

# **Projet de connaissance des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges**

**RAPPORT FINAL**

**Marie Larocque  
Guillaume Meyzonnat**

**Avec la participation de :**

**Florent Barbecot  
Daniele Pinti  
Sylvain Gagné  
Diogo Barnetche  
Marie-Audray Ouellet  
Marie-Hélène Graveline**

**UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL**  
Département des Sciences de la Terre et de l'atmosphère

**31 MARS 2015**





## **Équipe de réalisation**

### ***Hydrogéologie et hydrologie***

|                     |  |
|---------------------|--|
| Marie Larocque      | Coordonnatrice du projet, hydrogéologue, professeure, UQAM |
| Sarah Dorner        | Ingénieure, professeure, École Polytechnique de Montréal   |
| Guillaume Meyzonnat | Agent de recherche, UQAM                                   |

### ***Collaborateurs***

|                        |   |
|------------------------|---|
| Florent Barbecot       | Géochimiste, professeur, UQAM                               |
| Daniele Pinti          | Géochimiste, professeur, UQAM                               |
| Michel Lamothe         | Géologue quaternariste, professeur, UQAM                    |
| Martin Roy             | Géologue quaternariste, professeur, UQAM                    |
| Alain Tremblay         | Géologue structural, professeur, UQAM                       |
| Marie-Audray Ouellet   | Agente de recherche, UQAM                                   |
| Marie-Hélène Graveline | Agente de recherche, UQAM                                   |
| Diogo Barnetche        | Agent de recherche, UQAM                                    |
| Sylvain Gagné          | Agent de recherche, UQAM                                    |
| Pierre-Marc Godbout    | Étudiant PhD, Sciences de la Terre et de l'atmosphère, UQAM |

### ***Étudiants MSc et PhD***

Félix Turgeon et Floriane Moreira, MSc Sciences de la Terre et de l'atmosphère, UQAM  
Pauline Méjean, PhD Sciences de la Terre et de l'atmosphère, UQAM

### ***Stagiaires BSc Sciences de la Terre et de l'atmosphère***

Éric Fillion, Steven St-Aubin, Camille Peretti

### ***Support logistique***

|                   |                     |
|-------------------|---------------------|
| Frédéric Toupin   | Informaticien, UQAM |
| Michelle Laithier | Dessinatrice, UQAM  |

### ***Partenaires régionaux au projet***

MRC de Vaudreuil-Soulanges  
Organisme de bassin versant COBAVER-VS  
Agence de géomatique montérégienne (GéoMont)

### ***Référence à citer***

Larocque, M., Meyzonnat, G., Ouellet, M. A., Graveline, M. H., Gagné, S., Barnetche, D. et Dorner, S. 2015. Projet de connaissance des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport scientifique. Rapport déposé au ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques. 202 p.

## AVANT-PROPOS

Ce rapport est le résultat de trois années de travail de caractérisation des eaux souterraines de la Zone de gestion intégrée de l'eau de la MRC de Vaudreuil-Soulanges. Ce projet a été financé grâce à un investissement du Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) dans le Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines et grâce à des investissements financiers et en nature des partenaires régionaux. Ceux-ci sont l'organisme de bassin versant COBAVER-VS, l'Agence de géomatique montréalaise (GéoMont) et la MRC de Vaudreuil-Soulanges. Les auteurs remercient tous les partenaires pour leur implication financière et logistique dans le projet. Les auteurs désirent également remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation du projet, les collaborateurs scientifiques, les étudiants de maîtrise et de doctorat, les stagiaires ainsi que le personnel de soutien de l'UQAM. Les travaux de terrain n'auraient pas pu avoir lieu sans la collaboration des habitants de la région, de la MRC, des municipalités et des ministères. Les résultats présentés dans ce rapport sont également le fruit d'une collaboration entre des équipes de recherche basées dans différentes universités québécoises.

Il est important de souligner que toutes les cartes produites dans ce projet sont représentatives des conditions régionales à l'échelle 1/70 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non-représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, ces cartes ne peuvent remplacer les études requises pour définir les conditions réelles à l'échelle locale et n'offrent aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'intégralité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attache ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité ou à l'adaptation à une fin particulière de toute œuvre dérivée des cartes produites dans ce projet et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, des conditions présentées par les cartes ou des données y étant rattachées.

## RÉSUMÉ

Le *Projet de connaissance des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges* financé dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissance des eaux souterraines (PACES) du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques (MDDELCC) avait pour but d'établir la cartographie hydrogéologique de la Zone de gestion intégrée de l'eau de Vaudreuil-Soulanges dans la région de la Montérégie (superficie totale 814 km<sup>2</sup>). Ce projet a été réalisé par l'Université du Québec à Montréal qui a mis en place une équipe formée de professeurs, d'agents de recherche, d'étudiants de doctorat, de maîtrise et de stagiaires de premier cycle. Le projet a été mené en collaboration avec les partenaires régionaux suivants : la MRC de Vaudreuil-Soulanges, l'organisme de bassin versant COBAVER-VS et l'Agence de géomatique montérégienne (GéoMont). Le Projet a été réalisé au sein du Réseau québécois sur les eaux souterraines (RQES).

Ce projet s'est déroulé d'avril 2012 à mars 2015 en trois phases. Dans la Phase I, toutes les données existantes ont été compilées et archivées dans une base de données géoréférencées. La Phase II du projet a permis de réaliser des travaux de terrain (forages, caractérisation géologique, caractérisation des propriétés hydrauliques, échantillonnage et analyse d'eau et levé piézométrique). Au cours de la Phase III, les données ont été analysées et interprétées (modèle hydrostratigraphique, indices de confinement, directions de l'écoulement souterrain, recharge distribuée, indice DRASTIC, géochimie de l'eau souterraine, modèle d'écoulement souterrain, contextes hydrogéologiques régionaux, bilan des usages de l'eau et densité des activités anthropiques). L'ensemble des activités réalisées dresse un portrait intégré des écoulements souterrains à l'échelle régionale.

L'aquifère fracturé des roches sédimentaires est productif dans l'ensemble de la zone Vaudreuil-Soulanges, tandis que l'aquifère fracturé du mont Rigaud est nettement moins transmissif. Le volume des dépôts fluvioglaciaires est important dans la région de Vaudreuil-Soulanges. Ces dépôts granulaires présentent un bon potentiel aquifère pour les complexes fluvioglaciaires des buttes de Saint-Lazare et de Hudson, ainsi qu'à l'esker de Saint-Téléphore. D'autres dépôts fluvioglaciaires sont présents entre Pointe-Fortune et Hudson en longeant la rivière des Outaouais. Ces derniers ne sont pas exploités en tant qu'aquifères, mais plutôt pour leurs ressources en matériaux granulaires. Dans la plaine argileuse, l'eau souterraine s'écoule régionalement vers le réseau de drainage majeur (rivière des Outaouais et fleuve Saint-Laurent) à partir des principales zones de reliefs (mont Rigaud, crêtes de Sainte-Justine-de-Newton, butte de Saint-Lazare et de Hudson). À l'emplacement de ces reliefs, les eaux souterraines s'écoulent dans toutes les directions, des hauts topographiques vers les vallées ou vers la plaine argileuse. Une partie de l'écoulement souterrain est intercepté par les rivières et l'aquifère apporte une contribution aux débits des rivières toute l'année. Cet apport d'eau souterraine en rivière devient crucial en période estivale. L'eau souterraine de la zone d'étude est de bonne qualité de manière générale. Mis à part des dépassements significatifs pour la bactériologie qui sont fortement liés à l'entretien individuel du puits, un nombre limité de dépassements des normes pour la

qualité de l'eau potable ou pour les critères esthétiques ont été identifiés. Quelques dépassements de fluor ont été observés pour la partie nord de la zone d'étude mais ne sont pas regroupés dans un secteur clairement défini, bien que des concentrations élevées en fluor soient connues à l'emplacement du mont Rigaud. Les problématiques identifiées dans la région concernent les concentrations en manganèse qui dépassent le critère esthétique et pourraient être une préoccupation pour la santé des enfants. Très peu de nitrates ont été détectés dans l'eau souterraine et les concentrations mesurées sont bien en-deçà de la norme pour l'eau potable. Les concentrations mesurées dépassent toutefois le seuil d'impact anthropique dans certains cas. Les volumes d'eau souterraine utilisés par les particuliers, les villes, l'agriculture et l'industrie sont inférieurs à la recharge, mais la pression des pompages sur la ressource en eau souterraine est significative puisqu'elle concerne 29 % de la recharge. Les zones de recharge ont des taux de renouvellement élevés mais leur superficie est limitée. Ainsi, du fait de la couverture argileuse étendue sur la zone d'étude, les trois quart de l'aquifère au roc ne reçoit pas de recharge. Les zones où l'aquifère est le plus vulnérable sont localisées sur les principaux dépôts granulaires ou sur les reliefs couverts par des dépôts quaternaires minces ou de till sur roc. Ces zones correspondent également aux zones de recharge préférentielles pour l'aquifère fracturé : buttes de Saint-Lazare et de Hudson, mont Rigaud, crêtes de till étendues. Les forages où des nitrates ont été détectés sont situés sur les zones de recharge. Les zones les plus vulnérables sont généralement celles où l'activité agricole est la plus faible, tandis que l'agriculture intensive est principalement localisée dans la plaine argileuse, zone où l'aquifère est peu vulnérable.

Les nouvelles données acquises dans le projet PACES-Vaudreuil-Soulanges apportent des connaissances importantes pour la région en termes de gestion de la ressource en eau. Les résultats du projet constituent une base de la connaissance hydrogéologique de la région. Les données acquises permettront d'intégrer l'eau souterraine dans la gestion du territoire à l'échelle de la Zone de gestion intégrée de l'eau Vaudreuil-Soulanges.

## TABLE DES MATIÈRES

|   |             |
|---|-------------|
| <b>AVANT-PROPOS</b> .....                                       | <b>V</b>    |
| <b>RÉSUMÉ</b> .....   | <b>VI</b>   |
| <b>TABLE DES MATIÈRES</b> .....                                 | <b>VIII</b> |
| <b>LISTE DES FIGURES</b> .....                                  | <b>XI</b>   |
| <b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....                                 | <b>XIII</b> |
| <b>LISTE DES ANNEXES</b> .....                                  | <b>XIV</b>  |
| <b>1 INTRODUCTION</b> .....                                     | <b>1</b>    |
| <b>1.1 Contexte de réalisation du projet et objectifs</b> ..... | <b>1</b>    |
| <b>1.2 Équipe de réalisation et partenaires</b> .....           | <b>2</b>    |
| 1.2.1 Équipe de réalisation .....                               | 2           |
| 1.2.2 Partenaires.....  | 2           |
| <b>1.3 Organisation du rapport</b> .....                        | <b>4</b>    |
| <b>2 PRÉSENTATION DU TERRITOIRE À L'ÉTUDE</b> .....             | <b>5</b>    |
| <b>2.1 Localisation</b> .....                                   | <b>5</b>    |
| <b>2.2 Milieu naturel</b> .....                                 | <b>5</b>    |
| 2.2.1 Topographie et modèle numérique altimétrique .....        | 5           |
| 2.2.2 Pente du sol.....   | 5           |
| 2.2.3 Hydrographie et limites des bassins .....                 | 15          |
| 2.2.4 Couverture végétale.....                                  | 21          |
| 2.2.5 Milieux humides .....                                     | 29          |
| 2.2.6 Pédologie .....   | 30          |
| 2.2.7 Réseau de surveillance et programme de suivi .....        | 35          |
| <b>2.3 Population, centres urbains et activités</b> .....       | <b>41</b>   |
| 2.3.1 Municipalités .....                                       | 41          |
| 2.3.2 Occupation du sol .....                                   | 42          |
| 2.3.3 Affectation du territoire.....                            | 45          |
| <b>3 ACQUISITION DES DONNÉES ET CARACTÉRISATION</b> .....       | <b>49</b>   |
| <b>3.1 Compilation de l'information existante</b> .....         | <b>49</b>   |
| <b>3.2 Travaux de caractérisation</b> .....                     | <b>51</b>   |



|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 3.2.1      | Cartographie géologique.....  | 55         |
| 3.2.2      | Géophysique.....  | 56         |
| 3.2.3      | Sondages et forages.....  | 56         |
| 3.2.4      | Essais hydrauliques sur les puits.....                                      | 59         |
| 3.2.5      | Mesure des niveaux piézométriques.....                                      | 60         |
| 3.2.6      | Échantillonnage d'eau.....  | 60         |
| 3.2.7      | Mesure des débits de rivières.....  | 64         |
| <b>3.3</b> | <b>Saisie, validation et archivage de la base de données.....</b>           | <b>65</b>  |
| <b>3.4</b> | <b>Mise en valeur de l'équipement installé pour le long terme.....</b>      | <b>65</b>  |
| <b>4</b>   | <b>CONTEXTES HYDROGÉOLOGIQUES RÉGIONAUX.....</b>                            | <b>67</b>  |
| <b>4.1</b> | <b>Géologie du socle rocheux.....</b>                                       | <b>67</b>  |
| 4.1.1      | Histoire géologique.....  | 67         |
| 4.1.2      | Stratigraphie et lithologies.....   | 67         |
| 4.1.3      | Structure et fracturation.....  | 68         |
| <b>4.2</b> | <b>Géologie du Quaternaire.....</b>   | <b>69</b>  |
| 4.2.1      | Histoire du Quaternaire.....  | 69         |
| 4.2.2      | Stratigraphie des dépôts meubles.....                                       | 73         |
| 4.2.3      | Couverture de dépôts meubles.....   | 75         |
| 4.2.4      | Architecture des sédiments.....   | 82         |
| <b>4.3</b> | <b>Conditions de confinement.....</b>                                       | <b>94</b>  |
| <b>4.4</b> | <b>Contextes hydrogéologiques.....</b>                                      | <b>95</b>  |
| <b>5</b>   | <b>CONDITIONS HYDROGÉOLOGIQUES.....</b>                                     | <b>103</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Propriétés hydrauliques.....</b>   | <b>103</b> |
| 5.1.1      | Caractéristiques connues des captages municipaux.....                       | 103        |
| 5.1.2      | Essais hydrauliques.....  | 105        |
| 5.1.3      | Productivité de l'aquifère fracturé à partir de la capacité spécifique..... | 107        |
| 5.1.4      | Propriétés hydrauliques mesurées à l'aide du perméamètre de Guelph.....     | 109        |
| <b>5.2</b> | <b>Piézométrie et écoulement.....</b>                                       | <b>110</b> |
| <b>5.3</b> | <b>Recharge.....</b>  | <b>115</b> |
| 5.3.1      | Débits de base obtenus par séparation des hydrogrammes.....                 | 115        |
| 5.3.2      | Recharge par bassin versant simulée avec MOHYSE.....                        | 116        |
| 5.3.3      | Recharge spatialisée modélisée par bilan hydrique spatialisé.....           | 119        |
| 5.3.4      | Zones de recharge préférentielle et de résurgence.....                      | 121        |
| <b>5.4</b> | <b>Bilan hydrique régional.....</b>   | <b>125</b> |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| <b>5.5</b> | <b>Vulnérabilité des nappes</b> .....                                      | <b>127</b> |
| <b>5.6</b> | <b>Géochimie de l'eau souterraine</b> .....                                | <b>131</b> |
| 5.6.1      | Isotopes stables de l'eau ( $^2\text{H}$ et $^{18}\text{O}$ ) .....        | 133        |
| 5.6.2      | Isotopes stables des nitrates ( $^{18}\text{O}$ et $^{15}\text{N}$ ) ..... | 137        |
| 5.6.3      | Gaz rares .....  | 138        |
| 5.6.4      | Radon .....  | 141        |
| <b>5.7</b> | <b>Modélisation couplée des échanges rivière-aquifère</b> .....            | <b>144</b> |
| <b>5.8</b> | <b>Synthèse des contextes hydrogéologiques régionaux</b> .....             | <b>149</b> |
| <b>6</b>   | <b>RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE</b> .....                                  | <b>154</b> |
| <b>6.1</b> | <b>Usage de la ressource</b> .....   | <b>154</b> |
| <b>6.2</b> | <b>Qualité de la ressource</b> .....                                       | <b>159</b> |
| 6.2.1      | Normes de potabilité .....   | 159        |
| 6.2.2      | Objectifs esthétiques .....  | 163        |
| <b>6.3</b> | <b>Densité des activités anthropiques</b> .....                            | <b>169</b> |
| <b>6.4</b> | <b>Gestion durable de la ressource</b> .....                               | <b>175</b> |
| 6.4.1      | Principes de gestion durable .....   | 175        |
| 6.4.2      | Indicateurs de quantité .....  | 176        |
| 6.4.3      | Indicateurs de qualité .....   | 177        |
| <b>7</b>   | <b>RECOMMANDATIONS ET CONCLUSIONS</b> .....                                | <b>178</b> |
| <b>7.1</b> | <b>Recommandations</b> .....   | <b>178</b> |
| 7.1.1      | Recommandations en lien avec la ressource en eau .....                     | 178        |
| 7.1.2      | Recommandations sur la réalisation des travaux PACES .....                 | 179        |
| <b>7.2</b> | <b>Conclusions</b> .....   | <b>180</b> |
| <b>7.3</b> | <b>Conclusion générale</b> .....   | <b>182</b> |
|            | <b>RÉFÉRENCES</b> .....  | <b>183</b> |

## LISTE DES CARTES

|   |     |
|---|-----|
| Carte 1 Routes, limites municipales et toponymie .....                      | 7   |
| Carte 2 Topographie .....   | 9   |
| Carte 3 Modèle numérique altimétrique .....                                 | 11  |
| Carte 4 Pente du sol .....  | 13  |
| Carte 5 Hydrographie.....   | 17  |
| Carte 6 Limite des bassins versants .....                                   | 19  |
| Carte 7 Couverture végétale - peuplements forestiers .....                  | 23  |
| Carte 8 Couverture végétale – cultures .....                                | 27  |
| Carte 9 Milieux humides.....  | 31  |
| Carte 10 Pédologie .....  | 33  |
| Carte 11 Réseau de suivi météorologique, hydrologique et piézométrique..... | 39  |
| Carte 12 Occupation du sol.....   | 43  |
| Carte 13 Affectation du territoire .....                                    | 47  |
| Carte 14 Localisation des travaux de terrain.....                           | 53  |
| Carte 15 Géologie du roc.....   | 71  |
| Carte 16 Géologie du Quaternaire .....                                      | 77  |
| Carte 17 Topographie du roc .....   | 85  |
| Carte 18 Épaisseur des dépôts meubles .....                                 | 87  |
| Carte 19 Indice de confinement .....  | 97  |
| Carte 20 Contextes hydrogéologiques.....                                    | 101 |
| Carte 21 Piézométrie de l'aquifère au roc.....                              | 113 |
| Carte 22 Zones préférentielles de recharge et de résurgences.....           | 123 |
| Carte 23 Indice DRASTIC des aquifères .....                                 | 129 |
| Carte 24 Types d'eaux souterraines .....                                    | 135 |
| Carte 25 Approvisionnements municipaux.....                                 | 157 |
| Carte 26 Concentrations en nitrates dans l'eau souterraine .....            | 161 |
| Carte 27 Qualité de l'eau souterraine - Critères de potabilité .....        | 165 |
| Carte 28 Qualité de l'eau souterraine - Objectifs esthétiques.....          | 167 |
| Carte 29 Densité des activités anthropiques.....                            | 171 |
| Carte 30 Densité des activités agricoles .....                              | 173 |

## LISTE DES FIGURES

|   |     |
|---|-----|
| Figure 1 Pourcentage des différents types de peuplements forestiers .....   | 21  |
| Figure 2 Pourcentage des différents types de cultures.....  | 25  |
| Figure 3 Pourcentage des différents types de milieux humides .....  | 29  |
| Figure 4 Pourcentage des différents types d'occupation du sol .....   | 42  |
| Figure 5 Pourcentage des différents types d'affectation du territoire.....  | 45  |
| Figure 6 Localisation des coupes stratigraphiques.....  | 89  |
| Figure 7 Coupe stratigraphique A-A' .....   | 91  |
| Figure 8 Coupe stratigraphique B-B'.....  | 92  |
| Figure 9 Coupe stratigraphique C-C' .....   | 93  |
| Figure 10 Distribution des log(K) à partir de la capacité spécifique.....   | 108 |
| Figure 11 Distribution des log(K) par lithologie du roc selon le test ANOVA .....   | 108 |
| Figure 12 Séries temporelles des niveaux piézométriques dans trois forages.....   | 115 |
| Figure 13 Flux calculés avec MOHYSE sur le bassin de la rivière à la Raquette.....  | 117 |
| Figure 14 Flux obtenus avec MOHYSE sur le bassin versant de la rivière à la Raquette .  | 118 |
| Figure 15 Recharges mensuelles moyennes 1989-2009 du bilan hydrique spatialisé .....  | 120 |
| Figure 16 Bilan hydrique de la zone d'étude.....  | 126 |
| Figure 17 Évolution temporelle annuelle des flux du bilan hydrique .....  | 126 |
| Figure 18 Superficie des classes de vulnérabilité DRASTIC .....   | 128 |
| Figure 19 Diagramme de Piper pour les eaux souterraines de la zone d'étude .....  | 132 |
| Figure 20 Relation $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$ dans les eaux souterraines dans la zone d'étude .....  | 132 |
| Figure 21 Composition isotopique de l'eau dans la zone d'étude.....   | 137 |
| Figure 22 Isotopes des nitrates sur la zone d'étude pour $\text{N-NO}_3 > 2 \text{ mg N-NO}_3/\text{L}$ .....   | 138 |
| Figure 23 Graphique de Weise représentant les pôles isotopiques des sources d'hélium  | 139 |
| Figure 24 Comparaison entre les teneurs initiales en $^3\text{H}$ et $^3\text{He}$ dans les échantillons d'eaux<br>souterraines et celles mesurées dans les précipitations atmosphériques (IAEA, Ottawa).   | 141 |
| Figure 25 Activité en $^{222}\text{Rn}$ pour le roc et pour l'eau de rivière .....  | 142 |
| Figure 26 Échantillonnage du radon sur le bassin versant de rivière à la Raquette .....   | 142 |
| Figure 27 Activités mesurées et simulées du radon en fonction du débit et de la nature des<br>sédiments du lit de la rivière à la Raquette .....  | 143 |
| Figure 28 Modèle géologique conceptuel GMS et les conditions limites utilisées dans le<br>modèle couplé Mike SHE (Exagération verticale x7).....  | 144 |
| Figure 29 Scattergramme des charges moyennes mesurées et simulées .....   | 147 |
| Figure 30 Hydrogrammes des débits simulés aux trois stations hydrométriques; a) station 1,<br>b) station 2 et c) station 3. Le critère RMSE est en $\text{m}^3/\text{s}$ . Données journalières présentées.<br>Les échelles verticales sont différentes sur les trois figures. .... | 148 |
| Figure 31 Débit de base simulé dans les parties amont, centrale et aval du bassin versant<br>de la rivière à la Raquette. ....  | 149 |
| Figure 32 Schémas des contextes hydrogéologiques sur la coupe A-A' .....  | 152 |
| Figure 33 Schémas des contextes hydrogéologiques sur la coupe B-B' .....  | 153 |

## LISTE DES TABLEAUX

|   |     |
|---|-----|
| Tableau 1 Équipe de réalisation du projet PACES-Vaudreuil-Soulanges.....                      | 3   |
| Tableau 2 Organismes ayant appuyé le Projet.....  | 3   |
| Tableau 3 Détail des différentes stations hydrométriques .....                                | 35  |
| Tableau 4. Détail des différentes stations météorologiques .....                              | 36  |
| Tableau 5 Détails des stations piézométriques.....  | 37  |
| Tableau 6 Populations et superficies des municipalités.....                                   | 41  |
| Tableau 7 Sources d'information disponibles pour la réalisation du projet.....                | 50  |
| Tableau 8 Résumé des travaux de caractérisation.....  | 55  |
| Tableau 9 Détails de construction des forages .....   | 57  |
| Tableau 10 Détails des sondages et des piézomètres dans les dépôts meubles.....               | 58  |
| Tableau 11 Paramètres chimiques analysés .....  | 61  |
| Tableau 12 Synthèse des informations intégrées à la base de données.....                      | 66  |
| Tableau 13 Stratigraphie des unités géologiques .....   | 68  |
| Tableau 14 Stratigraphie des dépôts meubles.....  | 74  |
| Tableau 15 Contextes hydrostratigraphiques .....  | 99  |
| Tableau 16 Synthèse des propriétés hydrauliques .....   | 106 |
| Tableau 17 Conductivités hydrauliques mesurées au perméamètre de Guelph .....                 | 109 |
| Tableau 18 Statistiques des débits de base sur le bassin de la rivière à la Raquette .....    | 116 |
| Tableau 19 Détail du bilan hydrique simulé avec le modèle MOHYSE .....                        | 119 |
| Tableau 20 Paramètres calés du modèle MikeSHE .....   | 147 |
| Tableau 21 Provenance de l'eau consommée pour la MRC de Vaudreuil-Soulanges .....             | 154 |
| Tableau 22 Utilisation de l'eau pour la MRC de Vaudreuil-Soulanges .....                      | 154 |
| Tableau 23 Estimé de la consommation de l'eau souterraine par municipalité .....              | 155 |
| Tableau 24 Sommaire des dépassements de normes, paramètres inorganiques <sup>*,**</sup> ..... | 159 |
| Tableau 25 Sommaire des non conformités de normes bactériologiques .....                      | 163 |
| Tableau 26 Sommaire des dépassements esthétiques <sup>*,**</sup> .....                        | 164 |

**LISTE DES ANNEXES**

- Annexe 1 Protocole du calcul de la pente
- Annexe 2 Protocole pour la préparation du livrable pédologie
- Annexe 3 Publications liées au projet PACES Vaudreuil-Soulanges
- Annexe 4 Photos de terrain
- Annexe 5 Levés géophysiques
- Annexe 6 Logs de forage et de piézomètres
- Annexe 7 Protocole de prélèvement d'échantillons d'eau souterraine
- Annexe 8 Estimation de l'épaisseur des dépôts meubles et de la topographie du roc
- Annexe 9 Interpolation de la piézométrie
- Annexe 10 Séries temporelles de niveaux piézométriques dans les forages instrumentés
- Annexe 11 Détermination de la recharge distribuée par bilan hydrique
- Annexe 12 Application de la méthode DRASTIC sur la zone Vaudreuil-Soulanges
- Annexe 13 Protocole pour la préparation du livrable utilisation de l'eau
- Annexe 14 Protocole de production des livrables qualité de l'eau et objectifs esthétiques
- Annexe 15 Protocole de calcul pour l'indice de densité des activités anthropiques
- Annexe 16 Rapport de stage de master II de Camille Peretti

\* Les annexes sont présentées dans des documents distincts.

## 1 INTRODUCTION

### 1.1 Contexte de réalisation du projet et objectifs

Le *Projet de connaissance des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges*, financé dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissance sur les eaux souterraines (PACES) du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) avait pour but d'établir la cartographie hydrogéologique de la Zone de gestion intégrée de l'eau de Vaudreuil-Soulanges dans la région de la Montérégie. Ce projet a été réalisé par l'Université du Québec à Montréal, qui en a été le maître d'œuvre, et par un ensemble de partenaires régionaux. Le projet PACES-Vaudreuil-Soulanges a été réalisé au sein du Réseau québécois sur les eaux souterraines (RQES).

Ce rapport final résume les activités réalisées au cours des trois phases du projet qui se sont déroulées du 1er avril 2012 au 31 mars 2015 : Phase I - Collecte des données existantes, Phase II - Travaux de terrain et Phase III - Synthèse et transfert.

Les objectifs généraux du projet étaient les suivants :

1. dresser un portrait de la ressource en eaux souterraines de la Zone de gestion intégrée de l'eau de Vaudreuil-Soulanges;
2. favoriser une saine gestion de la ressource en développant des partenariats entre les acteurs de l'eau et les gestionnaires du territoire dans l'acquisition des connaissances sur la ressource en eaux souterraines.

Plus spécifiquement, le projet visait à :

1. comprendre la nature des formations aquifères;
2. connaître l'origine et les directions d'écoulement de l'eau souterraine;
3. décrire la qualité de l'eau souterraine;
4. quantifier le bilan hydrique de l'aquifère
5. estimer la pérennité de la ressource en eau souterraine selon son taux de renouvellement naturel et en fonction des prélèvements anthropiques;
6. déterminer la vulnérabilité de l'eau souterraine aux activités humaines.

## 1.2 Équipe de réalisation et partenaires

### 1.2.1 *Équipe de réalisation*

Le **tableau 1** présente l'équipe de réalisation du projet PACES-Vaudreuil-Soulanges. Le projet a été coordonné par Marie Larocque, hydrogéologue et professeure au département des Sciences de la Terre et de l'atmosphère de l'UQAM. La professeure Sarah Dorner de l'école Polytechnique de Montréal a également été impliquée dans le projet. L'équipe de réalisation de l'UQAM était composée de Guillaume Meyzonnat (agent de recherche) et de Pierre-Marc Godbout, étudiant PhD impliqué à temps partiel sur la cartographie du Quaternaire. Des chercheurs de l'UQAM ont été impliqués dans le projet en tant que collaborateurs : Daniele Pinti et Florent Barbecot (hydrogéochimie et traçage des eaux souterraines) ainsi que Michel Lamothe et Martin Roy (géologie du Quaternaire). Le Projet bénéficie de la mise en commun des expertises, des ressources techniques et des protocoles des membres chercheurs du Réseau québécois sur les eaux souterraines (RQES).

Des activités de recherche ont été réalisées conjointement au Projet. Félix Turgeon a travaillé directement sur le Projet dans le cadre d'une MSc en sciences de la Terre de l'UQAM. Ses travaux de maîtrise ont porté sur la modélisation des écoulements de surface et souterrains du bassin versant de la rivière à la Raquette à l'aide du modèle numérique couplé MikeSHE. Floriane Moreira, étudiante à la MSc en sciences de la Terre de l'UQAM, a étudié le traçage des échanges entre eaux de surface et eaux souterraines sur la rivière à la Raquette à l'aide du  $^{222}\text{Rn}$  et de l'argon. Pauline Méjean a également été impliquée dans le Projet dans le cadre d'un PhD en sciences de la Terre et de l'atmosphère de l'UQAM qui a porté sur la caractérisation des écoulements et des temps de résidence de l'eau souterraine des systèmes aquifères des Basses-Terres du Saint-Laurent en utilisant la géochimie des gaz rares et les isotopes de l'uranium. Éric Fillion et Steven St-Aubin, deux étudiants du baccalauréat en sciences de la Terre et de l'atmosphère de l'UQAM, se sont respectivement joints à l'équipe au cours des étés 2013 et 2014 en tant que stagiaires. Une étudiante française, Camille Peretti, a réalisé un stage de niveau Master II de six mois (Université Paris XI, France) sur l'estimation de la recharge dans la zone d'étude, impliquant notamment des travaux de terrain sur l'esker de Saint-Télesphore/ rivière-Beaudette.

### 1.2.2 *Partenaires*

Les partenaires du projet PACES-Vaudreuil-Soulanges sont l'organisme de bassin versant (OBV) COBAVER-VS, l'Agence de géomatique montréalaise (GéoMont), ainsi que la municipalité régionale de comté (MRC) de Vaudreuil-Soulanges. Les partenaires ont contribué en argent et/ou en nature à la réalisation du projet (**Tableau 2**). Le comité de suivi du projet, formé d'un représentant de chaque partenaire, avait pour mandat d'assurer le lien entre la région et l'équipe de réalisation du projet. Le comité de suivi s'est rencontré à sept reprises entre le 1er avril 2012 et le 31 mars 2015 (15 juin 2012, 7 décembre 2012, 17 janvier 2013, 12 décembre 2012, 24 avril 2013, 28 février 2014 et 19 juin 2014).



Une journée d'atelier de formation sur les notions de base sur les eaux souterraines et les livrables du PACES-Vaudreuil-Soulanges a été organisée le 11 décembre 2014 dans les locaux du COBAVER-VS à Rigaud. Treize personnes provenant de la MRC, des municipalités, des OBV ont participé à cet atelier.

**Tableau 1** Équipe de réalisation du projet PACES-Vaudreuil-Soulanges

| Noms  | Rôle   |
|---|--|
| Marie Larocque                                    | Coordonnatrice du projet; professeure UQAM   |
| Florent Barbecot                                  | Géochimiste; professeur UQAM   |
| Daniele Pinti                                     | Géochimiste; professeur UQAM   |
| Martin Roy  | Géologie du Quaternaire; professeur UQAM   |
| Michel Lamothe                                    | Géologie du Quaternaire; professeur UQAM   |
| Guillaume Meyzonnat                               | Hydrogéologie; agent de recherche UQAM   |
| Pierre-Marc Godbout                               | Cartographie des dépôts meubles; étudiant PhD UQAM   |
| Félix Turgeon, Floriane Moreira<br>Pauline Méjean | Modélisation numérique couplée (FT), échanges eaux de surface/ eaux souterraine (FM), traçage des eaux souterraines (PM);<br>étudiants en sciences de la Terre de l'UQAM |
| Eric Fillion, Steven St Aubin, Camille Peretti    | Support aux activités de terrain et d'analyse des résultats, étudiant de BSc en Géologie (UQAM), et en Master II (Université Paris XI)                                   |

**Tableau 2** Organismes ayant appuyé le Projet

| Organisme                  | Participant au comité de suivi   | Contribution                      |
|----------------------------|--|-----------------------------------|
| MRC de Vaudreuil-Soulanges | Élise Phoenix, agente d'intervention aux cours d'eau                           | Argent et nature (temps-personne) |
| COBAVER-VS                 | Isabelle Rodrigue<br>directrice 2012-2014<br>Julie Cyr<br>directrice 2014-2015 | Nature (temps-personne)           |
| COBAVER-VS                 | Emily Sinave, chargée de projet  | Nature (temps-personne)           |
| GéoMont                    | Jean-François Rivest,<br>coordonnateur   | Nature (temps-personne)           |

### 1.3 Organisation du rapport

Ce rapport présente tous les résultats obtenus au cours du projet PACES-Vaudreuil-Soulanges. Afin de décrire chacune des phases du projet et tous les résultats obtenus, le rapport est divisé en huit chapitres. Le **chapitre 2** décrit la zone d'étude et le milieu naturel. Le **chapitre 3** résume l'acquisition des données et les travaux de caractérisation. Les contextes géologiques et hydrogéologiques régionaux font l'objet du **chapitre 4**. Le **chapitre 5** s'attarde aux conditions hydrogéologiques sur la zone d'étude. L'état de la ressource en eau souterraine dans la région est présenté au **chapitre 6**. Les conclusions et recommandations pouvant être apportées à la lumière des travaux effectués dans les trois dernières années font l'objet du **chapitre 7**.

## 2 PRÉSENTATION DU TERRITOIRE À L'ÉTUDE

### 2.1 Localisation

Le territoire visé fait partie de la région de la Montérégie et couvre tous les bassins versants de la zone de gestion intégrée de l'eau de Vaudreuil-Soulanges, totalisant une superficie de 814 km<sup>2</sup> (**Carte 1**). Ce territoire à vocation principalement agricole est intégralement contenu au sein de la MRC de Vaudreuil-Soulanges, dans la région de la Montérégie.

La population pour le territoire à l'étude est d'environ 97 250 habitants répartie dans 18 municipalités : Coteau-du-Lac, Hudson, Les Cèdres, Les Coteaux, Pointe-des-Cascades, Pointe-Fortune, Rigaud, rivière-Beaudette, Saint-Clet, Sainte-Justine-de-Newton, Sainte-Marthe, Saint-Lazare, Saint-Polycarpe, Saint-Télesphore, Saint-Zotique, Très-Saint-Rédempteur, Vaudreuil-Dorion et Vaudreuil-sur-le-Lac (**Carte 1**). Les trois plus grandes villes sont Vaudreuil-Dorion (32 784 hab.), Saint-Lazare (19 295 hab.) et Rigaud (7 346 hab.). La zone d'étude est répartie sur les feuillets 31G01, 31G08, 31G09 et 31H05. Elle est parcourue par les autoroutes Jean-Lesage (20), Félix-Leclerc (40), de l'Acier (30) et par plusieurs routes régionales (201, 338, 342) (**Carte 1**).

### 2.2 Milieu naturel

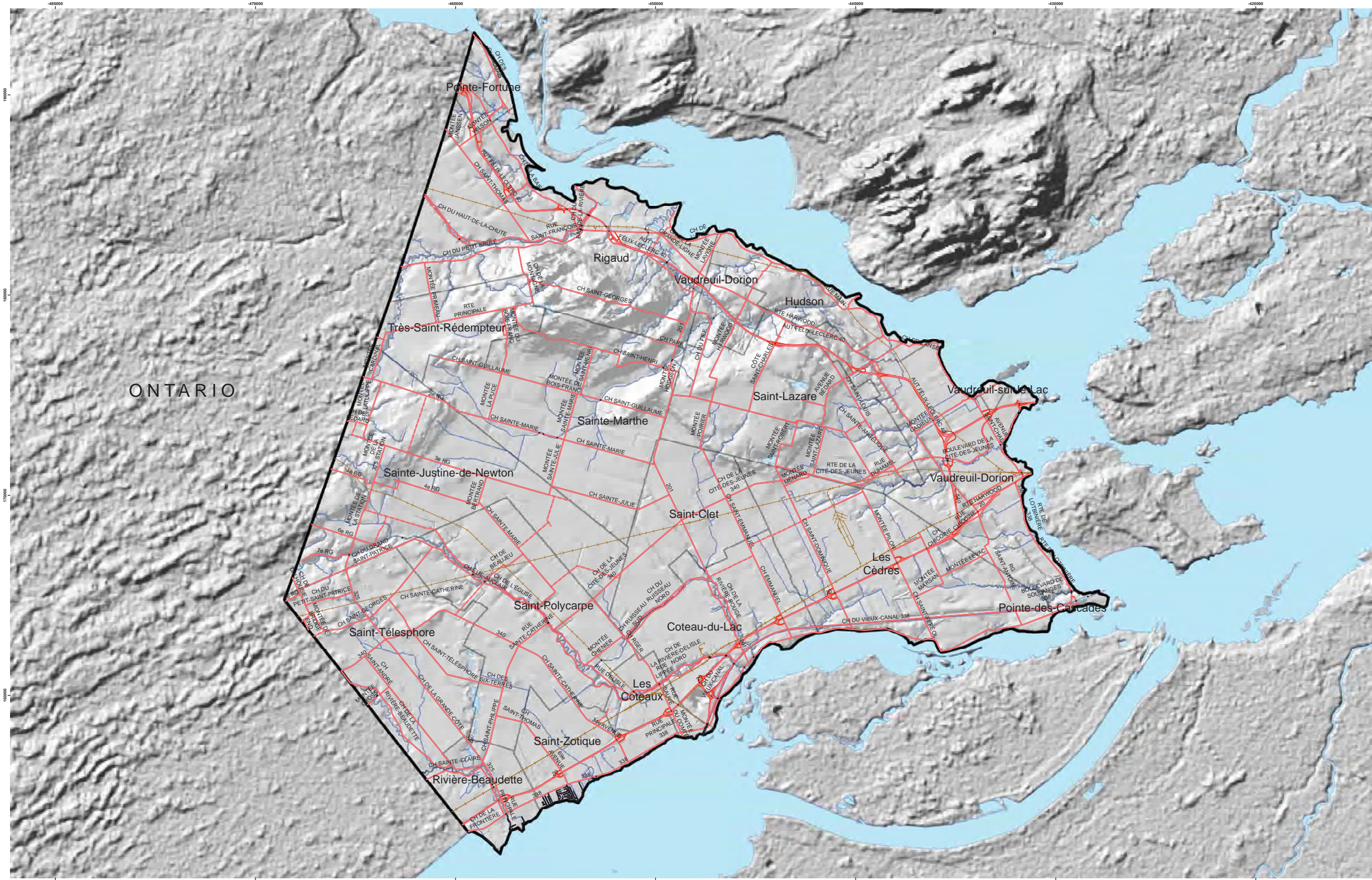
#### 2.2.1 *Topographie et modèle numérique altimétrique*

La représentation de la topographie a été réalisée à partir du modèle numérique altimétrique (MNA) fourni par la Division du patrimoine écologique et des parcs (DPEP) (**Cartes 2 et 3**). Le modèle fournit une valeur d'élévation avec une précision au 5 m près pour chaque maille de 10 m x 10 m. Les trois quarts de la superficie de la région sont marqués par la topographie plane de la plaine argileuse. La région présente néanmoins trois reliefs distincts constitués par le mont Rigaud (229 m d'altitude) et la butte de Saint-Lazare (121 m d'altitude) au nord, et par des crêtes topographiques orientées nord-est/sud-ouest vers la ville de Sainte-Justine-de-Newton (105 m d'altitude). L'altitude varie ainsi de quelques mètres au fleuve Saint-Laurent à 229 m au sommet du mont Rigaud qui constitue le point le plus élevé de la zone d'étude. Un levé LiDAR (*Light Detection and Ranging*) réalisé pour la Montérégie est disponible, mais il ne couvre que la partie ouest de la zone d'étude (délimité par une bande nord-sud entre Choisy et Les Cèdres). La précision (planimétrique et altimétrique) du LiDAR est de  $\pm 15$  cm.

#### 2.2.2 *Pente du sol*

La pente du sol a été calculée à l'aide du protocole présenté à l'**annexe 1**. Sur la zone d'étude, la pente varie de 0 à 63 ° et est en moyenne de 1 ° (**Carte 4**). La pente est faible dans la majeure partie du territoire. Les pentes plus fortes se situent dans la zone du mont Rigaud, de la butte de Saint-Lazare et des crêtes de Sainte-Justine-de-Newton.





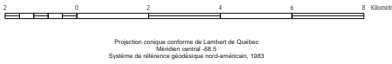
### LÉGENDE

- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- Zone d'étude
- Municipalité
- Réseau routier pavé (classification MTQ)
- Réseau routier non pavé (classification MTQ)
- Bretelle
- Pont
- Pont couvert
- Pont d'étagement
- Passerelle
- Mur de soutènement
- Voie ferrée
- Traverse
- Gué



MÉTADONNÉES  
Section 2.1 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

Carte 1 Routes, limites municipales et toponymie  
ZONE VAUDREUIL-SOULANGES  
QUÉBEC



Projection cartographique conforme de Lambert de Québec  
Métrolier central 62.5  
Système de référence géodésique nord-américain, 1983

SOURCES / RÉALISATION  
Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Limites municipales : SDA 20K, BDTA 250K  
Réseau routier : BDTQ 20K  
Réalisation :  
Université du Québec à Montréal



Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/60 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les données requises pour définir les conditions locales à l'échelle locale et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'intégrité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attache ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adéquation à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, sous conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée :  
Larocque, M., Maréchal, G., Charlier, M., A., Gravelle, M., H., Gagné, S., Barrette, D. et Dorval, S. 2015. Projet de cartographie des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MDECC.



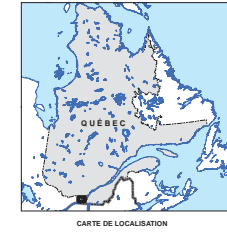


### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- ⊞ Zone d'étude

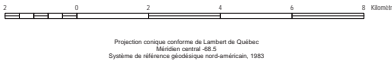
**Courbes de niveau [équidistance 20 m]**

- Courbe de niveau intermédiaire
- Courbe de niveau maîtresse



MÉTADONNÉES  
Section 2.2.1 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

**Carte 2 Topographie  
ZONE VAUDREUIL-SOULANGES  
QUÉBEC**



SOURCES / RÉALISATION

Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Courbes de niveau: BDTQ 20K

Réalisation :  
Université de Québec à Montréal

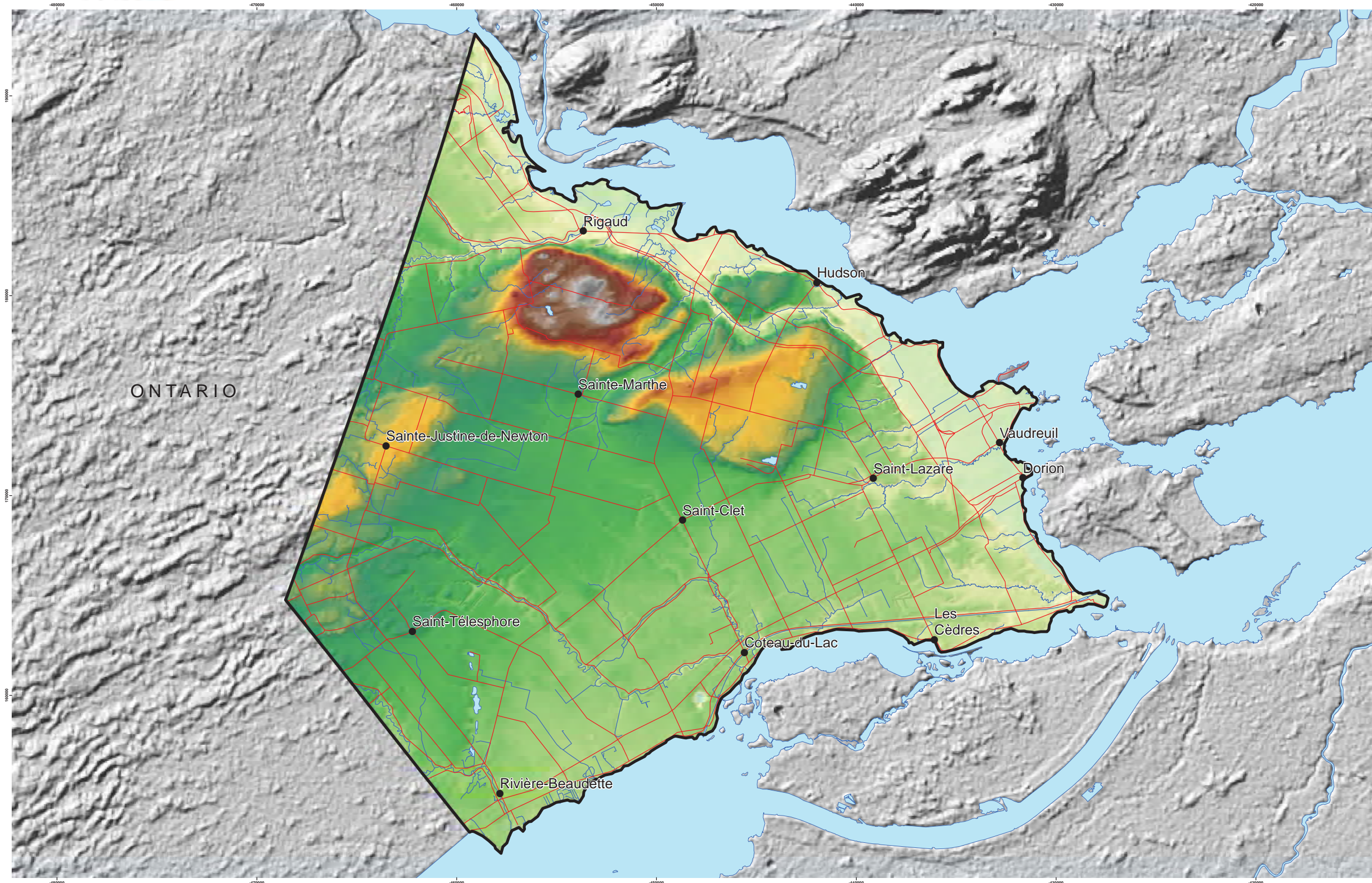


Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/60 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les données requises pour définir les conditions locales et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'intégrité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attache ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adoption à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, des conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée :  
Larocque, M., Méthot, G., Charlier, M.-A., Gravelle, M.-H., Gagné, S., Barrette, D. et Dorner, S. 2015. Projet de cartographie des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MDECC.







### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- ⊞ Zone d'étude

**Élévation (m)**

Maximum : 229

Minimum : 5



MÉTADONNÉES  
Section 2.2.1 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

**Carte 3 Modèle numérique altimétrique  
ZONE VAUDREUIL-SOULANGES  
QUÉBEC**



SOURCES / RÉALISATION

Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Modèle altimétrique numérique : MERN 20K

Réalisation :  
Université du Québec à Montréal



Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/60 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les données requises pour définir les conditions locales à l'échelle locale et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'exactitude des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attaché ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adaptation à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, des conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée :  
Larocque, M., Méthot, G., Charlier, M.-A., Gravelle, M.-H., Gagné, S., Barrette, D. et Dorner, S. 2015. Projet de cartographie des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MDECC.





### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- ⊞ Zone d'étude

**Pente du sol (°)**

- 0 - 2
- 2 - 5
- 5 - 11
- 11 - 20
- 20 - 63



CARTE DE LOCALISATION

MÉTADONNÉES  
Section 2.2.2 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

**Carte 4 Pente du sol**  
**ZONE VAUDREUIL-SOULANGES**  
QUÉBEC



Projection cartographique conforme de Lambert de Québec  
Métrolier central de 5  
Système de référence géographique nord-américain, 1983

SOURCES / RÉALISATION

Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Pente du sol: MERN 20K, UQAM

Réalisation:  
Université de Québec à Montréal



SYSTÈME NATIONAL DE RÉFÉRENCE CARTOGRAPHIQUE

Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/60 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découplant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les données requises pour définir les conditions locales à l'échelle locale et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'exactitude des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attache ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adoption à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, sous conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée:  
Larocque, M., Maréchal, G., Charlier, M.-A., Gravelle, M.-H., Gagné, S., Barrette, D. et Dorner, S. 2015. Projet de cartographie des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MDECC.



### **2.2.3 Hydrographie et limites des bassins**

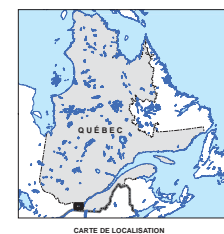
Les principales rivières ainsi que bassins et sous-bassins de la zone d'étude sont illustrés aux **cartes 5** et **6**. La partie nord de la région comprend des bassins versants qui se jettent dans la rivière des Outaouais (superficie cumulée de 453 km<sup>2</sup>), tandis que dans la partie sud les bassins versants se jettent dans le fleuve Saint-Laurent et le lac Saint-François (superficie cumulée de 361 km<sup>2</sup>). Les bassins versants des rivières Rigaud, Beaudette et Delisle ne recourent que partiellement la zone à l'étude à l'aval de leur cours, tandis que leur partie amont est située en Ontario. Les plus grands bassins versants intégralement contenus dans la zone d'étude sont ceux des rivières à la Raquette (132 km<sup>2</sup>), Rouge (74 km<sup>2</sup>) et à la Graise (49 km<sup>2</sup>). On dénombre plusieurs bassins versants d'ordre secondaire, c.-à-d. ceux des rivières Viviry, Nelles, à Charette, Denis-Vinet, Quinchien et Chambray ainsi que huit petits bassins versants connexes situés près du fleuve Saint-Laurent, c.-à-d. ceux des ruisseaux Cadieux et Noir ainsi que des rivières Choisy, Paiement, Dagenais-Besner, Grand Marais, Dix-Huit Arpents et nord-est de la rivière Beaudette.





### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- ⬭ Zone d'étude
- Hydrographie surfacique
- Barrage
- Barrage de castor
- Barrage hydroélectrique
- Buse
- Canal
- Chute
- Cours d'eau
- Cours d'eau intermittent
- Rapide
- Ligne virtuelle de plan d'eau



MÉTADONNÉES  
Section 2.2.3 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

**Carte 5 Hydrographie**  
**ZONE VAUDREUIL-SOULANGES**  
QUÉBEC



Projection cartographique conforme de Lambert de Québec  
Modèle central de 5  
Système de référence géographique québécois, 1983

SOURCES / RÉALISATION  
Sources:  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réalisation :  
Université du Québec à Montréal

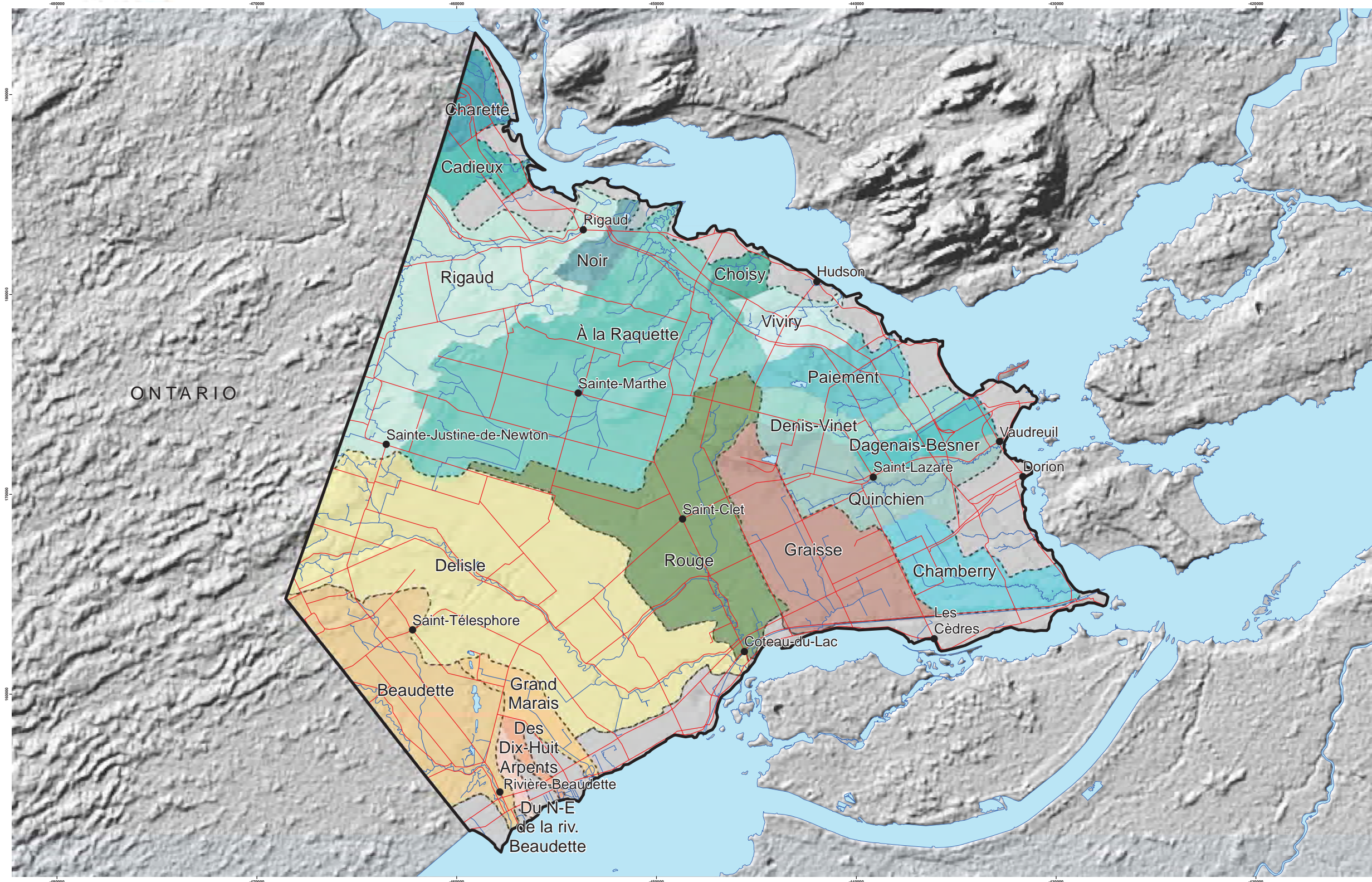


Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/60 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les données requises pour définir les conditions locales à l'échelle locale et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'intégrité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attache ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adoption à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, sous conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée :  
Larocque, M., Méthivier, G., Charlier, M. A., Gravelle, M. H., Gagné, S., Barrette, D. et Dorion, S. 2015. Projet de cartographie des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MOELCC.







### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- ⊞ Zone d'étude

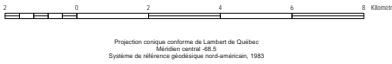
**Bassins versants**

- Bassins versants de niveau 1
- Sous-bassins versants
- Bassins versants résiduels



MÉTADONNÉES  
Section 2.2.3 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

**Carte 6** Limite des bassins versants  
**ZONE VAUDREUIL-SOULANGES**  
QUÉBEC



SOURCES / RÉALISATION

Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Bassins versants: CEHQ 20K

Réalisation:  
Université du Québec à Montréal



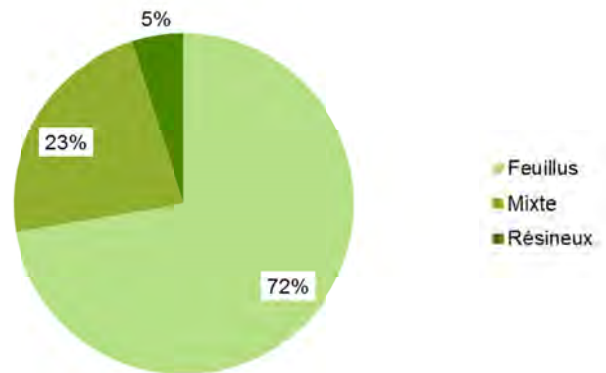
Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/50 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les données requises pour définir les conditions réelles à l'échelle locale et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'exactitude des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attache ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adaptation à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, sous conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée:  
Larocque, M., Méthivier, G., Charlier, M. A., Gravelle, M. H., Gagné, S., Barrette, D. et Dorion, S. 2015. Projet de cartographie des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MDECC.



### 2.2.4 Couverture végétale

Deux couches d'informations complémentaires ont été utilisées pour décrire la couverture végétale sur la zone d'étude. La première, une carte de couverture forestière (**Carte 7**) a été générée à partir des cartes du 4<sup>e</sup> programme d'inventaire du Système d'information écoforestière (SIEF) du ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles (MERN). Selon les données du SIEF, la forêt couvre une superficie totale de 191,3 km<sup>2</sup> ce qui représente 23 % de la zone d'étude. Le territoire forestier est principalement composé de feuillus (72 %), majoritairement localisés dans les zones de relief (**Figure 1**). Les forêts mixtes occupent 23 % du territoire forestier, alors que les résineux composent 5 % du couvert forestier. Parmi les espèces de feuillus, les érablières et les bétulaies (à majorité de bouleaux) dominent et représentent respectivement 66 et 26 % des espèces boisées du bassin. Les peuplements de résineux les plus abondants sont les pinèdes (à majorité de pins), mais ils ne représentent que 2 % des espèces boisées du bassin. Les pinèdes sont présentes dans la partie sud de la butte de Saint-Lazare, ainsi que sur le versant nord du mont Rigaud.



**Figure 1** Pourcentage des différents types de peuplements forestiers





### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- ⊞ Zone d'étude

**Type de peuplement**

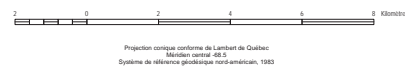
- Feuillus (plus de 75% de la surface)
- Résineux (plus de 75% de la surface)
- Mixte (de 26% à 75% de résineux)



CARTE DE LOCALISATION

MÉTADONNÉES  
Section 2.2.4 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

Carte 7 Couverture végétale - peuplements forestiers  
ZONE VAUDREUIL-SOULANGES  
QUÉBEC



Projection cartographique conforme de Lambert de Québec  
Métres central de 5  
Système de référence géographique nord-américain, 1983

SOURCES / RÉALISATION

Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Couverture végétale: SIEF

Réalisation:  
Université de Québec à Montréal



SYSTÈME NATIONAL DE RÉFÉRENCE CARTOGRAPHIQUE

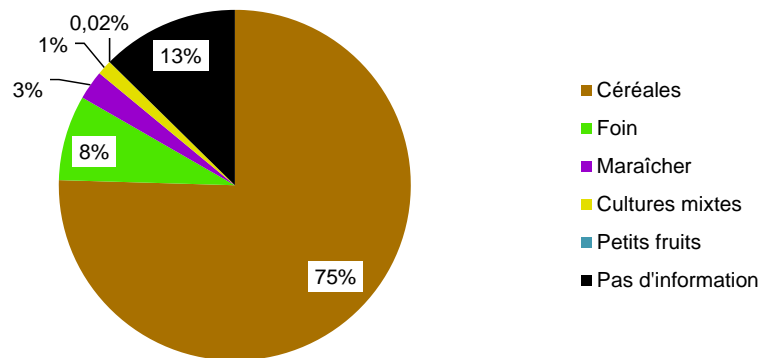
Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/60 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les données requises pour définir les conditions locales et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'intégrité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attaché ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adoption à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, des conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée:  
Larocque, M., Méthivier, G., Charlier, M.-A., Gravelle, M.-H., Gagné, S., Barrette, D. et Dorner, S. 2015. Projet de cartographie des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MDECC.



La **carte 8** présente les grandes cultures agricoles et a été générée à partir de la Base de données des cultures assurées (BDCA) de la Financière agricole du Québec (BDCA, 2011). Ces classes de culture sont compilées à partir des déclarations faites par les producteurs agricoles à la Financière agricole du Québec et environ 10 % de ces déclarations sont validées sur le terrain (BDCA, 2011).

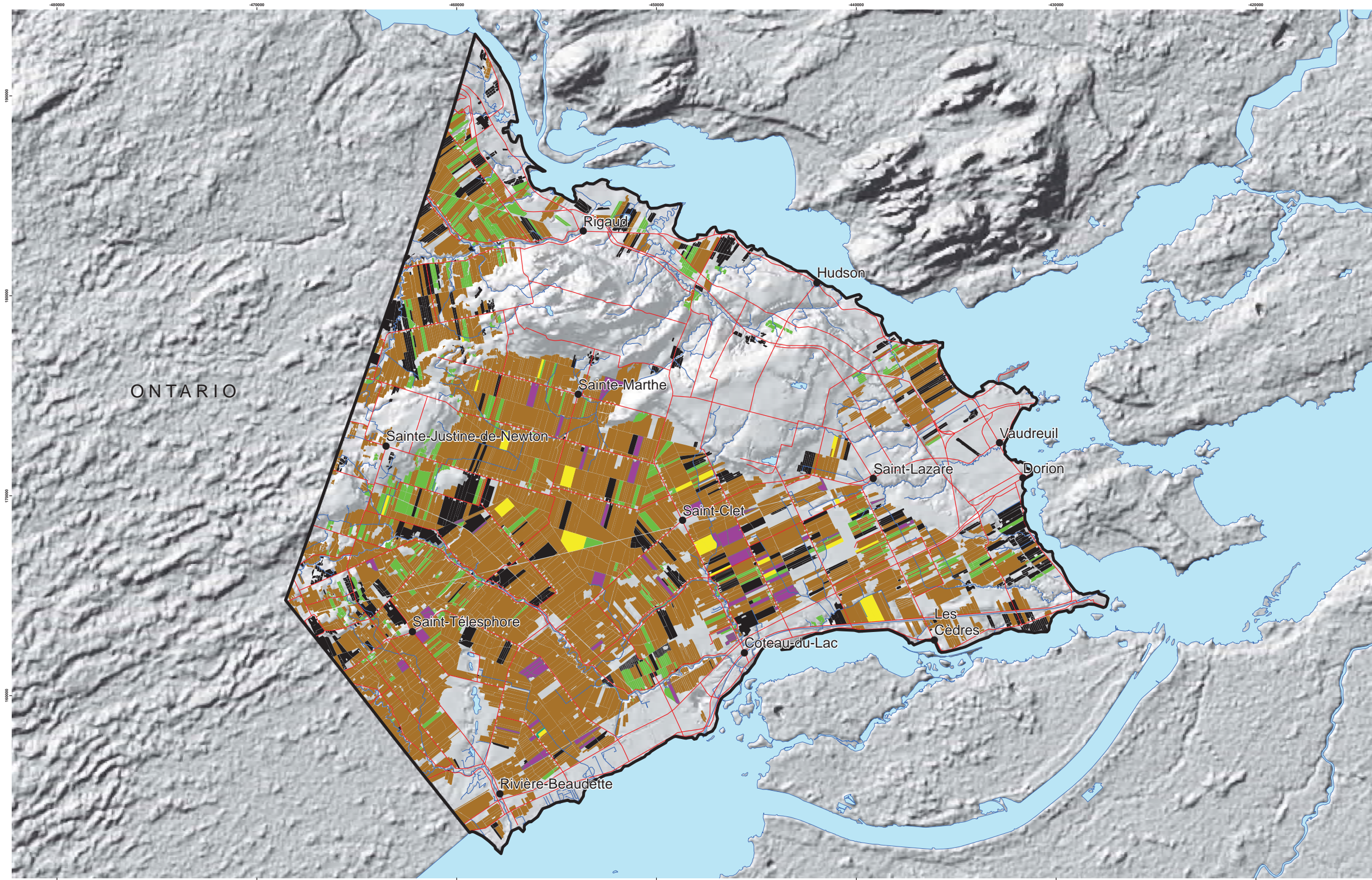
L'agriculture couvre une superficie de 395 km<sup>2</sup> ce qui représente 49 % de la zone d'étude. Les parcelles agricoles se situent dans les zones planes de la plaine argileuse, en dehors des zones urbaines. Celles-ci sont situées sur l'ensemble de la partie sud du territoire ainsi qu'au sud de Pointe-Fortune et à l'ouest du mont Rigaud. Par ordre d'importance, les types de cultures rencontrées sont les céréales (75 %) et le foin (8 %). Les cultures maraîchères (3 %), les cultures mixtes (1 %) et les cultures de petits fruits (0,02 %) occupent une petite portion des zones cultivées (**Figure 2**). Pour 13 % des superficies cultivées, la source de donnée utilisée ne spécifie par le type de culture en place.



