

## Rapport final

# *Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de l'Abitibi-Témiscamingue (partie 1)*

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

Par :

Vincent Cloutier  
Daniel Blanchette  
Pierre-Luc Dallaire  
Simon Nadeau  
Eric Rosa  
Magalie Roy

Groupe de recherche sur l'eau souterraine  
Institut de recherche en mines et en environnement  
Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue



Rapport de recherche n° : P001

Septembre 2013

### Référence à citer :

Cloutier, V., Blanchette, D., Dallaire, P.-L., Nadeau, S., Rosa, E., et Roy, M. 2013. Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de l'Abitibi-Témiscamingue (partie 1). Rapport final déposé au Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec. Rapport de recherche P001. Groupe de recherche sur l'eau souterraine, Institut de recherche en mines et en environnement, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 135 p., 26 annexes, 25 cartes thématiques (1:100 000).

### Pour nous joindre :

Groupe de recherche sur l'eau souterraine  
Institut de recherche en mines et en environnement  
Université du Québec en Abitibi Témiscamingue

Campus d'Amos, 341, rue Principale Nord, 5e étage  
Amos (Québec) J9T 2L8  
<http://gres.uqat.ca/>

## Équipe de réalisation et partenaires :

### *GRES-UQAT*

Vincent Cloutier  
Daniel Blanchette  
Pierre-Luc Dallaire  
Simon Nadeau  
Eric Rosa  
Magalie Roy  
Thibaut Aubert  
Francesca Audet-Gagnon  
Gérémi Robert

### *Collaborateurs*

Olivier Pitre, directeur général, SESAT  
Jean Veillette, professeur associé, UQAT

### *Étudiants de 2<sup>e</sup> cycle*

Sabrina Castelli, UQAT  
Simon Nadeau, UQAM

### *Stagiaires*

Marilyne Brière-Deschênes, Université McGill  
Mathieu Chevillard, Université de Rennes (France)  
Christopher Larochelle-Roulier, Cégep de Thetford  
Nathalie Rey, Université d'Aix-Marseille (France)

### *Correction d'épreuves*

Imelda Fradette

### *Partenaires régionaux*

Conférence régionale des élus de l'Abitibi-Témiscamingue  
MRC d'Abitibi  
MRC de La Vallée-de-l'Or  
MRC d'Abitibi-Ouest  
Ville de Rouyn-Noranda  
Organisme de Bassin versant Abitibi-Jamésie  
Organisme de Bassin versant du Témiscamingue  
Société de l'eau souterraine Abitibi-Témiscamingue

## Avant-propos

Le présent document constitue le rapport scientifique du Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de l'Abitibi-Témiscamingue (partie 1) remis au Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec. Ce rapport est accompagné (1) de 25 cartes thématiques à l'échelle 1/100 000 dressant le portrait physique et hydrogéologique de la région, (2) de 26 annexes présentant les protocoles méthodologiques et des données complémentaires, (3) d'un atlas hydrogéologique permettant de vulgariser le contenu de ce rapport et (4) d'une base de données géoréférencées contenant l'ensemble des informations géologiques et hydrogéologiques du territoire. Ce rapport et les biens livrables associés sont le résultat de quatre années de travail pour dresser le portrait de la ressource en eau souterraine d'une portion du territoire de l'Abitibi-Témiscamingue.

Il est important de souligner que les cartes thématiques produites dans le cadre de cette étude représentent des conditions régionales à l'échelle 1/100 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser les cartes, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, les cartes et interprétations présentées dans ce rapport final ne peuvent remplacer les études requises pour définir les conditions réelles à l'échelle locale et n'offrent aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'intégralité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attache ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adaptation à une fin particulière de toute œuvre dérivée et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation des cartes, des conditions présentées par la carte ou des données et interprétations y étant rattachées.

## Remerciements

Ce projet a été financé par le Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec. La Conférence régionale des élus de l'Abitibi-Témiscamingue, la MRC d'Abitibi, la MRC de La Vallée-de-l'Or et la Ville de Rouyn-Noranda ont également soutenu financièrement le projet, en plus de leur implication logistique. Plusieurs partenaires régionaux ont également collaboré au projet, incluant la MRC d'Abitibi-Ouest, la Société de l'eau souterraine de l'Abitibi-Témiscamingue, l'Organisme de Bassin versant Abitibi-Jamésie, l'Organisme de Bassin versant du Témiscamingue, et les municipalités du territoire. Les auteurs remercient toutes les personnes du Service de l'aménagement et des eaux souterraines du MDDEFP ainsi que des organismes partenaires pour leur précieuse collaboration tout au long du projet.

Les auteurs soulignent la collaboration de plusieurs organismes pour leur contribution en partage de données ou de connaissances, soit la Direction de la santé publique de l'Abitibi-Témiscamingue, le Centre d'expertise hydrique du Québec, le Ministère des Affaires municipales, Régions et Occupation du territoire, le Ministère de l'Agriculture, Pêcheries et Alimentation du Québec, le Ministère des Ressources Naturelles et le Ministère des Transports. La réalisation de ce projet a également bénéficié d'une collaboration entre des équipes de recherche basées dans différentes universités québécoises réunies au sein du Groupe de recherche interuniversitaire sur les eaux souterraines.

Les auteurs désirent remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation du projet, les collaborateurs scientifiques, les étudiants, ainsi que les stagiaires. Nos remerciements vont également aux multiples résidents de la région ainsi qu'aux municipalités qui ont accepté de collaborer au projet en nous donnant accès à leur propriété et à leur puits. Ces collaborations nous ont permis de réaliser les travaux de terrain et ainsi atteindre les objectifs fixés dans l'acquisition de nouvelles connaissances sur les aquifères et les eaux souterraines de la région.

## Résumé

Cette étude dresse un portrait synthèse de la ressource en eau souterraine sur un territoire d'une superficie de 9 187 km<sup>2</sup> localisé dans la région administrative de l'Abitibi-Témiscamingue et recouvrant partiellement les Municipalités régionales de comté d'Abitibi, d'Abitibi-Ouest, de La Vallée-de-l'Or et la Ville de Rouyn-Noranda. L'étude a été réalisée de par le Groupe de recherche sur l'eau souterraine de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, en collaboration avec le milieu régional et le Groupe de recherche interuniversitaire sur les eaux souterraines (GRIES) dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec (PACES) du Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs.

Les travaux ont été menés en trois phases consistant en (1) la collecte des données existantes, (2) la réalisation de travaux de terrain complémentaires et (3) l'intégration des informations pour fins de synthèse et de transfert. Une base de données géoréférencées ainsi que 25 cartes dressant le portrait physique et hydrogéologique du territoire ont été produites, lesquelles ont permis la réalisation d'une synthèse hydrogéologique intégrant l'ensemble des données disponibles à l'échelle régionale.

Fournissant les bases nécessaires à la compréhension de la dynamique hydrogéologique régionale, les réalisations issues de la présente étude ont mené à l'émission de recommandations visant à assurer la gestion durable de la ressource en eau souterraine, lesquelles concernent (1) le transfert des connaissances, (2) la protection de zones jugées sensibles et (3) le suivi temporel de la ressource en termes de qualité et de quantité.

## Table des matières

<b>Avant-propos</b> .....	<b>iv</b>
<b>Remerciements</b> .....	<b>v</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>vi</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>vii</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>x</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>xii</b>
<b>Liste des cartes thématiques</b> .....	<b>xiv</b>
<b>Liste des annexes</b> .....	<b>xv</b>
<b>Liste des sigles et abréviations</b> .....	<b>xvi</b>
<b>1. Introduction</b> .....	<b>1</b>
1.1 Mise en contexte.....	1
1.2 Objectifs.....	3
1.3 Équipe de réalisation et partenaires .....	4
<b>2. Présentation du territoire</b> .....	<b>6</b>
2.1 Données territoriales.....	6
2.2 Localisation .....	7
2.3 Les eskers .....	8
2.4 Affectation du territoire .....	10
2.5 Occupation du sol.....	11
2.6 Topographie de la surface .....	12
2.7 Bassins versants .....	13
2.8 Hydrographie .....	14
2.9 Couverture végétale .....	15
2.10 Milieux humides .....	16
2.11 Pédologie .....	17
<b>3. Acquisition des données et caractérisation</b> .....	<b>20</b>
3.1 Données hydrogéologiques .....	20
3.2 Données géologiques .....	21
3.3 Travaux de caractérisation.....	21
3.3.1 Repérage de puits et piézomètres .....	23

3.3.2 Échantillonnage de puits/piézomètres municipaux et gouvernementaux.....	23
3.3.3 Échantillonnage de puits privés .....	25
3.3.4 Forages et installations de piézomètres .....	27
3.3.5 Instrumentation de piézomètres .....	30
3.3.6 Essais hydrauliques .....	31
3.3.7 Arpentage des puits et piézomètres.....	31
3.3.8 Levés géophysiques .....	31
3.3.9 Levés géologiques .....	34
3.3.10 Échantillonnage de sources .....	35
3.3.11 Suivi des précipitations .....	37
3.3.12 Inventaire des activités anthropiques.....	37
<b>3.4 Synthèse et validation .....</b>	<b>38</b>
<b>4. Contexte géologique régional.....</b>	<b>39</b>
<b>4.1 Géologie du socle rocheux.....</b>	<b>39</b>
<b>4.2 Géologie du Quaternaire .....</b>	<b>40</b>
4.2.1 Dépôts glaciaires (till).....	42
4.2.2 Dépôts fluvioglaciaires .....	43
4.2.3 Dépôts glaciolacustres .....	43
4.2.4 Dépôts alluviaux.....	44
4.2.5 Dépôts organiques .....	44
<b>4.3 Stratigraphie des dépôts quaternaires .....</b>	<b>44</b>
<b>4.4 Architecture des formations superficielles.....</b>	<b>45</b>
4.4.1 Milieux de mise en place des eskers.....	46
4.4.2 Coupes stratigraphiques .....	49
4.4.2.1 Coupes stratigraphiques régionales.....	50
4.4.2.2 Coupes stratigraphiques locales .....	52
4.4.3 Épaisseur des dépôts meubles.....	55
4.4.4 Topographie du roc.....	55
4.4.5 Épaisseur de la couche argileuse .....	56
4.4.6 Séquences stratigraphiques et modèles géologiques 3D .....	58
<b>5. Conditions hydrogéologiques.....</b>	<b>61</b>
<b>5.1 Propriétés hydrauliques .....</b>	<b>61</b>
5.1.1 Terminologie et définitions.....	61
5.1.2 Données disponibles.....	62
5.1.3 Approche régionale.....	63
5.1.3.1 Unités hydrogéologiques régionales.....	64
5.1.3.2 Distribution spatiale des propriétés hydrauliques et portrait régional .....	69
5.1.3.3 Limites de l'approche proposée.....	71
<b>5.2 Conditions d'écoulement de la nappe.....</b>	<b>72</b>
<b>5.3 Piézométrie et écoulement régional .....</b>	<b>74</b>
5.3.1 Hypothèses sous-jacentes à l'approche privilégiée .....	74
5.3.2 Source et traitement des données utilisées .....	76
5.3.3 Niveaux d'incertitude et stratégie de validation/correction de la carte piézométrique .....	76
5.3.4 Piézométrie régionale .....	77
<b>5.4 Bilan hydrologique et recharge.....</b>	<b>78</b>
5.4.1 Méthode d'évaluation de la recharge.....	78

5.4.2 Recharge distribuée à l'échelle du territoire .....	79
<b>5.5 Zones préférentielles de recharge et de résurgence .....</b>	<b>81</b>
<b>5.6 Vulnérabilité des aquifères .....</b>	<b>81</b>
<b>5.7 Géochimie de l'eau souterraine .....</b>	<b>83</b>
5.7.1 Banque de données géochimiques du GRES-UQAT .....	83
5.7.2 Portrait géochimique régional .....	85
5.7.3 Types d'eau .....	87
5.7.4 Origine de la signature géochimique de l'eau souterraine .....	87
<b>5.8 Synthèse hydrogéologique régionale .....</b>	<b>90</b>
5.8.1 Modèle préexistant.....	91
5.8.2 Portrait hydrogéologique régional.....	92
<b>6. Ressources en eau souterraine.....</b>	<b>97</b>
<b>6.1 Rendement potentiel des aquifères .....</b>	<b>97</b>
6.1.1 Aquifères granulaires .....	97
<b>6.2 Qualité de la ressource .....</b>	<b>100</b>
6.2.1 Paramètres de l'évaluation de la qualité de l'eau .....	100
6.2.2 Qualité générale de l'eau souterraine .....	101
6.2.3 Qualité de l'eau, environnements géologiques et conditions d'écoulement de l'eau souterraine.....	103
<b>6.3 Usage de la ressource .....</b>	<b>104</b>
<b>6.4 Activités anthropiques potentiellement polluantes .....</b>	<b>110</b>
6.4.1 Activités recensées .....	110
6.4.2 L'indice de densité pondéré d'activités anthropiques .....	112
<b>6.5 Stations météorologiques, hydrométriques et de suivi de nappe .....</b>	<b>113</b>
6.5.1 Stations météorologiques.....	113
6.5.2 Stations hydrométriques .....	114
6.5.3 Stations de suivi de nappes.....	114
<b>6.6 Gestion durable de la ressource et recommandations .....</b>	<b>116</b>
6.6.1 Classe 1 : transfert des connaissances .....	116
6.6.2 Classe 2 : protection des zones sensibles .....	116
6.6.3 Classe 3 : suivi de la ressource .....	116
<b>7. Conclusions.....</b>	<b>118</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>121</b>
<b>Bibliographie des rapports .....</b>	<b>128</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Équipe de réalisation du PACES-AT1 .....	4
Tableau 1.2 : Étudiants et stagiaires ayant participé à la réalisation du PACES-AT1 .....	4
Tableau 1.3 : Partenaires régionaux du projet PACES-AT1 .....	5
Tableau 2.1 : Synthèse des sources de données utilisées lors de la réalisation des cartes PACES-AT1 .....	6
Tableau 2.2 : Caractéristiques administratives du territoire à l'étude .....	8
Tableau 2.3 : Définition des affectations du territoire .....	10
Tableau 2.4 : Territoire couvert par les affectations .....	11
Tableau 2.5 : Occupation du sol du territoire PACES-AT1 .....	12
Tableau 2.6 : Bassins versants du territoire PACES-AT1 .....	14
Tableau 2.7 : Principales rivières du territoire PACES-AT1 .....	14
Tableau 2.8 : Couverture végétale du territoire PACES-AT1 .....	15
Tableau 2.9 : Classes de milieux humides du territoire PACES-AT1 .....	17
Tableau 2.10 : Classes pédologiques du territoire PACES-AT1 .....	19
Tableau 3.1 : Résumé des travaux de caractérisation du PACES-AT1 et des objectifs visés .....	22
Tableau 3.2 : Synthèse des profils géoradar acquis .....	32
Tableau 3.3 : Synthèse des pseudo-sections de résistivité acquises .....	32
Tableau 3.4 : Données insérées dans la base de données terrains .....	38
Tableau 4.1 : Formations superficielles du territoire PACES-AT1 .....	42
Tableau 4.2 : Séquences stratigraphiques du PACES-AT1 .....	59
Tableau 5.1 : Définitions des propriétés physiques et paramètres hydrauliques retenus .....	61
Tableau 5.2 : Sources des données quantitatives disponibles .....	62
Tableau 5.3 : Résumé de l'approche retenue pour la distribution spatiale des propriétés hydrauliques .....	63
Tableau 5.4 : Définition des unités hydrogéologiques selon leur position dans l'architecture des séquences stratigraphiques types .....	65
Tableau 5.5 : Description des unités hydrogéologiques régionales .....	66
Tableau 5.6 : Synthèse des informations hydrogéologiques calculées et estimées .....	70
Tableau 5.7 : Définitions des catégories d'aquifères .....	72
Tableau 5.8 : Regroupement des séquences stratigraphiques par conditions de confinement du PACES-AT1 .....	73
Tableau 5.9 : Justification des bases de l'approche privilégiée pour la réalisation de la carte piézométrique régionale (carte 18) .....	75
Tableau 5.10 : Source des données utilisées pour la réalisation de la carte piézométrique régionale .....	76

Tableau 5.11 : Valeur minimale, moyenne et maximale des paramètres de la recharge pour les séquences stratigraphiques du PACES-AT1 .....	80
Tableau 5.12 : Paramètres nécessaires au calcul de l'indice DRASTIC .....	82
Tableau 5.13 : Degrés de vulnérabilité (modifié de MDDEP, 2008) .....	82
Tableau 5.14 : Périodes d'échantillonnage des sites utilisés dans le projet.....	83
Tableau 5.15 : Résumé des limites de détections (LD) d'analyses et mesures.....	84
Tableau 5.16 : Résultats de l'évaluation de l'électroneutralité.....	85
Tableau 5.17 : Statistiques descriptives des échantillons d'eau souterraine du PACES-AT1 .....	86
Tableau 5.18 : Définition des types d'eau pour les échantillons qui respectent l'électroneutralité.....	87
Tableau 5.19 : Statistiques descriptives pour les types d'eau du PACES-AT1 .....	87
Tableau 5.20 : Statistiques descriptives des constituants majeurs en fonction des conditions de confinement de la nappe phréatique .....	89
Tableau 5.21 : Statistiques descriptives des constituants majeurs en fonction de la géologie .....	89
Tableau 5.22 : Démarche de réalisation du PACES-AT1 .....	90
Tableau 5.23 : Synthèse hydrogéologique régionale du PACES-AT1.....	94
Tableau 6.1 : Stratégie de calcul de l'épaisseur des unités aquifères à l'échelle régionale .....	98
Tableau 6.2 : Unités aquifères considérées et valeurs médianes de la conductivité hydraulique utilisée pour l'estimation de la transmissivité.....	98
Tableau 6.3 : Normes et recommandations de l'eau potable utilisées dans le cadre du PACES-AT1 .....	101
Tableau 6.4 : Statistiques descriptives des paramètres utilisés pour l'évaluation de la qualité de l'eau	102
Tableau 6.5 : Nombre de dépassements des normes et recommandations en fonction des environnements géologiques du PACES-AT1.....	103
Tableau 6.6 : Nombre de dépassements des normes et recommandations en fonction des conditions d'écoulement de la nappe phréatique .....	104
Tableau 6.7 : Sources de données utilisées pour l'évaluation de l'utilisation de la ressource en eau.....	105
Tableau 6.8 : Utilisation de l'eau sur le territoire PACES-AT1 .....	106
Tableau 6.9 : Répertoire des puits municipaux .....	108
Tableau 6.10 : Répertoire des puits privés .....	109
Tableau 6.11 : Nombre de sites répertoriés par regroupement d'activités anthropiques .....	111
Tableau 6.12 : Historique et caractéristiques des stations météorologiques du territoire PACES-AT1 ...	113
Tableau 6.13 : Historique et caractéristiques des stations hydrométriques du territoire PACES-AT1 ....	114
Tableau 6.14 : Caractéristiques des stations de suivi des nappes phréatiques.....	115
Tableau 6.15 : Synthèse des recommandations .....	117
Tableau 6.16 : Schéma de transfert des connaissances .....	117

