

Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines en Chaudière-Appalaches

Rapport d'étape de la phase I (version finale)

Déposé au Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec, dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines

Par l'Institut national de la recherche scientifique, Centre - Eau Terre Environnement (INRS-ETE) et l'Institut de recherche et développement en agroenvironnement (IRDA)

Rapport de recherche R-1402

Mars 2013

Équipe de réalisation

INRS

René Lefebvre
Jean-Marc Ballard
Marc-André Carrier
Xavier Malet
Châtelaine Beaudry
Harold Vigneault

IRDA

Aubert Michaud
Isabelle Beaudin
Ariane Drouin

OBV de la Chaudière-Appalaches

Marie-Hélène Cloutier

Pour nous joindre:



Institut national de la recherche scientifique
Centre - Eau Terre Environnement

490, rue de la Couronne
Québec (Québec) G1K 9A9 CANADA
T 418 654-2651 F 418 654-2600
www.ete.inrs.ca

ISBN : 978-2-89146-799-5

RÉSUMÉ

Ce rapport d'étape présente les résultats de la première phase du *Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines en Chaudière-Appalaches*, qui est réalisé dans le cadre du *Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines* (PACES) du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec (MDDEFP). Cette phase portait principalement sur l'assemblage de l'information disponible, la définition de l'état des connaissances à ce jour et la production de cartes préliminaires géologiques, hydrogéologiques et géochimiques de la Chaudière-Appalaches. La région d'étude couvre la Chaudière-Appalaches (14 600 km²), sauf Lévis, dont 8 des 9 municipalités régionales de comté (MRC) et la Conférence régionale des élu(e)s (CRÉ) sont partenaires du projet. Ce territoire couvre en tout ou en partie les territoires de six (6) OBV aussi partenaires du projet : OBV de la zone du Chêne, Comité de bassin de la rivière Chaudière (COBARIC), Conseil de bassin de la rivière Etchemin (CBE), OBV de la Côte-du-Sud, OBV du Fleuve Saint-Jean, et Groupe de concertation des bassins versant de la zone Bécancour (GROBEC). Les limites administratives de la Chaudière-Appalaches correspondent assez bien aux limites hydrologiques des bassins versants. La partie amont du bassin de la rivière Ouelle sur le territoire de l'Organisme de bassins versants Kamouraska, L'Islet, Rivière-du-Loup (OBAKIR) sur le territoire de la MRC de L'Islet fait aussi partie de la région d'étude. De plus, les territoires du Conseil de gouvernance de l'eau des bassins versants de la rivière de Saint-François (COGESAF) et de l'Organisme de concertation pour l'eau des bassins versants de la rivière Nicolet (COPERNIC) seront aussi en partie couverts par l'étude.

L'eau souterraine de cette région suscite de plus en plus d'intérêt, non seulement à cause de la nouvelle réglementation sur les prélèvements d'eau, mais aussi à cause de la mauvaise qualité de l'eau de surface. En 2012, plus de 52 % de la population de la Chaudière-Appalaches s'approvisionnait à partir de l'eau souterraine. En tout, 45% de la population totale de la région d'étude (sans Lévis), qui s'élève à 277 238 personnes, s'alimente en eau à partir d'un puits privé alors que le reste de la population est desservie par un réseau d'aqueduc municipal ou privé (20 personnes et plus). La compilation des données disponibles sur les réseaux de distribution indique que les municipalités (109) s'approvisionnent en majorité à partir de l'eau souterraine.

La compilation de données à partir de divers documents et bases de données est pratiquement complétée. Les données pertinentes ont été extraites et sont en cours d'intégration dans une base de données dont la structure est commune aux autres projets PACES. Les données obtenues des études et rapports de consultants viennent s'ajouter et apportent notamment des informations complémentaires sur la stratigraphie (architecture spatiale et verticale). Cependant, il reste à inventorier et obtenir les rapports hydrogéologiques réalisés pour les municipalités de la région d'étude.

Le travail de la première année a permis de développer une compréhension initiale de l'écoulement et de la stratigraphie de la région d'étude. Les données récoltées et analysées de façon préliminaire ont aussi permis d'identifier des lacunes au niveau de la quantité, de la qualité et de la répartition spatiale de l'information disponible. La campagne de caractérisation de terrain prévue à l'été 2013 permettra d'acquérir des données ciblées, permettant notamment une meilleure définition de l'hydrostratigraphie, des propriétés hydrauliques, de l'écoulement et de la géochimie des eaux souterraines. Ces données complémentaires permettront d'améliorer la compréhension de l'hydrodynamique du système régional d'écoulement. Trois études spécifiques seront réalisées sous forme de projet de maîtrise ou de doctorat, de façon à aborder des questions d'intérêt particulier pour la région d'étude.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier le MDDEFP ainsi que tous les organismes partenaires du projet pour leurs contributions de même que leur collaboration au cours de la première année du projet. Plus particulièrement, nous voulons souligner la contribution financière de la CRÉ de la Chaudière-Appalaches et les contributions en ressources humaines des organismes partenaires suivants :

- Les MRC suivantes : Lotbinière, La Nouvelle-Beauce, Robert-Cliche, Beauce-Sartigan, Bellechasse, Etchemins, Montmagny et L'Islet;
- les OBV partenaires du projet : Côte-du-Sud, Fleuve Saint-Jean, zone du Chêne, CBE, COBARIC et GROBEC.

Les auteurs veulent également remercier les organismes suivants de leur appui au projet:

- les Fédérations de l'Union des producteurs agricoles (UPA) suivantes : Beauce, Lotbinière-Mégantic, Côte-du-Sud et Lévis-Bellechasse;
- le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) - Direction régionale de la Chaudière-Appalaches.

La collaboration de plusieurs autres organismes, soit via le partage de données ou de connaissances, doit également être soulignée :

- le ministère des Transports du Québec (MTQ);
- le ministère des Ressources naturelles du Québec (MRN);
- le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec (MDDEFP) - Directions régionales de la Chaudière-Appalaches, de l'Estrie et du Centre-du-Québec;
- le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ);
- la Commission régionale sur les ressources naturelles et le territoire (CRRNT) de la Chaudière-Appalaches;
- l'Université Laval, l'Université du Québec à Montréal;
- le Groupe de recherche interuniversitaire sur les eaux souterraines (GRIES).

Nous remercions d'avance les résidents de la Chaudière-Appalaches ainsi que les municipalités qui vont collaborer au projet en donnant accès à leur propriété et/ou à leur puits, afin de réaliser des travaux de terrain pour la saison 2013.

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION	9
2	DESCRIPTION DU PROJET.....	11
2.1	Objectif du projet.....	11
2.2	Territoire visé	12
2.3	Présentation de la région et problématiques sur l'eau souterraine	15
2.4	Équipe de réalisation et partenaires.....	18
3	BASE DE DONNÉES À RÉFÉRENCE SPATIALE	19
3.1	Développement de la base de données à référence spatiale	19
3.2	Acquisition de données existantes.....	20
3.2.1	<i>Acquisition de bases de données existantes.....</i>	<i>21</i>
3.2.2	<i>Acquisition de données géomatiques existantes.....</i>	<i>21</i>
3.2.3	<i>Saisie de données à partir des documents existants collectés</i>	<i>21</i>
3.3	Intégration et validation des données existantes.....	25
4	SYNTHÈSE DES DONNÉES EXISTANTES	26
4.1	Routes, limites municipales et toponymie - Carte 2.....	26
4.2	Topographie et modèle numérique de terrain – Cartes 1 et 3.....	26
4.3	Hydrographie, physiographie et limites des bassins versants – Cartes 4 et 5.....	26
4.4	Occupation du territoire.....	27
4.4.1	<i>Occupation du sol – Carte 6.....</i>	<i>27</i>
4.4.2	<i>Couverture végétale – Carte 7</i>	<i>28</i>
4.4.3	<i>Milieux humides – Carte 8</i>	<i>28</i>
4.4.4	<i>Affectation du territoire – Carte 9.....</i>	<i>28</i>
4.5	Données pédologiques et géologiques.....	29
4.5.1	<i>Pédologie – Carte 10.....</i>	<i>29</i>
4.5.2	<i>Géologie du Quaternaire - Carte 11</i>	<i>30</i>
4.5.3	<i>Géologie du roc - Carte 12.....</i>	<i>31</i>
4.6	Données hydrogéologiques	33
4.6.1	<i>Carte piézométrique – Carte 13</i>	<i>33</i>
4.6.2	<i>Propriétés hydrauliques – Carte 14</i>	<i>33</i>
4.7	Données géochimiques.....	34
4.7.1	<i>Géochimie de l'eau souterraine – Cartes 15a et 15b.....</i>	<i>34</i>
4.7.2	<i>Qualité de l'eau de surface – Carte 16</i>	<i>36</i>
4.8	Données hydrométriques.....	39
4.9	Données météorologiques	39
4.10	Données des puits de surveillances	42
4.11	Eau souterraine et activités anthropiques	44
4.11.1	<i>Prélèvements d'eau souterraine – Carte 17.....</i>	<i>44</i>
4.11.2	<i>Périmètres de protection</i>	<i>44</i>
4.11.3	<i>Activités anthropiques pouvant altérer l'eau souterraine – Carte 18.....</i>	<i>45</i>
5	MODÈLE HYDROGÉOLOGIQUE CONCEPTUEL.....	46
5.1	Contextes hydrogéologiques	46

5.2	Conditions d'écoulement et zones de recharge et d'émergence.....	53
5.3	Vulnérabilité et qualité de l'eau souterraine.....	53
6	PROGRAMME DE CARACTÉRISATION DE LA PHASE 2	54
6.1	Bilan de la collecte de données existantes.....	54
6.2	Objectifs généraux et approche de caractérisation	54
6.3	Description et méthodologie des travaux proposés	55
6.4	Levés géophysiques.....	56
6.4.1	<i>Levés sismiques de surface.....</i>	<i>56</i>
6.4.2	<i>Levés géoradars</i>	<i>58</i>
6.4.3	<i>Levés électriques avec imagerie bidimensionnelle.....</i>	<i>59</i>
6.4.4	<i>Sondages au piézocône (CPTu).....</i>	<i>59</i>
6.4.5	<i>Forages conventionnels.....</i>	<i>61</i>
6.4.6	<i>Levés de niveaux d'eau souterraine</i>	<i>62</i>
6.4.7	<i>Échantillonnage d'eau souterraine</i>	<i>62</i>
6.4.8	<i>Diagraphies</i>	<i>63</i>
6.4.9	<i>Essais hydrauliques.....</i>	<i>63</i>
6.5	Planification des travaux proposés	64
6.5.1	<i>Travaux préparatoires.....</i>	<i>64</i>
6.5.2	<i>Équipe de travail</i>	<i>64</i>
6.5.3	<i>Calendrier des travaux proposés.....</i>	<i>64</i>
7	PROJETS GRADUÉS	65
8	CONCLUSION.....	66
9	BIBLIOGRAPHIE	67

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Détail des projets de caractérisation hydrogéologique réalisés	10
Tableau 2 : Superficie et population sur le territoire de la Chaudière-Appalaches	14
Tableau 3 : Statistiques des superficies en culture par MRC (sans Lévis).....	16
Tableau 4 : Statistiques sur les rapports obtenus en date du présent rapport	22
Tableau 5 : Sources de données utilisées pour construire la carte de l'utilisation du sol.....	27
Tableau 6 : Superficie et % d'occupation des activités agricoles et des forêts	28
Tableau 7 : Études pédologiques utilisées pour la cartographie pédologique	30
Tableau 8 : Sommaire de la qualité des eaux souterraines sur la base du Règlement sur la qualité de l'eau potable (gouvernement du Québec) et recommandations pour la qualité de l'eau potable (Santé Canada) 35	
Tableau 9 : Stations de jaugeage avec leur débit annuel (ouvertes).....	39
Tableau 10 : Stations météorologiques actives en Chaudière-Appalaches ou à proximité	41
Tableau 11 : Stations puits de surveillance du niveau de l'eau souterraine en Chaudière-Appalaches	42
Tableau 12 : Source des approvisionnements en eau par MRC en Chaudière-Appalaches	44
Tableau 13 : Calendrier préliminaire des travaux	64

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Couverture des projets PACES	9
Figure 2 : Région d'étude et limites des OBV, MRC et municipalités	13
Figure 3 : Zones couvertes par l'agriculture.....	17
Figure 4 : Représentation schématisée de la base de données commune	19
Figure 5 : Représentation schématisée du modèle de prise de données sur le terrain	20
Figure 6 : Représentation du nombre de rapports de consultant obtenus par municipalité.....	24
Figure 7 : Localisation des stations d'échantillonnage des rivières Chaudière, Etchemin et Boyer	37
Figure 8 : Évolution des concentrations annuelles moyennes en phosphore total dissous (PTOTD) et en nitrites et nitrates (NOX) pour les quatre stations d'échantillonnage des rivières Chaudière (A), Etchemin (B) et Boyer (C), jusqu'en 2011.....	38
Figure 9 : Hydrogrammes du puits de surveillance du MDDEFP à Sainte-Antoine-de-Tilly et Irlande	43
Figure 10 : Localisation des puits de suivi du MDDEFP, des stations de jaugeages et des stations météo	43
Figure 11 : Contextes physiographiques et transmissivité du roc	47
Figure 12 : Carte des sédiments quaternaires.....	49
Figure 13 : Épaisseur des dépôts meubles dans la région d'étude.....	50
Figure 14 : Coupe stratigraphique synthèse des vallées tributaires de la rivière St-François, contexte des Basses-terres du St-Laurent.....	51
Figure 15 : Modèle conceptuel d'écoulement	52
Figure 16 : Localisation des puits et forages déjà répertoriés dans le secteur d'étude	56
Figure 17 : Exemple de résultat préliminaire d'un des levés sismiques réalisés par la CGC à l'automne 2009, projet PACES Montérégie Est (fournie par A. Pugin, CGC).....	57
Figure 18 : Identification des zones de travaux de 2013 à partir des puits et du levé magnétique. Les anomalies ressortent en rouge sur la carte.....	58
Figure 19 : Exemple de levé de résistivité électrique.....	59

Figure 20 : Foreuse Geotech 605D de l'INRS	60
Figure 21 : Exemple de sondage au piézocône réalisé en Montérégie Est.....	60
Figure 22 : Schémas de construction des puits conventionnels au roc.....	61

LISTE DES CARTES ANNEXÉES (format numérique CD)

Annexe 1 : Cartes thématiques préliminaires

Carte 1 : Topographie

Carte 2 : Routes, limites municipales et toponymie

Carte 3 : Modèle numérique de terrain

Carte 4 : Hydrographie

Carte 5 : Limites de bassins et de sous-bassins

Carte 6 : Occupation du sol

Carte 7 : Couverture végétale

Carte 8 : Milieux humides

Carte 9 : Affectation du territoire

Carte 10 : Pédologie

Carte 11 : Géologie du Quaternaire (préliminaire)

Carte 12 : Géologie du roc (préliminaire)

Carte 13 : Piézométrie (préliminaire) (puits de suivi du MDDEFP sur la carte 17)

Carte 14 : Propriétés hydrauliques (Transmissivité)

Carte 15 : Géochimie de l'eau souterraine. 15a : Dureté. 15b : Solides dissous totaux. 15c : Fer dissous. 15d : Chlorures. 15e : Nitrates

Carte 16 : Qualité de l'eau de surface

Carte 17 : Prélèvements de l'eau souterraine

(les aires d'alimentation ne sont pas présentées sur une carte)

Carte 18 : Activités anthropiques pouvant altérer l'eau souterraine

1 INTRODUCTION

Ce rapport présente l'avancement du projet de caractérisation hydrogéologique de la Chaudière-Appalaches qui a débuté en avril 2012, en collaboration avec plusieurs partenaires scientifiques (fédéraux, provinciaux et universitaires) et régionaux. Ce projet s'inscrit dans le cadre du *Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec* (PACES) MDDEFP. Le PACES a pour but de dresser un portrait de la ressource en eau souterraine du Québec municipalisé, dans le but ultime de la protéger et d'en assurer la pérennité. Une première phase du programme a permis de cibler cinq régions : Montérégie, Saguenay-Lac St-Jean, Abitibi, Bécancour et Trois-Rivières. Une deuxième phase a été réalisée pour couvrir le territoire de la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ) et l'Outaouais. La troisième phase, qui est en cours, intègre le projet de la Chaudière-Appalaches de même que 5 autres projets régionaux couvrant les territoires de l'Abitibi-Témiscamingue (Partie 2), du Bas-Saint-laurent, de Charlevoix-Haute-Côte-Nord, de Nicolet-Bas-Saint-François et de Vaudreuil-Soulanges. Le tableau 1 donne la liste des projets hydrogéologiques réalisés au Québec et la figure 1 montre la couverture de l'ensemble des projets PACES qui ont été réalisés ou qui sont en cours de réalisation au Québec.

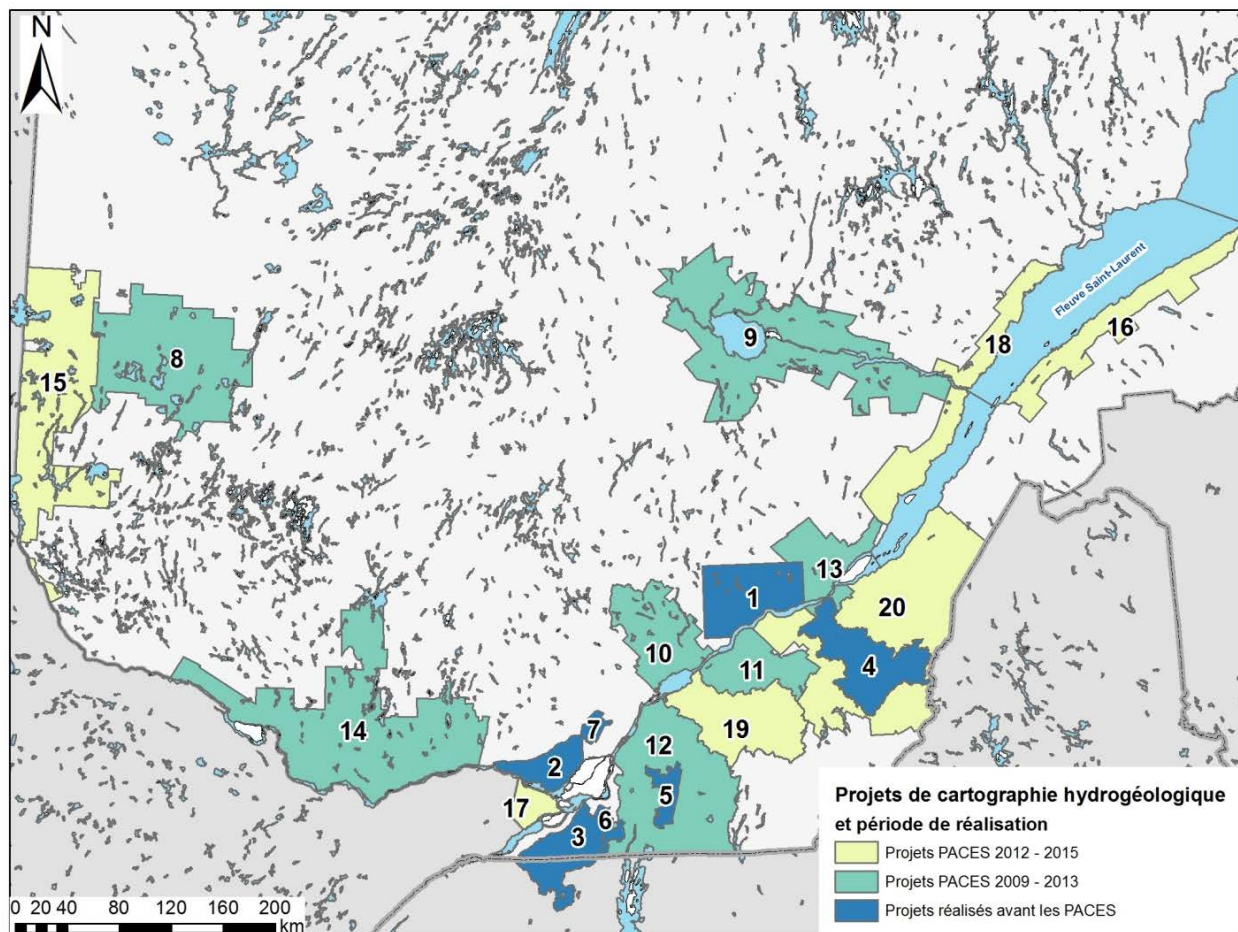


Figure 1 : Couverture des projets PACES

Tableau 1 : Détail des projets de caractérisation hydrogéologique réalisés

No	Nom du Projet	Organismes responsables	Programme / Financement	Bassins couverts (en tout ou partie)	Superficie totale (km ²)	Période de réalisation
<i>Projets antérieurs au PACES réalisés entre 1995 et 2008</i>						
1	Piémont Laurentien (Portneuf)	CGC, INRS, MDDEP	Programme d'hydrogéologie CGC	Sainte-Anne, Portneuf, Jacques-Cartier	3 411	1995-1999
2	AFSOQ (Basses Laurentides)	CGC, INRS, U. Laval, MDDEP	DEC, Programme d'hydrogéologie CGC	Du Nord, Mille-Îles	--1 497	1999-2003
3	Châteauguay	CGC, MDDEP, INRS	Programme d'hydrogéologie CGC	Châteauguay	2 528	2003-2006
4	Chaudière	COBARIC, Tecsalt	CDAQ, UPA, AgCan	Basse et moyenne Chaudière	3 627	2007-2008
5	Montréal Est St-Hyacinthe	TechnoRem	CDAQ, UPA, AgCan	Yamaska	649	2007-2008
6	Montréal Ouest	TechnoRem	CDAQ, UPA, AgCan	Châteauguay	673	2007-2008
7	Lanaudière	TechnoRem	CDAQ, UPA, AgCan	L'Assomption	316	2007-2008
<i>Projets PACES des phases I et II (2009-2013)</i>						
8	Abitibi-Témiscamingue I	UQAT (GRIES)	PACES, MDDEP, partenaires régionaux	Abitibi, Témiscamingue	9 188	2009-2013
9	Saguenay-Lac Saint-Jean	UQAC (GRIES)	PACES, MDDEP, partenaires régionaux	Saguenay, Lac-Saint-Jean	13 210	2009-2013
10	Sud-Ouest de la Mauricie	UQAR (GRIES)	PACES, MDDEP, partenaires régionaux	Saint-Maurice	3 350	2009-2013
11	Bécancour	UQAM (GRIES)	PACES, MDDEP, partenaires régionaux	Bécancour	2 924	2009-2013
12	Montréal Est	INRS-ETE (GRIES)	PACES, MDDEP, partenaires régionaux	Richelieu, Yamaska, Baie Missisquoi	9 036	2009-2013
13	Communauté métropolitaine de Québec (CMQ)	U. Laval (GRIES)	PACES, MDDEP, partenaires régionaux	Jacques-Cartier, Saint-Charles, Montmorency	3 051	2010-2013
14	Outaouais	U. Laval (GRIES)	PACES, MDDEP, partenaires régionaux	Du Lièvre, Gatineau, Rouge	13 488	2010-2013
<i>Projets PACES de la phase III (2012-2015)</i>						
15	Abitibi-Témiscamingue II	UQAT (GRIES)	PACES, MDDEP, partenaires régionaux	Abitibi, Témiscamingue	10 362	2012-2015
16	Bas-Saint-Laurent I	UQAR (GRIES)	PACES, MDDEP, partenaires régionaux	Rimouski	3 333	2012-2015
17	Vaudreuil-Soulanges	Polytechnique, UQAM (GRIES)	PACES, MDDEP, partenaires régionaux	Vaudreuil-Soulanges	814	2012-2015
18	Charlevoix Haute-Côte Nord	UQAC (GRIES)	PACES, MDDEP, partenaires régionaux	Montmorency-Malbaie, Des Escoumins	4 587	2012-2015
19	Bas-Saint-François-Nicolet	UQAM (GRIES)	PACES, MDDEP, partenaires régionaux	Saint-François, Nicolet	4 585	2012-2015
20	Chaudière-Appalaches	INRS-ETE (GRIES)	PACES, MDDEP, partenaires régionaux	Du Chêne, Chaudière, Etchemin, Côte Du-Sud, Fleuve Saint-Jean	14 625	2012-2015

La zone d'étude couvre la région administrative de la Chaudière-Appalaches, qui comprend, en tout ou en partie, les territoires des organismes de bassins versants de la zone Bécancour, de la zone du Chêne, de la Côte-du-Sud, du Fleuve Saint-Jean, ainsi que des rivières Chaudière, Etchemin, Kamouraska, L'Islet, Rivière-du-Loup (OKABIR), Nicolet et Saint-François. La figure 2 illustre la zone d'étude de la Chaudière-Appalaches avec les OBV qui sont en partie ou totalement couverts, de même que les découpages des 9 MRC de la Chaudière-Appalaches. Le territoire de Lévis est exclu du PACES Chaudière-Appalaches puisqu'il est inclus dans le territoire de la CMQ qui a fait partie d'un projet PACES distinct.

La présente étude permettra d'améliorer la compréhension de l'hydrodynamique des aquifères et les connaissances liées à la qualité de l'eau souterraine et aux propriétés des aquifères grâce à l'acquisition de nouvelles données et à l'analyse des données existantes. Cette nouvelle connaissance permettra d'identifier les zones de recharge et de résurgence, de quantifier les différentes composantes du bilan hydrique, d'évaluer les propriétés hydrauliques des aquifères et de dresser un portrait de la qualité des eaux souterraines qui y circulent. Ce projet, qui a débuté en avril 2012, s'étalera sur trois ans et se terminera en mars 2015.

Ce rapport documente les travaux réalisés dans la première phase du PACES, qui porte principalement sur la synthèse des données existantes. À ce jour, les travaux entamés ou complétés comprennent :

- Mise en place de l'équipe de réalisation du projet;
- Rencontres semestrielles avec les partenaires régionaux pour les informer du projet et discuter des travaux en cours et à venir;
- Collecte/compilation de données issues de rapports, cartes et autres documents pertinents (à compléter);
- Collecte/validation/compilation des données numériques (à compléter);
- Intégration des données acquises dans une base de données commune aux projets PACES;
- Révision des protocoles de réalisation des différents livrables (à compléter);
- Évaluation de la pertinence des méthodes indirectes (géophysiques, satellitaires) pour la région à l'étude;
- Réalisation de travaux de terrain préliminaires liés principalement à la stratigraphie (géologie) des dépôts meubles dans la plaine argileuse;
- Réalisation de coupes et cartes préliminaires des dépôts meubles;
- Préparation d'une carte préliminaire de la géologie du Quaternaire (assemblage de cartes existantes);
- Préparation des versions préliminaires des livrables du PACES prévus pour le 1^{er} rapport d'étape.

Les résultats de ces travaux sont présentés aux sections 3 et 4 de ce document.

2 DESCRIPTION DU PROJET

2.1 Objectif du projet

Le principal objectif de ce projet est de regrouper les informations nécessaires pour servir de base à la gestion durable des ressources en eaux souterraines en Chaudière-Appalaches. Une meilleure compréhension de la dynamique du système aquifère, obtenue par l'intégration et l'interprétation des données existantes ainsi que celles qui seront générées par le projet, devrait aider à l'exploitation durable des ressources en eau souterraine et à la protection à long terme de celles-ci. Le développement d'une base de données regroupant l'information et la rendant disponible, de même que des outils cartographiques et

des modèles reproduisant l'hydrogéologie régionale, permettra de supporter le choix d'actions prioritaires à réaliser pour le développement durable de la ressource en eau souterraine.

Les principales étapes pour atteindre cet objectif incluent :

- Compilation des informations dans une base de données commune aux cinq projets régionaux;
- Définition des contextes géologiques et hydrogéologiques;
- Estimation du bilan hydrique, incluant l'utilisation de l'eau et la recharge;
- Évaluation de la qualité de l'eau;
- Évaluation de la vulnérabilité des aquifères et du potentiel polluant des diverses activités;
- Estimation des débits "durables" pour assurer la pérennité de la ressource;
- Production d'une liste de priorités pour la gestion et la protection des ressources régionales en eau souterraine.

