fracturations sont prévues ». Le volume récupérable des eaux de reflux pouvant être anticipé est variable d'un cas à l'autre. « Pour les 12 puits québécois fracturés, de 20 à 70 % du fluide de fracturation est remonté à la surface (eaux de reflux); la moyenne se situe autour de 50 %. » Le temps requis pour que ces eaux de reflux atteignent la surface est variable lui aussi. Cela peut se produire au « [...] cours des premiers jours (ou des premières semaines) suivant la fin du processus de fracturation ». Comme « [...] l'eau injectée et l'eau présente dans le puits [...] induisent une pression sur la formation qui peut empêcher la libération du gaz [...] », la « [...] phase de fracturation inclut une phase post-fracturation pendant laquelle on doit retirer [...] » cette eau. « C'est à cette étape, qui dure quelques jours, qu'on recueille la plus grande partie de l'eau de reflux. » Selon les données dont nous disposons pour le Québec, environ 40 % du volume injecté peut refluer en trois jours à partir d'un seul puits. Cette eau est dirigée directement dans les C-rings, dont la capacité de stockage est au total d'environ 8 000 m³ pour deux C-rings.

Pour gérer ces deux sources d'approvisionnement, le site multipuits dispose en effet d'une installation de stockage d'eau appelée C-ring. Selon nos informations, un site multipuits dispose typiquement de deux de ces installations offrant au total une capacité de stockage in situ de 8 000 m³ à 9 000 m³. Aux fins de la présente étude, nous considérerons une valeur conservatrice de 8 000 m³. Cela représente environ 6 % du volume total requis pour la fracturation des six puits. Si l'on considère que chaque jour de fracturation nécessite l'utilisation de 3 340 m³ (fracturation de deux segments requérant chacun 1 670 m³), on peut estimer que la réserve in situ offre une autonomie d'un peu moins de 2,5 jours. Les opérations de fracturation doivent donc s'appuyer sur une gestion de cette capacité de stockage qui tente de combiner de façon optimale le recours au prélèvement en cours d'eau et la réutilisation des eaux de reflux post-fracturation.

Selon les stratégies d'exploitation et de mise en place des sites, de même que la rapidité et la durée du reflux des eaux injectées, la logistique de récupération et de réutilisation de ces eaux usées peut varier sensiblement. Dans certains cas, si le reflux se fait presque sans délai, les eaux usées peuvent être stockées localement pour être réinjectées presque immédiatement aux fins de la fracturation des puits suivants. Si le reflux est plus lent et dure plus longtemps (pendant des semaines, voire des mois), les eaux usées peuvent être plutôt acheminées vers un autre site multipuits où elles seront stockées en vue d'une réutilisation subséquente. Devant cette diversité d'options, il est difficile de fixer une stratégie de réutilisation des eaux de reflux pour estimer l'économie qu'elle procure en matière de débit de prélèvement au cours d'eau. Certains scénarios supposant, par exemple, que 40 % des eaux injectées reflueraient dans les trois premiers jours suivant la fin de la fracturation du premier puits peuvent effectivement conduire à supposer une réduction du débit à prélever pour la fracturation des autres puits d'un site multipuits donné (faisant, par exemple, passer le besoin de 38,7 L/s à aussi peu que 20 L/s environ, ou plus, en fonction de la gestion des volumes de réserve). Cependant, ces scénarios sont conjoncturels et impossibles à généraliser dans le cadre d'une évaluation globale, à grande échelle, comme celle qui fait l'objet de la présente étude. Par ailleurs, comme il existe toujours la possibilité que, pour une raison ou pour une autre, le débit à prélever corresponde presque intégralement au débit à injecter (38,7 L/s), c'est donc sur la base de cette condition critique qu'il convient de mener l'étude, sachant qu'il existe des possibilités pour l'industrie de réduire ce besoin de pointe.

Selon l'ensemble des données précédentes, nous estimons comme suit la séquence d'utilisation et les débits d'approvisionnement en eau au site multipuits type (six puits horizontaux) :

Étape 1) Forage des puits

Volume d'eau requis négligé.

Étape 2) Constitution d'une réserve d'eau initiale de 8 000 m³

L'efficacité économique des opérations exige que la fracturation puisse débuter dès que les équipements requis sont sur le site. On considère que les équipements de stockage de l'eau (C-rings) doivent être préalablement remplis. Le débit de prélèvement dépend de la durée désirée et de la capacité de pompage disponible. Si on adopte une hypothèse de durée de prélèvement de quatre jours, nous obtenons un débit de 23,1 L/s.

Étape 3) Fracturation du premier puits

Considérant que le volume total requis pour l'ensemble de l'opération est de 21 710 m³ et qu'on dispose d'une réserve initiale de 8 000 m³, un volume complémentaire de 13 710 m³ devrait être prélevé en cours d'opération dans le cours d'eau pour assurer l'opération de fracturation. Sur les 6,5 jours que dure l'opération de fracturation d'un puits, le prélèvement en cours d'eau à taux constant de ce volume requis pour compléter la contribution de la réserve initiale de 8 000 m³ représenterait un débit d'environ 23 L/s.