## Liste des figures

Figure 1.1 : Localisation des projets PACES-AT1 et PACES-AT2 en Abitibi-Témiscamingue .....	2
Figure 2.1 : Toponymie des eskers du territoire PACES-AT1 utilisée pour cette étude. (Veillette, 1986a, carte 1639A; Veillette, 1987a,b, cartes 1640A, 1641A; Veillette, 2004, carte 2019A; Thibaudeau et Veillette, 2005, carte 1996A; Paradis, 2005, carte 1991A; Paradis, 2007, cartes 2017A) .....	9
Figure 3.1 : Localisation des puits municipaux échantillonnés sur le territoire PACES-AT1 à l'été 2010... 24	
Figure 3.2 : Localisation des puits privés et piézomètres échantillonnés sur le territoire PACES-AT1. ....	25
Figure 3.3 : Photos de la campagne d'échantillonnage des puits privés: A- mesure du niveau piézométrique; B- analyse des paramètres in situ; C- échantillonnage d'un puits privé; D- échantillonnage d'un piézomètre municipal. ....	27
Figure 3.4 : Localisation des forages effectués sur le territoire PACES-AT1.....	29
Figure 3.5 : Photos des campagnes de forage : A- forage de la foreuse géotechnique Geotech 605D de l'INRS-ETE; B- forage de la foreuse Dual Rotary Drilling; C- description stratigraphique des sédiments forés; D- développement d'un piézomètre aménagé.....	30
Figure 3.6 : Localisation des travaux de géoradar et de résistivité électrique sur le territoire PACES-AT1. ....	33
Figure 3.7 : Photos des campagnes d'acquisition de données géophysique : A- bolide équipé du géoradar et du GNSS; B- géoradar Pulso EKKO Pro; C- résistivimètre SYSCAL Pro SWITCH 72; D- Time-Domain Electromagnetic (TDEM) NT32.....	34
Figure 3.8: Photos des campagnes d'acquisition de données géologiques : A- sondage à la Oakfield; B- sondage à la tarière AMS; C- forage à la Géoprobe 540MT; D- extraction d'une carotte sédimentaire d'un forage Géoprobe 540MT. ....	35
Figure 3.9 : Localisation des sources échantillonnées sur le territoire PACES-AT1. ....	36
Figure 3.10 : Photos des travaux de terrain de caractérisation des sources : A- échantillonnage d'une source; B- collecte d'eau; C- mesure de paramètres in situ; D- arpentage.....	37
Figure 4.1 : Cartes récentes des dépôts de surface de l'Abitibi-Témiscamingue (échelle 1 : 100 000) produites par la CGC .....	41
Figure 4.2 : Colonne stratigraphique régionale et simplifiée de la région d'étude .....	45
Figure 4.3 : Milieux de mise en place et séquences stratigraphiques des eskers de l'Abitibi-Témiscamingue .....	46
Figure 4.4 : Milieux de mise en place des eskers du PACES-AT1 (d'après Nadeau, 2011). ....	48
Figure 4.5 : Localisation des coupes stratigraphiques régionales et locales sur le territoire PACES-AT1. .	49
Figure 4.6 : Coupes stratigraphiques régionales.....	51
Figure 4.7 : Coupes stratigraphiques locales .....	54
Figure 4.8 : Épaisseur de la couche d'argile sur le territoire PACES-AT1.....	57

Figure 4.9 : Modèle géologique 3D développé pour le PACES-AT1, 1) Topographie du socle rocheux. 2) Matériel granulaire associé aux sédiments fluvioglaciaires. 3) Couverture de la plaine argileuse. 4) Sables littoraux sur l'argile et tourbière.....	60
Figure 5.1 : Définition des unités hydrogéologiques régionales selon leur nature (modifiée et adaptée de la colonne stratigraphique régionale de Veillette, 1996). Il est à noter que par mesure de simplification, les sédiments éoliens et les alluvions du sommet de la séquence ont été regroupés avec les sédiments littoraux au sein de l'unité hydrogéologique régionale E.....	64
Figure 5.2 : Unité hydrogéologique F (tourbe) .....	67
Figure 5.3 : Unité hydrogéologique E (sédiments sublittoraux et de plages ou éoliens) .....	67
Figure 5.4 : Unité hydrogéologique D (rythmites d'argile et de silt) .....	68
Figure 5.5 : Unité hydrogéologique C1 (eskers et moraine).....	68
Figure 5.6 : Unité hydrogéologique B (till).....	69
Figure 5.7 : Schématisation du bilan hydrologique : I représente l'infiltration de l'eau à la surface du sol, RAS de l'anglais <i>Ready available supply</i> , représente l'eau disponible pour les plantes et $\theta_w$ représente le point de flétrissement.....	79
Figure 5.8 : Variation de la matière dissoute totale en fonction des quatre grandes classes d'échantillons. La matière dissoute totale des précipitations (point bleu) est indiquée à titre comparatif. ....	88
Figure 5.9 : Potentiel aquifère des eskers de la région d'étude (d'après Nadeau, 2011) .....	92
Figure 5.10 : Bloc diagramme 3D conceptuel de la dynamique d'écoulement de l'eau souterraine et des contextes hydrogéologiques du PACES-AT1 (CH1 : Affleurements rocheux; CH2 : Eskers et Moraine; CH3 : Tourbières sur granulaire; CH4 : Flancs d'eskers; CH5 : Tourbières sur argile; CH6 : Plaine argileuse). Les coupes transversales à l'esker présentent les contextes hydrogéologiques pour a) l'esker en position sublittoral (type B), b) l'esker semi-enfoui (type C) et c) l'esker enfoui (type D). ....	95
Figure 5.11 : Distribution spatiale des contextes hydrogéologiques et dynamique d'écoulement de l'eau souterraine du PACES-AT1 (CH1 : Affleurements rocheux; CH2 : Eskers et Moraine; CH3 : Tourbières sur granulaire; CH4 : Flancs d'eskers; CH5 : Tourbières sur argile; CH6 : Plaine argileuse). ....	96
Figure 6.1 : Distribution spatiale du logarithme en base 10 de la transmissivité ( $m^2/s$ ) des aquifères granulaires du territoire PACES-AT1 .....	99
Figure 6.2 : Utilisation de l'eau sur le territoire PACES-AT1 .....	106
Figure 6.3 : Utilisation de l'eau souterraine par MRC, selon les usages et le type d'approvisionnement. ....	107
Figure 6.4 : Distribution des puits privés desservant la population de la zone PACES-AT1 .....	110

## Liste des cartes thématiques

Carte 1	Routes, limites municipales et toponymie
Carte 2	Affectation du territoire
Carte 3	Occupation du sol
Carte 4	Topographie
Carte 5	Modèle altimétrique numérique
Carte 6	Pente du sol
Carte 7	Limites de bassins et de sous-bassins
Carte 8	Hydrographie
Carte 9	Couverture végétale
Carte 10	Milieus humides
Carte 11	Pédologie
Carte 12	Géologie du roc
Carte 13	Géologie du Quaternaire
Carte 14	Épaisseurs des dépôts meubles
Carte 15	Topographie du roc
Carte 16	Séquences stratigraphiques
Carte 17	Conditions d'écoulement de la nappe phréatique
Carte 18	Piézométrie régionale
Carte 19	Recharge distribuée
Carte 20	Vulnérabilité des aquifères selon la méthode DRASTIC
Carte 21	Zones de recharge préférentielles et de résurgence
Carte 22	Sommaire des dépassements des critères de santé
Carte 23	Sommaire des dépassements des objectifs esthétiques
Carte 24	Indice de densité d'activités anthropiques pondérée par leur risque de pollution
Carte 25	Emplacement des stations météorologiques, hydrométriques et de suivi de la nappe

## Liste des annexes

### Chapitre 2 :

- Annexe A-1 : Protocole méthodologique : Occupation du sol
- Annexe A-2 : Protocole méthodologique : Pente du sol
- Annexe A-3 : Protocole méthodologique : Couverture végétale
- Annexe A-4 : Protocole méthodologique : Milieux humides
- Annexe A-5 : Correspondance des classes de drainage IRDA-SIEF
- Annexe A-6 : Protocole méthodologique : Pédologie

### Chapitre 3 :

- Annexe B-1 : Protocole d'échantillonnage des eaux souterraines
- Annexe B-2 : Descriptions de forages et caractéristiques des puits installés
- Annexe B-3 : Le géoradar : technique et méthodologie
- Annexe B-4 : La résistivité électrique : technique et méthodologie
- Annexe B-5 : Le *Time-Domain Electromagnetic* (TDEM) : technique et résultats
- Annexe B-6 : Tableau des cotes de validation

### Chapitre 4 :

- Annexe C-1 : Protocole méthodologique : Géologie du roc
- Annexe C-2 : Protocole méthodologique : Coupes stratigraphiques
- Annexe C-3 : Coupes régionales (F-F', G-G', H-H', I-I')
- Annexe C-4 : Coupes locales (A-A', B-B', C-C', D-D', E-E')
- Annexe C-5 : Protocole méthodologique : Épaisseur des dépôts meubles et topographie du roc
- Annexe C-6 : Protocole méthodologique : Épaisseur d'argile
- Annexe C-7 : Protocole méthodologique : Séquences stratigraphiques

### Chapitre 5 :

- Annexe D-1 : Détermination de la recharge distribuée par la méthode du bilan hydrologique
- Annexe D-2 : Protocole méthodologique : Vulnérabilité par la méthode DRASTIC
- Annexe D-3 : Choix et justifications des cotes DRASTIC pour le PACES-AT1
- Annexe D-4 : Protocole de traitement et de représentation des données géochimiques

### Chapitre 6 :

- Annexe E-1 : Protocole méthodologique : Transmissivité des aquifères granulaires
- Annexe E-2 : Protocole méthodologique : Utilisation de l'eau
- Annexe E-3 : Protocole méthodologique : Activités anthropiques potentiellement polluantes

## Liste des sigles et abréviations

BADGEQ	Banque de Données Géochimiques du Québec
BD	Base de données
BDTQ	Base de données topographiques du Québec
BQMA	Banque de la Qualité du Milieu Aquatique
CEHQ	Centre d'expertise hydrique du Québec
CERFO	Centre Collégial de Transfert de Technologie en Foresterie
GGC	Commission géologique du Canada
CRÉAT	Conférence régionale des élus de l'Abitibi-Témiscamingue
GRES	Groupe de recherche sur l'eau souterraine
GRIES	Groupe de recherche interuniversitaire sur les eaux souterraines
INRS-ETE	Institut national de la recherche scientifique - Eau, Terre et Environnement
IRDA	Institut de recherche et de développement en agroenvironnement
MAMROT	Ministère des Affaires municipales, Régions et Occupation du territoire
MAPAQ	Ministère de l'Agriculture, Pêcheries et Alimentation du Québec
MDDEFP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement de la Faune et des Parcs
MAN	Modèle altimétrique numérique
MRC	Municipalité régional de comté
MRN	Ministère des Ressources Naturelles
MRNF	Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune
MTQ	Ministères des Transports du Québec
OBVAJ	Organisme de Bassin versant Abitibi-Jamésie
OBVT	Organisme de Bassin versant du Témiscamingue
PACES	Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines
PACES-AT1	Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de l'Abitibi-Témiscamingue (partie 1)
PACES-AT2	Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de l'Abitibi-Témiscamingue (partie 2)
RSESQ	Réseau de suivi des eaux souterraines du Québec
ROVBQ	Regroupement des Organismes de Bassins Versants du Québec
SESAT	Société de l'eau souterraine Abitibi-Témiscamingue
SIEF	Système d'information écoforestière
SIGEOM	Système d'information géominiers
SIH	Système d'information hydrogéologique
UQAC	Université du Québec à Chicoutimi
UQÀM	Université du Québec à Montréal
UQAR	Université du Québec à Rimouski
UQAT	Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue
UQTR	Université du Québec à Trois-Rivières

# 1. Introduction

## 1.1 Mise en contexte

Au Québec, l'eau souterraine comble 20 % des besoins en eau de la population et est utilisée sur près de 90 % du territoire habité (MDDEFP, s.d.-a). Toutefois, les connaissances sur cette ressource sont, à ce jour, limitées. Peu d'études ont abordé la caractérisation des eaux souterraines dans une perspective régionale. Afin de pourvoir à ce manque de connaissances, le Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) a instauré en 2008 le Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec (PACES). Ce programme se veut une réponse directe à l'engagement n° 5 de la Politique nationale de l'eau stipulant que le gouvernement québécois s'engage à réaliser l'inventaire des aquifères de la province (Gouvernement du Québec, 2002).

Lors du premier appel de proposition, le Groupe de recherche sur l'eau souterraine (GRES) de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT) a obtenu le mandat pour réaliser le projet PACES du secteur est de l'Abitibi, désigné sous l'acronyme PACES-AT1. Un second projet PACES, PACES-AT2, a débuté en 2012 sur la portion ouest de l'Abitibi et du Témiscamingue. À terme, tout le territoire municipalisé de l'Abitibi-Témiscamingue sera couvert par un projet PACES (figure 1.1).

Ce rapport final décrit la réalisation et la synthèse des connaissances du projet PACES-AT1, le tout se divise en sept chapitres. Suite à la présentation au chapitre 1, des objectifs, de l'équipe de réalisation et des partenaires impliqués, le second chapitre présente le milieu naturel et humain du territoire à l'étude. Le troisième chapitre présente les données recensées dans le cadre du projet ainsi que les travaux de caractérisations réalisés. Le quatrième chapitre présente le contexte géologique régional, la mise en place des dépôts quaternaires et l'architecture des dépôts meubles. Au cinquième chapitre, l'analyse des caractéristiques hydrogéologiques des aquifères, de leur vulnérabilité et de la composition chimique des eaux souterraines qui y circulent permet d'élaborer une synthèse hydrogéologique régional. Le chapitre six porte un regard sur l'eau souterraine en terme de ressource en identifiant le rendement potentiel des aquifères, en évaluant la qualité de l'eau et en abordant la gestion durable de la ressource. Le dernier chapitre, chapitre 7, soumet les conclusions et des recommandations, dont celles reliées à l'importance du transfert des connaissances essentielles à la saine gestion et à la protection de la ressource.

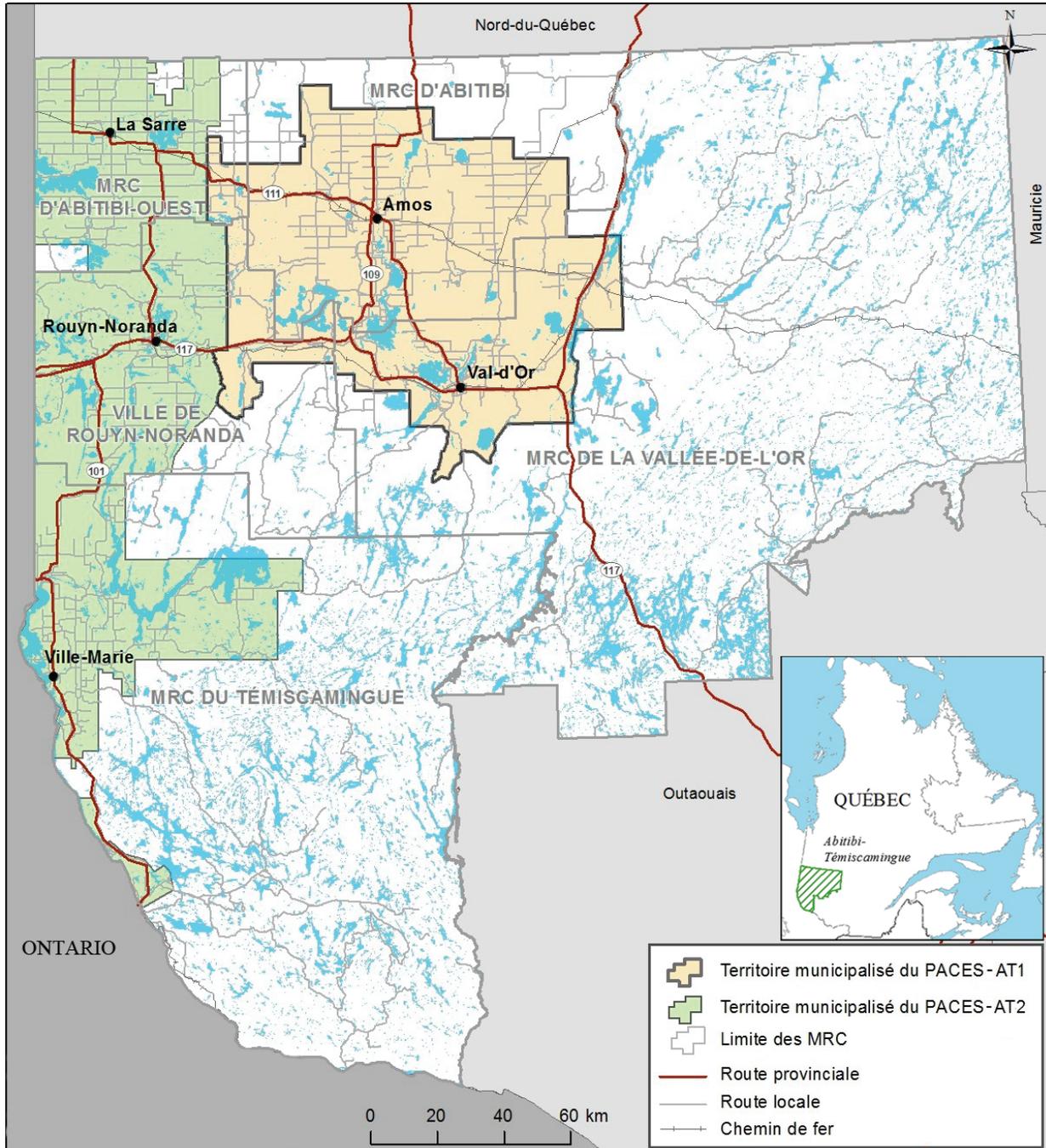


Figure 1.1 : Localisation des projets PACES-AT1 et PACES-AT2 en Abitibi-Témiscamingue

## 1.2 Objectifs

Les objectifs généraux du PACES-AT1, issus du programme du MDDEFP, sont les suivants :

- 1- Établir le portrait de la ressource en eau souterraine et des aquifères d'une partie des territoires municipalisés de l'Abitibi-Témiscamingue, afin de développer un niveau de connaissances adéquat pour soutenir la gestion et les efforts de protection de cette ressource;
- 2- Intégrer les acteurs de l'eau et les gestionnaires du territoire dans l'acquisition de connaissances sur l'eau souterraine dans le but d'accroître leur participation dans la mise en œuvre d'une gestion durable de cette ressource.