Le projet devrait ainsi avoir les retombées suivantes :

- Améliorer les connaissances sur les ressources en eau souterraine dans la région d'étude, notamment en réalisant les travaux nécessaires pour combler le manque d'information pour certaines zones présentant des particularités ou pour une thématique donnée.
- Produire une synthèse des connaissances appuyée par des cartes hydrogéologiques et une base de données, tel que spécifié par le Programme d'acquisition de connaissances.
- Léguer des infrastructures de surveillance (puits) dans la région qui vont permettre de suivre l'évolution de la qualité et de la quantité des ressources en eau souterraine.
- De concert avec les autres projets régionaux soutenus par le programme, revoir les protocoles de réalisation des livrables qui ont été rédigés lors des PACES phase 1 afin d'améliorer leurs pertinences et leurs présentations techniques pour une plus grande facilité d'utilisation.
- Former du personnel hautement qualifié et assurer la compréhension du système aquifère par l'implication des professionnels du projet ainsi que par des projets de recherche d'étudiants de 2^e et 3^e cycles.
- Établir une approche de gestion et de protection de la ressource basée sur les connaissances des systèmes aquifères et intégrant les ressources existantes des différents organismes locaux et régionaux.

2.2 Territoire visé

Ce projet vise la couverture de la région administrative de la Chaudière-Appalaches qui comprend, en tout ou en partie, les territoires des neuf organismes de bassins versants : zone Bécancour, zone du Chêne, Côte-du-Sud, Fleuve Saint-Jean, ainsi que des rivières Chaudière, Etchemin, Kamouraska, Nicolet et Saint-François (figure 2). Les limites administratives de la Chaudière-Appalaches correspondent aux limites des MRC, à l'exception du territoire de Lévis qui est exclu de l'étude. Le territoire d'étude est borné au nord-est par la région du Bas-Saint-Laurent, au nord-ouest par le fleuve Saint-Laurent et la région de la Capitale-Nationale, au sud-ouest par les régions du Centre-du-Québec et de l'Estrie et au sud-est par la frontière internationale avec les États-Unis d'Amérique. Le tableau 2 présente les superficies des principaux bassins calculées à partir des limites de bassins versants à l'échelle 1 / 20 000 obtenues du CEHQ.

La figure 2 montre la couverture des différents OBV ainsi que le découpage des MRC dans la zone du projet, qui comprend tout le territoire de la CRÉ de la Chaudière-Appalaches, à l'exception de la ville de Lévis. Les neuf MRC sont : L'Islet, Montmagny, Bellechasse, Etchemin, Beauce-Sartigan, Robert-Cliche, La Nouvelle-Beauce, Appalaches et Lotbinière. Le secteur d'étude sans le territoire de Lévis inclut

134 municipalités et couvre une superficie de 14 625 km², pour une population totale de plus de 268 000 personnes (MAMROT, 2012).

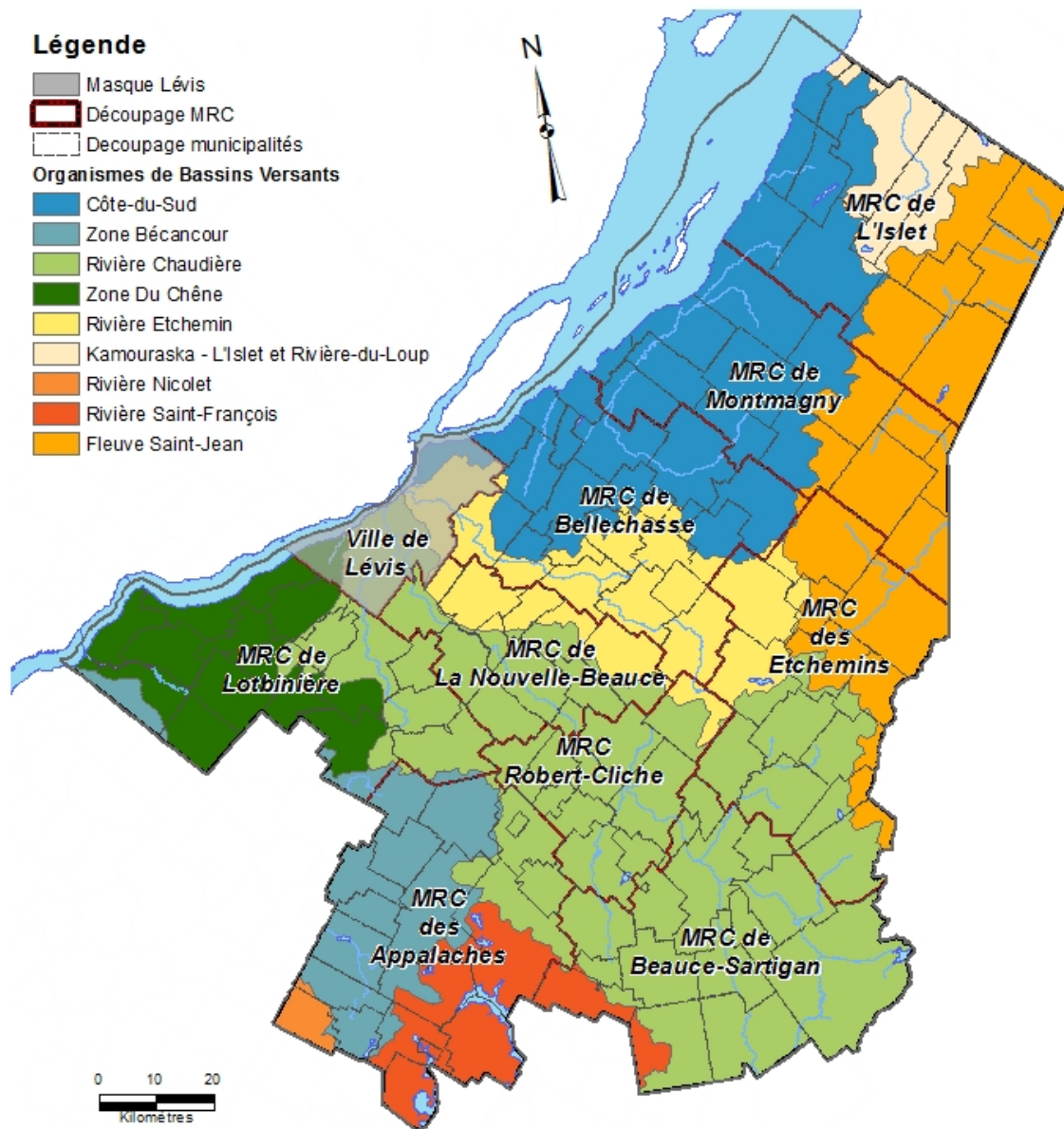


Figure 2 : Région d'étude et limites des OBV, MRC et municipalités

Tableau 2 : Superficie et population sur le territoire de la Chaudière-Appalaches

(Institut de la statistique 2011 et MAMROT 2012)
(« Terre ferme » pour les MRC et « totale » pour les OBV. Institut de la statistique, 2011)

<i>Territoire des MRC</i>	<i>Population (2010)</i>	<i>Superficie (km²)</i>	<i>Territoire des OBV dans les MRC C-A</i>	<i>Superficie (km²)</i>
MRC Lotbinière	29 212	1 664	Du Chêne	1 122
MRC des Appalaches	43 066	1 911	Chaudière	4 633
MRC La Nouvelle-Beauce	33 079	905	Etchemin	1 539
MRC Robert-Cliche	18 945	839	Côte-du-Sud	2 848
MRC Beauce-Sartigan	50 847	1 953	Fleuve Saint-Jean	2 306
MRC Bellechasse	34 237	1 754	Zone Bécancour (GROBEC)	1077
MRC des Etchemins	17 329	1 806	Autres OBV (OBAKIR, COPERNIC, COGESAF)	3 180
MRC Montmagny	22 969	1 695	Total:	16 705
MRC L'Islet	18 581	2 098		
Total:	268 265	14 625		

Seulement les territoires du COBARIC (Chaudière), de l'OBV du Fleuve Saint-Jean de même que celui de la zone Bécancour situés à l'intérieur de la région de la Chaudière-Appalaches sont compris dans la région d'étude. Ceci exclut la portion du bassin de la rivière Chaudière compris en Estrie de même que la portion du bassin du Fleuve Saint-Jean faisant partie du Bas-Saint-Laurent. De plus, les trois (3) territoires des OBV de la zone du Chêne, de la rivière Etchemin et de la Côte-du-Sud seront complètement couverts par le projet puisque les données considérées et les produits cartographiques déborderont de la région d'étude.

Le territoire de la basse et de la moyenne Chaudière (3 240 km²) n'est pas éligible au financement du PACES parce qu'il a déjà été couvert par un projet antérieur au PACES (COBARIC et UPA, 2008). Il est cependant nécessaire d'inclure ce territoire pour assurer une couverture uniforme dans l'ensemble de la Chaudière-Appalaches en utilisant les standards cartographiques du PACES et en intégrant toutes les informations compilées sur la région dans la base de données PACES. Les livrables cartographiques ou autres produits du projet vont couvrir l'ensemble du territoire de la région d'étude, pour qu'il n'y ait pas de discontinuité dans la couverture et pour que toutes les MRC du territoire de la CRÉ de la Chaudière-Appalaches puissent profiter du même niveau de détail. L'inclusion des données acquises lors du projet antérieur dans le bassin de la Chaudière va tout de même permettre une réduction des coûts de réalisation du projet pour ce territoire, notamment au niveau de l'échantillonnage et des analyses d'eau souterraine.

Enfin, le territoire de la Ville de Lévis, faisant partie de la région de la Chaudière-Appalaches, n'est pas inclus dans la région d'étude parce qu'il fait l'objet du projet PACES couvrant le territoire de la CMQ et qui est en voie de réalisation par l'Université Laval. Les résultats obtenus par l'université Laval pour le PACES de Lévis seront cependant intégrés aux cartes de ce projet pour assurer une couverture cartographique continue sur l'ensemble de la Chaudière-Appalaches.

2.3 Présentation de la région et problématiques sur l'eau souterraine

Dans la région d'étude, les 10 municipalités les plus importantes (excluant Lévis) sur le plan démographique sont Saint-Georges, Thetford Mines, Sainte-Marie, Montmagny, Beauceville, Saint-Lambert-de-Lauzon, Saint-Apollinaire, Saint-Henri, Saint-Joseph-de-Beauce et Lac-Etchemin. À elles seules, ces municipalités comptent pour près de 40 % de la population vivant en Chaudière-Appalaches (en excluant Lévis). Ces municipalités jouent un rôle économique régional majeur et desservent de vastes superficies agricoles qui occupent près de 22 % du territoire de la Chaudière-Appalaches, alors que la forêt en occupe 60 %, principalement concentré dans la partie sud-est des Appalaches (tableau 3).

Plusieurs problématiques liées à l'approvisionnement en eau sont connues en Chaudière-Appalaches et font en sorte qu'il est essentiel d'acquérir des données et une meilleure compréhension du système aquifère dans cette région. Le portrait général de l'utilisation de l'eau montre que plus de la moitié de la population de la région de la Chaudière-Appalaches s'alimente en eau souterraine et que, de celle-ci, près de la moitié le fait à partir de puits individuels. Au total, c'est plus de 17 000 puits individuels qui sont répertoriés dans le système d'information hydrogéologique (SIH) pour la région d'étude. Sur le plan hydrogéologique, le potentiel aquifère du socle rocheux n'est pas très intéressant (**en moyenne**, inférieur à 10 m³/h pour un puits individuel), mais généralement suffisant pour subvenir aux besoins d'une famille. En complément, il existe beaucoup de secteurs avec des dépôts granulaires (sable et graviers) de type fluvio-glaciaires, qui se retrouvent sur le Piémont appalachien ou encore dans les creux des vallées, qui pourraient s'avérer être des aquifères potentiellement intéressants pour alimenter des captages de types municipaux ou commerciaux.

En Chaudière-Appalaches, la majorité des municipalités s'alimentent à partir des eaux souterraines pour leur système de distribution d'eau potable, et ce, malgré le fait que la qualité de l'eau de surface des lacs et rivières soit généralement bonne. Quelques municipalités, dont les villes de Saint-Georges (98 % d'eau de surface) et de Sainte-Marie (100 % d'eau de surface) qui s'alimentent toujours à partir des eaux de surface, connaissent une croissance démographique importante et devront peut-être se tourner vers les sources d'eau alternatives dans le contexte où la demande pourrait dépasser la capacité des milieux aquatiques à fournir de l'eau. De plus, l'impact des activités anthropiques, notamment l'agriculture, peut être observé sur certaines portions aval de rivières comme la Chaudière, la Boyer, l'Etchemin, la du Sud, etc. Par exemple, la qualité de l'eau de la rivière Chaudière commence à montrer des signes de dégradation à partir de la ville de Ste-Marie, principalement dû aux activités agricoles, mais aussi à la plus grande occupation du territoire par les activités anthropiques (carte 19). La figure 3 montre la répartition des activités agricoles, qui se retrouvent surtout dans le nord-ouest du territoire d'étude, soit dans les plaines bordant le fleuve Saint-Laurent jusqu'aux abords du Piémont, alors que les forêts occupent une grande partie du nord-est, soit dans le Piémont appalachien et les Appalaches. Cette tendance peut être observée sur les autres bassins situés entre le Fleuve et les Appalaches. La carte 15b de la géochimie des eaux de surface, compilée à partir de la banque de la qualité du milieu aquatique BQMA, démontre clairement cette tendance de dégradation de la qualité des eaux de surface des principales rivières de la région.

Pour l'approvisionnement municipal en eau souterraine, la situation est généralement bonne sur le plan de la qualité. Cependant, plusieurs municipalités de la Chaudière-Appalaches se plaignent d'un manque d'eau, surtout en périodes estivales, et la plupart n'ont pas d'alternative d'approvisionnement puisqu'elles ne sont pas localisées dans des secteurs où il existe des épaisseurs de dépôts granulaires suffisants pouvant être exploités. Quelques prises d'eau municipales présenteraient des problèmes 'chroniques' de contamination soit bactériologique ou soit chimique. Ainsi, la municipalité de Saint-Adrien-d'Irlande présente régulièrement une contamination bactériologique tandis que celle de Saint-Gervais présente une contamination en nitrates supérieure à la norme du Règlement sur l'eau potable. De plus, certaines municipalités présentent des dépassements au niveau des normes esthétiques. Par exemple les

municipalités à l'est de Beauceville et la région nord de Saint-Bernard montrent des concentrations élevées en fer. Des problèmes de dureté totale sont observés dans les régions de Shenley, Saints-Anges et Scott-Jonction. Enfin, des éléments comme l'arsenic, le baryum et le fluor sont signalés dans plusieurs secteurs avec des dépassements occasionnels.

Tableau 3 : Statistiques des superficies en culture par MRC (sans Lévis)

MRC	Superficie MRC	Superficies en culture (km ²)	%	Superficies en forêt (km ²)	%
Source	SDA	SCF 2001		SCF 2001	
Appalaches	1987	404	20,3%	1289	64,9%
Beauce-Sartigan	1977	423	21,4%	1285	65,0%
Bellechasse	1807	599	33,2%	937	51,8%
Etchemins	1819	187	10,3%	1392	76,5%
L'Islet	2449	306	12,5%	1582	64,6%
Lotbinière	1751	605	34,5%	817	46,7%
Montmagny	2054	233	11,4%	1227	59,8%
Nouvelle-Beauce	913	399	43,7%	373	40,9%
Robert-Cliche	845	256	30,3%	473	55,9%
Total	15601	3413	21,9%	9375	60,1%

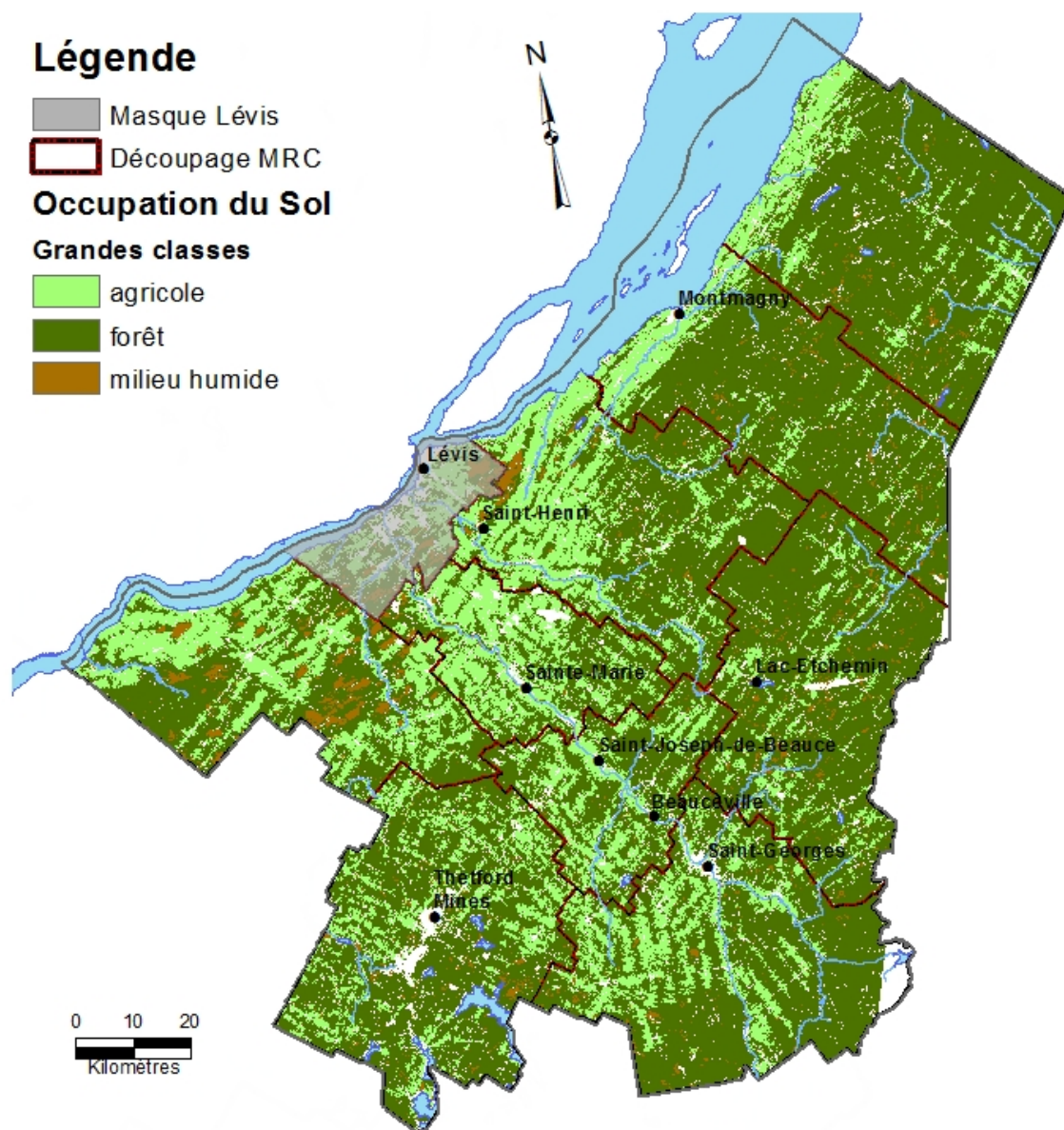


Figure 3 : Zones couvertes par l'agriculture

2.4 Équipe de réalisation et partenaires

Le projet est sous la responsabilité contractuelle de l'INRS avec le MDDEFP. Les activités du projet sont regroupées sous quatre volets dont la responsabilité est partagée avec les partenaires de réalisation du projet : 1) Hydrologie et territoire (INRS et IRDA), 2) Quaternaire et hydrostratigraphie (INRS et UQAM), 3) Caractérisation et synthèse hydrogéologique (INRS et CGC) et 4) Utilisation et gestion de la ressource (OBV). La réalisation du projet est aussi assurée par la collaboration des partenaires régionaux et des collaborateurs de recherche. Les principaux collaborateurs et organismes impliqués sont résumés ci-dessous.

Universités :

- Institut national de la recherche scientifique, Centre – Eau Terre Environnement (INRS-ETE) : René Lefebvre, Erwan Gloaguen, Marc-André Carrier, Châtelaine Beaudry, Harold Vigneault, Jean-Marc Ballard, Xavier Malet
- Université Laval : John Molson
- UQAM : Marie Larocque

Ministères fédéraux :

- Commission géologique du Canada (Ressources naturelles Canada) : Michel Parent
- Agriculture et Agroalimentaire Canada : Nicolas Tremblay, Lucie Grenon.

Organismes de recherche :

- Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) : Aubert Michaud, Isabelle Beaudin
- Centre d'Expertise hydrique du Québec (CEHQ) : implication via le MDDEFP.

Partenaires régionaux :

- Conférence régionale des élus (CRÉ) de la Chaudière-Appalaches
- Municipalité régionale de comté (MRC) de Lotbinière
- Municipalité régionale de comté (MRC) de la Nouvelle-Beauce
- Municipalité régionale de comté (MRC) de Robert-Cliche
- Municipalité régionale de comté (MRC) de Beauce-Sartigan
- Municipalité régionale de comté (MRC) de Bellechasse
- Municipalité régionale de comté (MRC) des Etchemins
- Municipalité régionale de comté (MRC) de Montmagny
- Municipalité régionale de comté (MRC) de l'Islet
- Organisme de bassins versants (OBV) de la zone du Chêne
- Comité de bassin de la rivière Chaudière (COBARIC)
- Conseil de bassin de la rivière Etchemin (CBE)
- Organisme des bassins versants (OBV) de la Côte-du-Sud
- Organisme de bassin versant (OBV) du Fleuve Saint-Jean
- Groupe de concertation des bassins versants de la zone Bécancour (GROBEC)
- Fédération de l'UPA de la Beauce
- Fédération de l'UPA de Lévis-Bellechasse
- Fédération de l'UPA de la Côte-du-Sud
- Fédération de l'UPA de Lotbinière-Mégantic
- Direction régionale Chaudière-Appalaches du MAPAQ

3 BASE DE DONNÉES À RÉFÉRENCE SPATIALE

3.1 Développement de la base de données à référence spatiale

La réalisation d'un projet de cartographie hydrogéologique implique le traitement et la gestion d'une grande quantité de données utilisées par une équipe de plusieurs professionnels. Par le passé, les différents intervenants d'un projet se partageaient les données, pour les traiter soit dans des fichiers Excel, soit dans une base de données Access, et ensuite pour réaliser différentes cartes thématiques. Ce partage rendait difficile, voire impossible, la gestion des données et menaçait l'intégrité des données. De plus, la transmission de ces données aux futurs utilisateurs était également ardue et n'encourageait pas le respect des protocoles communs pour la sauvegarde des données et la gestion des cartes.

Afin de contourner ce problème, les responsables des projets régionaux du PACES ont décidé, de concert avec le MDDEFP, de centraliser les données des différents projets régionaux dans une base de données commune via l'utilisation de ArcSDE, un moteur d'accès (i.e. Spatial Database Engine) à un système de gestion de bases de données (SGBD) qui permet notamment de gérer des bases de données à référence spatiale en mode multiutilisateurs. Un des principaux avantages découlant de l'utilisation d'une base de données commune est l'accès direct à une version à jour des données dans une structure établie pour les besoins spécifiques des projets régionaux (e.g. préparation de carte thématique). L'utilisation de règles de validation communes et la sauvegarde périodique assurent également l'intégrité des données. La figure 4 est une représentation simplifiée des composantes nécessaires à l'utilisation d'une base de données à référence spatiale à l'aide des produits ESRI :

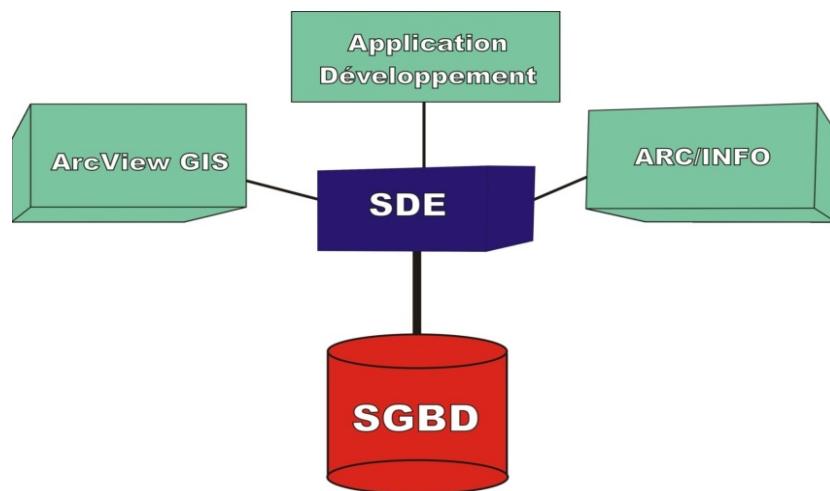


Figure 4 : Représentation schématique de la base de données commune

Note : SGBD : système de gestion de base de données. PostgresQL, Oracle, DB2 sont des exemples de SGBD. SDE : Spatial Database Engine.

Le modèle ayant servi à développer la base de données commune a été conçu et raffiné au cours des dix dernières années dans le cadre de projets de cartographie hydrogéologique régionale réalisés par la Commission géologique du Canada (CGC). Ce modèle, illustré à la figure 5, s'appuie sur les principales étapes de collecte des données de terrain, qui sont représentées par trois éléments conceptuels importants :

- La localisation géographique;
- Les types d'objets observés;
- L'observation effectuée sur ces objets.

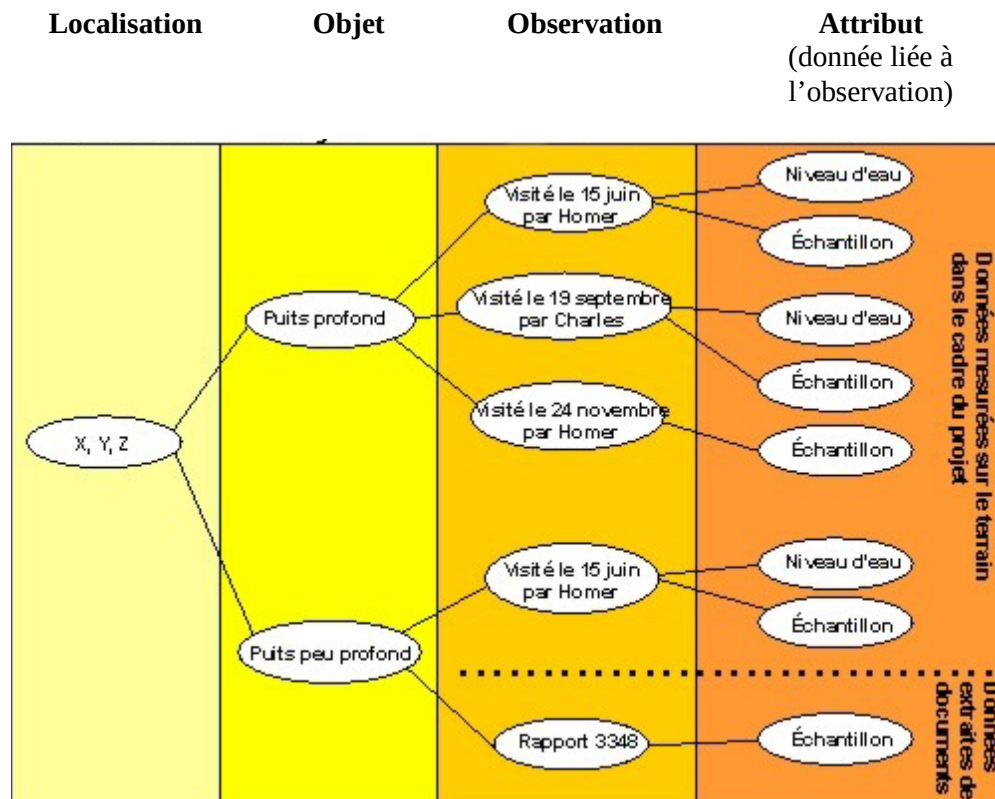


Figure 5 : Représentation schématique du modèle de prise de données sur le terrain

Le terme « objet » désigne toute entité importante à la réalisation d'un projet de cartographie, incluant, par exemple, les puits, les affleurements rocheux et les sources d'eau souterraine. Pour qu'une observation existe, un objet doit y être rattaché et, de la même façon, pour qu'un objet existe, il doit être rattaché à une localisation.