Par ailleurs, si on voulait s'assurer de disposer à la fin de cette première phase de fracturation d'une même réserve d'eau de 8 000 m³ dans le but de permettre d'entamer la fracturation du puits suivant sans avoir à attendre la disponibilité des premiers volumes d'eau de reflux, le cas échéant, le volume complémentaire à prélever devrait alors être maintenu à la valeur de 21 710 m³ et, conséquemment, le débit critique correspondant, lui aussi maintenu à 38,7 L/s. Si on choisissait de constituer une réserve résiduelle de 4 000 m³ à la fin de la fracturation du premier puits, plutôt que de la maintenir à 8 000 m³, le débit d'eau fraîche à prélever serait d'environ 30 L/s. Il s'agit donc de choix opérationnels difficiles à prévoir dans le cadre de la présente étude, car la constitution d'un volume optimal de réserve résiduelle implique la connaissance préalable du volume et du taux utilisable d'eaux de reflux. La constitution d'une réserve résiduelle trop importante pourrait mener à excéder la capacité de stockage in situ si les eaux de reflux sont abondantes et, inversement, une réserve résiduelle insuffisante ou un apport d'eaux de reflux peu abondant entraînerait le recours à un ajustement à la hausse du débit d'eau fraîche à prélever au cours d'eau. Pour ces raisons et celles évoquées précédemment, la condition jugée critique, correspondant à un débit à prélever de 38,7 L/s, sera celle retenue aux fins de la présente étude.

Étape 4) Fracturation du deuxième puits

Le volume requis pour la fracturation est encore de 21 710 m³. Comme il a été mentionné précédemment, la considération de l'utilisation des eaux de reflux de la phase post-fracturation du puits précédent peut mener à l'élaboration de divers scénarios. À titre d'exemple encore une fois, dans l'hypothèse où on ne disposerait d'aucune réserve au début de l'opération, mais que, dès les trois premiers jours, on pourrait bénéficier d'un volume d'eau de reflux d'environ 8 700 m³ (40 % de 21 710 m³) provenant du puits fracturé précédemment, il serait théoriquement possible de limiter le débit d'eau fraîche à prélever à un peu plus de 21 L/s, pour le peu qu'on ne prévoit pas de réserve résiduelle à la fin de l'opération. La constitution d'une réserve résiduelle de 4 000 m³ porterait théoriquement le besoin en eaux fraîches à près de 28 L/s.

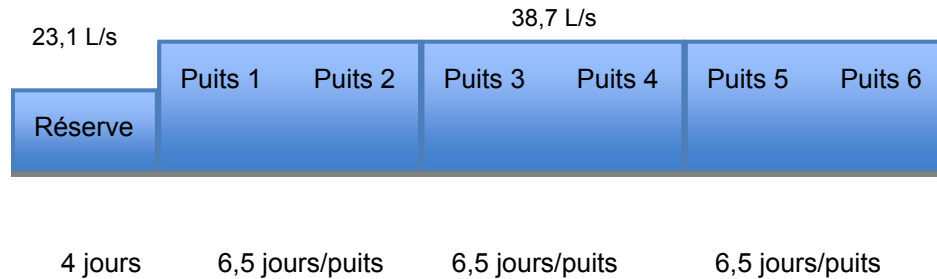
Tel que mentionné précédemment, on comprend que l'ensemble des conjonctures opérationnelles possibles ne peut être prévu, ce qui dicte encore une fois le recours à un scénario plus conservateur consistant à retenir la valeur de 38,7 L/s comme débit à prélever en cours d'eau.

Étapes 5 à 8) Fracturation des quatre puits suivants

Sans élaborer davantage, nous concluons que, pour les raisons qui ont été évoquées précédemment, on doit s'en tenir à cette même valeur de 38,7 L/s pour la fracturation des autres puits du site multipuits type.

Ainsi, sur la base des scénarios retenus, il est possible de déterminer les débits requis pour la constitution de la réserve de 8 000 m³ préalable ainsi que pour la fracturation subséquente des six puits. La figure 3.4 illustre la séquence temporelle de prélèvement.

Figure 3.4. Mode d'utilisation de l'eau aux fins du fonctionnement d'un site multipuits type : le cas d'un pompage de 24 heures par jour pour remplir les réservoirs



3.2.2. Nombre potentiel de sites d'exploitation par bassin versant

Pour établir le nombre de puits qui pourraient être forés dans les basses terres du Saint-Laurent dans les prochaines années, cinq scénarios de développement de l'industrie ont été proposés par le Comité de l'évaluation environnementale stratégique sur le gaz de schiste (le Comité). Ce sont (CEES, 2012) :

- 1) Aucun développement;
- 2) Exploration seulement;
- 3) Développement à petite échelle;
- 4) Développement à moyenne échelle;
- 5) Développement à grande échelle.

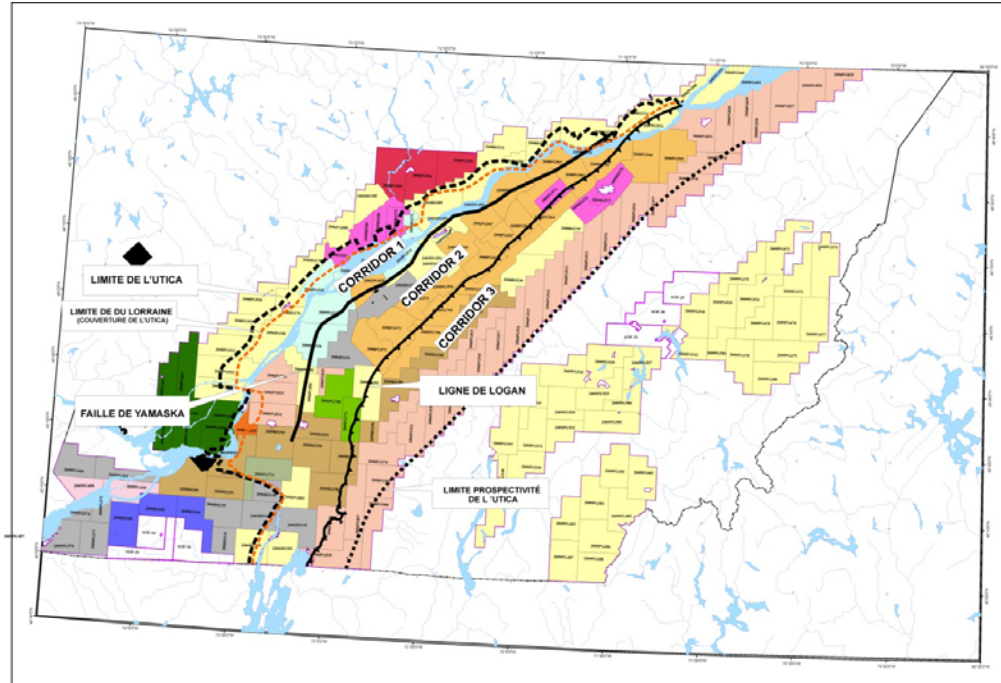
Le scénario 3 (développement à petite échelle) est celui qui donne lieu au plus petit nombre de puits sur le territoire, soit 1 000 sur 10 ans, avec un maximum de forages annuels de 349 puits, ce qui donne 58 sites de forage multipuits si l'on considère six puits par site (voir la section 3.2.1). Comme on pouvait s'y attendre, le scénario 5 (développement à grande échelle) est celui qui donne lieu au plus grand nombre de puits sur le territoire, soit 9 000 sur 20 ans, avec un maximum de forages annuels de 2 101 puits, ce qui donne 350 sites.