**Figure 2** Pourcentage des différents types de cultures







### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- ⬮ Zone d'étude

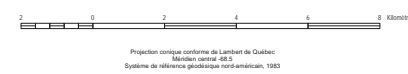
**Type de culture**

- Céréales
- Foin
- Maraîcher
- Cultures mixtes
- Petits fruits
- Pas d'information



MÉTADONNÉES  
Section 2.2.4 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

**Carte 8 Couverture végétale - cultures**  
**ZONE VAUDREUIL-SOULANGES**  
QUÉBEC



SOURCES / RÉALISATION

Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Type de culture: BDCG, Financière agricole

Réalisation :  
Université du Québec à Montréal



Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/60 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découvrant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les données requises pour définir les conditions locales et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'intégrité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attache ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adoption à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, des conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée :  
Larocque, M., Méthot, G., Charlier, M.-A., Gravelle, M.-H., Gagné, S., Barrette, D. et Dorion, S. 2015. Projet de cartographie des usages agricoles de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MDECC.



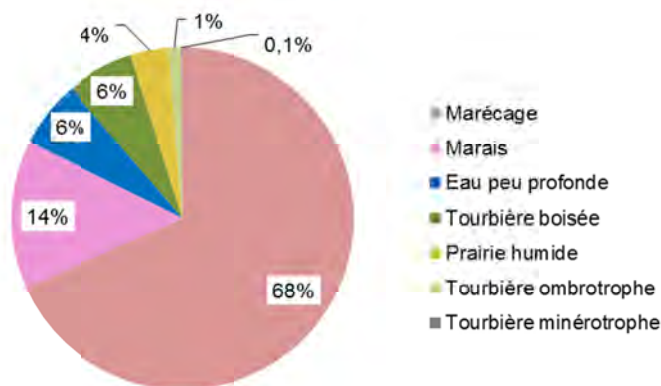
### 2.2.5 Milieux humides

#### Types de milieux humides

L'inventaire le plus récent des milieux humides est le fruit d'un travail conjoint entre Canards Illimités Canada (CIC) et le MDDELCC et a été complété au printemps 2012 (**Carte 9**). Cet inventaire a été réalisé à partir d'un travail de photo-interprétation d'imagerie aérienne numérique (2006 et 2010) et d'une campagne de validation de terrain (printemps 2010). Selon ces données, les milieux humides, peu fréquents dans la région, occupent une superficie de 27 km<sup>2</sup>, soit l'équivalent de 3 % de la superficie totale de la zone d'étude.

L'inventaire catégorise les milieux humides en cinq grandes classes conformément au système de classification des terres humides du Canada (GTNTH, 1997): eaux peu profondes, marais, marécages, tourbières ombrotrophes et tourbières minérotrophes (**Figure 3**). Puisqu'elles étaient suffisamment distinctes pour être identifiées par photo-interprétation, deux sous-classes, les prairies humides (sous-classe de marais) et les tourbières boisées (sous-classe des tourbières minérotrophes), ont été ajoutées à l'inventaire (Beaulieu et al., 2012).

Dans de cette classification, les marécages représentent 68 % des milieux humides de la zone d'étude (**Figure 3**). Ils sont répartis en bordure de la rivière des Outaouais, au sud de Pointe-Fortune; à l'embouchure de la rivière à la Raquette, ainsi qu'au sud de la zone d'étude vers Saint-Thomas-de-Soulanges. Les marais représentent 14 % des milieux humides de la zone d'étude. Les tourbières boisées constituent, quant à elles, 6 % des milieux humides et se concentrent en grande partie en amont du bassin versant du ruisseau Chamberry et sur la butte de Saint-Lazare. Un total de 6 % des milieux humides sont classifiés comme eaux peu profondes et se concentrent en bordure de la rivière des Outaouais. Dans de plus faibles proportions, les prairies humides, tourbières ombrotrophes et les tourbières minérotrophes représentent respectivement 4 %, 1 % et 0,1 % des milieux humides de la zone d'étude. Les tourbières ombrotrophes sont situées sur la butte de Saint-Lazare (notamment la tourbière du Bordelais et au nord de Sainte-Justine-de-Newton).

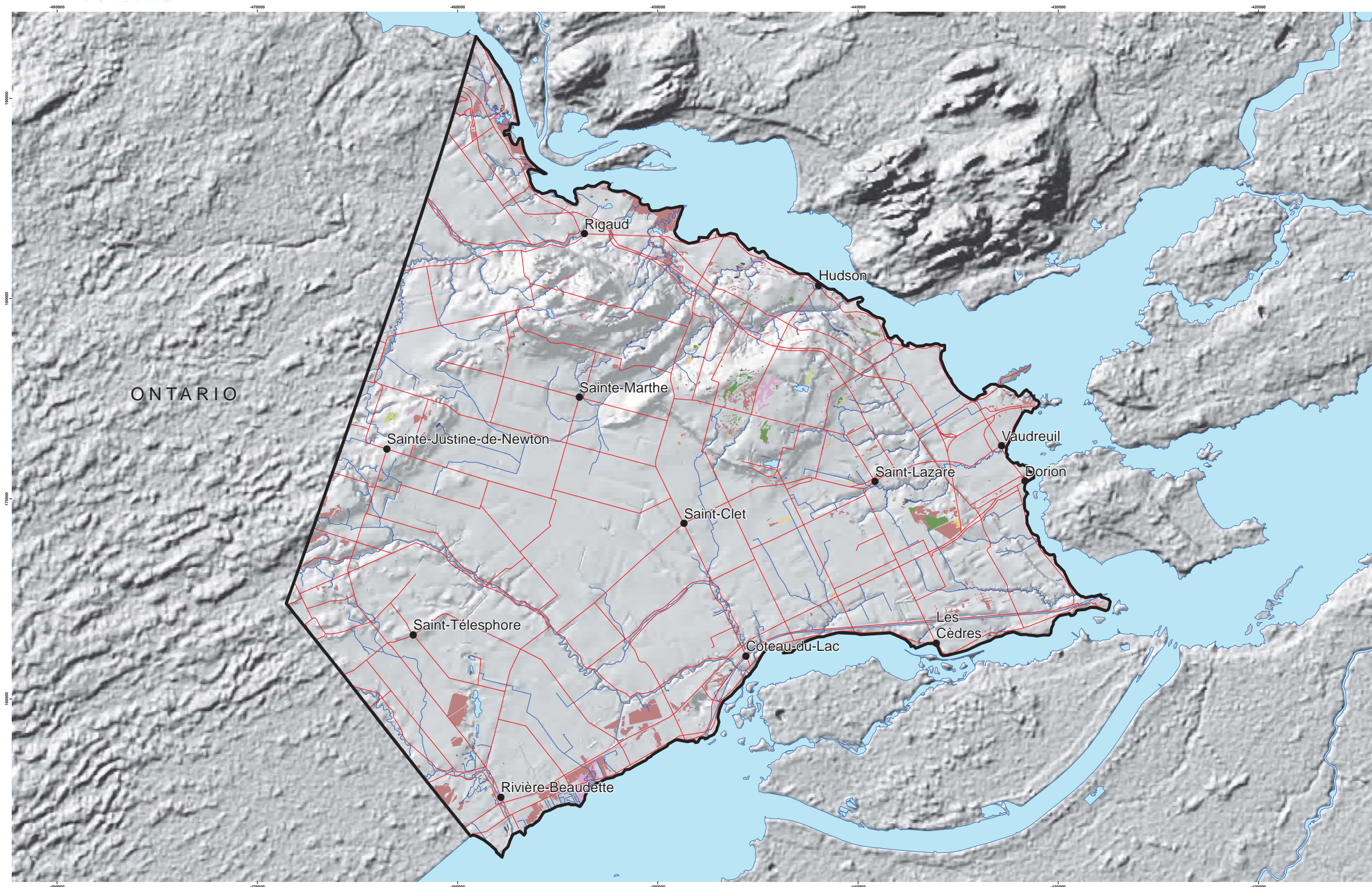


**Figure 3** Pourcentage des différents types de milieux humides

### **2.2.6 Pédologie**

Les données à référence spatiale utilisées pour préparer ce livrable sont issues de l'assemblage de plusieurs cartes pédologiques sous forme numérique réalisées par l'Institut de recherche et développement en agroenvironnement (IRDA). La représentation choisie tient compte de deux informations issues des données de l'IRDA : la texture du sol dominant (argileux, loameux, sableux, graveleux, issus de dépôts de till, organiques et divers) et son drainage (très rapidement drainé à très mal drainé). L'équivalence des classes de drainage de l'IRDA et du SIEF est présentée à l'**annexe 2**.

Les sols argileux sont l'unité pédologique dominante et se retrouvent partout en plaine (**Carte 10**). Ces sols sont classés comme modérément bien drainés à mal drainés. Des sols loameux occupent une partie sud de la plaine dans une bande comprise entre l'amont de la rivière À la Graisse et l'aval de la rivière Beaudette. Ces sols loameux varient de imparfaitement drainés à très mal drainés. À l'emplacement de la butte de Saint-Lazare, de la butte de Hudson et au niveau de l'esker de Saint-Télesphore/rivière-Beaudette, des sols sableux très bien drainés sont présents. Autour de ces derniers, des sables superficiels de la plaine d'épandage sont présents et viennent recouvrir des dépôts argileux, ce qui rend ces sables généralement mal drainés. Les unités issues de dépôts de tills se retrouvent à l'emplacement du mont Rigaud et des crêtes orientées nord-est/ sud-ouest vers Sainte-Justine. Ces unités pédologiques issues de tills sont bien drainées. Enfin, des dépôts graveleux rapidement drainés sont présents sur une bande de 1,5 km de largeur au sud de Pointe-Fortune en longeant la rivière des Outaouais.

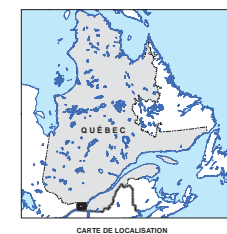


### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- ⊞ Zone d'étude

#### Classes de milieu humide

- Marécage
- Marais
- Eau peu profonde
- Tourbière boisée
- Prairie humide
- Tourbière ombrotrophe
- Tourbière minérotrophe



MÉTADONNÉES  
Section 2.2.5 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

### Carte 9 Milieux humides ZONE VAUDREUIL-SOULANGES QUÉBEC



SOURCES / RÉALISATION

Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Milieux humides : CIC, 2012

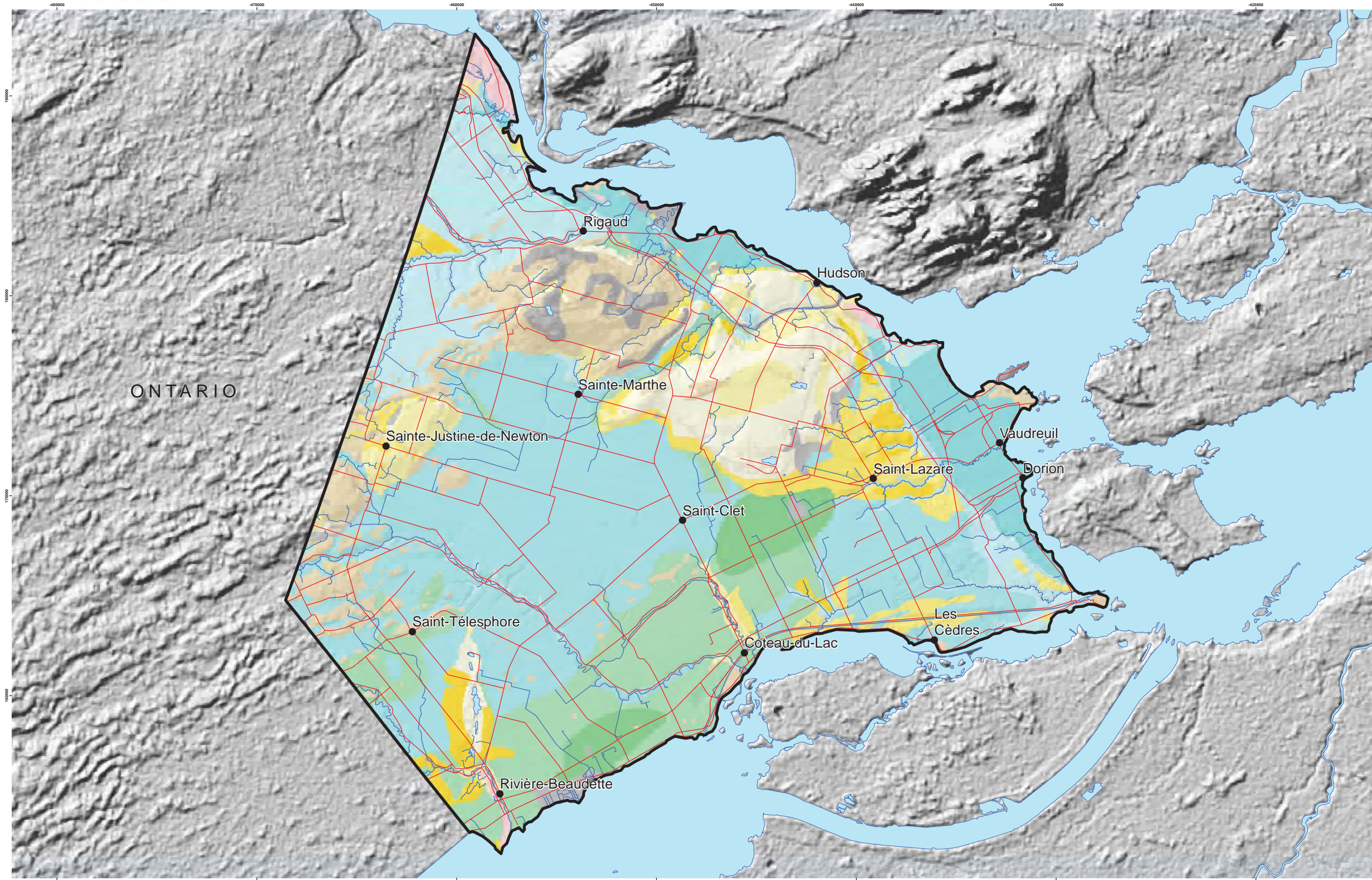
Réalisation :  
Université du Québec à Montréal



Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/60 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les données requises pour définir les conditions locales et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'intégrité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attache ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adoption à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, des conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée :  
Larocque, M., Méthot, G., Charlier, M. A., Gravelle, M. H., Gagné, S., Barrette, D. et Dorner, S. 2015. Projet de cartographie des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MDECC.





### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- ⊞ Zone d'étude

#### Type de sol

##### Sols argileux

- Modérément bien drainé
- Imparfaitement drainé
- Mal drainé

##### Sols loameux

- Bien drainé
- Modérément bien drainé
- Imparfaitement drainé
- Mal drainé
- Très mal drainé

##### Sols sableux

- Très rapidement drainé
- Bien drainé
- Imparfaitement drainé
- Mal drainé
- Inconnu

##### Sols graveleux

- Très rapidement drainé
- Rapidement drainé
- Bien drainé
- Imparfaitement drainé
- Mal drainé

##### Sols issus de dépôts de tills

- Rapidement drainé
- Bien drainé
- Modérément bien drainé
- Imparfaitement drainé
- Mal drainé

##### Sols organiques

- Très mal drainé

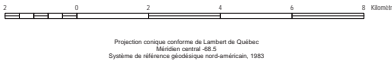
##### Sols divers

- Sol mince sur roc/alluvions



MÉTADONNÉES  
Section 2.2.6 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

**Carte 10 Pédologie**  
**ZONE VAUDREUIL-SOULANGES**  
QUÉBEC



SOURCES / RÉALISATION  
Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Pédologie: IRDA  
Réalisation:  
Université du Québec à Montréal



Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/60 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les données requises pour définir les conditions locales à l'échelle locale et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'intégrité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attaché ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adoption à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, des conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée:  
Larocque, M., Maréchal, G., Charlier, M.-A., Gravelle, M.-H., Gagné, S., Barrette, D. et Dorner, S. 2015. Projet de cartographie des eaux souterraines de la zone de Val-dreuil-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MDECC.





### 2.2.7 Réseau de surveillance et programme de suivi

Dans le cadre de ce projet PACES, trois stations limnimétriques ont été installées sur la rivière à la Raquette (**Carte 11**). Le bassin de cette rivière a été choisi parce c'est le plus grand bassin versant intégralement contenu dans la zone d'étude. De plus, des contextes géomorphologiques hétérogènes (plaine argileuse, proximité du mont Rigaud) coexistent sur ce bassin versant, ce qui le rend très intéressant pour la caractérisation à des fins d'hydrologie et d'hydrogéologie ainsi que pour les travaux de MSc de Félix Turgeon. L'ensemble de ces stations procure des données très importantes pour la gestion du territoire et qui ont été utilisées dans ce projet.

La station 1 est située à l'aval du bassin versant alors que les deux autres sont situées plus en amont. Pendant la durée du projet, les stations 2 et 3 ont été retirées en période de gel (de décembre à avril) tandis que la station 1 est restée active en toute saison. Le détail de ces trois stations est présenté au **tableau 3**. Le débit total le plus important enregistré sur la zone d'étude (103 m<sup>3</sup>/s) a été mesuré à la station 1, située en aval de la rivière.

**Tableau 3** Détail des différentes stations hydrométriques

| Cours d'eau           | Numéro de la station | Étendue série de données       | Débit moyen (m <sup>3</sup> /s) | Débit maximum (m <sup>3</sup> /s) | Débit minimum (m <sup>3</sup> /s) |
|-----------------------|----------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| rivière à la Raquette | 1                    | mars 2013-<br>novembre 2014    | 3,5                             | 103,5                             | 0,4                               |
| rivière à la Raquette | 2                    | juillet 2013-<br>novembre 2014 | 1,0                             | 32,0                              | 0,1                               |
| rivière à la Raquette | 3                    | mai 2013-<br>novembre 2014     | 0,8                             | 51,5                              | 0,01                              |

Les données météorologiques ont été obtenues auprès de Climat Québec. Dix stations météorologiques se trouvent la zone d'étude (**Carte 11**). Sur les dix stations présentées, six sont actuellement fermées, mais la majorité de ces dernières fournissent des séries de données dépassant les dix ans. Le détail des différentes stations est présenté au **tableau 4**. Lorsque l'étendue des données est suffisante, les données de température et de précipitations proviennent des normales climatiques sur 30 ans (1981-2010). Dans le cas contraire, une moyenne sur la période de données disponibles est présentée.

Huit stations font partie du réseau provincial et deux font partie du réseau d'Environnement Canada. La température moyenne sur la zone d'étude varie de 5,0 °C (Saint-Clet-Nord) à 6,7 °C (Les Cèdres). Les précipitations s'échelonnent de 857 mm (Dalhousie-Station) à 1066 mm (Dalhousie Mills). Le CEHQ a fourni les apports verticaux journaliers

(précipitations plus fonte de la neige) de 1900 à 2010 pour un maillage de 0,1 ° (Poirier et al., 2014). Les températures minimales et maximales journalières interpolées sur ce maillage pour la même période sont fournies par la Direction du suivi de l'état de l'environnement (DSEE).

Dix stations piézométriques ont été mises en place dans ce projet dont deux font maintenant partie du Réseau du suivi des eaux souterraines du Québec opéré par le MDDELCC (**Tableau 5**; voir **carte 11**). Une description détaillée des forages (logs de forages et propriétés hydrogéologiques) est présentée au **chapitre 3**. La température moyenne de l'eau varie très peu d'une station à l'autre, la température de l'eau minimale enregistrée étant de 7,5 °C (puits P5) et la température maximale est de 9,1 °C (puits F3). Il est toutefois à noter que la période de suivi varie légèrement d'une station à l'autre. Les stations piézométriques sont réparties sur toute la zone d'étude. Trois puits captent l'aquifère de roc fracturé captif, un puits capte l'aquifère de roc fracturé semi-captif et deux puits captent l'aquifère de roc libre. Deux stations (S3 et S8) sont situées dans un aquifère granulaire à nappe libre et deux autres dans un aquifère granulaire à nappe captive. Dans ces puits, la profondeur du niveau piézométrique par rapport à l'élévation du sol est comprise entre 0,1 et 17,9 m.

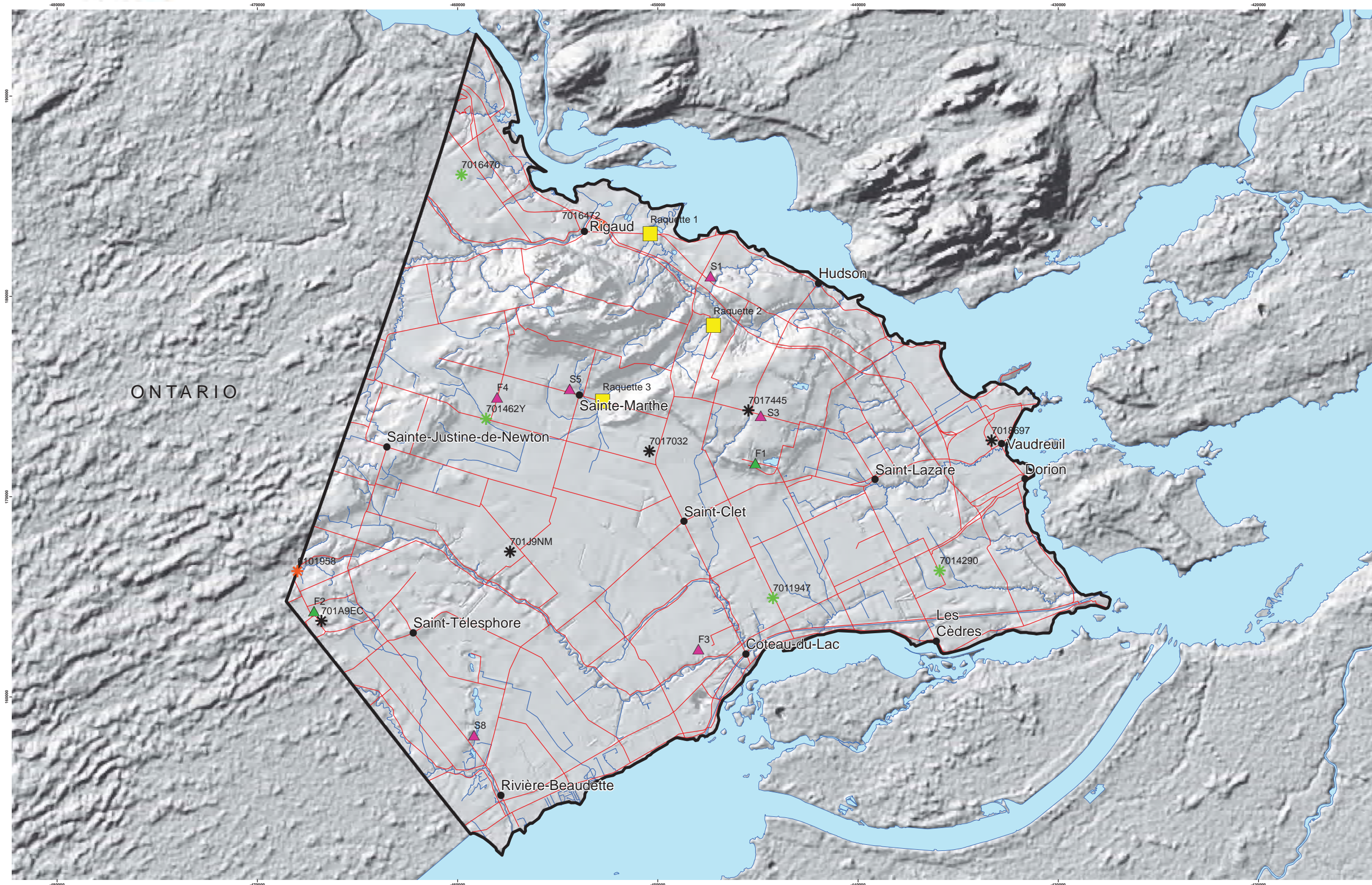
**Tableau 4.** Détail des différentes stations météorologiques

| Nom                      | Numéro  | Altitude (m) | Étendue de la série de données | Température moyenne annuelle (°C) | Précipitation moyenne annuelle (mm) |
|--------------------------|---------|--------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Coteau-du-Lac            | 7011947 | 45           | 1966-2013                      | 6,0                               | 974                                 |
| Dalhousie-Mills          | 6101958 | 69           | 1968-2004                      | 5,6                               | 1066                                |
| Dalhousie-Station        | 701A9EC | 70           | 1974-1994                      | 5,9                               | 857                                 |
| De-Beaujeu               | 701J9NM | 61           | 1973-1974                      | n.d.                              | n.d.                                |
| Les Cèdres               | 7014290 | 45           | 1913-2013                      | 6,7                               | 961                                 |
| Marthe (Saint-Polycarpe) | 701462Y | 73           | 2008-2013                      | n.d.                              | n.d.                                |
| Rigaud                   | 7016470 | 46           | 1958-2013                      | 6,0                               | 999                                 |
| Saint-Clet-Nord          | 7017032 | 61           | 1966-1982                      | 5,0                               | 998                                 |
| Saint-Lazare             | 7017445 | 99           | 1963-1985                      | 5,1                               | 907                                 |
| Vaudreuil                | 7018697 | 27           | 1968-1972                      | n.d.                              | n.d.                                |

Tableau 5 Détails des stations piézométriques

| Localisation                                 | Forage PACES | Aquifère                           | Altitude (m) | Étendue série de données | Température moyenne (°C) | Niveau d'eau moyen (m) |
|--|--------------|------------------------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| Vaudreuil-Dorion                             | S1           | Granulaire (captif)                | 45           | 09-2013 à 05-2015        | 8,6                      | 38,1                   |
| Saint-Lazare                                 | S3           | Granulaire (libre)                 | 104          | 09-2013 à 05-2015        | 8,7                      | 98,9                   |
| Sainte-Marthe                                | S5           | Transition granulaire/roc (captif) | 70           | 09-2013 à 05-2015        | 8,9                      | 66,8                   |
| Esker de Saint-Télesphore, rivière-Beaudette | S8           | Granulaire (libre)                 | 62           | 09-2013 à 05-2015        | 7,6                      | 52,3                   |
| Saint-Lazare                                 | F1           | Roc (libre)                        | 80           | 07-2013 à 05-2015        | 8,8                      | 61,4                   |
| Saint-Télesphore                             | F2           | Roc (semi-captif)                  | 70           | 07-2013 à 05-2015        | 8,8                      | 69,01                  |
| Coteau-du-Lac                                | F3           | Roc (captif)                       | 54           | 07-2013 à 05-2015        | 9,1                      | 46,6                   |
| Sainte-Marthe                                | F4           | Roc (captif)                       | 71           | 07-2013 à 05-2015        | 7,9                      | 67,6                   |
| Puits Nature Action, mont Rigaud, Ste-Marthe | P4           | Roc (libre)                        | 161          | 08-2013 à 05-2015        | 7,5                      | 154,7                  |
| Puits «Breuvage Allan», Saint-Lazare         | P5           | Roc (semi-captif)                  | 111          | 08-2013 à 05-2015        | 7,5                      | 107,3                  |





### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- ⬮ Zone d'étude

#### Station piézométrique

- ▲ MDELCC
- ▲ UQAM

#### Station hydrométrique

- UQAM - Active

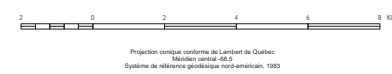
#### Station météorologique

- ✱ Environnement Canada - Inactive
- ✱ MDELCC - Active
- ✱ MDELCC - Inactive



MÉTADONNÉES  
Section 2.2.7 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

Carte 11 Réseau de suivi météorologique,  
hydrologique et piézométrique  
ZONE VAUDREUIL-SOULANGES  
QUÉBEC



SOURCES / RÉALISATION

Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Stations météorologiques: MDELCC, DSEE  
Stations hydrométriques: UQAM  
Stations piézométriques: MDELCC, UQAM

Réalisation:  
Université du Québec à Montréal



Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/50 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les données requises pour définir les conditions locales à l'échelle locale et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'intégrité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attache ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adaptation à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, sous conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée:  
Larocque, M., Méthot, G., Charlier, M. A., Gravelle, M. H., Gagné, S., Barreche, D. et Dorion, S. 2015. Projet de cartographie des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MDELCC.



## 2.3 Population, centres urbains et activités

### 2.3.1 *Municipalités*

La population totale sur la zone d'étude est d'environ 105 000 habitants. Les trois villes les plus peuplées sont Vaudreuil-Dorion (34 806 habitants), Saint-Lazare (19 671 habitants) et Rigaud (7 566 habitants). Le territoire touche à 18 municipalités (**tableau 6**).

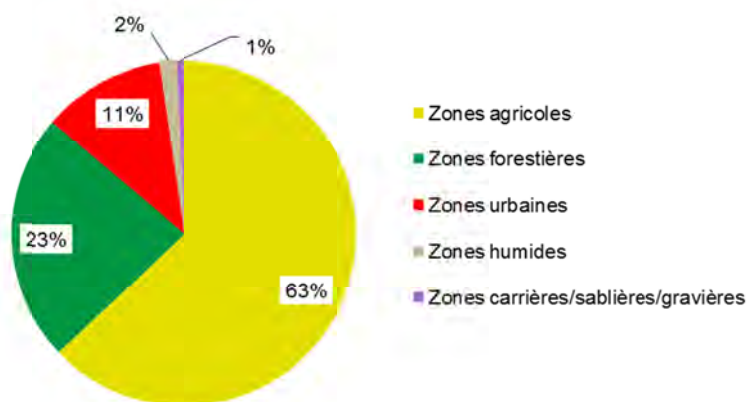
**Tableau 6** Populations et superficies des municipalités

| Municipalité             | Population totale | Superficie totale (km <sup>2</sup> ) | Superficie région d'étude (km <sup>2</sup> ) |
|--------------------------|-------------------|--------------------------------------|--|
| Coteau-du-Lac            | 7 031             | 57,2                                 | 46,2   |
| Hudson                   | 5 218             | 36,5                                 | 21,9   |
| Les Cèdres               | 6 359             | 88,5                                 | 77,6   |
| Les Coteaux              | 4 793             | 14,5                                 | 11,7   |
| Pointe-des-Cascades      | 1 363             | 10,0                                 | 2,4  |
| Pointe-Fortune           | 557               | 9,6                                  | 8,1  |
| Rigaud                   | 7 566             | 114,0                                | 100,0  |
| Rivière-Beaudette        | 1 960             | 25,3                                 | 19,0   |
| Saint-Clet               | 1 731             | 39,2                                 | 39,2   |
| Saint-Lazare             | 19 671            | 67,5                                 | 67,5   |
| Saint-Polycarpe          | 2 076             | 70,9                                 | 70,9   |
| Saint-Télesphore         | 764               | 60,8                                 | 60,8   |
| Saint-Zotique            | 7 070             | 50,3                                 | 25,2   |
| Sainte-Justine-de-Newton | 936               | 85,1                                 | 85,1   |
| Sainte-Marthe            | 1 096             | 80,1                                 | 80,1   |
| Très-Saint-Rédempteur    | 914               | 26,3                                 | 26,3   |
| Vaudreuil-Dorion         | 34 806            | 92,8                                 | 72,6   |
| Vaudreuil-sur-le-Lac     | 1 348             | 2,8                                  | 1,4  |

### 2.3.2 Occupation du sol

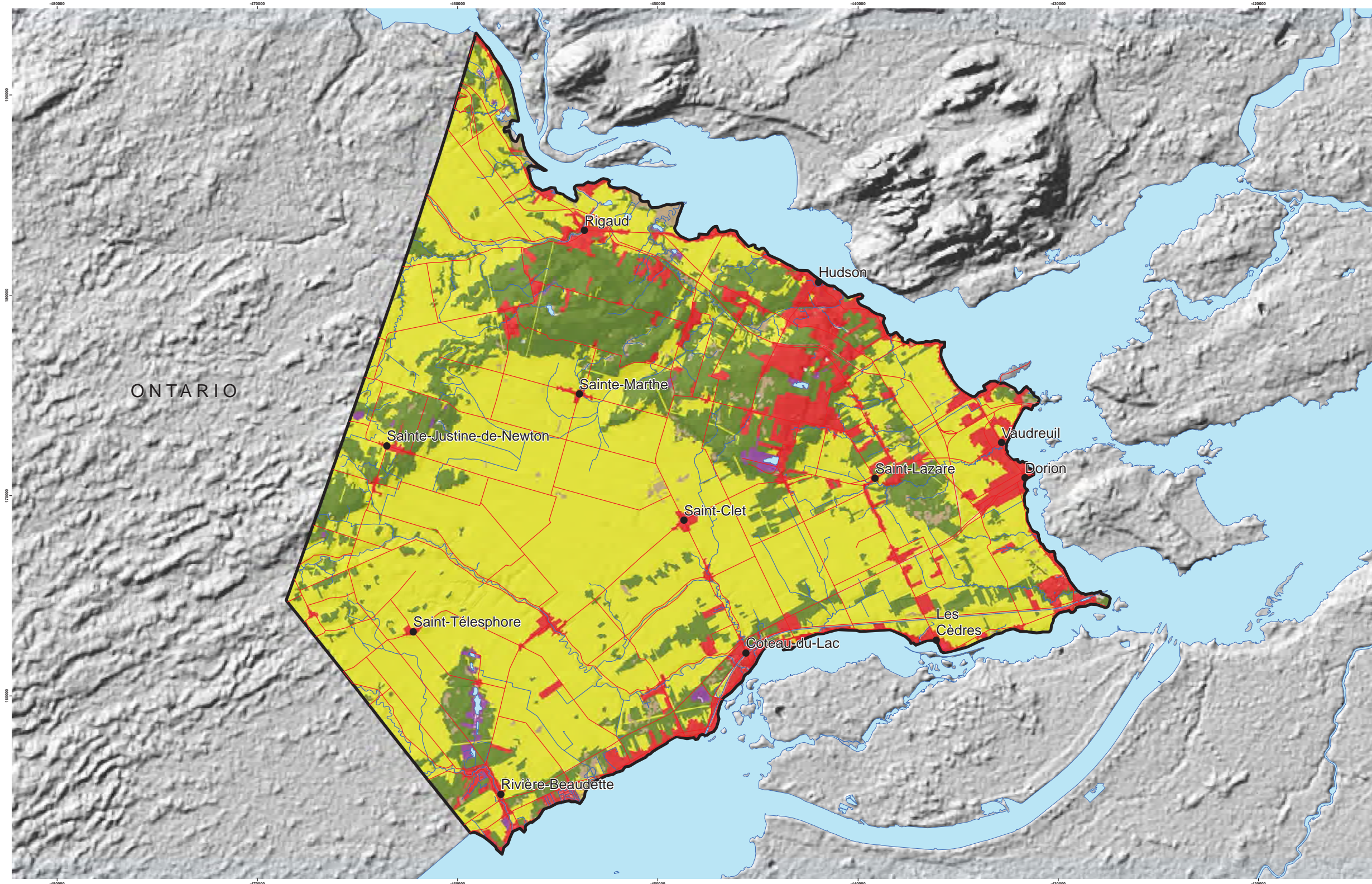
L'information relative à l'occupation du sol provient de la compilation de données numériques fournies par le COBAVER-VS, la MRC de Vaudreuil-Soulanges et l'image Landsat7 (**Carte 12**).

La grande majorité du territoire est occupée par des terrains agricoles (63 %) (**Figure 4**). Les zones agricoles sont situées en terrain plat et couvrent l'ensemble de la plaine argileuse hors des zones urbanisées. Dès que le relief s'accroît, les zones forestières dominent par rapport aux terres agricoles (23 % du territoire). Les secteurs urbains et les voies de circulation couvrent 11 % du territoire, particulièrement autour des villes de Saint-Lazare, Vaudreuil, Rigaud et Coteau-du-Lac. Les zones humides sont limitées sur la zone d'étude, couvrant 2 % du territoire. Les sablières et gravières représentent une superficie correspondant à 1 % et se trouvent au sud de Pointe-Fortune et en longeant la rivière des Outaouais jusqu'à Dragon; sur la butte de Saint-Lazare; vers les crêtes de Sainte-Justine-de-Newton ainsi que vers l'esker de Saint-Télesphore/rivière-Beaudette.



**Figure 4** Pourcentage des différents types d'occupation du sol





### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- ⊞ Zone d'étude

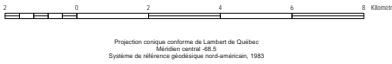
#### Classes d'occupation du sol

- Zones agricoles
- Zones forestières
- Zones urbaines
- Zones humides
- Zones de carrières/sablères/gravières



MÉTADONNÉES  
Section 2.3.2 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

**Carte 12 Occupation du sol  
ZONE VAUDREUIL-SOULANGES  
QUÉBEC**



SOURCES / RÉALISATION

Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Utilisation du sol: Cobaver-VS

Réalisation:  
Université de Québec à Montréal



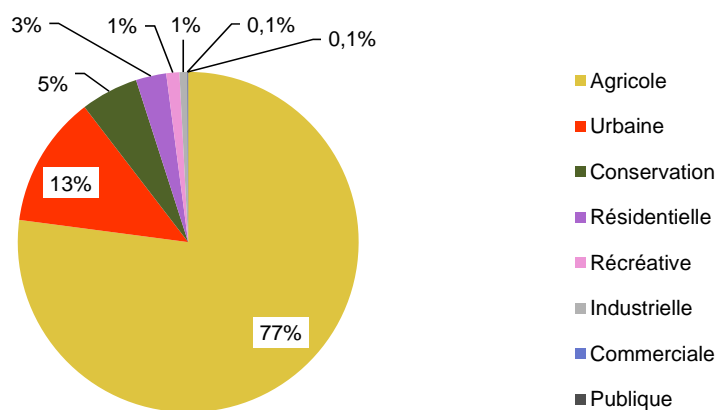
Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/60 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découvrant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les données requises pour définir les conditions locales à l'échelle locale et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'actualité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'affiliation ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adoption à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, des conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée:  
Larocque, M., Brisson, G., Charlier, M.-A., Gravelle, M.-H., Gagné, S., Barrette, D. et Dorner, S. 2015. Projet de cartographie des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MOELCC.



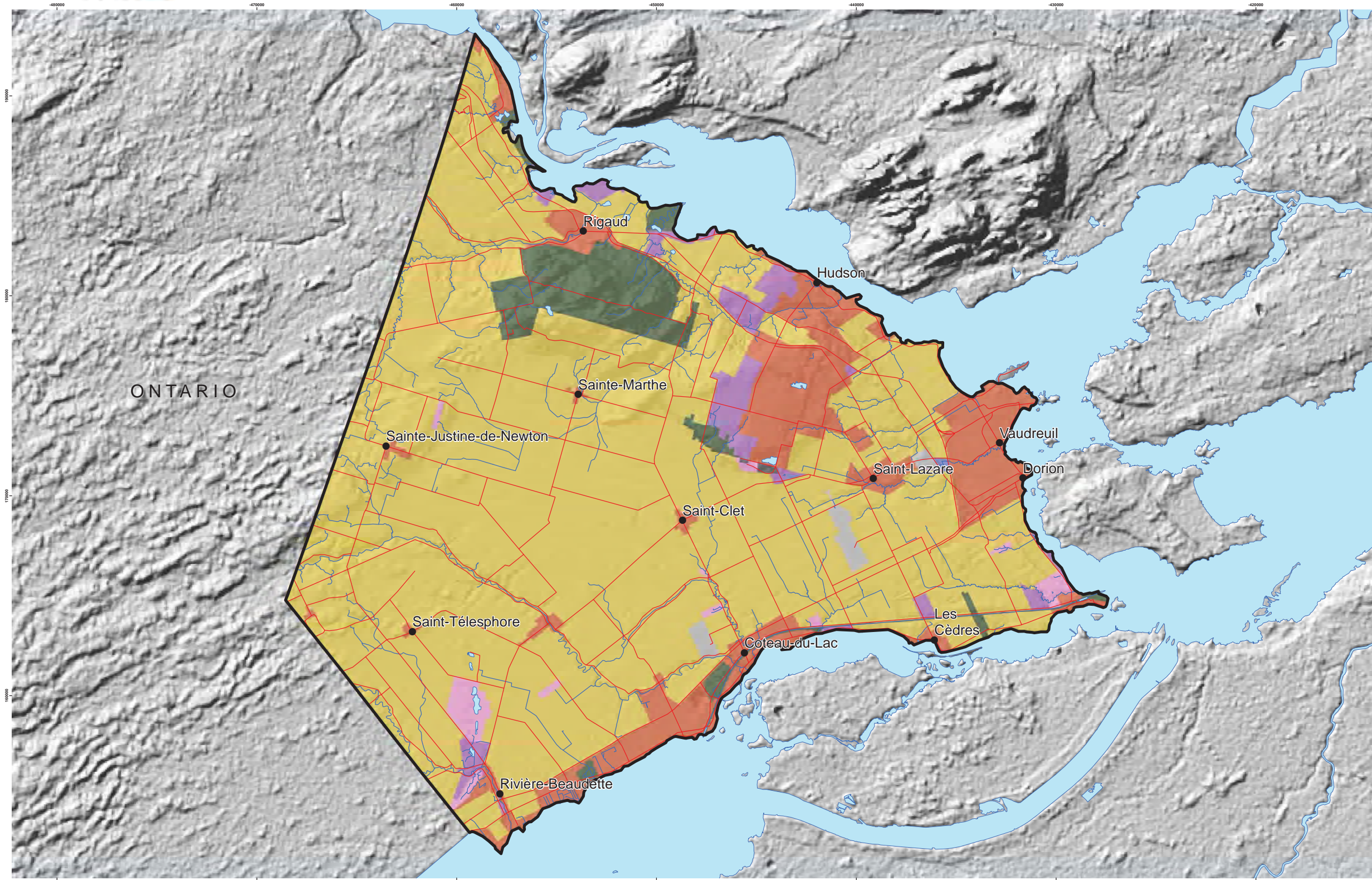
### 2.3.3 Affectation du territoire

La **carte 13** présente la carte de l'affectation du territoire. Les données proviennent du ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (MAMOT). Les superficies relatives sont présentées à la **figure 5**. Selon cette information, le territoire est affecté en majeure partie à des activités agricoles (77 %). Les affectations urbaines représentent, quant à elle, 13 % de la superficie de la zone d'étude et se situent principalement sur la ville de Rigaud; sur la partie est de la municipalité de Saint-Lazare; autour des villes de Vaudreuil-sur-le-Lac et de Vaudreuil ainsi que dans une bande longeant le lac Saint-Pierre entre rivière-Beaudette et Coteau-du-Lac. On observe également une zone affectée à la conservation (5 %) localisée sur le versant nord du mont Rigaud ainsi que sur le marécage situé à l'embouchure de la rivière à la Raquette. Les autres affectations du territoire rencontrées sur la zone d'étude sont résidentielle (3 %), récréative (1 %), industrielle (1 %) ainsi que commerciale (0,1 %) et publique (0,1 %).



**Figure 5** Pourcentage des différents types d'affectation du territoire



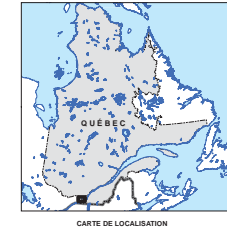


### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- ⊞ Zone d'étude

#### Classes d'affectation du territoire

- Agricole
- Urbaine
- Conservation
- Résidentielle
- Récréative
- Industrielle
- Commerciale
- Publique



MÉTADONNÉES  
Section 2.3.3 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

**Carte 13 Affectation du territoire  
ZONE VAUDREUIL-SOULANGES  
QUÉBEC**



Projection cartographique conforme de Lambert de Québec  
Métres central de S  
Système de référence géographique nord-américain, 1983

SOURCES / RÉALISATION

Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Affectation du territoire: MAMOT

Réalisation:  
Université de Québec à Montréal



Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/60 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découvrant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les données requises pour définir les conditions locales à l'échelle locale et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'actualité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attaché ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adoption à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, sous conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée:  
Larocque, M., Maréchal, G., Charlier, M.-A., Gravelle, M.-H., Gagné, S., Barrette, D. et Dorner, S. 2015. Projet de cartographie des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MDECC.



### 3 ACQUISITION DES DONNÉES ET CARACTÉRISATION

#### 3.1 Compilation de l'information existante

Une liste détaillée des sources de données consultées dans ce projet est fournie au **tableau 7** (plusieurs sources font référence à des rapports de consultants qui ne sont pas cités explicitement ici, mais qui sont listés dans la section **Références**). L'acquisition des données disponibles a débuté avec la numérisation de tous les rapports et documents disponibles dans les archives centralisées au MDDELCC à Québec. Les municipalités ont ensuite été contactées afin d'obtenir leurs rapports les plus récents. La DPEP a été sollicitée pour obtenir les données provenant de plusieurs sources différentes, notamment, les données météorologiques et une partie de l'information sur le territoire (occupation du sol, carte topographique à l'échelle 1 :20 000, modèle numérique altimétrique, milieux humides et pédologie). Les données géologiques ont été acquises auprès du MERN à partir du système d'information géo-minier (SIGEOM). Le Système d'information hydrogéologique (SIH) du MDDELCC, la base de données géochimique du Québec (BADGEQ et MERN), les bases de données de forages du MTQ et le Système d'information géoscientifique pétrolier et gazier (SIGPEG) ont également été consultés pour extraire l'information hydrogéologique, stratigraphique et géophysique correspond à la zone d'étude. La Base de données des cultures assurées (BDCA) a été consultée pour obtenir l'information spatiale sur les types de cultures.

En tant que partenaire régional, GéoMont et la MRC de Vaudreuil-Soulanges ont fourni des informations sur le territoire soit le découpage des bassins versants, les mosaïques de photographies aériennes, des données vectorielles tel que la matrice graphique, l'occupation du sol, les réseaux d'aqueducs municipaux, le réseau de drainage agricole. La compilation de l'information existante dans la zone d'étude a été présentée à l'occasion du colloque du RQES à l'Acfas qui s'est tenu à Québec en mai 2013 (Meyzonnat et al., 2013) et sera présenté au colloque de l'IAH en octobre 2015 (Meyzonnat et al., 2015). Le résumé des présentations se trouve à l'**annexe 3**.

**Tableau 7** Sources d'information disponibles pour la réalisation du projet

| <b>Thèmes</b>                                   | <b>Description des jeux de données</b>                    | <b>Source</b>                |
|---|---|------------------------------|
| <b>Hydrographie</b>                             | Base nationale de données topographiques (BNDT)           | RnCan-GeoGratis              |
|   | Base de données topographiques du Québec (BDTQ)           | MERN                         |
|   | Réseau hydro national du Canada                           | RnCan-GeoBase                |
|   | Localisation des zones humides                            | DPEP/Canards Illimités/MAPAQ |
| <b>Limites de bassins</b>                       | Carte des régions hydrographiques                         | MDDELCC-CEHQ                 |
|   | Carte des limites de bassins versants                     | MRC- GéoMont                 |
|   | Réseau hydro national du Canada                           | RnCan-GeoBase                |
|   | Aires de drainage (Données cadres de l'Atlas National)    | RnCan-GeoGratis              |
| <b>Topographie</b>                              | Modèle numérique altimétrique (MNA)                       | MERN                         |
|   | Relevés Lidar (Montérégie Est et Ouest de Montréal)       | Bibliothèque UQAM            |
| <b>Occupation du sol</b>                        | Base de données des cultures généralisées (BDCG)          | FADQ                         |
|   | Système sur les découpages administratifs du Québec (SDA) | MERN                         |
|   | Occupation du sol   | MRC                          |
|   | Compilation nationale de l'occupation du sol au Canada    | RnCan-GeoBase                |
|   | Système d'information écoforestière (SIEF)                | MERN                         |
|   | Cartes des zones inondables                               | MDDELCC-CEHQ                 |
| <b>Affectation du territoire</b>                | Limites des zones agricoles                               | CPTAQ                        |
|   | Système sur les découpages administratifs du Québec (SDA) | MERN                         |
| <b>Routes, limites municipales et toponymie</b> | Base de données topographiques du Québec (BDTQ)           | MERN                         |
|   | Base nationale de données topographiques (BNDT)           | RnCan-GeoGratis              |
|   | Système sur les découpages administratifs du Québec (SDA) | MERN                         |
|   | Réseau routier national du Canada                         | RnCan-GeoBase                |

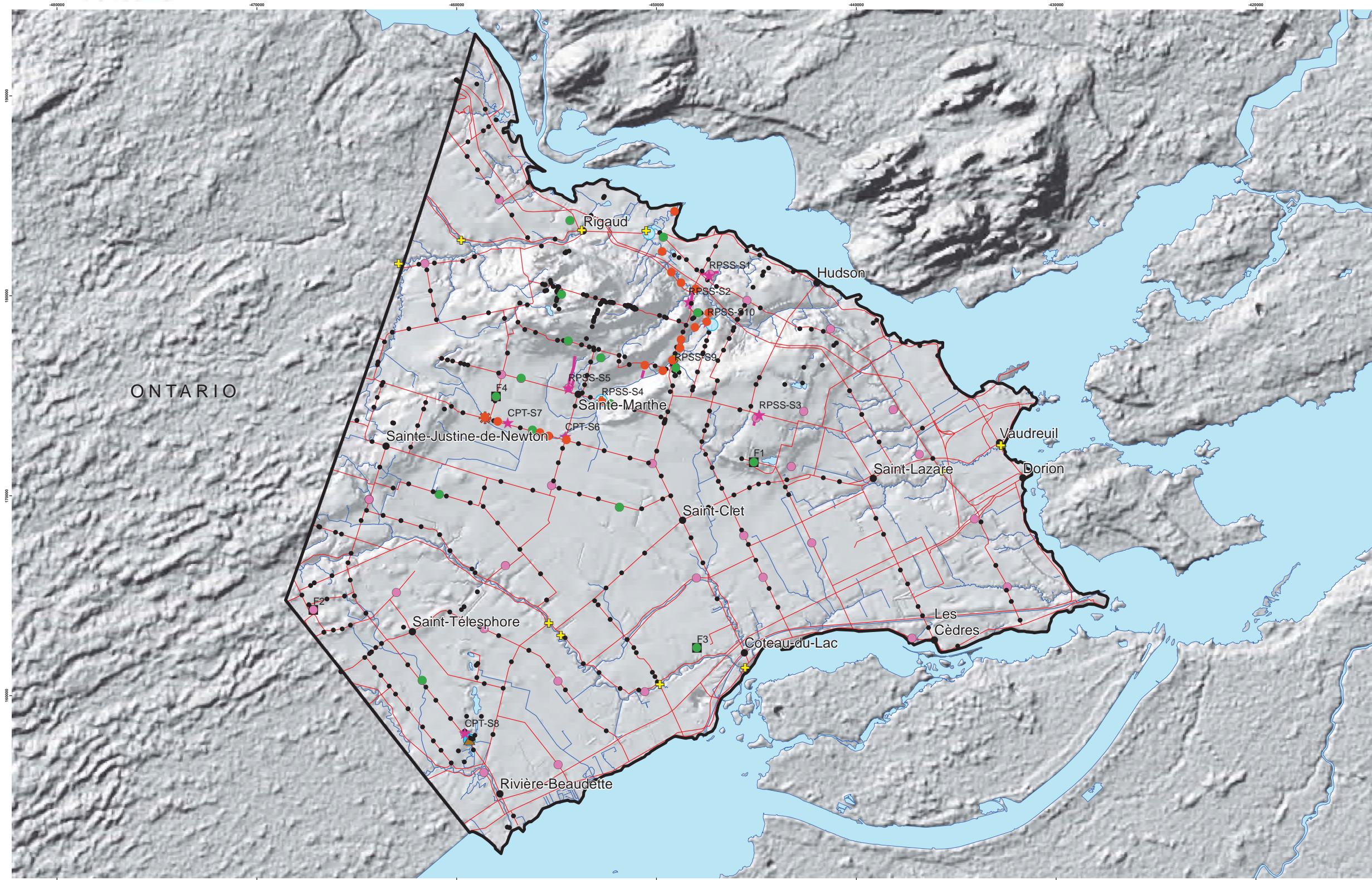


| Thèmes                                      | Description des jeux de données                      | Source                |
|---|--|-----------------------|
| *Le tableau se poursuit à la page suivante. |  |                       |
| <b>Géologie</b>                             | Compilation de données géologiques                   | MERN-SIGEOM           |
|   | Géologie du Quaternaire                              | UQAM                  |
| <b>Pédologie</b>                            | Carte des sols, information pédologique              | DPEP/IRDA             |
| <b>Hydrogéologie</b>                        | Localisation des puits du réseau de suivi            | MDDELCC               |
|   | Localisation des puits (SIH)                         | MDDELCC-SIH           |
|   | Localisation des forages pétroliers et miniers       | MERN/SIGPEG           |
|   | Localisation des forages géotechniques (MTQ et HQ)   | MTQ/HQ                |
|   | Localisation des captages municipaux                 | MDDELCC               |
|   | Rapports hydrogéologiques                            | MDDELCC/municipalités |
| <b>Qualité de l'eau</b>                     | Carte de la qualité de l'eau de surface des tronçons | MDDELCC               |
|   | Banque de données géochimiques du Québec (BADGEQ)    | MERN                  |
| <b>Hydrométrie</b>                          | Localisation des stations et données hydrométriques  | MDDELCC-CEHQ          |
| <b>Climat</b>                               | Localisation des stations et données météorologiques | MDDELCC-DSEE          |

### 3.2 Travaux de caractérisation

Entre avril 2012 et mars 2015, plusieurs travaux de terrain ont été réalisés afin d'obtenir de l'information supplémentaire sur l'hydrogéologie, la géochimie et la stratigraphie de l'aquifère fracturé et de l'aquifère granulaire. Des travaux de cartographie quaternaire ont également été réalisés par une autre équipe de l'UQAM afin d'améliorer et d'uniformiser les connaissances déjà existantes. Le **tableau 8** résume les travaux de caractérisation qui ont été réalisés dans le cadre du projet tandis que la **carte 14** permet de localiser ces travaux. L'**annexe 4** présente des photos prises lors des travaux de terrain.



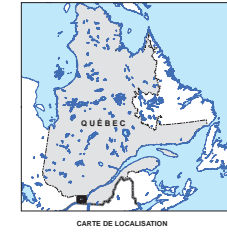


### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- ⬮ Zone d'étude

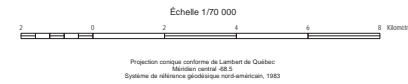
#### Travaux de terrain

- ⊕ Mesure de débit en étiage
- ★ Sondage CPT/RPSS
- Forage au roc
- ▲ Mesure au perméamètre de Guelph
- Levé de cartographie quaternaire
- Échantillonnage d'eau souterraine
- Échantillonnage isotopes eau porale
- ★ Échantillonnage isotopes précipitations
- Échantillonnage pour 222Rn
- Échantillonnage pour gaz rares
- Mesure de débit horaire
- Levé géophysique 2D



MÉTADONNÉES  
Section 3.2 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

Carte 14 Localisation des travaux de terrain  
ZONE VAUDREUIL-SOULANGES  
QUÉBEC



SOURCES / RÉALISATION

Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Travaux de terrain: UQAM

Réalisation:  
Université du Québec à Montréal



Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/100 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les données requises pour définir les conditions locales à l'échelle locale et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'intégrité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attache ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adoption à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, des conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée:  
Larocque, M., Méthivier, G., Charlier, M.-A., Gravelle, M.-H., Gagné, S., Barreche, D. et Dorion, S. 2015. Projet de cartographie des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MDECC.



**Tableau 8** Résumé des travaux de caractérisation

| Travaux de caractérisation   | Période                             | Travaux réalisés par       |
|--|-------------------------------------|----------------------------|
| Levés géologiques  | juillet 2013                        | UQAM-Quaternaire           |
| Levés géophysiques au géoradar 100 MHz (5)   | mars 2014                           | UQAM                       |
| Levés géophysiques en résistivité électrique 2D (2)                                      | juin 2014                           | UQAM                       |
| Forage de puits dans l'aquifère fracturé (4)   | juin 2013                           | Groupe Puitbec Inc         |
| Sondages CPT et RPSS (10)  | août 2013                           | INRS                       |
| Installation de piézomètres dans les dépôts meubles (6)                                  | août 2013 / juillet 2014            | INRS/Maikan                |
| Essais de pompage (8)  | juillet 2013 / mai 2014             | UQAM                       |
| Essais hydrauliques à charge variable (9)  | juillet 2014                        | UQAM                       |
| Essais au perméamètre de Guelph (1)  | juin 2013                           | UQAM                       |
| Échantillonnage de l'eau porale pour analyse isotopique                                  | juin 2013                           | UQAM                       |
| Levés piézométriques (184)   | juillet 2013 / juillet 2014         | UQAM                       |
| Suivi continu des niveaux piézométriques (10)  | depuis juin 2013                    | UQAM                       |
| Échantillonnage d'eau souterraine, analyses chimique et isotopiques (53)                 | juillet et août 2013 / juillet 2014 | UQAM/MAXXAM/<br>U.Waterloo |
| Échantillonnage mensuel des précipitations et analyse isotopes stables de l'eau (1 site) | depuis octobre 2013                 | UQAM                       |
| Relevé de paramètres physico-chimique pour l'eau de surface (129 sites)                  | juillet 2013                        | UQAM                       |
| Mise en place de station limnimétriques horaires (3 sites)                               | mars à juillet 2013                 | UQAM                       |
| Mesure des débits de base en période d'étiage (18 sites)                                 | étés 2013 et 2014                   | UQAM                       |

### 3.2.1 Cartographie géologique

La mise à jour de la cartographie des dépôts quaternaires de la région de Vaudreuil-Soulanges a été réalisée au cours de l'été 2013. Les relevés de terrain effectués ont permis de constater la grande qualité des travaux cartographiques antérieurs (Richard, 1976; 1977; 1982c). Les travaux cartographiques sur la zone à l'étude ont été menés par Pierre-Marc Godbout supervisé par le professeur Martin Roy de l'UQAM. Au total, 457 points de contrôle (**Carte 14**) localisés principalement en bordure de route ont été ajoutés à la banque de données existante. Les exploitations de ressources granulaires ont été visitées et des levés de coupes stratigraphiques ont également été réalisés, principalement dans la partie basse de la zone d'étude.

### 3.2.2 Géophysique

Deux levés géophysiques de résistivité électrique en 2D ont été réalisés en juillet 2014 (**Carte 14**). Les mesures ont été faites à l'aide d'un résistivimètre Syscal Pro de la compagnie IRIS instruments inc. obtenu suite à un partenariat avec l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue. Les levés ont été réalisés sur deux profils de 360 m de longueur. L'espacement des électrodes était de 5 m pour une profondeur maximale d'investigation de 50 m. Ces levés ont été effectués dans la partie amont du bassin de la rivière à la Raquette, à Sainte-Marthe sur une zone de transition entre la plaine argileuse et le mont Rigaud, ainsi que transversalement au couloir Sainte-Marthe/Dragon. En mars 2014, cinq levés géoradar ont également été réalisés afin de déterminer l'agencement des dépôts meubles avec la profondeur ainsi que leur disposition et leurs épaisseurs respectives proche des zones de transition d'aquifère libre, semi captif et captifs sur des distances comprises entre 350 et 1 712 m. Ces mesures ont été faites à l'aide d'un géoradar de la compagnie *Sensor and Software*, modèle *Pulse Echo Pro*. Les interprétations des relevés géophysique sont données à l' **annexe 5**.

### 3.2.3 Sondages et forages

En juin 2013, une campagne de forages a permis la mise en place de quatre puits au roc. Au cours du mois d'août 2013, 10 sondages ont été réalisés dans les formations granulaires avec la foreuse de l'INRS. Parmi ceux-ci, trois ont été réalisés au pénétromètre à cône (CPT) tandis que sept ont été réalisés par sondage à rotoperçusion (RPSS). En juillet 2014, deux sondages supplémentaires ont été réalisés dans les dépôts meubles grâce à une foreuse à percusion *Géoprobe*. Six piézomètres ont été installés suite aux sondages dans les dépôts meubles. La localisation des forages et des sondages est présentée à la **carte 14**.

#### *Forages au roc*

Les forages au roc ont été réalisés au début du mois de juin 2013 par la compagnie Puitbec inc. Le budget alloué aux forages au roc dans le Projet prévoyait deux forages (F3 et F4). Les deux forages au roc réalisés par le MDDELCC pour le Réseau de suivi des eaux souterraines du MDDELCC (F1 et F2) ont été forés au cours de la même période par la même compagnie.

Les sites de forages ont été localisés de manière à combler les zones où les données hydrogéologiques avaient été identifiées comme insuffisantes dans le rapport Phase I (Larocque et Meyzonnat, 2013), ainsi que pour investiguer différents contextes hydrogéologiques. Les sites ont été choisis afin d'être répartis spatialement sur le territoire, et de manière à tracer des profils perpendiculaires et parallèles à l'écoulement régional présumé des eaux souterraines. Tous les forages ont été effectués sur des lots publics dans le but de faciliter une éventuelle signature d'ententes de suivi à long terme. Les puits F1, F2, F3 et F4 sont situés sur des lots publics appartenant respectivement aux municipalités des

Cèdres, de Dalhousie, de Coteau-du-Lac et de Sainte-Marthe. À la fin du Projet, les forages F1 et F2 seront pris en charge par le MDDELCC tandis que les forages F3 et F4 seront remis aux municipalités concernées. Tous les forages au roc ont été instrumentés par l'UQAM pour le suivi de la mesure des niveaux de nappe pendant la durée du projet.