Un protocole a été préparé afin de documenter le développement de cette base de données commune. Il est présenté à l'annexe 1. Un cours sur les bases de données à référence spatiale a été offert à tous les membres des projets régionaux les 9-10 mars 2013 dans les locaux de l'INRS à Québec afin de familiariser les personnes responsables des données avec les principes de base liés à ce type de base de données.

3.2 Acquisition de données existantes

La cueillette des informations existantes est une étape particulièrement importante puisqu'elle constitue la base des connaissances hydrogéologiques et géologiques du territoire étudié dans le cadre d'une étude régionale. Cette activité, qui a débuté en mai 2012 et qui est toujours en cours, consiste principalement en

1) l'acquisition de bases de données existantes, 2) l'acquisition de données géomatiques existantes et 3) la saisie de données à partir de documents existants collectés.

3.2.1 Acquisition de bases de données existantes

Aux fins de ce projet, le MDDEFP a fourni ou facilité l'acquisition des bases de données suivantes pour la zone à l'étude :

- Système d'information hydrogéologique (SIH)
- Base de données géotechnique du MTQ (incluant les bases de données FORLOG, BDG et GEOTECH)
- Base de données géochimique du Québec (BADGEQ) du MRN, de même que la version disponible par le MDDEFP.

Au moment de la rédaction de ce rapport, le contenu du SIH, du MRN, du MTQ et des données provenant du Coalition canadienne de l'énergie géothermique (CCEG) ainsi que des rapports de consultant provenant des archives du MDDEFP avait été intégré à la base de données du projet. Le contenu des autres bases de données est encore en cours d'intégration. Conséquemment, toutes les données intégrées à la base de données ont été utilisées pour générer les livrables préliminaires associés à ce rapport. Un bilan complet des données collectées sera fait lorsque ces données auront été validées. Par ailleurs, d'autres bases de données sont attendues dans la prochaine année afin d'améliorer la couverture et/ou la qualité de l'information déjà acquise.

3.2.2 Acquisition de données géomatiques existantes

Parallèlement à l'acquisition de bases de données existantes, des données géomatiques ont été acquises afin de produire des cartes thématiques. Ces données ont été obtenues essentiellement via le MDDEFP. Ces données seront complétées par celles qui seront obtenues auprès des différents partenaires du projet, notamment l'IRDA, les OBV, la CRÉ et les MRC de la Chaudière-Appalaches.

3.2.3 Saisie de données à partir des documents existants collectés

Des documents existants, principalement des rapports de consultants, seront collectés auprès des municipalités et des MRC du territoire à l'étude, des ministères fédéraux et provinciaux, des instituts de recherche, des consultants et des organismes sans but lucratif. Tous les documents sont répertoriés dans une librairie (ou bibliothèque virtuelle) et les informations extraites de ces documents de référence tels que les puits, forages, descriptions stratigraphiques et résultats géochimiques sont en cours d'intégration dans la base de données.

3.2.3.1 Élaboration de la librairie

Les documents et ouvrages de référence obtenus ont été recueillis principalement sous forme de cartes et de rapports et d'études hydrogéologiques et géotechniques provenant de consultants ou d'organismes gouvernementaux (119 références). Des études existantes, des articles scientifiques et des thèses (16 références), quelques références sur le web (3) ainsi que différentes cartes et figures thématiques (120 références) ont également été recueillis.

La collecte de documents a débuté aux archives du MDDEFP en mai 2012. Nous avons récupéré près de 119 rapports provenant des archives du MDDEFP. Ces références ont tout de même été incluses dans la librairie puisqu'elles constituent des sources d'informations potentielles pouvant être retrouvées ultérieurement. Les travaux de collecte se poursuivent actuellement par les OBV qui ont fait parvenir une demande écrite aux municipalités et MRC du territoire étudié (ou adjacent au territoire étudié) afin d'obtenir une plus grande variété d'information. De plus, les partenaires du projet tel que l'UPA, l'IRDA,

le MAPAQ et la CGC vont contribuer à fournir de l'information qui sera ajoutée à la librairie. Tous les rapports sont attendus dans le courant des prochains mois, probablement jusqu'à la fin de 2013.

Chacun des ouvrages de référence est numérisé, identifié par un numéro d'enregistrement et compilé dans une librairie ou bibliothèque virtuelle créée à l'aide du logiciel « EndNote » et ce, conformément au « Protocole de numérisation et d'archivage ». Ce protocole, élaboré par le GRIES qui est formé des universités responsables des projets d'acquisition de connaissances (UQAM, UQAC, UQAT, UQTR, UQAR, INRS, polytechnique de Montréal, et Université Laval), est présenté à l'annexe 2.

3.2.3.2 Extraction des informations

Les documents de la librairie sont lus afin d'en extraire les informations pertinentes liées aux forages, aux puits, à la stratigraphie, aux essais de pompage ainsi qu'aux résultats géochimiques.

Ces informations sont compilées de façon détaillée directement dans un questionnaire en ligne, pour être intégrées directement dans la base de données, ou à partir d'un fichier format « Microsoft Excel » en vue d'être par la suite transférées dans la base de données. Chacun des puits ou forages (désignés en tant qu'« objet ») a été référencé à l'aide d'un identifiant unique sous la forme « CA0000 » tel que stipulé dans le « Protocole de numérisation et d'archivage ».

À ce jour, l'information provenant d'un total de 28 985 objets a été compilée à l'aide des différents documents pour l'ensemble du territoire étudié ainsi que pour les territoires limitrophes. Les données relatives à 17 essais de pompage et les résultats analytiques de 18 échantillons d'eau souterraine ont également été compilés. De plus, les données stratigraphiques ont été entrées pour les 28 985 objets du projet.

3.2.3.3 Faits saillants de la collecte

3.2.3.3.1 Couverture pour certaines MRC

L'exercice de collecte de donnée a permis de constater qu'il y a peu d'informations disponibles pour la MRC des Appalaches, une bonne partie des municipalités de la MRC de La Nouvelle-Beauce et les MRC de Lotbinière, de Bellechasse et des Etchemins. Le tableau 4 donne le nombre de rapports de consultants par municipalité et la figure 6 présente les municipalités pour lesquelles nous avons obtenu de l'information.

Tableau 4 : Statistiques sur les rapports obtenus en date du présent rapport

MRC	Nombre de municipalité	Nombre de rapport obtenus	Nombre de municipalité avec rapport	% des municipalités avec au moins un rapport
Appalaches	18	4	4	22%
Beauce-Sartigan	16	16	9	56%
Bellechasse	20	14	8	40%
Etchemins	13	8	7	54%
L'Islet	13	8	6	46%
Lotbinière	17	16	11	65%
Montmagny	14	3	2	14%
Nouvelle-Beauce	12	12	10	83%
Robert-Cliche	10	9	7	70%

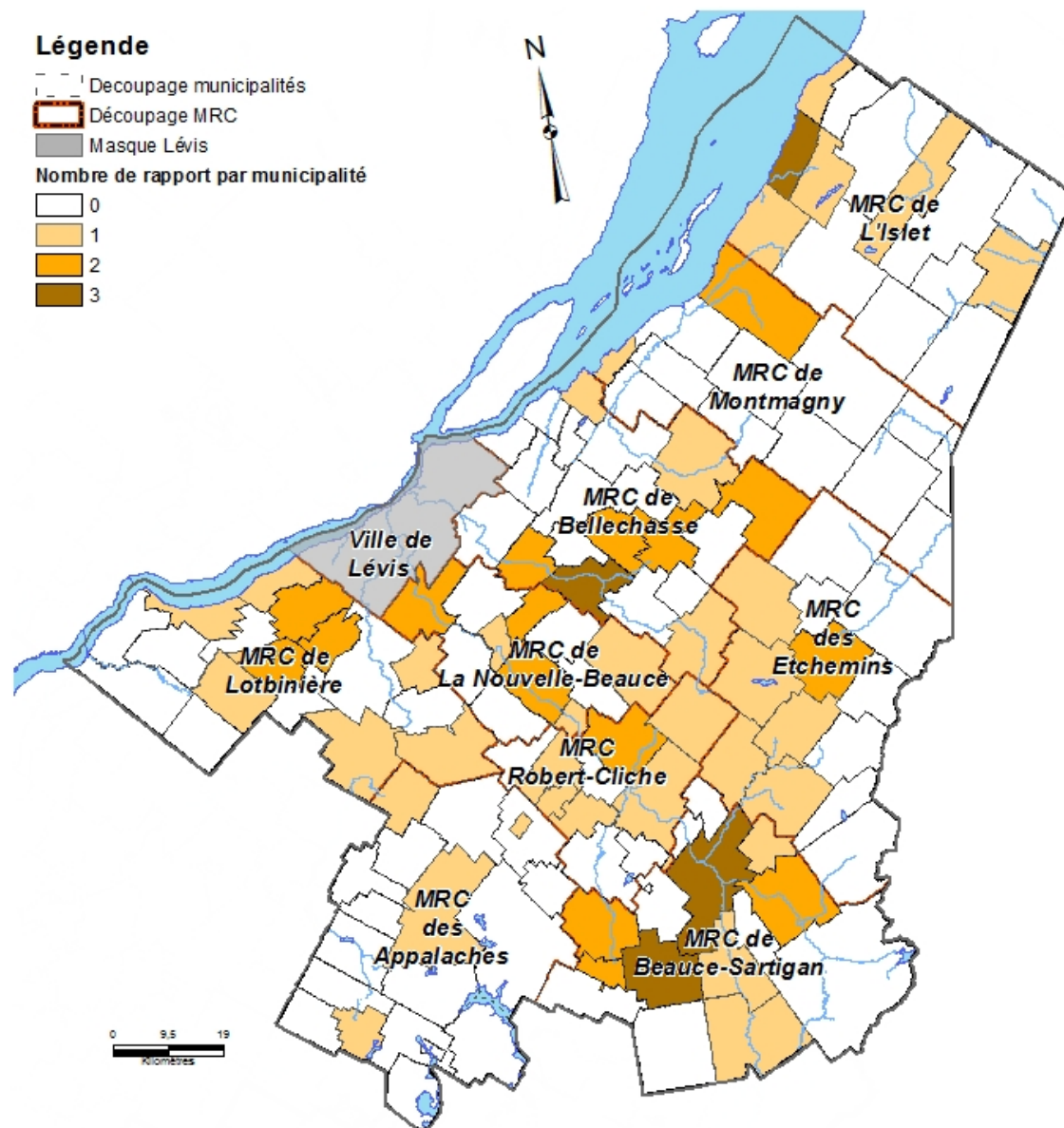


Figure 6 : Représentation du nombre de rapports de consultant obtenus par municipalité

3.2.3.3.2 Doublons

Parmi l'ensemble des puits et forages compilés à ce jour, il est probable que certains éléments apparaissent deux fois ou plus dans la base de données. Dans une première étape, tous les puits ont systématiquement été compilés, sans égard à leur présence ou non dans la base de données du SIH du MDDEFP. L'identification de doublons est difficile à réaliser à cause de l'imprécision des coordonnées géographiques, mais aussi des descriptions stratigraphiques, surtout pour les puits datant de plus de 10 ans (avant l'utilisation courante du GPS). Également, certains puits peuvent avoir fait l'objet d'essais de pompage ou d'échantillonnage à plusieurs reprises et dans le cadre de plus d'une étude. Pour les mêmes raisons, il est possible qu'un même puits apparaisse sous deux identifiants différents. Tel que mentionné

précédemment, l'exercice de repérage des doublons sera réalisé à la toute fin des travaux de compilation de façon à intégrer l'ensemble des données disponibles.

3.2.3.3.3 Localisation spatiale des éléments d'intérêt

La plus grande difficulté rencontrée lors de la compilation des puits et forages est principalement liée au manque de précision sur la localisation géographique des informations. Souvent les rapports qui datent de plusieurs années ne comprennent pas de plans de localisation ou présentent des plans manuscrits imprécis. Dans ce cas, la localisation des éléments d'intérêt peut être déduite ou estimée à l'aide d'un logiciel de cartographie ou encore en utilisant des repères existants sur des cartes (topographique, routière, etc.). Pour quantifier l'incertitude liée à la localisation, une cote de fiabilité a été attribuée à chaque donnée compilée de façon approximative.

3.2.3.3.4 Signification des résultats analytiques

Lors de l'extraction des informations relatives à la géochimie, il a été remarqué que très peu de certificats d'analyses mentionnent si l'échantillon a préalablement été filtré ou non. Ainsi, il devient impossible de distinguer les résultats « totaux » des résultats « dissous ». Par exemple, un échantillon filtré donnera une concentration en fer dissous tandis qu'un échantillon n'ayant pas été filtré donnera une concentration en fer total (dissous + solide). Cette problématique s'applique à tous les paramètres. Notons qu'il est précisé dans le fichier « Excel », lors de l'extraction des données, si l'échantillon a été filtré, s'il n'a pas été filtré ou si le rapport n'en fait simplement pas mention.

3.2.3.3.5 Exactitude des descriptions lithologiques

Les descriptions lithologiques issues des rapports sont souvent imprécises ou improbables et disponibles uniquement sur les schémas de journaux de forage (logs) en annexe des rapports. Lors de l'extraction de ces informations, les descriptions originales ont été rapportées textuellement. Cependant, un ajustement ou une interprétation peut être fait lors de l'attribution des codes des faciès, issus d'une librairie géologique rigoureuse développée par la CGC.

3.3 Intégration et validation des données existantes

L'intégration des données mentionnées ci-haut est en cours. Bien qu'une certaine validation est nécessaire afin d'intégrer les données à la base de données, l'exercice principal de validation des données colligées sera réalisé au terme de la collecte et de l'intégration des données. Afin d'orienter et d'harmoniser cet exercice, un « Protocole de fiabilité et de validation des forages » a été élaboré. Il permettra notamment d'évaluer la fiabilité et l'exactitude des données compilées et d'identifier les doublons parmi les différentes sources d'information collectée. Le protocole a été présenté dans le cadre des travaux PACES Montérégie Est.

4 SYNTHÈSE DES DONNÉES EXISTANTES

Pour le rapport de phase 1 du projet, les cartes présentées au MDDEFP sont à l'échelle 1/150 000, ce qui permet d'avoir une bonne couverture du territoire tout en ayant un niveau de détail adapté à la précision des travaux d'hydrogéologie régionale. Les cartes préliminaires du 1^{er} rapport d'étape ont été développées à l'aide du logiciel ArcGIS et sont fournies en format PDF (Portable Document File). Les cartes sont décrites dans les sous-sections suivantes et sont annexées en format PDF avec le rapport.

4.1 Routes, limites municipales et toponymie - Carte 2

Le réseau routier provient de la Base de données pour l'aménagement du territoire (BDAT, version 2.3, mise à jour en août 2008) à l'échelle 1 / 100 000 alors que les limites des municipalités, des MRC et des régions administratives proviennent du Système sur les découpages administratifs (SDA, version 1.0, mise à jour en janvier 2009) à l'échelle 1 / 20 000. Ces deux bases de données (BDAT et SDA) ont été fournies par le MDDEFP, mais proviennent du MRN. La toponymie provient en partie de la BDAT et du SDA.

L'autoroute 20 traverse le territoire à l'étude selon un axe nord-est sud-ouest tandis que l'autoroute 73 représente le principal axe routier nord-sud. De nombreuses routes secondaires numérotées sillonnent cette région, la densité du réseau augmentant à mesure que l'on s'approche de la ville de Lévis. On peut constater que les limites des bassins versants débordent de la CRÉ de la Chaudière-Appalaches. Les municipalités importantes de cette région comprennent Sainte-Marie, Saint-Georges, Thetford-Mines et Montmagny. Les localisations et les noms des agglomérations sont indiqués sur la carte 2, en plus des limites municipales.

4.2 Topographie et modèle numérique de terrain – Cartes 1 et 3

La topographie du territoire (carte 1) provient de la Base de données topographique du Québec (BDTQ). Le modèle numérique de terrain (MNT), fourni par la Direction du Patrimoine écologique et des Parcs (DPEP) du MDDEFP, a été développé à partir de courbes de niveau 1 / 20 000 de la BDTQ. Ce MNT a été modifié par la DPEP afin d'en assurer la cohérence avec le réseau hydrographique structuré. La carte 1 présente les courbes topographiques alors que la carte 3 montre le MNT.

4.3 Hydrographie, physiographie et limites des bassins versants – Cartes 4 et 5

Le réseau hydrographique ainsi que les limites des bassins versants utilisés pour les cartes 4 et 5 proviennent du CEHQ. Pour les autres cartes, le réseau hydrographique de la Base de données administrative et géographique (BDAG) à l'échelle 1 / 1 000 000 a été utilisé afin de ne pas les surcharger.

La carte 4 montre le réseau hydrographique superposé aux principales régions géologiques délimitées par 3 failles principales. La géologie est présumée avoir une incidence sur les conditions hydrogéologiques et elle est ainsi utilisée afin de définir les contextes hydrogéologiques. À l'ouest, les Basses-terres du Saint-Laurent sont composées de roches d'origine sédimentaire, très peu déformées. Cette région correspond à des plaines dont l'altitude varie d'environ 10 m (au fleuve Saint-Laurent) jusqu'à 90 m au sud-est. Sur le reste de la zone d'étude, on retrouve les Appalaches que l'on peut subdiviser en trois parties distinctes orientées nord-est sud-ouest. La première, la zone de Humber, en contact avec les Basses-terres du Saint-Laurent et séparée par la Ligne Logan, est composée d'un mélange de roches sédimentaires (grès, shale) et de roches métamorphiques (schistes, quartzites) très peu déformées. Suit la zone de Dunnage, séparée de la zone de Humber par la Faille de Richardson, composée de roches sédimentaires et métamorphiques très déformées et enfin, la ceinture de Gaspé, séparée de la zone de Dunnage par la Faille de la

Guadeloupe, est composée de grès et shales plissés et fracturés, peu déformés. Ces régions correspondent, successivement, à une plaine légèrement vallonnée dont l'altitude varie de 40 m (au fleuve Saint-Laurent) à 300 m, le tout parsemé de reliefs abrupts. Plus au sud, la région devient plus montagneuse, avec une altitude pouvant atteindre jusqu'à 900 m. Enfin, la ceinture de Gaspé présente un relief variant de 300 à 400 m d'altitude. Les altitudes ont été extraites à partir du modèle numérique d'élévation (MNE) fourni par la DPEP.

La carte 5 montre le réseau hydrographique (seuls les sous-bassins principaux sont présentés) ainsi que les limites des bassins versants. Le réseau hydrographique est plus dense dans les Appalaches que dans les Basses-terres étant donné la topographie plus variable de la région appalachienne. Les rivières importantes sont évidemment les principaux cours d'eau des cinq bassins versant principaux : la rivière du Chêne, la rivière Chaudière, la rivière Etchemin, la rivière du Sud et le fleuve Saint-Jean. Les rivières Boyer, Nicolet, Saint-François, Bécancour et Ouelle possèdent elles aussi des bassins versants d'importance non négligeable représentant respectivement 217, 3411, 8702, 2589 et 838 km², mais dont la superficie du bassin sur la zone du projet représente 217, 80, 774, 1020 et 474 km² (100 %, 2,3 %, 8,9 %, 39,4 %, 56,6 %) respectivement.

4.4 Occupation du territoire

4.4.1 Occupation du sol – Carte 6

La carte de l'occupation du sol a été transmise par le MDDEFP et a été réalisée à partir d'images classifiées Landsat 7. Cette compilation a été réalisée dans le cadre d'un projet commun entre le Service canadien de la faune (SCF), la Société de la faune et des parcs du Québec (FAPAQ), le groupe Canards Illimités Canada (CIC), le MRN, le MAPAQ et celui d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC).

À cette compilation a été ajoutée la base de données sur les cultures assurées (BDCA) (FDAQ, 2011). Cette base de données présente l'ensemble des cultures assurées pour l'année 2011 en Chaudière-Appalaches. Comme seules les superficies assurées sont représentées dans la BDCA, la carte 6 présente aussi des champs pour lesquels le type de culture n'est pas défini et qui entrent dans la catégorie « agricole non classifiée » de l'occupation du territoire.

Le tableau 5 présente le nom de la base de données, leur source et l'échelle des cartes utilisées pour développer la carte 6.

Tableau 5 : Sources de données utilisées pour construire la carte de l'utilisation du sol

Nom	Source	Échelle
Base de données des cultures assurées (BDCA)	Financière agricole du Québec (FADQ), 2009	Diffusion de feuillet au 1:50000,
images classifiées Landsat 7	SCF 2011	Échelle des données non disponibles.

Les statistiques tirées de cette carte montrent que plus de la moitié du territoire (64 %) est en zone forestière et que la zone agricole occupe près d'un quart du territoire (26 %). Dans la zone agricole, couvrant près de 3 500 km², environ 2 100 km² sont occupés par des terres agricoles assurées. De ces terres assurées, ce sont les cultures de foin (36 %) et de maïs (10 %) qui dominent, suivies du soya (10 %) et des céréales (9 %). Le territoire non agricole, d'une superficie d'environ 11300 km², est occupé par les

boisés (88 %), les zones d'activités anthropiques (5 %), les milieux humides (4 %) et les friches et les terres dénudées (1 %).

4.4.2 Couverture végétale – Carte 7

Les différents types de peuplements forestiers sont présentés à la carte 7. Les données sont issues du Système d'information écoforestière (SIEF) du MRN (MRN, 2007). Les peuplements forestiers ont été regroupés en trois classes afin de simplifier la représentation cartographique : feuillus, résineux et mélangés (mixte). Les forêts mixtes occupent la plus grande partie du territoire (32 %), suivi des résineux (18 %) et des feuillus (15 %).

4.4.3 Milieux humides – Carte 8

La carte 8 présente la localisation et la différenciation des milieux humides. La cartographie détaillée des milieux humides provient du groupe CIC. Cette cartographie détaillée longe l'ensemble du fleuve Saint-Laurent et couvre l'intérieur des terres jusqu'à une altitude de 200 m. À cette couche a été ajoutée la cartographie des milieux humides potentiels (MDDEP, 2008) provenant du rassemblement de plusieurs bases de données :

- l'Atlas de conservation des terres humides de la Vallée du Saint-Laurent, produit par télédétection par Environnement Canada – Service canadien de la faune (EC-SCF);
- La cartographie des milieux humides le long du Saint-Laurent par télédétection, produite par Environnement Canada – Centre Saint-Laurent (EC-CSL);
- Les données du Système d'information écoforestière (SIEF), obtenues par photo-interprétation, du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) version 2008;
- la base de données topographique du Québec (BDTQ), obtenu par photo-interprétation, du MRNF.

Les différents types de tourbières, les marais et les marécages sont présentés sur cette carte. Des milieux humides détaillés, les marécages et tourbières boisées occupent une plus grande superficie que les autres types de milieux humides avec 52 % et 22 % respectivement.

4.4.4 Affectation du territoire – Carte 9

Les données d'affectation du territoire en Chaudière-Appalaches proviennent du Portrait provincial en aménagement du territoire (PPAT) produit par le Ministère des Affaires municipales et des Régions et de l'Occupation du territoire (MAMROT) (résumé au tableau 6). Ces données présentent la vocation du territoire pour une MRC donnée, c'est-à-dire la volonté des autorités locales et gouvernementales qui définissent les grandes orientations relativement à l'utilisation prévue du territoire (contrairement à l'utilisation réelle cartographiée à la carte 6). Des différences significatives peuvent être remarquées suite à l'analyse des cartes. Respectivement, de la carte 6 à celle-ci, les forêts représentent 64 % et 31 % tandis que la zone agricole passe de 22 % à 37 % et les activités anthropiques représentent 3 % du territoire contre 6 % sur la carte 9.

Tableau 6 : Superficie et % d'occupation des activités agricoles et des forêts

Type d'occupation du territoire	Superficie en km ² - carte 6	% d'occupation du territoire - carte 6	Superficie en km ² - carte 9	% d'occupation du territoire - carte 9
anthropique	515,06	3%	862,69	6%
forêt	9932,52	64%	4897,23	31%
agricole	3472,28	22%	5731,81	37%
Projet Chaudière	15601,94			

La Chaudière-Appalaches compte à la fois des milieux urbains et ruraux. La carte 9, en accord avec la carte 6, montre que la grande majorité du territoire est zoné « forestier » ou « agroforestier ». Les principales zones urbaines sont situées le long de l'autoroute 73 et de l'autoroute 20 avec un pôle développé autour de Thetford Mines. En termes de superficie globale, peu de zones sont classées « industrielles » dans la région (0,6 %). Cependant, on remarque qu'une majorité de cette superficie se retrouve entre Thetford Mines et Tring-Jonction et est la conséquence du développement minier que l'on retrouve dans les MRC des Appalaches et de Robert-Cliche.

4.5 Données pédologiques et géologiques

4.5.1 Pédologie – Carte 10

La carte pédologique numérique a été constituée à partir des études pédologiques de comté publiées dans les différentes régions au fil des années, et à différentes échelles. L'assemblage des cartes pédologiques sous forme numérique a été réalisé par l'IRDA en conformité avec le Plan géomatique gouvernemental. Une description détaillée des séries de sols utilisées pour préparer la carte 10 est disponible dans les rapports pédologiques indiqués au tableau 7 et accessibles sur le site internet (IRDA, 2010).

Les unités cartographiques identifiées sur les cartes numériques se composent souvent d'une seule série de sols. Il arrive toutefois qu'une unité cartographique puisse représenter une combinaison de séries qui sont identifiées suivant leur dominance respective. Au sein de ces unités cartographiques, la localisation d'une série de sols est reliée à sa position topographique. Une vingtaine d'études pédologiques ont été utilisées pour préparer la carte 10. Les numéros de ces études sont intégrés à la table décrivant les unités cartographiques. Les données provenant de la base de données des sols, disponible sur le site internet de l'IRDA (IRDA, 2010), ont également été intégrées à la table des unités cartographiques. Cette base de données renferme de l'information au niveau de la famille de sols, tels que la granulométrie, l'ordre, le drainage ou le mode de dépôt. Elle contient aussi des résultats analytiques de certaines propriétés physiques et chimiques des couches de sols étudiés lors de l'inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles (Tabi et al., 1990). On y retrouve entre autres les pourcentages de sable, limon et argile, la densité apparente et la conductivité hydraulique. Cette base de données ne contient cependant pas toutes les séries de sols du Québec ni l'épaisseur des différentes couches de sols. Pour cette raison, près d'une soixantaine d'études pédologiques ont été consultées afin d'y extraire les profondeurs des sols et les paramètres manquants, permettant de les inclure dans la base de données.

Tableau 7 : Études pédologiques utilisées pour la cartographie pédologique

Numéro d'étude	Échelle	Comté
35	63 360	Lotbinière
39	50 000	Mégantic
58	20 000	Wolfe
21	50 000	Frontenac
6	50 000	Beauce
19	50 000	Dorchester
33	63 360	Lévis
8	63 360	Bellechasse
8	63 360	Montmagny
34	63 360	L'Islet

(source : <http://sis.agr.gc.ca/siscan/publications/surveys/pq/index>)

Finalement, deux colonnes supplémentaires ont été ajoutées dans la table des unités cartographiques. La première représente la classe de texture du profil du sol et la seconde est une combinaison de la texture à la classe de drainage du sol. Cette classification des séries de sols a été tirée de la légende des sols du Québec, dans laquelle chaque série de sols a été manuellement classée en six catégories de texture (sableux, loameux, argileux, graveleux, tills et autres) et sept classes de drainage (très rapidement drainé, rapidement drainé, bien drainé, modérément bien drainé, mal drainé et très mal drainé). Une nouvelle légende, basée sur la combinaison texture-drainage a aussi été fournie.

4.5.2 Géologie du Quaternaire - Carte 11

La carte préliminaire de géologie du Quaternaire provient des cartes produites par la CGC (Parent et al. 2013 – *En préparation*). Cette compilation a été réalisée à partir de plusieurs sources différentes notamment, de la compilation du MRN de Gaucher (1984) (DV 84-10) à l'échelle de 1 / 50 000, de Bolduc et al. (2003) (DP 3835) de la CGC au 1 / 50 000, de Caron et Lamothe, (2008) de l'UQAM à l'échelle 1/100 000 de Caron, (2012) (thèse de doctorat) et une partie de Dubé (1971) (rapport n°596 du MRN) à l'échelle 1/63 360. Il est important de mentionner que cette carte est encore en préparation et ne représente pas une version finale ni publiable de la géologie surfacique des dépôts meubles présents en Chaudière-Appalaches.