Conformément à la suggestion du Comité, les scénarios 3 et 5 ont été évalués dans le cadre de l'étude E1-1 (Gangbazo, 2013) pour établir les besoins en eau minimum et maximum potentiels de l'industrie à l'échelle de la province. C'est donc aussi ces deux seuls scénarios qui seront utilisés dans la présente étude afin de déterminer le nombre de puits qui pourraient être forés dans chacun des bassins versants à l'étude.

Pour ce faire, la carte des bassins versants a été superposée à la carte des corridors d'exploration dans le shale d'Utica [figure 3.5] (Duchaine, Tourigny, Beaudoin, & Dupuis, 2012) et la superficie occupée par chacun de ces bassins versants dans les corridors a été calculée (figure 3.6; tableau 3.2). Ensuite, en faisant l'hypothèse que, pour des raisons économiques (diminuer les coûts de transport de l'eau), les entreprises préféreraient si possible prélever l'eau sur le territoire des bassins versants situés entièrement dans les corridors, nous avons supposé une répartition uniforme du nombre total de puits à l'intérieur de l'aire formée par l'intersection

des limites des bassins versants avec celles des corridors d'exploration. Nous avons pu ainsi déterminer que la « densité » moyenne de puits pour lesquels les entreprises prélèveraient de l'eau à l'intérieur de cette aire serait de 0,03808 puits/km² pour le scénario 3 et de 0,2292 puits/km² pour le scénario 5. Cela a permis d'estimer, pour chacun de ces scénarios, un nombre total de puits pour lesquels les entreprises auraient à prélever de l'eau dans chacun des bassins versants concernés (voir le tableau 3.2).

Figure 3.5. Corridors d'exploration dans le shale d'Utica



Source : Duchaine et coll. (2012)

3.2.3. Simultanéité d'opérations et de prélèvements d'eau dans un même bassin versant

Tenant compte du fait que les scénarios de développement 3 et 5 impliquent que plusieurs sites de forage multipuits peuvent être implantés dans un même bassin versant, il a été convenu avec le Comité d'évaluer un scénario où plus d'un site multipuits s'approvisionnerait simultanément dans un même bassin versant. La définition du scénario implique évidemment de poser des hypothèses plausibles concernant le nombre de sites multipuits pouvant fonctionner simultanément et la localisation de leurs points de prélèvement respectifs dans le bassin versant.

À la lumière du nombre de sites multipuits présentés au tableau 3.2, on constate que la probabilité que, dans certains bassins versants, plusieurs entreprises soient en activité en même temps est élevée. Pour cette raison, il a été décidé d'évaluer un scénario où cinq sites multipuits s'approvisionneraient simultanément dans un même bassin versant. Ce scénario est cohérent avec les résultats présentés au tableau 3.2, à l'exception du bassin versant de la rivière Etchemin, auquel seulement quatre sites multipuits sont associés en raison de la faible portion de sa superficie qui se retrouve incluse à l'intérieur des périmètres des corridors d'exploration du gaz de shale. Selon ce scénario, le débit maximal de prélèvement simultané d'eau pour cinq sites multipuits serait de 193,5 L/s, soit cinq fois la valeur du prélèvement critique de 38,7 L/s, tel que présenté à la section précédente. De façon analogue à la figure 3.4, la figure 3.7 illustre la séquence temporelle de prélèvement se rapportant à une opération simultanée de fracturation hydraulique sur cinq sites multipuits.

Figure 3.6. Estimation de la superficie occupée par chacun des bassins versants dans les corridors d'exploitation dans le shale d'Utica