Les objectifs spécifiques du projet sont :

- 1- Utiliser des méthodes multidisciplinaires (géologie, géophysique, géochimie, hydrogéologie) pour acquérir de nouvelles connaissances sur l'eau souterraine et les aquifères, dont celles associées aux eskers qui représentent une des particularités de la région;
- 2- Participer activement aux travaux du Groupe de recherche interuniversitaire sur les eaux souterraines (GRIES) pour développer et mettre en commun les méthodologies, les protocoles et les équipements;
- 3- Mettre en place un réseau de suivi des eaux souterraines, complémentaire à celui du MDDEFP;
- 4- Former du personnel qualifié en hydrogéologie et des étudiants aux cycles supérieurs;
- 5- Formuler des recommandations visant à mieux gérer et protéger la ressource en eau souterraine de la région;
- 6- Soutenir la mise en œuvre d'une gestion durable des eaux souterraines et des aquifères de la région de l'Abitibi-Témiscamingue.

Le projet a ainsi été réalisé dans le but de qualifier et quantifier le potentiel de la ressource, tout en permettant de soutenir la mobilisation des intervenants de la région autour des questions reliées à la gestion et à la protection de l'eau souterraine et des aquifères de l'Abitibi-Témiscamingue.

### 1.3 Équipe de réalisation et partenaires

La réalisation du PACES-AT1 a mis à contribution plusieurs professionnels et personnel de recherche faisant partie de l'équipe du GRES de l'UQAT (tableau 1.1). Des étudiants de cycles supérieurs et des stagiaires (tableau 1.2) se sont joints à la réalisation du PACES-AT1.

**Tableau 1.1 : Équipe de réalisation du PACES-AT1**

Nom	Période	Fonction	Domaine d'expertise
Thibaut Aubert	2009-2012	Professionnel de recherche	Hydrogéologie
Francesca Audet-Gagnon	2009-2012	Professionnelle de recherche	Géographie physique
Daniel Blanchette	2011-2013	Chargé de projet	Géochimie et hydrogéologie
Vincent Cloutier	2009-2013	Coordonnateur du projet et professeur	Géochimie et hydrogéologie
Pierre-Luc Dallaire	2009-2013	Professionnel de recherche	Géographie physique et géophysique
Simon Nadeau	2011-2013	Professionnel de recherche	Géographie physique et géologie du Quaternaire
Gérémi Robert	2009-2012	Manœuvre	Travaux de terrain
Eric Rosa	2012-2013	Professionnel de recherche	Hydrogéologie et géochimie
Magalie Roy	2009-2013	Technologue	Géomatique
Jean Veillette	2009-2013	Professeur associé à l'UQAT	Géologie du Quaternaire

**Tableau 1.2 : Étudiants et stagiaires ayant participé à la réalisation du PACES-AT1**

Nom	Période	Fonction	Affiliation
Marilyne Brière-Deschênes	Été 2010	Stagiaire de premier cycle	Université McGill
Sabrina Castelli (Castelli, 2012)	2009-2012	Étudiante de deuxième cycle	UQAT
Mathieu Chevillard	Été 2010	Stagiaire de premier cycle	Université de Rennes (France)
Miryane Ferlatte	2010-2013	Étudiante de deuxième cycle	UQÀM (codirection avec la professeure Marie-Larocque)
Christopher Larochelle-Roulier	Étés 2010-2011	Stagiaire technique	CEGEP de Thetford
Simon Nadeau (Nadeau, 2011)	2009-2011	Étudiant de deuxième cycle	UQÀM (codirection avec le professeur Robert-André Daigneault)
Nathalie Rey (Rey, 2011)	2011	Stagiaire de deuxième cycle	Université d'Aix-Marseille (France)

Le projet a également bénéficié des collaborations et de l'expertise scientifique des institutions universitaires membres du GRIES, incluant :

- l'Institut national de la recherche scientifique - Centre Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE);
- l'Université Laval;
- l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC);
- l'Université du Québec à Montréal (UQÀM);
- l'Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR).

L'équipe de recherche a bénéficié de la collaboration de partenaires régionaux qui ont contribué de différentes façons à la réalisation du projet PACES-AT1 (tableau 1.3).

**Tableau 1.3 : Partenaires régionaux du projet PACES-AT1**

Partenaires	Contributions
MRC d'Abitibi MRC de La Vallée-de-l'Or Ville de Rouyn-Noranda	Appui au projet, contributions financières et en ressources humaines, informations et données numériques sur le territoire, assistance dans l'acquisition et la vérification de l'information sur le terrain.
MRC d'Abitibi-Ouest	Appui au projet, contribution en ressources humaines, informations et données numériques sur le territoire.
Conférence régionale des élus de l'Abitibi-Témiscamingue (CRÉAT)	Appui au projet, contributions financières et en ressources humaines, informations et données numériques sur le territoire.
Organisme de Bassin versant Abitibi-Jamésie (OBVAJ)	Appui au projet, contribution en ressources humaines, informations sur les eaux de surface, identification des enjeux locaux et des priorités de gestion.
Organisme de Bassin versant du Témiscamingue (OBVT)	Appui au projet, identification des enjeux locaux et des priorités de gestion.
Société de l'eau souterraine Abitibi-Témiscamingue (SESAT)	Appui au projet, contribution en ressources humaines, identification des enjeux régionaux, et transfert de connaissances.

Plusieurs municipalités ont participé en fournissant des données ou rapports et en autorisant l'accès à leur territoire ou à leurs infrastructures. De nombreux propriétaires privés ont permis l'accès à leur terrain et à leur puits, en particulier lors des travaux d'échantillonnage, et ainsi contribué à l'acquisition de nouvelles données. Enfin, des compagnies privées ont contribué en partageant des informations géologiques et hydrogéologiques, ou en permettant l'échantillonnage de leurs puits.

Des ministères ont partagé des informations et des données numériques essentielles à la réalisation du projet, incluant :

- le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ);
- le Ministère des Affaires municipales, Régions et Occupation du territoire (MAMROT);
- le Ministère de l'Agriculture, Pêcheries et Alimentation du Québec (MAPAQ);
- le Ministère des Ressources Naturelles (MRN);
- le Ministère des Transports (MTQ).

Le MRN a également collaboré avec le GRES en autorisant la réalisation de forages et l'installation de piézomètres sur les terres publiques.

## 2. Présentation du territoire

Ce chapitre présente les cadres, autant physiques qu'humains, du territoire PACES-AT1. Ceux-ci ont permis d'orienter les travaux de caractérisation tout en guidant l'analyse des résultats. Ainsi, la localisation du territoire, les eskers importants, l'affectation du territoire, l'occupation du sol, la topographie de la surface, les bassins versants, l'hydrographie, la couverture végétale, les milieux humides et la pédologie sont discutés.

### 2.1 Données territoriales

L'éventail de sources de données territoriales entraîne le besoin de sélectionner les données à utiliser. Cette sélection est basée sur le jugement professionnel, ainsi seules les données fiables et répondant aux exigences du projet ont été retenues. Le tableau 2.1 présente l'ensemble des sources d'informations utilisées au cours du projet pour la réalisation de chaque carte thématique. Il est à noter que d'autres bases de données numériques ont été utilisées pour réaliser les cartes thématiques. Ces sources sont citées à même les cartes.

**Tableau 2.1 : Synthèse des sources de données utilisées lors de la réalisation des cartes PACES-AT1**

Cartes	Données	Source de données
2 à 25	Routes	Base de données pour l'aménagement du territoire du Québec 1/100 000
1,2, 4 à 7, 9 à 25	Étendue d'eau Cours d'eau	Base de données pour l'aménagement du territoire du Québec 1/100 000
4	Courbes de niveau	Base de données pour l'aménagement du territoire du Québec 1/100 000
1 à 25	Municipalités	Base nationale de données topographiques au 1/250 000, Ressources naturelles Canada.
1 à 11, 13,14, 16 à 25	Modèle altimétrique numérique	MDDEP-DPEP; 1/20 000 Résolution 10 m au sol
1	Limite des MRC	Système sur les découpages administratifs du Québec au 1/20 000
2	Affectations du territoire	- Grandes affectations du territoire, 2012; MRC d'Abitibi - Grandes affectations, 2012; MRC de la Vallée-de-l'Or - Grandes affectations, 2012; Ville de Rouyn-Noranda - Plan des grandes affectations du schéma d'aménagement de 1989, MRC d'Abitibi-Ouest
3, 9, 10,11	Système d'information écoforestière	Système d'information écoforestière, 3 <sup>e</sup> inventaire écoforestier 1/20 000
7, 18, 25	Bassins versants niveaux 1 et 2	Bassins hydrographiques du Québec à l'échelle 1/250 000; CEHQ
11	Pédologie	Étude pédologique des sols défrichés de l'Abitibi-Témiscamingue, 1997; Institut de recherche et de développement en agroenvironnement
13, 14, 17	Géologie du Quaternaire	- Paradis, S.J. 2005 : Géologie des formations en surface et histoire glaciaire, Lac Castagnier, Québec; Commission géologique du Canada, carte 1991A, échelle 1/100 000 - Paradis, S.J. 2007 : Géologie des formations en surface et histoire glaciaire, Lac Blouin, Québec; Commission géologique du Canada, carte 2017A, échelle 1/100 000 - Veillette, J.J. 1987 : Géologie des formations en surface, Grand Lake Victoria North, Québec / Surficial geology, Grand Lake Victoria North, Quebec; Commission géologique du Canada, carte 1641A, échelle 1/100 000 - Veillette, J.J. 2004 : Géologie des formations en surface et histoire glaciaire, Cadillac, Québec; Commission géologique du Canada, carte 2019A, échelle 1/100 000 - Thibaudeau, P. et Veillette, J.J. 2005 : Géologie des formations en surface et histoire glaciaire, Lac Chicobi, Québec; Commission géologique du Canada, carte 1996A, échelle 1/100 000
12,14, 15,16	Géologie du roc	Système d'information géominère (SIGEOM), Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
18	Sources diffuses et ponctuelles	Nadeau, S. 2011. Estimation de la ressource granulaire et du potentiel aquifère des eskers de l'Abitibi-Témiscamingue et du sud de la Baie-James (Québec). Mémoire de maîtrise, Département de géographie, UQÀM, Montréal, 145 pages

Tableau 2.1 : Synthèse des sources de données utilisées lors de la réalisation des cartes PACES-AT1 (suite)

Cartes	Données	Source de données
19	Apports verticaux	Apports verticaux journaliers estimés de 1900 à 2010 – version 2012. Contribution au Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES). Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), Direction de l'expertise hydrique
24	Codes d'utilisation des biens-fonds	Codes d'utilisation des biens-fonds, 2012; Gouvernement du Québec, Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire
24	Codes d'utilisation des biens-fonds	Codes d'utilisation des biens-fonds, 2012; ville de Senneterre
24	Dépôts en tranchées	Inventaire des dépôts en tranchées fermés; MRC d'Abitibi
24	Liste de lieux	Liste du 10 février 2010 du système d'aide à la gestion des opérations provenant du MDDEP, 20 pages.
24	Liste de lieux	Liste du 12 février 2010 du système d'aide à la gestion des opérations provenant du MDDEP, 1 page
24	Parcs à résidus miniers	Localisation des parcs à résidus miniers, 2009; Gouvernement du Québec, Direction de la restauration des sites miniers, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
24	Milieux anthropiques	Milieux anthropiques, 2012; Ville de Val-d'Or
24	Gravière, sablière	Produits numériques des droits miniers, 2011; Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune.
14, 15, 16	Forages	Compilation de forages du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
14, 15, 16	Forages	Compilation de sondages du Ministère des Transports du Québec.
1 à 25	Route, Cours d'eau Étendue d'eau	Base nationale de données topographiques au 1/250 000, Ressources naturelles Canada
25	Stations hydrométriques	Stations hydrométriques; Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, Centre d'Expertise hydrique du Québec
25	Station météorologiques	Stations météorologiques, Environnement Canada
25	Stations piézométriques	Stations piézométriques; Ville d'Amos.
25	Station météorologiques	Stations climatologiques; Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec
1 à 25	Étendue d'eau Limite provinciale	Atlas national du Canada, Ressources naturelles Canada

## 2.2 Localisation

Le territoire à l'étude est localisé dans la région administrative de l'Abitibi-Témiscamingue (région 08) qui occupe le secteur nord-ouest du Québec méridional (figure 1.1). Il totalise une superficie de 9 187 km<sup>2</sup> (tableau 2.2) recouvrant partiellement les Municipalités régionales de comté (MRC) d'Abitibi, d'Abitibi-Ouest, de La Vallée-de-l'Or et la Ville de Rouyn-Noranda (carte 1). Avec une population de 72 252 habitants répartie dans 30 localités (municipalité, communauté algonquine, quartier), le territoire possède une densité de population de 7,9 habitants/km<sup>2</sup>. Près de 72 % de cette population est concentrée dans les quatre villes du territoire : Amos (12 765 habitants), Malartic (3 460 habitants), Senneterre (2 997 habitants) et Val-d'Or (32 438 habitants).

Le territoire est accessible du sud du Québec via la route 117. Cette principale voie d'accès traverse le territoire d'est en ouest en reliant les villes de Val-d'Or, Malartic et Rouyn-Noranda. La route 111 relie, à partir de Val-d'Or, la ville d'Amos et se prolonge vers l'ouest permettant d'atteindre la ville de La Sarre. La route 109, au départ de Rivière-Héva, permet l'accès à Matagami dans la région du Nord-du-Québec en passant par la ville d'Amos. La route 113, à partir de la route 117, permet de relier Senneterre aux secteurs de Lebel-sur-Quévillon et Chapais-Chibougamau localisés dans la région du Nord-du-Québec. L'aéroport de Val-d'Or est la porte d'entrée par voie aérienne. Deux lignes ferroviaires traversent le territoire d'est en ouest par la ville de Senneterre. L'une suit la route 117 tandis que la seconde relie les municipalités d'Amos et de Taschereau.

Tableau 2.2 : Caractéristiques administratives du territoire à l'étude

MRC/Ville <sup>1</sup> (superficie totale à l'intérieur de la zone d'étude en km <sup>2</sup> )	Nom <sup>2</sup>	Désignation <sup>2</sup>	Population <sup>2</sup> (nombre d'habitants)	Superficie (km <sup>2</sup> ) <sup>3</sup>	
				Totale <sup>4</sup>	Dans la zone d'étude
MRC d'Abitibi-Ouest <sup>2</sup> (243,9)	Authier	Village	282	384,6	47,5
	Taschereau	Municipalité	987	272,7	196,3
MRC d'Abitibi <sup>2</sup> (5 020,4)	Amos	Ville	12 765	439,1	439,1
	Barraute	Municipalité	2 015	508,7	508,7
	Berry	Municipalité	624	580,0	408,1
	Champneuf	Municipalité	138	242,2	242,2
	La Corne	Municipalité	730	332,7	332,7
	La Morandière	Municipalité	224	425,5	425,5
	La Motte	Municipalité	467	216,2	216,2
	Landrienne	Municipalité de canton	951	277,5	277,5
	Launay	Municipalité de canton	230	259,0	259,0
	Preissac	Municipalité	802	499,3	499,3
	Rochebaucourt	Municipalité	161	184,5	184,5
	Saint-Dominique-du-Rosaire	Municipalité	456	505,7	384,4
	Sainte-Gertrude-Manneville	Municipalité	778	321,3	321,3
	Saint-Félix-de-Dalquier	Municipalité	860	113,6	113,6
	Saint-Marc-de-Figuery	Municipalité de paroisse	794	92,9	92,9
	Saint-Mathieu-d'Harricana	Municipalité	702	111,7	111,7
Trécesson	Municipalité de canton	1 172	202,9	202,9	
Pikogan	Communauté algonquine	568	0,9	0,9	
MRC de La Vallée-de-l'Or <sup>2</sup> (3 031,9)	Belcourt	Municipalité	243	424,4	424,4
	Malartic	Ville	3 460	158,2	158,2
	Rivière-Héva	Municipalité	1 529	194,1	194,1
	Senneterre	Ville	2 997	16 492,5	169,4
	Senneterre-Paroisse	Municipalité de paroisse	1 236	630,5	485,4
	Val-d'Or	Ville	32 438	3 985,8	1 597,1
Lac-Simon	Communauté algonquine	1458	3,3	3,3	
Ville de Rouyn-Noranda <sup>5</sup> (891,0)	Cadillac	Quartier	765	531,0	334,0
	McWatters	Quartier	1 915	418,6	325,4
	Mont-Brun	Quartier	505	477,2	231,5
<b>9 187,2 km<sup>2</sup></b>	<b>← TOTAL →</b>		<b>72 252</b>	<b>29 286,6</b>	<b>9 187,1</b>

<sup>1</sup> Les superficies totales, incluant leurs secteurs localisés à l'extérieur de la zone d'étude, sont de 3 628 km<sup>2</sup> pour la MRC d'Abitibi-Ouest, 7 938 km<sup>2</sup> pour la MRC d'Abitibi, 27 402 km<sup>2</sup> pour la MRC de La Vallée-de-l'Or, et de 6 488 km<sup>2</sup> pour la Ville de Rouyn-Noranda.