L'UQAM, en collaboration avec le MRN, a été mandatée pour refaire la cartographie des feuillets SNRC couvrant la zone d'étude en deux phases. La première phase de cartographie, prévue pour l'été 2013, couvrira la partie ouest de la Rivière Chaudière (représentant les feuillets SNRC 21E16, 21E15, 21E14, 21L01, 21L02, 21L03, 21L08, 21L07, 21L06, 21L05, 21L11, 21L12) tandis que la seconde couvrira la partie est de la Rivière Chaudière pour couvrir les feuillets SNRC restants, soit 21L09, 21L10, 21L15, 21L16, 21M01, 21M08, 21N04, 21N05, 21K12, 21K13.

Les affleurements ne sont pas présentés sur cette carte, car la compilation présente dans La base de données du Système d'informations géominières SIGEOM ne couvre que quelques feuillets.

La carte 11 montre que les sédiments argilo-silteux de la mer de Champlain recouvrent la roche en place le long du fleuve Saint-Laurent. Le long des principales rivières telles que la rivière Chaudière (avec ses

affluents tels que la rivière Famine ou le Bras-St-Victor) ou la rivière Saint-Jean (avec ses affluents, La Grande Rivière Noire ou encore la rivière Daaquam) on peut distinguer la présence de vallées de largeur plus ou moins importante qui recouvre un till mince omniprésent dans les Appalaches.

4.5.3 Géologie du roc - Carte 12

La carte géologique du socle rocheux (carte 12) a été fournie par la Direction générale des hydrocarbures et des biocarburants du MRN. Cette carte, transmise en format électronique, est une compilation réalisée pour les besoins internes du MRN à partir des sources suivantes :

- Géologie des Basses-terres du Saint-Laurent (Globensky, 1987);
- Compilation géologique de la région de l'Estrie-Beauce (Slivitzky et St-Julien, 1987);
- Géologie de la Gaspésie et du Bas-Saint-Laurent (Brisebois, 2003);
- Carte géologique du Québec (MRN, 2001).

La zone d'étude est subdivisée en quatre régions géologiques distinctes séparées par trois failles différentes, la ligne Logan, la faille de Richardson et la faille de la Guadeloupe. Celles-ci séparent les Appalaches des Basses-terres du Saint-Laurent (Ligne Logan), mais elles subdivisent aussi les Appalaches en trois grandes zones. Ces régions sont définies notamment par leurs degrés de métamorphisme et les roches qui les composent.

La première faille, la Ligne Logan, sépare les Basses-terres, principalement composées de roches sédimentaires peu déformées telles que des grès ou des shales. Elles constituent la zone autochtone du complexe géologique présent en Chaudière-Appalaches.

Entre la Ligne Logan et la faille de Richardson, le complexe géologique présent (zone de Humber) est caractérisé par des roches sédimentaires déformées (plis et fractures), mais dont le degré de métamorphisme est moindre (possibilité de voir S0). Cette zone constitue la zone paraautochtone (mélange de roches formé sur place et de roches transportées).

Entre la faille de Richardson et la faille de la Guadeloupe, le complexe géologique présent (Zone de Dunnage) est caractérisé par des roches sédimentaires et volcaniques très déformées et dont le degré de métamorphisme est plus élevé (difficile de voir S0).

Passé la faille de la Guadeloupe, le complexe géologique (Ceinture de Gaspé) est caractérisé par des roches sédimentaires plus jeunes que celles présentes dans les autres territoires géologiques de la zone d'étude. Les roches de ce complexe sont définies par un degré de métamorphisme moins élevé que celui de la Zone de Dunnage (possibilité de discerner S0).

La figure 7 montre la géologie de l'extrémité ouest de la région d'étude où Séjourné et al. (2013) ont produit des coupes géologiques conceptuelles qui sont montrées à la figure 8. La plate-forme du Saint-Laurent est peu déformée, mais recoupée par des failles normales, tandis que les Appalaches ont une importante déformation et montrent de grands chevauchements vers le nord-ouest. La carte montre que la plate-forme du Saint-Laurent est recouverte par des chevauchements de la formation de Nicolet dans la zone externe des Appalaches et par des chevauchements d'unités géologiques appalachiennes dans la zone interne des Appalaches (Zone de Humber).

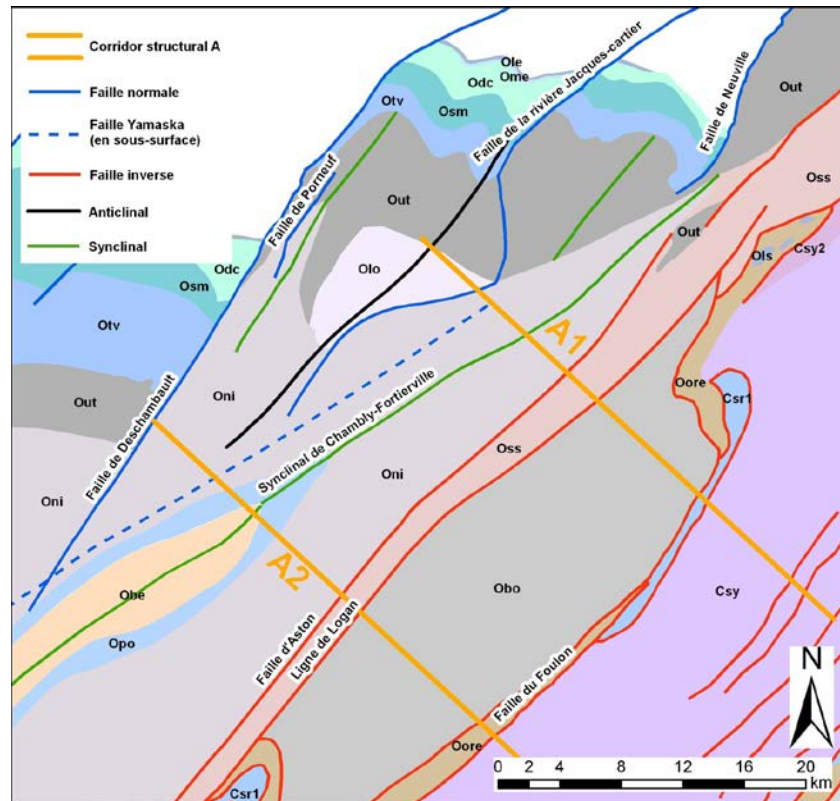


Figure 7 : Géologie du corridor A localisant les coupes A1 et A2 (figure 8) (Séjourné et al., 2013).

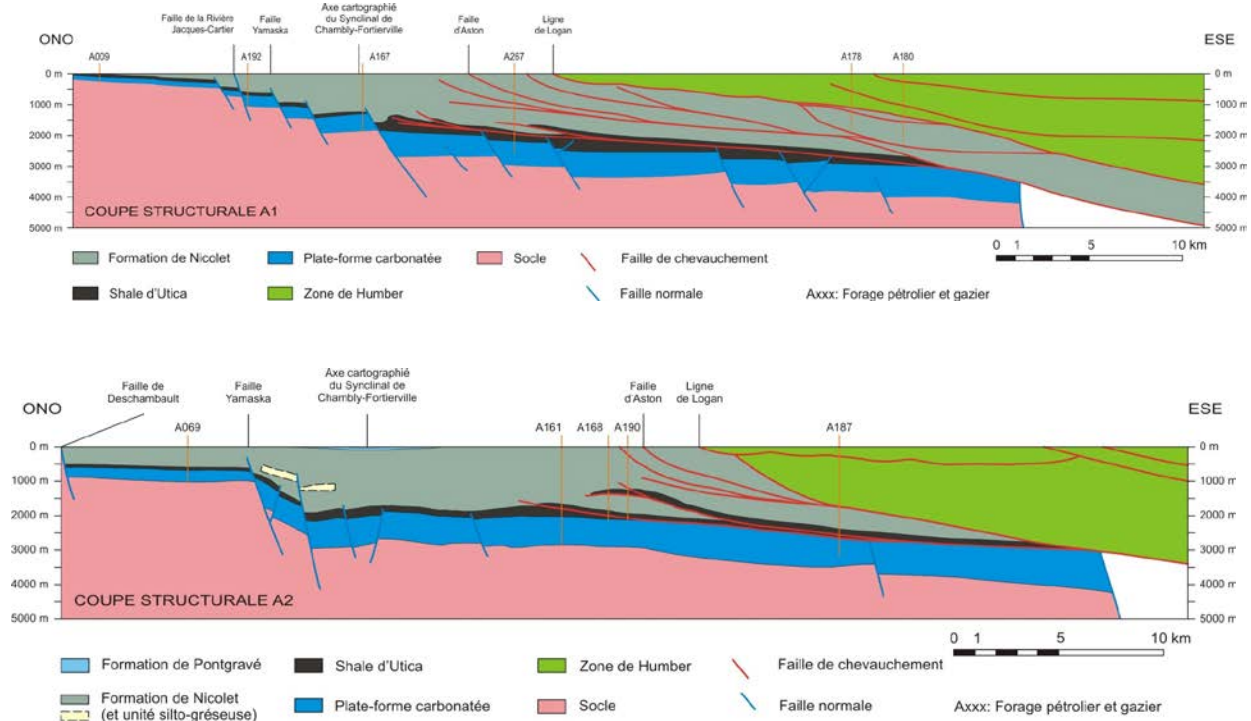


Figure 8 : Modèle structural conceptuel du corridor A (Séjourné et al., 2013).

4.6 Données hydrogéologiques

4.6.1 Carte piézométrique – Carte 13

Les données de profondeur du niveau d'eau dans les puits sont relativement nombreuses dans le SIH. Ces données représentent en grande majorité des puits résidentiels ouverts au roc, c'est-à-dire sans crépine, avec un tubage placé vis-à-vis les dépôts meubles. Pour préparer cette carte préliminaire, seuls les puits au roc ont été utilisés, mais aucune distinction n'a été faite pour la date de mesure. Certaines données aberrantes ont été laissées de côté pour produire la carte, notamment les valeurs de profondeur du niveau d'eau souterraine présentant une différence marquée avec les valeurs avoisinantes. Au total, 36 159 données piézométriques (28 985 données piézométriques de puits et 7 174 données d'élévation de rivières) ont été interpolées sur l'ensemble de la région par krigeage ordinaire, en utilisant un variogramme directionnel gaussien. L'interpolation a été réalisée à l'aide du module Geostatistical Analyst de ArcGIS avec les paramètres suivants pour le variogramme : portées de 90 km (direction 0°) et de 125 km (direction 41°); plateau de 6300; effet pépite de 275; ellipse de recherche de 120 km par 200 km (direction 41° pour le grand axe).

La carte 13 présente l'élévation de la nappe interpolée par krigeage. Cette carte montre que la nappe suit en général la topographie du terrain à cette échelle. Les puits et points de contrôle au niveau des rivières dont les mesures ont servi à l'interpolation ont été ajoutés à la carte pour visualiser leur distribution spatiale. On peut constater que très peu de puits sont disponibles dans le nord-est de la zone d'étude.

Compte tenu du contexte géologique, plusieurs secteurs de la région d'étude devraient avoir des aquifères en condition libre, lorsque le till est mince et le roc affleurant, comme dans la partie du Piémont appalachien et la majorité des Appalaches, et captive à semi-captive lorsqu'on s'approche du fleuve Saint-Laurent ou dans les vallées des principales rivières.

4.6.2 Propriétés hydrauliques – Carte 14

Des valeurs de conductivité hydraulique (K) et de transmissivité (T) ont été extraites des rapports collectés. Pour l'instant, un total de 13 valeurs de T sont disponibles pour 29 puits à l'intérieur et légèrement à l'extérieur de la zone d'étude. Plusieurs valeurs de T sont situées près l'une de l'autre (rayon 1 à 3 km) de sorte qu'elles ne peuvent souvent pas être distinguées sur la carte. Les coefficients d'emménagement sont encore moins nombreux que les valeurs de transmissivité : moins d'une dizaine de valeurs ont été compilées à l'intérieur du territoire à l'étude. Aucune carte n'a donc été créée pour ce paramètre. Les deux types de données seront validés lorsque la compilation des données extraites des rapports sera complétée. Néanmoins, à ces valeurs se sont ajoutées les valeurs du SIH. Des 26 322 puits du SIH, 11 920 puits pénètrent à au moins 2 m dans le roc. De ces puits, 748 ont passé une validation sommaire, soit un niveau d'eau statique supérieur au niveau d'eau dynamique et ayant un temps de pompage supérieur à deux heures de pompage.

On peut voir à la carte 14 que la plupart des données de qualité se retrouvent le long de la rivière Chaudière et du fleuve Saint-Laurent. La plupart des transmissivités calculées sont inférieures à 0,0005 m²/s (97%). Les conductivités hydrauliques ainsi que d'autres paramètres hydrauliques n'ont pas encore été calculés. L'ensemble des données n'a pas non plus été validé.

4.7 Données géochimiques

4.7.1 Géochimie de l'eau souterraine – Cartes 15a et 15b

La qualité générale de l'eau souterraine de la région de la Chaudière-Appalaches est considérée acceptable à passable. Elle est caractérisée par une forte présence de fer et de manganèse en solution, selon les données préliminaires recueillies. Les résultats analytiques associés à 3 876 puits provenant de trois sources d'informations distinctes ont été compilés, soit les données de l'ancienne Banque de données géochimiques du Québec (BADGEQ¹, 80 % des puits) (MRN (2011)), le Système d'information hydrogéologique (SIH, 16 % des puits) (MDDEFP (2012)) ainsi que l'étude hydrogéologique sur le bassin versant de la rivière Chaudière (4 % des puits) (COBARIC et UPA (2008)). Les données retenues du BADGEQ datent de 1975 à 1987, les données du SIH de 1951 à 2011 et les données du COBARIC et de l'UPA de 2007. Soulignons que ces données n'ont fait l'objet d'aucune validation, interprétation ou analyse préalable de l'information. Aucune distinction n'a également été faite quant à la date de prélèvement ou au type d'aquifère (roc ou granulaire) mais la majorité des échantillons sont présumés provenir de puits au roc. Les secteurs sud-est et nord-est de la région de la Chaudière-Appalaches sont les moins bien couverts par ces données, tandis que le bassin de la rivière Chaudière est le mieux documenté.

Le tableau 8 dresse un bilan de la qualité des eaux souterraines de la région sur la base de 13 paramètres pour lesquels il existe un critère selon le *Règlement sur la qualité de l'eau potable* (Gouvernement du Québec, 2013) ainsi que sur la base de 9 paramètres pour lesquels il existe un critère d'ordre esthétique ou opérationnel conformément aux *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada* (Santé Canada, 2012). La répartition spatiale des dépassements associés à une sélection de ces paramètres est illustrée aux cartes 15a et 15b en annexe. Il s'agit de mosaïques de cartes régionales illustrant les dépassements des critères pour la santé (carte 15a, paramètres : Cu, F, Ba, U, pH, NO₂-NO₃, As) ou d'ordre esthétique ou opérationnel (carte 15b, paramètres : Cl⁻, Na, S²⁻, Mn, Fe). Chacun des puits échantillonnés est représenté par un point. La taille et la couleur du point définissent trois catégories de qualité d'eau basée sur la concentration mesurée pour un paramètre donné : 1) conforme, 2) à surveiller (entre 25 % et 100 % du critère), ainsi que 3) non potable ou de qualité médiocre (> critère).

Tel qu'illustré à la carte 15a, l'eau de plusieurs puits est qualifiée de non potable. Celle-ci présente notamment des pH trop acides (< 6.5) dans le secteur des Appalaches ou trop basiques (> 8.5) dans le secteur des Basses-terres. Une faible acidité peut être associée à des eaux plus évoluées et une forte acidité à des eaux de recharge. L'eau des Basses-terres semble également susceptible de présenter des dépassements en baryum ainsi qu'en fluorures. Cette tendance a également été observée dans d'autres régions, soit dans des secteurs ayant subi l'invasion des eaux marines de la mer de Champlain (Carrier et al., (2013)). Des dépassements ponctuels sont aussi observés, d'une façon qui semble aléatoire à ce stade de l'étude, pour le cuivre et l'arsenic. Une attention particulière devra donc être portée à ces paramètres au cours des travaux à venir afin de tenter d'identifier les causes de ces dépassements. Finalement, un seul dépassement a été observé pour l'uranium ainsi que pour les nitrites et nitrates, principalement dans les secteurs sud et sud-ouest. Puisque les résultats en nitrites et nitrates ne sont disponibles que pour le bassin de la rivière Chaudière, il sera utile d'étudier les concentrations plus récentes et sur l'ensemble du territoire lors de la campagne d'échantillonnage à venir. Ces informations permettront d'évaluer l'impact des activités agricoles sur la qualité des eaux souterraines ainsi que la vulnérabilité des aquifères. Rappelons que 22 % du territoire à l'étude est à vocation agricole.

¹ Le BADGEQ est une base de données géochimique qui fut mise sur pied par le MDDEFP, mais qui est aujourd'hui intégrée au SIGEOM, soit le système d'informations géominières du MRN.

Tableau 8 : Sommaire de la qualité des eaux souterraines sur la base du Règlement sur la qualité de l'eau potable (gouvernement du Québec) et recommandations pour la qualité de l'eau potable (Santé Canada)

Paramètres	Données disponibles (nombre)	Règlement sur la qualité de l'eau potable c.Q-2,r.40 CRITÈRE POUR LA SANTÉ	Recommandations pour la qualité de l'eau potable (Santé Canada) CRITÈRE ESTHÉTIQUE	Dépassements du critère applicable		Remarque générales sur la distribution spatiale des dépassements
				(nombre)	(%)	
Antimoine (Sb)	155	≤ 0.006 mg/L		1	0.6%	
Arsenic (As)	2672	≤ 0.010 mg/L		37	1.4%	Aléatoire.
Baryum (Ba)	2610	≤ 1 mg/L		20	0.8%	Associé aux Basses-terres.
Bore (B)	156	≤ 5 mg/L		0	--	
Cadmium (Cd)	3265	≤ 0.005 mg/L		0	--	
Chrome (Cr)	197	≤ 0.05 mg/L		1	0.5%	
Cuivre (Cu) ¹	3267	≤ 1 mg/L		12	0.4%	Aléatoire.
Fluorures (F)	3342	≤ 1.5 mg/L		8	0.2%	Associé aux Basses-terres.
Nitrites et nitrates (NO ₂ -NO ₃)	199	≤ 10 mg N/L		1	0.5%	Information limitée au bassin de la Chaudière.
pH ²	707	Entre 6.5 et 8.5		81 (<6.5)	12% (<6.5)	Données limitées à la moitié sud de la région. pH<6.5 dans les Basses-terres.
Plomb (Pb)	3267	≤ 0.01 mg/L		140 (>8.5)	20% (>8.5)	
Sélénium (Se)	155	≤ 0.01 mg/L		47	1.4%	
				0	--	
Uranium (U)	2579	≤ 0.02 mg/L		7	0.3%	Plus de détection au sud de la région.
Aluminium (Al) ³	155			1	0.6%	
Chlorures (Cl)	3175			43	1.4%	Associé aux Basses-terres.
Fer (Fe)	3870			814	21%	Un peu partout.
Manganèse (Mn)	3364			1130	34%	Un peu partout.
Matière dissoutes totales	41			2	4.9%	
Sodium (Na)	3351			38	1.1%	Associé aux Basses-terres.
Sulfures (S ²⁻)	155			12	7.7%	Information limitée au bassin de la Chaudière.
Sulfates (SO ₄)	253			0	--	
Zinc (Zn)	3267			4	0.1%	

¹ Le cuivre est considéré comme un critère d'ordre esthétique par Santé Canada.

² Un pH est considéré comme un critère opérationnel par Santé Canada. Un pH non conforme peut favoriser la dissolution de certains métaux ou encore, peut nuire à l'efficacité des systèmes de traitement de l'eau. Voir également l'article 17.1 du Règlement c.Q-2, r.40.

³ Valeur opérationnelle recommandée pour les systèmes de traitement conventionnels.

Au niveau des paramètres de préoccupation esthétique ou opérationnelle, une problématique est évidente avec les concentrations en fer et manganèse. Selon les travaux de Benoit et al. (2009) portant sur le bassin de la rivière Chaudière uniquement, la nature du roc en serait responsable. Ces mêmes travaux notent également une problématique quant à la forte dureté des eaux souterraines. Les données actuellement disponibles ne nous permettent toutefois pas d'appuyer cette information. La présence des chlorures ainsi que du sodium est également à souligner, principalement dans la zone nord-ouest des Basses-terres du Saint-Laurent. Le passé marin des Basses-terres (invasion par la mer de Champlain il y a 11 000 ans) explique possiblement ces fortes teneurs en chlorures, bien que dans le secteur plus en altitude, les sels déglacant peuvent également être la cause de dépassements. Finalement, les sulfures sont présents en concentrations notables dans le bassin versant de la Chaudière, toutefois, aucune donnée n'est actuellement disponible pour le reste du territoire.

Selon le *Registre des terrains contaminés*, mis à jour par le MDDEFP (2013), 27 cas de contamination des eaux souterraines sont répertoriés pour l'ensemble de la région. Il s'agit principalement de cas de contamination ponctuelle, à l'échelle locale, majoritairement en lien avec l'entreposage de produits

pétroliers. Trois cas sont reliés à la contamination par des métaux, soit deux anciennes scieries ainsi qu'une ancienne gare ferroviaire.

Le *Répertoire des dépôts de sols et de résidus industriels*, également mis à jour par le MDDEFP (2013), relève quant à lui la présence de 18 sites pouvant potentiellement affecter la qualité des eaux souterraines. Huit (8) de ces sites sont des dépôts de résidus miniers situés dans la MRC des Appalaches et un est situé dans la MRC Robert-Cliche. Les autres sites correspondent soit à des dépôts d'ordures ménagères, de résidus industriels ou de boues (lagunes) et sont répartis sur l'ensemble du territoire.

4.7.2 Qualité de l'eau de surface – Carte 16

La qualité de l'eau de surface en Chaudière-Appalaches est généralement bonne à la tête des grands bassins versants, mais selon le *Portrait territorial Chaudière-Appalaches* (MRNF, 2010), celle-ci se dégrade progressivement vers l'aval en raison de l'apport en contaminants agricoles (phosphore, nitrites et nitrates). En 2004, la rivière Etchemin est arrivée au second rang des rivières québécoises les plus polluées par le phosphore.

Les informations sur la qualité des eaux de surface proviennent de la base de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA) du MDDEFP (2013). Des données sont disponibles pour 63 stations pour la période de 1979 à 2011 (32 ans). Les paramètres enregistrés et la période de suivi varient cependant d'une station à l'autre. Une compilation des données en phosphore total dissous et en nitrite et nitrates a été réalisée pour les stations des rivières Chaudière, Etchemin et Boyer (4 stations sur chacune de ces rivières, localisation à la figure 7). Seuls ces cours d'eau présentaient suffisamment de données pour la réalisation de profils complets, basés sur les concentrations annuelles moyennes, de l'amont vers l'aval, tels que présentés à la figure 8. Pour chacune des 3 rivières illustrées, on note une augmentation des concentrations de l'amont des cours d'eau vers l'aval, autant pour le phosphore que pour les nitrites et nitrates. L'évolution dans le temps est toutefois différente pour le phosphore, qui est nettement à la baisse depuis 32 ans, par rapport aux nitrites et nitrates, qui sont à la hausse. Cette hausse est plus discrète pour la rivière Chaudière. En comparant les concentrations annuelles moyennes d'une rivière à l'autre, la qualité de l'eau de la rivière Boyer semble la plus affectée par les activités agricoles, suivies par la rivière Etchemin. La rivière Chaudière présente des concentrations moins élevées pour ces paramètres.

L'IRDA enregistre également des données pour trois stations du sous-bassin de la rivière Etchemin que nous devrions obtenir sous peu. Les paramètres mesurés à ces stations sont le phosphore (total, bio, ortho, soluble), les matières en suspension, l'azote ammoniacal, les nitrates, le calcium de même que la conductivité électrique.

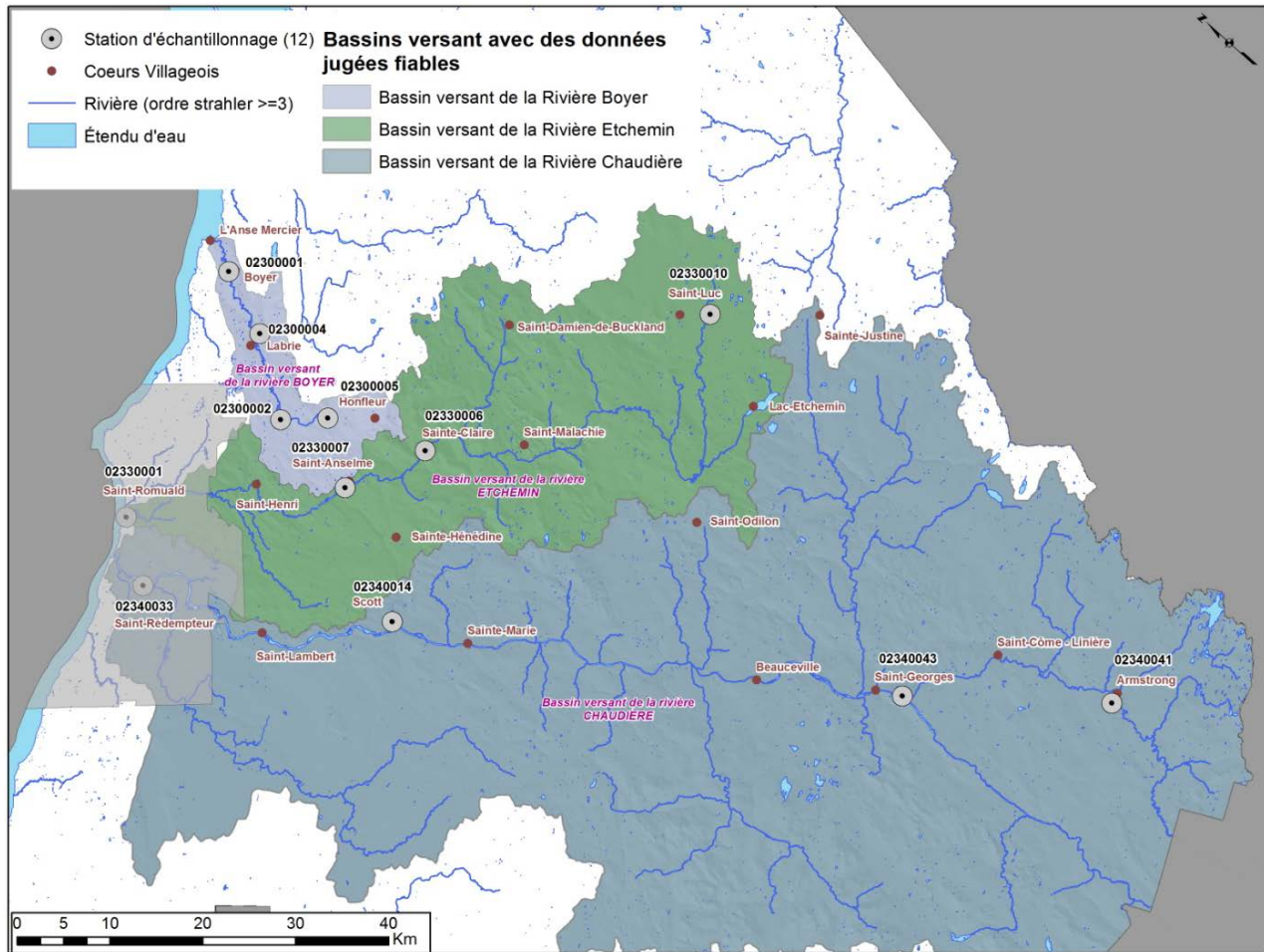


Figure 7 : Localisation des stations d'échantillonnage des rivières Chaudière, Etchemin et Boyer

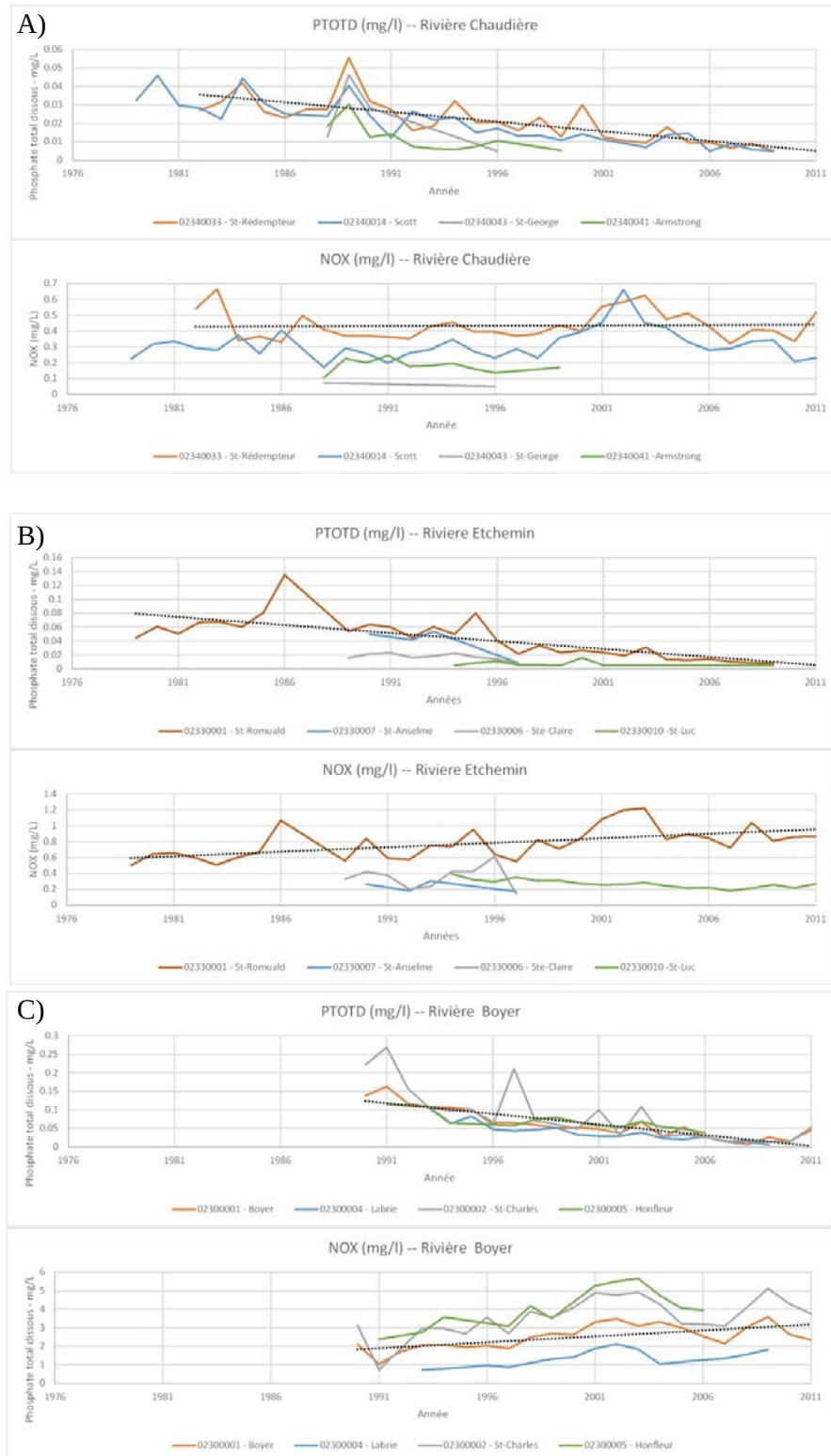


Figure 8 : Évolution des concentrations annuelles moyennes en phosphore total dissous (PTOTD) et en nitrites et nitrates (NOX) pour les quatre stations d'échantillonnage des rivières Chaudière (A), Etchemin (B) et Boyer (C), jusqu'en 2011.