Les forages au roc ont tous été réalisés avec une foreuse à roto-percussion d'une capacité de 300 mm. Un tubage d'acier de 150 mm a été mis en place sur toute l'épaisseur des dépôts meubles, jusqu'à une profondeur minimale de 1 m dans le roc. Plus bas, une cavité de 150 mm de diamètre a été forée dans le roc sur une profondeur de 10 m, à part pour le forage F1 où la profondeur du forage dans le roc a été limitée suite à une épaisseur importante de dépôts meubles.

Le **tableau 9** résume le détail de l'installation des quatre puits au roc. Les forages ont une profondeur de 20,4 à 52,4 m. L'épaisseur des dépôts meubles rencontrés varie entre 11,3 à 46 m. Les schémas des forages sont illustrés à l' **annexe 6**.

**Tableau 9** Détails de construction des forages

| Forage | Municipalité  | Profondeur (m) | Profondeur tubage (m) | Nappe libre ou captive | Lithologie du roc |
|--------|---------------|----------------|-----------------------|------------------------|-------------------|
| F1     | Les Cèdres    | 52,4           | 47,2                  | libre                  | Grès              |
| F2     | Dalhousie     | 21,4           | 12,3                  | semi-captive           | Calcaire          |
| F3     | Coteau-du-Lac | 20,4           | 11,3                  | semi-captive           | Dolomie           |
| F4     | Sainte-Marthe | 32,9           | 24,4                  | captive                | Grès              |

#### *Sondages dans les dépôts meubles*

En août 2013, un premier groupe de sondages CPT et RPSS ont été réalisés par une équipe de l'INRS-ETE qui a fourni la foreuse (CPT et RPSS) et le personnel technique (sondages S1 à S8). En juillet 2014, deux sondages supplémentaires ont été réalisés dans les dépôts meubles grâce à une foreuse à percussion *Géoprobe* (sondages Raquette 1 et 2). Tous les sondages ont été réalisés pour déterminer la stratigraphie et l'épaisseur des dépôts meubles et pour l'installation de piézomètres. La localisation des sites a été choisie selon les besoins stratigraphiques et hydrogéologiques, soit 1) afin de confirmer les épaisseurs d'argile à l'emplacement d'une vallée enfouie située au sud de Sainte-Marthe, 2) afin de caractériser la stratigraphie des dépôts dans le couloir Sainte-Marthe/Dragon, 3) afin d'installer des piézomètres aux endroits où des dépôts granulaires épais sont présents, comme à l'esker de Saint-Télesphore/rivière-Beaudette et sur les buttes de Hudson et de Saint-Lazare, puis 4) pour les sondages effectués au *Géoprobe*, afin d'installer des piézomètres à proximité de la rivière à la Raquette. Les sondages ont été réalisés sur des terrains privés, sauf pour le sondage S5 qui a été réalisé sur le terrain de la Mairie de Sainte-Marthe.

Au total, 12 sondages ont été réalisés (**Carte 14**). Parmi lesquels, six ont été transformés en piézomètres (sondages S1, S3, S5, S8, Raquette 1 et 2). Ceux-ci sont équipés d'un tube de PVC de 25,4 mm de diamètre et d'une crépine à la base permettant la circulation de l'eau par des stries horizontales espacées de 2,5 mm ayant une ouverture de 0,15 mm. Pour les dernier piézomètres installés (Raquette 1 et Raquette 2) la zone crépinée a été équipée d'un massif filtrant de sable « *prepack* » entouré d'une gaine en acier inoxydable. La profondeur des piézomètres varie entre 8,4 et 17,4 m et la longueur des sections crépinées varie de 1,5 m à 3 m. Un tubage protecteur en ABS de 100 mm de diamètre enfoncé de 0,5 m dans le sol et muni d'un couvercle protecteur cadenassé a aussi été installé au sommet de chaque piézomètre. Les détails des piézomètres sont présentés au **tableau 10**. Le sondage le plus profond a une profondeur de 31,5 m et a été réalisé au CPT dans un dépôt massif d'argile molle (sondage S7). Comme la méthode convient aux dépôts meubles modérément compacts ou lâches, exempts de cailloux et de blocs, trois sites seulement ont pu être réalisés au CPT dans des argiles (S6 et S7) ou des sables bien triés (S8). Les autres sites ont été investigués par forage RPSS ou par forage à percussion, afin notamment d'atteindre le roc sous le till.

Les schémas des sondages et des piézomètres ainsi que les profils stratigraphiques provenant du système d'acquisition de données de la foreuse de l'INRS-ETE sont illustrés à l'**annexe 6**.

**Tableau 10** Détails des sondages et des piézomètres dans les dépôts meubles

| Nom        | Type de forage | Municipalité            | Profondeur sondage (m) | Profondeur piézomètre (m) | Longueur crépine (m) |
|------------|----------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|----------------------|
| S1         | RPSS           | Vaudreuil-Dorion        | 19,1                   | 8,5                       | 3,0                  |
| S2         | RPSS           | Sainte-Marthe           | 27,4                   |                           |                      |
| S3         | RPSS           |                         | 28,0                   | 6,3                       | 3,0                  |
| S4         | RPSS           | Sainte-Marthe           | 21,7                   |                           |                      |
| S5         | RPSS           | Sainte-Marthe           | 17,4                   | 17,4                      | 1,5                  |
| S6         | CPT            | Sainte-Marthe           | 18,0                   |                           |                      |
| S7         | CPT            | Sainte-Marthe           | 31,5                   |                           |                      |
| S8         | CPT            | Saint-Polycarpe         | 21,6                   | 12,0                      | 3,0                  |
| S9         | RPSS           | Sainte-Marthe           | 19,8                   |                           |                      |
| S10        | RPSS           | Vaudreuil-Dorion        | 27,7                   |                           |                      |
| Raquette 1 | Geoprobe       | Rigaud                  | 10,5                   | 10,0                      | 1,5                  |
| Raquette 2 | Geoprobe       | Sainte-Marthe (idem S4) | 10,5                   | 8,7                       | 1,5                  |



### 3.2.4 Essais hydrauliques sur les puits

#### *Essais de pompage*

Huit essais de pompage ont été réalisés entre juin 2013 et mai 2014, soit deux essais de pompage dans chacun des puits forés au cours de la Phase II (F1 à F4 sur la **carte 14**). Une première campagne d'essai de pompage a eu lieu fin juin/début juillet 2013 sur les puits F1, F2 et F4 à l'aide d'une pompe submersible *Grundfos* alimentée par une génératrice, permettant des débits de pompage de 20 L/min. Compte tenu de l'excellente productivité des forages, notamment pour les puits F3 et F4, des nouveaux essais de pompage ont été réalisés sur ces derniers puits en octobre 2013 à l'aide d'une pompe submersible *Schaffer* permettant un débit de pompage de 133 L/min. D'autres essais de pompage complémentaires ont été complétés en mai 2014 sur les puits F1 et F2 avec la pompe *Grundfos* avec des débits de pompage de 8 L/min et sur le puits F3 avec la pompe *Schaffer* et un débit de pompage de 125 L/min. Les essais réalisés ont été de courte durée, i.e. avec des durées de pompage comprises entre 35 et 180 minutes. Pendant les essais, le débit pompé était mesuré à l'aide d'un récipient de 20 ou de 100 L. Le niveau piézométrique durant les pompages était suivi en continu à l'aide d'une sonde de pression *Solinst Levelogger Gold*. Des valeurs manuelles étaient aussi prises à intervalle régulier avec une sonde *Heron*. Les essais ont été réalisés sans puits d'observation et ont été interprétés à l'aide de la solution de Cooper et Jacob (1946) en remontée, permettant d'obtenir des valeurs de conductivité hydraulique.

#### *Essais à charge variable*

Des essais à charge variable ont été réalisés dans les quatre forages au roc (F1 à F4) à l'aide d'un tube d'ABS de 100 mm de diamètre et de 1,8 m de longueur rempli de sable. Pour chaque essai, le « slug » était inséré sous le niveau statique puis remonté une fois le niveau piézométrique revenu à son état initial (1 à 13 min). Cette opération a été répétée deux fois, ce qui a permis d'obtenir deux courbes de variation des niveaux (descente et remontée) à chaque essai. Ce dispositif a permis de générer des variations du niveau d'eau dans les puits de l'ordre de 1,8 m, dont les variations ont été mesurées avec à l'aide d'une sonde de pression *Solinst Levelogger Gold* toutes les secondes.

Des essais à charge variable ont également été réalisés dans les quatre piézomètres (S1, S3, S5, S8, voir localisation sur la **carte 14**) installés dans les dépôts meubles. Les essais ont été réalisés grâce à un système étanche permettant d'injecter de l'air dans le piézomètre (provoquant ainsi un rabattement du niveau d'eau), puis de relâcher instantanément la suppression d'air afin de mesurer la remontée de l'eau dans le piézomètre vers son niveau statique. Avec le système par injection d'air, des rabattements compris entre 2,3 et 5,0 m ont été atteints. Pour le piézomètre S3 un essai a également été réalisé en descente et en remontée avec un « slug » constitué par une tige d'aluminium de 16 mm de diamètre et d'une longueur 1,2 m afin de comparer les deux méthodes. Mais la méthode par injection d'air s'est avérée bien meilleure pour générer des rabattements plus grands. Durant les essais à charge variable, le niveau piézométrique était mesuré à chaque

seconde à l'aide d'une sonde de pression *Solinst Levellogger Gold*. Pour chaque site, au moins deux essais (un essai correspondant à une descente et l'autre à une remontée) ont été réalisés. Les résultats ont été interprétés selon la méthode de Hvorslev (1951).

#### *Essais au perméamètre de Guelph*

La conductivité hydraulique des dépôts meubles a été mesurée à l'aide d'un perméamètre de Guelph à un emplacement de l'esker de Saint-Télesphore (**Carte 14**) sur différentes profondeurs selon la stratigraphie rencontrée. Ces essais ont fait partie d'une étude locale réalisée dans la cadre d'un stage de Master II de Camille Peretti qui avait pour objectif d'estimer la recharge des dépôts sableux à l'aide des isotopes stables de l'eau. Les résultats de ce test sont présentés à la **section 5.1.3**.

### **3.2.5 Mesure des niveaux piézométriques**

Des mesures du niveau statique de l'eau souterraine ont été prises lors de l'échantillonnage de l'eau souterraine. Ces mesures ont été réalisées à l'aide de sondes piézométriques *Heron* ayant une précision de l'ordre du demi centimètre. Au total, 184 mesures manuelles du niveau piézométrique ont été prises au cours des étés 2013 et 2014. En plus des mesures manuelles, un réseau de suivi des fluctuations des niveaux piézométriques a été mis en place. Le niveau de l'eau souterraine a été mesuré toutes les heures, depuis juillet 2013 dans les quatre forages au roc (F1 à F4) et depuis août 2013 pour quatre piézomètres d'observation installés dans les dépôts meubles (S1, S3, S5, S8). Deux autres sondes ont été installées à l'été 2013 dans des puits au roc abandonnés, respectivement sur le flanc sud du mont Rigaud (puits sur le site de Nature Action) ainsi que sur le bouton rocheux situé à l'est de Saint-Lazare (puits de l'ancien site « Breuvage Allan »). Les niveaux ont été mesurés à l'aide de sondes *Solinst Levellogger Edge et Junior LT*. Des visites régulières ont permis de faire une vérification du niveau d'eau à l'aide de mesures manuelles avec une sonde *Heron*.

### **3.2.6 Échantillonnage d'eau**

#### *Analyses physico-chimiques*

Au total, 48 échantillons d'eau souterraine ont été prélevés entre le 17 juin et le 13 août 2013 dans des puits de particuliers, des puits municipaux ainsi que dans les forages et les piézomètres du projet (**Carte 14**). Ceci correspond à une densité d'échantillonnage d'un puits par 19 km<sup>2</sup> pour la zone d'étude.

Tous les échantillons ont été prélevés suivant le protocole développé par le (GRIES, 2010) pour l'ensemble des projets PACES (**Annexe 7**). La purge des puits et piézomètres, installés dans le cadre du Projet, a été réalisée en s'assurant qu'elle corresponde à trois fois le volume du puits. Bien que généralement pompés de façon journalière, les puits ont été purgés avant l'échantillonnage en utilisant la sortie d'eau la plus près du puits. Une cellule

d'échantillonnage a été confectionnée pour l'échantillonnage PACES (photographies en **annexe 4**), qui permet la mesure des paramètres physico-chimiques en continu (mesurés au moyen d'une sonde multiparamètres *WTW*) sans que l'eau soit exposée à l'air. La purge satisfaisante du système a pu ainsi être contrôlée en s'assurant de la stabilisation des mesures *in situ* de pH, température, salinité, conductivité électrique et d'oxygène dissous dans la cellule d'échantillonnage. L'eau a généralement été prélevée à partir du robinet extérieur, après s'être assuré qu'aucun système de traitement de l'eau n'était présent entre le puits et le robinet. Quatre bouteilles de 125 mL ont été utilisées pour l'échantillonnage des paramètres chimiques identifiés au **tableau 11**. Les échantillons ont été conservés dans des glacières où la température était maintenue inférieure à 4°C. À la fin de chaque journée de travail, l'ensemble des échantillons était amené au laboratoire MAXXAM de Montréal pour analyse.

Les échantillons ont été prélevés dans des puits résidentiels (29), des forages municipaux (11), dans des nouveaux forages au roc (4) ainsi que dans les piézomètres situés dans les dépôts meubles (4). Parmi les 48 puits échantillonnés, huit interceptent les dépôts meubles et 40 sont des forages au roc. La profondeur moyenne des puits aux stations situées dans les dépôts meubles est de 13,4 m tandis que celle aux stations interceptant le roc est de 48,0 m.

**Tableau 11** Paramètres chimiques analysés

| Cations        |                | Anions                                    |
|----------------|----------------|---|
| Aluminium (Al) | Lithium (Li)   | Alcalinité totale (en CaCO <sub>3</sub> ) |
| Antimoine (Sb) | Magnésium (Mg) | Anions sulfures (S=)                      |
| Argent (Ag)    | Manganèse (Mn) | Azote ammoniacal (N-NH <sub>4</sub> )     |
| Arsenic (As)   | Molybdène (Mo) | Bromure (Br-)                             |
| Baryum (Ba)    | Nickel (Ni)    | Chlorures (Cl)                            |
| Béryllium (Be) | Plomb (Pb)     | Fluorure (F)                              |
| Bismuth (Bi)   | Potassium (K)  | Nitrate(N) et Nitrite(N)                  |
| Bore (B)       | Silicium (Si)  | Phosphore inorganique                     |
| Cadmium (Cd)   | Sélénium (Se)  | Sulfates (SO <sub>4</sub> )               |
| Chrome (Cr)    | Sodium (Na)    |   |
| Calcium (Ca)   | Strontium (Sr) |   |
| Cobalt (Co)    | Titane (Ti)    |   |
| Cuivre (Cu)    | Uranium (U)    |   |
| Étain (Sn)     | Vanadium (V)   |   |
| Fer (Fe)       | Zinc (Zn)      |   |

### *Paramètres bactériologiques*

Les analyses bactériologiques (bactéries atypiques, coliformes totaux, *Escherichia coli* et entérocoques fécaux) ont été réalisées pour les 48 puits échantillonnés. Une bouteille de 125 mL fournie par le laboratoire Maxxam de Ville Saint-Laurent était remplie et conservée dans une glacière à une température inférieure à 4 °C. Les échantillons prélevés étaient envoyés au laboratoire chaque jour afin de respecter le délai maximal de 24 h entre l'échantillonnage et l'analyse.

## *Analyses isotopiques*

### *Isotopes stables de l'eau ( $^2\text{H}$ et $^{18}\text{O}$ )*

Des échantillons d'eau ont été prélevés aux stations d'échantillonnage dans des bouteilles HDPE de 30 mL. Ces bouteilles ont été envoyées au laboratoire des isotopes stables et légers du GEOTOP de l'UQAM et analysés par spectrométrie de masse pour la composition isotopique de la molécule d'eau ( $^2\text{H}$  et  $^{18}\text{O}$ ).

Des échantillons cumulatifs de précipitations ont également été prélevés sur une base mensuelle à la station météorologique de Sainte-Marthe (45°23' 31" N, 74°21' 20" O, élévation 65 m) à partir d'octobre 2013, afin d'obtenir une droite météorique locale. Un échantillonneur pour les isotopes stables de l'eau hors période de neige et de gel a été confectionné à l'UQAM (photographies en **annexe 4**) en suivant les spécifications d'échantillonneurs expérimentaux (International Atomic Energy Agency, 2002; Gröning et al., 2012). Pour la période hivernale, les précipitations sous forme de neige ont été collectées par le particulier chargé des relevés de la station météorologique du MDDELCC à Sainte-Marthe. Pour chaque jour de précipitation sous forme de neige, le volume collecté dans le cylindre en cuivre de la station météo a été fondu à couvert et à température de pièce, puis versé dans le contenant hermétique pour le mois courant.

Enfin, la paroi fraîchement excavée d'une sablière située dans l'esker de Saint-Télesphore a fait l'objet d'un échantillonnage de sable tous les 5 cm, sur une hauteur de 4,4 m (photographies en **annexe 4**). Soixante-huit échantillons de sable ont été prélevés dans des contenants hermétiques HDPE de 125 mL. L'eau porale de ces échantillons a ensuite été analysée pour sa composition en isotopes stables ( $\delta^2\text{H}$  et  $\delta^{18}\text{O}$ ). Ces essais ont fait partie d'une étude locale réalisée dans la cadre d'un stage de Master II de Camille Peretti qui avait pour objectif d'estimer la recharge des dépôts sableux à l'aide des isotopes stables de l'eau.

### *Isotopes stables des nitrates ( $^{18}\text{O}$ et $^{15}\text{N}$ )*

Les résultats des analyses pour les 48 échantillons d'eau souterraine ont permis d'identifier deux stations où les concentrations en N-NO<sub>3</sub> étaient supérieures à 2 mg/L. Ces échantillons ont été prélevés dans des bouteilles en PE de 2L, stabilisés par l'ajout de KOH jusqu'à un pH de 10, congelés, puis envoyés pour analyse par spectrométrie de masse (*Micromass IsoChrom-EA*) au *Environmental Isotope Laboratory* de l'Université de Waterloo (Ontario).

### *Gaz rares (He, Ne, Ar, Kr et Xe)*

Dans le cadre des travaux de doctorat de Pauline Méjean, 16 forages ont été échantillonnés afin de déterminer les concentrations en gaz rares ( $^4\text{He}$ ,  $^{22}\text{Ne}$ ,  $^{36}\text{Ar}$ ,  $^{40}\text{Ar}$ ,  $^{84}\text{Kr}$  et  $^{132}\text{Xe}$ ) de l'eau souterraine. Deux échantillons d'eau ont été prélevés à chaque forage en suivant la méthode standard de Weiss (1968). Cette méthode consiste à prélever 14 mL d'eau dans

des tubes de cuivre de diamètre externe de 0,95 cm (3/8 de pouce). Le tube de cuivre est installé sur un support ayant des mâchoires à chaque extrémité, ce qui permet de l'écraser. Il est ensuite relié au robinet (amont) et à un contenant rempli d'eau (aval) par des tubes en *Nalgène*<sup>®</sup> renforcés. Une fois que le système est assemblé et son étanchéité est vérifiée, l'eau est mise en circulation dans le dispositif. Après quelques minutes de circulation, le tube est martelé de façon à éliminer des bulles de gaz éventuellement retenues sur ces parois et finalement les mâchoires sont serrées et l'eau reste à l'intérieur du tube, tout en évitant la contamination par l'air et le dégazage (photographies en **annexe 4**). Les échantillons ont été analysés au Laboratoire des Gaz Rares de Montréal (GRAM), au centre de recherche GEOTOP de l'UQAM avec un spectromètre de masse quadripolaire (*Balzers QMS C200*) et au laboratoire AORI de l'Université de Tokyo, Japon, entre janvier et juin 2014. Les teneurs en <sup>3</sup>H ont été mesurées au « *Environmental Isotope Laboratory* » de l'Université de Waterloo. Les résultats servent à l'évaluation du temps de résidence des eaux souterraines. La **section 5.6.3** présente des résultats préliminaires pour les datations <sup>3</sup>H/<sup>3</sup>He, <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He.

### Radon (<sup>222</sup>Rn)

Le radon (<sup>222</sup>Rn) est un traceur utilisé dans l'évaluation des apports en eau souterraine dans les eaux de surface, tant dans les rivières (Cook et al., 2003; Cook et al., 2006; Stellato et al., 2007; Burnett et al., 2010), les lacs (Schmidt et Schubert, 2007), les milieux humides (Cook et al., 2008) et les environnements côtiers (Cable et al., 1996; Santos et Eyre, 2011), voire même à l'échelle d'un bassin versant (Gleeson et al., 2009). Produit de la désintégration radioactive de la série des isotopes de l'uranium, le radon a une courte demi-vie de 3,8 jours, ce qui permet de refléter les processus de mélange se produisant sur une courte échelle de temps. Il est chimiquement inerte et son activité est généralement deux à trois fois plus élevée dans les eaux souterraines que dans les eaux de surface. Ainsi les activités élevées en radon dans les eaux de surface reflètent les résurgences d'eau souterraine sur une courte distance puisque les concentrations en radon diminuent rapidement dans les rivières par dégazage à l'interface avec l'atmosphère (Cook et al., 2006).

Dans le cadre du projet de Maîtrise de Floriane Moreira, l'activité du Radon (<sup>222</sup>Rn) a été mesurée à 34 stations pour l'eau souterraine et à 26 stations dans la rivière à la Raquette. Comme le bassin versant de la rivière à la Raquette elle a été plus particulièrement étudié dans le cadre de ce projet PACES, les mesures de radon ont focalisé sur ce dernier. Chaque échantillon a été prélevé dans une bouteille en verre de 250 mL et envoyé au laboratoire d'hydrogéologie de l'UQAM pour analyse chaque semaine. Les analyses ont été faites par la méthode d'extraction de Leaney et Herczeg (2006) à l'aide d'un compteur à scintillation alpha liquide (modèle *Hidex SL-300*) qui fait la mesure de l'activité du <sup>222</sup>Rn, et suivant le protocole de Lefebvre et al. (2013). Ces travaux ont été présentés aux congrès du GÉOTOP en mars 2014 (Moreira et al., 2014) et en février 2015 (Moreira et al., 2015b) et feront l'objet d'une lors du colloque du RQES au congrès de l'ACFAS à la fin mai 2015 (Moreira et al., 2015a). Les résumés des présentations de ces travaux sont présentés à

l'**annexe 3**, alors que les résultats concernant l'utilisation du radon sont présentés à la **section 5.6.4**.

### **3.2.7 Mesure des débits de rivières**

#### *Installation de station limnimétriques*

Le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) ne disposant d'aucune station de suivi de débit de rivière dans la zone d'étude, trois stations limnimétriques ont été installées sur la rivière à la Raquette (**Carte 14**). Le bassin cette rivière a été choisi parce c'est le plus grand bassin versant intégralement contenu dans la zone d'étude. De plus, des contextes géomorphologiques hétérogènes (plaine argileuse, proximité du mont Rigaud) coexistent sur le long de cette rivière, la rendant très intéressante pour la caractérisation à des fins d'hydrologie et d'hydrogéologie.

Située sur la partie aval du bassin de la rivière à la Raquette, la station 1 a été installée en mai 2013 sur le versant d'un viaduc routier. Cette station est autonome et elle comprend une sonde ultrasonique *SENIX TSPC-15-232 ToughSonic*, un enregistreur de données *Hobo* ainsi qu'un panneau solaire (photographies en **annexe 4**). Cette station est configurée pour mesurer le niveau de l'eau dans la rivière toutes les 30 minutes. Les stations 2 et 3 ont été respectivement installées en mai et en juillet 2013 et sont équipées de sondes de pression *Solinst Edge* immergées qui enregistrent le niveau d'eau toutes les 30 minutes grâce à un système de tube et de crépine en PVC dont l'extrémité est installée au point bas de la rivière. Un baromètre *Solinst Edge* est installé à la station 2 pour permettre la compensation barométrique sur les hauteurs d'eau mesurées par les sondes immergées. Pendant la durée du projet, les stations 2 et 3 ont été retirées en période de gel (de décembre à avril) tandis que la station 1 est restée active en toute saison.

Des mesures de débits par la méthode de sections transversales ont été réalisées sur 34 km le long de la rivière à la Raquette les 12 et 25 août 2014 avec 23 mesures à chaque journée. Ces mesures réalisées dans le cadre des travaux de Maitrise de Félix Turgeon ont permis d'estimer l'augmentation progressive du débit en fonction de la surface drainée et des affluents et des apports d'eau souterraine au cours d'eau (voir **section 5.7**).

Entre mars 2013 et octobre 2014, des mesures de débit ont été réalisées à l'emplacement des stations limnimétriques pour construire les courbes de tarage correspondantes, soit au total 23 mesures pour la station 1, 18 mesures pour la station 2 et 25 mesures pour la station 3. En période de hautes eaux, ces mesures ont été réalisées à l'aide de vélocimètres doppler intégrateurs (photographies en **annexe 4**), permettant de mesurer les vitesses dans la colonne d'eau et fournissant un débit correspondant compilé pour la section de rivière. Si le niveau de l'eau était trop bas dans le cours d'eau ( $\leq 0,4$  m), les vitesses de l'eau ont été mesurées à l'aide d'un vélocimètre électromagnétique portatif *Hach Lange FH950*, et le débit correspondant a été calculé à l'aide de la méthode des sections transversales. Des mesures du débit de rivière en période d'étiage ont également été réalisées selon les même

méthodes en septembre 2012 sur la rivière Rigaud, la rivière à la Raquette, la rivière Quinchien et la rivière Delisle (**Carte 14**).

### **3.3 Saisie, validation et archivage de la base de données**

Toutes les données recueillies pendant les Phase I et II du Projet ont été compilées et intégrées dans la base de données. Ces données sont des données stratigraphiques, des propriétés hydrauliques des aquifères (T, K et S), des niveaux piézométriques et des données géochimiques. En tout, 104 rapports de consultants et de différents ministères, ainsi que les données numériques (SIH, MTQ, SIGPEG, SIGEOM) obtenues par l'intermédiaire du MDDELCC et des municipalités ont été compilés dans la base de données. Toutes les municipalités qui possèdent de l'information hydrogéologique sur la zone d'étude ont signé les ententes d'accès à l'information et fourni les rapports dont elles disposaient. Les données collectées par l'UQAM lors des différentes la campagne de terrain 2013 et 2014, soit les données stratigraphiques acquises lors des forages et des sondages, les propriétés hydrauliques calculées à l'aide des essais de pompage et des essais de perméabilité *in situ*, les niveaux de nappe et les résultats des analyses géochimiques ont été également intégrés à la base de données.

Au total, 22 377 observations représentant de l'information hydrogéologique, géologique ou hydrogéochimique ont été saisies dans la base de données (**Tableau 12**).

### **3.4 Mise en valeur de l'équipement installé pour le long terme**

La collaboration mise en place au cours du projet PACES va se poursuivre avec certaines municipalités de Vaudreuil-Soulanges avec le projet l'Infrastructure de Recherche sur la Recharge des Eaux Souterraines (IRES). Ce projet, initié en octobre 2014, inclus la mise en place progressive d'infrastructure de mesure visant à comprendre la dynamique spatio-temporelle de la recharge. Le réseau de mesure inclus notamment la mise en place de piézomètres, de station de jaugeage, de lysimètres, de capteurs de température dans le sol ainsi que de stations de relevés météorologique. L'ensemble des puits, piézomètres, station limnimétriques ou tout autre relevé ou analyse pertinent collecté lors de ce projet PACES seront intégrés au projet IREES.

**Tableau 12** Synthèse des informations intégrées à la base de données

| Type / Sources des données            | Nombre d'observations | %/ section    |
|---------------------------------------|-----------------------|---------------|
| <b><i>Stratigraphie</i></b>           | <b>14 409</b>         | <b>64,4 %</b> |
| MDDELCC (SIH)                         | 10 536                | 73,1%         |
| Consultants (rapports)                | 993                   | 6,9 %         |
| CGC (levés sismiques de 1962)         | 916                   | 6,4 %         |
| MTQ (bases de données de forages)     | 694                   | 4,8 %         |
| UQAM (terrain 2013 et 2014)           | 633                   | 4,4 %         |
| MDDELCC (rapports)                    | 294                   | 2,0 %         |
| MRN (SIGEOM)                          | 293                   | 2,0 %         |
| MRN (SIGPEG)                          | 50                    | 0,3 %         |
| <b><i>Relevés piézométriques</i></b>  | <b>3 595</b>          | <b>16,1 %</b> |
| MDDELCC (SIH)                         | 3 060                 | 85,1 %        |
| UQAM (terrain 2013 et 2014)           | 229                   | 6,4 %         |
| Consultants (rapports)                | 186                   | 5,2 %         |
| CGC (rapport)                         | 47                    | 1,3 %         |
| MDDELCC (rapports)                    | 36                    | 1,0 %         |
| MTQ (bases de données de forages)     | 37                    | 1,0 %         |
| <b><i>Propriétés hydrauliques</i></b> | <b>194</b>            | <b>0,9 %</b>  |
| Consultants (rapports)                | 158                   | 81,4 %        |
| UQAM (terrain 2013 et 2014)           | 17                    | 8,8 %         |
| MRN (rapports)                        | 16                    | 8,2 %         |
| CGC (rapport)                         | 3                     | 1,5 %         |
| <b><i>Géochimie</i></b>               | <b>4 179</b>          | <b>18,7 %</b> |
| UQAM (eau souterraine)                | 2 209                 | 52,9 %        |
| Consultants (eau souterraine)         | 970                   | 23,2 %        |
| MDDELCC (eau souterraine)             | 411                   | 9,8 %         |
| CGC (eau souterraine t)               | 338                   | 8,1 %         |
| UQAM (eau de surface)                 | 251                   | 6,0 %         |
| <b>TOTAL</b>                          | <b>22 377</b>         | <b>100%</b>   |



## 4 CONTEXTES HYDROGÉOLOGIQUES RÉGIONAUX

### 4.1 Géologie du socle rocheux

#### 4.1.1 *Histoire géologique*

La zone d'étude fait partie de la plate-forme des Basses-Terres du Saint-Laurent, constituée de roches sédimentaires peu déformées de la portion inférieure de la séquence cambro-ordovicienne. Ces dernières roches sédimentaires reposent sur le socle précambrien (Globensky, 1982; 1987). Au nord, le mont Rigaud constitue une intrusion Précambrienne qui perce le relief de la couche sédimentaire des Basses-Terres. Au Crétacé, une série d'intrusions de roches alcalines appartenant à la série des collines montérégiennes (Mont-Royal, Mont Saint-Bruno, etc.) se mirent en place dans la région. Sur la zone d'étude, les affleurements de roches intrusives alcalines sont rares, mais ont été cartographiées avec une étendue limitée sur la partie nord-est.

#### 4.1.2 *Stratigraphie et lithologies*

La géologie de la zone d'étude a été cartographiée par plusieurs auteurs qui ont couvert les différentes parties des Basses-Terres du Saint-Laurent. Les descriptions lithologiques ci-dessous proviennent des travaux de Globensky (1982; 1987). La zone d'étude compte neuf lithologies. Dans le **tableau 13**, les lithologies sont présentées chronologiquement, de la plus récente à la plus ancienne. Les formations sédimentaires du Paléozoïque les plus anciennes sont situées dans la partie nord de la zone d'étude (grès de Postdam) tandis que les plus jeunes sont situées dans la partie sud-ouest (calcaires de Chazy) (**Carte 15**).

La séquence sédimentaire comprend les formations et les lithologies suivantes:

- Le Groupe de Potsdam est composé de grès et repose en discordance sur le socle précambrien. À la base, la Formation de Covey Hill est composée de grès feldspathiques rougeâtres, d'origine fluviatile, avec des horizons verdâtres à grain grossier, mal triés et mal cimentés. Cette formation peut atteindre une puissance de 500 m. Au sommet du Potsdam, la Formation de Cairnside est composée de grès quartzitiques bien triés et bien cimentés, attribués à un milieu marin deltaïque. La puissance de cette formation ne dépasse pas 240 m.
- Le Groupe de Beekmantown se retrouve dans la partie sud du territoire et dans le coin nord-ouest. Celui-ci est composé de dolomie et de grès. À la base, la Formation de Theresa est composée de grès quartzitiques, grès dolomitiques et de dolomie, organisés en minces lits ou en bancs de grès de plus d'un mètre d'épaisseur. La composante gréseuse tend à disparaître vers le sommet de la formation. La puissance de la Formation de Theresa est de 150 m. Au sommet du Beekmantown, la Formation de Beauharnois est constituée d'une succession de dolomie massive et laminée. Certaines cavités karstiques de cette dolomie peuvent être remplies de gypse blanc et d'halite. La puissance de la Formation de Beauharnois est de 300 m.

- La dernière séquence sédimentaire comprend le Groupe de Chazy qui se retrouve dans le coin sud-ouest du territoire. Au sommet du Chazy, la Formation de Laval est composée de calcaire cristallin et de shales. À la base de cette formation, le Membre de Sainte-Thérèse est gréseux. La puissance du Groupe de Chazy ne dépasse pas 100 m.

**Tableau 13** Stratigraphie des unités géologiques

| Groupe      | Formation             | Époque                  | Lithologie                                       |
|-------------|-----------------------|-------------------------|--|
| -           | -                     | Crétacé inférieur       | Roches alcalines, kimberlites, brèches associées |
| Chazy       | Laval                 | Ordovicien              | Calcaire et grès                                 |
| Chazy       | Laval, Sainte-Thérèse | Ordovicien              | Grès   |
| Beekmantown | Beauharnois           | Ordovicien              | Dolomie  |
| Beekmantown | Beauharnois           | Ordovicien              | Grès dolomitique                                 |
| Potsdam     | Cairnside             | Cambien                 | Grès quartzitique                                |
| Potsdam     | Covey-Hill            | Cambrien                | Grès feldspathique                               |
| -           | -                     | Protérozoïque (Vendien) | Syénite et granite                               |
| -           | -                     | Protérozoïque           | Anorthosite et gabbronorite                      |

#### 4.1.3 Structure et fracturation

Le socle rocheux de la région de Rigaud constitue un horst limité par des failles normales, les failles de Rigaud et de Sainte-Justine. Ce horst est lié au demi-graben du Saint-Laurent. La faille de Rigaud de direction nord-ouest passe au nord du mont Rigaud, à travers le territoire de la ville de Rigaud. À cet endroit, les roches ordoviciennes du Groupe de Beekmantown sont en contact avec les roches intrusives précambriennes du mont Rigaud. Le côté nord de la faille (le Beekmantown) a été abaissé de 500 à 600 m par rapport au côté nord (mont Rigaud). La faille de Sainte-Justine est orientée nord-ouest/sud-ouest, passe entre Sainte-Justine-de-Newton et Sainte-Justine-Station et marque la juxtaposition des roches du Groupe de Beekmantown au nord et du Groupe de Chazy au sud, avec un abaissement du bloc sud de la faille de 300 à 500 m par rapport au bloc nord (Globensky, 1982).

La région montre une structure régionale typique d'un grand bassin sédimentaire mais aucun pli d'importance, mis à part quelques ondulations de grande amplitude, n'a été noté dans ce secteur des Basses-Terres du Saint-Laurent (Globensky, 1982). Le pendage des formations sédimentaires est généralement de 2 à 3 ° et ne dépasse pas 6 °, avec des

pendages pouvant cependant être localement plus abrupts à proximité des failles de Sainte-Justine et de Rigaud (Globensky, 1982).

Dans le cadre de cette étude, le système hydrogéologique étudié se limite généralement aux cent premiers mètres du socle rocheux. La profondeur moyenne des puits échantillonnés varie entre 35 et 178 m avec une moyenne à 46 m. Les forages au roc réalisés durant le projet ont mis à jour de grandes hétérogénéités dans le degré de fracturation du roc. Des venues d'eau très importantes (production supérieure à 220 L/min) ont été identifiées dans les dix premiers mètres de deux forages (F3 et F4) réalisés dans le cadre de ce projet, soit dans la dolomie du Groupe de Beekmantown, ainsi que dans un forage réalisé dans le grès du Potsdam. Les données acquises au cours du projet, de même que l'analyse des données existantes dans les rapports de consultants indiquent une faible productivité des puits installés dans les roches du mont Rigaud par rapport aux puits installés dans les grès, les dolomies et les calcaires de la séquence sédimentaire.

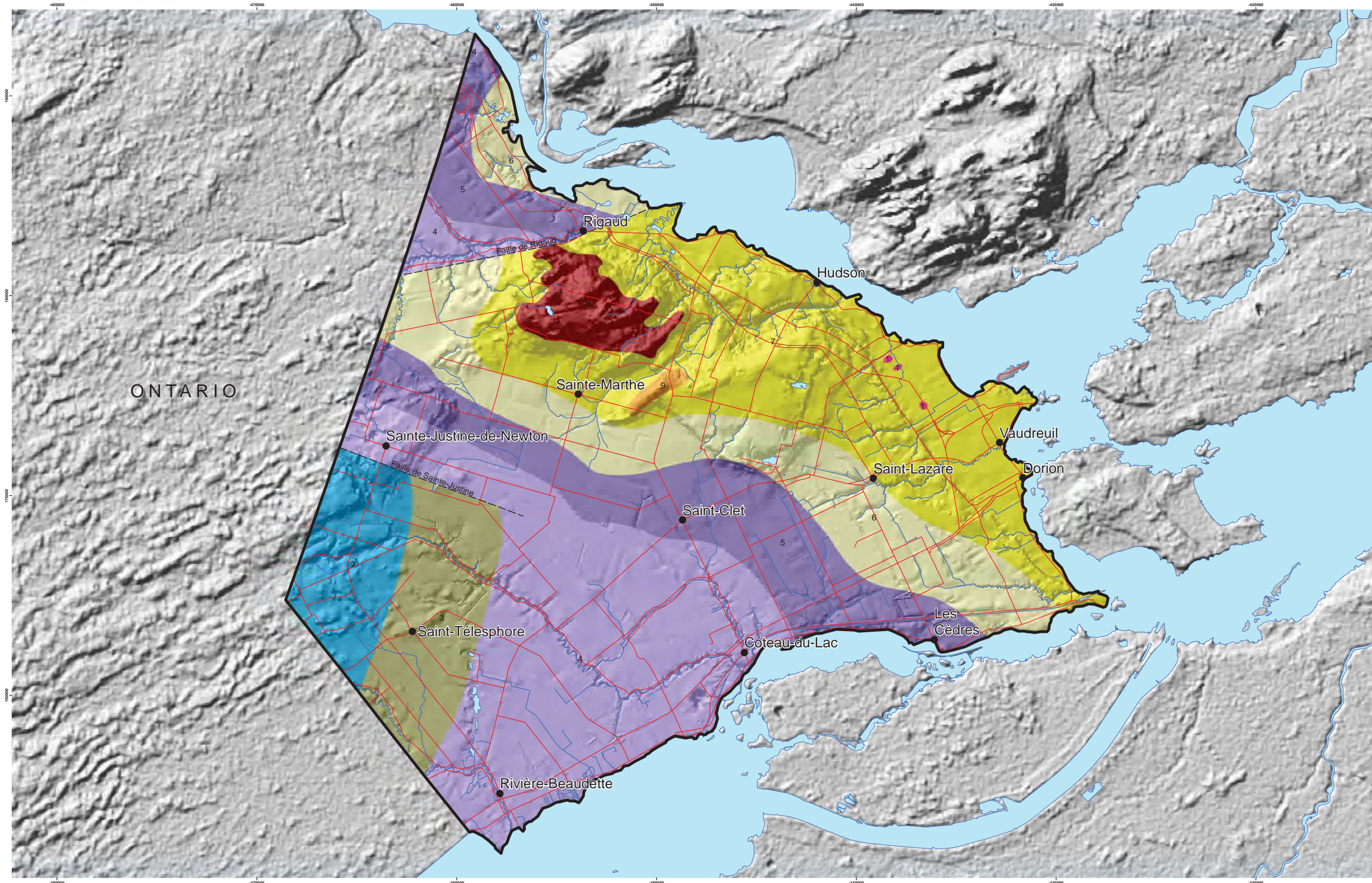
## **4.2 Géologie du Quaternaire**

Les travaux de cartographie ont été réalisés par Pierre-Marc Godbout, un étudiant de doctorat en sciences de la Terre et de l'atmosphère de l'UQAM, lequel a été assisté par Gladys Vallée, une étudiante au baccalauréat en sciences de la Terre et de l'atmosphère de l'UQAM. Ces travaux ont été réalisés sous la supervision du professeur et quaternariste Martin Roy de l'UQAM, en collaboration avec le professeur et quaternariste Michel Lamothe. Les résultats ont fait l'objet d'un rapport déposé au ministère des Ressources naturelles (MRN) (Roy et Godbout, 2014).

### **4.2.1 *Histoire du Quaternaire***

Les travaux antérieurs indiquent que toutes les formations superficielles de la région de Vaudreuil-Soulanges ont été mises en place durant le dernier cycle glaciaire, essentiellement au cours du Wisconsinien supérieur (i.e. le stade isotopique marin 2) (Dreimanis, 1977; Gadd, 1977; Gadd et al., 1981). Les travaux de terrain de l'été 2013 n'ont révélé aucun indice suggérant la présence d'unités plus anciennes sur le territoire. Les informations quant à la stratigraphie régionale proviennent en grande partie de forages dans le secteur de Pointe-Fortune, localisé au nord-ouest de la région d'étude, où l'étude de carottes a permis de mettre en évidence la présence des unités suivantes sous le till de surface (de la plus récente à la plus ancienne) : unité de sable non fossilifère, unité de sable et silt contenant de la matière organique, unité d'argile massive, unité de sable et d'argile avec de la matière organique et unité de till (Veillette et Nixon, 1984). La matière organique contenue dans les dépôts sableux suggère une mise en place au cours de conditions climatiques au moins aussi chaudes que l'actuel. Pour cette raison, cette unité a été associée au dernier interglaciaire (Anderson et al., 1990). Le till inférieur est corrélé avec le Till de Bécancour dans les Basses-Terres du Saint-Laurent (Veillette et Nixon, 1984), lequel serait associé à une glaciation Pré-Sangamonienne (Lamothe, 1989).





### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- ⊞ Zone d'étude

#### Linéaments

- Faille indéterminée

#### Géologie du roc

##### Crétacé inférieur

- 1 - Roches alcalines, kimberlite, brèches associées

##### Ordovicien - Groupe de Chazy

- 2 - Formation de Laval
- 3 - Formation de Laval - Membre de Sainte-Thérèse

##### Ordovicien - Groupe Beekmantown

- 4 - Formation de Beauharnois
- 5 - Formation de Theresa

##### Cambrien - Groupe Potsdam

- 6 - Formation de Cairnside
- 7 - Formation de Covey Hill

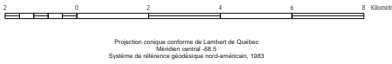
##### Protérozoïque

- 8 - Syénite et granite
- 9 - Anorthosite et gabbronorite



MÉTADONNÉES  
Section 4.1.3 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

**Carte 15 Géologie du roc  
ZONE VAUDREUIL-SOULANGES  
QUÉBEC**



Projection cartographique conforme de Lambert de Québec  
Moyenne centrale de 5  
Système de référence géographique nord-américain, 1983

SOURCES / RÉALISATION

Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Géologie du roc: SIGEOM, 250K  
Linéaments: SIGEOM, 250K

Réalisation:  
Université du Québec à Montréal



Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1:50 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les données requises pour définir les conditions locales à l'échelle locale et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'exactitude des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attaché ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adaptation à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, sous conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée:  
Larocque, M., Maréchal, G., Charlier, M. A., Gravelle, M. H., Gagné, S., Barreche, D. et Dorner, S. 2015. Projet de cartographie des eaux souterraines de la zone de Valdieu-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MDECC.



#### **4.2.2 Stratigraphie des dépôts meubles**

La zone d'étude compte 17 unités stratigraphiques quaternaires disposées du plus récent au plus ancien (**Tableau 14**). Ces unités stratigraphiques sont décrites à la **section 4.2.3** et ont été utilisées dans le modèle hydrostratigraphique décrit à la **section 4.4** en fonction de leur niveau de perméabilité.

La région de Vaudreuil-Soulanges est dominée par la présence d'argiles marines qui couvrent 64 % de la surface de son territoire. Le maximum marin de la mer de Champlain se situe à 205 m d'altitude (11 600 BP) sur le mont Rigaud (Corbeil, 1984). On trouve en plaine des épaisseurs d'argiles pouvant atteindre 30 m. Seules quelques zones longeant la rivière des Outaouais, ainsi que les principaux reliefs (crêtes de till au centre ouest ; mont Rigaud, butte Saint-Lazare et butte de Hudson) qui percent la topographie plane de la région ne sont pas couverts par les argiles marines. Les dépôts de tills sont apparents sur environ 15 % du territoire, vers Sainte-Justine-de-Newton sur des crêtes orientées nord-est/sud-ouest, ainsi que sur le mont Rigaud. Des dépôts sableux littoraux lacustres (lac à Lampsilis) sont présents sur la partie sud-est de la zone d'étude. On retrouve également des dépôts sableux glaciomarins reposant sur les flancs de la butte de Saint-Lazare, ainsi que sur les flancs de l'esker de Saint-Télesphore/rivière-Beaudette. À ces emplacements, ces dépôts sableux régressifs sont superficiels et reposent généralement sur d'importants dépôts d'argile.

La présence et le volume des dépôts fluvioglaciaires sont remarquables dans la région de Vaudreuil-Soulanges et ces derniers présentent souvent un bon potentiel en terme d'aquifère granulaire. Un complexe fluvioglaciaire est présent entre Pointe-Fortune et Hudson dans une bande de 1 à 2 km en longeant la rivière des Outaouais. Les formes morainiques ou d'esker ne sont pas identifiables pour ce complexe, mais ce dernier comprend d'importants dépôts de sables et de graviers (Corbeil, 1984) qui restent cependant discontinus. (Corbeil, 1984). La butte de Saint-Lazare a été cartographiée comme un dépôt fluvioglaciaire par Richard (1982a). La mise à jour de la carte des dépôts surface cartographique précise maintenant que la surface des dépôts est d'origine glaciomarine deltaïque et littorale, puisque les dépôts fluvioglaciaires ont été remaniés en surface suite à leur mise en place initiale. Comme l'ont confirmé des rapports de consultants, ainsi que le forage au roc F1 réalisé pendant ce projet, ces dépôts d'origine fluvioglaciaires sur la butte de Saint-Lazare sont épais et complexes. Ils peuvent tout autant comporter des blocs dès le premier mètre de profondeur, ainsi que des lits plus ou moins silteux traduisant la mise en place de sédiment avec plus ou moins d'énergie selon la proximité variable avec la marge glaciaire lors de sa fonte. Le forage F1 a traversé un dépôt de till argileux sous ce premier dépôt fluvioglaciaire, avant de traverser un nouveau dépôt sablo-graveleux plus ancien. La complexité des dépôts sur la butte de Saint-Lazare est également mise en évidence par l'information amenée par les nombreux forages de consultants qui ont été réalisés (p. ex. TechnoRem, 2005c), et qui montrent que la répartition spatiale du till argileux est variable et discontinue, engendrant ici et là des conditions libre ou captives pour l'aquifère profond à cet endroit. Pour ces raisons, la butte de Saint-Lazare est dénommée « complexe

fluvio-glaciaire » dans ce rapport, tout comme la butte de Hudson qui possède des caractéristiques géomorphologiques similaires. Enfin, on trouve également des dépôts fluvioglaciaires au sud-ouest de la zone d'étude, l'esker de Saint-Télesphore/rivière-Beaudette, majoritairement enfoui par les argiles marines (Corbeil, 1984).

Des travaux de compilation (Charron, 1978) indiquent l'emplacement de paléo-chenaux de la Mer de Champlain en bordure de la rivière des Outaouais, ainsi qu'au pourtour du mont Rigaud et des buttes de Saint-Lazare et de Hudson. Des dépôts sableux antérieurs à la dernière glaciation ont été identifiés sous du till de surface à la sablière Bélanger située vers Pointe-Fortune. Le lieu a déjà été bien documenté (Veillette et Nixon, 1984; Anderson et al., 1990), notamment dû au fait que des débits organiques contenus dans les sables ont été datés à plus de 42 000 ans BP et indiquent l'emplacement d'une paléo-plaine alluviale étendue autour du cours actuel de la rivière des Outaouais.

**Tableau 14** Stratigraphie des dépôts meubles

| Unité Quaternaire                      | Code CGC | Unité hydrostratigraphique  |
|--|----------|-----------------------------|
| Sédiments de glissement de terrain     | Cq       | Unité imperméable           |
| Sédiments organiques                   | O        | Unité imperméable           |
| Sédiments éoliens                      | Ed       | Unité perméable             |
| Alluvions actuelles                    | Ap       | Unités perméables           |
| Alluvions d'ancienne terrasse          | Ax       |                             |
| Alluvions indifférenciées              | A        |                             |
| Lacustre deltaïque                     | Ld       | Unité perméable             |
| Glaciomarin littoral                   | MGb      | Unités perméables           |
| Glaciomarin deltaïque                  | MGd      |                             |
| Glaciomarin d'eau profonde             | MGa      | Unité imperméable           |
| Fluvioglaciaire (épandage aquatique)   | Gs       | Unités perméables           |
| Fluvioglaciaire (juxtaglaciaire)       | Gx       |                             |
| Till remanié en couverture discontinue | Trm      | Unités semi-perméables      |
| Till remanié                           | Tr       |                             |
| Till mince                             | Tm       |                             |
| Till en couverture continue            | Tc       | Unité imperméable           |
| Quaternaire ancien                     | Q        | Unité imperméable/perméable |



### 4.2.3 Couverture de dépôts meubles

La **carte 16** illustre la répartition spatiale des dépôts quaternaires sur la zone d'étude. Cette carte est disponible en format vectoriel et image auprès du ministère des Ressources naturelles du Québec (Roy et Godbout, 2014). Les principales caractéristiques sédimentologiques et cartographiques des unités lithostratigraphiques de la région étudiées en 2013 et 2014 sont décrites en termes de texture, structure, couleur, compacité, composition lithologique dans la légende étendue de la carte géologique. Les contacts et limites stratigraphiques inférieurs et supérieurs, ainsi que la distribution régionale, permettent de mieux apprécier la représentation cartographique finale. Les éléments présentés plus bas servent à compléter la description des unités et sont tirés du rapport fourni au MERN :

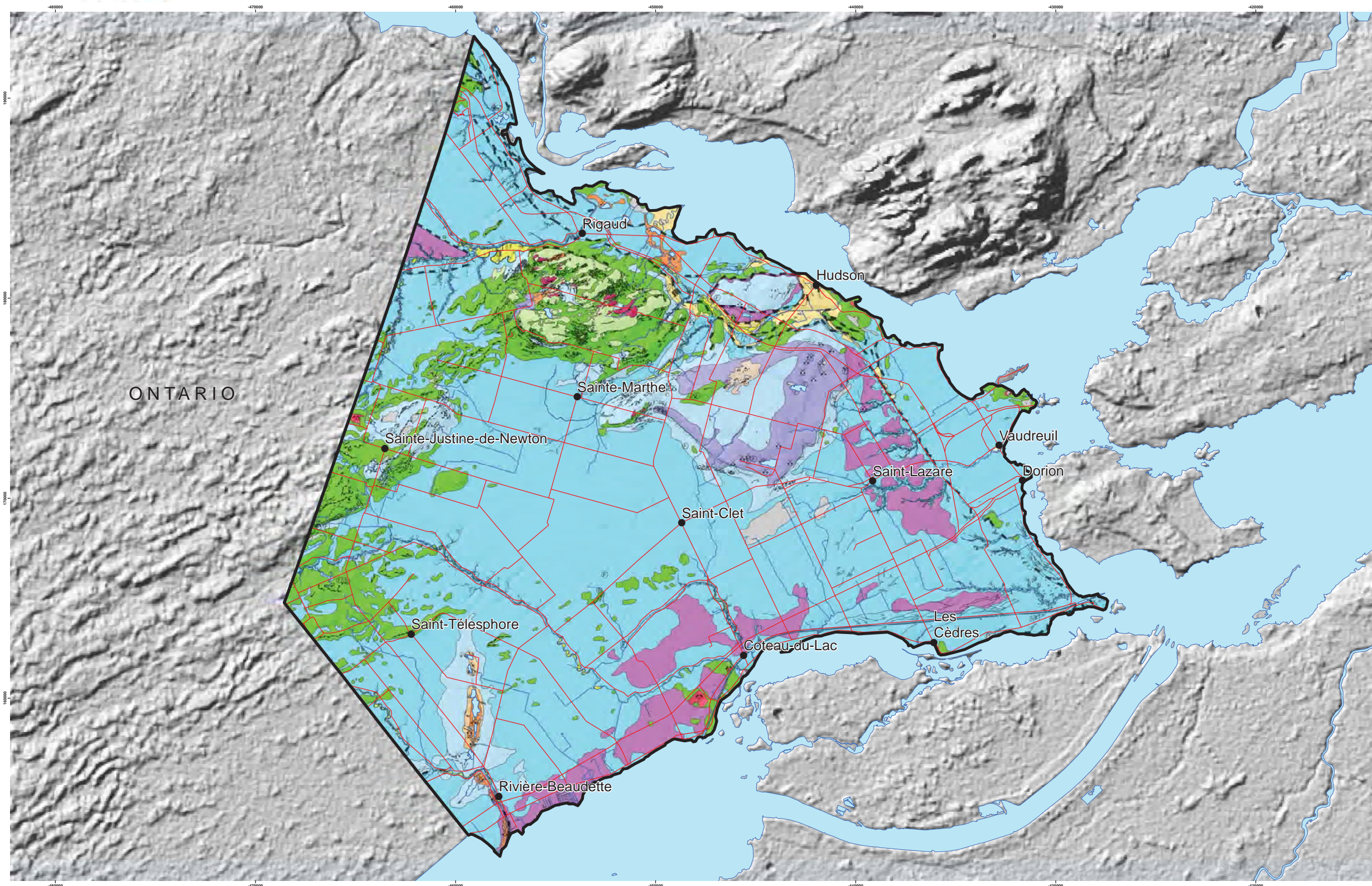
#### *Le roc (Ri, Rs et Rm)*

Les unités où la couverture de sédiments quaternaires est inférieure à 0,3 m ont été subdivisées en fonction de la nature générale des roches sous-jacentes, laquelle est tirée de la compilation du ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles (2002) et des travaux de Malka et al. (2000). Trois types de lithologies sont rapportées sur les cartes : les roches métamorphiques de haut grade (Rm; notamment des gneiss précambriens de la Province de Grenville), les roches sédimentaires (Rs; dolomies, calcaires, grès et shales de la plate-forme paléozoïque du Saint-Laurent) et les roches ignées intrusives (Ri; soit le massif plutonique du mont Rigaud). L'ensemble de ces unités couvre environ 0,2 % du territoire cartographié. Le roc affleurant, majoritairement représenté par les roches intrusives (Ri), était fortement altéré et ne montrait aucune marque d'érosion glaciaire (stries) encore visible.

#### *Le till (Trm, Tr, Tc et Tm)*

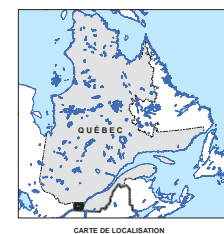
Les unités de till reposent en discordance sur le roc. Deux principales unités de till ont été distinguées : le till dont l'épaisseur est supérieure à 1 m (Tc; till en couverture continue) et le till mince (Tm; till en couverture généralement discontinue) dont l'épaisseur est comprise entre 30 cm et 1 m. Près des zones où des roches carbonatées (paléozoïques ou protérozoïques) sont présentes, la matrice des unités Tc et Tm peut être carbonatée. De plus, sur le flanc sud-est du mont Rigaud, on retrouve du till remanié en couverture discontinue (Trm) ou en couverture continue (Tr) qui a été remanié par les eaux postglaciaires (c.-à-d. Mer de Champlain). Il s'agit d'un till dont la matrice est plus grossière avec une surface parfois parsemée de blocs. Au total, ces unités de till couvrent 14,3 % du territoire.





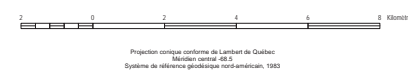
### LÉGENDE

|                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|
| ● Ville                    | <b>Autres informations</b> |
| — Réseau routier           | · AFFLEUR_ROC              |
| — Hydrographie linéaire    | FOSSILE                    |
| — Hydrographie surfacique  | × GRAV_SABL                |
| ⊕ Zone d'étude             | ⊕ GRAV_SABL_ABAN           |
|                            | ⊕ MINE                     |
|                            | ⊕ MINE_ABAN                |
| <b>Dépôts quaternaires</b> | <b>Lignes</b>              |
| Dépôts de versant          | --- BARRE_ALLUV            |
| Cg                         | — CHENAL                   |
| Dépôts éoliens             | — CICATR_GLISS             |
| Ed                         | --- CR_MOR_MIN             |
| Sédiments organiques       | — DUNE                     |
| O                          | --- ESCARP_ROC             |
| Sédiments alluviaux        | — ESKER_ENFOUI             |
| A                          | --- FORM_EOLIENNE          |
| Ap                         | --- PLAGE                  |
| Ax                         | --- RAVIN                  |
| Sédiments lacustres        | --- RAVIN_MIN              |
| Ld                         | --- TERRASSE_FLU           |
| Sédiments glaciomarins     | --- TERRASSE_MAR           |
| MGa                        |                            |
| MGb                        |                            |
| MGd                        |                            |
| Sédiments fluvioglaciaires |                            |
| Gs                         |                            |
| Gx                         |                            |
| Sédiments glaciaires       |                            |
| Tc                         |                            |
| Tm                         |                            |
| Tr                         |                            |
| Trm                        |                            |
| Substrat rocheux           |                            |
| Ri                         |                            |
| Rs                         |                            |



MÉTADONNÉES  
Section 4.2.3 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

**Carte 16 Géologie du Quaternaire  
ZONE VAUDREUIL-SOULANGES  
QUÉBEC**



SOURCES / RÉALISATION  
Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Géologie du Quaternaire : Roy et Godbout, 2014  
Réalisation :  
Université du Québec à Montréal



Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/60 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découplant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les données requises pour définir les conditions locales et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'intégrité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attaché ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adoption à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, sous conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée :  
Larocque, W., Méthot, G., Charlier, M. A., Gravelle, M. H., Gagné, S., Barrette, D. et Dorner, S. 2015. Projet de cartographie des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MDECC.



Deux faciès ont été reconnus dans l'unité de till en couverture continue : un faciès de fond et un faciès remanié (Tr). Le faciès de fond consiste en un diamicton à matrice dominante silto-argileuse, fissile, compact et de couleur brune (10YR 4/3). Le faciès remanié est formé d'un diamicton à matrice plus grossière, mal trié et de texture hétérogène, de structure plutôt lâche, de couleur brunâtre (10YR 3/4) où les blocs anguleux sont nombreux.

#### *Le till en couverture généralement discontinue (Tm et Trm)*

Le till mince (Tm; 0,3 à m d'épaisseur) couvre environ 1,5 % de du territoire cartographié et se localise principalement sur les reliefs du mont Rigaud. Cette unité forme un placage discontinu, parfois remanié (Trm), qui laisse transparaître les structures rocheuses; les affleurements rocheux peuvent être nombreux par endroit.

#### *Les sédiments fluvioglaciaires (Gx, Gs)*

Deux unités de sédiments fluvioglaciaires ont été distinguées selon leur environnement de mise en place: les sédiments juxtaglaciaires (Gx) et les sédiments d'épandage subaquatique (Gs). Au total, les sédiments fluvioglaciaires couvrent environ 0,6 % du territoire. Leur couleur varie de légèrement brunâtre à verdâtre (2.5Y 5/4).

#### *Les sédiments juxtaglaciaires (Gx)*

Les sédiments juxtaglaciaires sont présents sur 0,5 % du territoire. Ils se présentent sous la forme de segments d'esker(s). Ces sédiments consistent en des sables, graviers, cailloux et blocs stratifiés, parfois affectés par des failles normales. Dans le territoire, ces amas sont orientés dans un axe nord-sud et est-ouest de part et d'autre de l'obstacle topographique formé par le mont Rigaud. Sous la limite marine, ces dépôts sont souvent recouverts par des sédiments glaciomarins, ce qui rend leur identification plus difficile.

#### *Les sédiments d'épandage proglaciaire subaquatique (Gs)*

Les sédiments d'épandage proglaciaire subaquatique occupent environ 0,1 % du territoire. Ces amas sédimentaires sont constitués de sables silteux, de sables et parfois de graviers fins, disposés en stratifications subhorizontales ou sub-obliques à angles faibles, souvent recouverts par des sédiments glaciomarins d'eau profonde. Ils se retrouvent principalement dans le sud de la région. Dans ce secteur, ils forment des accumulations tabulaires qui sont en lien avec la mise en place de l'esker de Saint-Télesphore.

#### *Les sédiments glaciomarins (MGa, MGb, MGd)*

Les sédiments glaciomarins sont associés à l'invasion de la Mer de Champlain au cours de la déglaciation du territoire. Ces sédiments ont été distingués selon leur milieu de mise en place : sédiments fins d'eau profonde (MGa), sédiments littoraux et pré littoraux (MGb), sédiments deltaïques et prodeltaïques (MGd). Ces dépôts couvrent environ 75,3 % du territoire. En se basant sur l'altitude des deltas glaciomarins et des littoraux les plus élevés

recensés dans la présente cartographie, la limite marine maximale semble atteindre une altitude de 190 m, tel que documenté sur le mont Rigaud (Brazeau, 1997).

#### *Les sédiments fins d'eau profonde (MGa)*

Les sédiments d'eau profonde sont présents sur environ 63,6 % du territoire. Cette unité consiste généralement en des argiles massives ou grossièrement laminées, contenant localement des galets de délestage ou des fossiles. Leur couleur est grise foncé et parfois rougeâtre. Dans certains secteurs, les sédiments d'eau profonde peuvent montrer un faciès plus silteux et généralement laminé. L'épaisseur maximale des dépôts glaciomarins d'eau profonde est de plusieurs dizaines de mètres. Ils se retrouvent partout dans les Basses-Terres, à des élévations généralement situées sous la marque de 75 m, où ces sédiments forment une plaine intensément ravinée en raison de l'exondation du territoire, en plus d'être localement affectée par des glissements de terrain.

#### *Les sédiments littoraux et pré-littoraux (MGb)*

Les sédiments littoraux et pré-littoraux occupent environ 8,7 % du territoire et ils se retrouvent communément sous forme de regroupement de cordons littoraux. Ces dépôts sont formés de sables et graviers stratifiés, avec des passées silteuses. Ces sédiments sont parfois fossilifères. Ils se sont développés à partir ou au contact de sources de sédiments grossiers. Leur épaisseur maximale montre de fortes variations, allant de 1 m à plus de 6 m. Ils recouvrent parfois les sédiments d'eau profonde ou les sédiments juxtaglaciaires, comme la butte de Saint-Lazare.

#### *Les sédiments deltaïques et prodeltaïques (MGd)*

Les sédiments deltaïques et prodeltaïques couvrent environ 3,1 % de la région étudiée. Ces sédiments consistent en des sables, sables graveleux et graviers stratifiés d'une épaisseur variable. Les sédiments deltaïques et prodeltaïques forment généralement des accumulations tabulaires incisées par des chenaux fluviaux localisés en bordure des épandages proglaciaires subaériens.