<sup>2</sup> Tirée de MAMROT (s.d.-a), à l'exception des quartiers Cadillac, McWatters et Mont-Brun de Ville Rouyn-Noranda.

<sup>3</sup> Les calculs de superficie ont été réalisés en employant la projection UTM NAD83 zone 17.

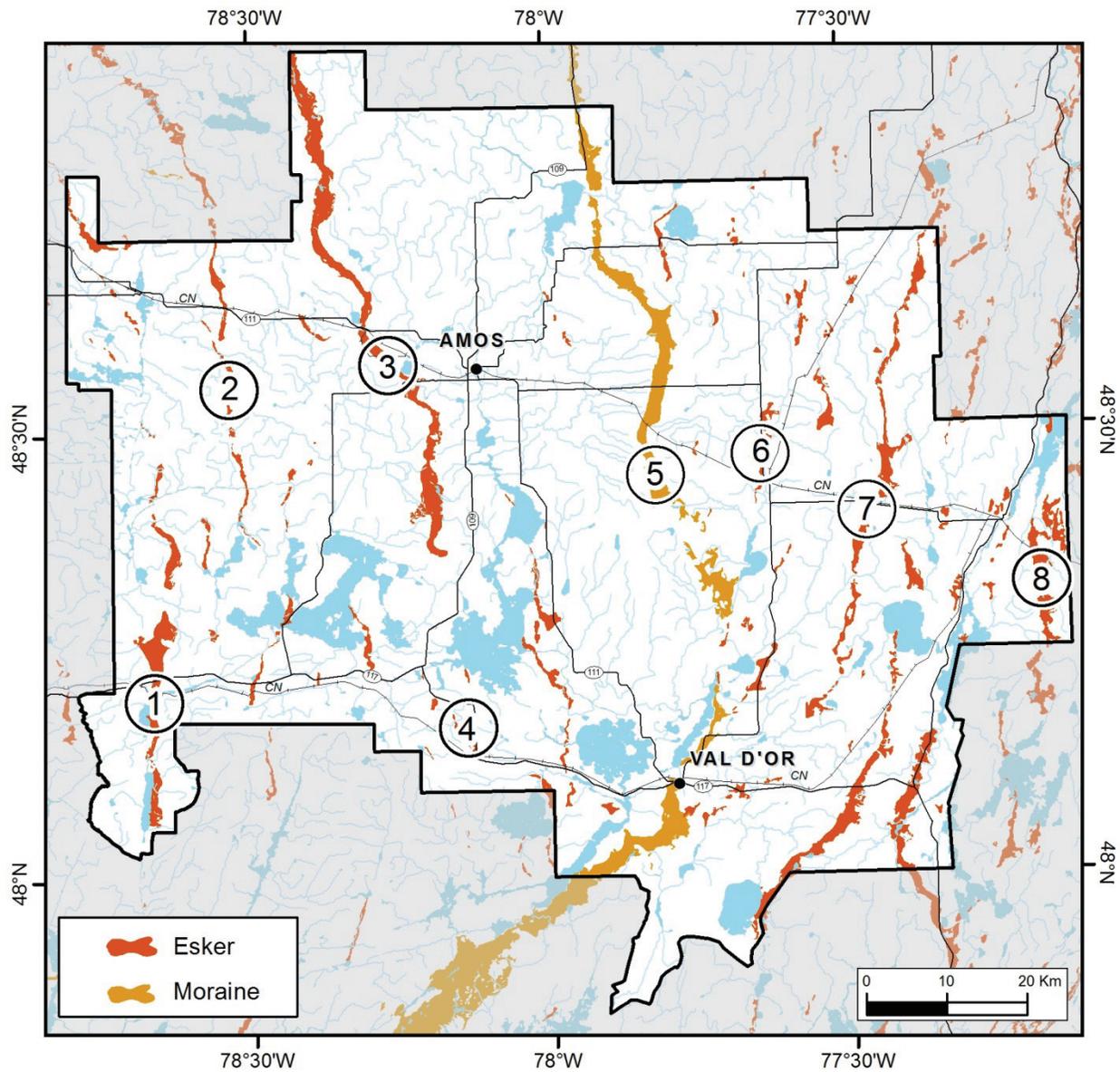
<sup>4</sup> Les superficies indiquées incluent les secteurs hors de la zone d'étude.

<sup>5</sup> La désignation des quartiers Cadillac, McWatters et Mont-Brun et leur population proviennent de l'Observatoire de l'Abitibi-Témiscamingue (s.d.). Les populations rapportées sont celles qui occupent la superficie totale des quartiers, et non seulement la portion couverte par le PACES-AT1.

### 2.3 Les eskers

Le territoire du PACES-AT1 se distingue par d'imposantes formations granulaires, constituées de sables et graviers, reconnues pour contenir une eau souterraine de haute qualité. Ces immenses cordons, appelés « eskers » (du terme irlandais « eiscir » qui signifie sinueux) sont issus du dernier retrait glaciaire et influencent considérablement le portrait naturel régional. Les travaux de Nadeau (2011) ont permis de mettre en évidence le potentiel aquifère élevé des eskers de l'Abitibi-Témiscamingue. Dans le cadre de ce projet, une attention particulière a donc été apportée aux principaux segments d'eskers de la région. Leur mise en place est décrite en détail au chapitre 4. Pour faciliter la description et

l'identification des segments, des noms leur ont été attribués. Ceux-ci proviennent d'appellations employées dans les travaux antérieurs. Seuls les plus imposants ont été nommés et seront utilisés dans le texte. La figure 2.1 présente l'ensemble des eskers et la Moraine d'Harricana du territoire PACES-AT1.



- |                              |                            |
|------------------------------|----------------------------|
| 1: Esker Vaudray-Joannès     | 5: Moraine d'Harricana     |
| 2: Esker de Launay           | 6: Esker de Barraute       |
| 3: Esker Saint-Mathieu-Berry | 7: Esker du lac Despinassy |
| 4: Esker de Malartic         | 8: Esker de Senneterre     |

Figure 2.1 : Toponymie des eskers du territoire PACES-AT1 utilisée pour cette étude. (Veillette, 1986a, carte 1639A; Veillette, 1987a,b, cartes 1640A, 1641A; Veillette, 2004, carte 2019A; Thibaudeau et Veillette, 2005, carte 1996A; Paradis, 2005, carte 1991A; Paradis, 2007, cartes 2017A)

## 2.4 Affectation du territoire

L'affectation du territoire, concernant l'aménagement et l'urbanisme, est l'attribution à une parcelle de territoire une fonction ou une vocation précise (MAMROT, s.d.-b). Ces affectations permettent aux MRC et municipalités d'indiquer formellement comment elles entendent utiliser les parties du territoire sous leur juridiction. La tâche d'attribuer une affectation spécifique au territoire est nécessaire pour rédiger le schéma d'aménagement qui devrait dicter les tendances d'urbanisme. Ainsi, la carte 2 présente la répartition spatiale des diverses affectations du territoire faisant l'objet des décisions prises lors du processus d'élaboration des schémas d'aménagement et de développement des MRC présentes sur la zone d'étude, c.-à-d. Abitibi (schéma révisé en 2012), Abitibi-Ouest (schéma de 1989, révisé en 2001), Ville de Rouyn-Noranda (schéma de 2010, révisé en 2012) et la Vallée-de-l'Or (schéma de 2008, révisé en 2012). Les données ayant servi à la production de la carte 2 ont été fournies, sous forme de données géoréférencées, par les dites MRC. Dans un souci d'homogénéisation, une nomenclature et une classification unique ont été adoptées. Le tableau 2.3 présente les définitions des regroupements retenus.

**Tableau 2.3 : Définition des affectations du territoire**

Affectation	Définition <sup>1</sup>
Agricole	Secteurs d'agriculture dynamique, présentant en moindre mesure des superficies employées à des fins non agricoles présentant un intérêt pour la mise en culture
Agroforestière	Secteurs inclus dans la zone agricole provinciale ou présentant un bon potentiel agricole mais où l'utilisation du sol est à prédominance forestière
De conservation	Tout territoire naturel comprenant des espèces ou des écosystèmes présentant un intérêt local ou régional
Corridor routier panoramique	Territoire en bordure de route offrant une vue panoramique
Forestière	Territoires où la forêt représente l'élément dominant et où le territoire est utilisé pour la production et le prélèvement de la matière ligneuse
Industrielle	Secteurs industriels concentrés hors du périmètre urbain, présentant des usages industriels lourds
Récréative	Territoires dont l'utilisation prédominante est récréative
Réserve autochtone	Territoire dédié à l'établissement d'une réserve autochtone
Rurale	Secteurs résidentiels concentrés hors des périmètres urbains
Urbaine	Secteurs caractérisés par la diversité des fonctions à caractère urbain (résidences, commerces, industries et autres)
De villégiature	Territoires, localisés en bordure des plans d'eau, où l'on retrouve des habitations, des sites récréatifs et autres
Non défini	Territoire pour lequel aucune affectation n'a été déterminée

<sup>1</sup> Ville de Rouyn-Noranda (2010).

Le tableau 2.4 présente la proportion de territoire couvert pour chaque affectation définie sur la zone d'étude. L'affectation forestière et agroforestière recouvre la grande majorité du territoire (73,9 %). L'agriculture est présente sur 12,2 % du territoire, principalement concentrée aux alentours des municipalités.

Tableau 2.4 : Territoire couvert par les affectations

Affectations	Superficie (%)
Agricole	12,2
Agroforestière	9,6
De conservation	4,4
Corridor routier panoramique	<0,1
Forestière	64,3
Industrielle	<0,1
Récréative	2,2
Réserve autochtone	<0,1
Rurale	1,7
Urbaine	1,0
De villégiature	1,0
Non défini	3,6

## 2.5 Occupation du sol

L'occupation du sol est un produit cartographique permettant d'illustrer la distribution spatiale de l'occupation du territoire. Ainsi, la carte 3 montre la répartition des zones agricoles, anthropiques, hydriques, forestières et humides. Ce livrable est un portrait général du territoire, constituant un outil essentiel à la planification territoriale ainsi qu'à la saine gestion des utilisations conflictuelles. De plus, la carte d'occupation du sol est l'un des seuls produits cartographiques exposant le territoire anthropique.

Le 3<sup>e</sup> inventaire écoforestier produit par le Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune (MRNF) a été utilisé afin de produire la carte (annexe A-1). Le tableau 2.5 présente les six classes retenues, leur superficie ainsi que les sous-classes regroupées.

Les zones forestières et de milieux humides occupent la quasi-totalité du territoire PACES-AT1 (c.-à-d. 86,5 %). Le territoire a subi une faible anthropisation, soit 1,7 % de la zone d'étude, marquée essentiellement par des centres urbains et quelques secteurs industriels (*p. ex.* déchets de mine, gravières, scieries). Les zones hydriques (6,7 %) se localisent principalement au sud de la région, et sont caractérisées par de grandes étendues d'eau telles que les lacs Preissac, Malartic, de Montigny ou Pascalis. Les zones agricoles (4,9 %) sont en grande partie situées aux environs de la ville d'Amos, et occupent les sols de la plaine argileuse du centre-nord de la région, soit entre la Moraine d'Harricana et l'esker Saint-Mathieu-Berry (figure 2.1).

Tableau 2.5 : Occupation du sol du territoire PACES-AT1

Classes	Sous-classes regroupées	Superficie (km <sup>2</sup> ) <sup>1</sup>	Superficie (%)
Agricole	Terre agricole	451,7	4,9
	Terrain agricole localisé dans les secteurs agroforestiers		
Anthropique	Aéroport	153,9	1,7
	Fortement perturbé par l'activité humaine		
	Centrale hydroélectrique		
	Piste de ski		
	Centre urbain		
	Terrain défriché		
	Déchets de mine		
	Golf		
	Gravière		
	Habitation permanente		
	Ligne de transport de l'énergie		
	Mine		
	Milieu faiblement perturbé par l'activité humaine		
	Inclusion non exploitable à l'intérieur d'un traitement sylvicole		
	Pépinières		
	Route et autoroute		
	Scierie		
Usine			
Villégiature			
Eau	Étendue d'eau, cours d'eau	611,0	6,7
Forêt	Île boisée de 1 hectare et moins	4 699,3	51,2
	Forêt		
Milieus humides	Milieus humides	3 240,6	35,3
Autres	Dénudé et semi-dénudé sec	24,4	0,3
	Nature inconnue		
<b>Total</b>		<b>9 180,9</b>	<b>100,0</b>

<sup>1</sup> Les calculs de superficie ont été réalisés en employant la projection UTM NAD83 zone 17.

## 2.6 Topographie de la surface

La topographie d'une surface représente la variation de l'élévation en mètre (m) par rapport au niveau moyen de la mer (nmm). La topographie permet de caractériser la morphologie de la surface qui joue un rôle majeur au niveau de l'hydrologie et de l'hydrogéologie d'une région, tel que la configuration des bassins versants et la localisation des lacs et rivières.

Dans le cadre du présent projet, la topographie de surface est représentée de deux façons. La première est une représentation en plan des variations d'altitude de la région à l'aide de courbes de niveau issues de la *Base de données pour l'aménagement du territoire* à l'échelle du 1: 100 000 (carte 4). L'équidistance des courbes de niveau intermédiaire présentées sur la carte est de 20 m et de 100 m pour les courbes de niveau maîtresses.

La seconde représentation est sous la forme d'un modèle altimétrique numérique (MAN) qui consiste en une représentation en plan des variations d'altitude d'un territoire sur une surface continue (carte 5). En

plus de respecter le relief présenté par la carte topographique (carte 4), le MAN facilite l'observation des irrégularités morphologiques de la région. Les crêtes d'eskers et les reliefs imposés par le socle rocheux y sont plus facilement identifiables. Le MAN utilisé dans le cadre du projet PACES-AT1 a été fourni par le MDDEP-DPEP (*Direction du patrimoine écologique et des parcs*) et est issu de l'interpolation des données topographiques de la BDTQ (1 : 20 000). Le modèle altimétrique numérique (MAN) fournit une altitude sur un maillage de 10 m x 10 m. Il est à noter que ce MAN a été redimensionné à un maillage de 100 m x 100 m pour faciliter la réalisation de livrables subséquents. La géométrie de ce dernier MAN a servi de patron pour tous les autres produits matriciels (c.-à-d. uniformisation de la taille des cellules).

La topographie de la région d'étude fluctue entre 217 m et 511 m d'élévation, pour un dénivelé total de 294 m et une moyenne de 318 m. Les Collines Abijévis (à la limite ouest de la zone d'étude) et le Mont-Vidéo (au centre-est de la région) constituent les points culminants du territoire à l'étude atteignant respectivement 480 et 460 m. Généralement, le territoire montre un relief plat où les variations d'altitude sont faibles (entre 300 m et 320 m d'altitude). Quelques crêtes sinueuses d'orientation nord-sud, associées aux eskers, brisent la continuité de la plaine argileuse. Ces crêtes peuvent atteindre, par endroit, plus de 40 m au-dessus de la plaine.

La réalisation d'un MAN sur le territoire a permis de générer un modèle exprimant la pente du sol (annexe A-2). Celle-ci (carte 6) indique l'intensité de l'inclinaison, en degrés, entre deux points d'altitude. La précision de ce produit cartographique est intimement liée à la qualité du MAN. Sur le territoire du PACES-AT1, les secteurs présentant les plus fortes pentes correspondent habituellement aux secteurs où le socle rocheux exerce un contrôle sur le relief, soit les hauts topographiques. Les eskers s'observent eux aussi par de plus fortes pentes suivant un axe nord-sud. Dans la plaine, les faibles variations d'altitude se reflètent par des pentes quasi nulles (<1°).

## 2.7 Bassins versants

Un bassin versant constitue une portion de territoire où les eaux de surface sont drainées dans un cours d'eau commun, qui lui, les achemine ensuite vers un exutoire unique. Les limites du bassin versant sont physiquement délimitées par les hauteurs du territoire formant une ligne imaginaire appelée « ligne de partage des eaux » (MDDEFP, 2012). Il est à noter que ces limites des bassins versants du réseau hydrographique de surface ne correspondent pas nécessairement aux limites des bassins de l'eau souterraine. Dans le cadre du projet PACES-AT1, les Bassins hydrographiques du Québec, à l'échelle du 1 : 250 000 produit par le *Centre d'expertise hydrique du Québec* (CEHQ) ont servi de base pour la réalisation de la carte 7. Le territoire est traversé par la ligne de partage des eaux qui sépare le bassin hydrographique du Saint-Laurent et celui de la Baie-James. Les bassins versants de la rivière Harricana, de la rivière Moose et de la rivière Nottaway (bassins versants de niveau 1) acheminent les eaux vers le nord dans la Baie-James alors que celui de la rivière des Outaouais, les achemine vers le sud, dans le Saint-Laurent. À l'intérieur de ces bassins, des sous-bassins (niveau 2) les subdivisent. La superficie couverte pour chaque bassin de niveaux 1 et 2 est présentée dans le tableau 2.6.

Dans le cadre du découpage du Québec méridional en zones de gestion intégrée de l'eau réalisé par le MDDEFP (MDDEFP, 2012), deux organismes de bassin versant ont été fondés en 2010 en Abitibi-Témiscamingue, soit l'organisme de bassin versant Abitibi-Jamésie (OBVAJ) et l'organisme de bassin versant du Témiscamingue (OBVT). Leur mission est selon la loi sur l'eau (Art. 14, alinéa 3a) « d'élaborer et de mettre à jour un plan directeur de l'eau et d'en promouvoir et suivre la mise en œuvre, en s'assurant d'une représentation équilibrée des utilisateurs et des divers milieux intéressés, dont le

milieu gouvernemental, autochtone, municipal, économique, environnemental, agricole et communautaire, dans la composition de cet organisme ». Les territoires couverts par ces deux organismes sont répartis de part et d'autre de la ligne de partage des eaux séparant les deux grands bassins hydrographiques.