Le trait pointillé représente la tendance moyenne des données

4.8 Données hydrométriques

Les débits de rivières ont été fournis par le CEHQ pour 37 des 47 stations de jaugeage dans la zone d'étude. La localisation de ces stations est montrée à la Carte 4 - Hydrographie et limites des bassins versants ainsi qu'à la figure 9. Au total, 15 stations sont encore actives et 3 de ces stations sont situées relativement en aval des bassins, soit près de l'exutoire de rivières importantes (ex. Chaudière, Beaurivage, du sud). Les superficies de drainage pour les 47 stations varient de 2 km² pour la station du ruisseau de la Fourchette à St-Isidore à 5 820 km² pour la rivière Chaudière à son exutoire près du fleuve. L'IRDA possède également deux autres stations de mesure de débit dans le sous-bassin versant de la rivière Etchemin. Le tableau 9 présente les superficies des bassins en amont des stations. Les moyennes annuelles des débits sont en cours de traitement et les résultats de séparation des hydrogrammes de rivières devraient nous être fournis par le CEHQ dans les prochains mois.

Tableau 9 : Stations de jaugeage avec leur débit annuel (ouvertes)

Station	Nom station	Municipalités	MRC	Nom rivière	Type	Bassin (km2)	État	Date_début
023002	Boyer Sud	Saint-Henri	Bellechasse	Boyer Sud, Rivière	Débit	62	Ouvert	1993-06-29
023432	Bras d'Henri	Saint-Gilles	Lotbinière	Henri, Bras d'	Débit	137	Ouvert	1972-06-28
023432	Bras d'Henri	Saint-Gilles	Lotbinière	Henri, Bras d'	Débit	137	Ouvert	1988-08-29
023004	Boyer	Saint-Charles-de-Bellechasse	Bellechasse	Boyer, Rivière	Débit	195	Ouvert	1996-05-29
024013	Bécancour	Irlande	Les Appalaches	Bécancour, Rivière	Débit	227	Ouvert	1979-05-12
023422	Famine	Saint-Georges	Beauce-Sartigan	Famine, Rivière	Débit	691	Ouvert	1964-08-12
023401	Beaurivage	Lévis	Ville de Lévis	Beaurivage, Rivière	Débit	709	Ouvert	1925-09-15
023106	Du Sud	Saint-Raphaël	Bellechasse	Sud, Rivière du	Débit	821	Ouvert	1966-09-14
023303	Etchemin	Saint-Henri	Bellechasse	Etchemin, Rivière	Débit	1160	Ouvert	1980-04-11
030225	Saint-François	Sainte-Praxède	Les Appalaches	Saint-François, Rivière	Débit	1230	Ouvert	1968-01-01
030201	Barrage Jules-Allard	Saint-Joseph-de-Coleraine	Les Appalaches		Niveau	1230	Ouvert	1919-10-01
023429	Chaudière	Saint-Georges	Beauce-Sartigan	Chaudière, Rivière	Débit	3070	Ouvert	1969-01-01
023429	Chaudière	Saint-Georges	Beauce-Sartigan	Chaudière, Rivière	Débit	3070	Ouvert	1979-08-21
023430	Barrage Sartigan	Saint-Georges	Beauce-Sartigan	Chaudière, Rivière	Niveau	3070	Ouvert	1968-01-01
023402	Chaudière	Saint-Lambert-de-Lauzon	La Nouvelle-Beauce	Chaudière, Rivière	Débit	5820	Ouvert	1915-02-27

4.9 Données météorologiques

Les données météorologiques ont été fournies par le MDDEFP. Un total de 153 stations est présent sur le territoire d'étude. De ce total, 71 sont encore en activités dont 8 en mode automatique et 63 en mode observateur (manuel) (tableau 10). Pour les stations en mode automatique, les périodes d'enregistrements commencent dans les années en 1978 ou plus tard (une station mentionne une date de démarrage en 1915, mais ces données doivent être vérifiées). Pour les stations en mode observateur, 14 stations ont commencé à enregistrer des données météo entre 1919 et 1950, 22 de 1958 à 1980 et le reste (26), ont des enregistrements commençant en 1978 à 2008. Ces données incluent les valeurs quotidiennes de température et de précipitation (neige, pluie, totale) ainsi que des statistiques mensuelles sur 30 ans (1970-1999) pour les mêmes variables en plus de l'évapotranspiration. Ces stations couvrent relativement bien le territoire (voir la figure 10). En date du 20 mars, les données journalières et les normales des stations

météorologiques n'ont pas encore été obtenues du MDDEFP, en conséquence aucune statistique n'a pu être présentée dans le cadre de ce rapport.

Tableau 10 : Stations météorologiques actives en Chaudière-Appalaches ou à proximité

Nom station	Type de station	No station	Latitude	Longitude	Altitude	Date d'ouverture
Barrage Jules-Allard	Automatique	7020M48	45.951	-71.274	290	1915-01-01
Saint-Michel	Automatique	7057567	46.831	-70.885	50	1978-09-15
Tingwick	Automatique	7028502	45.906	-71.949	262	1988-06-28
François	Automatique	7042557	47.015	-70.863	54	1989-04-15
Notre-Dame-du-Rosaire	Automatique	7055405	46.849	-70.454	425	1989-05-16
Hilaire	Automatique	7023130	45.825	-70.857	500	1990-07-09
Charny	Automatique	7021313	46.704	-71.274	71	1993-12-23
Catherine	Automatique	7011190	46.838	-71.622	130	1994-12-14
Champlain	Observateur	7011290	46.458	-72.330	16	1980-11-15
Lac-Mégantic-2	Observateur	7023677	45.594	-70.886	457	1919-05-02
Saint-Éphrem	Observateur	7027200	46.062	-70.959	322	1929-01-15
Laurierville	Observateur	7024250	46.318	-71.657	148	1937-07-15
Lingwick	Observateur	7024320	45.636	-71.375	267	1939-01-01
Saint-Prosper	Observateur	7027660	46.191	-70.486	304	1940-05-01
Sainte-Germaine	Observateur	7057287	46.433	-70.502	497	1945-09-01
Baie-Saint-Paul	Observateur	7040446	47.419	-70.507	41	1945-10-01
Saint-Alban	Observateur	7016800	46.727	-72.114	69	1949-09-01
Sainte-Anne-de-la-Pérade	Observateur	7016840	46.589	-72.230	18	1949-09-15
Milan	Observateur	7024920	45.586	-71.033	533	1949-10-15
Sainte-Christine	Observateur	7017000	46.806	-71.889	124	1950-01-15
Saint-Théophile	Observateur	7027750	45.919	-70.544	435	1950-10-01
Saint-Pamphile	Observateur	7057600	46.986	-69.773	366	1950-10-15
Scott	Observateur	7027840	46.498	-71.078	157	1950-11-15
Saint-Flavien	Observateur	7027259	46.474	-71.541	134	1958-05-01
Montmagny	Observateur	7055210	46.979	-70.590	15	1958-06-01
Thetford-Mines	Observateur	7028441	46.095	-71.342	362	1960-04-01
Saint-Sébastien	Observateur	7027725	45.775	-70.955	447	1960-04-15
Saint-Georges	Observateur	7027283	46.152	-70.707	171	1960-07-01
Saint-Ferdinand	Observateur	7027248	46.099	-71.515	289	1963-05-01
Saint-Pierre-de-Broughton	Observateur	7027656	46.246	-71.210	375	1963-06-15
Saint-Camille	Observateur	7056930	46.490	-70.213	402	1963-06-15
Sainte-Lucie	Observateur	7057515	46.736	-70.027	363	1963-09-15
Saint-Ludger	Observateur	7027516	45.759	-70.672	329	1964-06-15
Saint-Bruno-de-Kamouraska	Observateur	7056922	47.453	-69.778	201	1964-10-01
Saint-Séverin	Observateur	7027733	46.360	-70.999	351	1964-10-15
Vallée-Jonction	Observateur	7028676	46.358	-70.928	160	1965-08-01
Saint-Côme-de-Linière	Observateur	7027083	46.047	-70.513	254	1965-08-15
Isle-aux-Coudres	Observateur	704CBGH	47.386	-70.376	24	1968-09-15
Arthabaska	Observateur	7020305	46.021	-71.903	222	1969-01-01
Deschambault	Observateur	7011982	46.675	-71.919	9	1971-02-01
Petite-Rivière-Saint-François	Observateur	7046004	47.296	-70.569	12	1971-11-15
Fortierville	Observateur	7022494	46.479	-72.030	65	1972-08-15
Beauséjour	Observateur	7020567	46.665	-71.166	110	1975-08-15
Lauzon	Observateur	7024254	46.755	-71.089	88	1978-12-15
Château-Richer	Observateur	7041330	46.954	-71.045	9	1980-11-15
Honfleur-2	Observateur	7053141	46.675	-70.907	213	2005-08-02
Frampton-2	Observateur	7052554	46.464	-70.762	380	2005-10-14
Kamouraska (Saint-Denis)	Observateur	7053381	47.494	-69.931	12	2005-10-14
Beaurivage	Observateur	7020566	46.414	-71.235	195	2005-10-21
La Pocatière-2	Observateur	705409F	47.341	-70.007	130	2006-07-24
Saint-Jean-Port-Joli	Observateur	7057397	47.174	-70.261	40	2006-07-31
Princeville-2	Observateur	7026251	46.151	-71.854	160	2006-12-04
Saint-Édouard	Observateur	7027118	46.599	-71.735	79	2007-06-18
Armagh-2	Observateur	7050241	46.716	-70.601	323	2007-06-28
Tilly	Observateur	7028E0T	46.662	-71.504	108	2007-07-04
Lamartine-2	Observateur	7053981	47.052	-70.380	68	2007-07-04
Jules	Observateur	70233GH	46.261	-70.902	308	2007-07-10
Lemieux	Observateur	70242PR	46.306	-72.078	95	2007-07-12
Rivière-du-Sud	Observateur	7056617	46.897	-70.638	63	2007-07-23
Saint-Léonard	Observateur	7017455	46.882	-71.929	164	2007-08-08
Saint-Charles-de-Bellechasse	Observateur	7056947	46.721	-70.934	117	2007-08-21
Kinnear's-Mills-2	Observateur	7023467	46.216	-71.391	333	2007-09-07
Disraeli-2	Observateur	7022002	45.904	-71.266	323	2007-09-10
Saint-Tite-des-Caps-2	Observateur	7047763	47.172	-70.752	382	2007-09-14
Saint-Augustin-2	Observateur	7016901	46.732	-71.528	71	2007-09-28
Saint-Laurent-de-l'Île-d'Orléans	Observateur	7047441	46.861	-71.023	62	2007-10-29
Adstock	Observateur	7020067	46.006	-71.181	361	2007-10-31
Saint-Honoré	Observateur	7027315	46.063	-70.786	305	2007-11-01
Saint-Marcel	Observateur	7057523	46.928	-70.016	396	2008-06-16
Saint-Philémon-2	Observateur	7057658	46.644	-70.508	360	2008-06-16
Donnacona-3	Observateur	7012080	46.690	-71.706	75	2008-11-06

4.10 Données des puits de surveillances

Il existe 25 stations de suivi (puits de surveillance) du niveau d'eau dans, ou tout juste en bordure de la région à l'étude. Leur localisation est fournie sur la figure 10 et les détails des puits sont fournis au tableau 11. Ceux-ci sont distribués sur l'ensemble du territoire de la Chaudière-Appalaches, mais il existe quelques secteurs qui ne sont pas couverts, notamment dans la MRC de Montmagny en bordure du fleuve ainsi que dans les Appalaches, de même la vallée de la rivière Chaudière pourrait facilement accueillir quelques puits de suivi supplémentaires.

Le suivi de la majorité de ces puits a débuté récemment, soit à partir de 2010. Seulement 4 puits ont une première série de mesure qui a été effectuée sur près de 10 ans dans les années 1980 suivies d'une deuxième série à partir de 2007 à 2011. Ces puits ont été réintégrés dans le programme de surveillance en 2006 ou 2007. Seul un puits, celui de Saint-Antoine-de-Tilly, a une période d'enregistrement plus longue qui va de 1979 à 1993. Les données ont été obtenues directement du MDDEFP. Elles montrent que les niveaux d'eau pour les municipalités d'Irlande et de Saint-Antoine-de-Tilly (figure 9), semblent avoir subi une baisse d'environ un mètre sur une période d'environ 25 ans.

Tableau 11 : Stations puits de surveillance du niveau de l'eau souterraine en Chaudière-Appalaches

No	Ville	MRC	NoStation	X (Lambert)	Y (Lambert)	Nappe	Période de mesure 1		Période de mesure 2	
1	Disraeli	des Appalaches	3020002	-221379	216282	À venir			2010	2011
2	Dudswell	Le Haut Saint François	3027032	-240546	182049	Semi captive	1982	1992	2007	2011
3	Frampton	La Nouvelle Beauce	2330001	-177405	276277	Captive			2010	2011
4	Irlande_1	des Appalaches	2407004	-230090	236178	Libre	1985	1992	2007	2011
5	Irlande_2	des Appalaches	2407005	-230090	236178	Captive	1985	1992	2007	2011
6	Leclercville	Lotbinière	2370001	-266168	286570	Captive				
7	Manseau	Bécancour	2400003	-267667	262251	Captive			2010	2011
8	Saint Agapit	Lotbinière	2340001	-224489	290539	Libre			2006	2011
9	Saint Antoine de Tilly	Lotbinière	02G47001	-234793	299949	Libre	1979	1993	2007	2011
10	Saint Charles de Bellechasse	Bellechasse	2300001	-183924	315672	Libre			2010	2011
11	Saint Édouard de Lotbinière	Lotbinière	2360001	-255236	291426	Semi captive			2010	2011
12	Saint Honoré de Shenley	Beauce Sartigan	2340006	-174578	219598	Semi captive			2007	2011
13	Saint Jacques de Leeds	des Appalaches	2400001	-219321	259022	Semi captive			2010	2011
14	Saint Luc de Bellechasse	des Etchemins	2330002	-152915	282239	Libre			2010	2011
15	Saint Magloire	des Etchemins	1300001	-136197	288837	Semi captive			2010	2011
16	Saint Martin	Beauce Sartigan	2340002	-165865	221061	À venir			2010	2011
17	Saint Pamphile	L'Islet	1370001	-97604	329543	Captive			2010	2011
18	Saint Raphaël	Bellechasse	2310001	-171111	314104	Libre			2010	2011
19	Saint Théophile	Beauce Sartigan	2340004	-151779	218755	Captive			2010	2011
20	Saint Zacharie	des Etchemins	2340003	-143320	241629	Captive			2010	2011
21	Sainte Anne du Sault	Arthabaska	2400002	-282534	253119	Captive			2010	2011
22	Sainte Justine	des Etchemins	2340005	-143730	269989	Captif			2010	2011
23	Sainte Marie de Blandford_1	Bécancour	2000004	-284643	269139	Libre			2010	2011
24	Sainte Marie de Blandford_2	Bécancour	2000005	-284640	269147	Captive			2010	2011
25	Tourville	L'Islet	2270001	-110146	346266	Libre			2010	2011

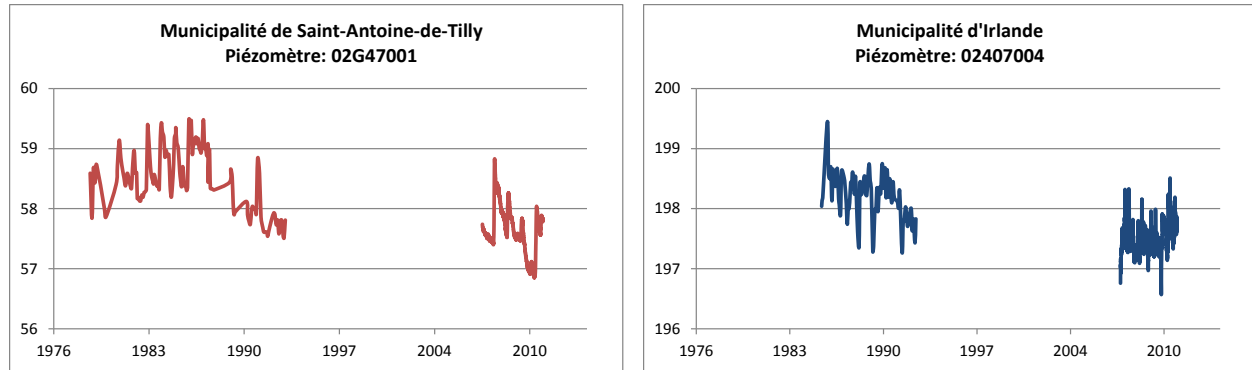


Figure 9 : Hydrogrammes du puits de surveillance du MDDEFP à Sainte-Antoine-de-Tilly et Irlande

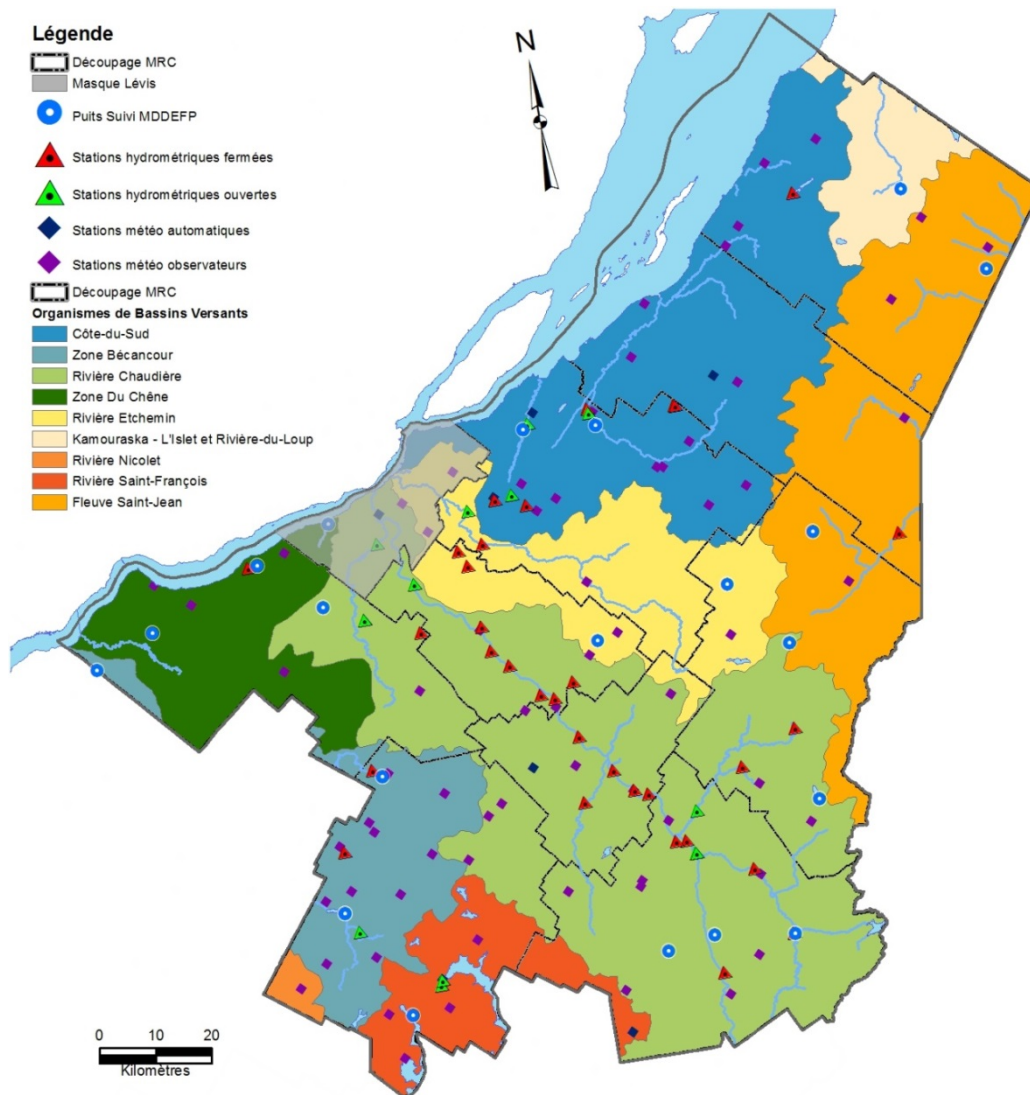


Figure 10 : Localisation des puits de suivi du MDDEFP, des stations de jaugeages et des stations météo

4.11 Eau souterraine et activités anthropiques

4.11.1 Prélèvements d'eau souterraine – Carte 17

Les données sur les prélèvements d'eau souterraine municipaux et non municipaux en Chaudière-Appalaches ont été fournies par le MDDEFP et sont collectées dans le cadre du *Règlement sur la qualité de l'eau potable* pour tous les réseaux de distribution d'eau potable desservant plus de 20 personnes.

Les données obtenues indiquent que sur les 134 municipalités présentes sur le territoire d'étude, la majorité, soit 109, s'alimente à partir de l'eau souterraine pour leur réseau de distribution d'eau potable, contre seulement neuf (9) municipalités qui ont une source mixte (surface et souterraine). Aucune municipalité ne distribue dans ses réseaux seulement de l'eau de surface et il y actuellement 16 municipalités pour lesquelles nous n'avons aucune information. La carte 17, en annexe, présente l'emplacement des prélèvements d'eau souterraine fournis par le MDDEFP. En arrière-plan, cette carte présente également les puits d'approvisionnements municipaux et privés (plus de 20 personnes), obtenus du Répertoire des réseaux municipaux de distribution d'eau potable (MDDEFP, 2012).

Les statistiques par MRC sont présentées au tableau 12. Dans la région de la Chaudière-Appalaches, en incluant la ville de Lévis, on estime que 47,2 % de la population de la région est alimentée par l'eau de surface tandis que 52,8 % sont alimentées par l'eau souterraine. Basé sur les statistiques du MDDEFP pour les réseaux de distribution d'eau potable, le nombre de personnes desservies montre que 54,6 % de la population est alimentée par un réseau, et 45,4 % (125 819 personnes) par des puits privés (sans Lévis).

Tableau 12 : Source des approvisionnements en eau par MRC en Chaudière-Appalaches

MRC	Population dans la zone d'étude (MAMROT 2012)	Nombre municipalité total	Nombre de municipalité avec réseau	Alimentation par réseau		Alimentation privée	
				Nombre de personnes réseau eau souterraine + eau de surface	%	Nombre de personnes puits	%
Beauce-Sartigan	51759	13	11	33788	12.2%	17971	6.5%
Bellechasse	36133	20	18	21921	7.9%	14212	5.1%
La Nouvelle-Beauce	35870	9	9	17082	6.2%	18788	6.8%
Les Appalaches	44594	15	10	11091	4.0%	33503	12.1%
Les Etchemins	17310	9	8	7500	2.7%	9810	3.5%
L'Islet	18629	7	7	11112	4.0%	7517	2.7%
Lotbinière	30439	13	13	16211	5.8%	14228	5.1%
Montmagny	23173	11	11	17181	6.2%	5992	2.2%
Robert-Cliche	19421	7	7	15623	5.6%	3798	1.4%
Total de la région	277328	104	94	151509	54.6%	125819	45.4%

4.11.2 Périmètres de protection

Les périmètres de protection doivent être fournis par les municipalités sur demande du MDDEFP puisque ce dernier exige que les périmètres de protection soient déterminés pour un puits d'exploitation municipal dont le débit dépasse 75 m³/j. Cependant, aucune information n'a été reçue du bureau régional du MDDEFP concernant les périmètres de protection et, à ce stade du projet, les données provenant des partenaires du projet dont les MRC et les OBV de même que celles provenant des municipalités sont en cours de collecte et devront être analysées afin de pouvoir être compilées dans la base de données. Ainsi, aucune carte ne présente ces données pour le moment.

4.11.3 Activités anthropiques pouvant altérer l'eau souterraine – Carte 18

Les activités anthropiques présentées à la carte 18 proviennent principalement de la base de données du MAMROT et des codes d'utilisation des biens-fonds (CUBF). En cours de projet, les informations du CUBF seront complétées par d'autres sources d'informations provenant entre autres de la base donnée pour l'aménagement du territoire (BDAT), de la base de données du système d'information écoforestière (SIEF), du répertoire des terrains contaminés ainsi que des différents partenaires du projet.

Quelques exemples de ces activités sont par exemple :

- industries (e.g. papetières, alumineries, scieries, poissonneries, tanneries);
- lieux de traitement (e.g. boues sanitaires, déchets dangereux, sols contaminés, etc.);
- lieux d'entreposage (e.g. déchets biomédicaux, matières dangereuses, sols contaminés, pneus hors d'usage ou neiges usées et les centres de transfert de déchets dangereux);
- équipements pétroliers à risque élevé;
- des données complémentaires provenant des municipalités et des partenaires régionaux seront aussi ajoutées : les gravières, sablières, carrières, lieux d'enfouissement sanitaire, pipeline, cimetières d'automobiles et terrain contaminés.