#### *Les sédiments lacustres deltaïques et prodeltaïques du Lac à Lampsilis (Ld)*

Les sédiments du Lac à Lampsilis ont été mis en place directement sur les sédiments glaciomarins profonds à une élévation allant de 50 à 55 m. Ils forment des épandages composés majoritairement de silts sableux délimités pour la plupart par des chenaux abandonnés. Ces sédiments lacustres deltaïques sont généralement issus du remaniement d'unités sableuses antérieures et leur épaisseur ne dépasse pas 1,5 m. Ces dépôts ont été mis en place dans un vaste estuaire que formaient le proto-Saint-Laurent et la proto-rivière Outaouais dans le Lac à Lampsilis. Ils sont présents sur 6,9 % du territoire.

### *Les sédiments alluviaux (Ax, A)*

Les dépôts alluviaux sont regroupés sous deux unités lithostratigraphiques selon le contexte géomorphologique : les alluvions de terrasses anciennes (Ax), les alluvions actuelles (Ap) et les alluvions indifférenciées (A). Ces dépôts couvrent environ 1,5 % du territoire. Ces alluvions reposent généralement en discordance (contact érosif) sur les unités lithostratigraphiques plus anciennes.

### *Les alluvions de terrasses anciennes (Ax)*

Les alluvions de terrasses anciennes couvrent 1,1 % de la région. Ces sédiments consistent en des silts sableux, des sables, des graviers et des cailloux, généralement stratifiés, de couleur généralement brunâtre (2.5Y 4/3), contenant parfois de la matière organique. Ils forment des levées, des barres et des plaines alluviales. Ils se localisent essentiellement le long des rebords des terrasses fluviales de la région. Des terrasses étagées reliées à la mise en place du proto-fleuve Saint-Laurent et de la proto-rivière des Outaouais sont également observées sur la zone d'étude. La surface de ces terrasses anciennes est marquée par de nombreux chenaux abandonnés.

### *Les alluvions actuelles (Ap) et indifférenciées (A)*

Les alluvions actuelles et indifférenciées couvrent moins de 0,4 % de la région. Elles sont constituées de silts sableux, sables et graviers d'une épaisseur supérieure à 1 m. Ces dépôts forment des levées et des barres dans les plaines alluviales des principales rivières de la région.

### *Les sédiments éoliens (Ed)*

Les sédiments éoliens se retrouvent à un seul endroit sur le terrain d'étude, soit la butte de Saint-Lazare. Ces dépôts forment environ 0,1 % des dépôts de la région et ils sont essentiellement constitués de sables fins à moyens regroupés sous forme dunaire.

### *Les sédiments organiques (O)*

Les sédiments organiques couvrent environ 0,9 % de la région. Ils se localisent dans les secteurs mal drainés qui caractérisent la région du mont Rigaud. Dans les Basses-Terres du Saint-Laurent, on les retrouve dans les dépressions isolées de la plaine alluviale ancienne ou actuelle de la rivière des Outaouais. L'épaisseur de ces sédiments est généralement supérieure à 30 cm.

### *Les dépôts de glissement de terrain (Cg)*

Les glissements de terrain se retrouvent principalement dans les secteurs dominés par les argiles et silts glaciomarins. Les dépôts associés aux glissements de terrain renferment par endroit de la matière organique qui se retrouve à l'intérieur de cicatrices d'anciens

affaissements. Ces dépôts couvrent environ 0,1 % de la région et ils sont généralement localisés à l'intérieur d'amphithéâtres de glissement coalescents qui se retrouvent essentiellement en bordure de la rivière Rigaud en accord avec les travaux antérieurs (Richard, 1982c; b; 1984).

#### **4.2.4 Architecture des sédiments**

L'analyse de l'agencement stratigraphique des dépôts quaternaires est essentielle à la compréhension du système hydrogéologique de la zone d'étude. Cette analyse est à la base de la réalisation de plusieurs livrables, soit l'indice de confinement, les contextes hydrogéologiques, l'évaluation de la recharge et l'indice DRASTIC. Le modèle conceptuel hydrostratigraphique des dépôts quaternaires depuis la surface jusqu'à atteindre le roc a été élaboré conjointement avec l'équipe de cartographie quaternaire de l'UQAM. Il est basé sur les données de forage, les levés géologiques et les levés géophysiques et utilise les livrables de topographie du roc, de même que la carte d'épaisseur des dépôts meubles.

##### *Topographie du roc*

La topographie du roc (**Carte 17**) a été établie à l'aide de toutes les données de forage au roc disponibles pour la zone d'étude ainsi qu'avec le modèle d'élévation altimétrique. L'**annexe 8** décrit comment cette carte a été réalisée. Le roc suit la même tendance générale que la topographie de surface pour les principaux reliefs constitués par le mont Rigaud (élévation 229 m), par une remontée du roc sur les extrémités nord et est de la butte de Saint-Lazare, et par des crêtes topographiques orientées nord-est/sud-ouest vers la ville de Sainte-Justine-de-Newton (élévation 105 m). Pour le reste de la région, incluant les buttes de Saint-Lazare et de Hudson et l'ensemble de la plaine argileuse, la topographie du roc est masquée par une épaisseur importante des dépôts quaternaires qui a comblé les vallées existantes. Une dépression du roc de près de 30 km de long est présente dans la plaine centrale depuis le contrebas de Saint-Justine-de-Newton vers Saint-Clet puis Saint-Lazare, et une autre longe la rivière des Outaouais depuis le sud-est de Pointe-Fortune vers Hudson. Celles-ci comportent des segments dont l'élévation se maintient sous le niveau de la mer, marquant sans doute l'emplacement de paléo-chenaux du fleuve Saint-Laurent. Des travaux de compilation antérieurs (Tremblay et Hobson, 1962; Charron, 1978) indiquaient déjà l'existence de telles dépressions du roc, mais l'étendue et la forme de ces dernières ont été mises à jour dans le cadre de ce projet avec un traitement géomatique plus détaillé prenant en compte toutes les données disponibles. Une remontée progressive de l'élévation du roc se développe au sud de Saint-Clet et jusqu'à Coteau-du-Lac, révélés en surface par des boutons de tills perçant légèrement la plaine argileuse au nord de Coteau-du-Lac.



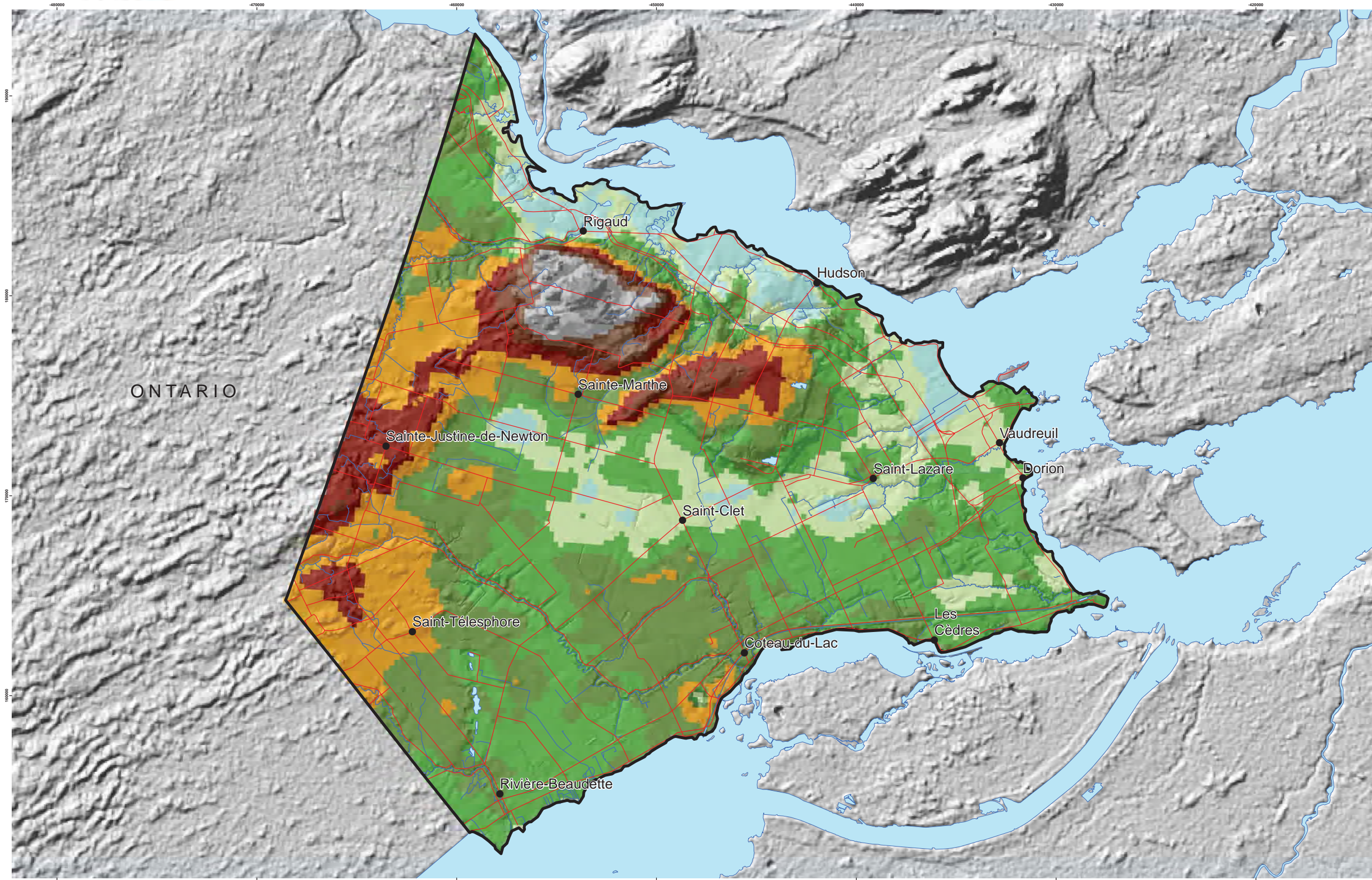
### *Épaisseur des dépôts meubles*

La carte isopaque (**Carte 18**) a été établie à partir de la topographie du roc ainsi que du modèle numérique altimétrique. L'**annexe 8** décrit comment cette carte a été réalisée.

La carte de l'épaisseur des dépôts meubles est la base de la construction du modèle hydrostratigraphique conceptuel qui vise ultimement à comprendre et à localiser les systèmes aquifères granulaires de la région ainsi que les conditions de confinement pour l'aquifère fracturé au roc. L'épaisseur des dépôts meubles peut aussi s'avérer utile dans d'autres domaines que l'hydrogéologie comme la construction d'infrastructures et le transport.

L'épaisseur des dépôts meubles sur la zone de Vaudreuil-Soulanges varie de 0 à 86 m, avec une moyenne de 26 m. Les épaisseurs les plus faibles (< 5 m) se retrouvent principalement sur le mont Rigaud, à l'est de Sainte-Justine de Newton et à l'est de Saint-Lazare. Des épaisseurs relativement faibles (< 10 m) de dépôts meubles se retrouvent sur les crêtes topographiques situées à l'ouest de la zone d'étude, près de la frontière avec l'Ontario, sur l'extrémité est vers Vaudreuil-Dorion au contrebas de la terrasse d'érosion des argiles de la Mer de Champlain, ainsi qu'à l'est de Coteau-du-Lac où il y a une remontée progressive du roc. Sur le reste de la zone d'étude, l'épaisseur des dépôts dépasse généralement 15 m d'épaisseur. Ainsi les dépôts meubles les plus épais (plus de 80 m) se retrouvent à l'emplacement d'une dépression particulièrement profonde du roc comblée de sédiments entre Sainte-Justine-de-Newton et Sainte-Marthe, ainsi qu'à l'emplacement de la butte de Hudson. Pour cette dernière, l'épaisseur des dépôts meubles est accentuée par la combinaison d'une dépression du roc comblée de sédiments anciens et par d'épais dépôts fluvioglaciaires sus-jacents. L'épaisseur importante des dépôts sur la butte de Saint-Lazare (jusqu'à 60 m) est uniquement due à l'accumulation des dépôts fluvioglaciaires récents et anciens. En plaine, les dépôts d'argiles marines peuvent atteindre 30 m d'épaisseur. À ces endroits, les dépressions du roc constituent des vallées dont le fond a été rempli par des dépôts quaternaires anciens, accentuant encore l'épaisseur des sédiments qui dépassent généralement 50 m.



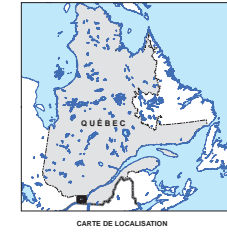


### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- ⬮ Zone d'étude

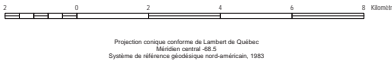
**Élévation de la surface du roc (m)**

|           |
|-----------|
| -25 - 0   |
| 0 - 13    |
| 13 - 28   |
| 28 - 42   |
| 42 - 63   |
| 63 - 85   |
| 85 - 109  |
| 109 - 136 |
| 136 - 176 |
| 176 - 220 |



MÉTADONNÉES  
Section 4.2.4 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

**Carte 17 Topographie du roc  
ZONE VAUDREUIL-SOULANGES  
QUÉBEC**



SOURCES / RÉALISATION

Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Topographie du roc : UQAM

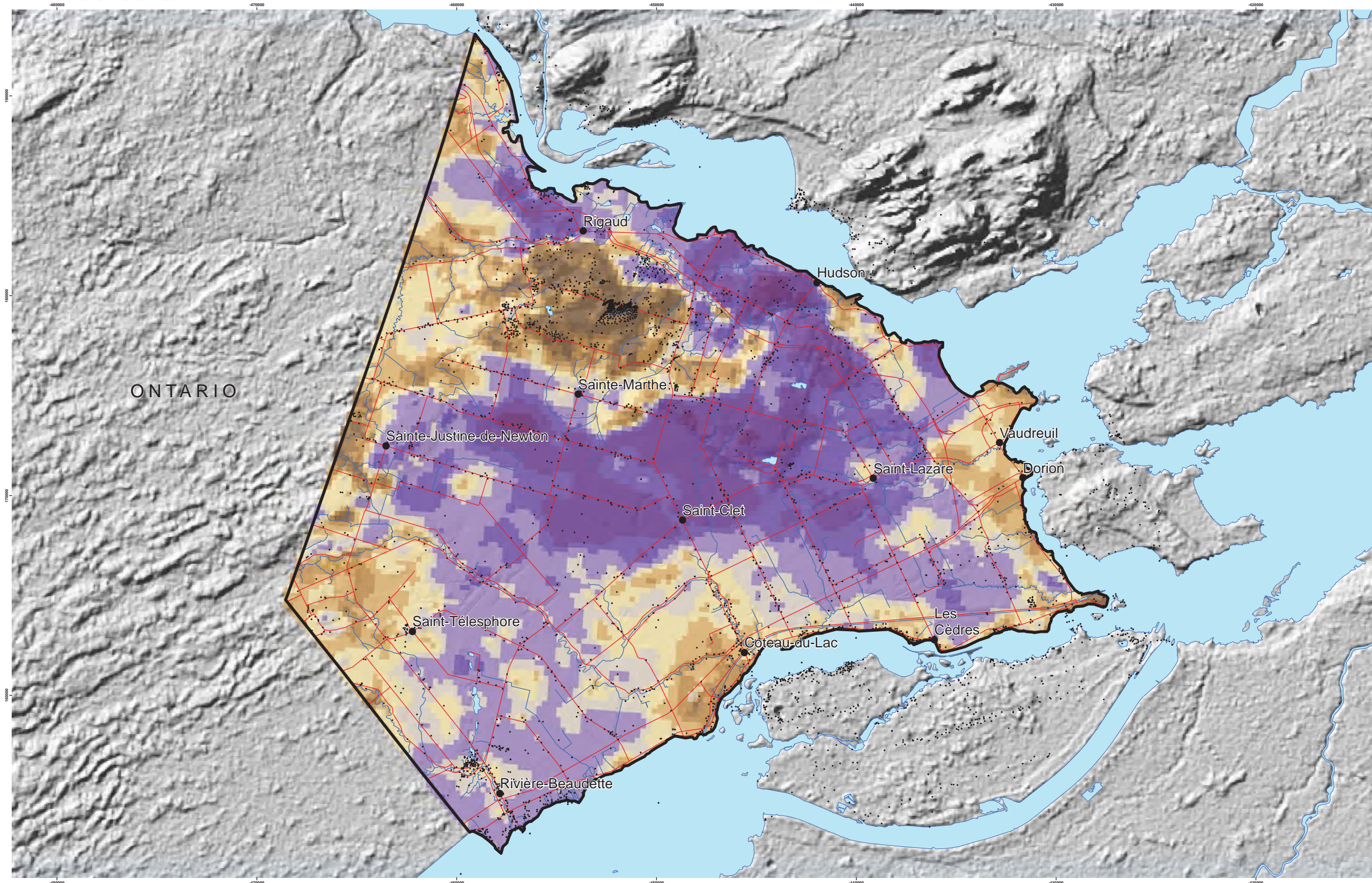
Réalisation :  
Université de Québec à Montréal



Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/60 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les données requises pour définir les conditions locales à l'échelle locale et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'exactitude des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attaché ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adoption à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, des conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée :  
Larocque, M., Maréchal, G., Charlier, M.-A., Gravelle, M.-H., Gagné, S., Barrette, D. et Dorner, S. 2015. Projet de cartographie des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MOELCC.





### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- ⬮ Zone d'étude

**Épaisseur des dépôts meubles (m)**

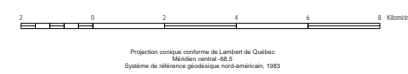
|         |
|---------|
| 0 - 1   |
| 1 - 5   |
| 5 - 10  |
| 10 - 15 |
| 15 - 20 |
| 20 - 25 |
| 25 - 35 |
| 35 - 45 |
| 45 - 70 |
| 70 - 86 |

- Forages et affleurements utilisés



MÉTADONNÉES  
Section 4.2.4 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

**Carte 18 Épaisseur des dépôts meubles  
ZONE VAUDREUIL-SOULANGES  
QUÉBEC**



SOURCES / RÉALISATION

Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Données de forage: CGC, INRS, MDDELCC,  
MTQ, SIH, SIGEOM, SIGPEG,  
consultants, UQAM  
Affleurements: SIGEOM

Réalisation: Université du Québec à Montréal



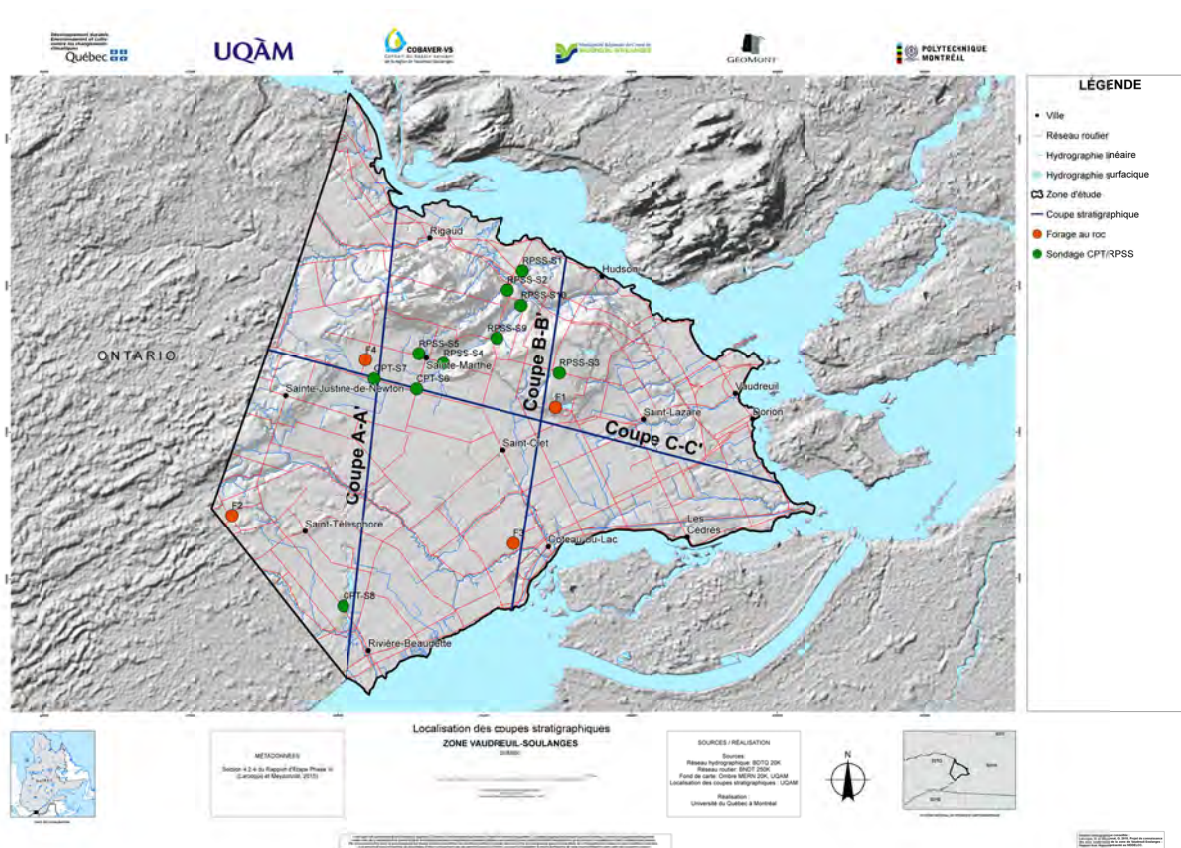
Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/50 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découpant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les données requises pour définir les conditions locales et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'intégrité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attaché ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adoption à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, des conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée:  
Larocque, W., Méthot, G., Charlier, M. A., Gravelle, M. H., Gagné, S., Barrette, D. et Dorner, S. 2015. Projet de cartographie des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MDDELCC.



### Coupes stratigraphiques

Des coupes stratigraphiques ont été réalisées à trois endroits (**Figure 6**), représentant les agencements stratigraphiques quaternaires typiques de la zone d'étude.



**Figure 6** Localisation des coupes stratigraphiques

### Coupe A-A'

La coupe hydrostratigraphique A-A' (**Figure 7**) s'étend de la rivière des Outaouais au nord, vers le fleuve Saint-Laurent au sud (**Figure 6**). Elle permet de recouper le mont Rigaud sur un axe nord-sud, une dépression importante du roc entre Sainte-Justine-de-Newton et Sainte-Marthe, ainsi que l'esker de Saint-Télesphore/rivière Beaudette au sud. Au nord, on retrouve un exemple du complexe fluvioglaciaire qui suit la rivière des Outaouais enfouis sous l'argile. Le mont Rigaud est couvert par du till de couverture généralement mince mais pouvant être plus épaisse dans les dépressions du roc au sommet du mont Rigaud. En plaine, les épaisseurs d'argile atteignent 30 m et couvrent des vallées enfouies dont le fond est comblé par des dépôts quaternaires anciens, ayant une partie supérieure de nature granulaire. Vers le sud de la plaine argileuse, des remontées du roc sont mises en évidence par des moraines de till qui affleurent en surface. Enfin, le cœur de l'esker de Saint-

Télesphore/rivière Beaudette est situé à l'extrémité sud de la coupe et présente des épaisseurs maximales de plus de 30 m de dépôts granulaires qui reposent directement sur le roc en ayant érodé les sédiments plus anciens.

#### *Coupe B-B'*

La coupe hydrostratigraphique B-B' (**Figure 8**) s'étend de la rivière des Outaouais au nord, vers le lac Saint-François au sud (**Figure 6**). Elle permet de recouper les buttes de Saint-Lazare et de Hudson sur un axe nord-sud, la plaine argileuse ainsi qu'une carrière au sud. À leur sommet, les buttes de Saint-Lazare et de Hudson comprennent de 20 à 30 m de dépôts fluvioglaciaires majoritairement constituées de sable, mais qui peuvent comporter des blocs ainsi que des unités silteuses. Ces complexes fluvioglaciaires reposent sur une unité de till dont la continuité et l'épaisseur varient le long de la coupe. Sous les dépôts glaciaires, des sédiments quaternaires granulaires anciens sont présents, et viennent combler les fonds de vallées. Pour la plaine argileuse, on retrouve le même agencement que pour la coupe A-A', soit des épaisseurs importantes d'argile couvrant des vallées comblées par des dépôts quaternaires anciens. Vers le sud de la plaine argileuse, la remontée progressive du roc vers Coteau-du-Lac met en évidence les affleurements de till.

#### *Coupe C-C'*

La coupe hydrostratigraphique C-C' (**Figure 9**) s'étend de Sainte-Justine-de-Newton à l'ouest, vers le lac Saint-Louis au sud (**Figure 6**). Elle recoupe la crête de till située Sainte-Justine-de-Newton, se trouvant dans le prolongement des crêtes de till Ontariennes orientées sud-ouest/nord-est. Le sommet de la crête vers Sainte-Justine-de-Newton comprend des dépôts sableux fluvioglaciaires sur une dizaine de mètres. La coupe C-C' recoupe également l'ensemble de la vallée enfouie de la plaine argileuse sur un axe ouest-est. L'agencement stratigraphique pour la plaine est le même que celui monté aux coupes A-A' et B-B' mais permet de visualiser la présence de sédiments granulaires captifs enfouis sur une longueur ininterrompue d'environ 17 km de longueur. La coupe stratigraphique C-C' croise la coupe A-A' à l'emplacement de la dépression la plus profonde du roc entre Sainte-Justine-de-Newton et Sainte-Marthe.



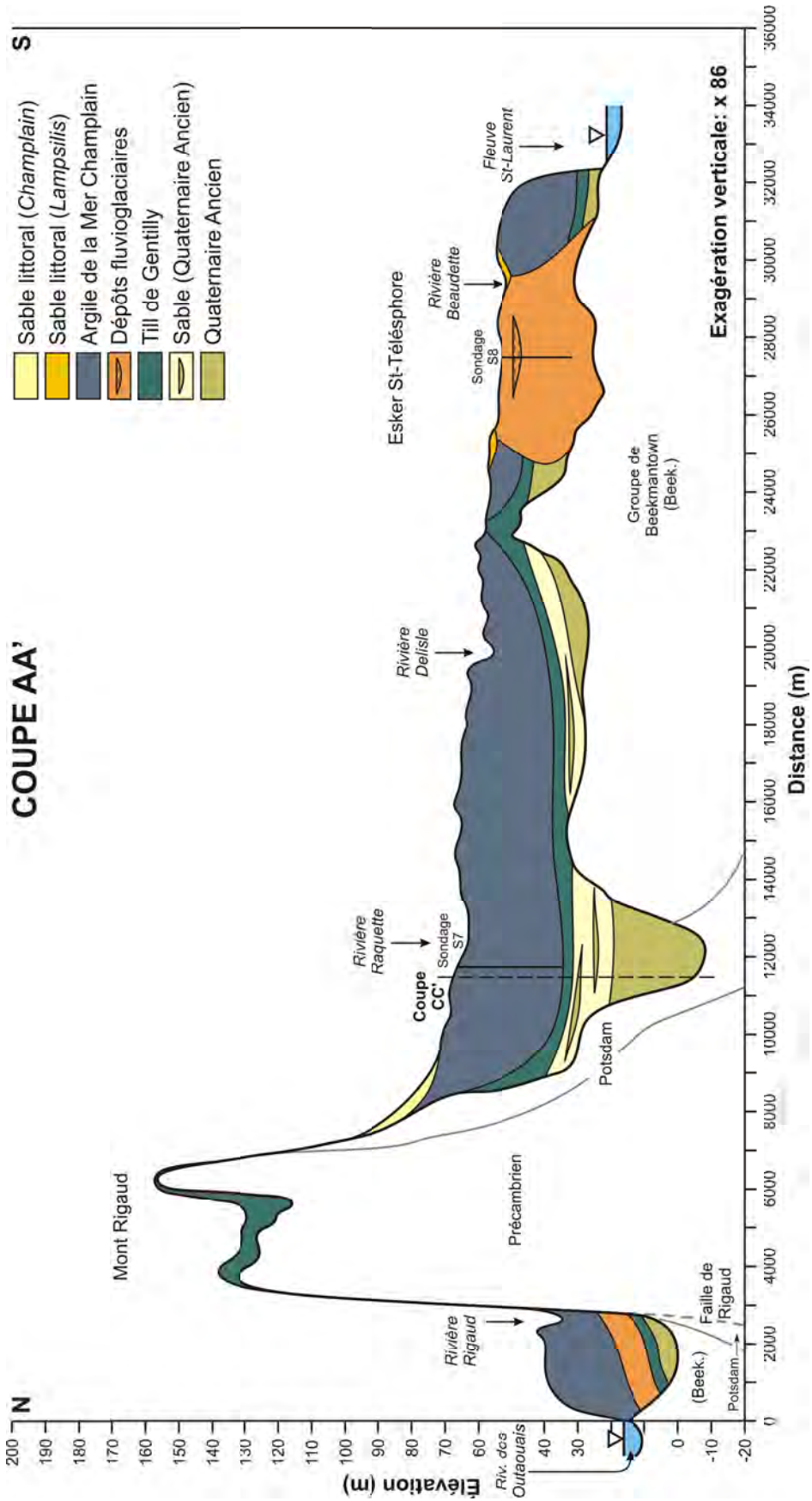


Figure 7 Coupe stratigraphique A-A'

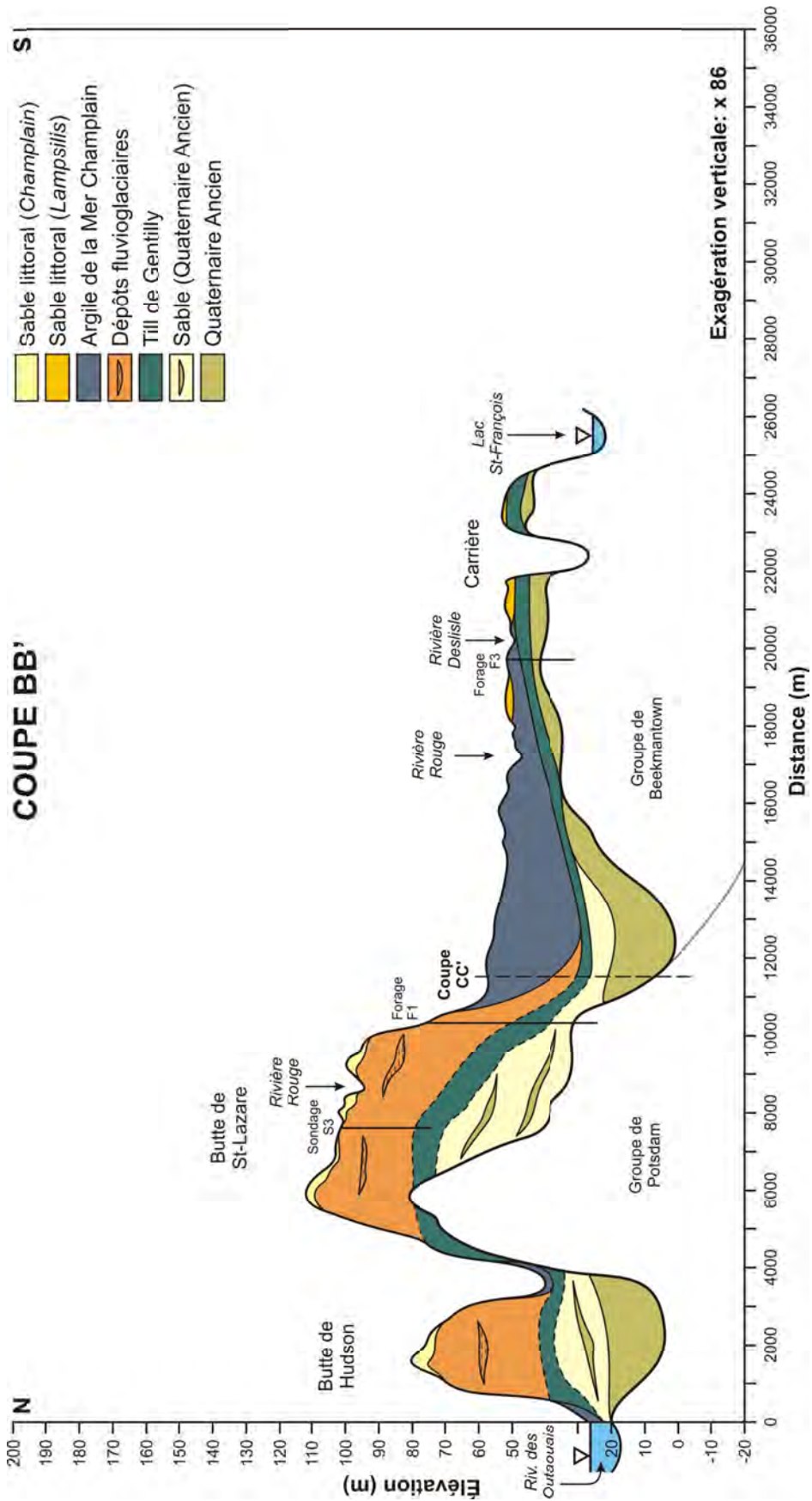


Figure 8 Coupe stratigraphique B-B'

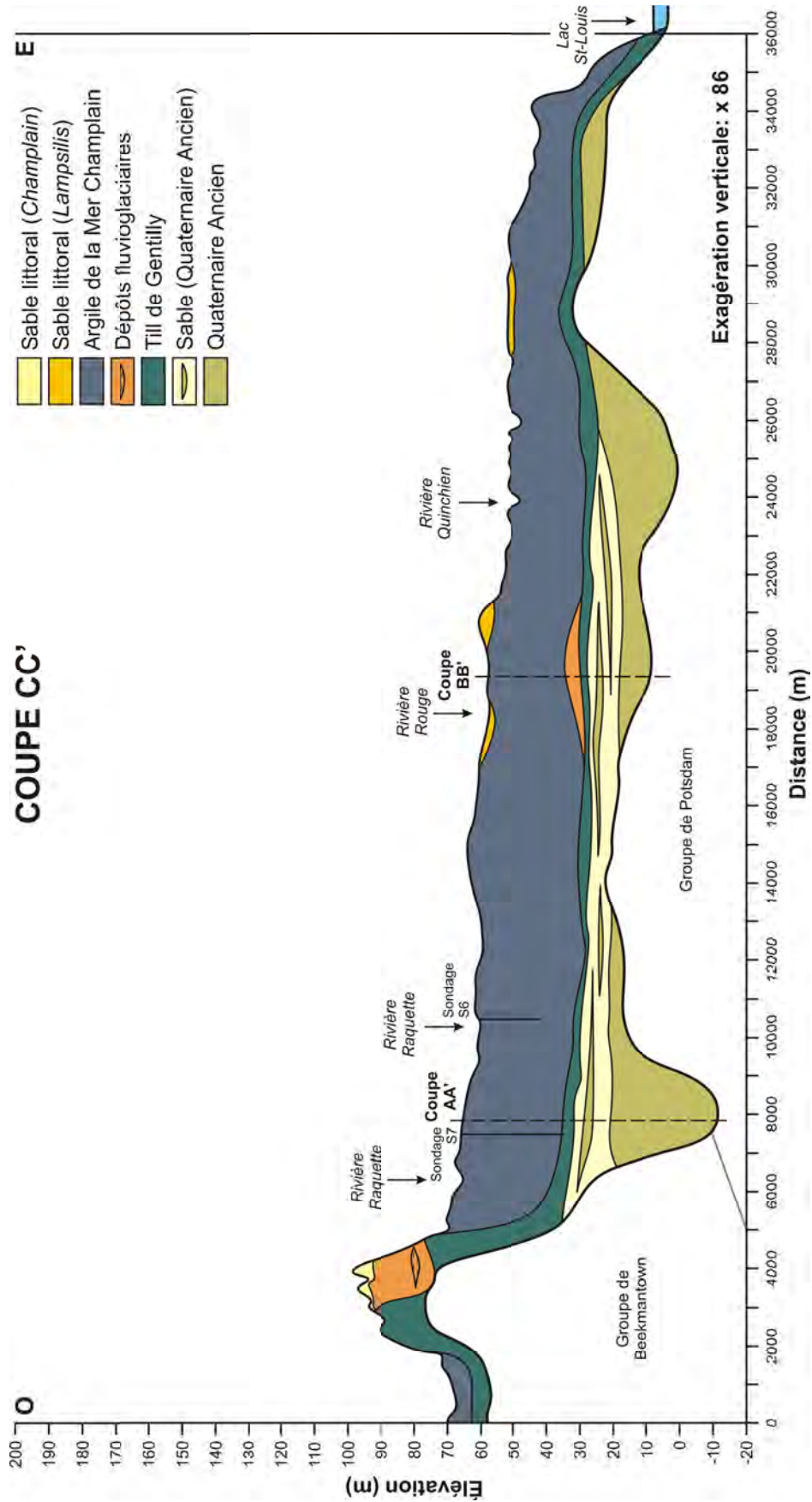


Figure 9 Coupe stratigraphique C-C'

### 4.3 Conditions de confinement

Les conditions de confinement représentent le niveau de contact entre l'atmosphère et l'aquifère du roc fracturé. Le niveau de confinement dépend de l'épaisseur et de la perméabilité des unités quaternaires selon leur agencement avec la profondeur jusqu'au roc (**section 4.2.2**). La carte des conditions de confinement a été produite par interprétation et recoupement de la carte des dépôts de surface (i.e. délimitation des dépôts affleurant : till mince, till continu et les dépôts d'argile, etc.) et de la carte des contextes hydrogéologique (i.e. extension des complexes de Saint-Lazare et de Hudson). Les conditions de confinement ont également été comparées et validées en fonction de la carte isopaque (i.e. permet de confirmer l'épaisseur des tills, de l'argile) et de la répartition des types d'eau souterraine identifiées pour le roc. La géochimie de l'eau souterraine permet de mettre en perspective l'existence de zones de recharge préférentielle et/ou de zones captives (voir la **section 5.6** pour plus de détails sur les types d'eaux associées aux niveaux de confinement). Ainsi la carte des indices de confinements décrit trois classes pour l'aquifère au roc, soit les zones de nappe libre, les zones de nappe semi-captive et les zones de nappe captive.

Les zones libres sont constituées par les zones où le roc affleure, les zones de till mince (principalement au sommet du mont Rigaud), les zones de dépôts fluvioglaciaires récents qui engendrent généralement l'érosion d'une partie ou de la totalité des sédiments meubles jusqu'au roc (e.g. esker de Saint-Télesphore). Dans ce livrable, les complexes fluvioglaciaires de Saint-Lazare et de Hudson ont été classés en zone de nappe libre bien qu'il existe localement des zones captives à ces endroits. Les données stratigraphiques indiquent en effet la présence de till argileux (aquitard) en profondeur, mais ne confirment pas que l'épaisseur de cette formation imperméable est suffisamment constante (ni suffisamment continue) pour induire un confinement en profondeur pour l'ensemble de la superficie des buttes de Saint-Lazare et de Hudson. De nature granulaire, les buttes permettent en outre une infiltration importante qui constitue de la recharge au roc (une fois la zone racinaire dépassée).

Les zones semi-captives sont essentiellement constituées par des zones de till en couverture continue, ou ayant une couverture suffisamment épaisse (> 3 m) pour limiter la recharge sans l'empêcher totalement.

Les zones de nappe captive correspondent aux emplacements où les argiles de la Mer de Champlain affleurent, ou lorsqu'elles sont suffisamment épaisses (> 3 m) pour empêcher toute recharge verticale jusqu'au roc. Dans ce dernier cas, il faut noter qu'en général, les dépôts de till sous-jacents aux argiles ajoutent encore un degré de confinement pour l'aquifère au roc. Les zones captives représentent l'ensemble de la plaine argileuse, dès que l'épaisseur des dépôts fins dépassent 3 m et empêchent l'infiltration de l'eau vers l'aquifère au roc.

La **carte 19** illustre la distribution spatiale des niveaux de confinement de l'aquifère au roc sur la zone d'étude. Les zones d'aquifère de roc fracturé à nappe libre représentent 9 % de la superficie étudiée, les zones à nappe semi-captive représentent 15 % de la superficie étudiée, tandis que les zones de nappe captive sont majoritaires et représentent 76 % de superficie étudiée.

#### 4.4 Contextes hydrogéologiques

Les contextes hydrogéologiques représentent la répartition spatiale de séquences hydrostratigraphiques de dépôts meubles peut être rencontrée dans la zone d'étude. L'utilisation des coupes géologiques présentées à la **section 4.2.4** permet de visualiser l'épaisseur et la nature des différentes unités quaternaires couvrant le roc.

La carte des contextes hydrogéologiques (**Carte 20**) a été obtenue par interprétation et recoupement entre la carte des dépôts de surface (délimitation et étendue des dépôts affleurant), la carte isopaque (épaisseur totale des dépôts), les données de forage (agencement des unités quaternaire avec la profondeur) ainsi qu'avec le modèle numérique altimétrique (la délimitation de certains dépôts est identifiable en fonction de la géomorphologie, i.e. délimitation des dépôts meubles pour les buttes de dépôts granulaires, îlots de till perçant la plaine argileuse, remontées du roc, etc.). La localisation des sables captifs sous l'argile a été obtenue à partir d'un traitement des données de forage recensant les dépôts sableux couvert par plus de 10 m d'argile. Les épaisseurs de sables captifs ainsi recensés ont été interpolées par krigeage pour fournir les surfaces de sables captifs représentés à la **carte 20**, pour lesquels l'épaisseur cumulée est supérieure à 4 m (maximum 21 m). Le **tableau 15** liste les 10 séquences hydrostratigraphiques typiques de la zone à l'étude.

Les zones où le roc affleure sont rares sur la zones d'étude (0,3 % de la superficie), mais elles se trouvent principalement au sommet du mont Rigaud, ainsi qu'à l'emplacement des carrières (e.g. carrière au sud-ouest de Coteau-du-Lac). Les zones de till mince (1 % de la superficie) se trouvent essentiellement au sommet du mont Rigaud. Les zones de till en couverture continue sur roc (11 % de la superficie) se trouvent sur les flancs du mont Rigaud, sur les crêtes topographiques frontalières avec l'Ontario à l'ouest, ainsi qu'au nord-ouest et au sud-ouest de Coteau-du-Lac. Les dépôts granulaires d'origine fluvioglacière (1 % de la superficie) affleurent par endroits le long du complexe fluvioglacière qui longe la rivière des Outaouais entre Pointe-Fortune et Hudson, au sommet de la crête de Sainte-Justine-de-Newton, ainsi qu'à l'esker de Saint-Télesphore/rivière-Beaudette.





### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- ⬮ Zone d'étude

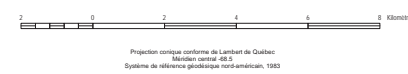
#### Conditions de confinement

- Nappe libre
- Nappe semi-captive
- Nappe captive



MÉTADONNÉES  
Section 4.3 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

**Carte 19** Indice de confinement  
**ZONE VAUDREUIL-SOULANGES**  
QUÉBEC



SOURCES / RÉALISATION

Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Indice de confinement: UQAM

Réalisation:  
Université du Québec à Montréal



Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/50 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les données requises pour définir les conditions locales à l'échelle locale et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'exactitude des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attache ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adoption à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, des conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée:  
Larocque, M., Méthusalem, G., Charlier, M.-A., Gravelle, M.-H., Gagné, S., Barrette, D. et Dorner, S. 2015. Projet de confinement des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MOELCC.



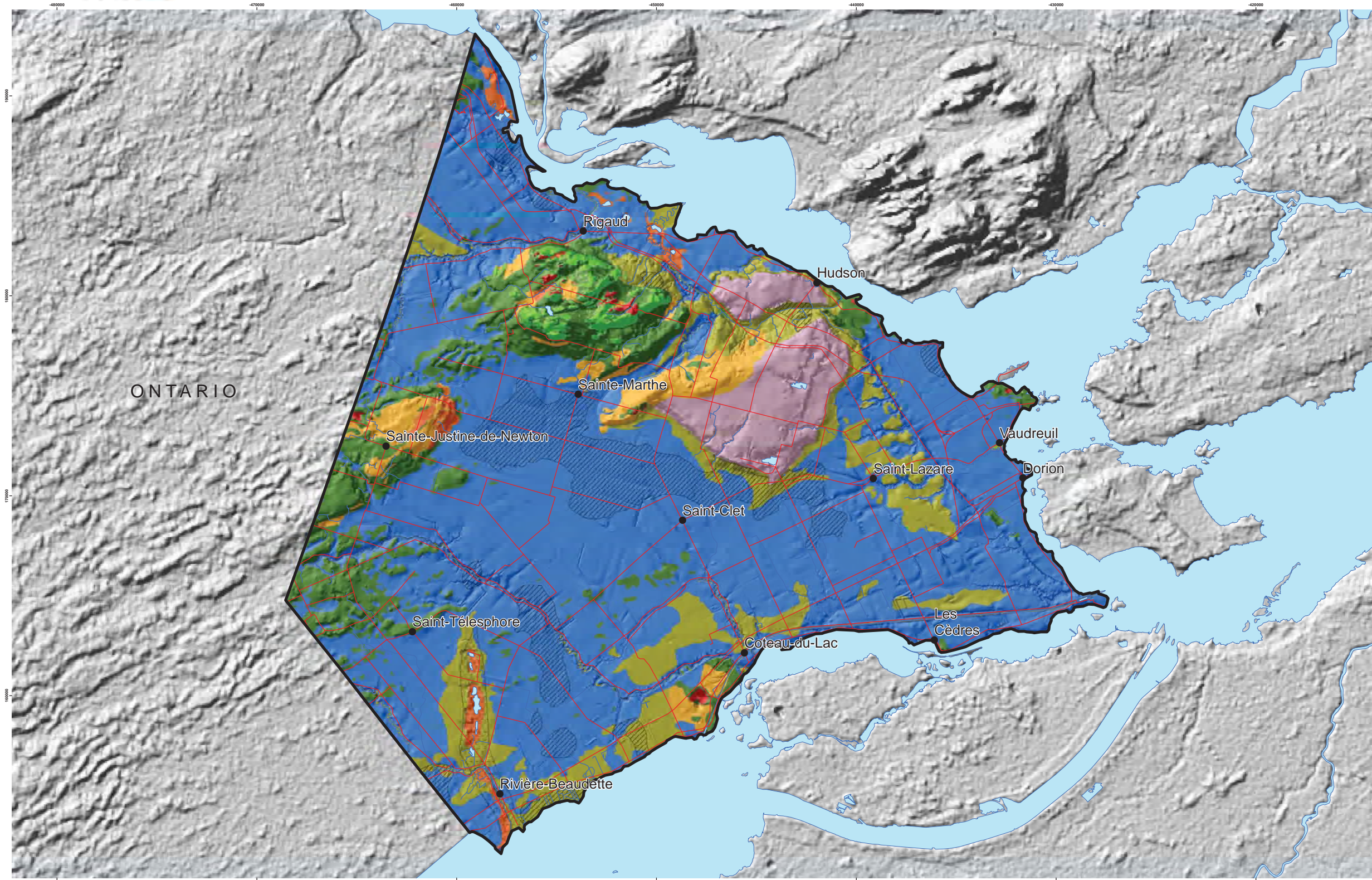


Tableau 15 Contextes hydrostratigraphiques

| Contexte | Colonne hydrostratigraphique                 | Contexte géomorphologique typique  | Présence d'aquifères granulaires significatifs | Confinement du roc   |
|----------|--|--|--|----------------------|
| 1        | Till mince / roc affleurant                  | Reliefs du mont Rigaud, carrières  | -  | Libre                |
| 2        | Till   | Reliefs, crêtes (mont Rigaud, crêtes de l'ouest)   | -  | Semi-captif          |
| 3        | Sable mince-till                             | Haute plaine   | -  | Semi-captif          |
| 4        | Sable mince-argile-till                      | Moyenne/basse plaine   | -  | Semi-captif / captif |
| 5        | Sable mince-argile-(bord d'esker)-till       | Bords d'esker enfoui (Saint-Télesphore)  | Oui  | Semi-captif / captif |
| 6        | Sable épais sur roc                          | Fluvioglacière sur roc (i.e. centre d'esker Saint-Télesphore, hauts Sainte-Justine-de-Newton et zone nord-ouest) | Oui  | Libre / Semi-captif  |
| 7        | Sable épais-till-sable et sable ancien       | Complexes fluvioglaciers des buttes de Saint-Lazare et de Hudson   | Oui  | Libre                |
| 8        | Argile-till                                  | Basse plaine   | -  | Captif               |
| 9        | Argile-till-(quaternaire ancien)             | Basse plaine : vallées enfouies comportant des sables captifs  | Oui  | Captif               |
| 10       | Sable mince-argile-till-(quaternaire ancien) | Basse plaine : sable régressif en surface sur vallées enfouies comportant des sables captifs                     | oui  | Captif               |

Du fait de leur origine fluvioglacière, ces dépôts reposent généralement sur le roc et leur épaisseur est supérieure à 2 m. Les complexes fluvio-glaciaires de Saint-Lazare et de Hudson couvrent 6 % de la superficie de la zone d'étude et sont localisés à l'emplacement des buttes correspondantes. L'agencement stratigraphique de ces complexes est décrit aux **sections 4.2.2** et **4.2.4**. Les zones de sables mince (d'épaisseur ne dépassant généralement pas 1 m) sur till (4 % de la superficie) proviennent généralement de zones littorales de la Mer de Champlain situées sur les hauts topographiques de la zone d'étude. Ce contexte se trouve sur les flancs du mont Rigaud, sur l'extrémité nord-ouest de la butte de Saint-Lazare et sur la crête de Sainte-Justine-de-Newton. Pour les élévations inférieures à 75 m, les dépôts épais d'argiles marines sont majoritaires en plaine. Les argiles déposées sur le till affleurent pour 64 % de la zone d'étude. À certains endroits, ce contexte hydrogéologique (argile sur till) est couvert par de minces dépôts sableux littoraux (13 % de la superficie) de l'épisode de lac à Lampsilis. Surimposés à ces derniers contextes hydrogéologiques dont la première unité affleure à la surface du territoire, les sables captifs sous l'argile comblant dans les vallées enfouies sont présents pour 10 % de la superficie du territoire. L'étendue de l'esker de Saint-Télesphore/rivière-Beaudette, partie enfouie incluse, est estimée à 12,2 km<sup>2</sup>, soit 1 % du territoire.





### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- ⬮ Zone d'étude

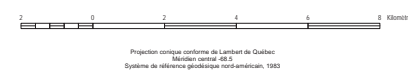
#### Contextes hydrogéologiques

- Complexes des buttes de Saint-Lazare et Hudson
- Argile - till
- Sable mince - argile - till
- Sable mince - till
- Sable épais
- Till
- Till mince
- Roc
- Sables captifs épaisseur >4 m
- Segment esker



MÉTADONNÉES  
Section 4.4 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

**Carte 20 Contextes hydrogéologiques  
ZONE VAUDREUIL-SOULANGES  
QUÉBEC**



SOURCES / RÉALISATION  
Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Contextes hydrogéologiques: UQAM  
Réalisation:  
Université du Québec à Montréal



Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/50 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découvrant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les études requises pour définir les conditions locales à l'exactitude ou à l'intégrité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attache ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adaptation à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, des conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée:  
Larocque, M., Méthot, G., Charlier, M.-A., Gravelle, M.-H., Gagné, S., Barreche, D. et Dorner, S. 2015. Projet de cartographie des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MOELCC.



## 5 CONDITIONS HYDROGÉOLOGIQUES

### 5.1 Propriétés hydrauliques

Une étude hydrogéologique réalisée sur la moitié est de la région de Vaudreuil par la Commission Géologique du Canada (Tremblay et Hobson, 1962) fournit des données concernant des essais hydrauliques réalisés dans des puits municipaux. Cette étude indique des conductivités hydrauliques de  $2,3 \times 10^{-4}$  m/s pour l'aquifère fracturé dans les grès, et de  $2,7 \times 10^{-5}$  m/s pour l'aquifère fracturé dans la dolomie. Un essai hydraulique réalisé dans les l'aquifère granulaire sur le plateau de Hudson a fourni une conductivité hydraulique de  $6,8 \times 10^{-5}$  m/s. Les travaux de Charron (1978) mentionnent également que la région de Vaudreuil-Soulanges possède d'importants dépôts granulaires productifs avec des débits pouvant atteindre 1 900L/min dans les dépôts du plateau sableux de Saint-Lazare. Charron (1978) indique que l'aquifère au roc permet généralement des rendements de pompage compris entre 38 et 190 L/min, avec quelques zones adjacentes à la rivière des Outaouais où des débits supérieurs à 190 L/min peuvent être atteints. Cette classification de la productivité des puits au roc n'établissait cependant aucune relation entre la productivité de l'aquifère au roc avec les lithologies rencontrées.

#### 5.1.1 *Caractéristiques connues des captages municipaux*

Tous les approvisionnements municipaux dans l'aquifère rocheux ou dans les dépôts meubles ont été caractérisés par des consultants au moment de la mise en place des captages. Les propriétés hydrauliques qui en résultent sont présentées dans le **tableau 16**. Les informations décrites ci-après sont tirées des rapports hydrogéologiques qui ont pu être récupérés lors de la première phase du projet PACES, et ne constituent pas une liste exhaustive des alimentations municipales de la zone d'étude.

La municipalité de Hudson puise son eau à partir de cinq puits, dont quatre sont installés dans un aquifère captif ( $K_{\text{moyen}}=3,7 \times 10^{-4}$  m/s) et un dans un aquifère superficiel à nappe libre ( $K=1,2 \times 10^{-4}$  m/s). Les deux formations sont constituées de dépôts fluvioglaciers, composés de sables, graviers et de blocs (TechnoRem, 2005b). Le roc se trouve à environ 53 m de profondeur. L'aquifère considéré captif repose directement sur le roc et a une puissance d'environ 22 m. (TechnoRem, 2006).

La municipalité de Rigaud puise son eau à partir de neuf puits. Cinq puits sont installés dans un aquifère de roche cristalline. Au sommet du mont Rigaud les secteurs « Joly » et « Gauthier », comprennent respectivement un et deux puits dans des zones de minces dépôts de till sableux (Envir-Eau, 2007; 2008b) avec une conductivité hydraulique moyenne de  $1,6 \times 10^{-5}$  m/s. Dans le secteur « Bourget » sur le flanc nord du mont Rigaud, un puits est installé dans une zone argileuse (Envir-Eau, 2008a). Dans la plaine argileuse au nord du mont Rigaud, un réseau de cinq puits (secteur Saint-Agathe et Puits Séguin) puisent l'eau souterraine dans un aquifère fracturé de dolomies et de grès du Groupe de Beekmantown

( $K=7,0 \times 10^{-4}$  m/s). Cette formation est recouverte d'une couche d'argile confinante pouvant atteindre 40 m d'épaisseur par endroits. Une unité de sable silteux peut recouvrir l'unité d'argile localement (TechnoRem, 2010a).

La municipalité de Saint-Clet puise son eau à partir de deux puits; un puits tubulaire qui capte l'aquifère au roc captif (conductivité hydraulique moyenne de  $1,2 \times 10^{-4}$  m/s) et une tranchée drainante captant les sables fins superficiels de l'aquifère en nappe libre. L'aquifère au roc est constitué de grès fissuré avec d'importantes venues d'eau à partir de 58 m sous la surface (Tremblay, 1975; Consulteaux, 2004). Le roc est recouvert d'environ 34 m de till à blocs, puis de 25 m d'argile silteuse grise. La tranchée drainante capte l'aquifère de sables fins des terrasses formées en bordure d'une ancienne mer par le remaniement d'importants dépôts glaciaires. Ces sables présentent un degré élevé de stratification ainsi qu'une uniformité granulométrique notable (Consulteaux, 2002).

La municipalité de Sainte-Marthe puise son eau dans trois puits. Ces puits captent le roc composé de grès et d'anorthosite. Le grès de Potsdam est rencontré à 10 m sous la surface. Cette unité est sus-jacente à l'unité d'anorthosite gabbroïque de la Série de Morin. Il s'agit d'une roche cristalline massive rose composée de feldspath, de quartz et de biotite ( $K=1,0 \times 10^{-7}$  m/s). (TechnoRem, 2002).

La municipalité de Saint-Lazare possède un réseau complexe d'alimentation en eau souterraine, sub-divisé en quatre secteurs : Sainte-Angélique, Forest Hill, Saddlebrook et Saint-Louis. Le secteur Sainte-Angélique compte cinq puits dont trois captent l'aquifère de sable de surface et deux l'aquifère granulaire confiné. L'aquifère en nappe libre présente une profondeur d'environ 30 m et est sus-jacent à un aquitard d'argile (Foratek, 1988; TechnoRem, 2010b). Les deux autres puits exploitent l'horizon de sable fin à moyen avec ou sans gravier situé sous une unité d'argile confinante d'environ 10 m d'épaisseur. L'épaisseur de cette unité varie de 10 à 25 m et recouvre une couche de till basal, sus-jacente à l'aquifère fracturé régional (TechnoRem, 2005a). Le secteur de Forest Hill compte deux puits qui exploitent un horizon de sable moyen à grossier avec ou sans gravier situé sous un aquitard d'argile pouvant atteindre 15 m d'épaisseur. Cette unité de dépôts granulaire présente une épaisseur variant de 15 à 30 m et recouvre la couche de till basale (TechnoRem, 2003). Le secteur de Saddlebrook inclut trois puits qui exploitent un aquifère de sable de surface dont l'épaisseur est d'environ 25 m (TechnoRem, 2011). Enfin, le secteur Saint-Louis compte un puits qui exploite une unité de sable captive d'environ 10 m d'épaisseur (TechnoRem, 2012). Pour les dépôts sableux captifs, la moyenne des conductivités hydrauliques est de  $1,1 \times 10^{-4}$  m/s tandis que celle des sables captifs est de  $5,2 \times 10^{-4}$  m/s.

La municipalité de Saint-Polycarpe possède deux types d'alimentation en eau souterraine qui sont localisés sur la municipalité de Sainte-Justine de Newton : un collecteur, qui capte cinq sources provenant d'une formation de dépôts meubles sableux située à quelques mètres de la surface et deux puits qui interceptent des réseaux de fractures développés dans une formation rocheuse constituée de calcaires d'âge ordovicien de la Formation de

Laval et de grès du Membre de Sainte-Thérèse du Groupe de Chazy ( $K=1,3 \times 10^{-4}$  m/s). Les strates de calcaire et des grès sont orientés nord-sud, et reposent en discordance sur les dolomies et grès du Groupe de Beekmantown (LNA, 2008).

La municipalité de Vaudreuil-Dorion compte deux secteurs d'alimentation en eau souterraine : le secteur Vaudreuil, qui inclut cinq puits, et le secteur Dorion, qui détient huit captages. Les documents récupérés n'ont pas permis d'avoir l'ensemble de l'information concernant le détail des puits mais ces captages en eau souterraine proviendraient d'aquifère granulaire et fracturé. Les données concernant l'aquifère granulaire captif indiquent une conductivité hydraulique de  $1,9 \times 10^{-4}$  m/s.

### **5.1.2 Essais hydrauliques**

Les procédures utilisées ainsi que les méthodes d'interprétation des essais hydrauliques sont décrites à la **section 3**. Pour les essais de pompages, deux essais distincts ont été réalisés pour chaque puits. Les résultats des essais de pompage présentés ci-dessous présentent la moyenne géométrique des pompages réalisés. Concernant les essais à charge variable pour les puits au roc ou dans les dépôts granulaires, les résultats de conductivité hydraulique présentés ci-dessous concernent l'essai par injection d'air ayant permis le plus grand rabattement.

#### *Essais de pompage et essais à charge variable réalisés dans le roc fracturé*

Des essais de pompage et des essais à charge variable ont été réalisés dans les puits forés dans le roc pour le projet (puits F1 à F4). Les résultats montrent des conductivités hydrauliques élevées pour l'aquifère au roc fracturé. Pour les grès (puits F1 et F4), la moyenne géométrique des essais de pompage est de  $K=6,6 \times 10^{-5}$  m/s, tandis que l'essai à charge variable a donné  $K=9,5 \times 10^{-5}$  m/s. Ces valeurs sont inférieures de celle obtenue par Tremblay et Hobson (1962) pour un essai de pompage dans la même formation ( $K=2,3 \times 10^{-4}$  m/s). La moyenne géométrique des deux essais de pompage pour le puits F3 réalisé dans la dolomie donne une valeur de conductivité hydraulique de  $3,9 \times 10^{-4}$  m/s. L'essai à charge variable donne une conductivité hydraulique de  $7,3 \times 10^{-4}$  m/s. Cette conductivité plus grande est probablement influencée par le niveau de fracturation plus élevé induit par le forage. Les résultats obtenus pour un essai réalisé dans la dolomie par Tremblay et Hobson (1962) était significativement plus faible ( $K=2,7 \times 10^{-5}$  m/s). Les essais de pompage réalisés dans les calcaires de Chazy (puits F2) indiquent une conductivité hydraulique moyenne de  $2,3 \times 10^{-5}$  m/s, tandis que l'essai à charge variable donne une conductivité hydraulique de  $1,2 \times 10^{-5}$  m/s.

#### *Essais à charge variable réalisés dans les dépôts granulaires*

Aucun essai de pompage n'a été réalisé dans les dépôts meubles. Par contre, des essais à charge variable ont été réalisés dans les quatre piézomètres installés dans des formations granulaires fluvioglaciales de Saint-Lazare et de Hudson (S1 et S3), dans l'esker de Saint-

Télesphore (S8), ainsi que dans un till graveleux (S5). Le résultat de l'essai à charge variable réalisés dans les sables fluvioglaciers (**Tableau 16**) indique une conductivité hydraulique moyenne de  $1,0 \times 10^{-5}$  m/s. Les résultats des études hydrogéologiques réalisées par les consultants pour ce même type de dépôts, mais pour les formations plus profondes, donnent une conductivité moyenne de  $2,2 \times 10^{-4}$  m/s. Le résultat de l'essai réalisé dans le till donne une valeur de conductivité hydraulique assez élevé pour ce type de dépôts ( $K=7,2 \times 10^{-6}$  m/s), attribuable à la nature graveleuse du till sans doute remanié dans lequel la crépine du piézomètre S5 a été installée. En général, les conductivités hydrauliques obtenues par essais hydrauliques à charge variable sont supérieures à celles des essais de pompage, en raison du faible rayon d'influence des essais à charge variable et de l'augmentation de la fracturation due au forage.