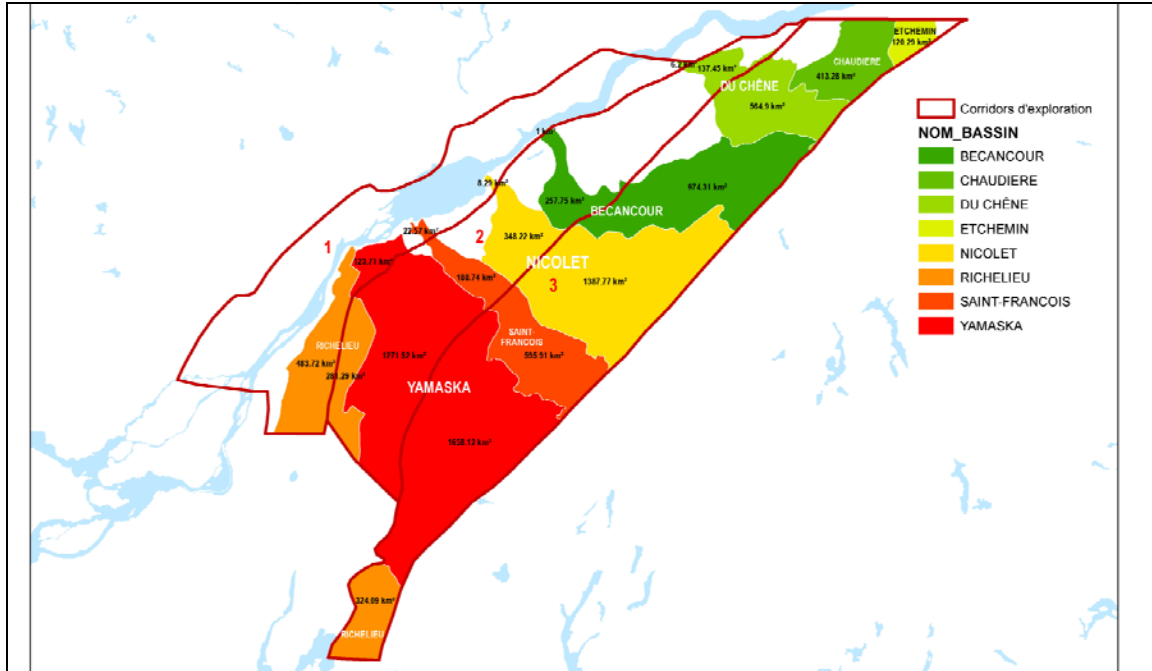
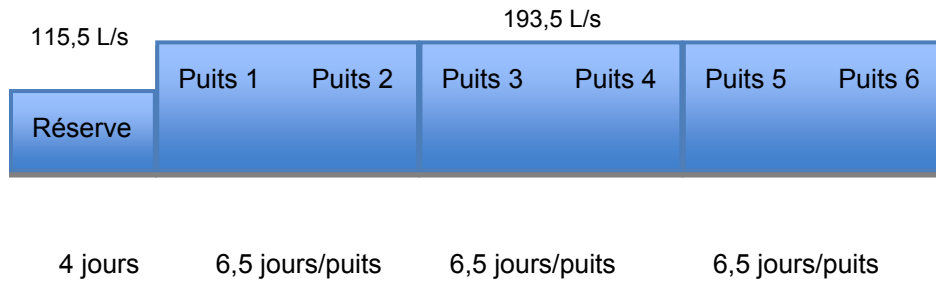


Tableau 3.2. Nombre de puits dans les bassins versants en fonction de la superficie

Nom du bassin versant de rivière	Superficie du bassin versant à l'intérieur des corridors (km ²)	Nombre de puits fracturés dans le bassin versant (nombre de sites multipuits de 6 puits) selon les scénarios de développement ⁷	
		Scénario 3	Scénario 5
Bécancour	1 233	47 (7)	283 (47)
Chaudière	413	16 (2)	95 (15)
Du Chêne	704	27 (4)	161 (26)
Etchemin	120	5 (1)	28 (4)
Nicolet	1 744	66 (11)	400 (66)
Richelieu	1 089	41 (6)	250 (41)
Saint-François	807	31 (5)	185 (30)
Yamaska	3 053	116 (19)	700 (116)
Total	9 165	349 (58)	2 101 (350)

⁷ Le lecteur qui désire avoir des explications sur les scénarios peut consulter l'étude P-1 (CEES, 2012).

Figure 3.7. Mode d'utilisation de l'eau aux fins du fonctionnement de cinq sites multipuits type : le cas d'un pompage de 24 heures par jour pour remplir les réservoirs



Quant à la localisation de tels prélèvements sur le territoire, bien que le tableau 3.2 présente une hypothèse de répartition uniforme du nombre de sites multipuits par bassin versant, de multiples scénarios de localisation de points de prélèvement seraient possibles et demeureraient arbitraires. La méthodologie proposée à la section suivante permet d'éviter ce caractère arbitraire de l'analyse.

4. Estimation de l'importance relative des débits qui pourraient être prélevés par l'industrie par rapport aux valeurs estimées du débit d'étiage des cours d'eau à l'étude

Pour comparer les valeurs des débits représentant des prélèvements d'eau qui pourraient être réalisés par l'industrie aux fins de ses opérations aux valeurs des $Q_{2,7}$ annuels des cours d'eau concernés (illustrées à la figure 3.3), nous choisissons de calculer le ratio de ces débits prélevés sur les débits $Q_{2,7}$ en question.