La compilation des activités CUBF de ce livrable n'inclut pas les activités liées aux résidences isolées qui sont équipées d'installations septiques ni celles liées à la production agricole qui constitue un risque difficilement quantifiable avec les seules données du CUBF. De plus, les acteurs régionaux (i.e. municipalités, MRC, OBV) seront consultés afin d'identifier les problématiques locales plus spécifiques. Dans le cadre de ce rapport, la carte 18 présente un portrait ponctuel préliminaire des activités qui pourraient être à risque pour les ressources en eau souterraine. Ce portrait est préliminaire et il est non interprété en termes d'impact sur la ressource. La distribution de ces activités sur le territoire d'étude se retrouve principalement dans les axes des principales vallées comme celles des rivières Chaudière et Etchemin ainsi que le long du corridor longeant le Fleuve. Tous ces secteurs sont bien desservis par les axes autoroutiers ou des routes régionales. Un total de 2 408 activités du CUBF ont été retenues sur plus de 174 678 activités (principalement des résidences) enregistrées pour la région d'étude. Au fur et à mesure de l'avancement des travaux d'acquisition des informations, des données complémentaires pourront être ajoutées à la base de données.

5 MODÈLE HYDROGÉOLOGIQUE CONCEPTUEL

Un modèle conceptuel initial de la région d'étude est élaboré à partir des travaux de la phase 1 de ce projet, notamment la revue des travaux antérieurs, l'intégration des données existantes, la production de cartes préliminaires, l'utilisation de coupes géologiques dans les différents contextes de la région. Ce modèle hydrogéologique comprend la reconnaissance des contextes hydrogéologiques, la définition des conditions d'écoulement de l'eau souterraine et l'évaluation préliminaire de la qualité naturelle de l'eau souterraine et du potentiel de détérioration de cette qualité en relation avec des activités anthropiques. Ce modèle conceptuel permet d'intégrer les connaissances acquises sur la région d'étude, mais il sert aussi à identifier les lacunes dans les données et dans notre compréhension du système aquifère. Le modèle conceptuel a été réalisé de façon préliminaire et sera complété au cours du printemps et de l'été 2013 pour permettre de définir l'inventaire des données disponibles sur le système aquifère, de même qu'à la conception du programme de caractérisation qui sera réalisé principalement en 2013 (chapitre 6).

5.1 Contextes hydrogéologiques

La géographie de la Chaudière-Appalaches est caractérisée par deux provinces géologiques, celle des Basses-terres du Saint-Laurent qui occupe environ 20 % du territoire à partir du fleuve, et celle des Appalaches qui inclue la transition à partir du Piémont. La province géologique des Basses-terres du Saint-Laurent présente un relief plat, entrecoupé de ravins et de rivières encaissés alors que le Piémont appalachien et les Appalaches montrent une topographie accidentée, composée d'une succession de terrasses d'une altitude variant de 150 à 400 m, suivie de collines dont l'altitude varie généralement entre 400 à 600 m, jusqu'au Massif du Sud, culminant à 900 m. La démarcation entre le Piémont et le plateau correspond à peu près à la limite marine, dont l'élévation s'échelonne de 175 m dans le secteur de Lévis.

La région fait partie de la province géologique des Appalaches qui est interprétée à partir de la carte Slivitzky (1987) et du rapport de Caron (2007b). Dans les Appalaches, la porosité primaire de la roche rend celle-ci relativement peu perméable (schiste peu déformé et métamorphisé) et la conductivité hydraulique est plutôt due aux fractures qui s'interconnectent dans la roche. De grands systèmes de failles traversent la région, cependant ils n'augmentent généralement pas la perméabilité parce que ces plissements sont issus de compressions de la roche qui n'ont pas pour effet d'ouvrir les fractures. Les études régionales répertoriées ont classé les lithologies de l'aquifère rocheux régional en fonction de leur potentiel de production d'eau. Cette classification découle habituellement de déductions basées sur la nature des roches ainsi que sur la connaissance d'approvisionnements municipaux qui ont une forte ou faible capacité de production dans différentes unités lithologiques. La faible quantité de données hydrauliques disponibles ne permet pas à cette étape-ci du projet de faire une évaluation rigoureuse des propriétés des différentes unités rencontrées dans la région d'étude, mais quelques valeurs de transmissivité du roc provenant de rapports de consultant et d'information sur les tests de pompage dans le SIH ont été mis en carte (figure 11).

Au niveau régional, il existe 3 grands systèmes de failles qui traversent la zone d'étude dans un axe sud-ouest / nord-est permettant de définir 4 contextes géologiques et hydrogéologiques, comportant chacun des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques qui sont susceptibles d'influencer la conductivité hydraulique du roc ou des dépôts granulaires recouvrant le roc. Ces failles sont la faille de Logan, la faille de Richardson et la faille de la Guadeloupe. Sur le plan géologique, chacune des zones se démarque notamment par le degré de métamorphisme et le type de roches qui les composent. Entre le Fleuve et au nord-ouest de la faille de Logan, la plate-forme des Basses-terres du Saint-Laurent est composée de roches d'origine sédimentaire (grès, shale) très peu déformées, donc probablement caractérisées par de très faibles conductivités hydrauliques. Entre la Ligne Logan et la faille de Richardson, on retrouve la zone de Humber avec un mélange de roches sédimentaires (grès, shale) et métamorphiques (schistes et quartzites)

déformées qui est caractérisé par des plis et des fractures, mais dont le degré de métamorphisme n'est pas important. Cette zone est caractérisée par un mélange de roches formées sur place et de roches transportées. Entre les failles de Richardson et de la Guadeloupe, on retrouve la Zone de Dunnage dont les roches sédimentaires (schistes) et volcaniques (phyllade) très déformées montrent un degré de métamorphisme plus élevé. Au sud-est de la faille de la Guadeloupe, on retrouve la Ceinture de Gaspé qui est caractérisée par des roches sédimentaires plus jeunes que celles présentes dans les autres territoires géologiques de la zone d'étude. Les roches de ce complexe sont définies par un potentiel aquifère assez faible.

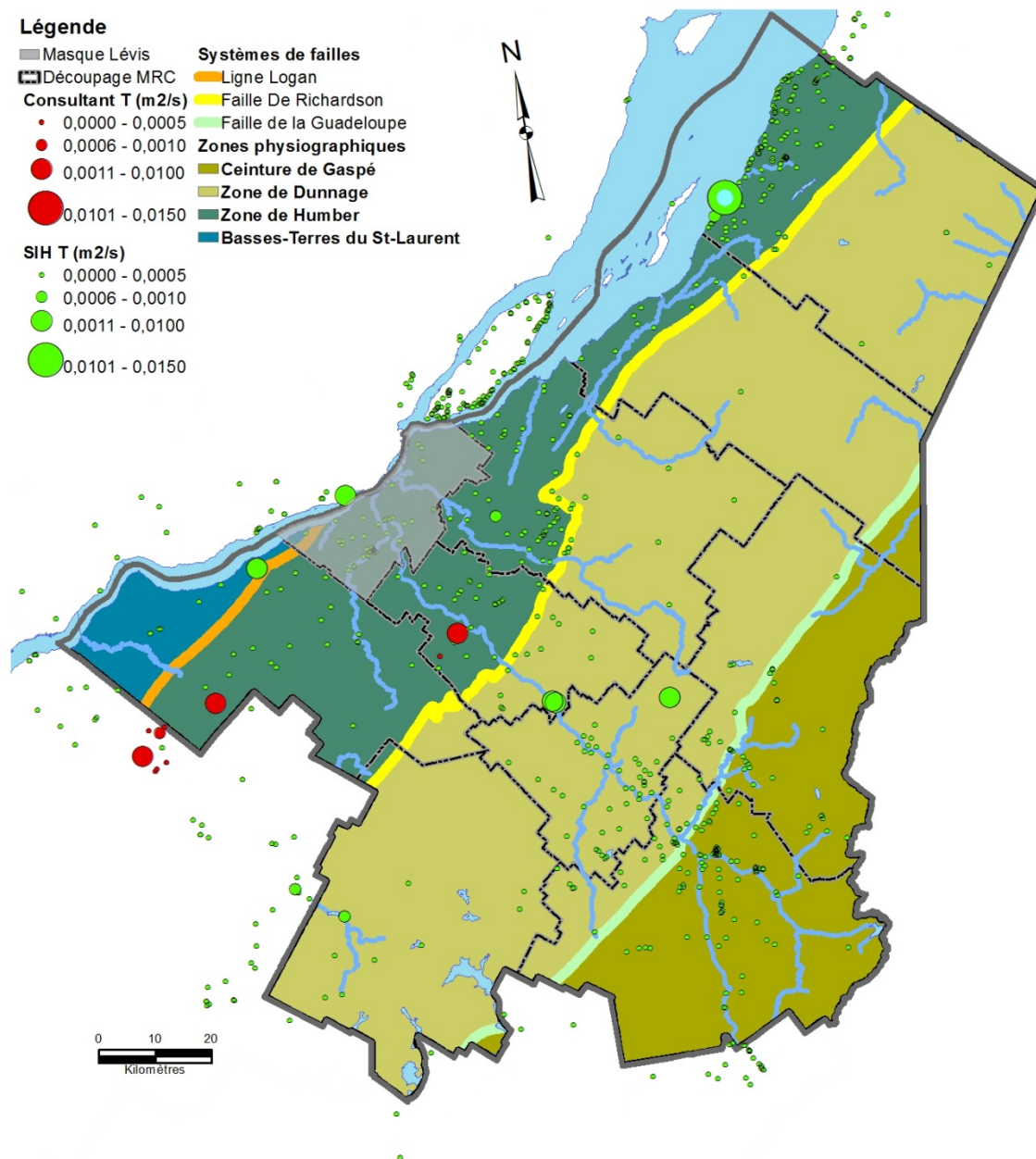


Figure 11 : Contextes physiographiques et transmissivité du roc

Pour aider à la définition de ces contextes hydrogéologiques, nous avons utilisé la carte des sédiments quaternaires (figure 12) et la carte d'épaisseur des dépôts meubles (figure 13) qui a été produite à partir des données de stratigraphie provenant du SIH ainsi que d'autres sources de données de forages ainsi que de la carte des affleurements rocheux (SIGEOM). Ces cartes, qui permettent d'identifier les formations et l'épaisseur des dépôts meubles, vont aussi aider à la planification des travaux de terrain de l'été 2013. De façon générale, les secteurs susceptibles de contenir des aquifères granulaires potentiels se retrouvent dans les vallées où les dépôts meubles peuvent excéder 10 m (Chaudière, Etchemin, du Sud, etc.). À l'opposé, en dehors des vallées, dans les secteurs du Piémont appalachien et dans les Appalaches, les épaisseurs de sédiments sont généralement inférieures à quelques mètres.

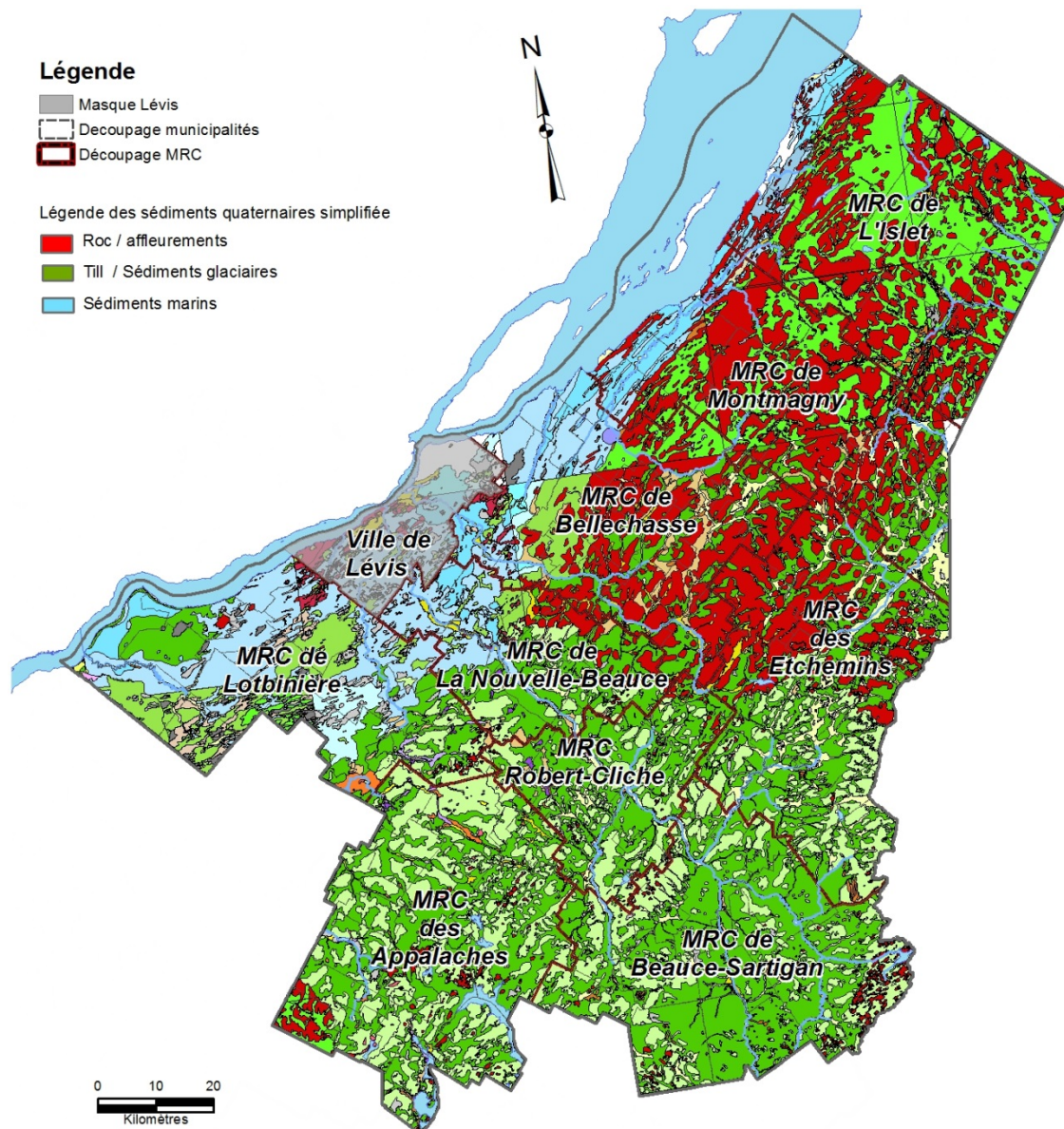


Figure 12 : Carte des sédiments quaternaires

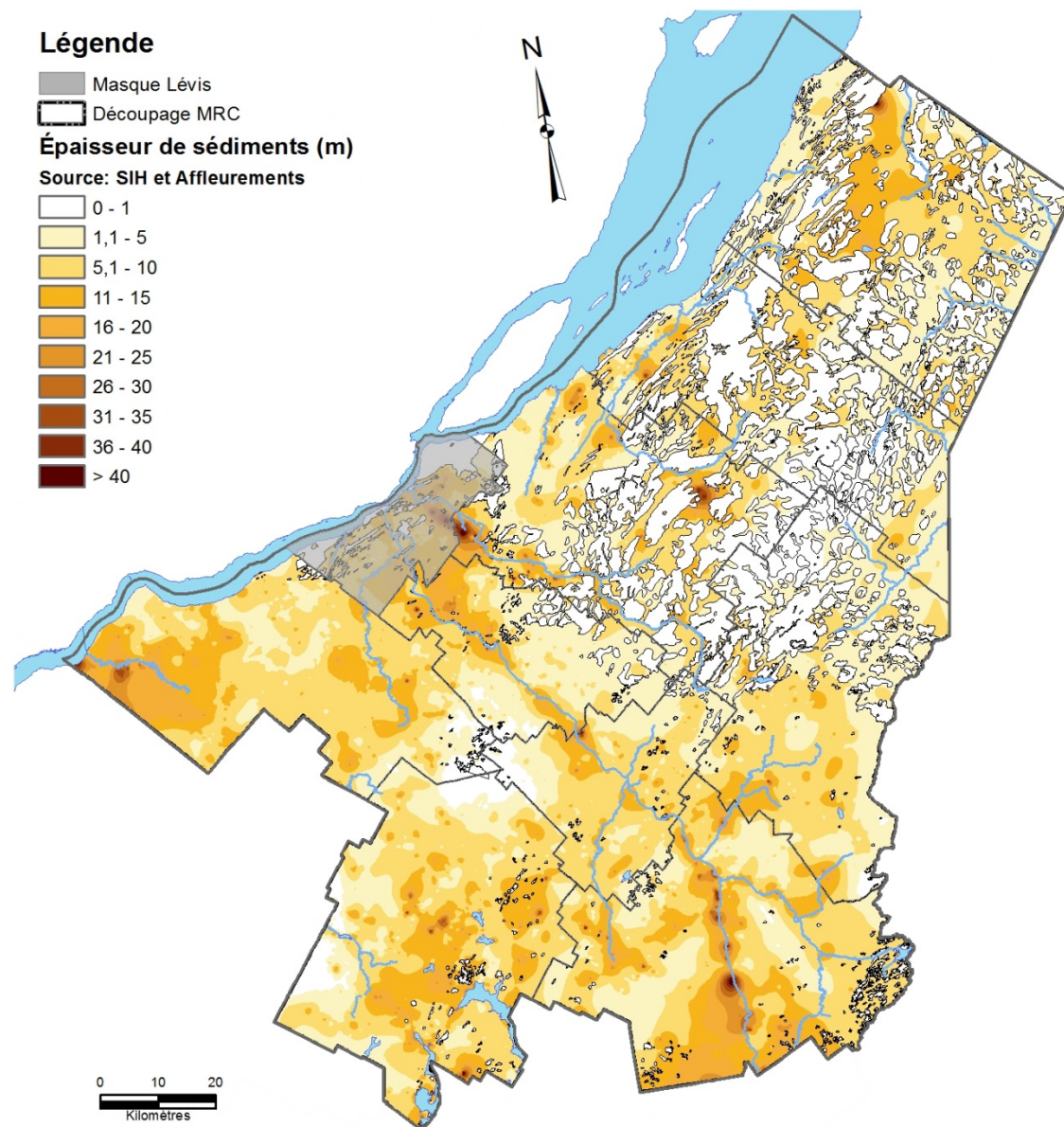


Figure 13 : Épaisseur des dépôts meubles dans la région d'étude

La cartographie des sédiments quaternaires montre qu'une grande partie de la zone du projet (environ 80 %), représentée par le contexte hydrogéologique des Appalaches, est recouverte des sédiments glaciaires (till) et fluvioglaciaires mis en place suite à la présence des inlandsis du quaternaire. Le délavage des particules fines de ces sédiments fait en sorte que la perméabilité peut être assez élevée et pourrait permettre une recharge importante des aquifères rocheux régionaux, lorsque ces sédiments sont présents en surface. Avec le roc affleurant, ces contextes constituent des zones de recharge importantes qui peuvent contribuer de façon significative à l'écoulement et à la réalimentation des zones aquifères régionales. Par la même occasion, ces contextes sédimentaires constituent des zones généralement vulnérables à la contamination venant de la surface.

La figure 14 montre une coupe schématisant la mise en place des éléments de la géologie des formations superficielles dans le Piémont et le plateau appalachien (Caron et al., 2012). Sous la limite maximale d'environ 175 m atteinte par la mer de Champlain, divers sédiments marins ont recouvert les tills et les sédiments fluvioglaciaires constitués de graviers et sables, accompagnés de nappes de sables provenant d'épandages pro-glaciaires subaquatiques, qui peuvent présenter un excellent potentiel aquifère, surtout lorsqu'ils sont enfouis sous les sédiments marins argileux, ce qui les rend moins vulnérables à la contamination. De plus, une bonne partie du territoire est couvert de forêts, ce qui renforce son potentiel de zone de recharge importante.

Les vallées ont été partiellement comblées par des sédiments glaciomarins (argilo-silts) ou des sables deltaïques qui ont enfoui les formations quaternaires antérieures et autres sédiments fluvioglaciaires. Ces derniers peuvent former des aquifères captifs ou semi-captifs dont les zones d'alimentation s'étendent dans le Piémont. On retrouve de façon plus discontinue, dans les collines et les plateaux appalachiens qui sont au-dessus de la limite marine, des sédiments glaciolacustres ou des tills à matrice fine qui peuvent former des aquitards dans les vallées. Il existe plusieurs sources naturelles dans les vallées qui peuvent présenter un potentiel d'approvisionnement en eau significatif. En dehors des vallées, l'approvisionnement en eau souterraine se fait généralement à partir du roc. De façon générale, basé sur la grande variabilité des dépôts meubles qu'on y retrouve, le contexte hydrogéologique appalachien est assez hétérogène en termes d'approvisionnement en eau souterraine et le défi sera de caractériser les conditions locales qui vont permettre d'ajouter des données ciblées sur ces contextes favorables à l'approvisionnement en eau.

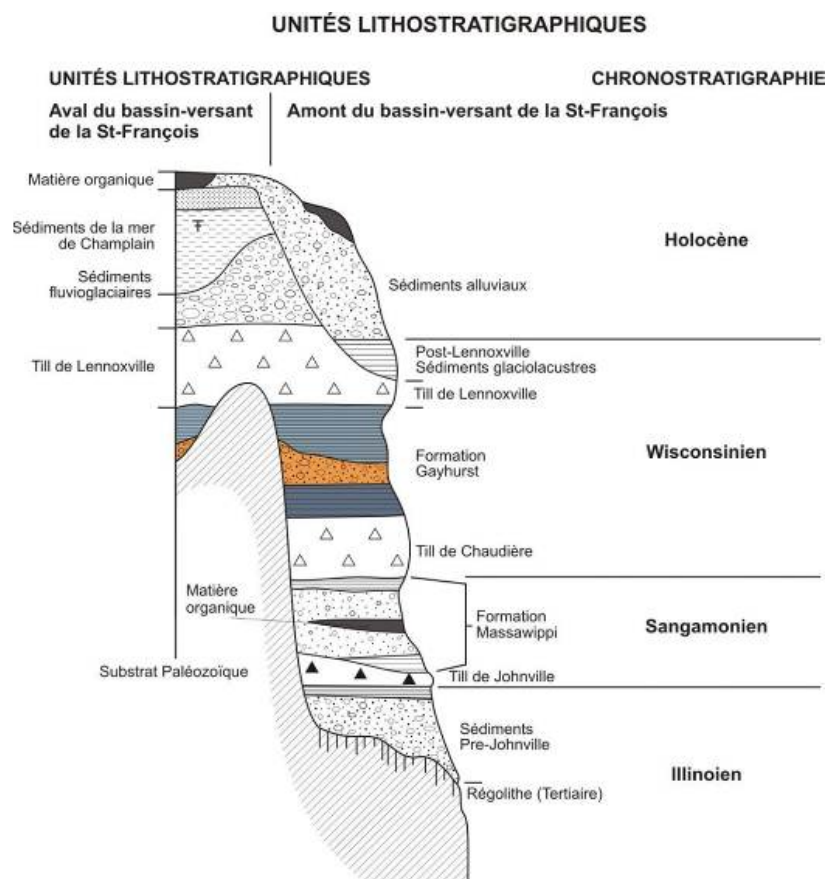
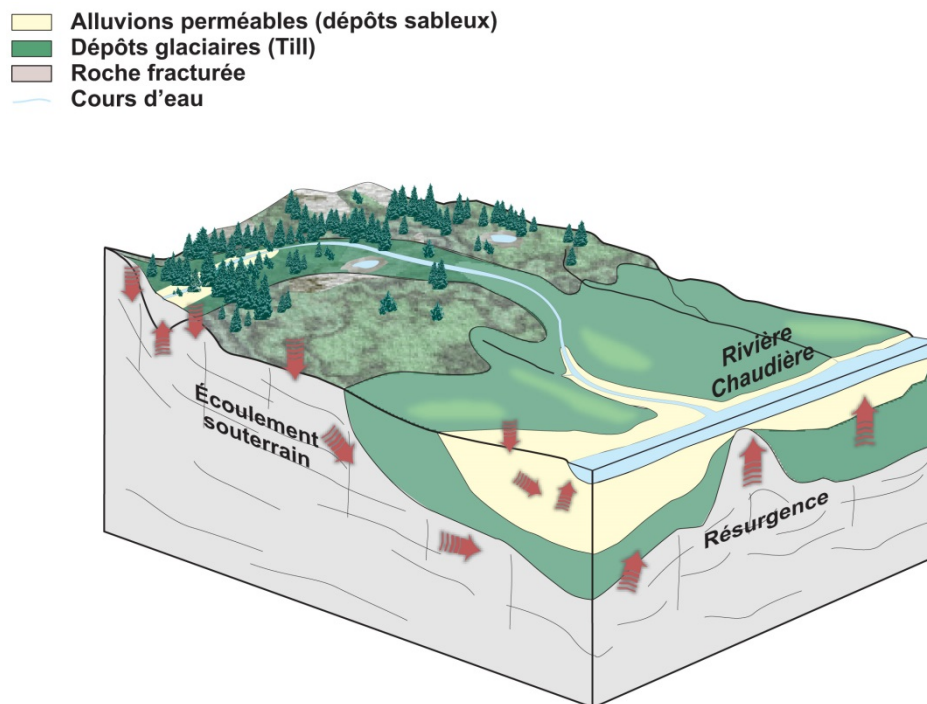


Figure 14 : Coupe stratigraphique synthèse des vallées tributaires de la rivière St-François, contexte des Basses-terres du St-Laurent

Source : UNE CONTRIBUTION DE L'UQAM AU PROJET CHAUDIÈRE, Olivier Caron et Michel Lamothe, Département des Sciences de la Terre et de l'Atmosphère, Université du Québec à Montréal, 13 janvier 2012

Dans le contexte du bassin argileux des Basses-terres, plusieurs questions liées à l'hydrogéologie régionale doivent permettre de définir le potentiel des aquifères de dépôts meubles, s'il y en a, notamment dans les vallées du Piémont où les épaisseurs de dépôts meubles sont plus grandes et prioritairement dans les secteurs recouverts d'une couverture argileuse qui pourrait protéger la qualité des ressources en eau. Il est aussi important de pouvoir définir l'étendue des systèmes d'écoulement, entre autres de vérifier si ceux-ci débordent des vallées elles-mêmes. Dans certains cas, il est possible que la zone du Piémont puisse jouer un rôle important dans la recharge des aquifères rocheux régionaux plus en aval. Même si le Piémont est caractérisé par des systèmes aquifères locaux à cause de la présence des multiples vallées, il pourrait induire des systèmes d'écoulement profonds jusque dans les aquifères rocheux sous-jacents. Dans un premier temps, la recharge doit donc être précisée, particulièrement à travers les tills remaniés qui recouvrent de grandes surfaces, et ensuite les liens hydrauliques entre les dépôts meubles et les aquifères rocheux doivent aussi être précisés. Enfin, en bordure du Piémont, il sera nécessaire de définir le rôle des sédiments et de l'aquifère rocheux qui pourraient représenter des exutoires régionaux de l'écoulement d'eau souterraine, ultimement vers le Fleuve. La question de la vulnérabilité des nappes à la contamination anthropique doit aussi être précisée pour les contextes des sédiments fins relativement minces et dont l'étendue est limitée. La vulnérabilité doit aussi être évaluée pour les tills remaniés des régions du Piémont qui font l'objet de cultures intensives et qui sont présumés relativement perméables. Le modèle conceptuel d'écoulement développé pour le projet de Cartographie hydrogéologique du bassin de la rivière Chaudière, secteur Basse-Chaudière, financé par le CDAC (Tecsult, mars 2008) est assez représentatif des conditions d'écoulement de l'ensemble de la région d'étude (figure 15) et il permet d'en visualiser les grands patrons de circulation d'eau et de résurgence dans le bas des vallées.