**Tableau 2.6 : Bassins versants du territoire PACES-AT1**

Organisme de bassin versant (OBV) <sup>1</sup>	Bassin versant niveau 1	Superficie <sup>2</sup> (km <sup>2</sup> )		Bassin versant niveau 2	Superficie <sup>2</sup> (km <sup>2</sup> )	
		Total <sup>3</sup>	Zone PACES		Total <sup>3</sup>	Zone PACES
Abitibi-Jamésie (OBVAJ)	Rivière Harricana	28 496,1	4 365,0	Rivière Berry	174,8	133,1
				Rivière Bourlamaque	668,4	663,5
				Rivière Davy	461,7	461,7
				Rivière Milky	977,0	334,0
				Rivière Octave	990,4	99,7
	Rivière Nottaway	65 778,4	2 404,0	Rivière des Indiens	22 390,9	2 404,0
	Rivière Moose	7 088,2	355,0	Rivière Abitibi	7 088,2	355,0
Témiscamingue (OBVT)	Rivière des Outaouais	102 741,0	2 062,9	Rivière Darlens	305,5	3,4
				Rivière Kinojévis	4 137,6	2 043,8

<sup>1</sup> ROVBQ (s.d.).

<sup>2</sup> Les calculs de superficie ont été réalisés en employant la projection UTM NAD83 zone 17.

<sup>3</sup> Les superficies ont été calculées pour les portions québécoises.

## 2.8 Hydrographie

Les eaux de surface drainées dans les bassins versants de niveaux 1 et 2 du PACES-AT1 forment un réseau hydrographique généralement dendritique (carte 8). Les données hydrographiques présentées sur la carte 8 proviennent de la Base de données pour l'aménagement du territoire, à l'échelle 1 : 100 000. La superficie totale des plans d'eau est estimée à plus de 600 km<sup>2</sup>, soit près de 7 % du territoire. Le tiers de cette superficie est occupé par les lacs Malartic (75,8 km<sup>2</sup>), de Montigny (50,4 km<sup>2</sup>) et Preissac (72,7 km<sup>2</sup>). Le tableau 2.7 présente les principales rivières du territoire, ainsi que les lacs qu'elles drainent et leurs exutoires.

**Tableau 2.7 : Principales rivières du territoire PACES-AT1**

Principale Rivière	Lac (s)	Exutoire
Rivière Harricana	Blouin	Baie-James
	Lemoine	
	De Montigny	
	Mourier	
	Malartic	
	La Motte	
	Figury	
	Obalski	
Rivière Laflamme	Fiedmont	Baie-James
Rivière Bell	Parent	Baie-James
	Pascalis	
	Senneterre	
	Tiblemont	
Rivière Kinojévis	Preissac	Rivière des Outaouais

## 2.9 Couverture végétale

La carte de la couverture végétale (carte 9) présente la répartition spatiale des différents peuplements forestiers (les zones non cartographiées correspondent à d'autres catégories d'occupation du sol présentées à la carte 3). Ces derniers proviennent de regroupements effectués à partir des types écologiques du 3<sup>e</sup> inventaire écoforestier réalisé par le MRNF (annexe A-3). Les types écologiques se définissent comme étant des unités de classification caractérisant le type forestier (*p. ex.* composition, structure et dynamique) et la physique du milieu (*p. ex.* épaisseur du sol, texture et drainage) (Boulfroy et al., 2010). Le type forestier décrit le peuplement actuel ainsi que le sous-bois associé. Un type écologique peut donc regrouper plus d'un type forestier, correspondant ainsi à autant de stades évolutifs des peuplements (Blouin et Berger, 2003). Évoluant dans des habitats particuliers (*p. ex.* climatiques, hydrologiques, pédologiques), la connaissance des espèces dominantes peut s'avérer fort utile afin de déceler des particularités régionales. À titre d'exemple, le frêne noir (*Fraxinus nigra* Marsh) s'établit en sols humides et marécageux, alors que le pin gris (*Pinus divaricata* Ait Dumont) est une essence xérophyte et déserte ces mêmes sols préférés par le frêne noir (MRNF, 2011). Le tableau 2.8 présente les sept types de peuplement retrouvés sur le territoire PACES-AT1, les différents types écologiques regroupés, ainsi que leur superficie.

**Tableau 2.8 : Couverture végétale du territoire PACES-AT1**

Peuplement forestier	Types écologiques regroupés <sup>1</sup>	Superficie (km <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>	Superficie (%) <sup>3</sup>
Bétulaie jaune à sapin	MJ25	0,1	<0,1
Frênaie noire à sapin	MF16	0,2	<0,1
Inconnu		2,5	<0,1
Pessière blanche	RB13-RB16	0,5	<0,1
Pessière noire	RE11-RE12-RE20-RE21-RE22-RE23-RE24-RE25-RE25P-RE26	657,7	14,0
Pessière noire à peuplier faux-tremble	ME13-ME16	658,3	14,0
Pinède blanche ou pinède rouge	RP11	0,2	<0,1
Sapinière	MS11-MS12-MS13-MS15-MS16-MS20-MS21-MS22-MS22P-MS23-MS24-MS25-MS26-MS60-MS61-MS62-MS63-MS64-MS65-MS66-RS11-RS12-RS13-RS15-RS16-RS20-RS21-RS22-RS22M-RS23-RS24-RS25-RS25S-RS26	3379,9	71,9
<b>Total</b>		<b>4699,4</b>	<b>100,0</b>

<sup>1</sup> MRNF (2011).

<sup>2</sup> Les calculs de superficie ont été réalisés en employant la projection UTM NAD83 zone 17.

<sup>3</sup> Fait référence à la superficie des couvertures végétale, et non le territoire PACES-AT1 entier.

Hormis quelques peuplements de feuillus (<0,1 %), la région est dominée par les résineux (99,99 %), tout particulièrement par le Sapin baumier (*Abies balsamea* L. Mill.) et l'épinette noire (*Picea mariana* Mill BSP), soit deux conifères préférant les sols humides (Victorin et al., 2002). La portion méridionale du territoire est presque uniquement occupée par les sapinières, alors que la partie septentrionale laisse place à la pessière noire et la pessière noire à peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx). Presque toutes les pessières noires sont localisées sur les formations granulaires (*c.-à-d.* eskers et moraine), tandis que les pessières noires à peupliers se retrouvent plutôt sur la plaine argileuse entre les eskers et la moraine.

Le type de sols expliquerait la distribution des peuplements majoritairement constitués d'épinettes noires. En effet, sur les argiles bien drainées et les argiles humides, des forêts productives sont établies, où peupliers, épinettes et multiples herbacées profitent de la richesse de la terre. En contrepartie, sur les sols pauvres, composés de sables grossiers, on retrouve de maigres forêts d'épinettes noires (Bergeron, 2000).

Les peuplements de pins gris, essence reconnue pour désertier les secteurs argileux (Victorin et al., 2002), croissent très bien sur les eskers (Miron, 2000). Toutefois, aucune trace de pinède grise n'est présente sur la carte de la couverture végétale. Une étude, menée par le Centre Collégiale de Transfert de Technologie en Foresterie (CERFO), a tenté de valider la concordance entre l'information du 3<sup>e</sup> inventaire écoforestier et la réalité du terrain. Leurs résultats démontrent qu'une concordance parfaite (c.-à-d. type forestier et physique du sol) entre les deux types d'inventaires, n'est obtenue que dans 37 % des cas (Boulfroy et al., 2009; CERFO, 2009). Les travaux du CERFO mettent en lumière les possibles erreurs contenues sur la carte de couverture végétale, d'éventuelles omissions de peuplement plus restreint ainsi que l'échelle régionale à laquelle les travaux de cartographie ont été réalisés. Toutefois, mentionnons que les buts visés par ce produit cartographique, qui est de mettre de l'avant les tendances régionales des peuplements forestiers, sont malgré tout atteints par cette carte.

## 2.10 Milieux humides

Les milieux humides se définissent comme des terres saturées d'eau pendant une période assez longue pour que naissent des processus de terres humides ou aquatiques, qui se caractérisent par un faible drainage des sols, des hydrophytes et différentes sortes d'activités biologiques adaptées aux milieux humides (Groupe de travail national sur les terres humides, 1997). Ainsi, les milieux humides regroupent les sites saturés en eau ou inondés durant une période suffisante pour influencer la végétation et le substrat et constituent généralement une zone de transition entre les écosystèmes aquatiques et terrestres (Buteau et al., 1994). Bien qu'il soit possible de distinguer plusieurs types de milieux humides, les limites entre les écosystèmes aquatiques, semi-aquatiques et terrestres constituent un continuum (Buteau et al., 1994). Une discussion exhaustive des différentes classifications des milieux humides, en lien avec les classifications pédologiques, va au-delà de la portée du présent rapport. Pour de plus amples renseignements quant à ces aspects, le lecteur est référé au Système canadien de classification des sols (Groupe de travail sur la classification des sols, 2002).

Dans le cadre de la présente étude, la stratégie de classification des différents types de milieux humides a été réalisée, dans la mesure du possible, dans un souci de conformité avec le cadre légal québécois. La Loi sur la qualité de l'environnement (LQE), article 22 (L.R.Q., c. Q-2), 2<sup>e</sup> alinéa stipule que :

*« Cependant, quiconque érige ou modifie une construction, exécute des travaux ou des ouvrages, entreprend l'exploitation d'une industrie quelconque, l'exercice d'une activité ou l'utilisation d'un procédé industriel ou augmente la production d'un bien ou d'un service dans un cours d'eau à débit régulier ou intermittent, dans un lac, un étang, un marais, un marécage ou une tourbière doit préalablement obtenir du ministre un certificat d'autorisation. »*

Ainsi, les étangs (c.-à-d. plan d'eau surfacique ayant une superficie égale ou inférieure à 8 hectares (Ménard et al., 2006)), les marais (c.-à-d. « [...] dominés par des plantes herbacées sur substrat minéral [...] submergé au cours de la saison de croissance. » (MDDEP, 2007)), les marécages (c.-à-d. « [...] dominés par une végétation ligneuse, arborescente ou arbustive [...] soumis à des inondations

saisonniers, caractérisés par une nappe phréatique élevée et une circulation d'eau enrichie en minéraux. » (Payette et Rochefort, 2001)) et les tourbières (*c.-à-d.* « Milieu à drainage variable où le processus d'accumulation organique prévaut sur le processus de décomposition et d'humification [...] » (Payette et Rochefort, 2001)) ont été retenus pour la réalisation de la carte des milieux humides. Les définitions retenues pour ces termes concordent avec le *Guide d'interprétation, Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables du MDDEFP* (MDDEP, 2007).

La carte des milieux humides (carte 10) a été générée en employant les données du 3<sup>e</sup> inventaire écoforestier, réalisé par le MRNF (annexe A-4). L'obtention des différents types de milieux humides est basée sur le document intitulé *Méthode de classification des milieux humides du Québec boréal à partir de la carte écoforestière du 3<sup>e</sup> inventaire décennal* (Ménard et al., 2006). Ce rapport technique, produit par *Canards illimités Canada*, fait mention des différentes requêtes cartographiques réalisées à partir du logiciel ArcGIS version 10 (ESRI, 2010), nécessaires pour circonscrire les secteurs de milieux humides. Toutefois, il importe de mentionner que cette méthodologie ne permet pas de distinguer les marais des lacs. Ainsi, la carte 10 présente la distribution spatiale des étangs, marécages et tourbières de la région d'étude (les zones non cartographiées correspondent à d'autres catégories d'occupation du sol (carte 3)). Enfin, le tableau 2.9 présente la superficie de chaque type de milieux humides.

**Tableau 2.9 : Classes de milieux humides du territoire PACES-AT1**

Milieux humides	Superficie (km <sup>2</sup> ) <sup>1</sup>	Proportion (%) <sup>2</sup>
Étangs (reliés au réseau hydrographique)	22,9	0,7
Étangs (isolés du réseau hydrographique)	2,6	<0,1
Marécages	2 033,2	62,7
Tourbières	1 181,8	36,5
<b>Total</b>	<b>3 240,5</b>	<b>100,0</b>

<sup>1</sup> Les calculs de superficie ont été réalisés en employant la projection UTM NAD83 zone 17.

<sup>2</sup> Fait référence à la superficie des milieux humides, et non au territoire PACES-AT1 entier.

Les marécages sont uniformément répartis en des zones restreintes sur le territoire, ils comptent pour 62,7 % des terres humides identifiées. Les tourbières, second type de milieux humides en importance (*c.-à-d.* 36,5 %), sont plutôt concentrées sur les flancs d'eskers (*p. ex.* eskers Saint-Mathieu-Berry, du lac Despinassy, de Senneterre ou la Moraine d'Harricana (carte 10)). Enfin, les deux catégories d'étangs, représentant moins de 1 % des milieux humides du territoire, se retrouvent majoritairement au sein des tourbières, alors que quelques-uns sont localisés sur les eskers et constituent des « lacs » de kettles.

## 2.11 Pédologie

La pédologie est le domaine de la science qui étudie les sols (Foucault et Raoult, 2005). Le *Centre de recherche et d'expérimentation des sols* a réalisé une étude sur les sols défrichés de l'Abitibi-Témiscamingue (Rompré et Carrier, 1997), et rendue disponible par l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA, s.d.). Cette étude décrit les sols selon le mode de déposition, les matériaux les constituant ainsi que certaines de leurs propriétés chimiques et physiques. Toutefois, uniquement 7 % de la région du PACES-AT1 est couvert par l'étude. Afin de combler la superficie manquante, l'information pédologique a été extraite du 3<sup>e</sup> inventaire écoforestier réalisé par le MRNF (MRNFP, 2004). La méthodologie employée pour intégrer et colliger les deux sources de données est expliquée à l'annexe A-5. La carte pédologie (carte 11) du secteur à l'étude permet de distinguer les textures et les classes de drainage des sols. La texture renseigne sur la granulométrie des

sédiments observés en surface tandis que le drainage informe sur la vitesse à laquelle les surplus d'eau s'évacuent dans le sol. Ce drainage est conditionné par la position topographique, la perméabilité du sol, l'assise rocheuse, l'épaisseur de dépôts meubles, l'abondance et la régularité des apports d'eau et le niveau de la nappe phréatique (MRNF, 2008). Ainsi, une classification est proposée pour mettre en évidence ces deux caractéristiques (les définitions sont présentées à l'annexe A-6). Cette classification pédologique s'avère fort utile en hydrogéologie puisqu'elle permet d'identifier rapidement les secteurs propices à l'infiltration de l'eau pouvant éventuellement contribuer à la recharge des aquifères et indique qualitativement la position de la nappe phréatique par rapport à la surface.

Pour le territoire du PACES-AT1, les sols sont caractérisés par six textures et six niveaux de drainage (tableau 2.10). Une classe supplémentaire a été créée lorsque le niveau de drainage était jugé complexe (ne s'applique pas). Pour le groupe des sols divers, les quatre classes réfèrent à des secteurs où le sol est pratiquement absent ou non cartographié.

Les sols à textures fines (sols argileux et loameux) dominent avec une couverture de 39 % du territoire. Le drainage dominant (imparfaitement drainé) suggère une nappe phréatique près de la surface, pouvant être à moins d'un mètre de profondeur pendant une période de l'année (MRNF, 2008). Ces sols sont localisés dans les secteurs de basse altitude (voir cartes 4 et 5). Les sols organiques (26,3 %) ont généralement un mauvais drainage et la nappe phréatique affleure à la surface pendant la quasi-totalité de l'année. Ces sols occupent souvent une position de transition entre les eskers et les sols à textures fines localisés au niveau de la plaine. Les sols à textures sablonneuse et graveleuse sont surtout regroupés au niveau des eskers, le drainage y est généralement bon à modérément bon, suggérant une nappe phréatique sous le premier mètre de sol. Finalement, les sols associés aux dépôts de till sont dominants sur les hauts topographiques, le drainage y est modérément bien drainé et la nappe phréatique se retrouve sous le premier mètre de dépôt. Il est à noter que l'utilisation de deux sources de données (c.-à-d. SIEF et IRDA) a généré quelques minimales superpositions incohérentes, dans ces cas, l'information issue de l'IRDA a été conservée.

Tableau 2.10 : Classes pédologiques du territoire PACES-AT1

Texture sol/Groupe sol	Niveau de drainage	Superficie (%)
<b>Sols argileux</b> 37,7 %	Rapidement drainé	<0,1
	Bien drainé	<0,1
	Modérément bien drainé	6,0
	Imparfaitement drainé	23,6
	Mal drainé	8,1
	Très mal drainé	<0,1
<b>Sols loameux</b> 1,3 %	Modérément bien drainé	0,1
	Imparfaitement drainé	0,9
	Mal drainé	0,3
<b>Sols sableux</b> 9,3 %	Rapidement drainé	<0,1
	Bien drainé	2,4
	Modérément bien drainé	3,8
	Imparfaitement drainé	2,4
	Mal drainé	0,4
	Très mal drainé	<0,1
	Ne s'applique pas	0,1
<b>Sols graveleux</b> 2,0 %	Rapidement drainé	<0,1
	Bien drainé	1,6
	Modérément bien drainé	0,3
	Imparfaitement drainé	<0,1
	Mal drainé	<0,1
	Ne s'applique pas	<0,1
<b>Sols issus de dépôts de tills</b> 12,7 %	Rapidement drainé	<0,1
	Bien drainé	2,7
	Modérément bien drainé	7,9
	Imparfaitement drainé	2,0
	Mal drainé	0,1
	Ne s'applique pas	<0,1
<b>Sols organiques</b> 26,3 %	Mal drainé	4,3
	Très mal drainé	22,0
	Ne s'applique pas	<0,1
<b>Autres</b> 10,7%	Affleurement rocheux	0,6
	Ravins et éboulis	<0,1
	Zone urbaine	0,1
	Non cartographié	9,9

### 3. Acquisition des données et caractérisation

La réalisation du projet PACES-AT1 a nécessité une compilation exhaustive des données hydrogéologiques et géologiques. Dans le présent chapitre, les travaux associés à la compilation des données existantes sont décrits. Une description détaillée des travaux spécifiques effectués au cours du projet PACES-AT1 est également présentée.

#### 3.1 Données hydrogéologiques

Au cours de la première phase du PACES-AT1, de nombreuses données hydrogéologiques ont été rassemblées et colligées à l'intérieur d'une base de données géoréférencées. La structure de la base de données est expliquée en détail dans le rapport du Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines – Montérégie-Est (Carrier et al., 2013). Certaines de ces données sont issues de 137 documents rendus disponibles grâce à la collaboration des différents ministères, MRC, villes, municipalités et organismes régionaux. En grande majorité, ces documents sont des rapports et des études hydrogéologiques issus de consultants ou ont été réalisés par des ministères, institutions ou organismes gouvernementaux. Il est à noter que des 137 documents consultés, 130 sont listés dans la section « Bibliographie des rapports » à la fin du rapport. Les sept documents non listés sont assujettis à des termes de confidentialité et ne peuvent être présentés.