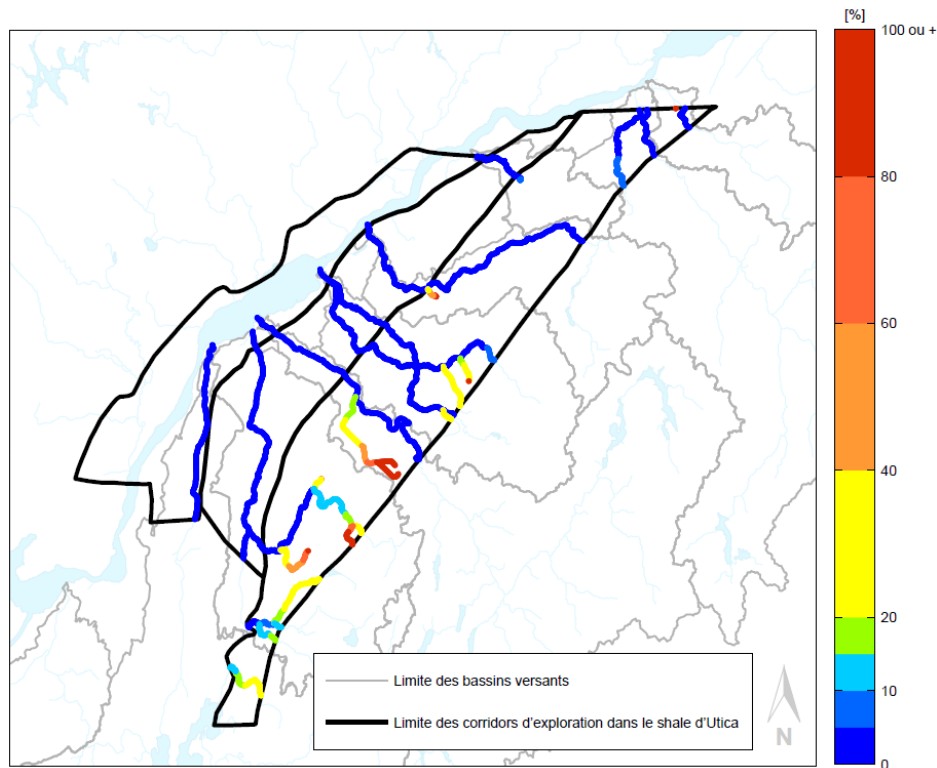
Ainsi, de façon analogue à la figure 3.3 qui illustre la variation spatiale de la valeur du débit d'étiage $Q_{2,7}$ annuel le long des tronçons de cours d'eau concernés, il est possible d'illustrer la variation spatiale d'un ratio « débit prélevé-industrie sur débit $Q_{2,7}$ » le long de ces mêmes tronçons de cours d'eau. Les figures 4.1 et 4.2 présentent ces résultats, respectivement pour les valeurs de débit prélevé de 38,7 L/s et de 193,5 L/s correspondant aux deux scénarios d'opération retenus aux fins de la présente étude, soit le débit prélevé par un site multipuits type et celui prélevé par cinq sites multipuits types en activité simultanément. Compte tenu de l'avis technique obtenu par la DPE et de l'intérêt particulier pouvant être porté aux valeurs de ratios inférieures ou égales à 20 % (20% du $Q_{2,7}$), cette plage de valeurs y est ventilée en quatre classes de 5 % chacune.

L'avis technique de la DPE précise que le critère de 20 % de la valeur du $Q_{2,7}$ n'est pas le seul critère actuellement qui sert à déterminer l'impact cumulatif des prélèvements d'eau dans un cours d'eau et qu'il ne le sera pas davantage après l'entrée en vigueur prochaine de l'article 19 de la Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et visant à renforcer leur protection (Gouvernement du Québec, 2009). Si on utilise néanmoins, à titre indicatif, ce critère comme angle d'interprétation des résultats fournis aux figures 4.1 et 4.2, on peut considérer que celles-ci illustrent, dans une certaine mesure, la portion de cette « possible disponibilité » des cours d'eau qui pourrait être sollicitée par les prélèvements potentiels de l'industrie du gaz de shale, tels qu'ils sont estimés aux fins de la présente étude.

En ce sens, la figure 4.1 indique que, globalement, le débit prélevé d'un site multipuits type (38,7 L/s) se situerait dans la catégorie 0-5% du débit d'étiage $Q_{2,7}$ pour environ 75 % du linéaire de cours d'eau illustré pour le territoire à l'étude. À l'autre bout du spectre, ce débit prélevé constituerait plus de 20 % de la valeur du $Q_{2,7}$ pour environ 15 % du total du linéaire illustré. Pour

cette catégorie de cours d'eau illustrés qui, en général, se situe logiquement dans la portion amont du territoire à l'étude, le critère de « 20 % du $Q_{2,7}$ » indiquerait que le débit prélevé par un seul site multipuits type utiliserait toute la capacité disponible de ces tronçons de cours d'eau.

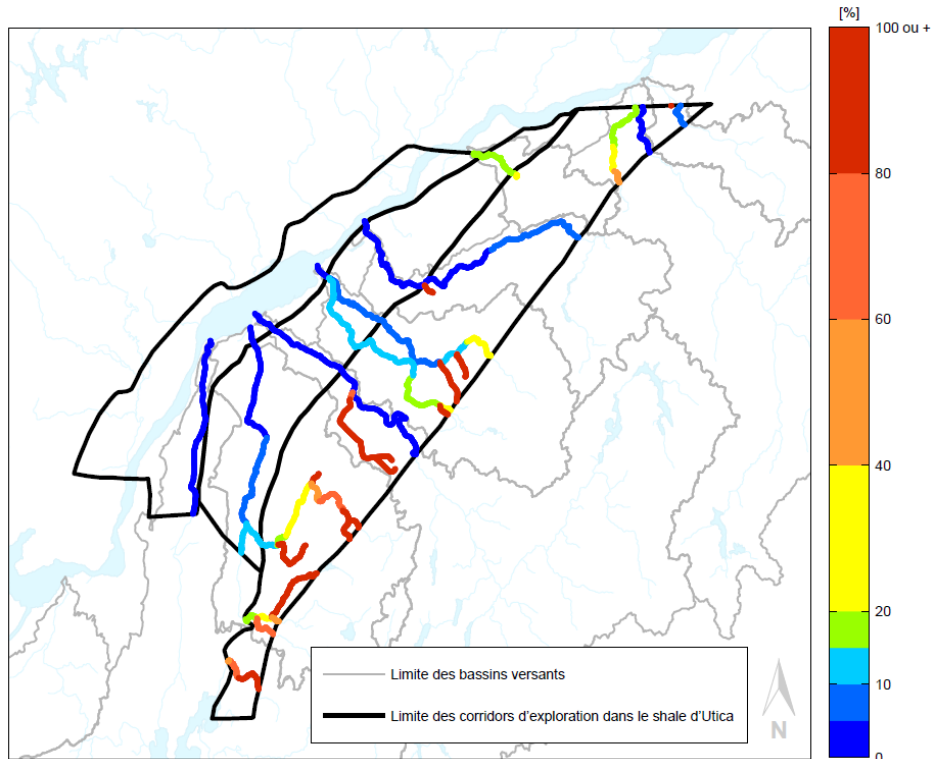
Figure 4.1. Variation spatiale du ratio (%) « débit prélevé-industrie (38,7 L/s) sur la valeur du débit d'étiage $Q_{2,7}$ annuel » le long des principaux tronçons de cours d'eau concernés situés à l'intérieur des corridors d'exploration du gaz de shale