**Tableau 16** Synthèse des propriétés hydrauliques

| Source     | Site/<br>municipalité | Contexte    | K moyen<br>(m/s)     | S                    | T<br>(m <sup>2</sup> /s) | Formation<br>géologique |
|------------|-----------------------|-------------|----------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|
| Consultant | Hudson                | Libre       | $1,2 \times 10^{-4}$ | $3,7 \times 10^{-2}$ | $2,0 \times 10^{-3}$     | Sables                  |
| Consultant | Hudson                | Captif      | $2,5 \times 10^{-4}$ |                      | $5,0 \times 10^{-3}$     | Sables                  |
| Consultant | Hudson                | Captif      | $5,4 \times 10^{-4}$ | $1,6 \times 10^{-3}$ | $8,8 \times 10^{-3}$     | Sable fin à moyen       |
| Consultant | Rigaud                | Captif      | $7,0 \times 10^{-4}$ | $1,4 \times 10^{-6}$ | $7,0 \times 10^{-3}$     | Dolomie et grès         |
| Consultant | Rigaud                | Libre       | $1,6 \times 10^{-5}$ |                      |                          | mont Rigaud             |
| Consultant | Saint-Clet            | Captif      | $1,2 \times 10^{-4}$ | $6,5 \times 10^{-5}$ | $2,1 \times 10^{-3}$     | Dolomie et grès         |
| Consultant | Sainte-Marthe         | Captif      | $1,0 \times 10^{-7}$ | $2,8 \times 10^{-4}$ | $8,2 \times 10^{-5}$     | anorthosite             |
| Consultant | Saint-Lazare          | Captif      | $3,5 \times 10^{-5}$ | $2,0 \times 10^{-3}$ | $7,8 \times 10^{-3}$     | Sable fin et moyen      |
| Consultant | Saint-Lazare          | Captif      | $1,4 \times 10^{-4}$ | $2,8 \times 10^{-3}$ | $4,5 \times 10^{-3}$     | Sables, graviers et     |
| Consultant | Saint-Lazare          | Libre       | $6,4 \times 10^{-4}$ |                      | $1,6 \times 10^{-2}$     | Sable fin à moyen       |
| Consultant | Saint-Lazare          | Captif      | $2,5 \times 10^{-4}$ | $1,6 \times 10^{-6}$ | $5,6 \times 10^{-4}$     | Sable fin à moyen       |
| Consultant | Saint-Lazare          | Libre       | $4,3 \times 10^{-4}$ |                      | $5,2 \times 10^{-3}$     | Sable fin à grossier    |
| Consultant | Saint-Polycarpe       | Captif      | $1,3 \times 10^{-4}$ |                      | $4,5 \times 10^{-3}$     | Calcaire et grès        |
| Consultant | Vaudreuil-Dorion      | Captif      | $1,9 \times 10^{-4}$ |                      | $2,0 \times 10^{-3}$     | Sable fin               |
| PACES      | Forage F1             | Libre       | $3,9 \times 10^{-5}$ |                      | $2,0 \times 10^{-4}$     | Grès (Gr. Potsdam)      |
| PACES      | Forage F2             | Semi-captif | $2,3 \times 10^{-5}$ |                      | $2,1 \times 10^{-4}$     | Calcaire (Gr. Chazy)    |
| PACES      | Forage F3             | Semi-captif | $3,9 \times 10^{-4}$ |                      | $3,5 \times 10^{-3}$     | Dolomie                 |
| PACES      | Forage F4             | Captif      | $1,1 \times 10^{-4}$ |                      | $9,5 \times 10^{-4}$     | Grès (Gr. Potsdam)      |
| PACES      | Piézomètre S1         | Captif      | $1,7 \times 10^{-5}$ |                      | $5,1 \times 10^{-5}$     | Sable fin               |
| PACES      | Piézomètre S3         | Libre       | $6,8 \times 10^{-6}$ |                      | $2,2 \times 10^{-5}$     | Sable fin avec silt     |
| PACES      | Piézomètre S5         | Captif      | $7,2 \times 10^{-6}$ |                      | $1,4 \times 10^{-5}$     | Till graveleux          |
| PACES      | Piézomètre S8         | Libre       | $1,0 \times 10^{-5}$ |                      | $3,0 \times 10^{-5}$     | Sable fin à moyen       |



### 5.1.3 Productivité de l'aquifère fracturé à partir de la capacité spécifique

Les données de niveau statique, de niveau dynamique et de débit provenant de la base de données du SIH ont été utilisées afin d'estimer la transmissivité (T) de l'aquifère fracturé. Les données ont été triées afin de ne conserver que les essais dont la durée était supérieure à une heure ayant été réalisés dans des forages de profondeur supérieure à 5 m. Selon ce traitement, 703 données du SIH ont pu être traitées. Les valeurs de transmissivité ont été calculées en utilisant la méthode décrite par Richard et al. (2014) selon une variante par itérations de l'équation de Cooper-Jacob (1946). Dans le processus itératif, les valeurs de transmissivité et d'emmagasinement sont fixés approximativement et l'équation résolue pour  $Q/(h_0-h)$ .

$$T = \frac{Q}{4\pi(h_0-h)} \ln \frac{2,25Tt}{r^2S} \quad (\text{Équation 1})$$

où

T = transmissivité (m<sup>2</sup>/s)

Q = débit (m<sup>3</sup>/s)

h<sub>0</sub> = niveau statique (m)

h = niveau dynamique (m)

t = temps (s)

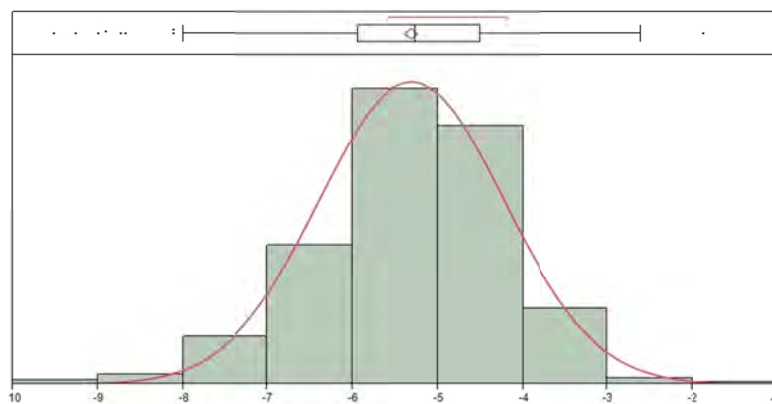
r = rayon du forage (m)

S = emmagasinement (-)

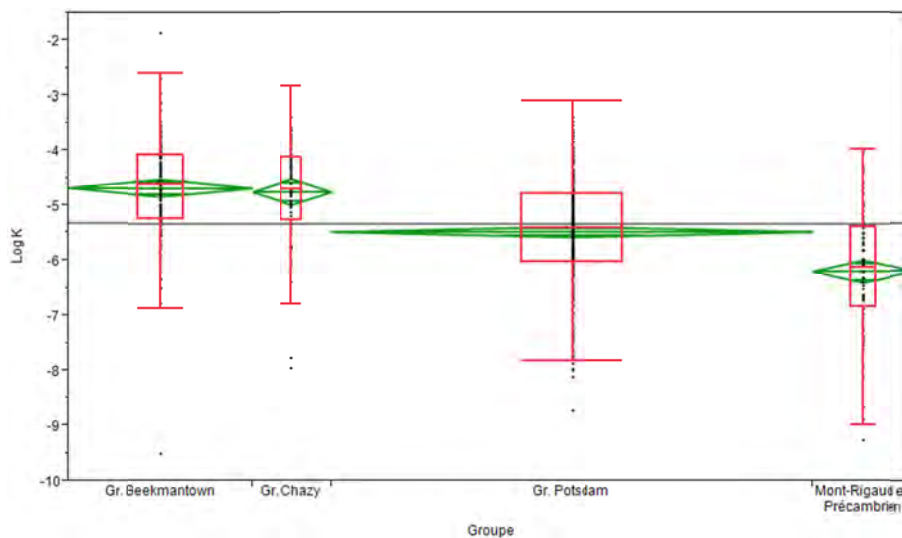
Pour chaque puits, la conductivité hydraulique du roc a été obtenue à partir de la capacité spécifique et de la longueur de la cavité forée dans le roc. La distribution des conductivités hydrauliques obtenues est illustrée à la **figure 10**. La distribution des log(K) est quasiment symétrique et la valeur moyenne est de -5.31 qui correspond à une conductivité hydraulique de  $4,9 \times 10^{-6}$  m/s.

Un test statistique de variance à un facteur (test ANOVA) indique que les log(K) sont significativement différents selon le type de roc fracturé. Sur la **figure 11**, les tracés rouges indiquent verticalement les quantiles des log(K) à 10, 25, 50, 75 et 90 %. Les losanges verts représentent les moyenne du test ANOVA, la dimension verticale étant déterminée par les limites de confiance inférieures et supérieures à 95 %, la dimension horizontale étant proportionnelle au nombre de valeurs. Selon ce test, les conductivités hydrauliques sont significativement différentes entre trois groupes : les roches cristallines précambriennes (84 forages), les roches du Groupe de Potsdam (400 forages) et un dernier ensemble incluant les Groupes de Chazy (67 forages) et de Beekmantown (152 forages), ces deux derniers Groupes n'étant pas significativement différents entre eux. Ainsi les conductivités hydrauliques moyennes sont plus élevées pour les roches sédimentaires et augmentent graduellement en allant des grès du Potsdam ( $K=3,4 \times 10^{-6}$  m/s) vers les formations de plus en plus calcaires, soit pour les dolomies du Groupe de Beekmantown ( $K=2,1 \times 10^{-5}$  m/s) et

les calcaires du Groupe de Chazy ( $K=1,8 \times 10^{-5}$  m/s). Avec une moyenne de  $6,5 \times 10^{-7}$  m/s, la conductivité hydraulique des roches cristallines est la plus faible parmi les formations géologique de la zone d'étude. Les valeurs moyennes de conductivités hydrauliques par type de formation sont comparables à celles calculées lors des essais hydrauliques pour le puits F2 réalisé dans le calcaire de Chazy, ainsi que pour le puits F1 réalisé dans les grès de Potsdam. Les conductivités mesurées pour le puits F3 réalisé dans les dolomies du Groupe de Beekmantown, ainsi que dans les grès de Potsdam pour le puits F4 donnent en revanche des valeurs d'un ordre de grandeur plus élevé que pour les conductivités hydrauliques moyennes calculées par la méthode des débits spécifiques.



**Figure 10** Distribution des  $\log(K)$  à partir de la capacité spécifique



**Figure 11** Distribution des  $\log(K)$  par lithologie du roc selon le test ANOVA

#### 5.1.4 Propriétés hydrauliques mesurées à l'aide du perméamètre de Guelph

La conductivité hydraulique des dépôts meubles a été mesurée à l'aide d'un perméamètre de Guelph au cœur de l'esker de Saint-Télesphore (**Carte 14**).

La description de la colonne stratigraphique est la suivante :

- 0-0,25 m. Sable, un peu de silt, traces de gravier, contenant moins de 5 % de cailloux très arrondis (grès, gneiss), traces de matière organique sur 20 cm de profondeur, brun-ocre, humide.
- 0,25 à 2,55 m. Sable fin, beige clair, présentant des figures de courant obliques avec une inclinaison de  $\pm 15\%$ . Litages entre 1,95 et 2,55 m de profondeur avec alternance de sable fin rouleur rouille et sable fin, un peu de silt, gris.
- 2,55 à 4,4 m. Sable moyen, brun gris devant grossier avec traces de gravier à 3,6 m. Frange capillaire évidente à 3,87 m et devenant saturée à 4,4 m.

Pour l'essai au perméamètre, des sondages de 0,05 m de diamètre ont été réalisés manuellement jusqu'à des profondeurs de 0,3 m, 0,6 m et 0,8 m. Pour chaque essai, deux charges hydrauliques constantes (5 et 10 cm) ont été imposées afin de créer un gradient hydraulique à l'intérieur du sondage. Une fois stabilisé, le taux de descente était ensuite mesuré et la conductivité hydraulique a été calculée à l'aide du tableur produit par Soilmoisture Equipment Corp. (2013). Les valeurs de conductivité hydraulique sont plus faibles au sommet de la formation, en raison de la présence de matière organique pour l'horizon supérieur (**tableau 17**). La conductivité hydraulique pour les horizons où la matière organique est visuellement absente est en moyenne de  $1,8 \times 10^{-4}$  m/s entre 0,6 et 0,8 m de profondeur. Les valeurs obtenues sont dans l'ordre de grandeur généralement attendu pour les dépôts sableux bien triés, entre  $10^{-5}$  et  $10^{-3}$  m/s (Fetter, 1980).

**Tableau 17** Conductivités hydrauliques mesurées au perméamètre de Guelph

| Profondeur sondage (m) | Charge hydraulique imposée (cm) | K (m/s)              | K moyen (m/s)        |
|------------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------|
| 0,3                    | 5                               | $5,4 \times 10^{-5}$ | $4,2 \times 10^{-5}$ |
|                        | 10                              | $3,0 \times 10^{-5}$ |                      |
| 0,6                    | 5                               | $1,8 \times 10^{-4}$ | $1,5 \times 10^{-4}$ |
|                        | 10                              | $1,3 \times 10^{-4}$ |                      |
| 0,8                    | 5                               | $2,6 \times 10^{-4}$ | $2,2 \times 10^{-4}$ |
|                        | 10                              | $1,8 \times 10^{-4}$ |                      |

## 5.2 Piézométrie et écoulement

La piézométrie est un élément important de la représentation de l'écoulement de l'eau souterraine. La carte piézométrique présente les élévations (par rapport au niveau moyen de la mer) de la nappe si l'aquifère est à nappe libre ou de la charge hydraulique si l'aquifère est à nappe captive. Dans le cadre de ce projet, la piézométrie tracée (**Carte 21**) représente l'ensemble des niveaux piézométrique disponibles dans les puits au roc, ainsi que les niveaux piézométriques des aquifères granulaires en contexte libre qui sont en contact hydraulique avec le roc. L'**annexe 9** donne le détail de la procédure utilisée pour tracer la carte piézométrique (**Carte 21**).

Les niveaux piézométriques sur la zone d'étude varient d'un maximum de 220 m au sommet du mont Rigaud à un minimum de 12 m en aval de Vaudreuil-Dorion. La moyenne des niveaux d'eau pour les 1991 puits utilisés est de 5,2 m sous la surface du sol. Le niveau d'eau maximum état de 0,7 m au-dessus de la surface du sol, et le niveau d'eau minimum est de 28 m sous la surface du sol. Pour la plaine argileuse, les gradients hydrauliques sont faibles et de l'ordre de  $10^{-3}$  m/m. Dans cette région, l'écoulement régional des eaux souterraines s'oriente vers le sud et le sud-ouest à partir des zones de reliefs, qui agissent alors comme des zones de recharge, (mont Rigaud, crêtes de Sainte-Justine-de-Newton, butte de Saint-Lazare) pour se diriger vers le fleuve Saint-Laurent et le lac Saint-François qui sont les principales zones de décharge de l'aquifère sur la zone d'étude. À l'extrémité est de la plaine argileuse, l'écoulement souterrain se dirige plutôt vers l'est (lac Saint-Louis, lac des Deux Montagnes). Dans la partie nord de la zone d'étude qui se trouve sous couvert argileux, de Pointe-Fortune à Hudson, les écoulements se dirigent vers le nord (rivière des Outaouais) à partir des reliefs associés (mont Rigaud, buttes de Saint-Lazare et de Hudson). Les engendrent des gradients hydrauliques plus élevés qu'en plaine, pouvant par exemple atteindre un maximum de  $4 \times 10^{-2}$  m/m sur les flancs du mont Rigaud. À l'emplacement de ces reliefs, les eaux souterraines s'écoulent dans toutes les directions, des hauts topographiques vers les vallées ou vers la plaine argileuse.

Les reliefs du mont Rigaud et de la butte de Saint Lazare engendrent des charges hydrauliques artésiennes pour l'aquifère au roc captif en plaine argileuse. Ainsi, 15 puits artésiens ont été identifiés lors des travaux de terrain, au sud du mont Rigaud, ainsi qu'au sud de la butte de Saint-Lazare. L'emplacement des puits artésiens est indiqué sur la carte piézométrique et ces secteurs constituent des zones de résurgence potentielle. Sur la zone d'étude, la très grande majorité des rivières ne sont pas connectées hydrauliquement avec l'aquifère au roc car elles s'écoulent sur des dépôts quaternaires épais et imperméables. Les seuls endroits où les rivières coulent sur le roc sur des distances appréciables sont les 10 premiers kilomètres de l'amont de la rivière Delisle à partir de la frontière avec l'Ontario, ainsi que les premiers 7,5 km de la rivière Rigaud sur la zone d'étude. Sur la rivière à la Raquette, des connexions nappe-rivière ponctuelles ont été mises en évidence dans le couloir de Sainte-Marthe par les travaux de maîtrise réalisés par Floriane Moreira et Félix Turgeon (voir **sections 5.6.4** et **5.7**). Pour ces sections en contact avec le roc, les rivières sont des zones d'émergence de l'aquifère et abaissent significativement les niveaux

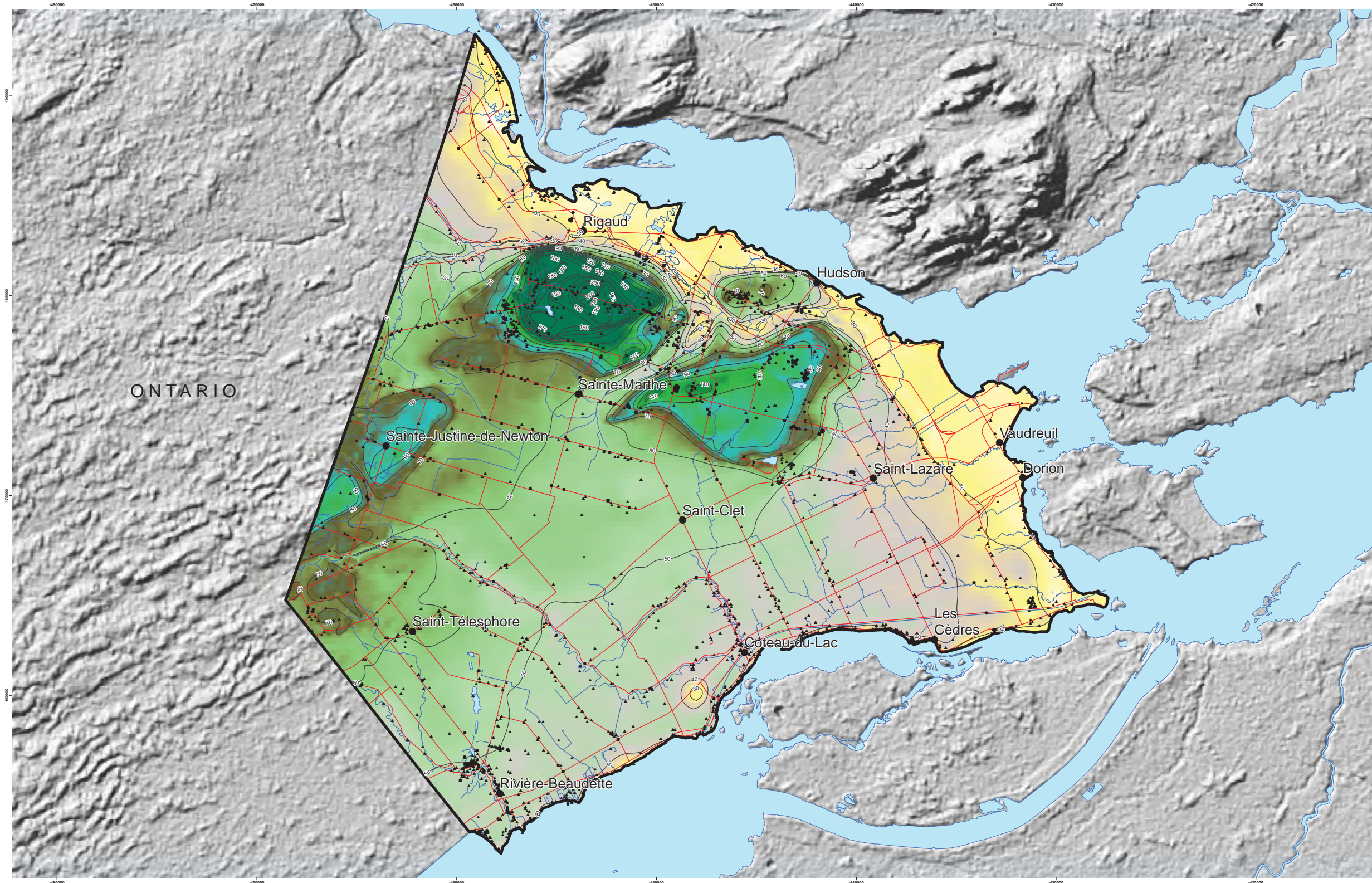
piézométriques d'une dizaine de mètres autour d'elles et sur des distances comprises entre la centaine de mètres pour la rivière Rigaud et allant jusqu'à 3 km pour la rivière Delisle.

Dans le cadre du projet, dix stations de suivi horaire des variations du niveau piézométrique dans des puits ont été installées et instrumentées de sondes de pression immergées (détail fournis en **section 3.2.5**) Tous les résultats sous forme graphique sont présentés à l'**annexe 10**. La **figure 12** illustre les variations piézométriques de trois aquifères ayant des contextes et des comportements hydrogéologiques distincts, afin de mettre en évidence différentes dynamiques piézométriques selon la saison. Ces différences sont principalement causées par le type d'aquifère, granulaire ou fracturé, les différentes conductivités hydrauliques et capacités d'emmagasinement, et par le degré de confinement local.

Les évènements de recharge, induits soit par les précipitations sous forme de pluie ou par la fonte de la neige, induisent une augmentation relative du niveau piézométrique. Sur la série temporelle de la **figure 12**, sept évènements (ou périodes) de recharge préférentielles sont identifiables : pic du 1<sup>er</sup> septembre 2013, du 9 décembre 2013, du 25 janvier 2014, du 9 mai 2014 (apogée de la fonte printanière), du 1<sup>er</sup> juillet 2014 du 9 janvier 2015 et du 5 mai 2015 (apogée de la fonte printanière). Ces variations sont particulièrement identifiables pour le puits P4 car celui-ci est dans un contexte d'aquifère libre, situé sur un flanc du mont Rigaud, où la couverture quaternaire est quasiment inexistante. Avec plus de 7,42 m pour la période présentée, l'amplitude importante du niveau piézométrique au puits P4 est due au fait que ce puits est foré dans le roc Précambrien. Cette roche possède une faible porosité constituée par des micro-fractures pas toujours interconnectées, rendant la conductivité hydraulique de l'aquifère faible. Les roches précambriennes de la zone d'étude présenteraient en effet les conductivités hydrauliques les plus faibles par rapport aux autres roches sédimentaires (voir **section 5.1.3**) Ce type de roche, dure et peu élastique, est très sensible aux variations de nappe lors des épisodes de recharge car elle a généralement une faible capacité d'emmagasinement.

Les mêmes pics de recharge sont clairement visibles sur le niveau piézométrique du puits S3, un puits qui se trouve aussi dans un contexte d'aquifère libre et est sensible aux épisodes de recharge. Les amplitudes piézométriques beaucoup plus faibles observées au puits S3 (1,40 m pour la période 2013-2015) s'expliquent par le fait qu'il se trouve dans un aquifère granulaire possédant une conductivité hydraulique élevée et une plus grande capacité d'emmagasinement. Les variations piézométriques dues aux périodes de recharge ne sont quasiment pas visibles sur la chronique piézométrique du puits F4 (0,54 m pour la période 2013-2015). Ce puits est en effet installé dans les grès de Potsdam très productifs, mais en contexte strictement captif sous plus de 20 m d'argile. Pour ce puits, les zones de recharges les plus proches (dans des contextes semi-captifs, flancs du mont Rigaud et crêtes de till à l'ouest) sont distantes de plus de 2,5 km.





### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- ⊞ Zone d'étude

**Élévation piézométrique (m)**

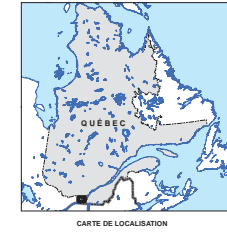
Maximum : 220  
Minimum : 12

— Isopièze (intervalle 10 m)

**Points utilisés pour l'interpolation**

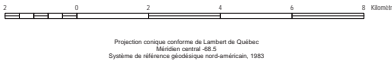
**Source**

- Consultant
- SIH
- UQAM



**MÉTADONNÉES**  
Section 5.2 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

**Carte 21 Piézométrie de l'aquifère au roc  
ZONE VAUDREUIL-SOULANGES  
QUÉBEC**



Projection cartographique conforme de Lambert de Québec  
Métres central de 5  
Système de référence géodésique nord-américain, 1983

**SOURCES / RÉALISATION**

Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MRN 20K, UQAM  
Piézométrie : UQAM

Réalisation :  
Université du Québec à Montréal



Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/50 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les données requises pour définir les conditions locales et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'intégrité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attache ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adéquation à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, des conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée :  
Larocque, M., Méthot, G., Charlier, M.-A., Gravelle, M.-H., Gagné, S., Barrette, D. et Dorner, S. 2015. Projet de cartographie des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MDECC.





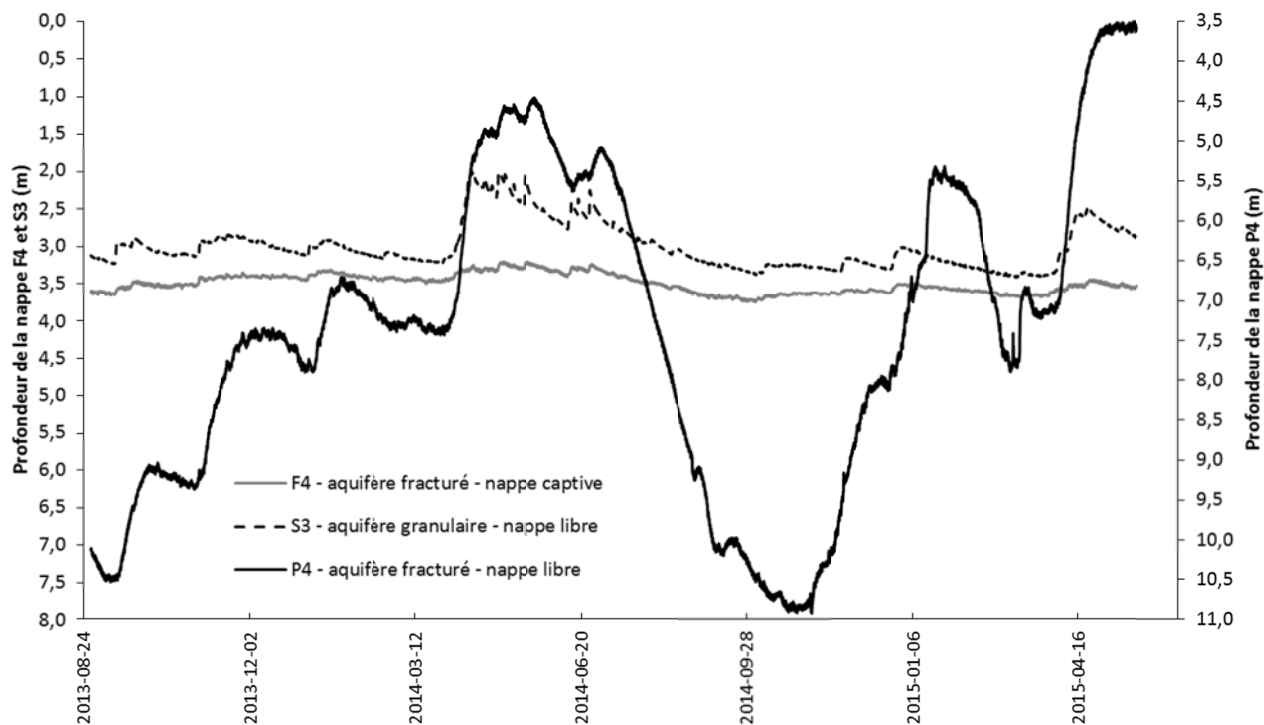


Figure 12 Séries temporelles des niveaux piézométriques dans trois forages

### 5.3 Recharge

#### 5.3.1 Débits de base obtenus par séparation des hydrogrammes

Le débit de base représente la décharge de l'eau souterraine dans le cours d'eau. Le débit de base est souvent utilisé pour estimer la recharge de l'aquifère sur un bassin versant. Le CEHQ ne disposant d'aucune station active sur la zone d'étude, les débits de base ont été calculés par séparation de l'hydrogramme de la station 1 installée sur la rivière à la Raquette en cours de projet (voir la **carte 14** et la **section 3.2**). Cette station est située à l'exutoire du bassin versant de la rivière à la Raquette représentant une superficie de 132 km<sup>2</sup> et la période de mesure s'étend de la mi-mars 2013 à octobre 2014. Suivant la même approche recommandée pour d'autres bassins versant au Québec (Poirier, 2012), les débits de base sur la rivière à la Raquette ont été estimés par séparation d'hydrogramme selon la méthode d'Eckhardt (2005). Les paramètres du filtre d'Eckhardt utilisés sont ceux recommandés par le CEHQ au moyen d'une analyse macroscopique des patrons régionaux concernant les BFI (*Base Flow Index*) pour le Québec.

Les débits de base présentés au **tableau 18** excluent les mois d'hiver (janvier, février, mars) car les mesures de débits de rivière sont moins fiables pendant la période englacée. Le débit de base mensuel calculé représente entre 34 % et 66 % du débit total mesuré dans la période 2013-2014 (**Tableau 18**). Les proportions les plus élevées sont en général pendant

les périodes estivales caractérisées par des périodes de sécheresse, tandis que les proportions les plus faibles sont caractérisées par de fortes précipitations ou lors de la fonte de la neige. Le filtre Eckhardt (2005) tend généralement à surestimer le débit de base, car il inclut en partie l'écoulement hypodermique.

**Tableau 18** Statistiques des débits de base sur le bassin de la rivière à la Raquette

| Mois/Année | Débit total journalier<br>moyen (m <sup>3</sup> /s) | Débit de base journalier<br>moyen (m <sup>3</sup> /s) | Proportion<br>du débit total | Débit de base<br>mm/mois* |
|------------|---|---|------------------------------|---------------------------|
| 04-2013    | 10,7  | 4,8   | 45%                          | 94,1                      |
| 05-2013    | 1,4   | 0,7   | 51%                          | 14,5                      |
| 06-2013    | 4,2   | 1,5   | 35%                          | 29,5                      |
| 07-2013    | 0,9   | 0,5   | 62%                          | 10,7                      |
| 08-2013    | 0,5   | 0,3   | 55%                          | 5,4                       |
| 09-2013    | 1,2   | 0,4   | 38%                          | 8,7                       |
| 10-2013    | 0,6   | 0,3   | 46%                          | 5,5                       |
| 11-2013    | 2,0   | 0,8   | 42%                          | 16,5                      |
| 12-2013    | 0,9   | 0,4   | 44%                          | 8,3                       |
| 04-2014    | 18,1  | 6,1   | 34%                          | 120,5                     |
| 05-2014    | 4,6   | 2,0   | 44%                          | 41,0                      |
| 06-2014    | 3,6   | 1,2   | 34%                          | 23,5                      |
| 07-2014    | 0,5   | 0,3   | 65%                          | 7,0                       |
| 08-2014    | 0,4   | 0,2   | 45%                          | 3,6                       |
| 09-2014    | 0,4   | 0,2   | 44%                          | 1,8                       |
| 10-2014    | 0,4   | 0,2   | 44%                          | 2,0                       |

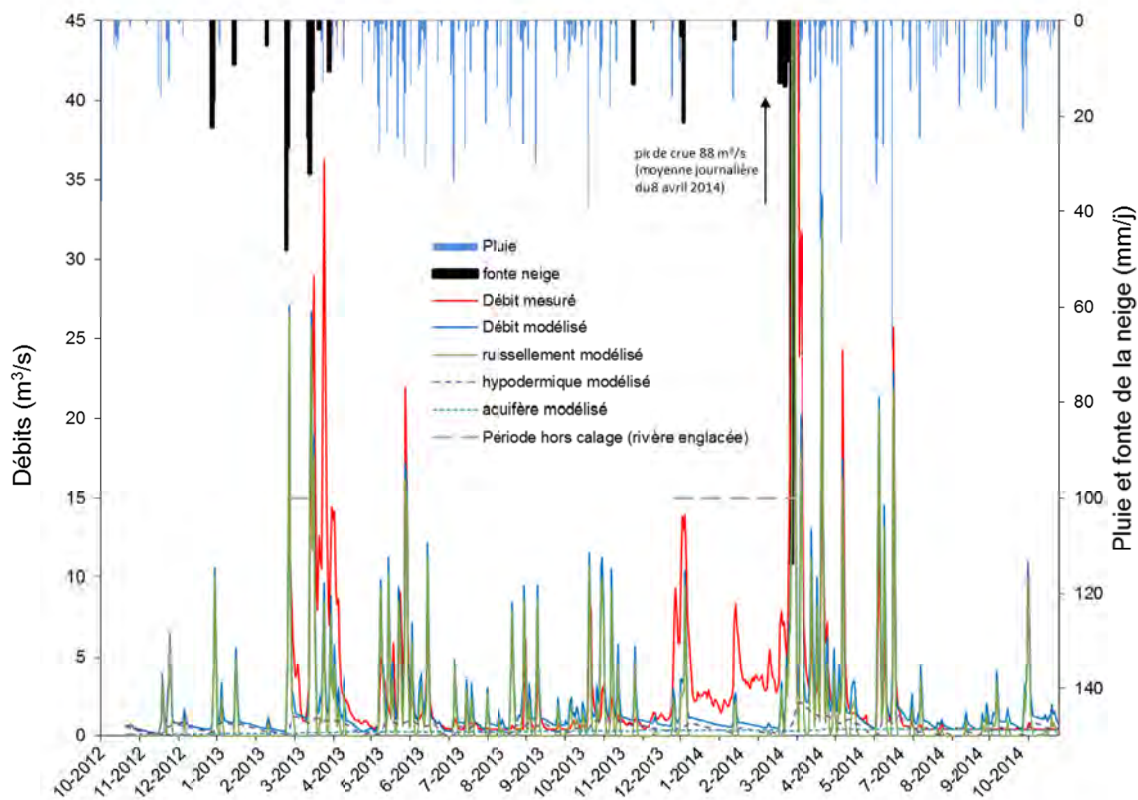
\*Équivalent en hauteur d'eau sur le bassin versant de la rivière à la Raquette

### 5.3.2 Recharge par bassin versant simulée avec MOHYSE

La recharge de l'aquifère par bassin versant a été quantifiée à l'aide du modèle hydrologique MOHYSE (Fortin et Turcotte, 2006). Le modèle MOHYSE permet de reproduire les débits totaux d'un cours d'eau en fonction de l'historique des données météorologiques. MOHYSE est un modèle hydrologique conceptuel et non spatialement distribué qui vise à reproduire les débits de surface à l'exutoire d'un bassin versant. Le modèle comprend deux réservoirs souterrains, soit un premier réservoir pour la zone non saturée et un second réservoir pour l'aquifère. Après calage des débits, le modèle permet donc une estimation du volume d'eau qui transite du premier réservoir vers le second, ce volume étant considéré égal à la recharge de l'aquifère. Après calage des débits, le modèle permet donc une estimation du volume d'eau qui transite du premier réservoir vers le second, ce volume étant considéré égal à la recharge de l'aquifère. Cependant, l'usage de ce modèle pour estimer la recharge est inhabituel, car MOHYSE a été conçu pour la simulation des débits de surface. En raison de la simplicité de ce modèle, la recharge ainsi estimée est approximative et ne tient pas compte de la variabilité spatiale des pentes, des dépôts de surface ou de l'occupation du territoire. Le volume total d'eau qui transite entre les deux réservoirs pendant une année est néanmoins considéré représentatif de la recharge annuelle de l'aquifère. Une version Excel du modèle MOHYSE a été utilisée dans ce projet.

Dans le projet, le modèle MOHYSE a été mis en œuvre sur le bassin versant de la rivière à la Raquette car c'est le seul bassin instrumenté sur la MRC de Vaudreuil-Soulanges. Ce bassin de 132 km<sup>2</sup> est par ailleurs le plus grand bassin versant intégralement contenu sur la zone d'étude. Les simulations ont été réalisées sur la période de octobre 2012 jusqu'à octobre 2014, mais le calage du modèle a été réalisé à l'aide des séries temporelles disponibles entre mai 2013 et octobre 2014, en excluant les périodes où la rivière est englacée (janvier, février et mars) pendant lesquelles les débits mesurés sont moins fiables. Le critère de Nash-Sutcliffe (1970) a été utilisé pour optimiser les paramètres (à l'aide du solveur Excel) dans le but de reproduire au mieux les débits totaux mesurés. Les données météorologiques journalières (neige, pluie, température) de la station de Rigaud ont servi d'intrant au modèle.

La modélisation a donné des résultats satisfaisants avec un critère de Nash-Sutcliffe de 0,68. La **figure 13** illustre les résultats du modèle MOHYSE entre les débits simulés et mesurés pour le bassin de la rivière à la Raquette. Le ruissellement augmente rapidement après un événement pluvieux tandis que la réponse est lissée pour les débits hypodermiques et la contribution de l'aquifère. Par exemple, la fonte importante mais subite de la neige début avril 2014 provoque un ruissellement très important proportionnel, mais une réponse beaucoup plus lissée pour l'écoulement hypodermique et encore moins marquée pour l'aquifère.



**Figure 13** Flux calculés avec MOHYSE sur le bassin de la rivière à la Raquette

Les flux calculés avec MOHYSE pour le bassin de la rivière à la Raquette de même que les températures et les précipitations totales sont représentés quantitativement avec des valeurs cumulées mensuelles à la **figure 14**, ainsi que la température moyenne mensuelle. Les résultats indiquent que les apports verticaux (précipitations sous forme de pluie et fonte de la neige) influencent directement le flux de ruissellement. L'écoulement hypodermique ainsi que la recharge sont influencés par les précipitations, mais selon une amplitude moins marquée que pour le ruissellement. L'évapotranspiration est contrôlée par les différences de températures entre les mois plus ou moins chauds mais peut être influencée à la baisse si les précipitations sont faibles pendant les mois chauds. Selon les résultats du modèle, la recharge serait principalement contrôlée par les précipitations, avec une influence secondaire liée à l'évapotranspiration.

Le **tableau 19** montre de détail du bilan hydrique simulé pour 2013-2014. La recharge moyenne annuelle simulée de 98 mm/an est relativement faible, mais s'explique par le fait 48 % du bassin de la rivière à la Raquette sont couverts par des dépôts argileux, favorisant le ruissellement de surface par rapport à l'infiltration. L'écoulement hypodermique, qui représente un écoulement souterrain peu profond pouvant retourner relativement rapidement au réseau de drainage de surface est plus élevé (131 mm/an). Ce flux reflète l'influence des dépôts granulaires (alluvion, sédiment éoliens, dépôts fluvioglaciaires, dépôts sableux littoraux et deltaïques) qui représentent 24 % de la surface du bassin versant. L'infiltration superficielle hors mois d'hiver (écoulement hypodermique et recharge) simulée avec MOHYSE sur la période 2013-2014 est de de 179 mm/an, une valeur comparable aux débits de base estimés avec le filtre d'Eckhardt sur la même période (209 mm/an).

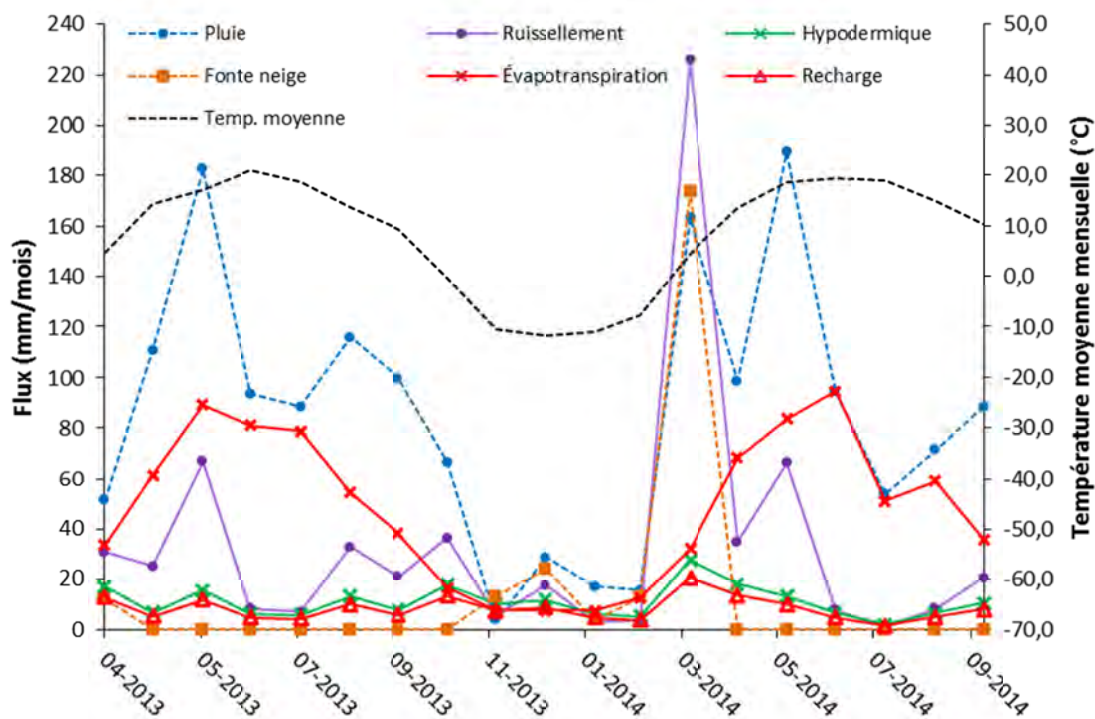


Figure 14 Flux obtenus avec MOHYSE sur le bassin versant de la rivière à la Raquette

**Tableau 19** Détail du bilan hydrique simulé avec le modèle MOHYSE

| Mois                     | Précipitation |            | Ruissellement de surface |             | ETR          |             | Écoulement hypodermique |             | Recharge    |            |
|--------------------------|---------------|------------|--------------------------|-------------|--------------|-------------|-------------------------|-------------|-------------|------------|
|                          | mm/an         | %          | mm/an                    | %           | mm/an        | %           | mm/an                   | %           | mm/an       | %          |
| Janvier 2014             | 46,2          | 4,4        | 17,8                     | 5,1         | 7,7          | 1,6         | 11,8                    | 9,1         | 8,9         | 9,1        |
| Février 2014             | 22,2          | 2,1        | 3,3                      | 1,0         | 7,7          | 1,6         | 6,4                     | 4,9         | 4,8         | 4,9        |
| Mars 2014                | 25,7          | 2,4        | 3,8                      | 1,1         | 12,8         | 2,6         | 5,2                     | 4,0         | 3,9         | 4,0        |
| Avril 2013/2014*         | 200,6         | 19,0       | 128,3                    | 37,1        | 32,9         | 6,8         | 22,5                    | 17,2        | 16,9        | 17,2       |
| Mai 2013/2014*           | 117,0         | 11,1       | 30,2                     | 8,7         | 64,8         | 13,4        | 12,6                    | 9,6         | 9,4         | 9,6        |
| Juin 2013/2014*          | 176,4         | 16,7       | 66,6                     | 19,3        | 84,9         | 17,6        | 14,3                    | 10,9        | 10,7        | 10,9       |
| Juillet 2013/2014*       | 108,9         | 10,3       | 8,0                      | 2,3         | 89,2         | 18,4        | 6,7                     | 5,1         | 5,0         | 5,1        |
| Aout 2013/2014*          | 76,0          | 7,2        | 4,1                      | 1,2         | 65,0         | 13,4        | 4,0                     | 3,0         | 3,0         | 3,0        |
| Sept. 2013/2014*         | 95,2          | 9,0        | 20,6                     | 6,0         | 56,9         | 11,8        | 10,1                    | 7,7         | 7,6         | 7,7        |
| Octobre 2013/2014*       | 74,2          | 7,0        | 20,9                     | 6,1         | 37,2         | 7,7         | 9,2                     | 7,0         | 6,9         | 7,0        |
| Novembre 2013            | 84,8          | 8,0        | 36,5                     | 10,6        | 16,8         | 3,5         | 18,0                    | 13,8        | 13,5        | 13,8       |
| Décembre 2013            | 30,8          | 2,9        | 5,6                      | 1,6         | 7,7          | 1,6         | 10,0                    | 7,7         | 7,5         | 7,7        |
| <b>Moyenne 2013-2014</b> | <b>1057,9</b> | <b>100</b> | <b>345,7</b>             | <b>32,7</b> | <b>483,4</b> | <b>45,7</b> | <b>130,7</b>            | <b>12,4</b> | <b>98,2</b> | <b>9,3</b> |

\*Valeur moyenne pour les années 2013 et 2014

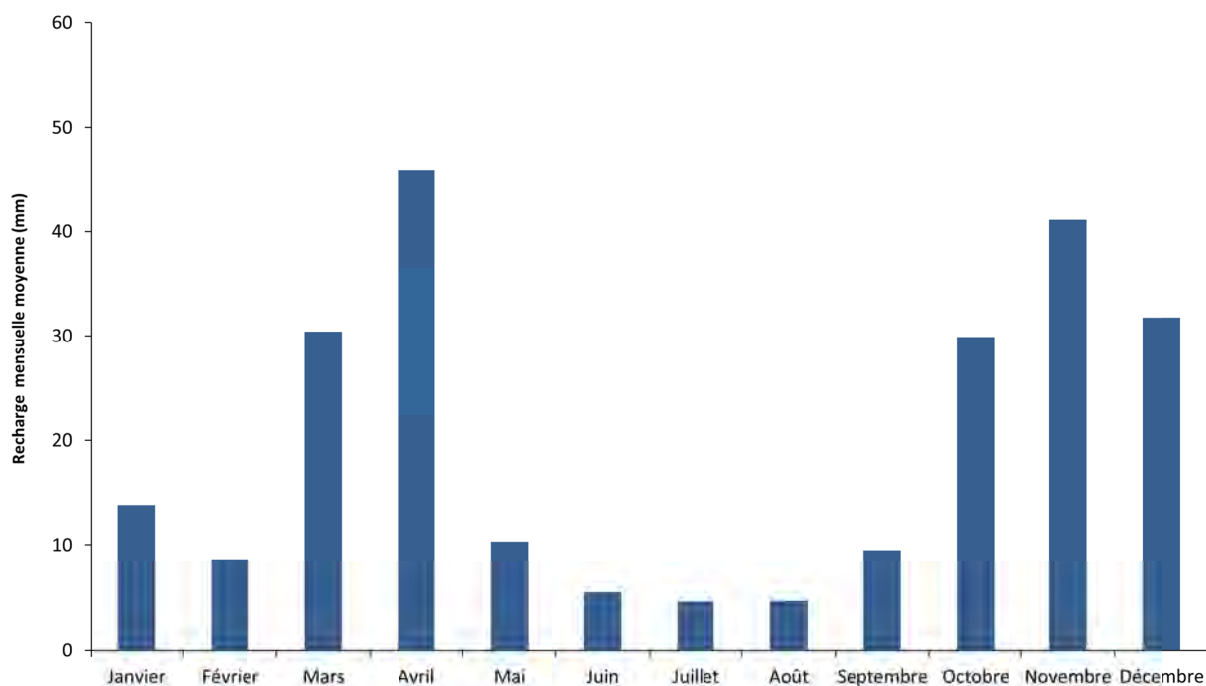
### 5.3.3 Recharge spatialisée modélisée par bilan hydrique spatialisé

La recharge potentielle à l'aquifère a été calculée en réalisant un bilan hydrique journalier au moyen de mailles de 250 m x 250 m (13 024 cellules sur la zone d'étude) sur une période de 20 ans (1989-2009). Pour y parvenir, le modèle de bilan hydrique spatialisé HydroBudget a été développé à l'UQAM. Le détail de ce modèle est donné à l'**annexe 11**. Le modèle a d'abord été calé sur le bassin versant de la rivière à la Raquette pour la période 2013-2014 en fonction des résultats obtenus avec le modèle hydrologique MOHYSE et par la séparation d'hydrogramme avec le filtre d'Eckhardt (2005). L'**annexe 11** décrit de manière détaillée les étapes du calcul et le calage du modèle. Les paramètres calés ont ensuite été utilisés pour l'ensemble de la zone d'étude. Le modèle fournit des résultats journaliers de flux hydriques pour le ruissellement, l'évapotranspiration réelle et l'infiltration. Pour les zones d'aquifère libre, l'infiltration calculée dans le bilan hydrique a été considérée comme de la recharge au roc. Dans les contextes de nappe captive, l'infiltration ne peut atteindre l'aquifère et la recharge a été fixée à zéro. Pour les contextes semi-captifs, 43 % de

l'infiltration a été appliqué pour calculer la recharge à l'aquifère rocheux (ce ratio recharge/infiltration totale a été déduit des simulations avec le modèle MOHYSE). Les volumes d'eau non infiltrés sont redirigés vers le ruissellement de surface.

La recharge moyenne de l'aquifère fracturé obtenue pour la zone d'étude à l'aide de cette approche est 48 mm/an. Elle varie de 0 à 440 mm/an (voir **figure 15**). Les valeurs maximales sont observées où les dépôts sont très perméables et les pentes très faibles tandis qu'en plaine argileuse, la recharge au roc calculée est nulle. Les zones d'aquifères libres (complexes fluvioglaciaires de buttes, zones de tills mince et de roc affleurant, ainsi que les affleurements de dépôts fluvioglaciaires) totalisent 9 % de la superficie de la zone d'étude et reçoivent en moyenne 331 mm/an de recharge au roc, contribuant ainsi à 62 % de la recharge régionale. Les zones d'aquifère semi-captif (tills) totalisent 15 % de la superficie et reçoivent en moyenne 115 mm/an de recharge au roc, soit 38 % de la recharge régionale.

La distribution temporelle bimodale de la recharge mensuelle moyenne calculée avec le modèle HydroBudget pour la période 1989-2009 est donnée à la **figure 15**. La recharge printanière au moment de la fonte de la neige (mars à mai) correspond respectivement à 38 % de la recharge annuelle pour le bilan hydrique spatialisé. Pour la période automnale (octobre à décembre), la recharge représente 44 % de la recharge annuelle.



**Figure 15** Recharges mensuelles moyennes 1989-2009 du bilan hydrique spatialisé

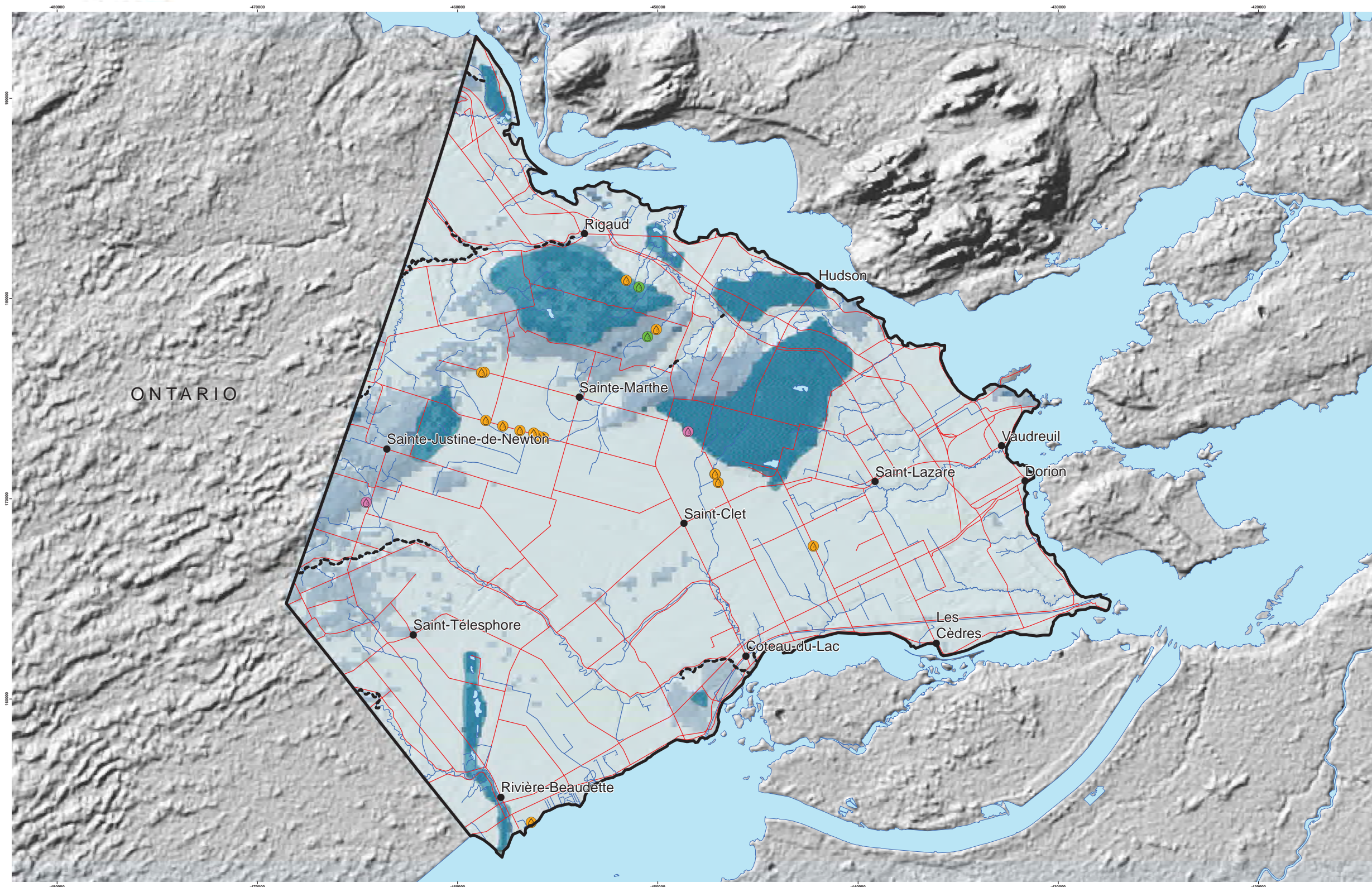
#### 5.3.4 Zones de recharge préférentielle et de résurgence

Les zones de recharge supérieures à 200 mm/an ont été identifiées comme zones de recharge préférentielle de l'aquifère au roc (**Carte 22**). Le seuil de 200 mm/an représente le 91<sup>e</sup> percentile des valeurs de recharge calculées à l'aide du bilan hydrique spatialisé. Les zones de recharge préférentielles dépassant les 200 mm/an sont situées sur les principaux reliefs, soit sur le mont Rigaud grâce en raison de la faible épaisseur des dépôts quaternaires. Dans ce secteur, les zones de till mince et de roc affleurant génèrent une recharge de 259 mm/an en moyenne sur une superficie de 14 km<sup>2</sup>, contribuant ainsi à de la 9 % de la recharge régionale estimée par bilan hydrique. Les buttes de Saint-Lazare et de Hudson, grâce au fait que leur surface est constituée par d'important dépôts quaternaires imperméables atteignent les taux de recharge moyens les plus élevés de 356 mm/an en moyenne. Totalisant une superficie de 46 km<sup>2</sup>, le contexte hydrogéologique des buttes contribuerait ainsi à 41 % de la recharge régionale de la zone d'étude. Les autres dépôts fluvioglaciaires présents sur des superficies plus petites, soit au nord en longeant la rivière des Outaouais, sur la crête de Sainte-Justine de Newton, ainsi que pour la partie non confinée de l'esker de Saint-Télesphore, atteignent des taux de recharge moyen de 256 mm/an. Toutes les zones de recharge au-dessus de 200 mm/an sont clairement identifiées avec la signature géochimique de l'eau souterraine (voir **section 5.6**). Les zones de till semi-captives (superficie de 93 km<sup>2</sup>) atteignent des niveaux de recharge appréciables (moyenne estimée à 108 mm/an) et contribuent de par leur étendue à un apport non négligeable à la recharge régionale (apport estimé à 25 % de la zone). Lorsqu'elles sont étendues (i.e. crêtes de till à l'ouest), les zones semi-captives de till présentent également des eaux souterraines avec une signature géochimique de type recharge. Enfin, il n'y a pas de zone de recharge préférentielle dans la portion située en plaine où les dépôts argileux dominant le portrait (517 km<sup>2</sup>). Dans ce secteur, la géochimie montre des eaux de plus en plus évoluées en fonction de l'éloignement avec les zones de recharge.

Les zones de résurgence des eaux souterraines correspondent principalement aux portions de rivières qui coulent sur le roc (**Carte 22**). Ainsi, les premiers 7,5 km amont de la rivière Delisle sinuent sur un secteur couvert de till, dont les fonds de vallées sont sur le roc, ainsi que les derniers 4 km avant l'embouchure vers Coteau du Lac. Les deux premiers affluents en amont de la rivière Rigaud s'écoulent également sur le roc sur des longueurs respectives de 3,0 et 3,8 km. Pour la rivière à la Raquette, seulement deux zones restreintes d'affleurements du roc ont été identifiés dans le couloir de Sainte-Marthe. Mais d'autres dépôts sableux reposant sur le roc, des mesures de débits réalisés sur toute la longueur de la rivière (Turgeon, 2015), ainsi que des mesures de radon (**section 5.6.4**) indiquent la présence d'une résurgence significative d'eau souterraine dans la rivière à la Raquette. En zone de dépôt sableux, la section amont de la rivière Rouge qui s'écoule sur la butte de Saint-Lazare draine l'aquifère granulaire, puis coule ensuite sur l'argile en plaine. Du fait de la couverture argileuse importante qui couvre plus des trois quarts de la zone d'étude, l'aquifère au roc est généralement peu drainé par les autres rivières.

Il existe très peu de sources répertoriées sur la zone d'étude. Des zones de résurgences mineures sont mentionnées sur les flancs du plateau sableux de Saint-Lazare (Lajoie et Stobbe, 1951) mais leur emplacement n'est pas précisé dans le rapport et aucune source importante n'a été identifiée pendant les travaux de terrain. Par ailleurs, la municipalité de Saint-Clet possède une prise d'eau potable aménagée en tranchée drainante qui exploite une zone de résurgences de forte perméabilité sur le flanc sud-ouest de la butte de Saint-Lazare (Consulteaux, 2002). Ceci constitue une indication supplémentaire de la présence d'une zone de résurgence à cet endroit. Similairement, la municipalité de Saint-Polycarpe exploite cinq sources localisées le long du flanc sud-est du complexe de buttes de Saint-Justine-de-Newton (LNA, 2008). Ce collecteur à drains horizontaux représenterait donc également une évidence de résurgences dans ces environs. D'autres résurgences sont mises en évidence sur une série de petits lacs présents sur les flancs du mont Rigaud (**Carte 22**) dont la surface ne gèle pas en hiver. La pente en amont de ces petits lacs étant supérieure à 5 %, il peut être présumé que d'autres lacs sur le mont Rigaud localisés dans des conditions de pente similaires pourraient potentiellement être également alimentés par de l'eau souterraine. Les secteurs au sud du mont Rigaud et au sud de la butte de Saint-Lazare sont identifiés comme des zones de résurgence potentielles dues à la présence de puits coulants (voir **section 5.2**), le niveau piézométrique de ces secteurs se trouvant au-dessus de la surface du sol.





### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- ⬮ Zone d'étude

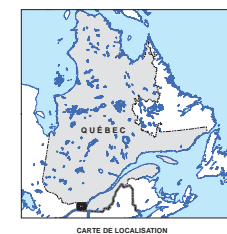
**Recharge spatialisée (mm/an)**

Maximum : 440  
Min : 0

⬮ Zone de recharge préférentielle (+ de 200 mm/an)

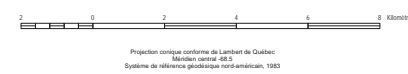
**Source**

- Source aménagée
- Source non aménagée
- Puits artésien
- Résurgence



MÉTADONNÉES  
Section 5.3 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

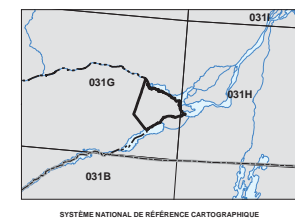
**Carte 22 Zones préférentielles de recharge et de résurgences  
ZONE VAUDREUIL-SOULANGES  
QUÉBEC**



SOURCES / RÉALISATION

Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Pente du sol: MERN 20K, UQAM

Réalisation :  
Université du Québec à Montréal



Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/60 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découvrant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les données requises pour définir les conditions locales et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'intégrité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attaché ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adaptation à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, des conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

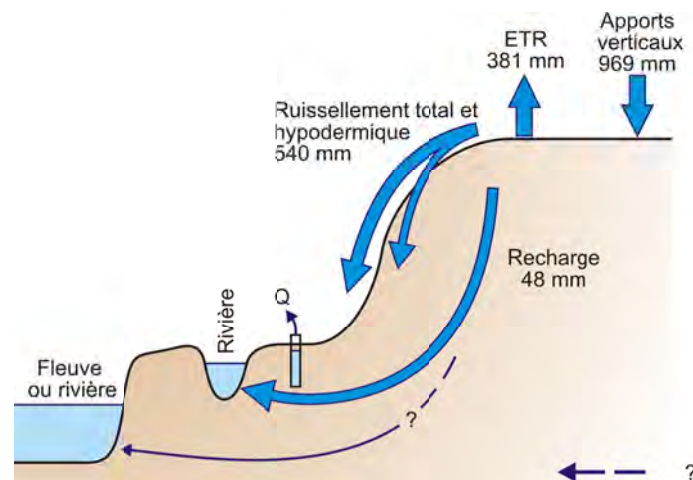
Notation bibliographique conseillée :  
Larocque, M., Méthot, G., Charlier, M.-A., Gravelle, M.-H., Gagné, S., Barrette, D. et Dorner, S. 2015. Projet de cartographie des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MDECC.



#### 5.4 Bilan hydrique régional

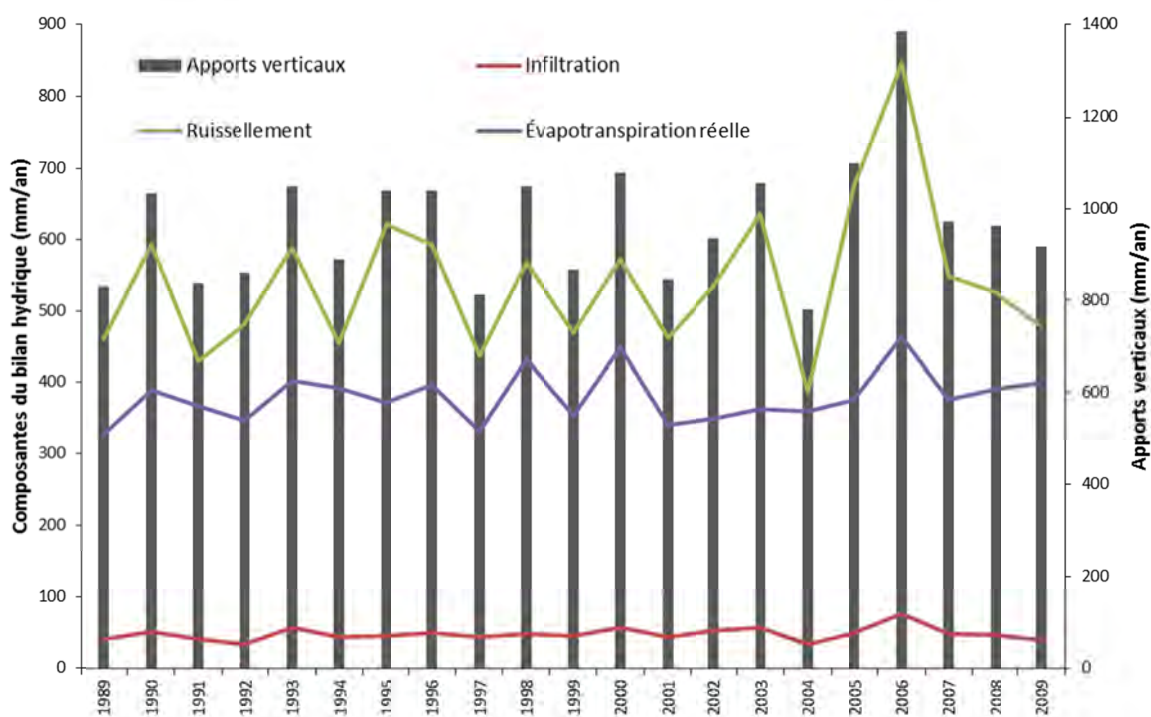
Le bilan hydrique régional (**Figure 16**) a été calculé à l'aide du modèle HydroBudget qui calcule la recharge spatialisée sur l'ensemble de la zone d'étude (voir **section 5.3.3**). Pour la période simulée entre 1989 et 2009, les apports verticaux (AV) fournis par le CEHQ varient de 780 mm/an en 2004 à 1385 mm/an en 2006 (moyenne 969 mm/an). L'évapotranspiration réelle moyenne annuelle simulée par le bilan hydrique est de 381 mm/an (39 % des apports verticaux), soit une valeur significativement plus faible que celle obtenue avec MOHYSE entre 2013 et 2014 (46 % des précipitations totales). Le modèle simule une infiltration totale moyenne superficielle de 236 mm/an (24 % des apports verticaux) comparable avec celle de MOHYSE (recharge et ruissellement hypodermique représentent 22% des précipitations totales pour 2013-2014). En tenant compte des conditions de confinement pour la zone d'étude (voir **section 4.3**), le ruissellement total moyen (de surface et hypodermique) est de 540 mm/an pour l'ensemble de la zone d'étude pour 1989-2010, soit l'équivalent de 56 % des apports verticaux. Cette valeur est supérieure à la somme du ruissellement de surface et de l'écoulement hypodermique obtenus avec MOHYSE sur le bassin de la rivière à la Raquette entre 2013 et 2014 (respectivement 33 % et 12 %, pour un total de 45 % des précipitations totales). La recharge moyenne de l'aquifère fracturé pour l'ensemble de la zone d'étude est de 48 mm/an, soit 5 % des apports verticaux.