L'information jugée pertinente a été extraite des documents consultés et associée à une position géographique. Les informations recherchées étaient :

- les descriptions de forages;
- les caractéristiques de puits d'observation et de piézomètres;
- la stratigraphie des dépôts meubles (sondages et forages);
- les données piézométriques;
- les données géochimiques;
- les essais de pompage;
- la localisation d'activités potentiellement polluantes.

Pour garder un lien entre l'information compilée dans la base de données et les documents originaux, ceux-ci ont tous été numérisés et indexés dans une base de données connexe (base de données Endnote) pour qu'ils soient facilement accessibles en tout temps.

D'autres données hydrogéologiques proviennent de bases de données déjà existantes. Dans ces cas, l'information a été jointe à la base de données du PACES-AT1 pour en créer une seule qui intègre l'ensemble des données hydrogéologiques du territoire. Ces sources de données sont :

- la Banque de Données Géochimique du Québec (MRN-BADGEQ);
- la Banque de la qualité du milieu aquatique (MDDEP-BQMA);
- la base de données du Ministère des Transports du Québec (MTQ-BD) ;
- le Réseau de suivi des eaux souterraines du Québec (MDDEP-RSESQ);
- le Système d'Information Hydrogéologique (MDDEP-SIH).

### 3.2 Données géologiques

En complément aux données hydrogéologiques, des bases de données parallèles ont été construites pour compiler les forages contenant essentiellement des informations sur l'épaisseur et la stratigraphie des dépôts meubles. Ces forages proviennent essentiellement de forages miniers compilés dans le Système d'information géominiers (SIGEOM) ou de rapports du MRN pour les forages ODM (*Overburden Drilling Managment*). Dans le cas des forages issus de SIGEOM, une correction a été appliquée à leurs coordonnées géographiques et à leur profondeur pour tenir compte de l'inclinaison de ces forages. Les forages ODM ont généralement un bon contrôle stratigraphique puisqu'ils ont été réalisés pour définir le cadre stratigraphique de certains secteurs ciblés et permettre l'échantillonnage du till. Des sondages fournis par le bureau régional du MTQ, basé à Rouyn-Noranda, ont aussi été compilés. Ces sondages ont été réalisés pour évaluer les potentiels granulaires de certains bancs d'emprunt. Ces sondages sont localisés majoritairement sur les eskers, mais fournissent des informations stratigraphiques sur des profondeurs excédant rarement 6 m.

### 3.3 Travaux de caractérisation

La compilation des données hydrogéologiques et géologiques disponibles sur le territoire et l'intégration des données territoriales ont fait ressortir des lacunes quant à des aspects précis et nécessaires à la présente étude et des faiblesses d'informations dans des secteurs spécifiques de la région, incluant :

- l'architecture des dépôts meubles;
- la géochimie des précipitations;
- la géochimie de l'eau souterraine;
- la localisation des activités anthropiques potentiellement polluantes (AAPP);
- la localisation et l'altitude des puits;
- les niveaux piézométriques;
- les propriétés hydrauliques.

Ces informations manquantes ont permis d'orienter les travaux de caractérisation du PACES-AT1. Ceux-ci, réalisés tout au long du projet, ont servi à compléter l'information existante. L'acquisition de connaissances supplémentaires pour chaque information manquante ou déficiente était l'objectif visé de la seconde phase du présent projet (Cloutier et al., 2011). Les travaux ont donc été planifiés pour tenter de répondre à plus d'un objectif à la fois (tableau 3.1). Toutefois, dans certains cas, des travaux spécifiques ont dû être planifiés dans le but de recueillir de l'information pour un seul objectif. Ainsi, en fonction de l'objectif visé, les travaux se sont effectués dans des secteurs spécifiques (à l'échelle locale), tel que des eskers, ou à l'ensemble du territoire (à l'échelle régionale). La sensibilisation de la population aux enjeux de l'eau souterraine s'est aussi ajoutée aux objectifs du projet. Les travaux de caractérisation réalisés au cours du projet sont identifiés au tableau 3.1 et décrits dans les sections subséquentes. Des photos prises par le GRES lors des campagnes de terrain (2010 et 2011) sont jointes afin d'illustrer certains travaux.

Tableau 3.1 : Résumé des travaux de caractérisation du PACES-AT1 et des objectifs visés

	Objectifs									
	Niveaux piézométriques	Suivi des niveaux piézométriques	Architecture des dépôts meubles	Paramètres hydrauliques	Géochimie de l'eau souterraine	Géochimie des précipitations	Localisation et altitude des puits	Localisation des activités anthropiques	Conscientiser la population	Mise à jour des infrastructures municipales
<b>Travaux de caractérisation</b>										
Repérage de puits							X			X
Échantillonnage de puits/piézomètres municipaux et gouvernementaux	X				X					X
Échantillonnage de puits privés	X				X		X		X	
Forages et installations de piézomètres	X	X	X	X						
Instrumentation de puits		X								
Tests hydrauliques				X						
Arpentage de puits et piézomètres							X			
Levés géophysiques	X		X							
Levés géologiques	X		X	X						
Échantillonnage de sources	X				X					
Suivi de précipitations						X				
Inventaire des activités anthropiques										X

### *3.3.1 Repérage de puits et piézomètres*

L'objectif des travaux de repérage des puits et piézomètres était de valider les données recueillies dans les rapports en effectuant le repérage sur le terrain. Cette étape a également permis de faire le bilan des ouvrages toujours existants et fonctionnels. Les coordonnées géographiques ont été relevées par GPS pour obtenir une localisation plus précise que la position extraite des rapports. Le repérage de puits a aussi permis de remesurer la position de la nappe phréatique lorsque les installations le permettaient. Chaque municipalité disposant de puits municipaux et/ou de piézomètres a participé, par la présence d'un représentant, au repérage de leurs ouvrages municipaux. Plusieurs municipalités en ont profité pour évaluer l'état des infrastructures en place, effectuer des opérations de maintenance (p. ex. remplacement de couvercles ou de cadenas, etc.) ou se sensibiliser aux enjeux de la protection des puits municipaux. Cette étape de reconnaissance a facilité la planification des travaux subséquents de caractérisation, puisqu'elle a permis de déterminer l'état et l'accessibilité des installations disponibles sur le territoire.

### *3.3.2 Échantillonnage de puits/piézomètres municipaux et gouvernementaux*

L'échantillonnage des puits et piézomètres municipaux constitue un indispensable pour connaître la composition géochimique de l'eau souterraine alimentant une grande partie de la population régionale. Compte tenu de leur bonne distribution spatiale sur le territoire, il a été jugé pertinent d'échantillonner au moins un puits d'alimentation en eau potable par municipalité, et ce, peu importe leur type d'aquifère. Ainsi, dix-huit puits municipaux de la région du PACES-AT1 ont été échantillonnés lors de la campagne de terrain à l'été 2010 (figure 3.1). Le puits de la municipalité de Preissac a été considéré comme un puits municipal puisque c'est un puits collectif géré par les habitants du village et les édifices municipaux y sont directement reliés. Trois autres puits municipaux, échantillonnés en 2006, ne sont pas présentés sur la figure 3.1. Il s'agit du puits municipal de Champneuf, le puits de pompage PE-96-1 de Landrienne et le puits de pompage numéro 1 de Saint-Félix-de-Dalquier.

Toujours au niveau municipal, l'eau souterraine de 33 piézomètres a été échantillonnée de 2009 à 2011. Ces piézomètres appartiennent aux municipalités d'Amos, de Malartic, de Senneterre et de Val-d'Or (figure 3.2). Des échantillons d'eau souterraine ont également été prélevés dans huit piézomètres du « Réseau de suivi des eaux souterraines du Québec » (RSESQ) du MDDEFP (figure 3.2). Ces piézomètres, bien documentés, constituent des sites idéaux pour l'échantillonnage de l'eau souterraine.

L'échantillonnage de l'eau souterraine des puits et piézomètres municipaux ainsi que gouvernementaux a été réalisé selon la procédure déterminée par le « Protocole d'échantillonnage des eaux souterraines » (annexe B-1). La réalisation de l'échantillonnage selon une méthodologie commune aux équipes du GRIES a permis d'obtenir des données comparables pour tous les projets PACES et avoir un consensus quant aux paramètres analysés. À chaque échantillonnage, un niveau d'eau a été mesuré, si possible, afin de bonifier la base de données hydrogéologiques.

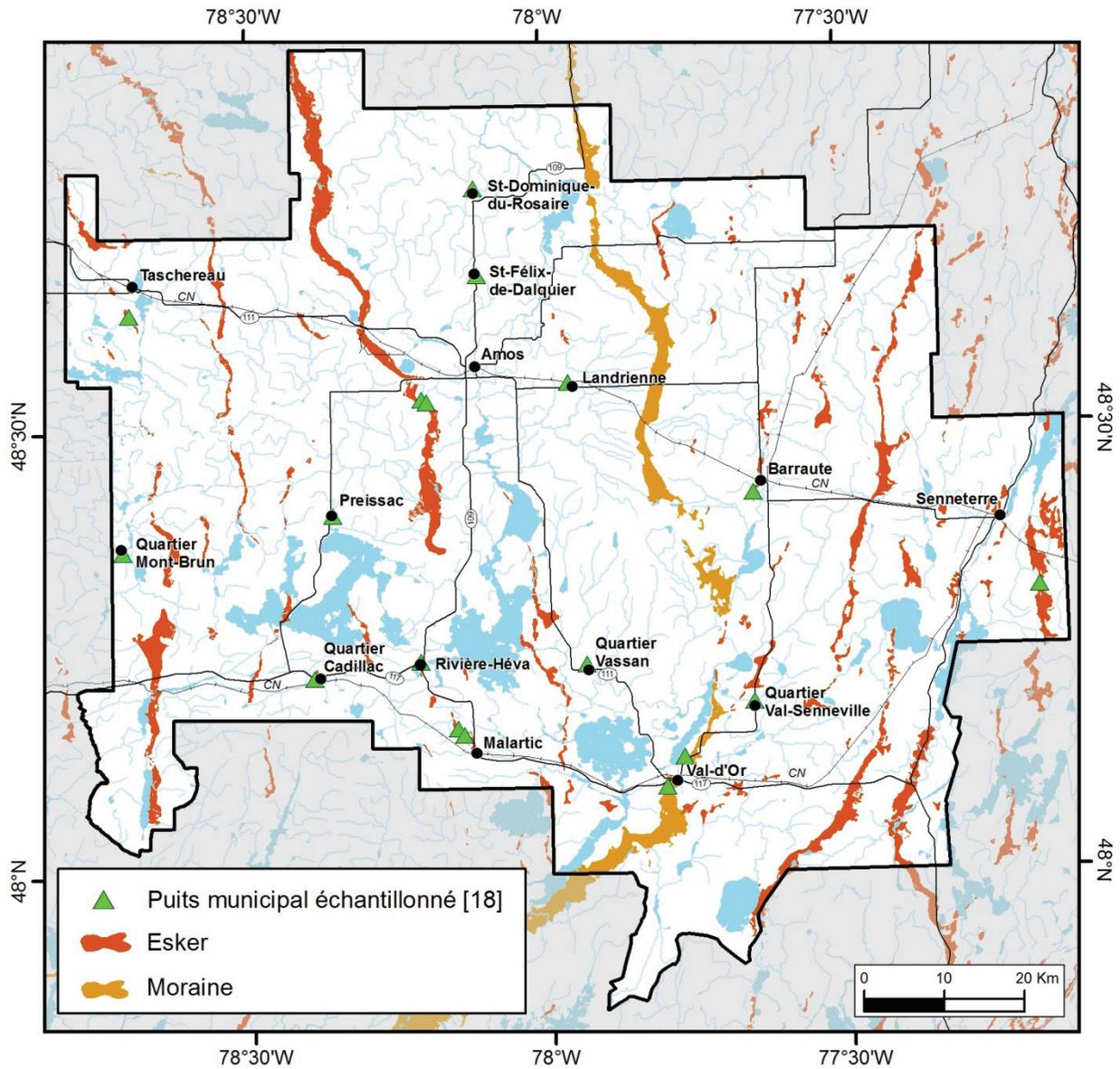


Figure 3.1 : Localisation des puits municipaux échantillonnés sur le territoire PACES-AT1 à l'été 2010.

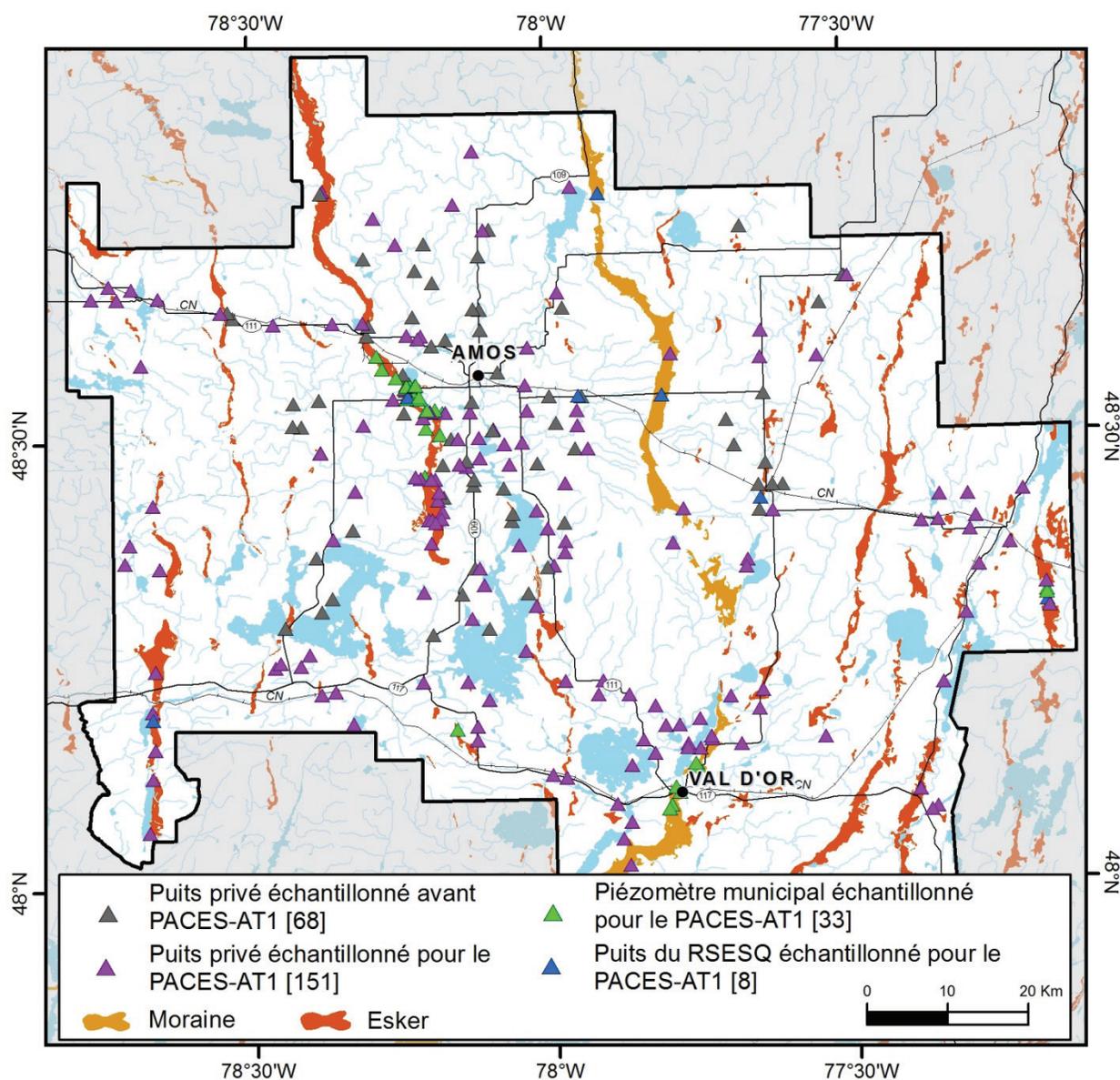


Figure 3.2 : Localisation des puits privés et piézomètres échantillonnés sur le territoire PACES-AT1.

### 3.3.3 Échantillonnage de puits privés

Une couverture spatiale complète pour la géochimie de l'eau souterraine a été obtenue en échantillonnant des puits privés (figure 3.2). Une cartographie basée uniquement sur le réseau de puits et piézomètres (municipaux et gouvernementaux) disponibles sur le territoire aurait été incomplète. Considérant que la plupart des résidents en milieu rural possèdent un puits, l'échantillonnage de ceux-ci permet de raffiner les mailles de la couverture géochimique régionale. Une première phase d'échantillonnage avait été réalisée en 2006 par l'UQAT pour produire une première caractérisation hydrogéochimique de la MRC d'Abitibi. De cette phase, des échantillons d'eau souterraine prélevés dans 68 puits privés ont été intégrés au PACES-AT1 pour la caractérisation géochimique de l'eau souterraine. Ainsi, pour le projet PACES-AT1, les travaux se sont orientés pour compléter la couverture existante de

la MRC d'Abitibi et faire un échantillonnage systématique sur le reste du territoire. Au total, l'eau souterraine de 151 puits privés a été échantillonnée de 2009 à 2011 pour compléter la couverture du territoire du PACES-AT1 (figure 3.2). Sous l'appellation « Puits privés », les 151 sites d'échantillonnage de l'eau souterraine regroupent des puits résidentiels, des piézomètres privés et des piézomètres mis en place par le GRES de l'UQAT (section 3.3.4) ainsi qu'un trou de sondage fait à la tarière manuelle dans l'esker Saint-Mathieu-Berry.