Le portrait présenté par la figure 4.2 est analogue, mais il diffère par ses résultats. Dans le cas où on compare le débit d'eau qui serait prélevé par le fonctionnement simultané de cinq sites multipuits types au débit d'étiage de ces cours d'eau, la figure 4.2 indique que, globalement, ce prélèvement de 193,5 L/s se situerait dans la catégorie 0-5 % du débit d'étiage $Q_{2,7}$ pour environ seulement 30 % du linéaire de cours d'eau illustré. Comme on pouvait s'y attendre, le déplacement des résultats se fait vers les pourcentages plus élevés de sollicitation du débit d'étiage des cours d'eau. Selon les résultats illustrés à la figure 4.2, le pourcentage de cours d'eau qui serait alors sollicité à hauteur de 20 % ou plus de leur $Q_{2,7}$ par un tel prélèvement serait d'environ 30 %. Toutefois, il faut garder à l'esprit que le critère de 20 % du $Q_{2,7}$ s'applique cumulativement à la somme de tous les prélèvements effectués sur un même cours d'eau. Ce faisant, en considérant la très vraisemblable existence d'autres prélèvements dans ces bassins versants, on peut déduire facilement qu'une proportion supérieure à 30 % du linéaire de cours d'eau illustré n'aurait pas, selon ce critère, la capacité disponible pour accueillir cette sollicitation de 193,5 L/s de la part de l'industrie du gaz de shale dans le territoire à l'étude.

La section suivante tente d'illustrer globalement cette coexistence probable des prélèvements en comparant, sur la base de volumes annuels, les prélèvements potentiels de l'industrie du gaz de shale à ceux des autres usagers (excluant les secteurs agricole et piscicole) répertoriés par le MDDEF dans les bassins versants concernés par la présente étude.

Figure 4.2. Variation spatiale du ratio (%) « débit prélevé-industrie (193,5 L/s) sur la valeur du débit d'étiage $Q_{2,7}$ annuel » le long des principaux tronçons de cours d'eau concernés situés à l'intérieur des corridors d'exploration du gaz de shale



5. Comparaison des besoins en eau de l'industrie aux prélèvements d'eau existants dans chacun des bassins versants à l'étude

Le Règlement sur la déclaration des prélèvements d'eau (chapitre Q-2, r. 14), qui a été adopté en 2009, avait entre autres comme objectif d'améliorer les connaissances relatives aux prélèvements d'eau sur l'ensemble du territoire. Ainsi, selon ce règlement, les prélèvements de 75 000 litres et plus par jour doivent faire l'objet d'une déclaration annuelle. À partir de ces déclarations, il est possible de connaître le volume annuel des prélèvements existants dans les bassins versants concernés par l'industrie et ayant fait l'objet d'une déclaration en 2011 (tableau 5.1). Les volumes annuels d'eau requis par l'industrie du gaz de shale sont présentés au tableau 5.2 et le tableau 5.3 intègre ces informations et les compare. Cette comparaison permet de faire un certain nombre de constats :

- 1) Pour le scénario 3 (développement à petite échelle), l'importance relative des besoins en eau annuels de l'industrie est faible (variation entre 1 et 5 %) dans les bassins versants des rivières Chaudière, Etchemin, Nicolet, Richelieu, Saint-François et Yamaska comparativement aux prélèvements totaux actuels des autres usagers, excluant les secteurs agricole et piscicole. Elle est plus considérable ($\approx 25\%$) dans le bassin versant de la rivière Bécancour et élevée ($\approx 70\%$) dans le bassin versant de la rivière Du Chêne;
- 2) Pour le scénario 5 (développement à grande échelle), l'importance relative des besoins en eau annuels de l'industrie est plutôt faible (variation entre 3 et 10 %) dans les bassins versants des rivières Chaudière, Etchemin, Richelieu et Saint-François comparativement aux prélèvements totaux actuels des autres usagers, excluant les secteurs agricole et

piscicole. Elle est plus considérable ($\approx 25\%$) dans les bassins versants des rivières Nicolet et Yamaska et extrêmement élevée dans les rivières Bécancour ($\approx 110\%$) et Du Chêne ($\approx 400\%$).