Le débit total pompé à l'aquifère par les grands préleveurs, les particuliers et par les activités agricoles correspond à une hauteur d'eau de 14 mm/an (voir **section 6.1** pour les résultats détaillés). Ce flux est significatif car il représente 29 % du taux de recharge pour l'aquifère au roc estimé pour la zone d'étude. Selon la carte piézométrique, l'aquifère au roc de la proportion ouest de la zone d'étude est alimenté par des écoulements souterrains provenant de l'Ontario. Le flux d'eau souterraine provenant de l'Ontario, ainsi que le volume d'eau qui retourne au réseau de drainage majeur (rivière des Outaouais et fleuve Saint-Laurent) n'ont pas été estimés dans cette étude. Un modèle régional d'écoulement souterrain pour la MRC de Vaudreuil-Soulanges permettrait d'estimer ces débits mais dans le cadre de cette étude, seul le bassin versant de la rivière à la Raquette a été modélisé.



**Figure 16** Bilan hydrique de la zone d'étude

La variabilité temporelle des flux annuels moyens résultant du calcul du bilan hydrique sur la zone d'étude de 1989 à 2009 (**Figure 17**) montre que le ruissellement de surface et hypodermique varie de manière directe suivant les apports verticaux. Les débits de crue sont ainsi majoritairement composés de ruissellement de surface et hypodermique. L'évaporation calculée suit aussi la tendance des apports verticaux, mais l'évaporation subit aussi l'influence de la température moyenne annuelle. En effet, la quantité d'eau évaporable est fonction des précipitations mais aussi de la température. Plus la température est élevée, plus le potentiel d'évaporation est fort. La recharge à l'aquifère suit clairement la tendance des apports verticaux. L'effet de l'évapotranspiration sur la recharge apparaît sans effet d'une année à l'autre. Ainsi les années les plus humides donnent les taux de recharge les plus élevés, sans que l'effet de la température ait une influence significative. Ceci provient du fait que les périodes de recharge privilégiées sont au printemps et à l'automne et que pendant ces saisons froides, l'évapotranspiration réelle est généralement faible.

**Figure 17** Évolution temporelle annuelle des flux du bilan hydrique

## 5.5 Vulnérabilité des nappes

La vulnérabilité de l'eau souterraine pour la zone Vaudreuil-Soulanges a été estimée grâce à l'indice DRASTIC, en suivant les règles de l'art de la méthode développée par Aller et al. (1987). La carte DRASTIC a été réalisée pour l'ensemble du bassin, en considérant le premier aquifère rencontré depuis la surface. Ainsi, dans des conditions de nappe libre, la vulnérabilité de l'aquifère superficiel a été évaluée (granulaire ou roc). Dans des conditions de nappe captive ou semi-captive, la vulnérabilité a été estimée pour l'aquifère se trouvant directement sous l'aquitard (granulaire ou roc). Une synthèse de l'approche et des calculs intermédiaires est présentée à l'**annexe 12**.

### *Carte DRASTIC des aquifères*

Le nouveau Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (RPEP) (Gouvernement du Québec, 2014), qui remplace progressivement le Règlement sur le captage des eaux souterraines (Gouvernement du Québec, 2013) classe les mesures préventives pour protéger les puits d'alimentation en eau en fonction de leur classe de vulnérabilité : faible (< 100), moyenne (> 100 et < 180) et élevée (> 180). Le Règlement stipule également certaines restrictions d'utilisation du sol lié à l'entreposage et à l'utilisation d'amendements agricoles qui s'appliquent à l'intérieur du périmètre de protection d'un lieu de captage d'eau souterraine, lorsque l'indice DRASTIC est égal ou supérieur à 100 sur une quelconque portion de cette aire.

L'indice de vulnérabilité des aquifères varie de 40 à 190 sur la zone d'étude (voir **carte 23**). Soixante-quinze pourcents de la zone d'étude présentent une vulnérabilité pour l'aquifère faible (indice DRASTIC inférieur à 100), 23 % représentent une vulnérabilité moyenne (indice DRASTIC supérieur à 100 et inférieur à 180) et seulement 2 % représentent vulnérabilité très élevée (indice DRASTIC supérieur à 180) (**Figure 18**).

L'indice DRASTIC indique une vulnérabilité faible (indice DRASTIC inférieur à 100) pour les secteurs où l'aquifère est en conditions captives, soit dans la plaine argileuse où les dépôts sont importants tant en superficie qu'en épaisseur. La plaine est effectivement associée à la présence de dépôts argileux qui fournissent peu de points au paramètre de profondeur de la nappe (profondeur élevée du toit de l'aquifère au roc en présence d'argile), au paramètre de recharge (recharge nulle en présence d'argile), au paramètre sol (cote minimale quand l'argile se trouve à la surface du sol) et au paramètre de la zone vadose (cote minimale pour la zone non saturée considérée comme inexistante en présence d'argile). Pour les zones les moins vulnérables, le paramètre du milieu aquifère est également peu différencié spatialement, le roc étant majoritairement composé de lits de grès, calcaire et shale.

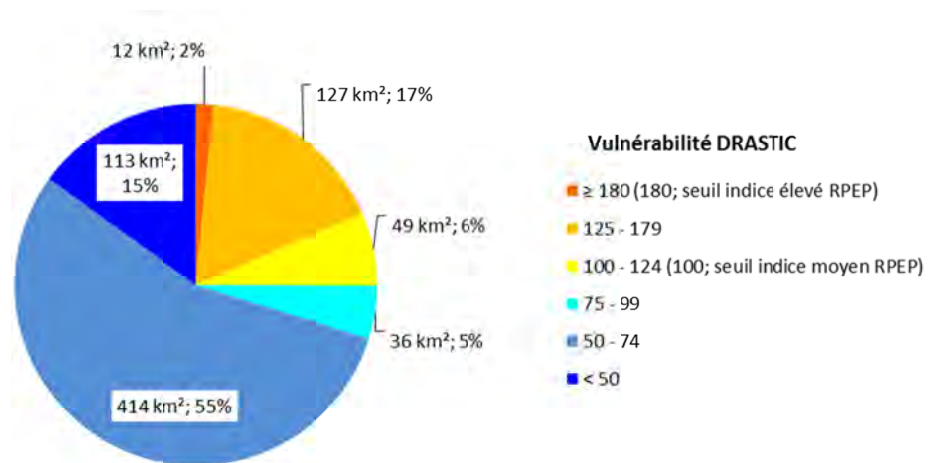
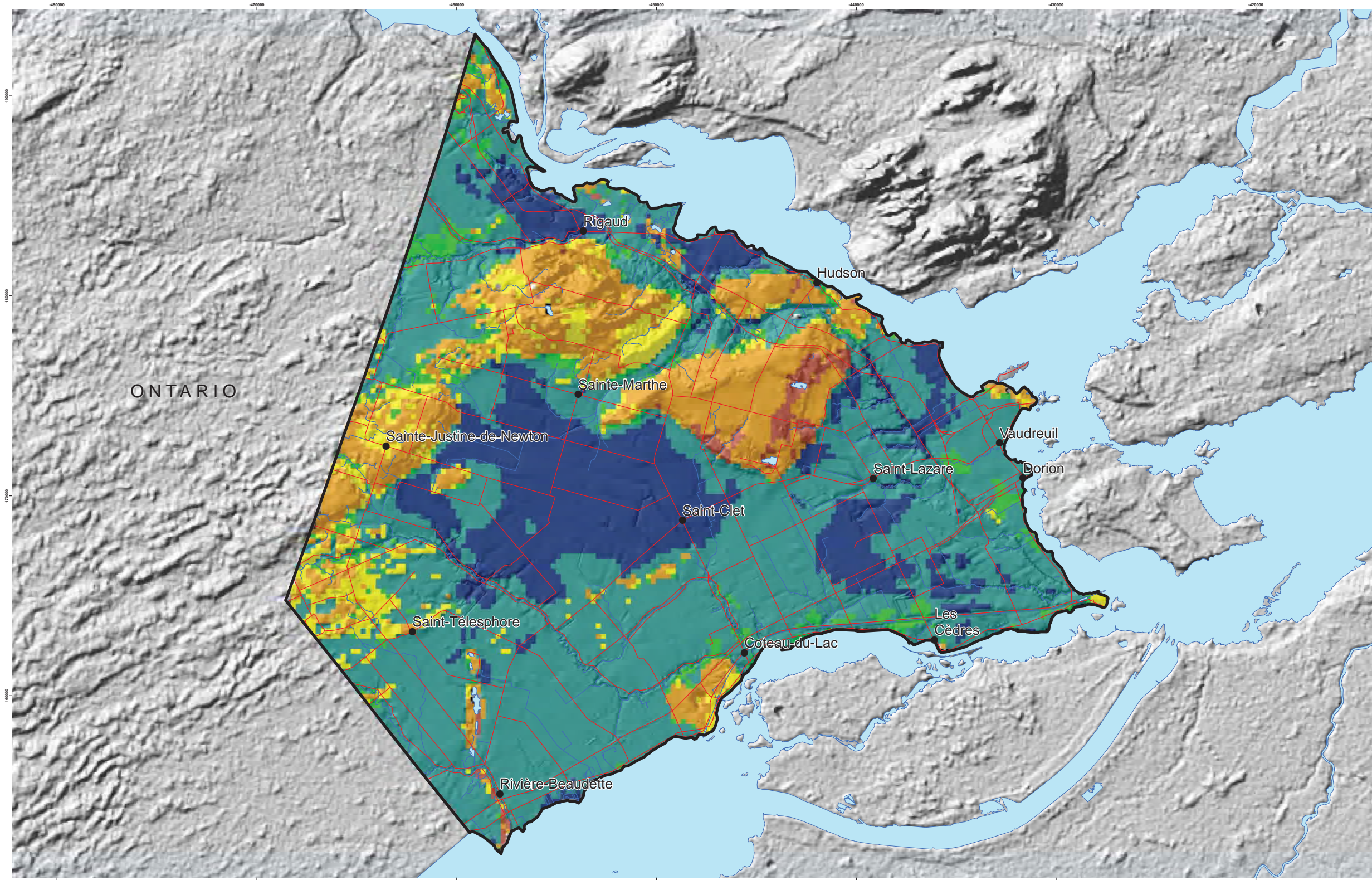


Figure 18 Superficie des classes de vulnérabilité DRASTIC

Il existe un contraste important de vulnérabilité entre la plaine, peu vulnérable, et les principaux reliefs de la zone d'étude (mont Rigaud, complexe des buttes de Saint-Lazare et de Hudson, crêtes de Sainte-Justine-de-Newton) qui présentent une vulnérabilité plus élevée. Dans les secteurs de reliefs, la vulnérabilité DRASTIC est généralement moyenne (indice DRASTIC entre 100 et 180) à élevée (indice DRASTIC de supérieur à 180). Les zones les plus vulnérables sont associées à de faibles profondeurs de la nappe d'eau, des taux de recharge élevés ainsi qu'à des zones vadoses perméables la présence d'aquifères granulaires pour les buttes de Saint-Lazare et de Hudson.

Compte tenu de l'échelle de l'étude et du maillage utilisé pour l'indice DRASTIC (mailles de 250 m), des incertitudes subsistent à l'échelle locale, car les paramètres définissant la vulnérabilité peuvent varier localement en raison de l'hétérogénéité du milieu aquifère. De même, la méthode DRASTIC fournit des informations qualitatives, mais ne peut se substituer aux résultats d'études hydrogéologiques locales permettant d'estimer les aires de protection autour d'un puits. Dans le cadre du RPEP, les études hydrogéologiques réalisées par des consultants permettent ainsi d'estimer les aires de protection bactériologique et virologique, d'estimer ponctuellement la vulnérabilité à l'aide de la méthode DRASTIC à l'emplacement d'un puits, ou spatialement sur les périmètres de protection, et d'identifier les sources potentielles de contamination présentes en surface. Les cartes DRASTIC fournissent néanmoins aux décideurs institutionnels et municipaux une information régionale pertinente permettant d'appréhender les zones plus ou moins vulnérables à la contamination à des fins d'aménagement et de gestion de territoire.



### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- ⊞ Zone d'étude

**Indice DRASTIC**

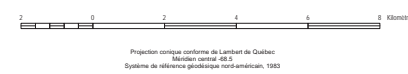
- ≥ 180 (180; seuil indice élevé RPEP\*)
- 125 - 179
- 100 - 124 (100; seuil indice moyen RPEP)
- 75 - 99
- 50 - 74
- < 50

\*RPEP: Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection



MÉTADONNÉES  
Section 5.5 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

**Carte 23 Indice DRASTIC des aquifères  
ZONE VALDIEU-SOULANGES  
QUÉBEC**



SOURCES / RÉALISATION

Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Vulnérabilité des aquifères: UQAM

Réalisation:  
Université du Québec à Montréal



Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/60 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découpant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les études requises pour définir les conditions locales à l'échelle locale et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'intégrité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attaché ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adaptation à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, des conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée:  
Larocque, M., Méthot, G., Charlier, M. A., Gravelle, M. H., Gagné, S., Barrette, D. et Dorion, S. 2015. Projet de cartographie des eaux souterraines de la zone de Valdieu-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MDECC.





## 5.6 Géochimie de l'eau souterraine

Depuis les précipitations, jusqu'à ce qu'elle atteigne la zone saturée et tout au long de l'écoulement dans l'aquifère, l'eau subit des processus successifs qui modifient sa composition. Dans la zone d'étude, les processus hydrogéochimiques sont contrôlés 1) par la dissolution des carbonates contenus dans les tills quaternaires et le roc sédimentaire fracturé des Basses-Terres, 2) par l'échange cationique  $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$  se produisant lors de l'interaction entre l'eau souterraine et la matrice aquifère, 3) par le mélange avec des eaux salées résiduelles de la Mer de Champlain (essentiellement de l'eau chlorurée sodique emprisonnée au sein argiles marines) et 4) par le mélange d'eaux affectées par ces trois premiers processus.

Les types d'eau sont définis en fonction des concentrations en ions majeurs ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) et leur prédominance relative à représenter plus de 50% de la charge de la solution. Les concentrations pour les anions  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{CO}_3^{2-}$  ont été calculées à partir de la mesure de l'alcalinité totale.

Dans le cadre de ce projet, 48 échantillons d'eau souterraine ont été prélevés, soit 40 dans l'aquifère de roc fracturé et huit dans des aquifères granulaires. Les données de 20 puits échantillonnés (11 roc et neuf granulaire) par la Commission Géologique du Canada (Tremblay et Hobson, 1962), ainsi que 17 stations (huit roc et neuf granulaire) provenant de rapport de consultants sont également illustrés à la **figure 19**. Les données des consultants et de la Commission Géologique du Canada ont été prises en compte car elles comportaient l'ensemble des ions majeurs avec une électro-neutralité des échantillons < 10 %. Sur ce total de 85 stations sur la zone d'étude, 54 % proviennent d'eaux peu évoluées et marquées par la recharge moderne (symbole vert sur la **figure 19**). Parmi les eaux de signatures géochimiques de type recharge, le type  $\text{Mg-HCO}_3$  marque la dissolution de matériaux dolomitiques, le type  $\text{Ca-HCO}_3$  marque la dissolution de matériaux carbonatés tandis que les eaux  $\text{Ca-SO}_4$  sont représentatives de la dissolution de gypse. Vingt-huit pourcents des échantillons représentent des eaux ayant subi une évolution depuis la recharge par l'échange cationique  $\text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{Na}^+$  suite à l'interaction de l'eau avec la matrice aquifère et présentent des types  $\text{Na-HCO}_3$  et  $\text{Na-SO}_4$ . Au total, 18 % des échantillons sont des eaux de type  $\text{Na-Cl}$  qui subissent un mélange d'eau évoluées avec une influence saline provenant sans doute des argiles marines de la Mer de Champlain.

La **figure 20** met en évidence les processus d'échange cationique et de mélange intervenant dans l'eau souterraine. Les eaux subissant l'échange cationique se caractérisent par un excès de  $\text{Na}^+$  comparativement au  $\text{Cl}^-$  et se trouvent au-dessus de la droite  $\text{Na}=\text{Cl}$ . Les eaux de type  $\text{Na-Cl}$  ont subi une influence marine et suivent l'extrémité supérieure de la droite  $\text{Na}=\text{Cl}$ . Les eaux les plus minéralisées résultent d'un mélange entre les eaux évoluées avec des eaux marines.

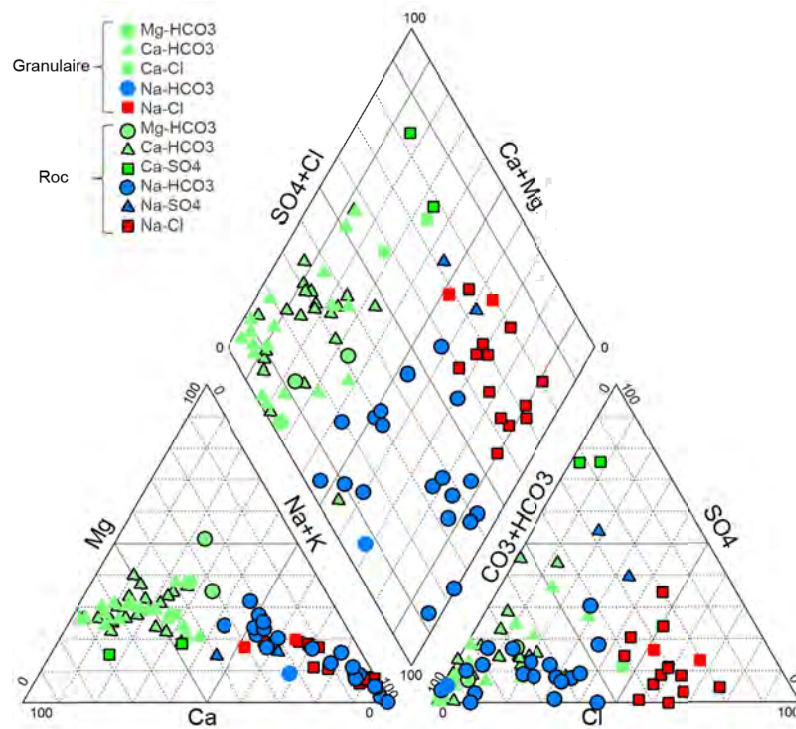


Figure 19 Diagramme de Piper pour les eaux souterraines de la zone d'étude

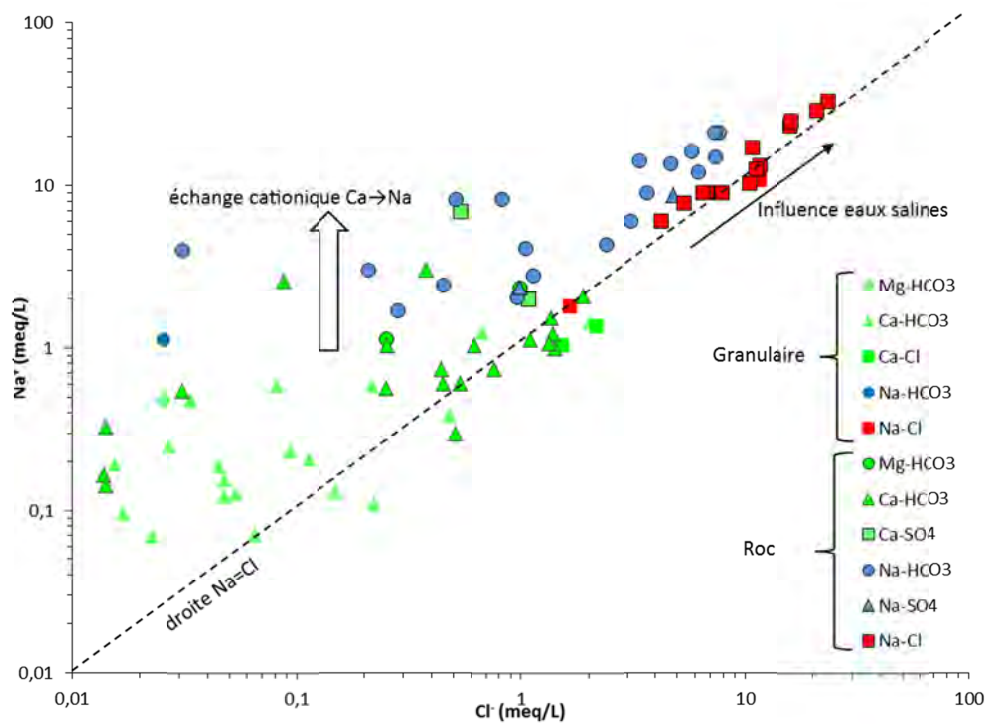


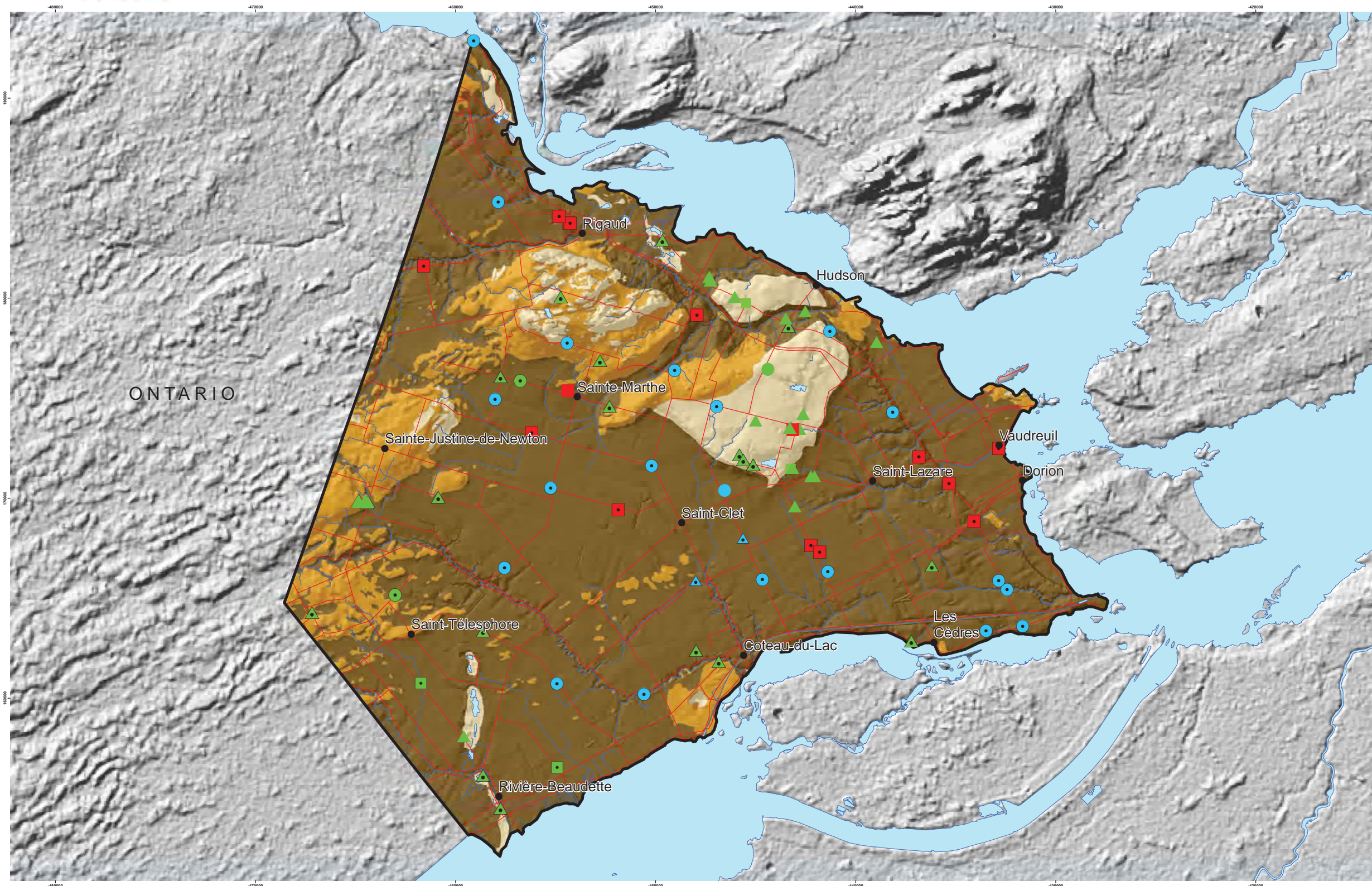
Figure 20 Relation  $Na^+/Cl^-$  dans les eaux souterraines dans la zone d'étude

La répartition des eaux de type recharge (**Carte 24**) correspond bien avec les zones d'aquifère libres, soit pour le complexe des buttes de Saint-Lazare, le sommet du mont Rigaud, ainsi que l'esker de Saint-Télesphore/rivière Beaudette. Pour le contexte semi-captif des crêtes de till situées à l'ouest, l'eau retrouvée est essentiellement de type recharge, suggérant ici que bien qu'en contexte semi-captif, la grande superficie représentée par les crêtes de till participe significativement et régionalement à la recharge au roc. D'une manière générale, on observe une influence étendue des zones de recharge à l'intérieur de la plaine argileuse bien qu'à ces endroits, le contexte hydrogéologique soit strictement captif pour les aquifères granulaire et les aquifères de roc fracturés. Il est possible de retrouver des eaux évoluées mais non saumâtres à des distance de 3 à 5 km des zones de recharge, suggérant une circulation relativement rapide de l'eau sous les argiles du fait de la présence de roc ayant une bonne conductivité hydraulique, ou de la présence de sables captifs. Les eaux saumâtres se retrouvent cependant toujours dans les conditions captives, la plupart du temps loin des zones de recharge, et reflètent l'influence des argiles marines.

#### **5.6.1 Isotopes stables de l'eau ( $^2\text{H}$ et $^{18}\text{O}$ )**

Sur la **figure 21**, les échantillons les plus appauvris correspondent aux précipitations hivernales tandis que les plus enrichis correspondent aux précipitations estivales. Les compositions isotopiques obtenues pour l'eau souterraine s'alignent sur la droite des eaux météoriques. Ceci indique que l'évaporation de l'eau des précipitations préalablement à son infiltration et dans le sol et la nappe est négligeable. Un seul point s'éloigne de la droite et pourrait témoigner d'une évaporation post-échantillonnage. La composition isotopique de l'eau souterraine est appauvrie par rapport à la moyenne pondérée des précipitations. Ceci reflète le fait que l'eau souterraine est principalement renouvelée lors des périodes de fonte printanières et les pluies automnales qui génèrent des eaux d'infiltration plus appauvries que les précipitations liquides de la période estivale. Les résultats d'analyses isotopiques de l'eau porale prélevée à la zone non saturée de l'esker de Saint-Télesphore/rivière Beaudette sont présentés à l'**annexe 16**.





### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- 🗺️ Zone d'étude

#### Indice de confinement

- Nappe libre
- Nappe semi-captive
- Nappe captive

#### Type d'eau souterraine - Granulaire

##### Peu évoluée, recharge

- Mg-HCO<sub>3</sub> (n=1)
- ▲ Ca-HCO<sub>3</sub> (n=20)
- Ca-Cl (n=2)

##### Evoluée, semi captif et captif

- Na-HCO<sub>3</sub> (n=1)

##### Strictement captif

- Na-Cl (n=2)

#### Type d'eau souterraine - Roc

##### Peu évoluée, recharge

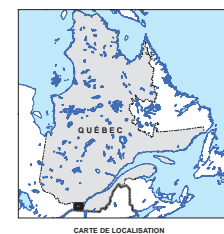
- Mg-HCO<sub>3</sub> (n=2)
- ▲ Ca-HCO<sub>3</sub> (n=22)
- Ca-SO<sub>4</sub> (n=2)

##### Evoluée, semi captif et captif

- Na-HCO<sub>3</sub> (n=19)
- ▲ Na-SO<sub>4</sub> (n=2)

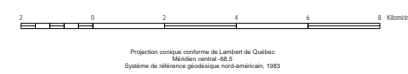
##### Strictement captif

- Na-Cl (n=13)



MÉTADONNÉES  
Section 5.6 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

**Carte 24 Types d'eaux souterraines**  
**ZONE VAUDREUIL-SOULANGES**  
QUÉBEC



SOURCES / RÉALISATION

Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MRN 20K, UQAM  
Indice de confinement: UQAM

Réalisation:  
Université du Québec à Montréal



Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/50 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les données requises pour définir les conditions locales à l'exactitude ou à l'intégrité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attaché ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adoption à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, des conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée:  
Larocque, W., Méthot, G., Charlier, M. A., Gravelle, M. H., Gagné, S., Barreche, D. et Dorion, S. 2015. Projet de cartographie des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MDECC.



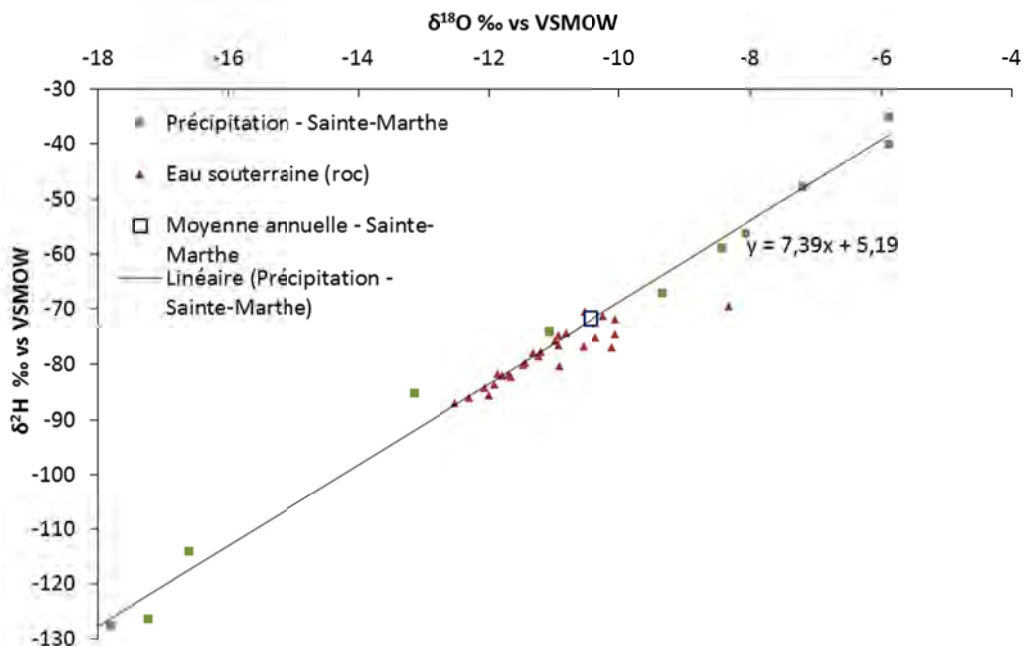


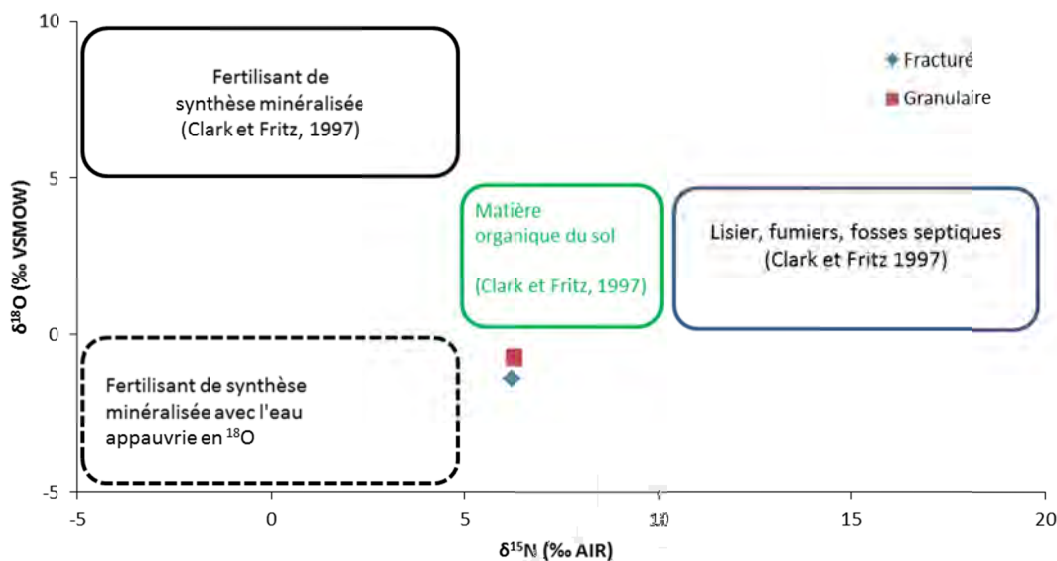
Figure 21 Composition isotopique de l'eau dans la zone d'étude

### 5.6.2 Isotopes stables des nitrates ( $^{18}\text{O}$ et $^{15}\text{N}$ )

La composition en isotopes stables des nitrates dans les eaux souterraines permet d'identifier la source de l'azote (fertilisant chimique, amendement organique ou système septique), et parfois de mettre en évidence la présence de dénitrification (Verstraeten et al., 2005). La dénitrification biologique induit un fractionnement isotopique menant à l'enrichissement des nitrates résiduels en  $^{15}\text{N}$ . Les nitrates formés par voie biologique associent un atome d'oxygène en provenance de l'air et les deux autres à partir de l'eau (Hollocher, 1984). La composition isotopique de l'oxygène dans l'ion nitrate peut être appauvrie lorsque celui-ci s'est formé au contact avec de l'eau souterraine ayant une composition appauvrie en  $^{18}\text{O}$ . Les nitrates formés par voie de synthèse ont quant à eux trois atomes d'oxygène provenant de l'air, donc ayant une composition isotopique similaire à celle de l'air. Cette différence peut amener un contraste marqué entre les nitrates formés chimiquement et ceux obtenus par voie biologique. Cependant, dans un fertilisant chimique sous forme de nitrate d'ammonium ( $\text{NO}_3\text{-NH}_4$ ), l'ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) peut subir de la nitrification dans l'eau souterraine, ce qui peut contribuer à un appauvrissement relatif en  $^{18}\text{O}$  des nitrates formés.

La **figure 22** présente la composition isotopique des nitrates détectés pour les deux échantillons ayant montré des concentrations supérieures à 2 mg N- $\text{NO}_3$ /L, ainsi que les gammes typiques des compositions isotopiques concernant différentes sources de nitrates (Clark et Fritz, 1997). Le  $\delta^{18}\text{O}$  des nitrates varie en fonction de la composition isotopique de l'eau souterraine, laquelle est dans le cas présent toujours inférieure à -10 ‰. La composition isotopique des nitrates typiquement définie par Clark et Fritz (1997) pour les fertilisants de synthèse pourraient ainsi avoir des compositions isotopiques en  $^{18}\text{O}$  plus

basses lorsque des nitrates sont formés dans l'eau souterraine (zone en pointillés à la **figure 22**). Dans ces conditions, les nitrates détectés sur la zone d'étude proviendraient plutôt de fertilisants chimiques ayant au départ une composition en  $^{18}\text{O}$  appauvrie. Comme les mesures isotopiques sont seulement disponibles sur deux échantillons, il n'est pas possible d'observer un enrichissement simultané en  $^{18}\text{O}$  et en  $^{15}\text{N}$  des nitrates qui aurait permis de vérifier la présence de dénitrification.



**Figure 22** Isotopes des nitrates sur la zone d'étude pour  $\text{N-NO}_3 > 2 \text{ mg N-NO}_3/\text{L}$

### 5.6.3 Gaz rares

Dans le cadre du projet PACES de Vaudreuil-Soulanges, les travaux sur les gaz rares ont été rattachés au projet de doctorat de Pauline Méjean visant à quantifier différents âges pour l'eau souterraine. Les travaux de Pauline Méjean ont été présentés aux congrès de *l'Annual meeting of Geochemical Society of Japan* en 2014 (Méjean et al., 2014) et seront présentés au congrès de l'AGU en mai 2015 (Méjean et al., 2015). Ces publications se trouvent à l'**annexe 3**.

Afin de différencier les sources d'eau présentes dans les aquifères étudiés et déterminer les temps de résidence des eaux souterraines nous avons analysé dans 16 échantillons les concentrations en gaz rares élémentaires He, Ne, Ar, et celles de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2$  ainsi que leurs compositions isotopiques  $R = {}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$  a été obtenu sur seulement 1 échantillon). Couplées aux teneurs en  ${}^3\text{He}$  et de tritium mesurés au « *Environmental Isotope Laboratory* » de l'Université de Waterloo, 10 âges  ${}^3\text{H}/{}^3\text{He}$  ont pu être calculés. Six échantillons contenaient des teneurs en  ${}^3\text{H}$  inférieures à la limite de détection (0.8 TU) indiquant des âges de l'eau supérieurs à la limite de la méthode  ${}^3\text{H}/{}^3\text{He}$ , soit 60 ans.

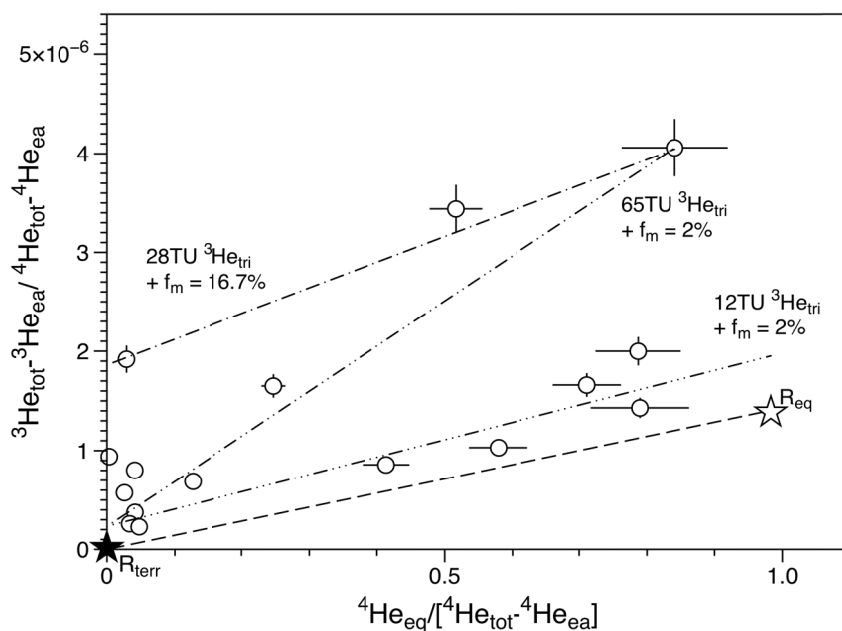
La **figure 23** est un diagramme de Weise (Weise et Moser, 1987) permettant de définir les différentes sources d'hélium dans l'eau et donc pouvoir séparer les trois composantes



principales de l'hélium: l' $^3\text{He}$  produit par la décroissance du tritium ( $^3\text{He}_{\text{tri}}$ ), l'hélium atmosphérique ( $^{3,4}\text{He}_{\text{eq}}$ ) dissout à la recharge et l'hélium terrigénique ( $^{3,4}\text{He}_{\text{terr}}$ ) produit par la décroissance de l'U et Th dans la matrice aquifère (hélium crustal) ou provenant du manteau terrestre (hélium mantélique). Dans ce diagramme, les rapports isotopiques de l'hélium ( $R=^3\text{He}/^4\text{He}$ ) ont été corrigés d'excès d'air ( $^{3,4}\text{He}_{\text{ea}}$ ) produit par de la contamination accidentelle de l'échantillon lors du prélèvement ou liés à des phénomènes de dissolution partielle de l'hélium atmosphérique dans la zone non saturée (e.g. Aeschbach-Hertig et al., 1999; Mercury et al., 2004). Les eaux souterraines du bassin de versant de Vaudreuil-Soulanges ont des rapports  $^3\text{He}/^4\text{He}$  ( $R/R_a$  corrigés de la composante « ea ») entre 0.18 et 2.33 qui soulignent la présence d'excès en  $^3\text{He}$  et  $^4\text{He}$  par rapport à la composition isotopique d'hélium dissous dans les eaux en équilibre avec l'atmosphère ( $R_{\text{eq}} = 0.983$ , **figure 23**).

Le diagramme de Weise (**Figure 23**) permet de distinguer l'enrichissement en  $^3\text{He}$  et en  $^4\text{He}$  provenant de sources crustale et mantélique induits par des longs temps de séjour pour ces eaux souterraine dans l'aquifère fracturé.

Dans le diagramme de Weise, les échantillons d'eaux souterraines VS104, VS107 et VS102 ont des compositions isotopiques et élémentaires de l'hélium proches de  $R_{\text{eq}}$  (**Figure 23**). Ces eaux sont celles de la zone de recharge de mont Rigaud. Les âges  $^3\text{H}/^3\text{He}$  pour ces trois échantillons varient entre 9.1 et 22.0 ans. L'échantillon prélevé dans le roc à l'emplacement de la butte de Saint-Lazare (VS105; zone de recharge) montre des rapports isotopiques  $^3\text{He}/^4\text{He}$  de 2.23 ce qui indique une importante quantité d'hélium tritiogénique. Son âge  $^3\text{H}/^3\text{He}$  est  $44.1 \pm 4.1$  ans, indiquant que la recharge dans ce secteur est plus lente que dans celui du mont Rigaud.

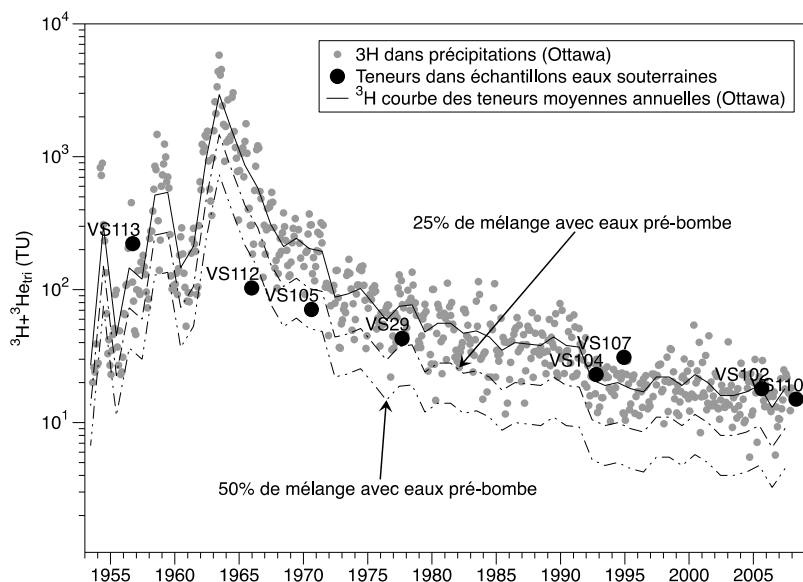


**Figure 23** Graphique de Weise représentant les pôles isotopiques des sources d'hélium

Tous les autres échantillons sont déplacés vers le coin inférieur gauche désigné  $R_{terr}$  (**Figure 23**) avec des enrichissements progressifs en hélium terrigénique indiquant la présence d'eaux fossiles ou ayant un temps de résidence suffisamment élevé leur permettant d'accumuler significativement de l'hélium. Les échantillons VS29, VS111 et VS113 contiennent des quantités de  $^4\text{He}$  qui sont variables mais qui représentent 40 fois la valeur atmosphérique. Les échantillons en plaine et dans le couloir de Sainte-Marthe (VS103, VS108, VS113) sont enrichis à la fois en  $^4\text{He}$  et  $^3\text{He}$  (gauche du diagramme de Weiss) et suggèrent un enrichissement de 2 à 17 % de l'hélium mantellique (**Figure 23**). Des anomalies similaires ont également été observées dans des échantillons du bassin de la rivière Nicolet (jusqu'à 8 % d'hélium mantellique) (Saby et al., 2015) mais elles sont absentes dans les bassin plus lointains comme le secteur Bécancour (Vautour et al., 2015). Ces anomalies pourraient être reliées aux nombreuses intrusions magmatiques associées à la mise en place des intrusions montérégiennes. Des quantités de  $^3\text{He}$  d'origine mantellique sont encore présentes dans les minéraux de ces intrusions (Sasada et al., 1997) et le lessivage de ces intrusions par les eaux souterraines favoriserait la mise en solution de cet hélium mantellique. Il faut noter que les échantillons contenant ces anomalies sont aussi ceux qui présentent d'importantes quantités d'hélium radiogénique, donc des eaux qui ont résidé longtemps dans l'aquifère fracturé et qui peuvent avoir eu le temps d'accumuler cet hélium. Les âges  $^3\text{H}/^3\text{He}$  de ces échantillons varient entre 48.8 ans à plus de 60 ans (limite de la méthode).

En résumé, les âges  $^3\text{H}/^3\text{He}$  plus jeunes, entre 9 et 44 ans, proviennent d'eaux prélevées dans les zones de recharge identifiées dans de récents travaux (Larocque et Meyzonat, 2014) à savoir le mont Rigaud et la butte de Saint-Lazare. Autour de ces zones de recharge dans les formations de l'ordovicien inférieur, les âges calculés augmentent graduellement de même que les aquifères passent en condition confinée vers le nord et vers le sud. La limite d'utilisation de la méthode  $^3\text{H}/^3\text{He}$  souligne la présence d'eaux infiltrées avant le début des essais nucléaires et se situent parfois à moins de 10 km de la zone de recharge ce qui peut souligner une circulation très lente dans certains secteurs.

La **figure 24** permet d'apprécier les teneurs totales en  $^3\text{He}_{tri}$  (calculées à partir de  $^3\text{He}_{total}$ ) additionnées au  $^3\text{H}_{initial}$  en fonction du temps. Sur ce graphique sont également reportées les teneurs en  $^3\text{H}$  contenu dans les eaux météoriques (Station d'Ottawa, 1950-2015)(IAEA/WMO, 2004). Lorsque les points sont confondus avec les valeurs des précipitations, le  $^3\text{He}$  mesuré provient intégralement du  $^3\text{H}$  contenu dans l'atmosphère au moment de l'infiltration des eaux. Certains des points sont marqués par un déficit en  $^3\text{H}$  par comparaison aux valeurs des précipitations : cela implique un mélange avec des eaux plus anciennes (anté-1950) qui n'ont pas été affectées par les essais thermonucléaires. Les échantillons VS29 et VS105 (puits profonds respectivement pour le mont Rigaud et pour la butte de Saint-Lazare) contiennent 25 % d'eau ancienne (pré-bombe) alors que VS112 (entrée du couloir de Sainte-Marthe, en contexte captif) contient jusqu'à 50 % d'eau ancienne.



**Figure 24** Comparaison entre les teneurs initiales en  $^3\text{H}$  et  $^3\text{He}$  dans les échantillons d'eaux souterraines et celles mesurées dans les précipitations atmosphériques (IAEA, Ottawa).

#### 5.6.4 Radon

Les 34 échantillons d'eaux souterraines prélevés pour l'analyse du radon représentent les aquifères fracturés tandis que l'échantillonnage des eaux de surface a ciblé la rivière à la Raquette (26 stations). Dans l'eau souterraine, la distribution de l'activité du radon est très influencée par nature du roc. Les valeurs les plus élevées ont été mesurées aux abords du mont Rigaud (environ 100 Bq/L) avec un maximum à 381 Bq/L à son sommet, alors que pour les roches ordoviciennes, l'activité du radon est de l'ordre de 20 Bq/L, car ces roches sédimentaires ordoviciennes ne sont pas propices à générer du radon (**Figures 25 et 26**). L'activité du  $^{222}\text{Rn}$  est naturellement plus faible dans les eaux de surface par rapport aux eaux souterraines et varie de 91 à 3900 mBq/L, des ordres de grandeur 100x plus petites que celles retrouvées dans les eaux souterraines. Les fortes activités en radon dans les rivières ont été observées dans les zones où le roc affleure. Elles sont dues à des résurgences d'eau souterraine riche en radon provenant de l'aquifère fracturé.

Dans les six premiers kilomètres de la rivière à la Raquette (**Figure 27**), le radon et le débit sont tous les deux faibles et relativement stables. À une distance d'environ 6,5 km de l'amont, le débit et les activités en radon augmentent très graduellement. La variation de débit est due à l'arrivée consécutive de trois petits tributaires. À 10 km, les débits et les activités en radon augmentent très fortement sur une courte distance qui correspond à l'endroit où la rivière commence à couler sur du sable et où la rivière est encaissée dans un chenal. Le reste de la rivière présente un patron de décroissance exponentielle de l'activité du radon, mais le débit de la rivière augmente graduellement.

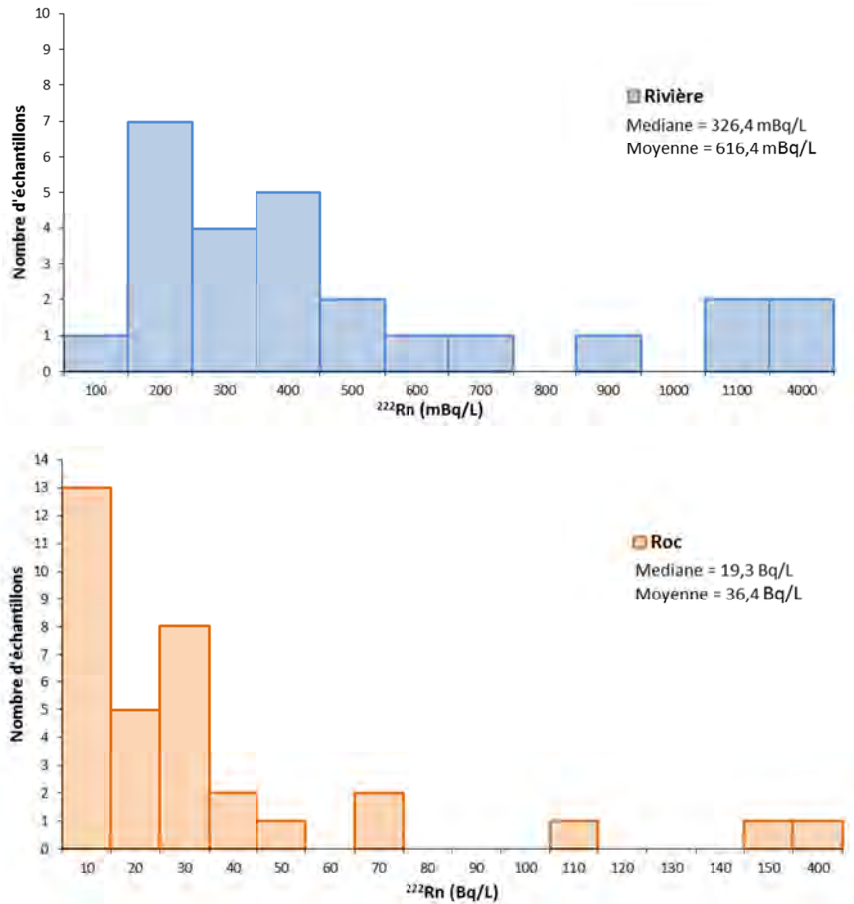


Figure 25 Activité en <sup>222</sup>Rn pour le roc et pour l'eau de rivière

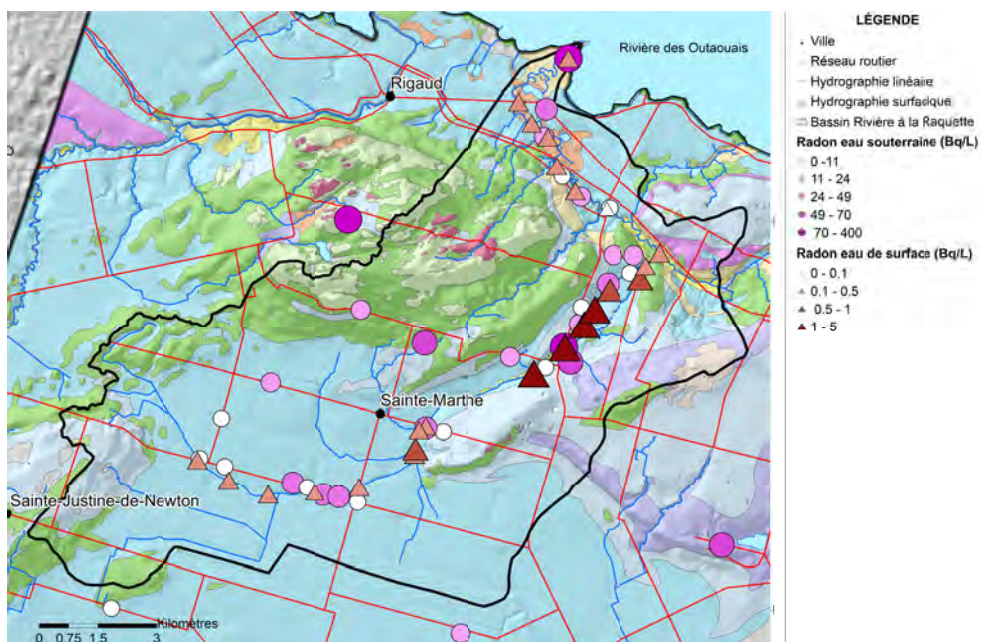
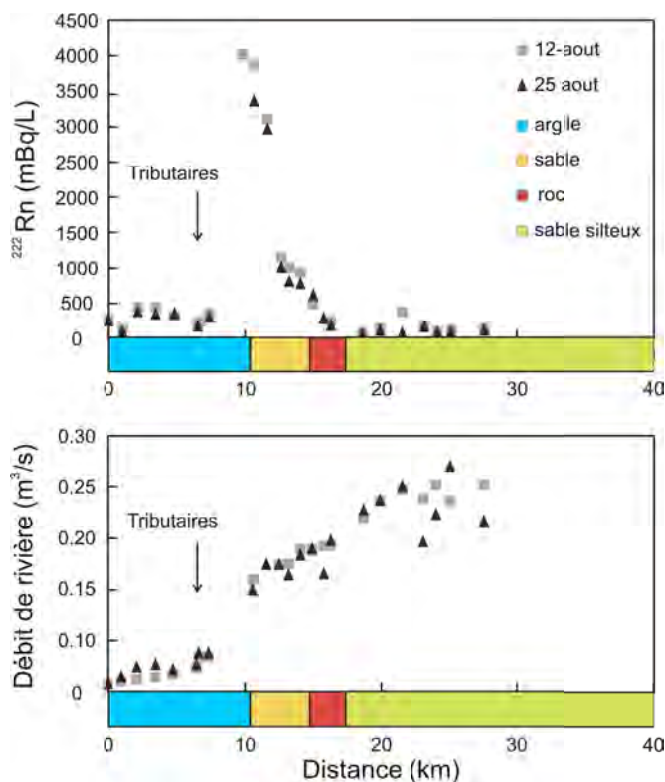


Figure 26 Échantillonnage du radon sur le bassin versant de rivière à la Raquette

Pour la première section de la rivière (de 0 à 6,5 km), les résultats de mesure de radon supposent de faibles apports d'eau souterraine à la rivière (apports inférieurs à  $0,3 \text{ m}^3/\text{j}/\text{m}$ ). La forte augmentation à 10 km est très bien représentée avec un flux d'eau souterraines de  $2,3 \text{ m}^3/\text{j}/\text{m}$ . La pente descendante qui suit se représente par des apports d'eau souterraines d'environ  $0,5 \text{ m}^3/\text{j}/\text{m}$ . Dans cette section de la rivière, le dégazage du radon serait supérieur à la quantité apporté par les eaux souterraines, ce qui induit une diminution des activités en radon bien que le débit augmente sensiblement. Les fluctuations des valeurs de débits dans cette section peuvent être expliquées par la présence de carrières de sables (autour du  $25^{\text{e}}$  km), dans lesquelles les niveaux piézométriques sont souvent supérieurs aux niveaux dans la rivière. Une meilleure connaissance des processus et échanges de cette zone pourrait permettre une meilleure simulation.



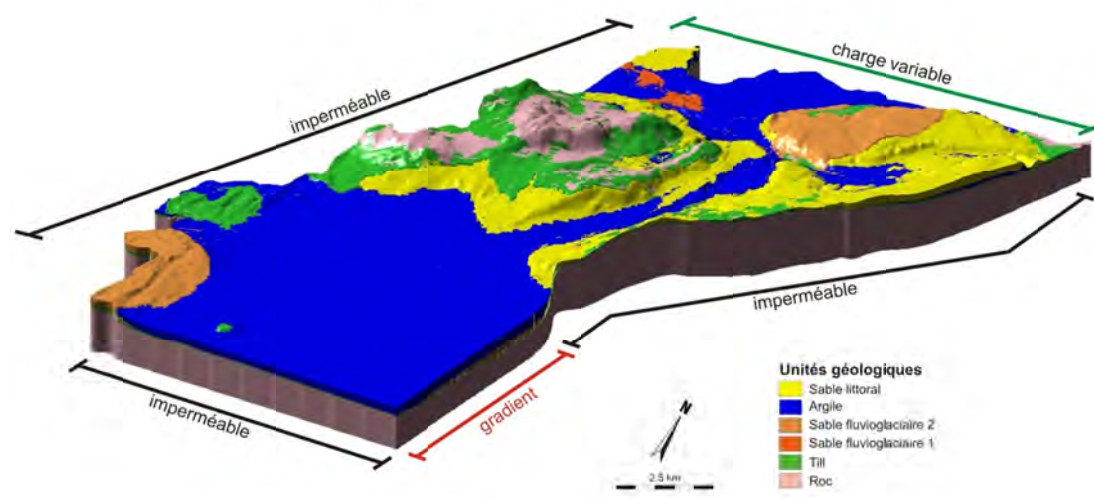
**Figure 27** Activités mesurées et simulées du radon en fonction du débit et de la nature des sédiments du lit de la rivière à la Raquette

## 5.7 Modélisation couplée des échanges rivière-aquifère

La modélisation des écoulements souterrains sur une partie de la zone d'étude a été réalisée par Félix Turgeon dans le cadre de son projet de Maîtrise en science de la Terre (Turgeon, 2015). L'objectif de ce travail était d'évaluer la contribution relative des apports d'eau souterraine dans la rivière à la Raquette en utilisant des données de terrain et un modèle hydrologique entièrement couplé MikeSHE (Refsgaard et Storm, 1995). L'avancement de ce travail a été présenté au congrès de l'AIH en octobre 2013 (Turgeon et al., 2013), au congrès du GÉOTOP en mars 2014 (Turgeon et al., 2014) et seront présentés sous forme d'affiche dans le cadre du congrès de l'AGU 2015 à Montréal (Turgeon et al., 2015). Les résumés de ces présentations sont présentés à l'**annexe 3**.

La modélisation est basée sur toutes les données existantes et principalement sur les données issues du projet PACES-Vaudreuil Soulanges, soit les données piézométriques relevées manuellement, les séries temporelles piézométriques des trois puits (F1, PO-4 et PO-5) et des deux piézomètres (CPT-1 et CPT-5) instrumentés pour le secteur, les stations limnimétriques, ainsi que les mesures ponctuelles et en continu des débits réalisés sur la rivière à la Raquette (voir **section 3.2**).

Un modèle géologique conceptuel 3D du bassin a été développé à l'aide du logiciel GMS v9.1 (Aquaveo, 2014) et cinq coupes topo-géologiques ont été tracées (**Figure 28**). Le modèle MikeSHE du bassin de la rivière à la Raquette a été discrétisé horizontalement en cellule de 100 m x 100 m et verticalement en dix couches numériques d'épaisseur variable. La topographie a été déterminée au moyen des données LiDAR (GéoMont, 2011) et le modèle est limité en profondeur à -100 m sous le niveau de la mer. La superficie totale du modèle est 160 km<sup>2</sup>.



**Figure 28** Modèle géologique conceptuel GMS et les conditions limites utilisées dans le modèle couplé Mike SHE (Exagération verticale x7).

Les conditions limites du modèle MikeSHE ont été définies en fonction des écoulements souterrains. Dans la plaine au sud du mont Rigaud, une limite de gradient (0,003 m/m) a été placée perpendiculairement à l'écoulement souterrain dirigé vers le SE. La limite en bordure de la rivière des Outaouais a été représentée par une limite à charge variable pour les quatre couches numériques superficielles, alors qu'une limite imperméable a été utilisée pour les six couches en profondeur. La série journalière du niveau de la rivière des Outaouais provient des enregistrements en aval du barrage de Carillon (HydroQuébec, 2014) et au lac des Deux-Montagnes (HYDAT, 2014). Ailleurs, les limites du modèle sont imperméables.

Puisque le processus de fonte n'a pas été représenté dans le modèle MikeSHE, la chronique de précipitation a été remplacée par la chronique des apports verticaux (AV) issue de la calibration du bilan hydrique MOHYSE du bassin de la rivière à la Raquette (voir la **section 5.3.2**). Avant d'être utilisée comme intrant au modèle Mike SHE, la chronique des AV a été réduite par les quantités d'évapotranspiration réelle (ETr) calculées du bilan MOHYSE :

$$AV_{nets_i} = \begin{cases} AV_{j_i} \cdot \left( \frac{AV_i - ETr_i}{AV_i} \right) & \text{si } AV_i > ETr_i \\ 0 & \text{si } AV_i \leq ETr_i \end{cases} \quad (\text{Équation 2})$$

Où

AVnets = Apports verticaux journaliers utilisés dans le modèle [L];

AVj = Apports verticaux journaliers [L];

AV = Apports verticaux mensuels [L];

ETr = Évapotranspiration réelle mensuelle [L] ;

i = pour le i<sup>ème</sup> mois.

Les processus d'écoulement en zone saturée et de ruissellement de surface ont été couplés avec le module d'écoulement en rivière (Mike 11; Havnø et al., 1995). La rivière à la Raquette et les trois principaux tributaires ont été numérisés dans Mike 11 alors que les ruisseaux ont été représentés par des cellules drainantes. Puisque le module d'écoulement en zone non-saturée n'a pas été sélectionné, une formulation algébrique simple a été utilisée pour décrire la recharge : une fraction de l'eau précipitée est dirigée vers le milieu saturé, alors que l'autre portion ruisselle à la surface. Les fractions d'infiltration ont été distribuées spatialement en fonction de la géologie de surface. La simulation en transitoire s'étale sur deux années hydrologiques, soit du 1<sup>er</sup> novembre 2012 au 31 octobre 2014 et selon un pas de temps journalier.