Pour ce qui est des puits de résidences privées, la sélection des puits échantillonnés s'est basée sur le niveau d'informations disponibles priorisant les puits possédant l'année de construction, le type d'aquifère (roc fracturé ou granulaire) et le type de nappe (libre ou confiné). L'année de construction d'un puits, généralement fournie dans la base de données SIH, a permis de sélectionner les puits récents (construits depuis 1995) puisqu'ils possèdent une localisation plus précise (adresse civique des propriétaires) et le nom des propriétaires (facilitant les contacts directs). Dans certains cas, des puits plus anciens (construits avant 1985) ont été favorisés puisqu'ils répondaient mieux aux autres critères de sélection. Le manque d'informations disponibles sur les puits de certains secteurs, notamment dans le secteur de l'esker Vaudray-Joannès, a engendré une phase de repérage préliminaire pour localiser visuellement des puits privés susceptibles d'être échantillonnés.

Des compagnies minières ont autorisé l'échantillonnage de leurs puits ou piézomètres. Ces installations se sont avérées importantes pour le projet puisqu'elles sont généralement localisées dans des zones à l'écart de la population où les données hydrogéologiques sont rares voire inexistantes.

Le prélèvement d'eau dans les puits privés a été réalisé selon la procédure déterminée par le « Protocole d'échantillonnage des eaux souterraines » (annexe B-1). Les analyses géochimiques ont été effectuées par le laboratoire Maxxam Analytique. Des échantillons ont aussi été analysés par le centre de recherche GEOTOP de l'UQÀM pour établir la signature isotopique de la molécule d'eau ( $\delta^2\text{H}$  et  $\delta^{18}\text{O}$ ).

Au cours de la campagne d'échantillonnage, des niveaux d'eau ont été mesurés dans les puits où les installations le permettaient (figure 3.3). L'acquisition de ces données a permis d'augmenter le contrôle de la piézométrie régionale tout en accroissant sa fiabilité. Dans tous les cas, une coordonnée géographique a été relevée permettant la mise à jour de la base de données. Cette campagne de terrain a aussi permis d'informer la population des objectifs du projet PACES-AT1 et de les sensibiliser face aux enjeux associés à l'eau souterraine.



**Figure 3.3 : Photos de la campagne d'échantillonnage des puits privés:** A- mesure du niveau piézométrique; B- analyse des paramètres in situ; C- échantillonnage d'un puits privé; D- échantillonnage d'un piézomètre municipal.

### ***3.3.4 Forages et installations de piézomètres***

En collaboration avec le MRN et les municipalités concernées, des piézomètres, appareils qui mesurent la charge hydraulique ou la pression de l'eau interstitielle (Chapuis, 1999), ont été implantés à des endroits stratégiques pour obtenir des informations sur (1) le niveau de la nappe phréatique, (2) la stratigraphie des dépôts meubles, (3) les paramètres hydrauliques des aquifères et (4) la géochimie de l'eau souterraine. Deux campagnes de terrain ont été effectuées à cet égard (figure 3.4). Pour tous les piézomètres réalisés, les travaux se sont orientés vers certains segments d'eskers et moraines permettant d'acquérir de nouvelles connaissances dans des secteurs dépourvus de données fiables, ou pour accroître la densité de points de contrôle d'un segment d'esker déjà bien instrumenté (p. ex. l'esker Saint-Mathieu-Berry).

La première campagne s'est effectuée à l'automne 2010. Elle a été menée en étroite collaboration avec l'INRS-ETE qui a fourni l'équipement nécessaire à la réalisation des travaux ainsi que le personnel. Au final, 14 piézomètres ont été aménagés dans l'esker Saint-Mathieu-Berry. Ils ont été mis en place dans les municipalités d'Amos (5), Saint-Mathieu-d'Harricana (5) et La Motte (3) de manière à réaliser des coupes transversales de l'esker. Ces forages ont été réalisés par enfouissement et l'interprétation des

données prises par senseurs (CPT et RPSS) lors du forage a permis de déterminer la stratigraphie des dépôts meubles. Ces piézomètres ont été conçus avec un tubage de 1 pouce (intérieur) de diamètre et un tubage de protection en PVC. Dépendamment de la granulométrie des sédiments, les piézomètres employés ont soit une longueur de crépine de 1,5 ou 3 m. Les forages présentant une granulométrie plus fine sont équipés d'une crépine plus longue. Les descriptions géologiques et les caractéristiques des piézomètres installés sont présentées à l'annexe B-2.

Une deuxième campagne réalisée à l'automne 2011 a permis d'installer 16 piézomètres sur les crêtes d'eskers de la région. Deux ont été installés sur l'esker de Senneterre, un sur la Moraine d'Harricana à la hauteur de Landrienne, deux sur l'esker Vaudray-Joannès et onze sur l'esker Saint-Mathieu-Berry répartis comme suit : sept au nord des puits municipaux de la Ville d'Amos, une grappe de trois piézomètres à Saint-Mathieu-d'Harricana et un dans la municipalité de la Motte. Ces forages, réalisés par Géopro Lapointe, ont été effectués à l'aide d'une foreuse à double rotation (*Dual Rotary Drilling*) qui permet d'échantillonner en continu le matériel meuble. Les changements granulométriques sont clairement observables ce qui offre un bon contrôle de l'épaisseur des faciès rencontrés. Ces forages de 6 pouces ont permis l'installation de piézomètres au tubage de 2 pouces de diamètre interne avec une crépine de 1,5 m de long. De la bentonite a été utilisée pour sceller le pourtour de tous les piézomètres et ainsi empêcher un écoulement préférentiel de l'eau le long du tubage. Dans chaque cas, un échantillon d'eau a été prélevé pour déterminer la composition géochimique de l'eau et mesurer ses paramètres in situ tel qu'indiqué dans le protocole d'échantillonnage des eaux souterraines présenté à l'annexe B-1. Enfin, un niveau d'eau, avant pompage, a été mesuré pour chaque piézomètre. Les descriptions géologiques et les caractéristiques des piézomètres installés sont présentées à l'annexe B-2. La figure 3.5 illustre les foreuses employées et certaines étapes associées aux forages et à l'installation de piézomètres.

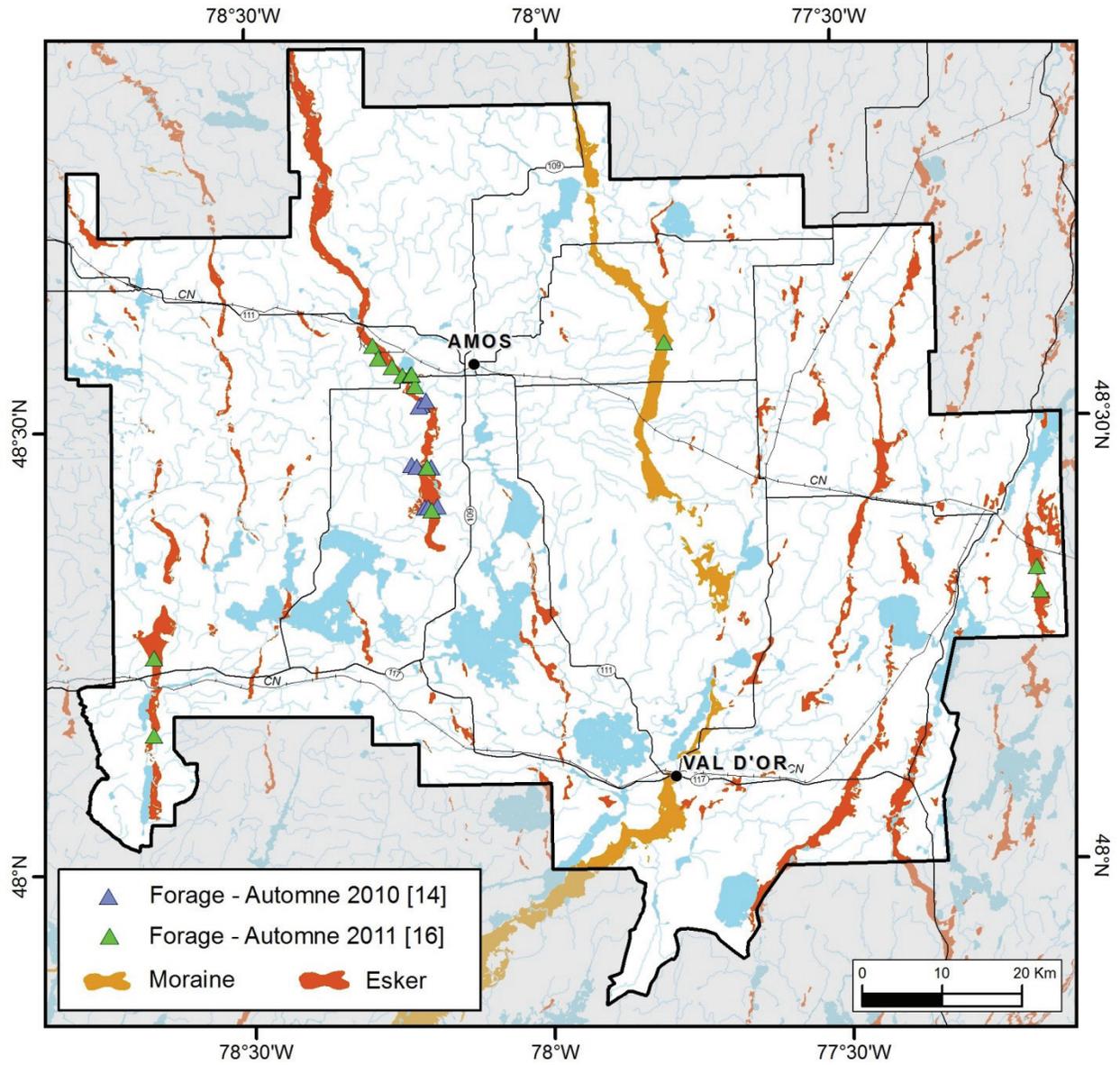
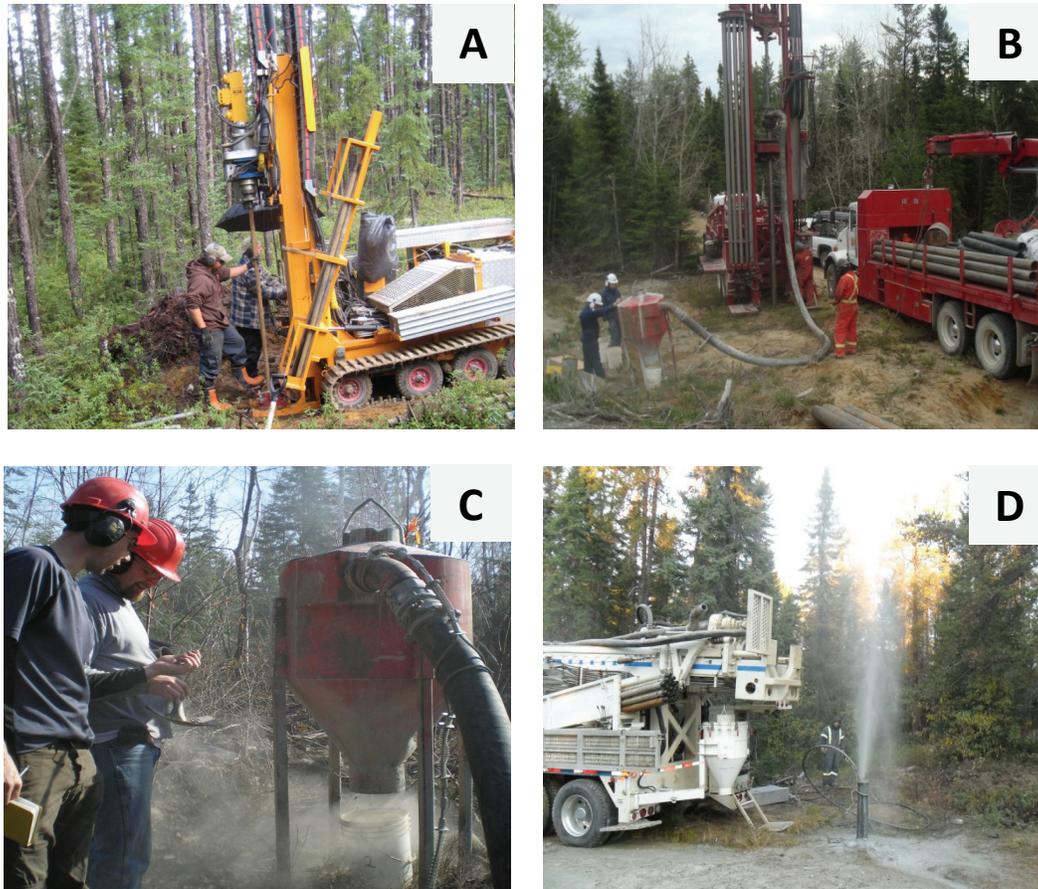


Figure 3.4 : Localisation des forages effectués sur le territoire PACES-AT1.



**Figure 3.5 : Photos des campagnes de forage :** A- forage de la foreuse géotechnique Geotech 605D de l'INRS-ETE; B- forage de la foreuse Dual Rotary Drilling; C- description stratigraphique des sédiments forés; D- développement d'un piézomètre aménagé.

### *3.3.5 Instrumentation de piézomètres*

Pour assurer un suivi du niveau piézométrique au niveau des eskers, le GRES a installé des capteurs à pression (Levellogger gold LT F30/M10 Model 3001 de Solinst) dans 29 piézomètres. Le détail des sites instrumentés est présenté à la section 6.5.3. L'installation de ces capteurs à pression est complémentaire au réseau de suivi des eaux souterraines du MDDEFP (s.d.-b). Les capteurs à pression sont programmés pour prendre une mesure du niveau piézométrique aux six heures, soit quatre lectures par jour (7 h, 13 h, 19 h et 1 h). Cette programmation est la même que les capteurs à pression installés en région par le MDDEFP (s.d.-b). Deux des 29 capteurs à pression installés par le GRES sont combinés à des capteurs qui mesurent la pression atmosphérique (Barologger LT F5/M1,5 Model 3001 de Solinst). Les mesures obtenues du « Barologger » doivent être soustraites des mesures de niveaux collectés par les « Levellogger », permettant d'isoler la pression nette exercée par la colonne d'eau sur le « Levellogger » et ainsi obtenir des élévations de la nappe phréatique plus précises.

### 3.3.6 Essais hydrauliques

Des essais hydrauliques ont été effectués pour combler certaines lacunes concernant les paramètres hydrauliques, entre autres, la conductivité hydraulique (K). La réalisation de quelques produits cartographiques, notamment l'indice de vulnérabilité DRASTIC (section 5.6) et la transmissivité des aquifères granulaires (section 6.1.1), a nécessité la distribution des valeurs de la conductivité hydraulique (K) sur l'ensemble du territoire. Deux méthodes ont permis d'acquérir de nouvelles valeurs de K des formations granulaires : des essais de perméabilité à charge variable (*slug test*) et des essais au perméamètre de Guelph. Les essais de perméabilité à l'air, un par site, ont été effectués dans 15 des 16 piézomètres installés lors de la campagne de forage de 2011, le seizième piézomètre étant installé dans l'aquifère de roc (annexe B-2). Ces 15 essais de perméabilité ont permis d'obtenir des valeurs de conductivité hydraulique des dépôts meubles situés au niveau de la crépine. Les 75 essais au perméamètre de Guelph ont été réalisés sur les matériaux granulaires à la surface et principalement au niveau des eskers. Les eskers qui ont été ciblés par ces essais sont ceux de Malartic, Saint-Mathieu-Berry, Senneterre, Vaudray-Joannès ainsi que la Moraine d'Harricana. Les valeurs de la conductivité hydraulique obtenues des deux types d'essais hydrauliques ont été intégrées à la base de données du projet (BDterrain, section 3.4).

### 3.3.7 Arpentage des puits et piézomètres

L'exactitude de la carte piézométrique et des directions d'écoulement dépend de la précision des valeurs d'élévation du niveau statique de la nappe. Ainsi, des travaux ont été menés pour arpenter certains puits. Les mesures ont été effectuées avec un GNSS (Global Navigation Satellite System) modèle R8 de Trimble qui dispose d'une précision millimétrique. Pour limiter l'erreur sur la mesure, toutes les mesures ont été basées sur le réseau de bornes géodésiques du Québec.

Le choix des puits et piézomètres arpentés a été fait en fonction de leur position stratégique face à l'écoulement régional. Tous les puits d'observation du « Réseau de suivi de l'eau souterraine » du MDDEFP (MDDEFP, s.d.-b), les piézomètres installés en 2010 et 2011 ainsi que les piézomètres additionnels munis de capteurs à pression ont été arpentés.

### 3.3.8 Levés géophysiques

Deux types de levés géophysiques ont été employés au cours du projet PACES-AT1, soit le géoradar et la résistivité électrique. Ces derniers ont permis de relever, en continu, l'épaisseur des unités lithostratigraphiques, la topographie du socle rocheux et, dans certains cas, la position de la nappe phréatique. L'utilisation des données stratigraphiques de forages compilés pour le territoire et la complémentarité des deux types de levés ont permis de créer des coupes stratigraphiques détaillées de certains secteurs ciblés (section 4.4.2.2).

Un total de 35 profils géoradar, totalisant plus de 45 km, ont été acquis en priorisant les flancs d'eskers. Les emplacements finaux des profils effectués ont été choisis en fonction de l'accessibilité des sites, de la présence de puits ou forages offrant une source de validation et de la volonté d'obtenir la meilleure couverture spatiale possible. Pour réduire l'imprécision de l'élévation des réflecteurs obtenus dans les profils, la position géographique et l'altitude des profils ont été mesurées en continu à l'aide du GNSS R8 de Trimble. La conversion temps/profondeur a été effectuée en employant une vitesse moyenne de  $0,087 \text{ m ns}^{-1}$ , celle-ci est basée sur 19 analyses de *common-midpoint* (CMP). Le tableau 3.2 présente une

synthèse des travaux effectués avec le géoradar. L'annexe B-3 décrit les concepts de base de la technique, l'appareillage utilisé et le traitement des données.

**Tableau 3.2 : Synthèse des profils géoradar acquis**

Esker / Moraine	Profils	CMP	Longueur (km)
Esker Saint-Mathieu-Berry	13	7	19,3
Esker de Malartic	4	2	4,9
Moraine d'Harricana	7	6	6,1
Esker de Senneterre	4	2	5,6
Esker Vaudray-Joannès	7	2	9,3
<b>Total</b>	<b>35</b>	<b>19</b>	<b>45,2</b>

Un total de 13 pseudo-sections (profils) de résistivité électrique ont aussi été acquis totalisant près de 8 km. Les pseudo-sections de résistivité électrique ont généralement été couplées aux profils géoradar pour compléter et corréliser certains réflecteurs, et ainsi créer des coupes stratigraphiques détaillées (section 4.4.2.2). Le tableau 3.3 présente une synthèse des données récoltées à l'aide du résistivimètre. L'annexe B-4 résume les concepts de base de la résistivité électrique, l'appareillage utilisé dans le cadre du projet PACES-AT1 et le traitement des données.