Tableau 5.1. Volume d'eau prélevé (eau de surface et souterraine) par secteur d'activité pour chacun des bassins versants à l'étude

Nom du bassin versant de rivière	Volume d'eau prélevé (eau de surface et eau souterraine) pour les autres secteurs d'activité (m ³ /an) ^{†‡}				
	M	FP	EM	A	T
Bécancour	4 737 524	207 914	463 549	19 255	5 428 242
Chaudière	18 407 641	2 172 477	1 611 702	8 513 495	30 705 315
Du Chêne	854 320	-	-	-	854 320
Etchemin	4 333 993	31 933	357 749	510 916	5 234 590
Nicolet	16 271 113	13 418 000	6 360 724	135 872	36 185 709
Richelieu	55 159 420	4 501 257	5 219 053	747 110	65 626 840
Saint-François	56 579 711	62 360 509	7 482 483	612 598	127 035 301
Yamaska	38 479 815	2 372 949	1 452 177	14 072 766	56 377 707

† Les secteurs agricole et piscicole ne sont pas comptabilisés dans ce total.

‡ M = Municipal; FP = Fabrication de produits; EM = Extraction de minerais excluant le gaz de shale; A = Autres; T = Total

Tableau 5.2. Volume d'eau requis par l'industrie du gaz de shale par bassin versant selon les scénarios 3 et 5

Nom du bassin versant de rivière	Superficie du bassin versant à l'intérieur des corridors (km ²)	Nombre de puits fracturés dans le bassin versant (nombre de sites multipuits de 6 puits) selon les scénarios de développement		Volume d'eau total requis (m ³ /an)	
		Scénario 3	Scénario 5	Scénario 3	Scénario 5
Bécancour	1 233	47 (7)	283 (47)	1 020 370	6 143 930
Chaudière	413	16 (2)	95 (15)	347 360	2 062 450
Du Chêne	704	27 (4)	161 (26)	586 170	3 495 310
Etchemin	120	5 (1)	28 (4)	108 550	607 880
Nicolet	1 744	66 (11)	400 (66)	1 432 860	8 684 000
Richelieu	1 089	41 (6)	250 (41)	890 110	5 427 500
Saint-François	807	31 (5)	185 (30)	673 010	4 016 350
Yamaska	3 053	116 (19)	700 (116)	2 518 360	15 197 000
Total	9 165	349 (58)	2 101 (350)	7 576 790	45 612 710

Source : Gangbazo (2013)

Tableau 5.3. Comparaison des besoins en eau de l'industrie dans chacun des bassins versants à l'étude aux prélèvements en eau totaux actuels des autres usagers, excluant les secteurs agricole et piscicole

Nom du bassin versant de rivière	Volume d'eau total requis par l'industrie (m ³ /an)		Volume total d'eau prélevé par les autres usagers, excluant les secteurs agricole et piscicole (m ³ /an)	Ratio du volume requis par l'industrie sur le volume total prélevé par les autres usagers (%) [†]	
	Scénario 3	Scénario 5		Scénario 3	Scénario 5
Bécancour	1 020 370	6 143 930	5 428 242	18,8	113
Chaudière	347 360	2 062 450	30 705 315	1,13	6,72
Du Chêne	586 170	3 495 310	854 320	68,6	409
Étchemin	108 550	607 880	5 234 590	2,07	11,6
Nicolet	1 432 860	8 684 000	36 185 709	3,96	24,0
Richelieu	890 110	5 427 500	65 626 840	1,36	8,27
Saint-François	673 010	4 016 350	127 035 301	0,53	3,16
Yamaska	2 518 360	15 197 000	56 377 707	4,47	26,9

[†]Pourcentage par rapport au volume total d'eau prélevé par les autres usagers, excluant les secteurs agricole et piscicole.

6. Conclusion

L'absence de données concernant la répartition dans le temps et dans l'espace des prélèvements d'eau que nécessitent le forage et la fracturation des puits, ainsi que de données concernant leurs interactions avec les prélèvements d'eau existants, a limité le degré de précision et de détail qu'il était possible d'atteindre dans la présente étude en regard de l'objectif initialement poursuivi. Cela dit, l'analyse de deux scénarios de prélèvement possible a permis de fournir une indication du potentiel des tronçons de cours d'eau concernés à fournir le besoin en eau de l'industrie. Cette analyse a consisté à comparer ces scénarios de prélèvement au débit d'étiage des principaux tronçons de ces cours d'eau. L'étiage étant la condition dans laquelle un cours d'eau est le plus vulnérable à l'impact potentiel d'un prélèvement d'eau, c'est un paramètre généralement considéré lors de telles analyses, au cours desquelles on utilise plus précisément l'indicateur hydrologique $Q_{2,7}$, qui se définit comme étant la valeur du débit moyen calculé sur sept jours consécutifs d'étiage. La comparaison effectuée a consisté à calculer, pour chacun des deux scénarios de prélèvement définis et chacun des tronçons principaux de cours d'eau du territoire à l'étude, le ratio de ces débits prélevés sur la valeur $Q_{2,7}$ des tronçons concernés et de présenter les résultats sous forme cartographique.

Il est donc possible d'établir, pour ces tronçons, le pourcentage de leur débit d'étiage $Q_{2,7}$ qui serait accaparé par les seuls prélèvements d'eau de l'industrie et d'indiquer, notamment, quels sont ceux pour lesquels la sollicitation potentielle par l'industrie pourrait dépasser 20 % de ce $Q_{2,7}$. Sans constituer un critère unique ni absolu pour l'analyse de l'impact d'un prélèvement d'eau sur un cours d'eau, 20 % de la valeur du $Q_{2,7}$ est un paramètre qui, parmi d'autres, est considéré comme une balise ou un indicateur par le MDDEFP en pareille matière pour exprimer le débit maximal pouvant être prélevé, tous usagers confondus, dans un même cours d'eau.

Les scénarios de prélèvement retenus aux fins de la présente étude impliquaient que l'eau était prélevée seulement dans les tronçons des rivières drainant les bassins versants. Le prélèvement directement dans le fleuve n'a pas été considéré, mais l'industrie pourrait choisir ce mode d'approvisionnement en eau, ce qui limiterait l'impact dans les tronçons des cours d'eau.