Source : Développement d'un modèle hydrogéologique conceptuel pour le bassin de la rivière Chaudière, Québec, Georges Forest et Nicolas Benoit. Tecsult inc., Montréal, Québec, Canada . Nadine Roy, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. Miroslav Nastev, Commission géologique du Canada, Québec, Québec, Canada

5.2 Conditions d'écoulement et zones de recharge et d'émergence

Environ 84 % des puits répertoriés dans le SIH (sans Lévis) sont complétés dans l'aquifère rocheux, 16 % dans les dépôts de surface. En général, les unités superficielles ne représentent pas de bons aquifères à cause de leur granulométrie fine et de leur épaisseur limitée. Les puits au roc sont relativement bien distribués sur l'ensemble de la région d'étude, à l'exception du secteur central des Appalaches dans les MRC de Montmagny et de l'Islet qui est très peu habité.

La piézométrie régionale préliminaire (carte 13) révèle un système où l'eau souterraine s'écoulerait de façon continue des Appalaches à l'est vers le fleuve Saint-Laurent au nord-ouest. Cependant, l'influence des cours d'eau situés dans les vallées représentant des dépressions topographiques, surtout la Chaudière et l'Etchemin, est assez marquée à l'échelle régionale et ceux-ci constituent vraisemblablement des exutoires importants pour l'eau souterraine vers les eaux de surface. Dans la partie ouest de la région, en bordure du Fleuve, on retrouve une épaisseur plus ou moins importante de sédiments fins peu perméables, où le lien entre les aquifères rocheux et les cours d'eau peut être présumé faible dans un tel contexte. Pour l'ensemble de la zone d'étude à l'exception du bassin de Fleuve Saint-Jean, dont les eaux s'écoulent en direction de l'est (vers le Nouveau-Brunswick et le Maine), les exutoires possibles de l'eau souterraine seraient situés au nord-ouest, dans le fleuve Saint-Laurent. Les zones de recharge préférentielle n'ont pas été identifiées sur la carte 13, mais la piézométrie régionale préliminaire est cohérente avec des apports importants d'eau à partir des Appalaches, du Piémont appalachien ainsi que de la partie sud des Basses-terres. Les conditions d'écoulement sont présumées être libres dans la partie est de la région d'étude où le roc affleure ou est couvert d'une mince couche de till remanié. Pour le bassin versant de la rivière Chaudière (Tecsult, 2008), ces conditions sont bien définies par l'étude du CDAC, mais elles seront revues et intégrées dans le cadre du présent projet. Les conditions sont captives à l'ouest de la région, particulièrement dans le bassin argileux des Basses-terres où il y a une couverture épaisse de sédiments fins. Les conditions sont présumées être semi-confinées entre ces deux zones, où les sédiments fins sont moins épais. La carte des conditions de confinement reste cependant à développer.

Les conditions d'écoulement et les zones d'émergence de l'eau souterraine représentent un aspect fondamental du système aquifère qui doit être précisé même si le fleuve Saint-Laurent semble constituer l'ultime exutoire de l'écoulement régional de l'eau souterraine. Aussi, tel que mentionné précédemment, le rôle des rivières en tant qu'exutoires doit aussi être précisé, particulièrement dans la partie nord où il y a une couverture épaisse de sédiments fins.

5.3 Vulnérabilité et qualité de l'eau souterraine

Tel que mentionné précédemment, les sédiments glaciaires et fluvioglaciaires recouvrant une grande partie des Appalaches constituent un contexte propice à la recharge des aquifères, principalement lorsque les particules fines y ont été délavées. Avec le roc affleurant, ces contextes constituent des zones de recharge importantes qui peuvent constituer des zones généralement vulnérables à la contamination venant de la surface. À l'inverse, les aquifères des Basses-terres souvent recouvertes de sédiments marins sont présumées être peu vulnérables aux contaminations anthropiques.

La faible quantité d'information actuellement disponible sur les concentrations en nitrites et nitrates (N-NO_2 et N-NO_3) dans les eaux souterraines de la région de la Chaudière-Appalaches ne permet pas encore d'établir de lien avec la vulnérabilité des nappes à l'échelle régionale. Toutefois, les résultats analytiques issus de la campagne d'échantillonnage actuellement en préparation permettront de mieux documenter la

présence des nitrites et nitrates dans les eaux souterraines de l'ensemble de la région et ainsi d'identifier les zones vulnérables à de telles contaminations. Les données isotopiques recueillies (datation au tritium (^3H) et carbone 14 (^{14}C et $\delta^{13}\text{C}$) et analyse des isotopes stables de l'eau ($\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$)) permettront également de mieux documenter le modèle hydrogéologique et ainsi d'identifier les secteurs de recharge, soit les plus vulnérables.

6 PROGRAMME DE CARACTÉRISATION DE LA PHASE 2

6.1 Bilan de la collecte de données existantes

Les travaux réalisés dans la Phase 1 du projet ont établi les assises nécessaires à la réalisation du projet, notamment par l'identification des données existantes, le développement d'une base de données, l'intégration d'une partie des données dans la base de données et la production de cartes préliminaires, tel que décrit aux sections 3, 4 et 5. Il reste cependant un travail important d'intégration des données tirées de rapports techniques à la base de données. Le travail d'acquisition et d'intégration des données des rapports va aussi se poursuivre, notamment avec l'aide des partenaires dans la région d'étude. Il sera aussi important de procéder à la validation des données colligées dans la base de données. Aussi, les couches d'informations cartographiques devront être organisées pour assurer leur cohérence et leur utilisation efficace. Enfin, les localisations des problématiques locales qui auront été identifiées par les partenaires régionaux et les municipalités devront être mises en carte. Ce travail préalable aux travaux de terrain doit permettre l'utilisation des données disponibles pour l'orientation des travaux de terrain et leur interprétation initiale en cours de réalisation de la caractérisation. ARCGIS sera utilisé pour la production rapide de sections géologiques à partir de la base de données afin de pleinement utiliser l'information disponible pour guider les travaux de terrain. La figure 16 montre l'ensemble des forages et des puits répertoriés dans la zone d'étude. Les statistiques sur les puits et forages sont calculées sans la ville de Lévis. Sur le territoire d'étude, nous comptons 17 202 puits du SIH.

6.2 Objectifs généraux et approche de caractérisation

La caractérisation doit permettre d'atteindre trois principaux objectifs : 1) assurer la disponibilité des données fiables sur l'ensemble du territoire, ces données servant de référence pour l'interprétation des informations existantes qui sont souvent relativement incertaines ou imprécises; 2) fournir des données plus ciblées qui permettent aussi de répondre aux questions posées sur le système aquifère, telles qu'exposées à la section 6; et 3) assurer la mise en place de puits d'observation qui vont permettre de suivre l'évolution dans le temps du niveau et de la qualité de l'eau souterraine.

Les caractérisations hydrogéologiques conventionnelles sont basées surtout sur des travaux de forages. Cependant, l'expérience a montré la limite des méthodes conventionnelles pour caractériser la variabilité spatiale des aquifères, que ce soit à l'échelle régionale ou plus locale (Blouin et al. 2009; Bélanger et al. 2009). Bien que les forages permettent de bien mesurer les variations verticales de la stratigraphie, il est admis que l'information provenant de ces forages ne permet pas de caractériser latéralement la variabilité spatiale des aquifères régionaux à des coûts réalistes pour l'échelle et la résolution spatiale nécessaires.

Le présent projet est fondé sur une approche de caractérisation hydrogéologique novatrice qui implique l'emploi de méthodes géologiques, hydrogéologiques, géophysiques, géochimiques et d'outils de modélisation numérique. L'approche mise sur l'utilisation de mesures « indirectes », telles que les levés géophysiques et les sondages au piézocône, pour fournir des mesures plus détaillées et continues latéralement et verticalement, pour ce vaste territoire. De telles données détaillées vont permettre de mieux caractériser les contextes hydrogéologiques liés aux Basses-terres, au Piémont appalachien et aux

Appalaches. Les forages conventionnels seront utiles pour compléter la caractérisation, caler les mesures indirectes, et permettre la mise en place de puits de surveillance qui serviront à diagnostiquer à long terme l'évolution de la qualité et de la quantité d'eau souterraine. Les sections suivantes décrivent les méthodes qui seront utilisées pour la caractérisation de la région à partir de l'été 2013.

6.3 Description et méthodologie des travaux proposés

À l'inverse de la séquence des événements de la Montérégie, les travaux de terrain en Chaudière-Appalaches vont débuter par la réalisation des sondages. Les informations stratigraphiques ainsi obtenues en première ligne permettront de cibler les contextes stratigraphiques les plus intéressants sur le plan du potentiel aquifère. En deuxième étape, les forages conventionnels seront réalisés dans les contextes les plus intéressants sur le plan du suivi des variations des niveaux piézométriques, en priorisant les endroits qui auront été identifiés comme prioritaires au niveau de l'approvisionnement en eau municipale. En troisième étape, quelques levés sismiques, radar ou électriques pourront être ajoutés afin de définir l'hydrostratigraphie et la distribution spatiale des dépôts meubles qui affectent les patrons d'écoulement de la recharge et de l'émergence de l'eau souterraine dans les systèmes aquifères granulaires et rocheux régionaux. De façon générale, les levés des différentes méthodes géophysiques seront confirmés à l'aide des sondages CPTu préalablement réalisés le long de transects d'intérêt. Les sites à prioriser pour les sondages sont ceux dont les épaisseurs de dépôts sont plus importantes, comme dans le nord-ouest de la région à l'étude (MRC de Lotbinière), ou dans les vallées des principales rivières de la région d'étude. Ces sondages permettront aussi de prélever des échantillons de sols qui pourraient faire l'objet d'analyses (granulométriques, datation, macro-restes, etc.) et d'installer des piézomètres pour l'observation et l'échantillonnage d'eau. Les surfaces de dépôts meubles qui devraient être cartographiées régionalement sont les suivantes : 1) surface du sol (MNT), 2) base du sable de couverture (notamment avec des levés géoradar pour préciser les épaisseurs de ces sables), 3) base de l'argile (incluant les différentes origines lacustres et marines), et 4) surface du till basal ou du roc. Les autres unités pourraient être déduites par différence de ces épaisseurs par rapport à l'épaisseur totale de sédiments.

Des travaux de caractérisation plus spécifiques seront réalisés pour aborder les questions suivantes qui se posent sur le système aquifère et pour fournir les bases nécessaires à la réalisation des projets de 2^e et 3^e cycles : 1) le potentiel aquifère des unités de dépôts meubles; 2) l'émergence de l'eau souterraine dans les cours d'eau; 3) la recharge et la qualité de l'eau souterraine dans le Piémont appalachien, notamment la présence de nitrate; 4) les contrôles sur les propriétés hydrauliques de l'aquifère rocheux régional, notamment par des diagraphies et des profils de capteurs de pression ainsi que par des essais hydrauliques; 5) les exutoires régionaux de l'eau souterraine et les liens potentiels entre les zones d'émergence et l'occupation du sol, notamment les boisés et zones humides; 6) le potentiel des principales zones de sources. Les données acquises pour assurer une couverture spatiale vont aussi cibler préférentiellement les zones d'intérêt identifiées par les partenaires régionaux, mais sans constituer des caractérisations locales détaillées.

En tout, une cinquantaine de sondages seront effectués à l'été 2013 (voir section 6.4.3) sur l'ensemble du territoire de la Chaudière-Appalaches. La localisation de ces sondages a été définie de façon à compléter les informations existantes soit la compilation des puits du SIH, les puits de captage municipal, les puits de suivi du MDDEFP et les puits du MTQ et du MRN (figure 16). Les secteurs d'intérêt sont identifiés sur la carte en 'zone cible' de façon à compléter l'information existante et dans les secteurs présentant le maximum de potentiel aquifère.

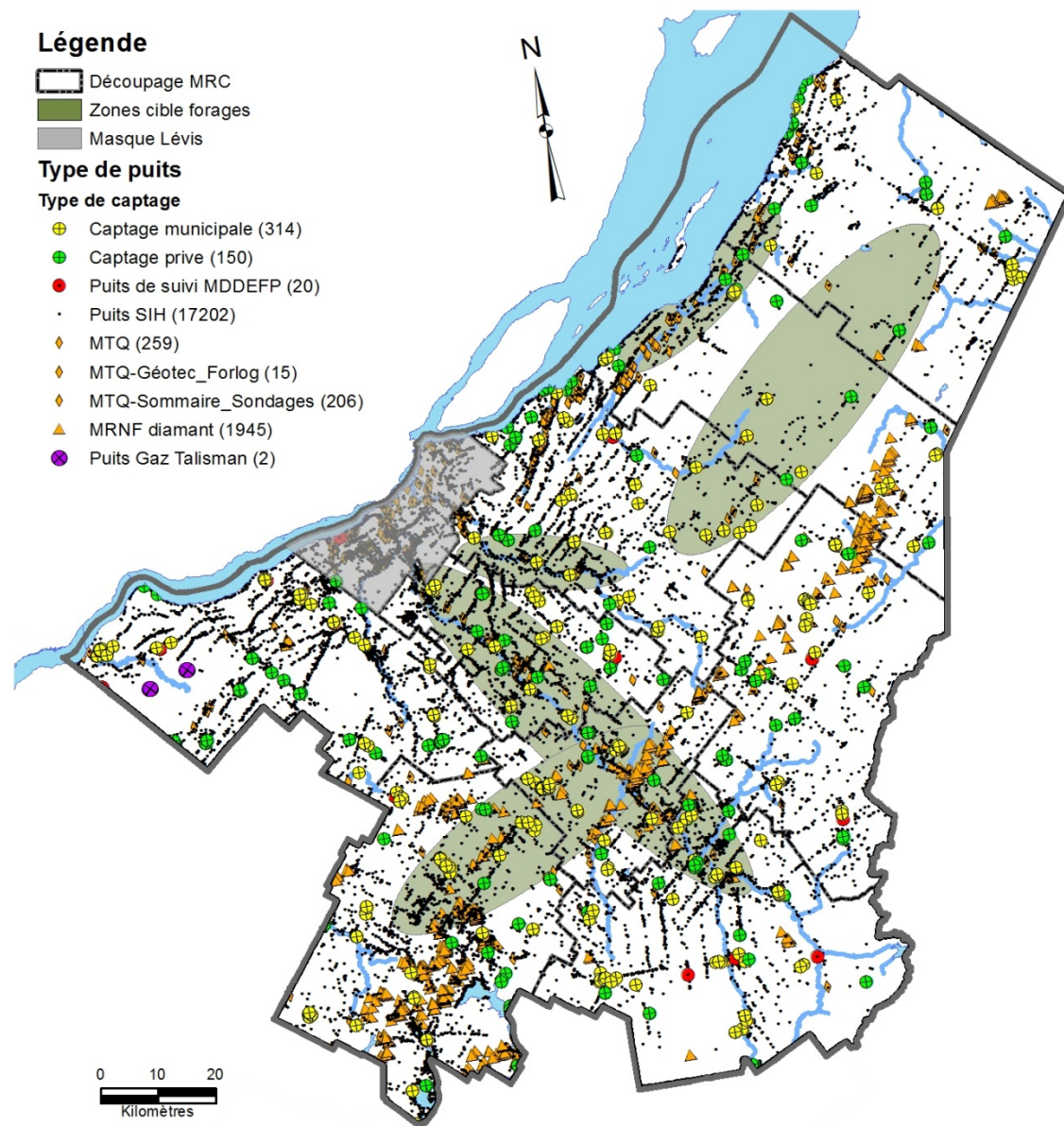


Figure 16 : Localisation des puits et forages déjà répertoriés dans le secteur d'étude

6.4 Levés géophysiques

6.4.1 Levés sismiques de surface

Les levés sismiques permettent de définir la continuité des différents contextes hydrostratigraphiques et d'estimer avec un bon degré de certitude la profondeur et la continuité du socle rocheux. La figure 17 montre des profils de mesures sismiques réalisées dans le cadre du projet PACES Montérégie Est.

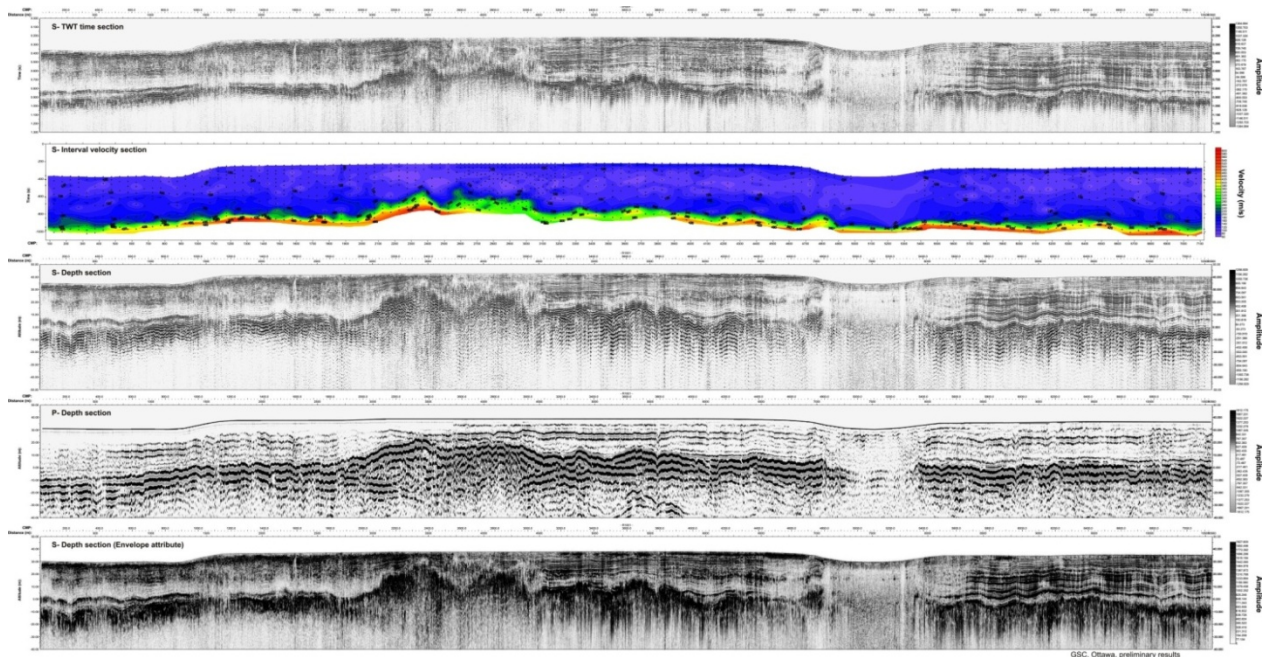


Figure 17 : Exemple de résultat préliminaire d'un des levés sismiques réalisés par la CGC à l'automne 2009, projet PACES Montréal Est (fournie par A. Pugin, CGC).

Un équipement de mesures sismiques multicomposantes à haute résolution, opéré par l'équipe de la CGC, comprend une source multidirectionnelle installée sur un véhicule lourd (« Minivib II») et une flûte sismique terrestre de 48 luges sur lesquelles sont fixées des unités de géophones à trois composantes, deux horizontales et une verticale. Les levés de sismique réflexion permettent d'obtenir un profil de la stratigraphie des dépôts meubles. Cette méthode utilise une source de vibration installée sur un véhicule tout-terrain qui induit une onde se propageant dans le sol. Lorsque cette onde atteint une interface entre des sols ayant des propriétés mécaniques différentes, une partie de l'onde est réfléchiée et captée par des géophones tractés à l'arrière du véhicule en surface. Le traitement des données permet d'obtenir une image des interfaces entre les structures du sous-sol et permet aussi d'obtenir les vitesses de propagation des ondes qui peuvent être reliées à certains types de matériaux.

En date de livraison de ce rapport, l'équipe de la CGC n'a pas encore été confirmée dans la cédule des travaux de l'été 2013. Cependant, une dizaine de kilomètres de tracés (ou lignes) sur des routes secondaires de la région à l'étude à l'automne 2013 sont déjà ciblés dans la vallée de la rivière Chaudière, où un levé aéroporté des anomalies magnétiques a permis d'identifier la présence possible de paléochenaux de la rivière Chaudière (figure 18). Des levés sismiques transversales permettraient d'avoir une vue en coupe de la morphologie de ces anciens lits de rivières et possiblement d'identifier des aquifères. De plus, le contexte géologique des Basses-terres, qui comprend une épaisse couche d'argile et de silt de la mer de Champlain est particulièrement propice à l'utilisation de méthodes sismiques et les secteurs qui se retrouvent dans Lotbinière, en bordure du Fleuve, pourraient être investigués pour définir le profil de continuité des différents matériaux en place.

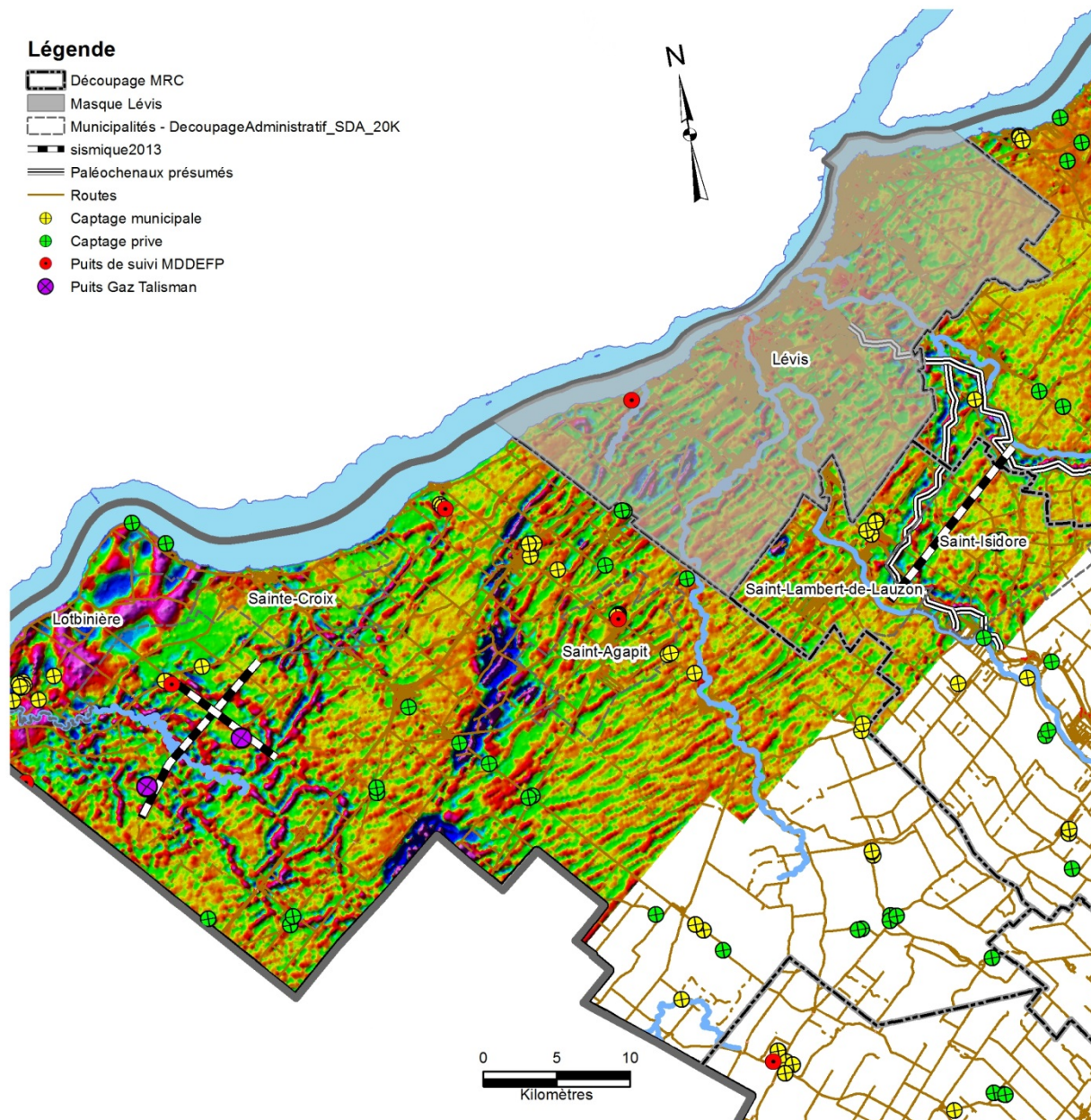


Figure 18 : Identification des zones de travaux de 2013 à partir des puits et du levé magnétique. Les anomalies ressortent en rouge sur la carte

6.4.2 Levés géoradars

Le géoradar est une méthode géophysique qui permet de cartographier les structures souterraines présentant un contraste de permittivité diélectrique. Dans un milieu poreux comme des sables, la variation de la teneur en eau est le facteur principal déterminant ce contraste. Une impulsion électromagnétique de haute fréquence est émise par une antenne. Cette onde électromagnétique (EM) se propage dans le sol à l'instar de l'écho sonar. Lorsque cette onde parvient à une interface entre des milieux présentant un contraste de propriétés diélectriques, une partie de l'énergie de l'onde est réfléchiée ou réfractée. L'énergie réfractée est enregistrée à une antenne réceptrice. La mesure de l'amplitude de l'onde en fonction du temps permet de construire une image bidimensionnelle des interfaces lithologiques du sous-sol de façon

quasi continue, plus particulièrement dans les matériaux plus grossiers tels les sables et graviers. Conséquemment, il est possible que des levés géoradars soient réalisés à l'été 2013 afin d'explorer des secteurs spécifiques où des épaisseurs de dépôts grossiers pourraient constituer des aquifères intéressants.

6.4.3 Levés électriques avec imagerie bidimensionnelle

Les sols et les roches sont des matériaux qui, selon leur nature, conduisent plus ou moins bien les courants électriques. En injectant dans le sol un courant d'intensité connue et en mesurant la différence de potentiel, on peut mesurer sa résistivité électrique. Des électrodes (tiges de métal) sont enfoncées dans le sol. De façon séquentielle, un courant est appliqué dans deux d'entre elles et le reste des électrodes mesure les différences de potentiel électrique. Ces mesures de potentiel électrique sont ensuite transformées grâce à un logiciel spécialisé en profils bidimensionnels de résistivité électrique. Ces mesures sont très précises, mais l'acquisition est relativement longue (1h30 pour un profil de 500 m et une profondeur d'investigation de 70 m). Les mesures seront faites avec le système SYSCAL Pro (IRIS instrument) de l'INRS comprenant 96 électrodes espacées de 5 m. Un exemple d'imagerie de résistivité est présenté à la figure 19. On peut y voir clairement l'interface irrégulière (entre 21 et 35 m de profondeur) entre les argiles et le till basal ou le roc (interface illustrée par une ligne pointillée). Les levés d'imagerie électrique permettent de caractériser à haute résolution des zones présentant des anomalies de faible dimension ou des structures identifiées par d'autres méthodes géophysiques. Ces levés permettent notamment de préciser l'extension latérale des dépôts granulaires grossiers qui ne sont pas détectables par TDEM et pas toujours accessibles par la sismique réflexion. Les levés électriques ne sont pas encore confirmés, mais ils pourraient être réalisés à l'automne 2013 potentiellement aux endroits où la profondeur des dépôts est trop grande pour qu'il y ait investigation par les autres méthodes.

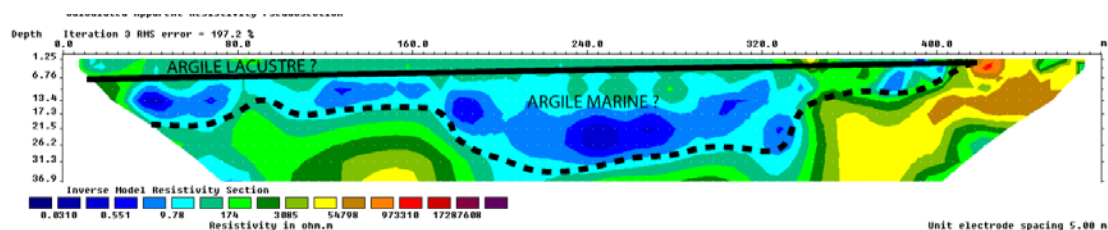


Figure 19 : Exemple de levé de résistivité électrique

6.4.4 Sondages au piézocône (CPTu)

Les équipements de l'INRS (foreuse Geotech 605D) (figure 20) seront utilisés pour effectuer des sondages CPTu (cone penetration test avec mesure de pression d'eau interstitielle) et RPSS (rotoperçussion sounding system) permettant d'obtenir en temps réel et en continu différents paramètres de la réponse mécanique et électrique des propriétés des sols en place. Les propriétés du CPTu sont ensuite traitées et permettent d'obtenir une description fine de la séquence stratigraphique, généralement réalisée dans des dépôts meubles dont la granulométrie varie des argiles aux sables (figure 21). Les sondages en mode RPSS permettent quant à eux de forer dans les dépôts meubles où il y a présence de cailloux et de blocs, de même que dans le roc. Les données provenant de ces sondages serviront principalement de points de contrôle pour aider à définir la stratigraphie des dépôts quaternaires ainsi que la profondeur au roc. Les informations provenant des sondages seront aussi utiles pour caler les données provenant des méthodes géophysiques. La foreuse de l'INRS peut aussi être utilisée pour faire l'installation de piézomètres de 1 à 2 po de diamètre.