Les paramètres utilisés lors du calage sont les propriétés hydrauliques des matériaux ( $K_n$ ,  $K_v$ ,  $S_y$  et  $S_s$ ), le coefficient d'échange nappe-rivière, la constante de drainage des cellules drainantes, le coefficient de rugosité associé au ruissellement et les fractions d'infiltration. Les intervalles utilisés pour le calage ont été définis en fonction des gammes de valeurs

disponibles sur le secteur le Vaudreuil-Soulanges, ainsi que des valeurs trouvées dans la littérature (**Tableau 20**).

Le modèle a été calé de manière à représenter les données enregistrées aux trois stations hydrométriques en rivière (voir **section 3.2.7**), aux cinq sondes à niveaux d'eau souterraine dans les puits instrumentés (CPT-1, CPT-5, F1, PO-4 et PO-5), ainsi qu'avec 154 relevés de niveaux d'eau effectués dans des puits résidentiels sur le bassin versant de la rivière à la Raquette. Les charges hydrauliques ont été adéquatement calées (erreur moyenne quadratique de 8,77 m; **figure 29**), de même que les écoulements en rivière (coefficient de Nash-Sutcliffe de 0,62 à 0,75; **figure 30**).

Dans la plaine au nord du mont Rigaud, les niveaux piézométriques varient en fonction du type de condition limite utilisé pour la rivière des Outaouais. La représentation simplifiée des processus d'évapotranspiration et d'infiltration sont susceptibles d'avoir engendré la sous-estimation des débits de crue. Le modèle couplé parvient à simuler les apports d'eau souterraine dans le couloir de Sainte-Marthe. En période d'étiage, les flux simulés sont près du double de ceux mesurés en raison des charges hydrauliques surestimées dans la partie aval ce qui accentue l'apport d'eau souterraine. La **figure 31** présente les débits de base mensuels des zones amont (en amont de la station 3), centrale (entre les stations 2 et 3) et aval (entre les stations 1 et 2). Comparativement aux débits de base mensuels d'Eckhardt, les débits de base simulés sont plus faibles et varient peu lors des épisodes de pluie ou de fonte. La figure montre aussi qu'une majorité des débits de base provient de la zone centrale, ce qui correspond au secteur marqué par le couloir de Sainte-Marthe. Au total, environ 39 % de l'eau de recharge est drainé par les cours d'eau de surface (rivière à la Raquette, tributaires et ruisseaux).

Comparativement au bilan hydrique MOHYSE, le modèle MikeSHE permet de représenter les processus hydrologiques de façon distribuée au sein du bassin versant. Le modèle MikeSHE pourra être utilisé comme outil de prédiction pour divers scénarios (e.g. aménagement du territoire ou de changements climatiques) susceptibles de modifier les conditions hydrologiques du bassin de la rivière à la Raquette. Les lignes pointillées représentent  $\pm 5$  m d'écart et l'histogramme de fréquence illustre la répartition des erreurs.



Tableau 20 Paramètres calés du modèle MikeSHE

| <i>Propriétés hydrauliques</i>     | <i>Valeurs calées</i> |                       | <i>Intervalles de calibration</i>          |   |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|--|---|
| Conductivités hydrauliques (m/s)   | $K_h$                 | $K_v$                 | Horizontal ( $K_h$ )*                      | Vertical ( $K_v$ )                        |
| Sable indifférencié                | $3.0 \times 10^{-5}$  | $3.0 \times 10^{-6}$  | $7.0 \times 10^{-6} - 7.4 \times 10^{-3}$  | $K_v = 0.1 * K_h$                         |
| Till glaciaire                     | $1.0 \times 10^{-6}$  | $1.0 \times 10^{-7}$  | $3.5 \times 10^{-7} - 1.1 \times 10^{-4}$  | $K_v = 0.1 * K_h$                         |
| Argile                             | $5.0 \times 10^{-8}$  | $5.0 \times 10^{-9}$  | $1.6 \times 10^{-10} - 9.7 \times 10^{-8}$ | $K_v = 0.1 * K_h$                         |
| R. Ignée                           | $1.6 \times 10^{-7}$  | $1.6 \times 10^{-8}$  | $1.0 \times 10^{-6} - 8.3 \times 10^{-5}$  | $K_v = 0.1 * K_h$                         |
| R. sédimentaire                    | $1.4 \times 10^{-4}$  | $1.4 \times 10^{-5}$  | $1.1 \times 10^{-7} - 1.2 \times 10^{-4}$  | $K_v = 0.1 * K_h$                         |
| Paramètres d'emmagasinement        | $S_y$                 | $S_s$                 | Porosité de drainage                       | Coef. d'emmagasinement spécifique         |
| Sable indifférencié                | 0.25                  | $3.0 \times 10^{-4}$  | 0.10 - 0.35                                | $1.0 \times 10^{-5} - 1.0 \times 10^{-4}$ |
| Till glaciaire                     | 0.025                 | $1.0 \times 10^{-6}$  | 0.06 - 0.16                                | $1.0 \times 10^{-5} - 1.0 \times 10^{-3}$ |
| Argile                             | 0.025                 | $1.0 \times 10^{-4}$  | 0.00 - 0.05                                | $1.0 \times 10^{-4} - 1.0 \times 10^{-2}$ |
| R. Ignée                           | 0.05                  | $1.0 \times 10^{-5}$  | 0.01 - 0.05                                | $1.0 \times 10^{-7} - 1.0 \times 10^{-5}$ |
| R. sédimentaire                    | 0.05                  | $1.0 \times 10^{-6}$  | 0.18 - 0.30                                | $1.0 \times 10^{-7} - 1.0 \times 10^{-5}$ |
| <i>Paramètres divers</i>           | <i>Catégorie</i>      | <i>Valeurs calées</i> | <i>Intervalles de calibration</i>          |   |
| Fraction d'infiltration            | Sable                 | 0.70                  | 0.44 - 0.66                                |   |
|                                    | Till                  | 0.42                  | 0.33 - 0.51                                |   |
|                                    | Argile                | 0.05                  | 0.03 - 0.07                                |   |
|                                    | Roc indifférencié     | 0.60                  | 0.66 - 0.89                                |   |
| Ruissellement                      | Forêt                 | 1.7                   | 1 - 40                                     |   |
| Coefficient de Manning             | Zone agricole         | 15                    |  |   |
| Coefficient d'échange ( $s^{-1}$ ) |                       | $7 \times 10^{-7}$    | $3.9 \times 10^{-7} - 1.4 \times 10^{-3}$  |   |
| Constante de drainage ( $s^{-1}$ ) |                       | $5 \times 10^{-6}$    | $1 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-5}$      |   |

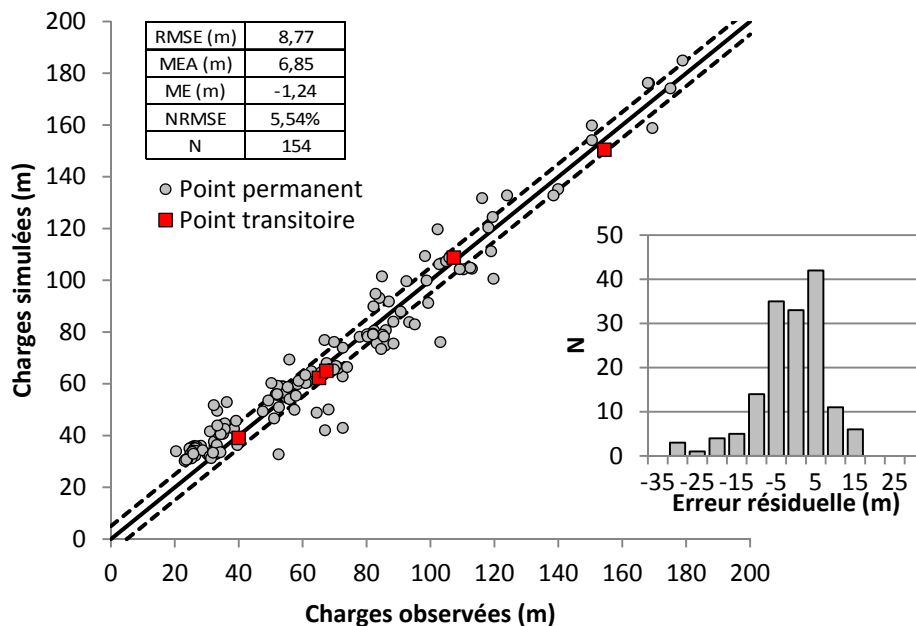
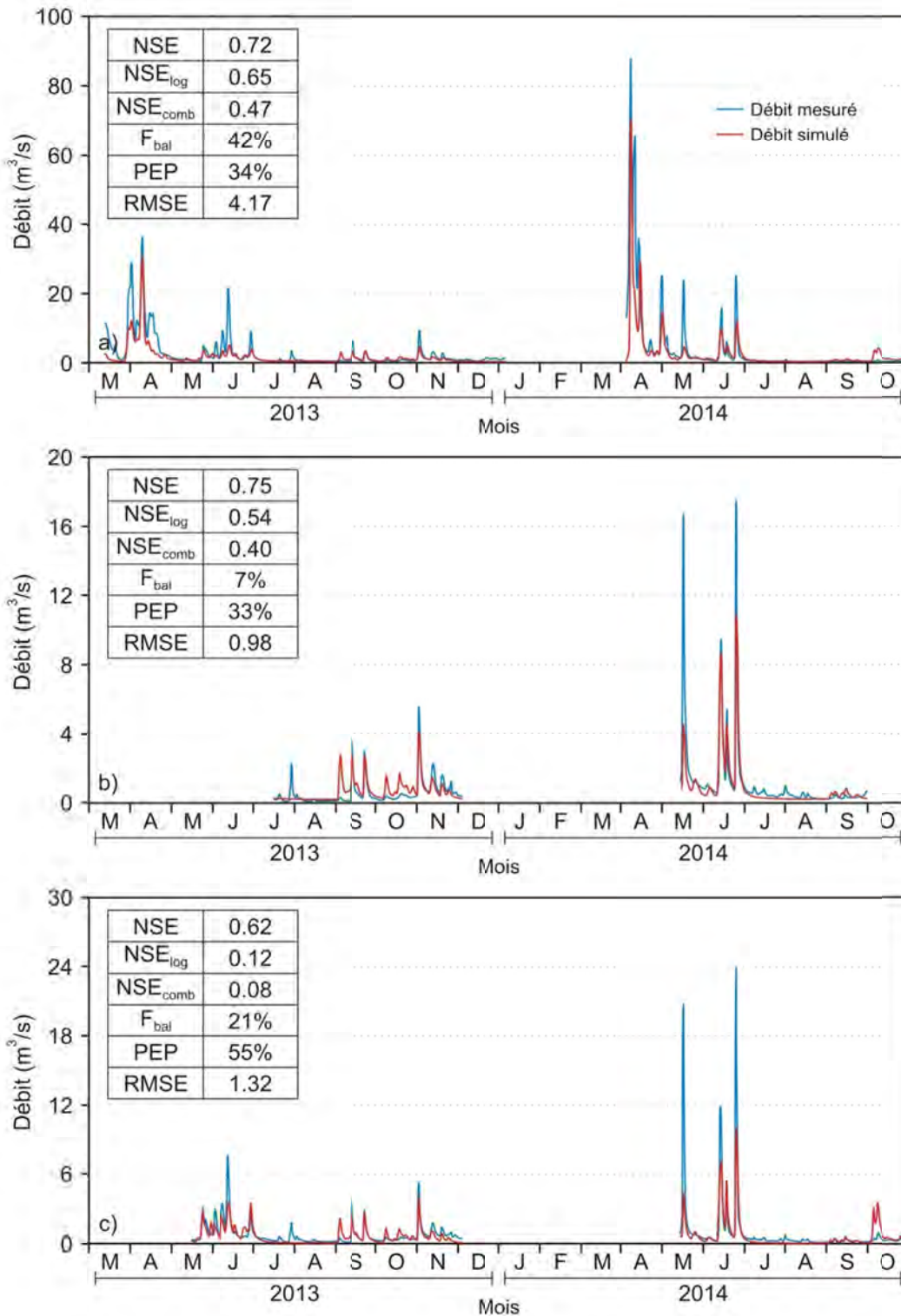
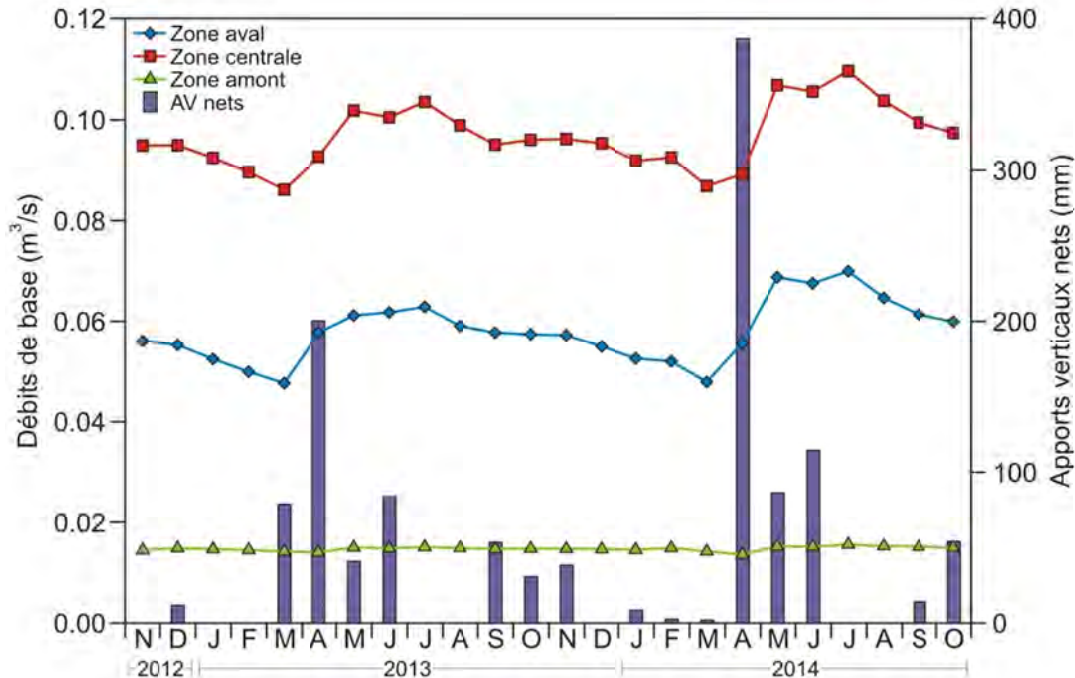


Figure 29 Scattergramme des charges moyennes mesurées et simulées



**Figure 30** Hydrogrammes des débits simulés aux trois stations hydrométriques; a) station 1, b) station 2 et c) station 3. Le critère RMSE est en m³/s. Données journalières présentées. Les échelles verticales sont différentes sur les trois figures.



**Figure 31** Débit de base simulé dans les parties amont, centrale et aval du bassin versant de la rivière à la Raquette.

## 5.8 Synthèse des contextes hydrogéologiques régionaux

L'intégration des données stratigraphiques, hydrogéologiques et géochimiques permet de mettre en lumière les caractéristiques hydrogéologiques du territoire à l'étude. Les **figures 32** et **33** reprennent les coupes A-A' et B-B' (**Figures 7** et **8**) pour illustrer le modèle conceptuel de l'hydrogéologie de la zone Vaudreuil-Soulanges car elles recoupent chacune les principaux reliefs (mont Rigaud, butte de Hudson et de Saint-Lazare) ainsi que la plaine argileuse. Les flèches bleues pointant vers le bas symbolisent la recharge selon trois classes (recharge faible, moyenne et élevée). Les flèches noires à trait continu symbolisent les directions de l'écoulement souterrain déduites de l'information hydrogéologique et géochimique. Les flèches noires à trait discontinu symbolisent les directions d'écoulement souterrain probables, que les données disponibles n'ont pas permis de confirmer. Les puits illustrés sur les **figures 32** et **33** indiquent l'échelle de productivité des différentes unités hydrogéologiques (productivité faible, moyenne et élevée) et ne représentent pas des puits réels. Finalement, les flèches bleues orientées vers le haut indiquent les principales zones de résurgence de l'eau souterraine.

*Coupe A-A' : contexte mont Rigaud, plaine argileuse et esker de Saint-Télesphore*

Le mont Rigaud constitue une des singularités dans le paysage hydrogéologique de la zone d'étude. C'est en effet à son emplacement que l'on retrouve les gradients topographiques

les plus élevés, la plupart de zones de till mince et de roc affleurant, ainsi que la présence de roche cristalline Précambrienne. Sur le mont Rigaud, les gradients hydrauliques élevés induisent des zones de résurgence sur certains lacs présents sur son flanc (voir **section 5.3.4**). Les dépôts quaternaires sont majoritairement des tills et se retrouvent généralement en couverture mince sur le mont Rigaud, créant ainsi des conditions libre pour l'aquifère fracturé et des zones de recharge préférentielles avec une vulnérabilité élevée pour l'indice DRASTIC. Sur le mont Rigaud, les puits échantillonnés montrent des eaux souterraine de type recharge ( $\text{Ca-HCO}_3$ ) ou de type  $\text{Na-HCO}_3$  ayant séjourné un peu plus longtemps dans l'aquifère. Du fait de la faible transmissivité du roc cristallin, l'influence de la recharge du mont Rigaud peut être limitée d'un point de vue régional par rapport à d'autres zones préférentielles comme les buttes de Saint-Lazare et de Hudson ainsi que les zones de till étendues à l'ouest.

En contrebas du mont Rigaud, les conditions de confinement changent brusquement du contexte d'aquifère à nappe libre à un contexte strictement captif en raison de la présence de dépôts massifs d'argile marine caractérisant tout le reste de la plaine. Ces changements brusques du contexte hydrogéologique et de la topographie créent des conditions artésiennes sur la zone argileuse en aval hydraulique du mont Rigaud. On trouve ainsi des puits artésiens sur une distance de 4 km au sud du mont Rigaud, probablement favorisées par la présence de grès et de sables captifs très transmissifs sous l'argile. Ces aquifères captifs productifs contribuent à étendre l'influence des zones de recharge sur les types d'eau souterraines situées en plaine. Ainsi, il est possible de rencontrer des eaux assez peu évoluées (type  $\text{Na-HCO}_3$ ) mais non saumâtres ( $\text{Na-Cl}$ ) en conditions strictement captives et à des distance de 3 à 5 km des zones de recharge (voir section 5.6 et **carte 24**). Au nord du mont Rigaud, des conditions artésiennes doivent exister ponctuellement à l'intérieur de la plaine argileuse, mais aucun puits artésien n'a été identifié à cet endroit pendant l'étude. Pour la zone nord, il existe également des sables captifs (d'origine fluvioglaciaire) sous l'argile, mais l'extension de ces dépôts granulaires serait limitée et discontinue comme elle peut l'être plus au sud (voir aussi la **section 4.2.2**). À l'inverse de la zone sud du mont Rigaud, le type d'eau rencontré ne montre pas une influence étendue des zones de recharge au nord, et les puits échantillonnés montrent des eaux captives de type  $\text{Na-Cl}$ .

Pour la plaine argileuse, l'aquifère rocheux est strictement captif, ne reçoit aucune recharge et est caractérisé par une vulnérabilité faible (indice DRASTIC généralement inférieur à 75). Au sud de la plaine argileuse, des remontées du roc induisent des affleurements de till qui interrompent la continuité de la couverture argileuse. Ces endroits constituent des fenêtres de recharge locales en contexte semi-captif, et sont associés à une vulnérabilité moyenne (indice DRASTIC supérieur à 100). On retrouve enfin à l'aval de la coupe A-A' l'esker de Saint-Télesphore où les valeurs de recharge estimées atteignent 400 mm/an avec une vulnérabilité élevée (indice DRASTIC dépassant généralement 150). Du fait de la faible superficie de la partie non enfouie de l'esker (0,3 % de la zone d'étude) cette zone de recharge est importante mais reste marginale dans le contexte régional.

*Coupe B-B' : contexte des buttes de Saint-Lazare et de Hudson, plaine argileuse et remontée du roc an aval de la plaine argileuse*

Deuxièmes plus hauts reliefs de la zone d'étude, les plateaux sableux de Saint-Lazare et de Hudson constituent le contexte hydrogéologique le plus influent de la zone d'étude en termes de recharge. Ces plateaux sableux reçoivent le taux de recharge moyen le plus élevé, estimés à près de 356 mm/an sur 45,7 km<sup>2</sup>, participant ainsi à près de 41 % de la recharge régionale (voir **section 5.3.3**). L'hydrostratigraphie des buttes est complexe et hétérogène, mais celles-ci sont considérées comme des zones généralement libres, sur la base des données recueillies au moment de la réalisation du forage F1 (**Annexe 6**), par le suivi piézométrique en continu sur ce forage (**Annexe 10**), et au moyen des données hydrogéochimiques dans ce secteur (**section 5.6**). Toutes ces données mettent en évidence une circulation continue de l'eau dans les dépôts jusqu'au roc, plutôt que des contextes captifs successifs avant d'atteindre le roc. Dans les sables fluvioglaciers supérieurs, l'écoulement souterrain en contexte libre se dirigerait des hauts topographiques vers les bas topographiques, induisant des zones de résurgence sur les flancs des buttes (**section 5.2**). Des écoulements locaux induits par des lentilles silteuses peuvent créer çà et là des nappes perchées, maintenant globalement un niveau piézométrique proche de la surface du sol. En raison de la présence d'une eau de type recharge (Ca-HCO<sub>3</sub>, voir **carte 24**) dans le roc sous plus de 50 m de dépôts meubles, l'aquitard de till argileux n'est probablement pas présent en couverture continue et une connexion hydraulique existe entre les sables fluvioglaciers supérieurs et ceux plus anciens en contact avec le roc. La présence de dépôts granulaires anciens pourrait ainsi favoriser la circulation de l'eau souterraine en profondeur et les échanges avec le roc. Les puits installés dans ce contexte, soit dans le roc (grès de Potsdam) ou dans les dépôts sableux, sont généralement très productifs. En raison de forts taux de recharge et d'un contexte hydrogéologique de nappe libre ou semi captive, l'ensemble du système aquifère des buttes de Saint-Lazare et de Hudson (aquifère granulaire et fracturé) est considéré vulnérable. L'indice DRASTIC calculé pour le premier aquifère rencontré (sables fluvioglaciers récents) est généralement supérieur à 150.

Au sud de la butte de Saint-Lazare, les dépôts argileux créent brusquement des conditions de confinement. Comme pour le sud du mont Rigaud, cette baisse rapide de l'élévation crée des conditions artésiennes pour les puits situés à moins de 1 km de la base du plateau sableux, au commencement de la plaine argileuse. L'influence des zones de recharge des plateaux sableux semble également s'étendre en aval dans l'eau souterraine qui s'écoule en complexe strictement captif (voir **section 5.6** et **carte 24**) est peu évoluée (type Na-HCO<sub>3</sub>). L'aquifère rocheux de la plaine argileuse, rejoint les mêmes caractéristiques que celles décrites sur la coupe A-A', soit strictement captif, ne reçoit aucune recharge et est caractérisé par une vulnérabilité faible. Au sud de la plaine argileuse, une remontée progressive du roc crée des conditions semi-captives pour l'aquifère au roc, avec diminution progressive des dépôts meubles, la disparition progressive des dépôts argileux et une augmentation de la recharge. Ces zones semi-captives sont associées à une vulnérabilité moyenne (indice DRASTIC supérieur à 100).

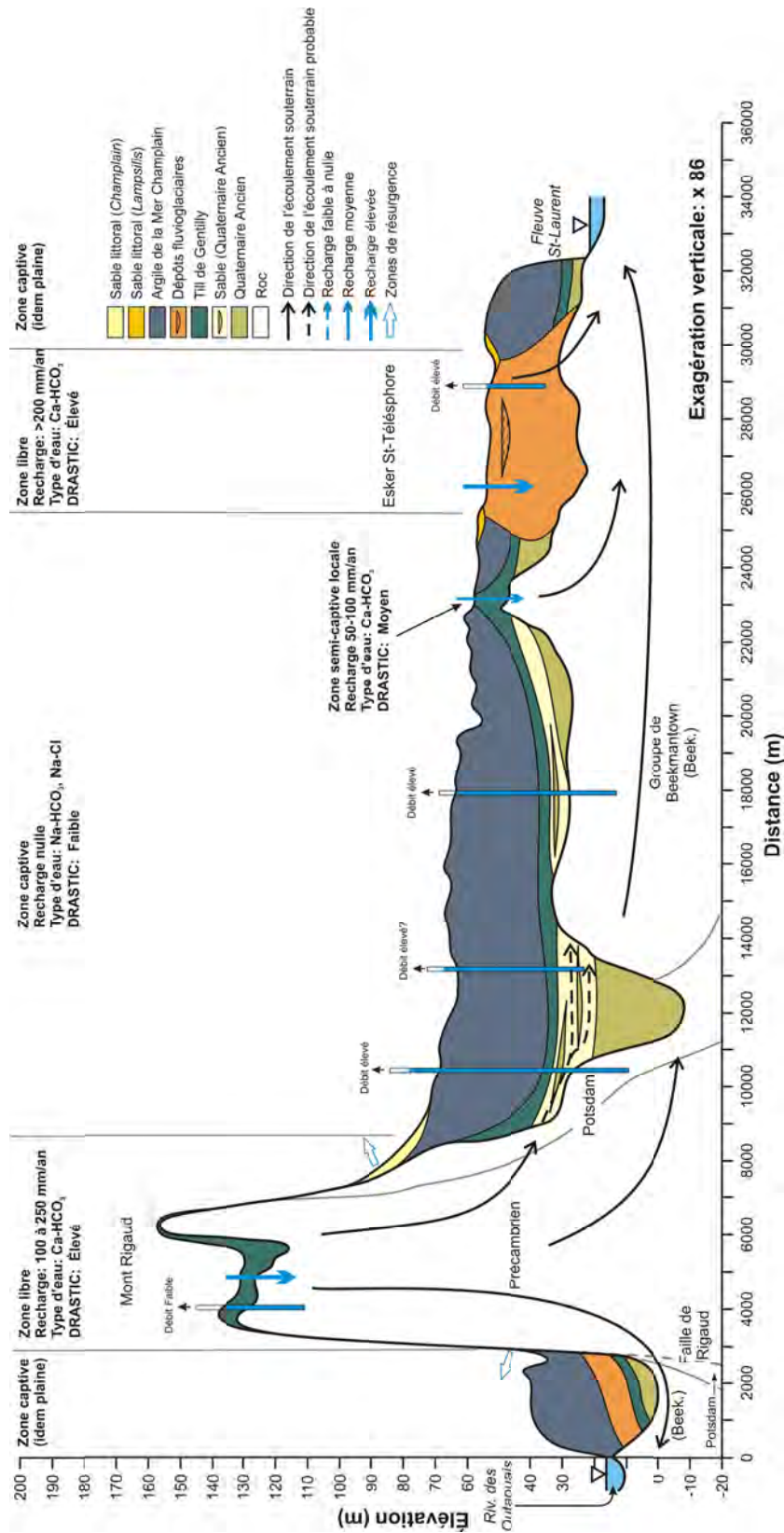


Figure 32 Schémas des contextes hydrogéologiques sur la coupe A-A'

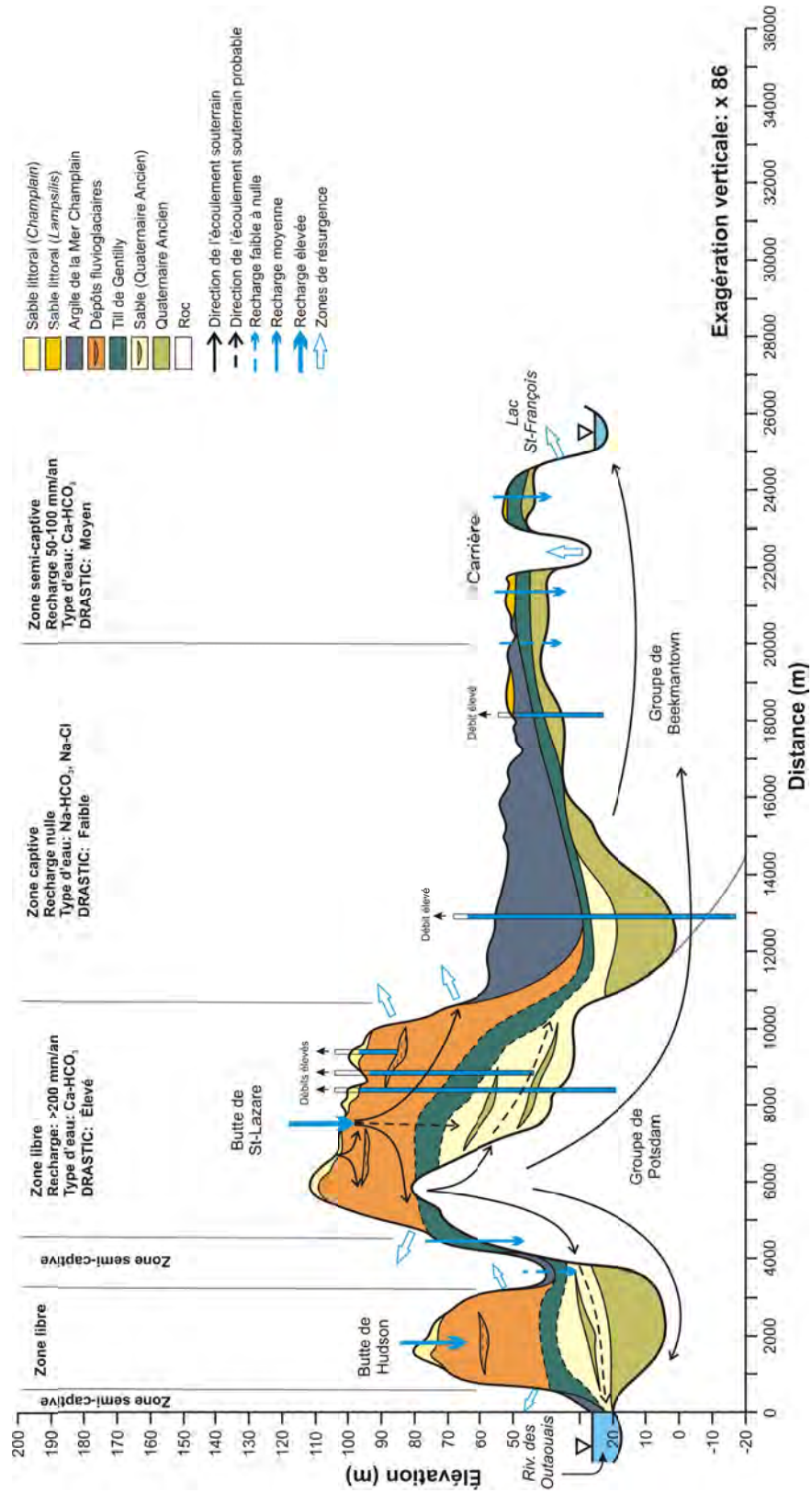


Figure 33 Schémas des contextes hydrogéologiques sur la coupe B-B'

## 6 RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE

### 6.1 Usage de la ressource

Les besoins en eau d'une population peuvent être comblés par différentes sources, selon la nature des usages, la disponibilité et la qualité de la ressource en eau. Au Québec, 20 % de la population s'alimente à partir d'eau souterraine (MDDELCC, 2013). Certains ont accès à un réseau alimenté par des forages municipaux, tandis qu'en milieu rural un nombre important de personnes dépendent de puits privés. Dans le cadre de ce projet, les données provenant d'organismes gouvernementaux (MDDELCC, MAMOT, Statistiques Canada) ont été compilées par municipalité. La méthode utilisée pour analyser les données peut être consultée à l'**annexe 13**. Les villes où l'utilisation d'eau à des fins résidentielles est la plus importante sont également les plus peuplées: Vaudreuil-Dorion (approvisionnement mixte de surface et souterrain) et Saint-Lazare (approvisionnement souterrain).

Au total sur la zone d'étude, plus de 20 millions de mètres cubes d'eau sont consommés chaque année, 54 % provenant d'eau souterraine et 46 % provenant d'eaux superficielles (**Tableau 21**). Le pourcentage d'utilisation de l'eau souterraine est supérieur au 20 % proposé pour l'ensemble de la province par le MDDELCC (2013). Cette proportion élevée pour l'utilisation de l'eau souterraine s'explique en partie par la présence d'importants aquifères granulaires sur la zone d'étude.

La consommation d'eau par type d'utilisation se répartit de la manière suivante : 11 % pour l'utilisation agricole, 56 % pour l'utilisation résidentielle, 33 % pour les utilisations industrielle, commerciale et institutionnelle (ICI) (**Tableau 22**). Les volumes d'eau les plus importants prélevés pour des usages ICI sont puisés à même les eaux de surface hors-réseau (58 %) ainsi qu'à partir du réseau d'approvisionnement en eau souterraine (21 %).

**Tableau 21** Provenance de l'eau consommée pour la MRC de Vaudreuil-Soulanges

| Consommation de l'eau [m <sup>3</sup> /an] |                 |                |
|--|-----------------|----------------|
| Totale                                     | Eau souterraine | Eau de surface |
| 20 792 337                                 | 11 194 396      | 9 597 941      |

**Tableau 22** Utilisation de l'eau pour la MRC de Vaudreuil-Soulanges

| Utilisation de l'eau [m <sup>3</sup> /an] |           |           |
|---|-----------|-----------|
| Résidentielle                             | ICI       | Agricole  |
| 11 610 317                                | 6 887 671 | 2 294 349 |



L'utilisation de l'eau pour des fins agricoles sur la zone d'étude est majoritairement dédiée aux cultures (83 %), tandis que 17 % sont dédiés à l'élevage. Les cultures dont la consommation d'eau est la plus importante sont les légumes voués à la transformation (pois : 30 %; maïs sucré : 17 %), ainsi que le maïs sucré consacré au marché frais (16 %). La production bovine consomme la quantité d'eau la plus importante parmi tous les types d'élevage, avec 56 % dédiés aux bovins laitiers et 17 % dédiés aux bovins de boucherie. La partition des volumes d'eau souterraine puisés à des fins agricoles s'apparente de près à celle des volumes d'eau totaux avec 82 % alloués aux cultures et 18 % alloués à l'élevage.

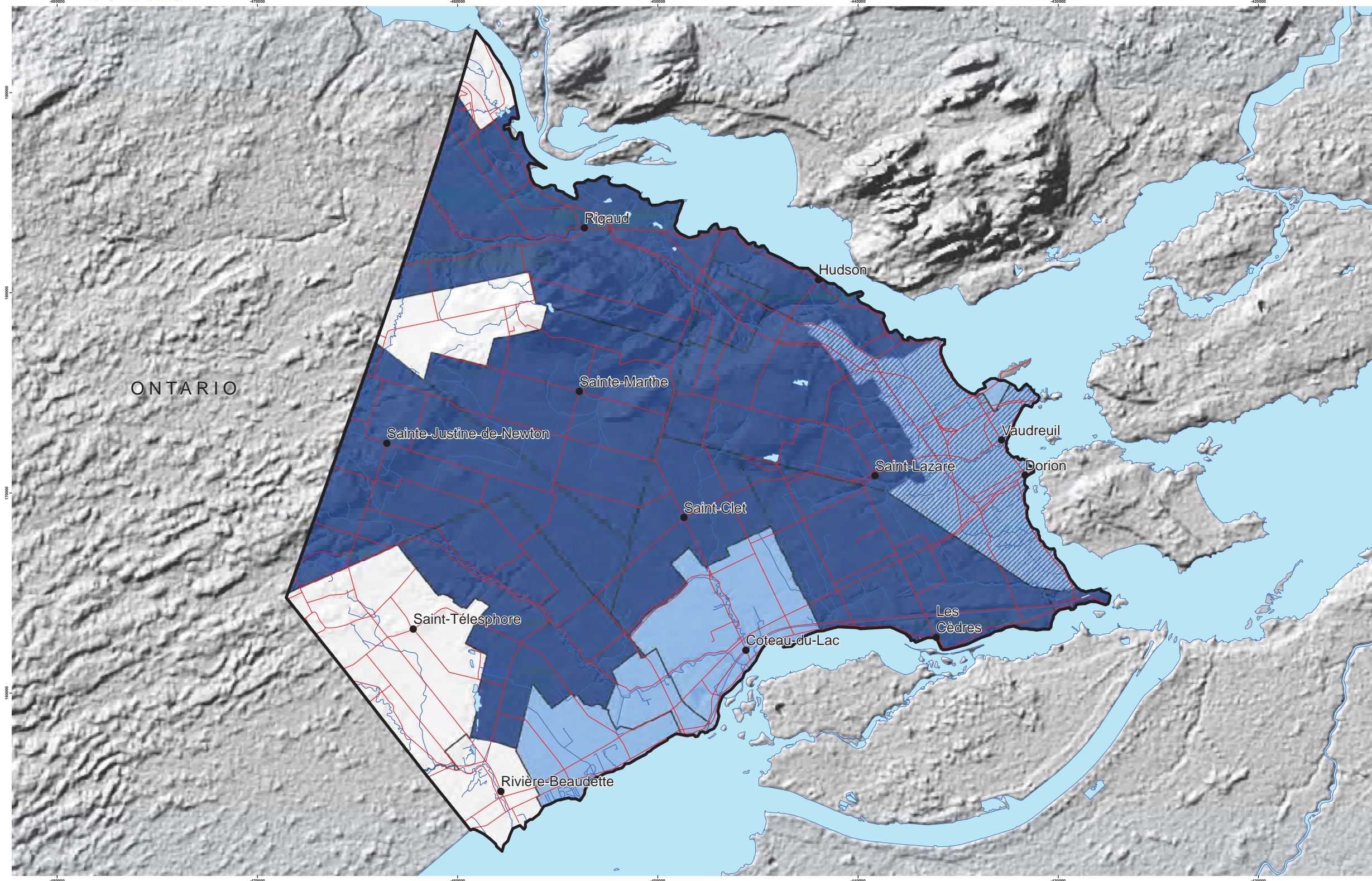
Les municipalités de Saint-Lazare, Vaudreuil-Dorion, Rigaud et Hudson utilisent 65 % de toute l'eau souterraine prélevée sur la zone de Vaudreuil-Soulanges (**Tableau 23**). Les municipalités de Saint-Lazare, Rigaud et Hudson s'alimentent exclusivement à partir d'eau souterraine, tandis que la municipalité de Vaudreuil-Dorion dispose d'une alimentation mixte où 37 % de la population serait alimentée par le réseau de surface (**Carte 25**).

**Tableau 23** Estimé de la consommation de l'eau souterraine par municipalité

| Municipalité             | Utilisation de l'eau souterraine [m <sup>3</sup> /an] |
|--------------------------|---|
| Saint-Lazare             | 2 882 168   |
| Vaudreuil-Dorion         | 2 112 958   |
| Rigaud                   | 1 172 692   |
| Hudson                   | 1 123 024   |
| Les Cèdres               | 899 192   |
| Saint-Polycarpe          | 564 015   |
| Saint-Clet               | 380 725   |
| Sainte-Justine-de-Newton | 336 442   |
| Sainte-Marthe            | 320 670   |
| Coteau-du-Lac            | 262 203   |
| rivière-Beaudette        | 247 369   |
| Saint-Télesphore         | 241 194   |
| Très-Saint-Rédempteur    | 162 532   |
| Pointe-des-Cascades      | 155 436   |
| Les Coteaux              | 141 740   |
| Pointe-Fortune           | 77 656  |
| Saint-Zotique            | 76 631  |
| Vaudreuil-sur-le-Lac     | 37 748  |

\*Réseau municipal alimenté depuis Sainte-Justine-de-Newton





### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- ⊞ Zone d'étude

#### Type de réseau d'approvisionnement

- Aucun réseau
- ▨ Approvisionnement mixte
- Eau souterraine
- Eau surface



MÉTADONNÉES  
Section 6.1 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

**Carte 25 Approvisionnements municipaux  
ZONE VAUDREUIL-SOULANGES  
QUÉBEC**



SOURCES / RÉALISATION

Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Informations sur la consommation d'eau :  
MDELC

Réalisation :  
Université du Québec à Montréal



Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/60 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les données requises pour définir les conditions locales à l'échelle locale et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'actualité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'affiliation ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adéquation à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, des conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée :  
Larocque, M., Maréchal, G., Charlier, M.-A., Gravelle, M.-H., Gagné, S., Barrette, D. et Dorner, S. 2015. Projet de cartographie des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MDELC.



## 6.2 Qualité de la ressource

### 6.2.1 Normes de potabilité

Les données de qualité de l'eau ont été analysées suivant le protocole de traitement et de représentation des données géochimiques présentés à l'**annexe 14**. Quatre dépassements de normes de potabilité ont été relevés sur les 48 puits échantillonnés (**Tableau 24** et **Carte 27**) pour les paramètres inorganiques. Ces dépassements concernent uniquement le fluor provenant de puits qui captent l'aquifère de roc fracturé. L'occurrence du fluor était déjà connue pour l'aquifère fracturé dans le secteur du mont Rigaud. Les plus fortes concentrations en fluor seraient d'origine naturelle, en lien avec la géologie du roc.

À l'échelle régionale, les contaminants d'origine anthropique le plus souvent analysés pour être mis en perspective avec le niveau de vulnérabilité des aquifères sont ceux provenant de sources diffuses, caractérisés par des charges modérées réparties de manière hétérogène sur de grandes superficies. Pour l'eau souterraine, les contaminants diffus les plus courants résultant des activités anthropiques sont les nitrates, une large gamme de pesticides (fongicides, herbicides et insecticides) ainsi que, plus récemment, certains composés pharmaceutiques persistants qui se retrouvent à l'état de traces dans l'eau.

**Tableau 24** Sommaire des dépassements de normes, paramètres inorganiques\*\*\*

| Paramètres  | Nb | Statistiques (mg/L) |         |            |        | Critères de potabilité (mg/L) | Nombre de dépassements | Proportion des dépassements (%) |
|---|----|---------------------|---------|------------|--------|-------------------------------|------------------------|---------------------------------|
|   |    | Min                 | Médiane | Écart-type | Max    |                               |                        |                                 |
| Arsenic (As)  | 48 | 0                   | 0       | 0,0013     | 0,0087 | 0,01                          | 0                      | 0                               |
| Bore (B)  | 48 | 0                   | 0,10    | 0,20       | 0,97   | 5,0                           | 0                      | 0                               |
| Baryum (Ba)   | 48 | 0                   | 0,11    | 0,18       | 0,96   | 1,0                           | 0                      | 0                               |
| Cadmium (Cd)  | 48 | 0                   | 0       | 0          | 0,0    | 0,005                         | 0                      | 0                               |
| Chrome (Cr)   | 48 | 0                   | 0       | 0,0004     | 0,0014 | 0,05                          | 0                      | 0                               |
| Fluor (F)   | 48 | 0                   | 0,50    | 0,57       | 2,60   | 1,5                           | 4                      | 8,3                             |
| Nitrite/Nitrate (NO <sub>2</sub> -NO <sub>3</sub> , mg N/L) | 48 | 0                   | 0       | 0,50       | 2,70   | 10,0                          | 0                      | 0                               |
| Plomb (Pb)  | 48 | 0                   | 0,0002  | 0,0005     | 0,0023 | 0,01                          | 0                      | 0                               |
| Antimoine (Sb)  | 48 | 0                   | 0       | 0,0001     | 0,0010 | 0,006                         | 0                      | 0                               |
| Sélénium (Se)   | 48 | 0                   | 0       | 0,0002     | 0,0012 | 0,01                          | 0                      | 0                               |
| Uranium (U)   | 48 | 0                   | 0       | 0,0011     | 0,0066 | 0,02                          | 0                      | 0                               |

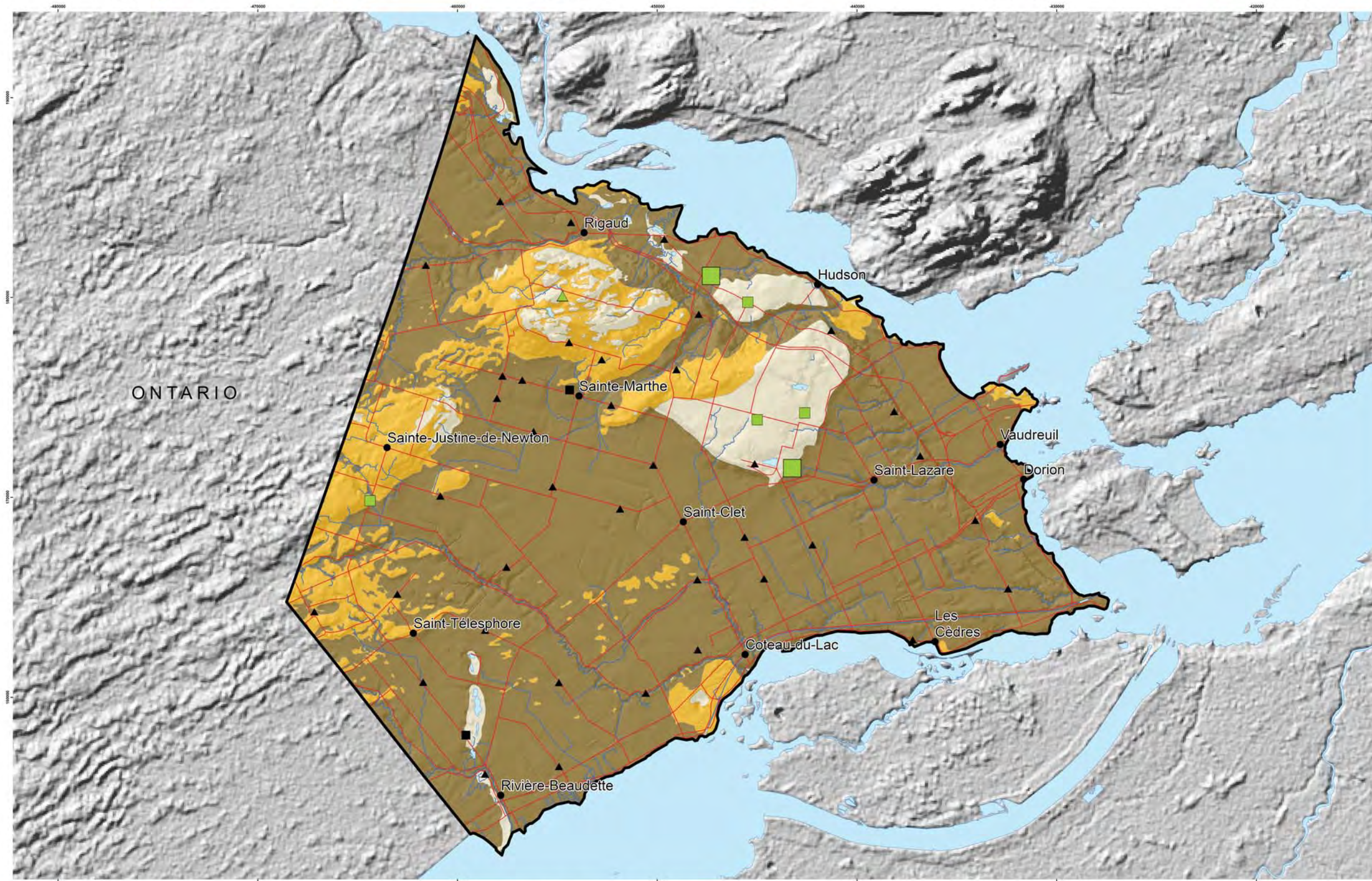
\*Le tableau montre seulement les paramètres normés qui ont été analysés dans le cadre du projet.

\*\*Les paramètres normés sont basés sur le Règlement sur la qualité de l'eau potable (2001).

Bien que les nitrates ne soient pas un traceur parfait car ils peuvent se dénitrifier, leur solubilité élevée dans l'eau ainsi que leur fort potentiel de lixiviation dans les sols les rend utiles pour évaluer l'impact des activités anthropiques sur l'eau souterraine. Les nitrates peuvent être d'origine naturelle, mais une concentration excédant 1 mg/L N-NO<sub>3</sub> dans l'eau, est

généralement considérée d'origine anthropique (Dubrovsky et al., 2010). Dans le cadre de ce projet, les nitrates ont été analysés dans les puits échantillonnés. Très peu de nitrates ont été détectés (**Carte 26**) et aucun dépassement de norme (10 mg/L N-NO<sub>3</sub>) n'a été observé (Gouvernement du Québec, 2001). Même si l'agriculture intensive est présente dans la plaine argileuse, l'aquifère captif sous l'argile est naturellement bien protégé par le contexte géologique et aucun puits échantillonné n'a montré de nitrates dans ce secteur. Les seules concentrations en nitrates observés dans le projet sont rencontrées dans des contextes d'aquifère libre et semi-captif (buttes de Saint-Lazare et de Hudson, mont Rigaud et crêtes de Sainte-Justine), où il n'y a pas d'agriculture intensive, mais où se trouve un développement résidentiel parfois assez dense (e.g. Saint-Lazare et Hudson).

Les échantillons d'eau souterraine ont également été analysés pour les paramètres bactériologiques. Bien que découlant directement de conditions très locales (état et entretien du puits, présence d'une source de contamination voisine du puits), les contaminations bactériologiques dans l'eau souterraine peuvent dépendre du contexte hydrogéologique régional et de la vulnérabilité des aquifères. Les résultats sont présentés dans le **tableau 25** et à la **carte 27**. Le règlement sur la qualité de l'eau potable indique que l'eau doit être exempte d'organismes pathogènes et d'indicateurs de contamination fécale. L'eau est non potable s'il y a détection de bactéries *E.Coli* et/ou d'entérocoques fécaux dans l'échantillon prélevé. Dans ce cas, le puits doit être désinfecté, et un avis d'ébullition est émis si le puits alimente un réseau de distribution. Si l'eau contient plus de 10 coliformes totaux sur un volume de 100 mL et/ou présente plus de 200 bactéries atypiques sur un volume de 100 mL, l'eau est non conforme. Il faut noter que la présence de colonies atypiques en concentration trop importante peut masquer le comptage des bactéries pathogènes dans l'eau. Dans le cas d'eau non conforme, une désinfection du puits ainsi que la surveillance de la qualité de l'eau est recommandée.



### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- Zone d'étude

#### Indice de confinement

- Nappe libre
- Nappe semi-captive
- Nappe captive

#### Détection de nitrates (mg N-NO<sub>3</sub>/L)

Non détecté

- Granulaire
- ▲ Roc

Granulaire

- ≥1 et <3
- <1

Roc

- <1



MÉTADONNÉES  
Section 5.6 du Rapport d'Étape Phase III  
(Larocque et Meyzonnat, 2015)

Carte 26 : Concentrations en nitrates dans l'eau souterraine  
ZONE VAUDREUIL-SOULANGES  
QUÉBEC



SOURCES / RÉALISATION

Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MRN 20K, UQAM  
Indice de confinement: UQAM

Réalisation:  
Université du Québec à Montréal



Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1:100 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découvrant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les études requises pour définir les conditions locales à l'échelle locale et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'interprétation des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'affiliation ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adéquation à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de son utilisation ou de l'utilisation de telles données, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, des conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée:  
Larocque, M. et Meyzonnat, C. 2015. Profil de connaissance des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges : Rapport final. Rapport présenté au MDECC.





Des dépassements de norme ont été identifiés pour les d'entérocoques fécaux (7), les coliformes totaux (5) et pour la présence de bactéries atypiques (10). Dans tous les cas où les colonies atypiques étaient supérieures à 200 unités/100 mL, le comptage des coliformes totaux n'a pas pu être effectué. Pour quatre des 10 cas où des bactéries atypiques ont été détectées, des entérocoques fécaux ont aussi été détectés. Le dépassement simultané en entérocoques fécaux et en coliformes fécaux (bactéries atypiques < 200) a été observé sur deux puits. D'une manière générale, les 22 non-conformités se répartissent sur 16 puits, soit sur une proportion de 33 % des puits analysés.

**Tableau 25** Sommaire des non conformités de normes bactériologiques

| Paramètre           | NB de puits | Norme (unité/100 mL) | NB de non conformités | Proportion (%) |
|---------------------|-------------|----------------------|-----------------------|----------------|
| Bactéries atypiques | 48          | <200                 | 10                    | 20,8           |
| Coliformes totaux   | 48          | <10                  | 5                     | 10,4           |
| Escherichia coli    | 48          | <1                   | 0                     | -              |
| Entérocoques fécaux | 46          | <1                   | 7                     | 14,5           |

### 6.2.2 Objectifs esthétiques

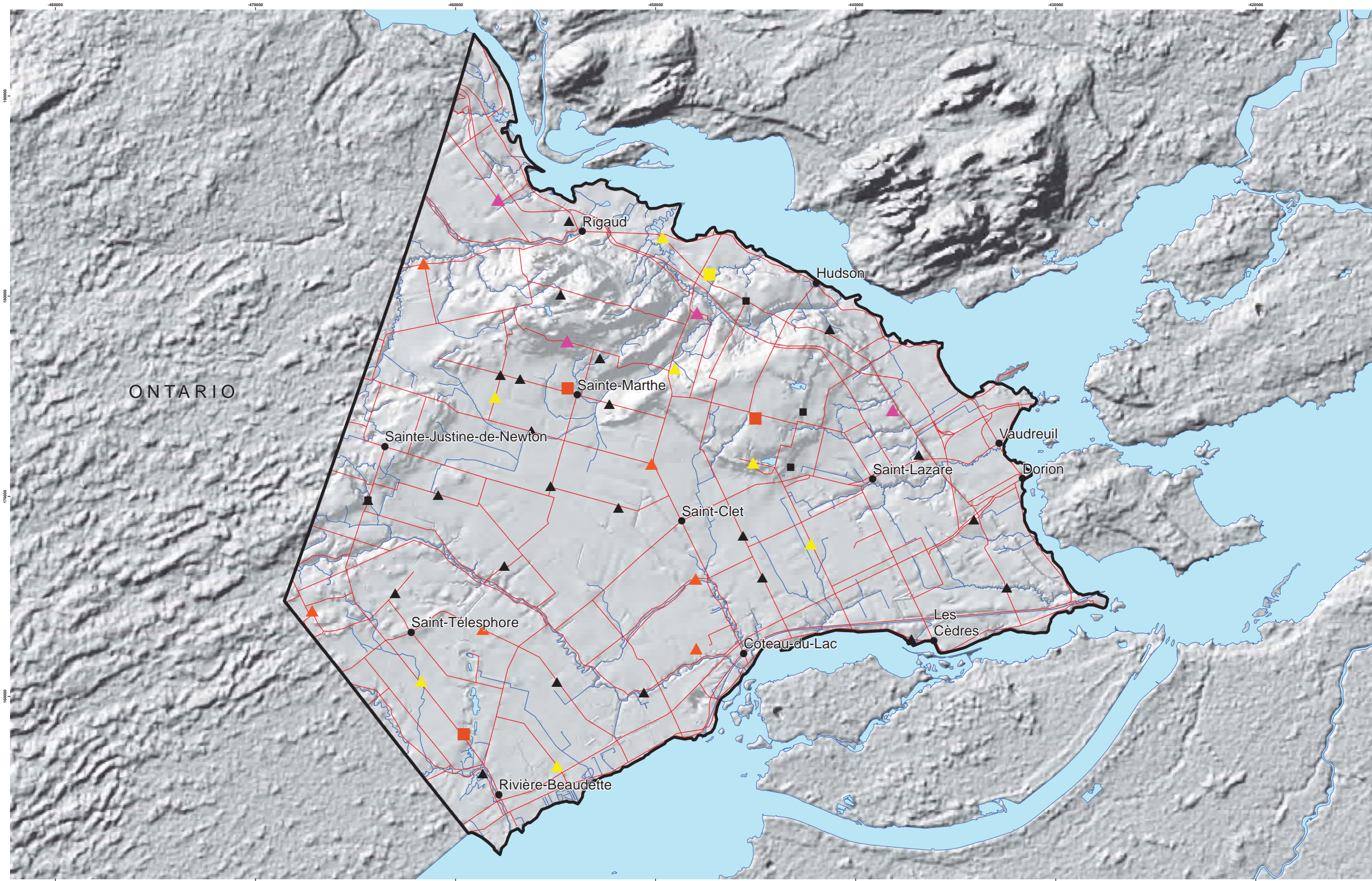
Les objectifs esthétiques sont des recommandations visant à remédier à des concentrations élevées qui peuvent par exemple altérer le goût et l'apparence de l'eau, limiter la formation de bactéries dans l'eau et diminuer les dépôts dans la plomberie. Les dépassements d'objectifs esthétiques les plus souvent observés concernent les matières dissoutes totales (MDT) (26), la dureté (16) le fer (15), le manganèse (14) et le sodium (12) (**Tableau 26** et **Carte 28**). Dans le cas du manganèse, un lien entre des concentrations élevées de manganèse et une diminution du quotient intellectuel chez les enfants en bas âge ont récemment été découverts (Bouchard et al., 2011). Ce paramètre n'est toutefois pas normé pour l'eau potable au Québec. L'occurrence du manganèse dans l'eau souterraine est vraisemblablement d'origine naturelle. Les concentrations en manganèse relevées dans l'eau souterraine sur la zone de Vaudreuil-Soulanges ne permettent pas d'associer l'occurrence particulière du manganèse pour un certain type de roc, mais par contre des conditions semi-captives, avec de l'eau souterraine légèrement évoluée constitue la condition favorable à l'obtention de fortes concentrations. Les dépassements en sodium et en chlorures sont observés dans les aquifères captifs où l'argile marine est présente. Le nombre de dépassements pour le sodium est en revanche plus élevé que pour les chlorures car les eaux évoluées en conditions captives s'enrichissent en sodium par échange cationique.

**Tableau 26** Sommaire des dépassements esthétiques\*\*\*

| Paramètres                              | Nb | Statistiques (mg/L) |         |            |        | Objectifs esthétiques | Nombre de dépassements | Proportion des dépassements (%) |
|---|----|---------------------|---------|------------|--------|-----------------------|------------------------|---------------------------------|
|   |    | Min                 | Médiane | Écart-type | Max    |                       |                        |                                 |
| Aluminium (Al)                          | 48 | 0                   | 0       | 0,02       | 0,12   | 0,1                   | 1                      | 2,1                             |
| Chlore (Cl)                             | 48 | 0                   | 39      | 136        | 560    | 250                   | 7                      | 14,6                            |
| Cuivre (Cu)                             | 48 | 0                   | 0       | 0,0016     | 0,0078 | 1                     | 0                      | 0                               |
| Dureté totale (mg CaCO <sub>3</sub> /l) | 46 | 2                   | 159     | 147        | 693    | 200-500               | 16                     | 34,8                            |
| Fer (Fe)                                | 48 | 0                   | 0,17    | 0,44       | 1,60   | 0,3                   | 15                     | 31,3                            |
| Matière dissoute totale (MDT)           | 46 | 98                  | 609     | 475        | 2294   | 500                   | 26                     | 56,5                            |
| Manganèse (Mn)                          | 48 | 0                   | 0,03    | 0,22       | 1,30   | 0,05                  | 14                     | 29,2                            |
| Sodium (Na)                             | 48 | 2                   | 54      | 137        | 540    | 200                   | 12                     | 25,0                            |
| pH                                      | 48 | 6,13                | 7,76    | 0,55       | 8,95   | 6.5 - 8.5             | 4                      | 8,3                             |
| Sulfate (SO <sub>4</sub> )              | 48 | 0                   | 34      | 151        | 750    | 500                   | 2                      | 4,2                             |
| Sulfure (S, mg H <sub>2</sub> S/l)      | 48 | 0                   | 0       | 0,02       | 0,14   | 0,05                  | 2                      | 4,2                             |
| T (°C)                                  | 48 | 9,00                | 10,60   | 1,33       | 14,00  | 15                    | 0                      | 0                               |
| Zinc (Zn)                               | 48 | 0                   | 0,01    | 0,07       | 0,46   | 5                     | 0                      | 0                               |

\*Le tableau montre seulement les paramètres normés qui ont été analysés dans le cadre du projet

\*\*Les paramètres normés sont basés sur le Règlement sur la qualité de l'eau potable (2008)



### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- ⬢ Zone d'étude

**Dépassement de la norme de qualité de l'eau potable**

**BACTÉRIOLOGIE**

- Granulaire - Aucun dépassement
- ▲ Roc - Aucun dépassement

**Granulaire**

- Non conforme
- Non potable

**Roc**

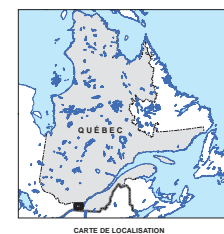
- ▲ Non conforme
- ▲ Non potable

**ÉLÉMENTS INORGANQUES**

**Roc**

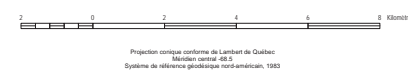
- ▲ Fluor

ONTARIO



MÉTADONNÉES  
Section 6.2 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

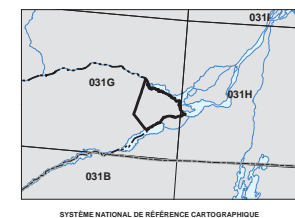
Carte 27 Qualité de l'eau souterraine - Critères de potabilité  
ZONE VAUDREUIL-SOULANGES  
QUÉBEC



SOURCES / RÉALISATION

Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Critères de qualité de l'eau potable : UQAM

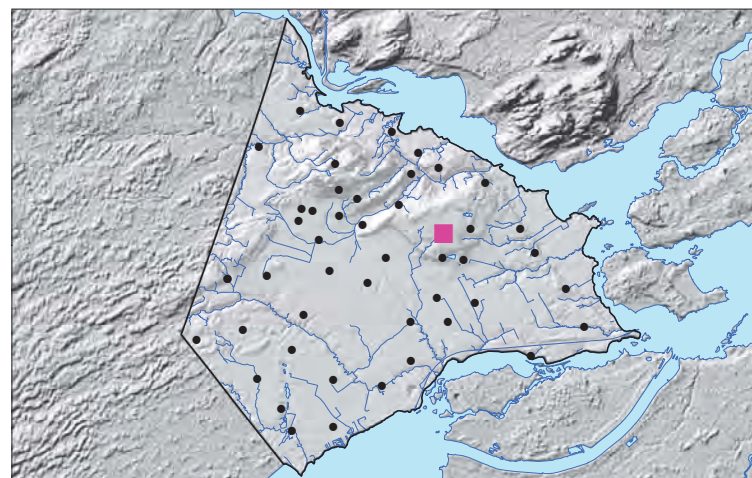
Réalisation :  
Université du Québec à Montréal



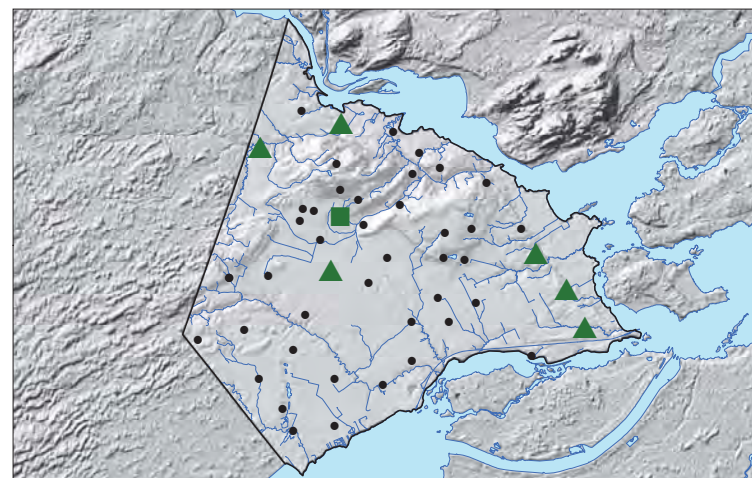
Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/60 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les données requises pour définir les conditions locales et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'intégrité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attache ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adoption à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, des conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée :  
Larocque, M., Méthivier, G., Charlier, M.-A., Gravelle, M.-H., Gagné, S., Barrette, D. et Dorion, S. 2015. Projet de cartographie des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MDECC.