Par ailleurs, bien que le critère du 20 % du $Q_{2,7}$, un des critères utilisés comme indication du débit maximal pouvant être prélevé dans un même cours d'eau, s'applique en tant que critère cumulatif, considérant l'ensemble des prélèvements présents sur un cours d'eau, tous secteurs d'activité confondus, la présente étude n'a pas permis de considérer ces autres prélèvements d'eau participant à ce cumul. Ainsi, seuls les besoins en eau de l'industrie du gaz de shale ont été analysés et comparés à ce critère. Cependant, il a été possible de donner une idée de la grandeur des prélèvements effectués par les autres secteurs d'activité dans chacun des bassins versants concernés et de comparer les besoins en eau de l'industrie, sous la forme globale de volumes annuels, aux prélèvements annuels totaux des autres usagers qui, dans le cadre du nouveau Règlement sur la déclaration des prélèvements d'eau (chapitre Q-2, r. 14), ont pu être inventoriés en 2011, excluant toutefois les secteurs agricole et piscicole. Ce faisant, il a été possible de montrer que le portrait varie selon les bassins versants.

Bibliographie

- BAPE. (2000). *L'eau, ressource à protéger, à partager et à mettre en valeur: Tome 1* (Rapport No. 142). Québec, Québec: Bureau d'audiences publiques sur l'environnement.
- BAPE. (2011). *Développement durable de l'industrie des gaz de schiste au Québec* (Rapport 273). Québec, Québec: Bureau d'audiences publiques sur l'environnement
- CEES. (2012). *L'industrie du gaz de schiste dans les Basses-Terres du Saint-Laurent : scénarios de développement*. Québec, Québec: Comité de l'évaluation environnementale stratégique sur le gaz de schiste.
- CIRAIG. (2012). *Projet type concernant les activités liées au gaz de schiste au Québec* (Rapport préparé pour le Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs dans le cadre de l'évaluation environnementale stratégique sur le gaz de schiste). Montréal, Québec: Centre universitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services; École Polytechnique de Montréal.
- Cooley, H., & Donnelly, K. (2012). *Hydraulic Fracturing and Water Resources: Separating the Frack from the Fiction*. Oakland, California: Pacific Institute.
- CSR. (2012). *Risques potentiels de l'exploration et de l'exploitation des hydrocarbures non conventionnels en Ile-de-France*: Conseil scientifique régional d'Ile-de-France.
- Duchaine, Y., Tourigny, Y., Beaudoin, G., & Dupuis, C. (2012). *Potentiel en gaz naturel dans le Shale d'Utica, Québec* (Rapport préparé pour le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs dans le cadre de l'évaluation environnementale stratégique sur le gaz de schiste). Québec, Québec: Université Laval.
- Gangbazo, G. (2013). *Évaluation des besoins en eau de l'industrie du gaz de shale, détermination des impacts environnementaux de l'utilisation de l'eau et élaboration d'avis quant à l'encadrement de l'industrie* (Rapport préparé pour le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs dans le cadre de l'évaluation environnementale stratégique sur le gaz de schiste). Québec, Québec: Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs.
- Garcia, K. (2012). *Natural Gas Development and the NYC Water Supply*. de <http://www.aeee.net/DownloadCenter/2012NJWEAPresentation-KathrynGarcia.pdf>
- Gouvernement du Québec. (1997). *Symposium sur la gestion de l'eau au Québec: document de référence*. Québec, Québec.
- Gouvernement du Québec. (2009). *Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et visant à renforcer leur protection*. Québec, Québec.
- Healy, D. (2012). *Hydraulic Fracturing or 'Fracking': A Short Summary of Current Knowledge and Potential Environmental Impacts* (Prepared for the Environmental Protection Agency (Ireland)). Aberdeen, United Kingdom Department of Geology & Petroleum Geology, University of Aberdeen
- IEA. (2012). *Golden Rules for a Golden Age of Gas: World Energy Outlook Special Report on Unconventional Gas*. Paris, France: International Energy Agency.

- Junex Inc. (2010). *Mémoire déposé dans le cadre de la Commission d'enquête et les audiences publiques du Bureau d'audiences publiques en environnement sur le développement durable des gaz de schiste au Québec* (DM136). Québec, Québec.
- MENV. (2002). *L'eau, la vie, l'avenir. Politique nationale de l'eau*. (Enviroduq ENV/2002/0310). Québec, Québec: Ministère de l'Environnement du Québec.
- MRNF. (2010). *Le développement du gaz de schiste au Québec* (Document technique). Québec, Québec: Ministère des Ressources naturelles et de la Faune.
- Nicot, J.-P., & Hayes, T. (2010). *Feasibility of Using Alternative Water Sources for Shale Gas Well Completions — A Preliminary Guidance Document on Current Practices in the Barnett* (Report No. 08122-05.03): University of Texas at Austin.
- Nicot, J.-P., & Scanlon, B. R. (2012). Water Use for Shale-Gas Production in Texas, U.S. *Environmental Science & Technology*, 46 (6), 3580-3586.
- Office national de l'énergie. (2009). *L'ABC du gaz de schistes au Canada*. Calgary, Alberta.
- Susquehanna River Basin Commission. (2011). Water Withdrawals Remain on Hold to Protect Streams in the Susquehanna Basin. Page consultée le 28 août 2012 de http://www.srbc.net/whatsnew/Newsletters/article_58.asp.
- U.S. EPA. (2010). Opportunity for Stakeholder Input on EPA's Hydraulic Fracturing Research Study: Study Design Page consultée le 28 août 2012 de http://www.epa.gov/safewater/uic/pdfs/hydrofrac_landscapemodel.pdf.