En tout, une cinquantaine de sondages sont prévus pour la saison de terrain 2013. Préalablement à la réalisation des sondages, des visites sont prévues pour localiser les sites et obtenir l'accord des propriétaires visés par les travaux. La figure 16 présente les secteurs à prioriser pour la localisation des sondages qui sont proposés pour l'été 2013.



Figure 20 : Foreuse Geotech 605D de l'INRS

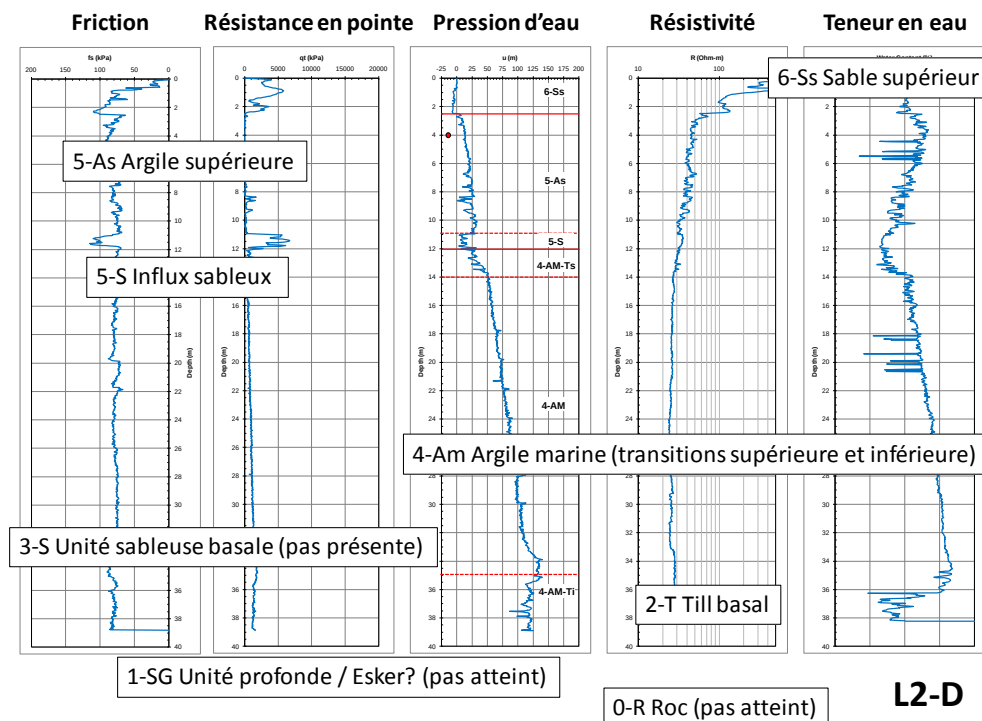


Figure 21 : Exemple de sondage au piézocône réalisé en Montérégie Est

6.4.5 Forages conventionnels

Dans le cadre du projet, les forages conventionnels serviront à implanter des puits d'observation (ou puits de suivi) sur l'ensemble du territoire de la Chaudière-Appalaches, afin de suivre l'évolution à long terme des variations du niveau et de la qualité de l'eau souterraine. Différents essais seront également réalisés dans ces puits d'observation afin de déterminer les caractéristiques hydrauliques de l'aquifère, notamment, des essais de pompage et/ou de perméabilité (section 6.4.10) ainsi que des mesures en diagraphies (section 6.4.9). Durant les opérations de forage, les matériaux de déblais (*cuttings*) seront récupérés et décrits afin d'aider à définir la séquence stratigraphique pour les dépôts meubles et le roc.

Les forages conventionnels seront réalisés au cours de la saison 2013 et permettront l'installation d'environ dix (10) puits d'observation dans l'aquifère de roc fracturé. Tous ces puits seront installés par l'INRS dans le cadre du projet PACES, et légués en fin de projet au MDDEFP dans le but de bonifier le réseau de surveillance des eaux souterraines du Québec.

Tout comme pour les sondages CPT et RPSS, les forages conventionnels cibleront des secteurs présentant un manque d'information, comme le secteur ouest du territoire d'étude, soit dans la vallée de la Chaudière, de même que dans le secteur de Thetford, mais aussi dans le secteur central des Appalaches et en bordure du Fleuve, autour de Montmagny. La localisation préliminaire des puits a été définie à partir des informations existantes, notamment les rapports antérieurs compilés, les cartes géologiques et les données du SIH. La figure 16 présente les secteurs à privilégier pour les forages, mais chaque emplacement sera confirmé suite à une visite de terrain afin de vérifier l'accès et de s'assurer de l'accord des propriétaires visés. Pour chaque puits, une entente à long terme sera signée avec les propriétaires afin d'encadrer l'accès au terrain pour l'aménagement du puits et pour les besoins de suivi subséquents. Les puits auront un diamètre de 150 mm (6 po) et seront forés à une profondeur minimale de 15 m dans le roc afin de permettre de bien évaluer les caractéristiques hydrauliques et la qualité de l'eau souterraine de la partie supérieure de l'aquifère de roc fracturé. La figure 22 présente les schémas de construction des puits en fonction des contextes géologiques pouvant être rencontrés. Chacun des puits sera muni d'un capteur de pression pour suivre les variations du niveau de la nappe sur une base journalière (section 6.4.6).

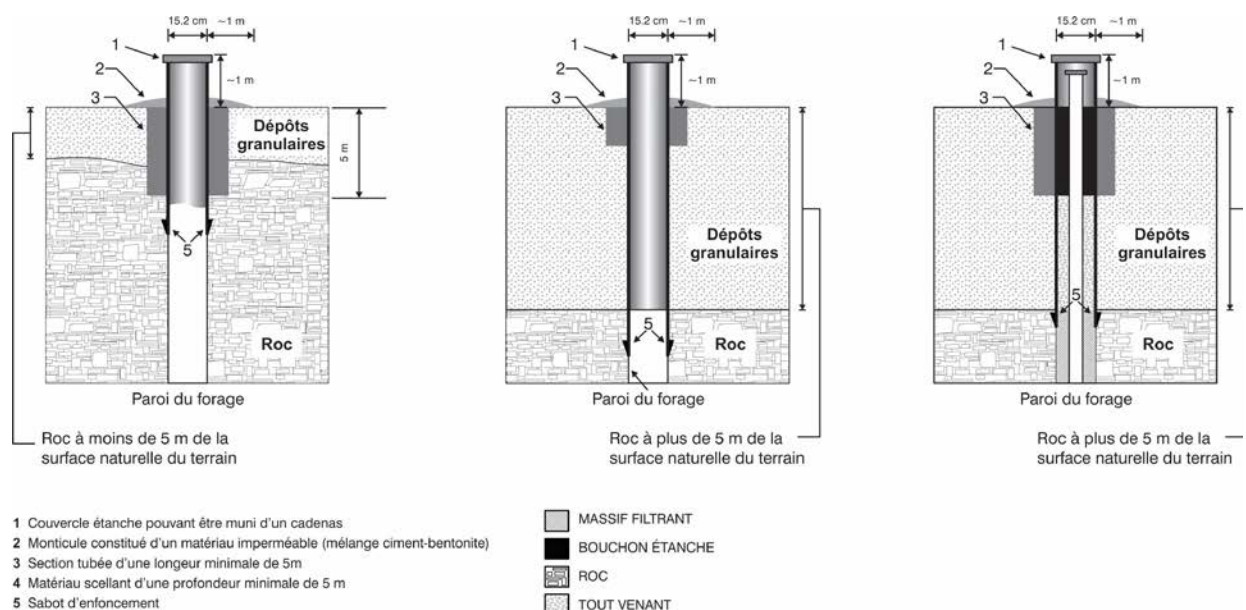


Figure 22 : Schémas de construction des puits conventionnels au roc

6.4.6 Levés de niveaux d'eau souterraine

Des capteurs de pression seront installés dans tous les puits aménagés à partir des forages conventionnels de même que dans quelques puits aménagés à partir des sondages effectués avec la foreuse de l'INRS. Au total, près d'une trentaine de capteurs seront donc installés. L'acquisition et l'enregistrement de mesures se feront quatre fois par jour (soit à tous les 6 h) afin de capter les fluctuations de la nappe dues aux changements de pression (dans le cas d'une nappe captive) ou à l'infiltration des précipitations (pour une nappe libre). La collecte de données à long terme permettra d'estimer l'impact des changements climatiques ou d'activités anthropogéniques sur les taux de recharge.

6.4.7 Échantillonnage d'eau souterraine

Les travaux d'échantillonnage d'eau souterraine seront réalisés à l'été 2013. La campagne de terrain permettra le prélèvement d'échantillons par le biais de puits d'alimentation en eau potable privés (résidentiels et agricoles principalement) ou de puits d'observation aménagés dans le cadre du présent projet. Pour l'échantillonnage de puits privés, deux équipes de deux personnes travailleront au prélèvement des échantillons en juin et juillet tandis qu'une seule équipe complètera l'échantillonnage des nouveaux puits d'observation à l'automne.

L'objectif principal de la campagne d'échantillonnage est de prélever des échantillons représentant chacun des contextes géologiques et hydrogéologiques régionaux tout en conservant une répartition spatiale uniforme sur l'ensemble du territoire. Selon le budget alloué dans le cadre du projet, un maximum de 150 échantillons sera prélevé et soumis pour analyse. Afin de rencontrer cet objectif, la localisation préliminaire des échantillons a été réalisée en considérant les points suivants :

1. Le territoire à l'étude a été divisé en 100 cellules selon un maillage régulier d'environ 10 km². Si possible, au moins un échantillon sera prélevé dans chacune des cellules. Ce territoire d'échantillonnage exclut le bassin de la rivière Chaudière dont la géochimie des eaux souterraines a déjà été caractérisée en 2008 par le projet financé par le CDAC.
2. Des secteurs d'intérêt seront identifiés pour la réalisation de « transects » géochimiques, soit des axes linéaires le long desquels une plus grande densité d'échantillons sera prélevée.
3. Les puits d'observation aménagés permettront le prélèvement d'échantillons supplémentaires aux endroits présentant un intérêt géologique ou hydrogéologique particulier, ou encore aux endroits caractérisés par l'absence de puits d'eau potable privés.

L'échantillonnage sera réalisé conformément au protocole de prélèvement d'échantillons d'eau souterraine élaboré par le GRIES dans le cadre des projets du PACES. Lors de l'échantillonnage, certains paramètres seront mesurés *in situ* à l'aide d'une sonde multi-paramètres de marque YSI, notamment la température, le pH, la conductivité électrique, les solides totaux dissous ainsi que l'oxygène dissous. Les échantillons prélevés seront ensuite analysés pour les paramètres suivants :

- Anions (alcalinité, bromures, chlorures, fluorures, nitrites, nitrates, sulfates)
- Nutriments (azote ammoniacal, phosphore total inorganique)
- Métaux (Al, Li, Sb, Mg, Ag, Mn, As, Mo, Ba, Ni, Be, K, Bi, Pb, B, Se, Ca, Si, Cd, Na, Cr, Sr, Co, Ti, Cu, U, Sn, V, Fe, Zn)
- Sulfures totaux
- Azote total, carbone inorganique dissous

Sur la base des résultats obtenus de ces analyses, certains échantillons seront sélectionnés pour des analyses supplémentaires, soient une ou plusieurs des analyses isotopiques suivantes :

- Isotopes de l'eau ($\delta^2\text{H}$ et $\delta^{18}\text{O}$)
- Datation par le tritium ($\delta^3\text{H}$)
- Datation par les isotopes du carbone ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{14}\text{C}$)
- Isotope nitrate ($\delta^{15}\text{N}$)

Les analyses seront effectuées par différents laboratoires, selon les paramètres requis. Les laboratoires n'ont toutefois pas encore été choisis en date de rédaction de ce rapport.

6.4.8 Diagraphies

Les diagraphies serviront à acquérir des données physiques et/ou hydrauliques sur les caractéristiques des puits, sur les unités rocheuses et les fractures interceptées par ces puits ainsi que sur l'eau souterraine contenue dans les puits. Les sondes utilisées pour réaliser ces diagraphies mesureront notamment le diamètre du puits (*caliper*), la radioactivité naturelle (*natural gamma*), la résistivité normale et la propagation acoustique du milieu (*full waveform sonic*), la température et la résistivité du fluide dans le puits, la fracturation perceptible aux parois (*acoustic televiewer*) et les débits des fractures perméables (*flowmeter*). Les profils verticaux résultants des mesures permettront de discriminer les lithologies interceptées tout en estimant certaines de leurs propriétés (porosité, paramètres élastiques, densité et patrons de fracturation). Ils serviront également dans la construction et l'ajustement vertical d'un éventuel modèle géologique de la région.

Lors des travaux prévus à l'été/automne 2013, des diagraphies seront possiblement réalisées dans la majorité des puits conventionnels nouvellement forés dans le cadre du projet.

6.4.9 Essais hydrauliques

Des essais hydrauliques de courte durée, en particulier des essais de perméabilité (*slug test*), seront réalisés dans les mêmes puits que ceux ciblés pour les diagraphies. Ces essais de perméabilité seront principalement des essais par méthode pneumatique. Des estimations de la conductivité hydraulique locale en seront obtenues. Ces résultats seront mis en relation avec les données en diagraphies afin d'analyser les caractéristiques hydrauliques de fracturation observée aux parois des puits.

6.5 Planification des travaux proposés

6.5.1 Travaux préparatoires

6.5.2 Équipe de travail

Les travaux de terrain seront réalisés par des équipes composées de professionnels et d'étudiants impliqués dans le projet : 1) une équipe sera responsable des travaux de sondage avec la foreuse de l'INRS 2) deux autres équipes seront impliquées dans l'échantillonnage d'eau souterraine jusqu'au milieu de la saison de terrain, puis une équipe exécutera les travaux pour le reste de la période de travaux; et 3) en complément, et si le temps le permet, une équipe sera impliquée dans la réalisation des essais de perméabilité et des diagraphies de puits et des levés géophysiques de surface. La saisie des données aura lieu sur le terrain à l'aide de tablettes électroniques (iPak) et à l'aide de formulaires électroniques disponibles en ligne pour l'intégration quotidienne d'information dans la base de données.

6.5.3 Calendrier des travaux proposés

Les travaux décrits ci-haut se dérouleront pendant l'été et l'automne 2013. Le calendrier préliminaire des travaux est présenté au tableau 13. Bien que des modifications seront probablement apportées à ce calendrier selon les contraintes rencontrées, la séquence proposée pour les différents levés prévus restera sensiblement la même.

Tableau 13 : Calendrier préliminaire des travaux

Activité	Juin				Juillet				Août				Septembre				Octobre				Novembre					
	6	13	20	27	4	11	18	25	1	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28
Géochimie																										
Éch. d'eau sout.																										
Géophysique																										
Levés sismiques																										
Levés géoradar																										
Diagraphies																										
Hydrogéologie																										
Essais hydraul.																										
Géologie																										
Sondages CPTu																										
Forages conv.																										
Carto. quaternaire																										

7 PROJETS GRADUÉS

Plusieurs études spécifiques seront réalisées dans le cadre de maîtrise et de doctorat. Trois projets ont été identifiés, dont deux de maîtrise et un de doctorat. Le nom du directeur, puis des co-directeurs, sont indiqués entre parenthèses.

Projet Ph.D. 1 : Milieux humides (Direction de Marie Larocque, UQAM)

18 % du territoire de l'OBV du Chêne est couvert par des milieux humides qui doivent être mieux compris pour supporter la mise en place d'un plan de conservation. Ce plan doit assurer la protection des milieux humides des pressions diverses (agriculture, drainage forestier, coupe de bois, etc.), favoriser la recharge de l'aquifère et limiter les crues. Le projet doctoral aura pour objectif d'établir le bilan hydrique des milieux humides de la zone du Chêne, de manière à identifier ceux qui sont particulièrement dépendants des écoulements souterrains locaux et régionaux. Différents types de milieux humides seront instrumentés de grappes de piézomètres dans lesquels les niveaux d'eau et l'échantillonnage d'eau sera réalisé. Le radon-222, un traceur des eaux souterraines, sera analysé pour mettre en évidence les apports d'eau souterraine aux milieux humides. D'autres indicateurs géochimiques des échanges avec l'aquifère pourront également être utilisés (e.g. chlorures), de même que des traceurs artificiels (e.g. injection de SF6) pour l'analyse quantitative du bilan hydrique des milieux humides.

Projet M.Sc. 2 : Modélisation numérique de l'écoulement de l'eau souterraine (Direction de John Molson, U. Laval)

La modélisation numérique de l'écoulement permet l'intégration de l'ensemble de l'information disponible et une compréhension de la dynamique d'écoulement ainsi que des conditions de recharge et d'émergence de l'eau souterraine. Ce projet M.Sc. va porter sur le développement d'un modèle d'écoulement régional de l'eau souterraine. Selon les contextes et conditions rencontrées, il est possible que ce modèle porte sur une partie de la région d'étude où il y a plus de pressions sur la quantité ou la qualité de l'eau souterraine. Ce secteur à modéliser serait le même que celui sujet à la modélisation hydrologique par l'IRDA, ce qui permettra d'obtenir des résultats complémentaires au niveau des eaux souterraines et de surface. La modélisation va aider à préciser la recharge des nappes, son niveau d'exploitation soutenable et la sensibilité de sa quantité et qualité par rapport à son exploitation présente et aux activités de surface.

Projet Ph.D. 2 : Hydrostratigraphie et vulnérabilité par rapport aux activités de l'industrie des gaz de shale (Direction de Michel Parent, CGC, et codirection de René Lefebvre, INRS)

Dans un premier temps, ce projet doctoral va porter sur la définition du contexte hydrostratigraphique de la Chaudière-Appalaches, tant au niveau des dépôts meubles que des aquifères rocheux fracturés. L'histoire de la géologie du quaternaire dans la région d'étude sera mieux comprise et le potentiel aquifère des dépôts meubles sera mieux défini.

8 **CONCLUSION**

Les données préliminaires collectées en Chaudière-Appalaches révèlent une hydrodynamique régionale assez complexe. Les données géochimiques montrent notamment une grande zone d'eau souterraine en bordure du Fleuve qui affiche des concentrations en baryum au-dessus des normes de potabilité. De même, plusieurs cas de dépassement en arsenic peuvent être observés dans la partie ouest de la région d'étude. L'étude hydrogéologique sur le bassin versant de la rivière Chaudière (Tecsult 2008) montre aussi la présence de nitrate dans plusieurs puits privés. Afin de bien caractériser l'hydrodynamique de la région, les travaux prévus dans la prochaine année viseront notamment les questions suivantes.

- Évaluation du rôle et du potentiel aquifère des dépôts dans les vallées des Appalaches.
- Définition des liens hydrauliques entre les aquifères et les cours d'eau.
- Identification des zones les plus à risque (et celles déjà touchées) pour la contamination des eaux souterraines par les nitrates. Définition des liens hydrauliques entre l'eau souterraine et les principaux cours d'eau à l'aide des résultats géochimiques, en particulier les nitrates et les phosphates, mais aussi par les analyses isotopiques.
- Définition de l'impact des activités agricoles sur la qualité de l'eau par l'utilisation d'un modèle numérique d'écoulement et de transport des contaminants en utilisant les données historiques disponibles sur l'évolution des superficies agricoles depuis les années 1980. La présence de contaminant d'origine agricole dans les eaux de surface montre une progression constante depuis les années 1980.
- Localisation des zones de recharge et de résurgences, notamment le rôle des dépôts grossiers entourant les Appalaches et des zones de till remanié.

9 BIBLIOGRAPHIE

- Bélanger, C., Gloaguen, E., Lefebvre, R., Giroux, B., Paradis, D., Ballard, J-M. et Tremblay, L. 2009. Hydrogeophysical characterization of an unconfined aquifer at the sub- watershed scale. Proceeding GeoHalifax 2009, 62e conférence géotechnique canadienne et à la 10e conférence spéciale conjointe SCG/AIH-SNC sur les eaux souterraines, 20-24 Septembre 2009.
- Benoit, N., Nastev, M., Blanchette and D., Roy, N. 2009. Hydrogéochimie du bassin versant de la rivière Chaudière, Québec. 10th Joint CGS/IAH-CNC Conference, Halifax, 8 p.
- Benoit, N., Forest, G., Roy, N. and Nastev, M. 2008. Développement d'un modèle hydrogéologique conceptuel pour le bassin de la rivière Chaudière, Québec. 9th Joint CGS/IAH-CNC Conference, Edmonton, 8 p.
- Blouin, M., Martel, R., Gloaguen, E. et Lamarche, L. 2009. Heterogeneity definition of a deltaic aquifer using multiple-point statistics. 62e conférence géotechnique canadienne et à la 10e conférence spéciale conjointe SCG/AIH-SNC sur les eaux souterraines, 20-24 Septembre 2009.
- Brisebois, D. et al. 2003. Géologie de la Gaspésie et du Bas-Saint-Laurent. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Québec, Rapport DV 2003-08, 10p., 26 cartes(échelle variant de 20 000 à 1 000 000).
- Brun Kone, M.Y., Molson, J.W., Benoit, N. and Nastev, M. 2011. A 3D Numerical Model of Groundwater Flow in the Chaudière River Basin, Québec, GeoHydro2011 Conference, Québec.
- COBARIC and UPA 2008. Atlas des eaux souterraines du bassin versant de la rivière Chaudière : secteurs de la Basse-Chaudière et de la Moyenne-Chaudière. CD-ROM.
- Caron, O., Tremblay, T., et Lamothe, M. 2007. 3D hydrostratigraphic modelization using relative calculation method, Chaudière watershed, Québec, unpublished.
- Carrier, M.-A., Lefebvre, R., Rivard, C., Parent, M., Ballard, J.-M., Benoit, N., Vigneault, H., Beaudry, C., Malet, X., Laurencelle, M., Gosselin, J.-S., Ladevèze, P., Thériault, R., Blouin, M., Gloaguen, E., Beaudin, I., Michaud, A., Pugin, A., Bleser, J., Martin, A. (2013) Portrait des ressources en eau souterraine en Montérégie Est, Québec, Canada. Projet réalisé conjointement par l'INRS, la CGC, l'OBV Yamaska, l'IRDA et Géomont, Rapport final INRS, soumis au MDDEFP et aux partenaires régionaux du projet en mars 2013.
- Gaucher, E et al. 1984. Compilation de la géologie du Quaternaire - Région des Appalaches. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, Rapport DV 84-10, 89 cartes à 1 :50 000.
- Géomont. 2008. Cartographie de base des milieux humides de la Chaudière-Appalaches - Rapport de synthèse. Préparé par Géomont en collaboration avec Canards Illimités Canada, avril 2008, 28 p.
- Globensky, Y. 1987. Géologie des Basses-terres du Saint-Laurent. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, Rapport MM 85-02, 70 p., 1 carte au 250 000.
- Gouvernement du Québec, 2013. Loi sur la qualité de l'environnement (chapitre Q-2, r.40), Règlement sur la qualité de l'eau potable. Publications du Québec. <http://www.publicationsduquebec.gouv.qc.ca>
- Michaud, A., J. Desjardins, M. Grenier et Lauzier, R. 2009. Suivi de la qualité de l'eau des bassins versants expérimentaux Ewing et Aux Castors - Dans le cadre du projet Lisière verte, Rapport

- final de projet. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) et AAC (PASCAA), Québec, 27 pp.
- Michaud, A.S., Seydoux, I., Beaudin, I. et Gombault, C. 2008. Combinaisons de pratiques de gestion bénéfiques et qualité de l'eau : Étude par modélisation hydrologique de deux bassins versants en Chaudière-Appalaches (Québec), Série technique de l'Initiative nationales d'élaboration de normes agroenvironnementales, rapport no 4-64, 141 pp.
- Ministère du Développement durable, Environnement et Parcs Québec (MDDEFP). 1981. Étude hydrogéologique du bassin versant de la Richelieu, rapport E.E.-4, 219 p.
- Ministère du Développement durable, Environnement et Parcs Québec (MDDEFP). 2008. Portrait régional de l'eau – Chaudière-Appalaches (Région administrative 16). Gouvernement du Québec, <http://www.MDDEFP.gouv.qc.ca/eau/regions.htm>
- Ministère du Développement durable, Environnement et Parcs Québec (MDDEFP). 2009. Répertoire des réseaux municipaux de distribution d'eau potable. Gouvernement du Québec, www.MDDEFP.gouv.qc.ca/eau/potable/distribution/index.asp.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP), 2012. Portrait régional de l'eau Chaudière-Appalaches (Région administrative 12), problématiques spécifiques [http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/regions/region12/12-chaudiere\(suite\).htm#52](http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/regions/region12/12-chaudiere(suite).htm#52)
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP), 2012. Système d'information hydrogéologique (SIH). <http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/souterraines/sih/index.htm>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP), 2013. Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA), Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP), 2013. Répertoire des dépôts de sols et de résidus industriels. http://www.mddep.gouv.qc.ca/sol/residus_ind/recherche.asp
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP), 2013. Répertoire des terrains contaminés. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/sol/terrains/terrains-contamines/recherche.asp>
- Ministère des Ressources naturelles (MRN). 2001. Carte géologique du Québec (édition 2001 en format numérique). Gouvernement du Québec, Québec, carte au 2 000 000.
- Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRN). 2003. Le Système d'information écoforestière. <http://www.MRN.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-inventaire-car>
- Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRN). 2010. *Portrait territorial Chaudière-Appalaches* <http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/territoire/planification/portrait-chaudiere-appalaches.pdf>
- Ministère des Ressources naturelles (MRN), 2011. SIGEOM (Système d'informations géominières). http://sigeom.mrnf.gouv.qc.ca/signet/classes/I1102_indexAccueil?l=f

- Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP), Direction du patrimoine écologique et des parcs (DPEP) (2013 selon le cas). Cadre de référence hydrologique du Québec (CRHQ) [Données numériques vectorielles]. MDDEFP-DPEP, 1/20 000, Québec, Québec.
- Nadine Roy, Miroslav Nastev, Georges Forest et Nicolas Benoit. Développement d'un modèle hydrogéologique conceptuel pour le bassin de la rivière Chaudière, Québec, Par TecSult inc, Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Commission géologique du Canada.
- Olivier Caron et Michel Lamothe, 2012. Une contribution de l'UQAM au projet Chaudière. Département des Sciences de la Terre et de l'Atmosphère, Université du Québec à Montréal
- Parent, M. et Occhietti, S. 1988. Late Wisconsinan Deglaciation and Champlain Sea Invasion in the St. Lawrence Valley, Québec. Géographie physique et Quaternaire, vol. 42, n° 3, 1988, p. 215-246.
- Prichonnet, G., 1984. Dépôts quaternaires de la région de Granby, Québec. Commission géologique du Canada, Étude 83-30., 8 p., carte au 1 :50 000.
- Santé Canada. 2009. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada - Tableau sommaire. Bureau de l'eau, de l'air et des changements climatiques, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa, Ontario.
- Slivitzky, A. et St-Julien, P. 1987. Compilation géologique de la région de l'Estrie-Beauce. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, Rapport MM 85-04, 48 p., 1 carte au 250 000.
- Tabi, M., L. Tardif, D. Carrier, G. Laflamme et Rompré, M. 1990. Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec. Rapport synthèse. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Québec, Canada. 70 p.
- St-Julien, P. and Slivitzky, A. 1985. Compilation géologique de la région de l'Estrie-Beauce. Carte no. 2030 du rapport MM 85-04, Commission géologique du Canada, Ottawa, Fichiers informatiques, 1 : 250 000.

Annexe 1 :
Cartes thématiques préliminaires