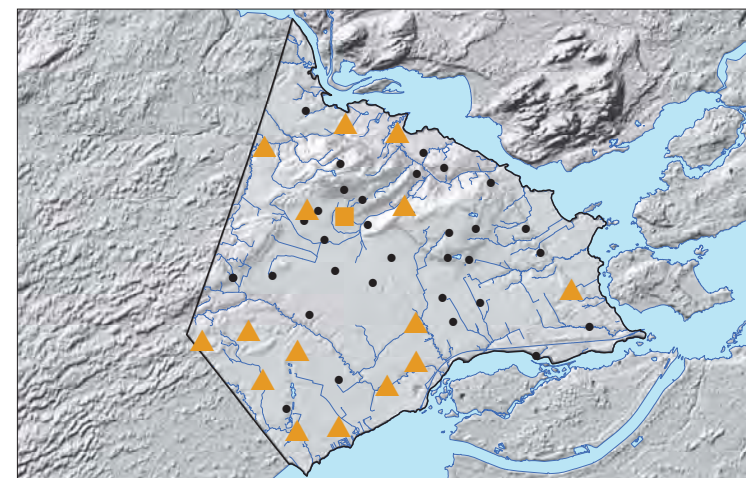




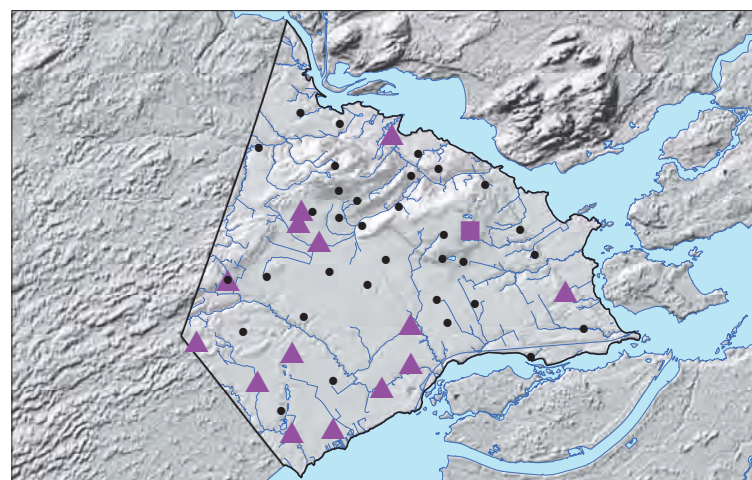
Dépassements de l'objectif *Aluminium*



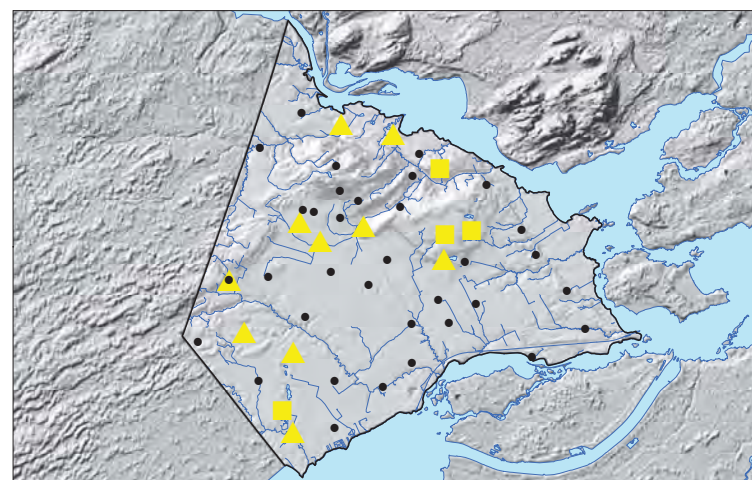
Dépassements de l'objectif *Chlorures*



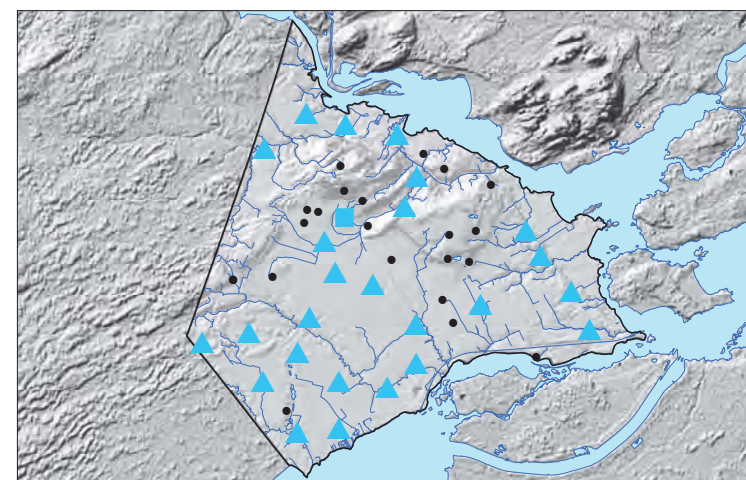
Dépassements de l'objectif *Dureté totale*



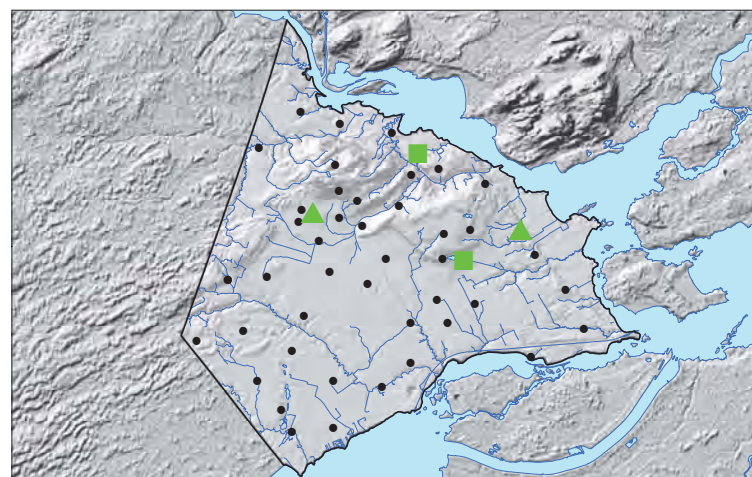
Dépassements de l'objectif *Fer*



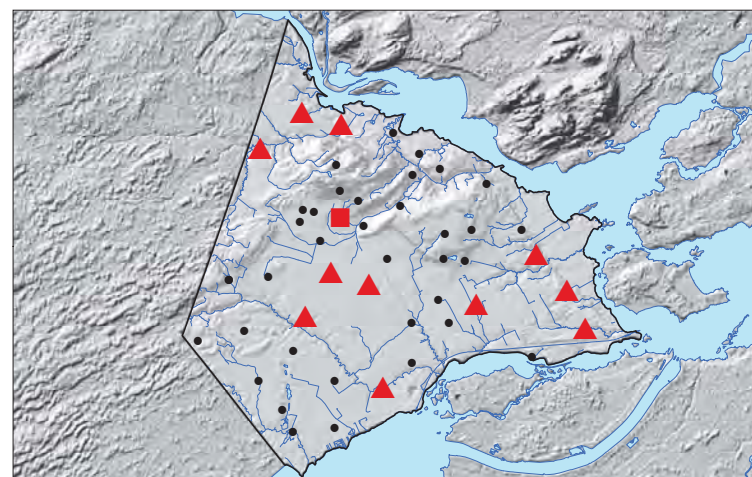
Dépassements de l'objectif *Manganèse*



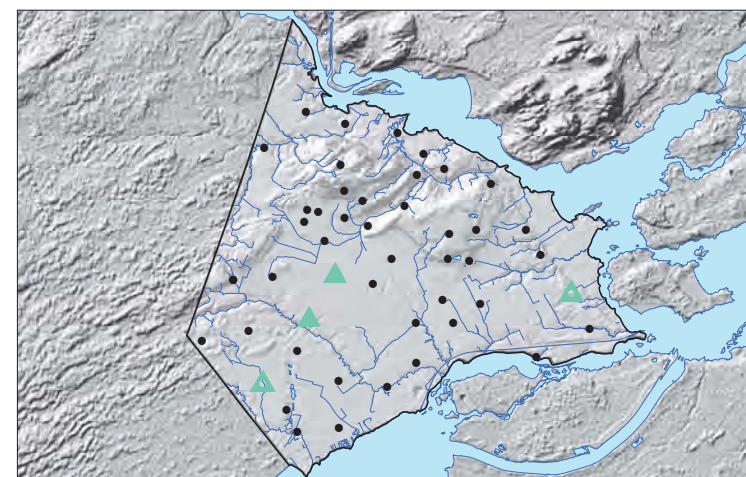
Dépassements de l'objectif *Matières dissoutes totales*



Dépassements de l'objectif *pH*



Dépassements de l'objectif *Sodium*



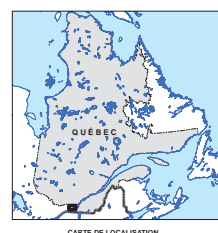
Dépassements de l'objectif *Sulfures (▲) et Sulfates (▲)*

### LÉGENDE

- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- ⬭ Zone d'étude

#### Dépassements des critères esthétiques

- Aucun dépassement
- Dépassement dans l'aquifère granulaire
- ▲ Dépassement dans l'aquifère fracturé



MÉTADONNÉES  
Section 6.2 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

### Carte 28 Qualité de l'eau souterraine - Objectifs esthétiques ZONE VALDREUIL-SOULANGES QUÉBEC



SOURCES / RÉALISATION  
Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Objectifs esthétiques: UQAM  
Réalisation:  
Université du Québec à Montréal



Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1:500 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découvrant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les études requises pour définir les conditions réelles à l'échelle locale et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'intégrité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attache ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adéquation à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, des conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée : Larocque, M., Maréchal, D., Charlet, M. A., Gravelle, M. H., Gagné, S., Barrette, D. et Doran, S. 2015. Projet de consultation des eaux souterraines de la zone de Valdreuil-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MRC/SCC.



### 6.3 Densité des activités anthropiques

L'estimation de la densité des activités anthropiques sur la zone d'étude vise à évaluer l'impact potentiel des activités en termes de risque appréhendé sur la qualité de la ressource en eau souterraine. Cet indice vise à fournir les tendances régionales en termes de pressions des activités anthropiques sur l'eau souterraine. Les activités anthropiques présentant des sources de contamination potentielles ponctuelles ou diffuses ont été séparées en deux indices distincts.

Le premier indice vise à évaluer l'impact potentiel des activités anthropiques ponctuelles provenant des centres urbains et des activités commerciales et industrielles. Cet indice a été établi en suivant le protocole présenté à l'**annexe 15**. Selon ce protocole, l'emplacement des activités est localisé grâce au système de classification des codes d'utilisation des biens-fonds (CUBF), auxquels est associé un risque de contamination de l'eau souterraine. Le risque de contamination a été établi selon le système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN) pour chaque activité du CUBF, permettant d'estimer la nature et les contaminants potentiels utilisés. Une pondération des risques associés à chaque activité anthropique a été calculée en utilisant quatre critères : la toxicité des contaminants potentiels, leur quantité, la zone d'impact possible et la fréquence des rejets. L'indice considère ainsi de nombreuses activités (agroalimentaire, chimique, bois et pâtes papier, métallurgie, etc.) ainsi que les polluants potentiels qui leur sont associés. Dans cet indice, les sources de contamination diffuses référencées au CUBF telles que les installations septiques, les activités agricoles et les autoroutes ont été exclues. Il est important de mentionner que l'évaluation globale de l'impact ou du risque potentiel lié à chaque activité demeure qualitative. Cette évaluation vise à attribuer à chaque activité un poids relatif afin de permettre la préparation d'un portrait régional de la pression des activités anthropiques, en termes de risque appréhendé, sur la qualité des ressources en eau souterraine. Cet outil est destiné à une analyse régionale et ne peut remplacer la nécessité d'évaluer l'impact ponctuel de chaque activité.

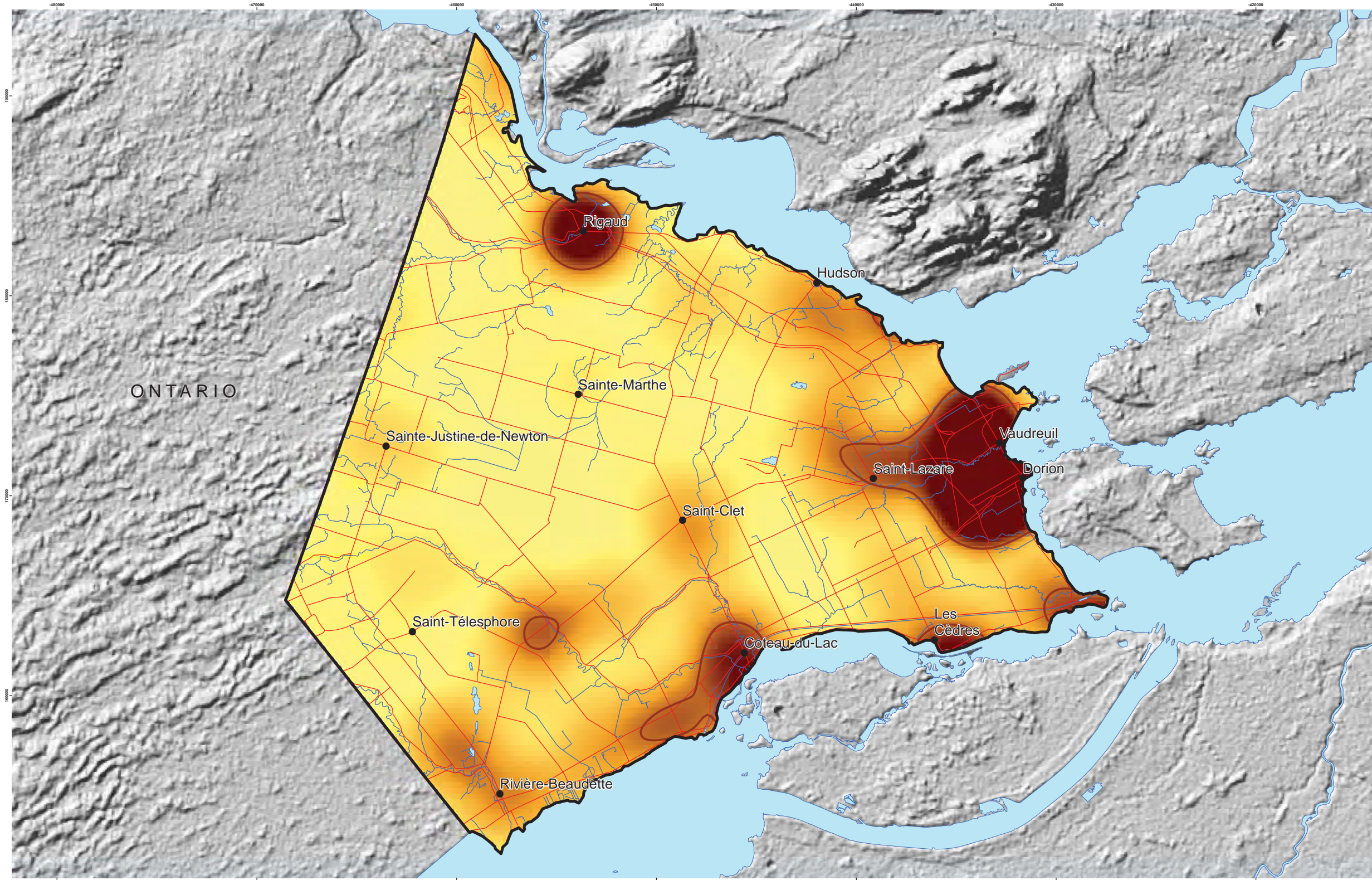
Dans la zone d'étude, l'indice de densité d'activités anthropiques varie de 0 à 46 activités/km<sup>2</sup>. Les zones urbanisées les plus étendues ou présentant la plus grande densité de population, i.e. les municipalités de Vaudreuil-Dorion, Rigaud, Coteau-du-Lac et les Cèdres, sont celles où l'indice de densité d'activités anthropiques est le plus élevé (**Carte 29**). Puisque le risque évalué est associé à des activités industrielles ou commerciales, il est égal à zéro en dehors des centres urbains ou industriels.

Le deuxième indice calculé estime la densité des activités agricoles, sur la base du nombre de fermes/km<sup>2</sup>. Les activités agricoles peuvent être des sources potentielles de contamination diffuses en raison de l'utilisation de fertilisants et de pesticides. Il est important de mentionner que la densité des activités agricoles n'est qu'un indice d'un risque potentiel de contamination et ne prend en compte ni les quantités ou les modes d'application des fertilisants et des pesticides, ni la vulnérabilité de l'aquifère au roc.

La densité des activités agricoles varie de 0 à 4 fermes/km<sup>2</sup>. La plus grande densité d'activités agricole se retrouve dans la partie centrale de la plaine argileuse, et les plus faibles

correspondent au plus grands centre urbains (Vaudreuil-Dorion, Rigaud), le mont Rigaud ainsi qu'un large secteur des butte de Saint-Lazare et de Hudson (**Carte 30**). Il est intéressant de noter que les secteurs où la densité des activités agricole est la plus élevée correspondent en grande majorité aux zones où l'indice DRASTIC est plus le plus bas pour de la zone d'étude. Cette situation explique certainement qu'aucun des puits échantillonnés à l'emplacement de la plaine argileuse n'ait indiqué de contamination de l'eau souterraine par les nitrates (voir **section 7.2** et la **carte 26**).





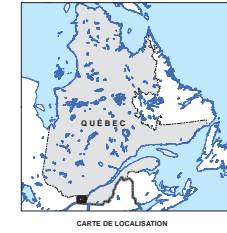
### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- ⊞ Zone d'étude

**Pondération du risque ( /km<sup>2</sup> )**

Maximum : 46  
Minimum : 0

— Contour 75<sup>e</sup> percentile



MÉTADONNÉES  
Section 6.3 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

**Carte 29** Densité des activités anthropiques  
**ZONE VALDIEU-SOULANGES**  
QUÉBEC



Projection cartographique conforme de Lambert de Québec  
Métrolier central de 5  
Système de référence géographique nord-américain, 1983

SOURCES / RÉALISATION

Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Densité des activités anthropiques : UQAM

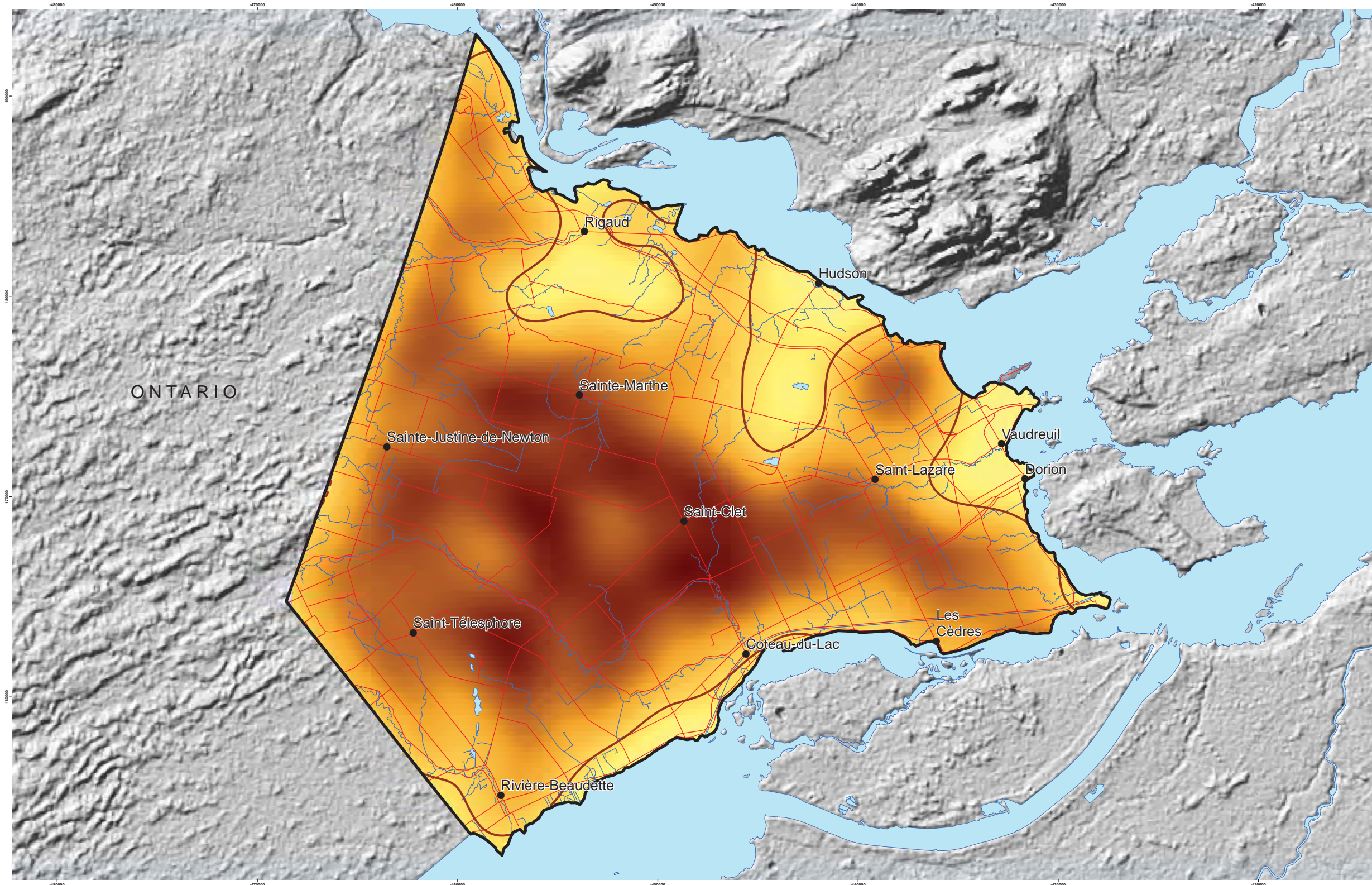
Réalisation :  
Université de Québec à Montréal



Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/50 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les données requises pour définir les conditions locales à l'exactitude ou à l'exactitude des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attaché ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adaptation à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, des conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée :  
Larocque, M., Méthot, G., Charlier, M.-A., Gravelle, M.-H., Gagné, S., Barrette, D. et Dorner, S. 2015. Projet de cartographie des eaux souterraines de la zone de Valdieu-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MDECC.





### LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- ⊞ Zone d'étude

**Densité des activités agricoles (ferme/km<sup>2</sup>)**

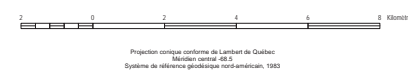
Maximum : 4  
Minimum : 0

— Contour 75<sup>e</sup> percentile



MÉTADONNÉES  
Section 6.3 du Rapport final  
(Larocque et al., 2015)

**Carte 30 Densité des activités agricoles  
ZONE VAUDREUIL-SOULANGES  
QUÉBEC**



SOURCES / RÉALISATION

Sources:  
Réseau hydrographique: BDTQ 20K  
Réseau routier: BNDT 250K  
Fond de carte: Ombre MERN 20K, UQAM  
Densité des activités agricoles: UQAM

Réalisation:  
Université du Québec à Montréal



Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/60 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les études requises pour définir les conditions locales et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'exactitude des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attaché ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adaptation à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, des conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées.

Notation bibliographique conseillée:  
Larocque, M., Méthot, G., Charlier, M., A., Gravelle, M. H., Gagné, S., Barrette, D. et Dornier, S. 2015. Projet de cartographie des eaux souterraines de la zone de Valdreuil-Soulanges - Rapport final. Rapport présenté au MDECC.



## **6.4 Gestion durable de la ressource**

### **6.4.1 *Principes de gestion durable***

La gestion durable des ressources eau est basée sur le principe du développement durable selon lequel les ressources doivent être utilisées de manière à répondre aux besoins de la société tout en préservant leur pérennité à long terme. La gestion durable des ressources en eau, comme celle de tous les types de ressources, est le résultat d'un ensemble de compromis acceptés par la société.

Les ressources en eau sont exposées à un ensemble de pressions parmi lesquelles certaines concernent plus spécifiquement les eaux souterraines. La liste suivante présente des exemples, sans être toutefois exhaustive.

- Changements dans l'aménagement du territoire (e.g. urbanisation, développement de l'agriculture, etc.);
- Augmentation des prélèvements d'eau souterraine pour l'alimentation en eau potable (e.g. en raison d'une augmentation de la population ou d'un transfert des sources de surface vers les sources souterraines en raison d'une dégradation de la qualité des eaux de surface), pour l'agriculture (e.g. nouvelles cultures nécessitant de l'irrigation) ou pour l'industrie.
- Augmentation de la pollution d'origine diffuse par l'intensification des pratiques agricoles;
- Pollutions ponctuelles accidentelles et prolongées (e.g. déversements, sites d'enfouissement illicites);
- Nouvelles activités ayant un potentiel de contamination de l'eau souterraine;
- Réduction de la recharge des eaux souterraines en conséquence de l'imperméabilisation des surfaces ou de la perte des superficies de milieux humides;
- Modifications dans la dynamique de la recharge induite par les changements climatiques.

La gestion durable des eaux souterraines doit être basée sur une connaissance adéquate des ressources disponibles. Le programme PACES joue un rôle majeur pour développer ces connaissances. Le projet PACES-Vaudreuil-Soulanges a permis de construire une base de données fiable et complète des connaissances actuelles sur les eaux souterraines où très peu de données régionales n'étaient disponibles jusqu'ici. Les cartes développées ainsi que l'ensemble des travaux complémentaires réalisés dans le cadre de ce projet procurent une compréhension des eaux souterraines étendue sur la région et forme une base solide pour la gestion durable de la ressource en eau.

Cette gestion doit maintenant être réalisée avec le support des intervenants locaux. Plusieurs ont d'ailleurs été partenaires du projet PACES-Vaudreuil-Soulanges, ce qui témoigne de leur grand intérêt pour la question. Pour y parvenir, les intervenants locaux doivent toutefois disposer d'indicateurs de quantité et de qualité qui traduisent l'état actuel de la ressource dans la région. Afin de permettre une gestion à long terme, ces indicateurs devront faire l'objet d'un suivi à long terme.

### **6.4.2 Indicateurs de quantité**

La zone d'étude ne présente pas actuellement de déficit en eau, mais le prélèvement anthropique sur la ressource est significatif par rapport au taux de renouvellement naturel par la recharge. Le débit total pompé par les activités anthropiques correspond à une hauteur d'eau de 14 mm/an et ce flux est significatif car il représente 29 % au taux de recharge pour l'aquifère au roc estimé pour la zone d'étude. Comme ailleurs pour le Québec méridional, les précipitations sont abondantes et l'évapotranspiration est limitée sur la zone d'étude. Ce contexte permet des taux de recharge élevés aux endroits où les dépôts meubles sont peu épais (mont Rigaud) et où ils sont perméables (buttes de Saint-Lazare et de Hudson). Les aires de recharge sont spatialement limitées sur Vaudreuil-Soulanges, mais d'importance capitale pour l'ensemble de l'aquifère fracturé régional, notamment en raison de taux de recharge élevés. Ainsi, bien que très productifs et recevant des taux de recharge élevés, les complexes aquifères granulaires des plateaux sableux de Saint-Lazare et de Hudson sont déjà relativement exploités. L'aquifère fracturé est généralement très productif sur toute la zone d'étude quand il s'agit de roches sédimentaires, mais beaucoup moins productif dans le cas des roches cristalline du mont Rigaud.

Parce que les zones de recharges sont limitées dans l'espace, l'augmentation des débits pompés qui pourraient résulter d'une intensification des activités agricoles ou industrielles, pourrait poser des contraintes sur les ressources en eau et entraîner des conflits d'usage. Par ailleurs, une baisse des niveaux de nappe qui résulterait par exemple d'une diminution de la recharge en raison de l'imperméabilisation des surfaces, des changements climatiques, ou de la perte de milieux humides pourrait avoir un impact global sur le cycle de l'eau dans l'ensemble de la zone d'étude, notamment par l'augmentation du ruissellement de surface et la diminution des débits de base des cours d'eau. Les effets de tels changements pourraient être de réduire les volumes d'eau souterraine disponibles pour les municipalités, d'altérer la qualité de l'eau en rivière et de modifier les écosystèmes aquatiques de la région.

Pour assurer le maintien des conditions actuelles qui sont assez avantageuses au niveau de la quantité d'eau disponible, une gestion durable de la ressource en eau doit être mise en place. Une telle gestion implique le suivi d'indicateurs de quantité. Ceux-ci doivent refléter la connaissance des flux actuels et être susceptibles de mettre en évidence des changements dans les quantités d'eau disponibles ou des changements dans la nature des flux rencontrés.

Le Réseau du suivi des eaux souterraines du Québec mis en place par le MDDELCC est un moyen important pour assurer le suivi des niveaux d'eau dans les aquifères et une source d'information cruciale pour la région. L'extension de ce réseau dans la région et dans le cadre du projet PACES-Vaudreuil-Soulanges est certainement un atout. Toutefois, en raison des fluctuations interannuelles naturelles de la recharge, les données acquises par ces piézomètres ne seront pleinement utiles pour détecter des tendances (à la hausse ou à la baisse) des niveaux piézométriques que dans une ou deux décennies.

L'installation de stations de mesure des débits en rivière est un autre outil important pour suivre les flux d'eau souterraine. Dans le cadre du projet, la rivière à la Raquette a été instrumentée d'une station de mesure des débits et cette station restera en opération à long terme, grâce à une collaboration entre l'UQAM et l'OBV COBAVER-VS. La région de Vaudreuil-Soulanges bénéficierait toutefois d'avoir d'autres stations de mesure de débits opérées par le CEHQ. Dans le Québec méridional, les débits en rivière intègrent en général une proportion importante d'écoulements souterrains et hypodermiques. Le suivi des débits, particulièrement en période d'étiage est donc un outil important pour indiquer les quantités d'eaux souterraines qui s'écoulent dans la portion la plus dynamique de l'aquifère.

### **6.4.3 Indicateurs de qualité**

L'eau souterraine pour la zone d'étude est généralement de bonne qualité. Seuls quelques dépassements de normes ont été observés pour le fluor, ceux-ci étant causés par des échanges naturels entre les formations géologiques et l'eau souterraine qui circule dans les aquifères. Afin d'assurer une eau souterraine de qualité, la gestion durable de la ressource en eau doit néanmoins inclure le suivi d'indicateurs de qualité. Un suivi régulier de la qualité de l'eau dans les forages du Réseau du suivi des eaux souterraines du Québec permettrait d'identifier l'émergence de nouvelles problématiques liées à la qualité de la ressource. Une telle couverture de la qualité de l'eau ne serait toutefois pas représentative de l'ensemble du territoire en raison du nombre limité de stations suivies.

Très peu de nitrates ont été détectés dans les eaux souterraines et aucun dépassement de norme n'a été observé. Même si l'agriculture intensive est présente dans la plaine argileuse, l'aquifère captif sous l'argile semble bien protégé par ce contexte hydrogéologique naturel. Il reste toutefois primordial de protéger les zones de recharge de la zone d'étude de toute contamination anthropique potentielle car ces dernières représentent une superficie restreinte, mais restent les fenêtres d'entrée de contaminant potentiel depuis la surface du sol vers les aquifères. Bien que peu de nitrates aient été détectés sur la zone d'étude, la migration de nitrates sur plusieurs décennies dans les formations les moins perméables (e.g. formations argileuses) est encore mal comprise. Il est donc particulièrement important d'assurer un suivi des concentrations en nitrates, mais également d'évaluer la situation pour d'autres contaminants d'origine anthropique (i.e. pesticides, composés pharmaceutiques) qui n'ont pas été étudiés dans ce projet, mais qui pourraient migrer des mêmes sources anthropiques vers l'aquifère.

Les teneurs en manganèse ont également été identifiées comme étant problématiques en regard du critère esthétique. Ces concentrations sont le résultat du contact entre les formations géologiques et l'eau souterraine et ne sont pas de source anthropique. Comme elles peuvent être problématiques en termes de santé publique (Bouchard et al., 2011), un suivi des concentrations en manganèse est ainsi souhaitable.

## 7 RECOMMANDATIONS ET CONCLUSIONS

### 7.1 Recommandations

#### 7.1.1 *Recommandations en lien avec la ressource en eau*

Les travaux, méthodes et les analyses réalisées et développées lors de ce projet ont été orientés pour fournir un portrait hydrogéologique à l'échelle régionale. Bien qu'il ne soit généralement pas possible d'utiliser ces données pour répondre à des problématiques dont la technicité requiert une réponse quantitative locale, l'approche régionale fourni en revanche un bilan important et nécessaire à la compréhension hydrogéologique de la région. Les recommandations présentées ci-après sont d'ordre général, mais leur portée permet justement de solliciter les expertises locales pour répondre à l'échelle locale aux besoins d'alimentation et de protection de la ressource en eau souterraine.

#### *Quantités d'eau disponible*

- Il est recommandé de réaliser des études complémentaires à l'échelle locale avant tout nouveau projet d'exploitation de l'eau souterraine municipale, ou de développement résidentiel impliquant une forte densité de puits individuels dans le roc. À l'exception du mont Rigaud, l'aquifère rocheux est dans l'ensemble productif mais des hétérogénéités géologiques peuvent exister et pourrait éventuellement rendre difficile une augmentation significative des prélèvements. Bien que les aquifères granulaires les plus importants soient productifs, certains sont déjà exploités de manière significative. Des études d'impact à l'échelle locale sont recommandées dans le cas d'une augmentation des prélèvements.
- De nombreuses études hydrogéologiques locales ont été réalisées pour définir le potentiel aquifère des buttes de Hudson et de Saint-Lazare dont la stratigraphie est particulièrement complexe. D'autres aquifères granulaires d'étendue moins grande existent dans la région, mais n'ont pas été spécifiquement ciblés par le projet. Certains pourraient devenir des sources potentielles d'alimentation en eau potable pour les municipalités et devraient faire l'objet d'études spécifiques pour la recherche en eau et pour quantifier l'impact de l'exploitation des gravières/sablières, le cas échéant.
- Il est recommandé de poursuivre le suivi des niveaux piézométriques dans tous les nouveaux forages au roc forés dans le cadre de ce projet et de les inclure dans le Réseau du suivi des eaux souterraines du Québec mis en place par le MDDELCC. Il est également recommandé d'étendre le Réseau en ajoutant des puits pour le suivi des niveaux de nappe dans les aquifères granulaires les plus importants. Ce suivi à long terme est nécessaire pour identifier d'éventuelles variations à long terme des volumes d'eau disponibles. Les stations de mesure des débits mises en place dans le projet seront intégrées à l'IRRES pour un suivi à long terme de la rivière à la Raquette. Il est recommandé d'installer des stations de mesure des débits sur d'autres rivières de la région.



- Il est recommandé de planifier le développement urbain afin de limiter l'imperméabilisation des surfaces et le drainage dans le but de favoriser la recharge.

#### *Qualité de l'eau*

- Il est recommandé de contrôler les activités à potentiel de pollution dans toutes les zones de vulnérabilité élevée ayant été identifiées dans ce projet. Ces formations correspondent souvent à des zones de recharge de l'aquifère au roc et elles sont en général vulnérables.
- Il est recommandé de réaliser un suivi à long terme des forages où des dépassements de normes ont été observés, de même qu'un suivi à long terme des secteurs où les concentrations en nitrates les plus élevées ont été observées. Également, un suivi du manganèse dans l'ensemble de la région devrait être mis en œuvre afin d'assurer le respect des critères esthétiques.
- Des analyses pesticides et/ou de composés pharmaceutiques dans les forages individuels permettraient de cibler les secteurs à risque de contamination par polluants d'origine anthropique.

#### **7.1.2 Recommandations sur la réalisation des travaux PACES**

La collaboration avec les partenaires régionaux a été un atout important tout au long du déroulement du projet. Les rencontres du comité de suivi ont permis d'informer les partenaires de l'avancement des travaux et d'identifier des problématiques spécifiques au déroulement du projet. La participation des partenaires régionaux à la réalisation des projets PACES paraît donc essentielle pour le bon déroulement des travaux. La collaboration mise en place au cours du projet va se poursuivre avec certaines municipalités de Vaudreuil-Soulanges avec le projet d'infrastructure de recherche sur la recharge des eaux souterraines (IRRES). Ce projet, initié en octobre 2014, inclut la mise en place progressive d'infrastructure de mesure visant à comprendre la dynamique spatio-temporelle de la recharge et intègre les infrastructures installées dans le cadre de ce projet.

Le programme PACES a permis de concerter la recherche universitaire pour développer une connaissance régionale des eaux souterraines qui dépasse le cadre des livrables présentés dans ce rapport. Les équipes de recherche en place dans les différentes universités ont travaillé en collaboration étroite pour réaliser une caractérisation des eaux souterraines de manière concertée et homogène dans différentes régions du Québec. Il en résulte une meilleure compréhension des aquifères locaux, une compréhension des ressources en eaux souterraines qui se dessine maintenant à l'échelle du territoire, des développements très significatifs au niveau des méthodes de caractérisation, la consolidation d'une synergie interuniversitaire sur la question des eaux souterraines, de même que la formation d'hydrogéologues qui trouveront rapidement leur place sur le marché du travail. Il est recommandé de poursuivre le programme

PACES pour réaliser la caractérisation des eaux souterraines dans les régions encore non étudiées.

Le transfert des connaissances a eu lieu tout au long du projet, et un atelier a été spécifiquement donné en décembre 2014. Le transfert se poursuivra à la fin du projet, avec le présent rapport et avec le transfert de toutes les données acquises. Le Portail de l'eau du MDDELCC sera un outil majeur pour faciliter le transfert des connaissances et la mise à disposition des données acquises. Le Réseau québécois sur les eaux souterraines (RQES) jouera un rôle déterminant dans le transfert des connaissances post-PACES.

## **7.2 Conclusions**

Le projet PACES-Vaudreuil-Soulanges a permis de caractériser les eaux souterraines de la partie basse de la Zone de gestion intégrée de l'eau de Vaudreuil-Soulanges. Ce projet avait deux grands objectifs généraux:

1. dresser un portrait de la ressource en eaux souterraines de la Zone de gestion intégrée de l'eau de Vaudreuil-Soulanges;
2. favoriser une saine gestion de la ressource en développant des partenariats entre les acteurs de l'eau et les gestionnaires du territoire dans l'acquisition des connaissances sur la ressource en eaux souterraines.

Les travaux réalisés ont permis d'atteindre ces objectifs, de même que les objectifs spécifiques du projet: 1) comprendre la nature des formations aquifères; 2) connaître l'origine et les directions d'écoulement de l'eau souterraine; 3) décrire la qualité de l'eau souterraine; 4) quantifier le bilan hydrique de l'aquifère, 5) estimer la pérennité de la ressource en eau souterraine selon son taux de renouvellement naturel et en fonction des prélèvements anthropiques; 6) déterminer la vulnérabilité de l'eau souterraine aux activités humaines.

### *Nature des formations aquifères*

Le volume des dépôts fluvioglaciaires est important dans la région de Vaudreuil-Soulanges. Ces dépôts granulaires présentent un bon potentiel aquifère pour les complexes fluvioglaciaires des buttes de Saint-Lazare et de Hudson, ainsi qu'à l'esker de Saint-Télésphore. D'autres dépôts fluvioglaciaires sont présents entre Pointe-Fortune et Hudson en longeant la rivière des Outaouais. Ces derniers ne sont pas exploités en terme d'aquifère mais plutôt en terme de ressource en matériaux granulaires. L'aquifère fracturé des roches sédimentaires est productif dans l'ensemble de la zone Vaudreuil-Soulanges, mais celui du mont Rigaud est nettement moins transmissif.

### *Origine et directions d'écoulement de l'eau souterraine*

Dans la plaine argileuse, l'eau souterraine s'écoule régionalement vers le réseau de drainage majeur (rivière des Outaouais et fleuve Saint-Laurent) à partir des principales zones de reliefs (mont Rigaud, crêtes de Sainte-Justine-de-Newton, butte de Saint-Lazare et de Hudson). À l'emplacement de ces reliefs, les eaux souterraines s'écoulent dans toutes les directions, des hauts topographiques vers les vallées ou vers la plaine argileuse. Une partie de l'écoulement souterrain est intercepté par les rivières. L'aquifère apporte une contribution aux débits des rivières toute l'année, et cet apport devient crucial en période estivale.

### *Qualité de l'eau souterraine*

L'eau souterraine de la zone d'étude est de bonne qualité de manière générale. Mis à part des dépassements significatifs pour la bactériologie qui sont fortement liés à l'entretien individuel du puits, un nombre limité de dépassements des normes pour la qualité de l'eau potable ou pour les critères esthétiques ont été identifiés. Très peu de nitrates ont été détectés dans l'eau souterraine et les concentrations mesurées sont bien en-deçà de la norme pour l'eau potable. Les concentrations mesurées elles dépassent toutefois le seuil d'impact anthropique dans certains cas. Des dépassements de fluor ont été observés pour la partie nord de la zone d'étude mais ne sont pas concentrés dans un secteur clairement défini, bien que des concentrations élevées en fluor soient connues à l'emplacement du mont Rigaud. Les problématiques identifiées dans la région concernent les concentrations en manganèse qui dépassent le critère esthétique et pourraient être une préoccupation pour la santé des enfants.

### *Bilan hydrique de l'aquifère*

Le bilan hydrique de l'aquifère montre qu'une faible partie des précipitations contribue à la recharge de l'eau souterraine. Il existe des zones distinctes ayant des taux de recharge élevés, mais pour les trois quart de la zone d'étude, l'aquifère au roc ne reçoit pas de recharge du fait de la couverture argileuse. La majorité de la recharge fait résurgence dans les cours d'eau. La proportion de l'écoulement régional qui atteint le fleuve Saint-Laurent et la rivière des Outaouais en bordure de la zone d'étude sont indéterminés. Les volumes d'eau souterraine utilisés par les particuliers, les villes, l'agriculture et l'industrie sont inférieurs à la recharge, mais les pressions des pompages sur la ressource en eau souterraine sont très significatives puisqu'elles concernent 29 % de la recharge. Les puits de particuliers peuvent s'alimenter sans problème dans la portion superficielle (e.g. 30 à 40 premiers mètres) de l'aquifère fracturé dans les roches sédimentaires. Cependant, pour le secteur du mont Rigaud, la faible densité des puits de particuliers est sans doute le résultat de la faible productivité de l'aquifère rocheux.

### *Vulnérabilité de l'aquifère*

Les zones où l'aquifère est le plus vulnérable sont localisées sur les principaux dépôts granulaires ou sur les reliefs couverts par des dépôts quaternaires minces ou de till sur roc. Ces zones correspondent également aux zones de recharge préférentielles pour l'aquifère fracturé : buttes de Saint-Lazare et de Hudson, mont Rigaud, crêtes de till étendues. L'ensemble des

détections en nitrates sont situées sur ces zones de recharge. Les zones les plus vulnérables sont généralement celles où l'activité agricole est la plus faible, tandis que l'agriculture intensive est principalement localisée dans la plaine argileuse, où l'aquifère est peu vulnérable.

### **7.3 Conclusion générale**

Les résultats présentés dans ce rapport sont le fruit de trois années de travail avec la collaboration logistique et financière de plusieurs partenaires de la région: l'organisme de bassin versant COBAVER-VS, l'Agence de géomatique montréalaise (GéoMont) et de la MRC de Vaudreuil-Soulanges. Le projet a été réalisé au sein du Réseau québécois sur les eaux souterraines (RQES) avec le financement du MDDELCC et des partenaires régionaux.

Au cours de ce projet, des questions cruciales sur la pérennité de la ressource en eau souterraine ont été explorées en réalisant le bilan hydrique régional, l'estimation de la recharge spatialisée sur les deux dernières décennies, ainsi que sur le bilan de consommation d'eau par les particuliers, l'agriculture et l'industrie. Les travaux d'acquisition et de compilation concernant la nature et la productivité des aquifères ont permis de localiser la ressource en eau souterraine, d'évaluer son renouvellement et de quantifier les prélèvements anthropiques. Enfin, l'analyse concernant la qualité de l'eau, la vulnérabilité des aquifères ainsi que les données concernant la présence d'activités potentiellement polluantes apportent des informations essentielles pour la mise en place d'une approche préventive pour la protection de la qualité de la ressource. Les données acquises permettront d'intégrer l'eau souterraine dans la gestion du territoire à l'échelle de la Zone de gestion intégrée de l'eau Vaudreuil-Soulanges.

## RÉFÉRENCES

- Aeschbach-Hertig, W., F. Peeters, U. Beyerle et R. Kipfer. 1999. Interpretation of dissolved atmospheric noble gases in natural waters. *Water Resources Research*, 35 (9): 2779-2792.
- Aller, L., T. Bennett, J. H. Lehr, R. Petty et G. Hackett. 1987. *DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings*. National Water Well Association, Dublin, OH., 20 p.
- Anderson, T. W., J. V. J. Matthews, R. Mott et S. H. Richard. 1990. The Sangamonian Pointe-Fortune site, Quebec-Ontario border. *Géographie physique et Quaternaire*, 44 (3): 271-287.
- Aquaveo (2014). Groundwater Modeling System (GMS) En ligne.  
<<http://www.aquaveo.com/software/gms-groundwater-modeling-system-introduction>>.
- BDCA. 2011. *Guide technique. Base de données des cultures assurées*. La financière Agricole. [www.fadq.qc.ca](http://www.fadq.qc.ca).
- Beaulieu, J., S. Murray et C. Villeneuve. 2012. *Cartographie détaillée des milieux humides du territoire du Centre-du-Québec - rapport synthèse*. Canards Illimités et Ministère du Développement Durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Direction du patrimoine écologique et des parcs, Québec, 44 p.
- Bouchard, M. F., S. Sauvé, B. Barbeau, M. Legrand, M.-È. Brodeur, T. Bouffard, E. Limoges, D. C. Bellinger et D. Mergler. 2011. Intellectual impairment in school-age children exposed to manganese from drinking water. *Environmental health perspectives*, 119 (1): 138.
- Brazeau, A. 1997. *Inventaire des ressources en granulats de la région de Vaudreuil*. MB-97-29. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec.
- Charron, J. E. 1978. *Étude hydrogéochimique de l'écoulement souterrain dans l'interfluve de la rivière des Outaouais et du fleuve Saint-Laurent*. Étude n. 76, série scientifique. Environnement Canada, 122 p.
- Clark, I. D. et P. Fritz. 1997. *Environmental isotopes in hydrogeology*. Édité par.: CRC press, 352 p.
- Consulteaux. 2002. *Évaluation du potentiel hydrogéologique - Municipalité de Saint-Clet*. Dossier n°1005-01-16. Vaudreuil-Dorion.
- . 2004. *Étude hydrogéologique - Puits Sainte-Marie, Saint-Clet, Québec*. Rapport 1005-03-16-06. Vaudreuil-Dorion, 16 p.
- Cooper, H. H. et C. E. Jacob. 1946. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-field history. *Transactions of the American Geophysical Union*, 27 (4): 526-534.

- Corbeil, P. 1984. *Géologie du Quaternaire de la région de Rigaud/Rivière-Beaudette (Québec)*. MSc., Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère, Université du Québec à Montréal, Montréal.
- Dreimanis, A. 1977. Late Wisconsin glacial retreat in the Great Lakes Region, North America. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 288 (1): 70-89.
- Dubrovsky, N., Burow KR, Clark GM, Gronberg JM, Hamilton PA, Hitt KJ, Mueller DK, Munn MD, Nolan BT, Puckett LJ, Rupert MG, Short TM, Spahr NE, Sprague LA et W. WG. 2010. The quality of our Nation's waters—Nutrients in the Nation's streams and groundwater, 1992–2004. *U.S. Geological Survey Circular 1350*: 174.
- Eckhardt, K. 2005. How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrological Processes*, 19 (2): 507-515.
- Envir-Eau. 2007. *Conformité à l'article 25 du règlement sur le captage des eaux souterraines, Puits Joly, Municipalité de Rigaud (Québec)*. Réf. HB6592-00-00. 11 p.
- 2008a. *Conformité à l'article 25 du règlement sur le captage des eaux souterraines, Puits Bourget, Municipalité de Rigaud (Québec)*. Réf. HB6592-00-01. 13 p.
- 2008b. *Conformité à l'article 25 du règlement sur le captage des eaux souterraines, Puits Gauthier, Municipalité de Rigaud (Québec)*. Réf. HB6592-00-02. 13 p.
- Fetter, C. W. 1980. *Applied Hydrogeology*. Édité par.: Bell & Howell Company, Columbus, Ohio, 488 p.
- Foratek. 1988. *Recherche hydrogéologiques à Saint-Lazare (secteur Sainte-Angélique)*. Rapport n°893.
- Fortin, V. et R. Turcotte. 2006. Le modèle hydrologique MOHYSE. *Note de cours pour SCA7420, Département des Sciences de la Terre et de l'Atmosphère, Université du Québec à Montréal*, 23 p.
- Gadd, N. R. 1977. Offlap sedimentary sequence in Champlain Sea, Ontario and Quebec. In *Report of activities, Part A, Paper 77-1A*. Geological Survey of Canada, p. 379-380.
- Gadd, N. R., S. H. Richard et D. R. Grant. 1981. Pre-last glacial organic remains in Ottawa Valley. In *Current Research, Paper 81-1C*. Geological Survey of Canada, p. 65-66.
- GéoMont. 2011. *Acquisition des données LiDAR - Secteurs de la Vallée-du-Haut-Saint-Laurent et Châteauguay & Vallée-du-Richelieu*.
- Globensky, Y. 1982. *Région de Vaudreuil*. Rapport RC-199. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec.
- 1987. *Géologie des basses-terres du Saint-Laurent*. Édité par.: [Ministère de l'énergie et des ressources], Direction générale de l'exploration géologique et minérale, Direction de la recherche géologique, Service de la géologie, p.

- Gouvernement du Québec. 2001. *Règlement sur la qualité de l'eau potable.*, chapitre Q-2, r. 40 p.
- . 2013. *Règlement sur le captage des eaux souterraines. chapitre Q-2, r. 6.*
- . 2014. *Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection, chapitre Q-2, r. 35.2.*
- GRIES. 2010. *Protocole de prélèvement d'échantillons d'eau souterraine pour le PACES.* 9 p.
- Gröning, M., H. Lutz, Z. Roller-Lutz, M. Kralik, L. Gourcy et L. Pöltenstein. 2012. A simple rain collector preventing water re-evaporation dedicated for  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$  analysis of cumulative precipitation samples. *Journal of Hydrology*, 448: 195-200.
- Groupe de travail national sur les terres humides, GTNTH. 1997. *Le système de classification des terres humides du Canada, 2e édition.* Édité par B. G. Warner et C. D. A. Rubec. Centre de recherche sur les terres humides, Université de Waterloo, Waterloo, Ontario, 68 p.
- Havnø, K., M. Madsen, J. Dørge et V. Singh. 1995. MIKE 11-a generalized river modelling package. *Computer models of watershed hydrology.*: 733-782.
- Hollocher, T. C. 1984. Source of the oxygen atoms of nitrate in the oxidation of nitrite by *Nitrobacter agilis* and evidence against a  $\text{P} \cdot \text{O} \cdot \text{N}$  anhydride mechanism in oxidative phosphorylation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 233 (2): 721-727.
- Hvorslev, M. J. 1951. *Time lag and soil permeability in ground-water observations.* Édité par.: U.S. Army Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, 50 p.
- HYDAT (2014). Hydrometric Data (HYDAT), Station Sainte-Anne-de-Bellevue (02OA013). R. H. d. Canada, Environnement Canada En ligne.  
<<http://www.wsc.ec.gc.ca/applications/H2O/index-eng.cfm>>.
- HydroQuébec (2014). Données 2013-2014 des niveaux d'eau de la rivière des Outaouais en aval de la centrale de Carillon. D. d. d. durable
- IAEA/WMO. 2004. *Global network of isotopes in precipitation. The GNIP database.*
- International Atomic Energy Agency. 2002. *Water & Environment Newsletter, issue 16.* Vienne, 8 p.
- Lajoie, P. et P. Stobbe. 1951. *Étude des sols des comtés de Soulanges et de Vaudreuil.* Rapport 25c-14452-9-50. Ministère fédéral de l'agriculture, 72 p.
- Lamothe, M. 1989. A new framework for the Pleistocene stratigraphy of the Central St. Lawrence Lowland. *Géographie physique et Quaternaire*, 43 (2): 119-129.
- Larocque, M. et G. Meyzonnat. 2013. *Projet de connaissance des eaux souterraines de la zone Vaudreuil-Soulanges.* Rapport d'étape Phase I. Université du Québec à Montréal, Montréal, 65 p.

- , 2014. *Projet de connaissance des eaux souterraines de la zone Vaudreuil-Soulanges*. Rapport d'étape Phase II. Université du Québec à Montréal, Montréal, 68 p.
- LNA. 2008. *Sources existantes - Étude de diagnostic*. N° 07-5858 et 07-5868. Cowansville, 15 p.
- Malka, E., R. K. Stevenson et J. David. 2000. Late Magmatic Event Associated with the Formation of the Iapetus Rift. *Journal of Geology*, 108 (5): 569-583.
- MDDELCC. 2013. «Programme d'acquisition de connaissance sur les eaux souterraines». En ligne. <<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/souterraine/programmes/acquisition-connaissance.htm>>.
- Méjean, P., D. L. Pinti, M. Larocque et Y. Sano. 2015. *Noble gas, carbon and nitrogen in a St. Lawrence Lowlands bedrock aquifer (eastern Canada)*. Congrès de l'AGU, Montréal, 4 au 7 mai 2015.
- Méjean, P., D. L. Pinti, N. Takahata, H. Y. Wen, Y. Sano et M. Larocque. 2014. *Noble gases, carbon and nitrogen in a sedimentary aquifer of the St. Lawrence Lowlands, eastern Canada*. Congrès du GÉOTOP, Pohénégammok, 14 au 16 mars 2014.
- Mercury, L., D. L. Pinti et H. Zeyen. 2004. The effect of the negative pressure of capillary water on atmospheric noble gas solubility in ground water and palaeotemperature reconstruction. *Earth and Planetary Science Letters*, 223 (1): 147-161.
- MERN. 2002. *Carte géologique du Québec*. Édition 2002, DV 2002-06, échelle 1: 2 000 000. Ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles, Québec.
- Meyzonnat, G., M. Larocque, S. Gagné et F. Barbecot. 2013. *Projet de connaissances des eaux souterraines de la zone Vaudreuil-Soulanges*. Colloque du Réseau québécois sur les eaux souterraines (RQES) « Les eaux souterraines : développement des connaissances et gestion durable de la ressource », Congrès de l'Acfas, mai 2013. Québec.
- Meyzonnat, G., M. Larocque, P. Méjean et D. L. Pinti. 2015. *Benefits of regional groundwater characterization on water resource quality and sustainability: the example of the contrasted hydrogeological context of the Vaudreuil-Soulanges area (Quebec, Canada)*. Congrès de l'AIH-CNC, Waterloo, 27 au 30 octobre 2015.
- Moreira, F., D. L. Pinti et M. Larocque. 2014. *Le  $^{222}\text{Rn}$  dans les eaux souterraines pour déceler les échanges rivières-nappes*. Congrès du GÉOTOP, Pohénégammok, 14 au 16 mars 2014.
- , 2015a. *Distribution du  $^{222}\text{Rn}$  dans les eaux souterraines des basses terres du Saint-Laurent, Québec, pour déceler les échanges rivières-nappes*. Colloque RQES à l'Acfas, Rimouski, 25 et 26 mai 2015.
- , 2015b. *Le  $^{222}\text{Rn}$  dans les eaux souterraines pour déceler les échanges rivières-nappes*. Congrès du GÉOTOP, Orford, 13 au 15 février 2015.
- Nash, J. E. et J. V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting through conceptual models. *Journal of Hydrology*, 10 (3): 282-290.



- Poirier, C. 2012. *Estimation préliminaire des débits de base à des sites de stations hydrométriques du Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ)*. Contribution au Programme d'acquisition des connaissances sur les eaux souterraines (PACES). Présentation powerpoint pour les équipes PACES, 30 octobre 2012. Québec.
- Poirier, C., T.-C. Fortier Filion, R. Turcotte et P. Lacombe. 2014. *Reconstitution historique des apports verticaux (eaux de fonte et de pluie) de 1900 à 2010 - version 2012*. Contribution au Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES). Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), Direction de l'expertise hydrique, Québec, 99 p.
- Refsgaard, J. et B. Storm. 1995. MIKE SHE. In *Computer Models of Watershed Hydrology*, Éd. V. P. Singh. Water Resources Publications, p. 809-846.
- Richard, S. A., R. Chesnaux, A. Rouleau et R. H. Coupe. 2014. Estimating the reliability of aquifer transmissivity values obtained from specific capacity tests: examples from the Saguenay-Lac-Saint-Jean aquifers, Canada. *Hydrological Sciences Journal*, 38 p.
- Richard, S. H. 1976. *Surficial geology mapping: Valleyfield - Rigaud area, Quebec*. Report of activities, Paper 76-1 A. Geological Survey of Canada, Ottawa, 527 p.
- , 1977. *Surficial geology mapping Valleyfield-Huntingdon area, Quebec*. Current Research, Part A, Paper 77-1 A. Geological Survey of Canada, Ottawa, 527 p.
- Richard, S. H. (1982a). *Géologie de surface, carte 1488A, Vaudreuil-Soulanges*.
- Richard, S. H. 1982b. *Géologie de surface, Huntingdon, Québec-Ontario*. Commission géologique du Canada, Carte 1489. Québec.
- , 1982c. *Géologie de surface, Vaudreuil, Québec-Ontario*. Commission géologique du Canada, Carte 1488A. Québec.
- , 1984. *Géologie des formations en surface, Lachute-Arundel, Québec*. Commission géologique du Canada, carte 1577A.
- Roy, M. et P. M. Godbout. 2014. *Cartographie des formations superficielles de la région de Vaudreuil-Soulanges, sud-ouest du Québec*. Rapport présenté au Ministère des Ressources Naturelles du Québec. Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère, Université du Québec à Montréal, Montréal, 25 p.
- Saby, M., M. Larocque, D. L. Pinti, F. Barbecot, Y. Sano et Castro M. C. 2015. Linking groundwater quality to residence times and regional geology in southern Quebec, Canada. *soumis à Applied Geochemistry*.
- Sasada, T., H. Hiyagon, K. Bell et M. Ebihara. 1997. Mantle-derived noble gases in carbonatites. *Geochimica et cosmochimica acta*, 61 (19): 4219-4228.
- Soilmoisture Equipment Corp. 2013. «Guelph permeameter calculator spreadsheet». En ligne. <<http://www.soilmoisture.com/operating.html>>.

- TechnoRem. 2002. *Investigation hydrogéologique complémentaire en vue de combler les besoins en eau de la municipalité de Sainte-Marthe, Québec*. Rapport PR02-33. Laval, 8 p.
- 2003. *Aménagement d'un deuxième puits de captage d'eau souterraine dans le secteur Forest Hill, ville de Saint-Lazare*. Rapport PR02-30. Laval, 90 p.
- 2005a. *Aménagement de deux puits de captage d'eau souterraine dans le secteur de Saint-Angélique, ville de Saint-Lazare*. Rapport PR04-17. Laval, 101 p.
- 2005b. *Élaboration d'un mode de gestion et d'exploitation du système aquifère de la ville d'Hudson*. Rapport PR04-50. Laval, 110 p.
- 2005c. *Évaluation préliminaire du potentiel hydraulique de la formation confinée de sable dans le secteur de Sainte-Angélique, Saint-Lazare*. Rapport final présenté à la Ville de Saint-Lazare, note de référence PR04-16. Laval.
- 2006. *Aménagement du puits de captage d'eau souterraine Bradbury dans le secteur de la rivière Viviry, ville d'Hudson*. Rapport PR05-78. Laval, 117 p.
- 2010a. *Aménagement et exploitation d'un nouvel ouvrage de captage d'eau souterraine dans le secteur Agathe, municipalité de Rigaud*. Rapport PR09-19. Laval, 115 p.
- 2010b. *Étude hydrogéologique et travaux de conception relatifs à la reconstruction du nouvel ouvrage de captage Sainte-Angélique n°3 dans le secteur Sainte-Angélique à Saint-Lazare*. Rapport PR10-56. Laval, 57 p.
- 2011. *Étude hydrogéologique en vue d'une demande d'autorisation de captage - puits Saddlebrook\_2008, secteur Saddlebrook, Saint-Lazare, Québec*. Rapport PR08-13. Laval, 98 p.
- 2012. *Surveillance des travaux de réhabilitation du puits Saint-Louis, ville de Saint-Lazare, Québec*. Rapport PR12-07. Laval, 9 p.
- Tremblay, J. J. 1975. *Aménagement d'un puits tubulaire à Saint-Clet, Québec*. Services techniques en eau souterraine inc. Dorval, 21 p.
- Tremblay, J. J. et G. D. Hobson. 1962. *Région cartographiée de Vaudreuil (Québec). Partie I, Hydrologie de la moitié est. Partie II, Application de la méthode séismique pour déterminer la profondeur de la roche en place*. Rapport CGC 61-20. 18 p.
- Turgeon, F. 2015. *Caractérisation hydrogéologique et modélisation couplée du bassin versant de la rivière à la Raquette, Québec (Canada)*. Mémoire de Maîtrise en Sciences de la Terre, UQAM, 115 p.
- Turgeon, F., M. Larocque et S. Dorner. 2013. *Surface-subsurface flow analysis of the Raquette River Watershed*. GéoMontréal, Congrès de l'AIH-CNC, Montréal, 29 sept au 3 octobre 2013.
- 2014. *Surface-subsurface flow analysis of the Raquette River Watershed*. Congrès du GÉOTOP, Pohénégammok, 14 au 16 mars 2014.

------. 2015. *Surface-subsurface flow analysis of the Raquette River Watershed (Vaudreuil-Soulanges, Quebec, Canada)*. Congrès de l'AGU, Montréal, 4 au 7 mai 2015.

Vautour, G., Pinti D. L., Saby M., Mejean P., Meyzonant G., Larocque M., Castro M.C., Barbecot F., Hall C., Boucher C., Roulleau E., Takahata N. et Sano Y. 2015. Helium, tritium and <sup>14</sup>C evidence for fossil meltwater in the S. Lawrence Lowlands, Quebec, eastern Canada. *soumis à Chemical Geology*.

Veillette, J. J. et F. M. Nixon. 1984. Sequence of Quaternary sediments in the Belanger sand pit, Pointe- Fortune, Quebec- Ontario. *Géographie physique et Quaternaire*, 38 (1): 59-68.

Verstraeten, W. W., B. Muys, J. Feyen, F. Veroustraete, M. Minnaert, L. Meiresonne et A. De Schrijver. 2005. Comparative analysis of the actual evapotranspiration of Flemish forest and cropland, using the soil water balance model WAVE. *Hydrology and Earth System Sciences*, 9 (3): 225-241.

Weise, S. et H. Moser. 1987. Groundwater dating with helium isotopes. *Isotope techniques in water resources development*. IAEA, Vienna: 105-126.

Weiss, R. F. 1968. Piggyback sampler for dissolved gas studies on sealed water samples. *Deep Sea Research*, 15: 721-735.