**Tableau 3.3 : Synthèse des pseudo-sections de résistivité acquises**

Esker / Moraine / Secteur	Pseudo-sections	Longueur (m)
Barraute	1	360
Esker Saint-Mathieu/Berry	3	1 260
La Motte	1	360
Esker de Malartic	1	360
Moraine d'Harricana	2	1 620
Esker de Senneterre	3	1 980
Esker Vaudray-Joannès	2	1 980

La figure 3.6 présente la localisation des profils de géoradar et de résistivité électrique sur le territoire PACES AT1.

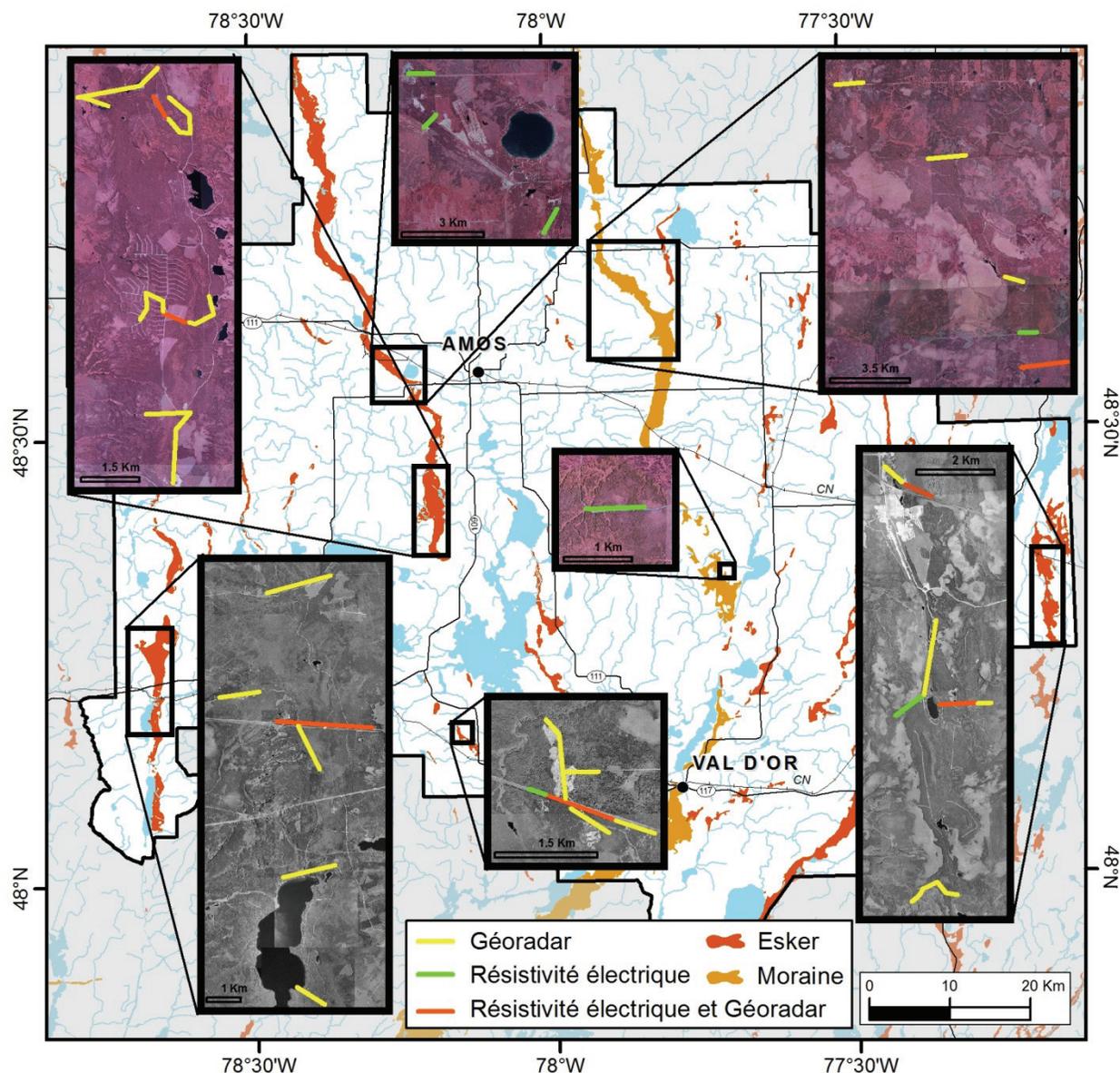
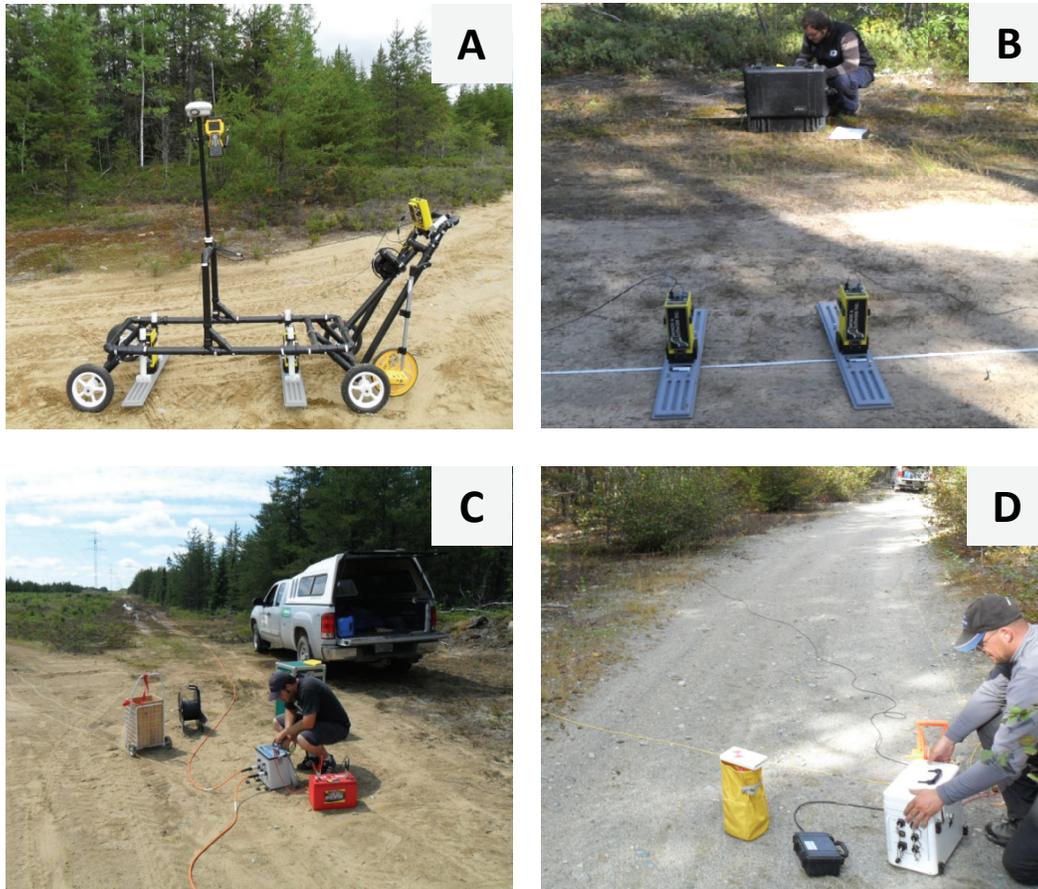


Figure 3.6 : Localisation des travaux de géoradar et de résistivité électrique sur le territoire PACES-AT1.

Des levés de *Time-Domain Electromagnetic* (TDEM) ont été réalisés en collaboration avec l'équipe du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines – Saguenay-Lac-Saint-Jean (PACES-SLSJ) de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC). Les pseudo-sections obtenues par cette méthode géophysique n'ont pas été incorporées au sein du présent rapport. Toutefois, elles apparaissent à l'annexe B-5 et ont été utilisées pour valider l'interprétation de la résistivité électrique et pour discuter de l'interpolation effectuée entre deux forages lors de la conception des coupes stratigraphiques dépourvues d'autres méthodes géophysiques. La figure 3.7 montre des photos des trois types de levés géophysiques réalisés au cours du projet PACES-AT1.

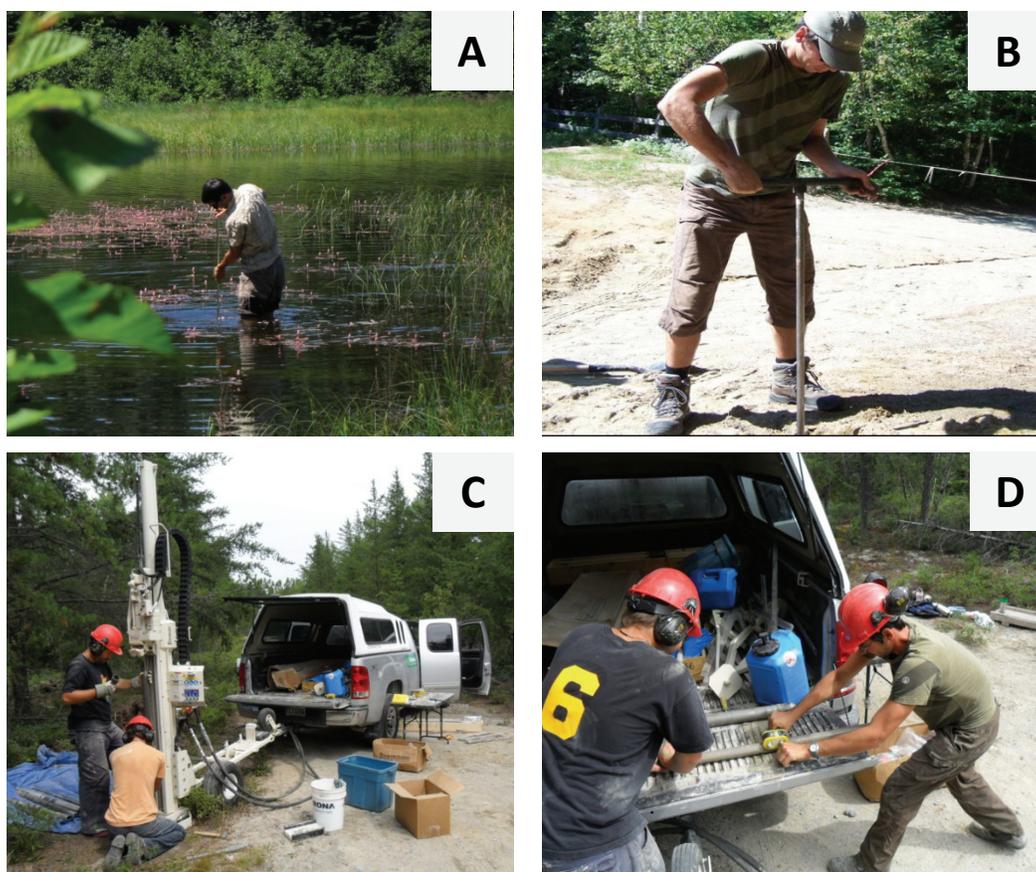


**Figure 3.7 : Photos des campagnes d'acquisition de données géophysique** : A- bolide équipé du géoradar et du GNSS; B- géoradar Pulso EKKO Pro; C- résistivimètre SYSCAL Pro SWITCH 72; D- Time-Domain Electromagnetic (TDEM) NT32.

### 3.3.9 Levés géologiques

Plusieurs types de levés géologiques ont été effectués au cours du projet PACES-AT1 (figure 3.8). Ces travaux ont notamment servi à accroître la connaissance sur l'architecture des dépôts meubles sur le territoire. Les levés géologiques ont plus particulièrement visé l'acquisition d'informations en flancs d'eskers. Des sondages à la tarière, à la sonde Oakfield et à l'aide de la foreuse Géoprobe 540MT ont permis d'acquérir l'épaisseur des unités lithostratigraphiques à la surface des flancs d'eskers, d'échantillonner les dépôts meubles pour en déduire certaines propriétés hydrauliques et, dans certains cas, de mesurer l'élévation de la nappe phréatique.

Les travaux de terrain ont par ailleurs permis l'ajout d'affleurements rocheux à la compilation existante et permis la validation de quelques sources identifiées par photo-interprétation. Les sources ponctuelles constituent de bons points de contrôle pour le niveau piézométrique. Les différents sondages et observations offrent également d'excellentes opportunités quant à la validation de l'interprétation des levés géophysiques. Effectués à certains endroits précis sur les profils, les sondages permettent de corréler certains réflecteurs aux données réelles, confirmant l'interprétation des profils.



**Figure 3.8: Photos des campagnes d'acquisition de données géologiques :** A- sondage à la Oakfield; B- sondage à la trière AMS; C- forage à la Géoprobe 540MT; D- extraction d'une carotte sédimentaire d'un forage Géoprobe 540MT.

### 3.3.10 Échantillonnage de sources

L'échantillonnage de 28 sources associées aux eskers réalisé par Castelli (2012) a permis d'ajouter à la base de données des informations sur la composition géochimique de l'eau souterraine. Les sources constituent des sites d'échantillonnage de premier plan, car (1) elles permettent un accès direct à l'eau souterraine et (2) elles sont des points de contrôles fiables au niveau des eskers pour la production d'une carte piézométrique. L'échantillonnage des eaux de source a donc contribué à mettre de l'avant la variabilité spatiale de la composition géochimique de l'eau souterraine.

La sélection des 28 sources (figure 3.9), répertoriées antérieurement par Champagne (1988) et Nadeau (2011), est basée sur leur accessibilité, leur débit et sur la certitude que ce sont bel et bien des eaux souterraines représentatives des aquifères associés aux eskers. Pour en faire des points de contrôles fiables pour la production d'une carte piézométrique, les 28 sources ont été arpentées à l'aide du GNSS R8 de Trimble (figure 3.10).

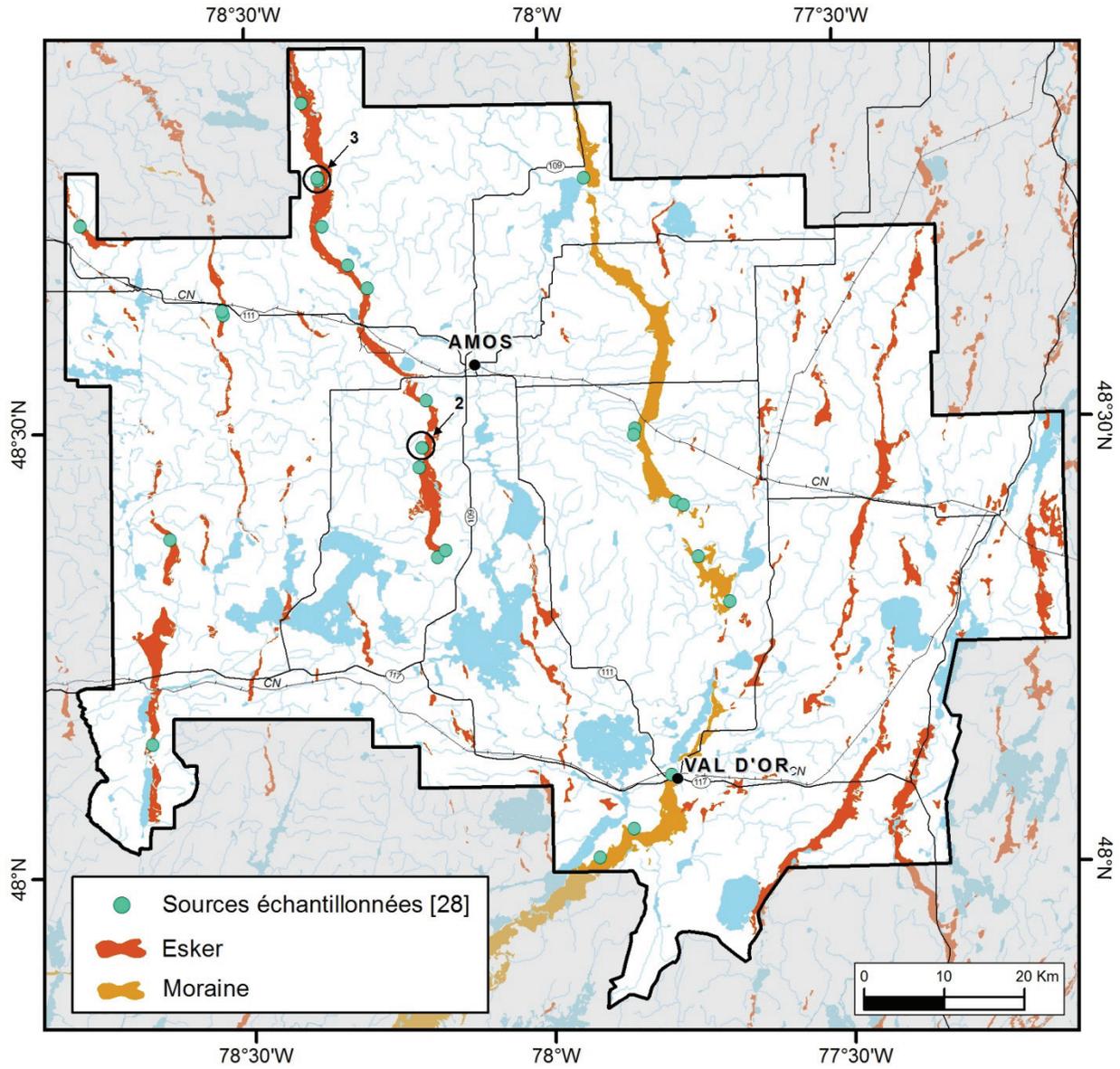


Figure 3.9 : Localisation des sources échantillonnées sur le territoire PACES-AT1.



Figure 3.10 : Photos des travaux de terrain de caractérisation des sources : A- échantillonnage d'une source; B- collecte d'eau; C- mesure de paramètres in situ; D- arpentage.

### 3.3.11 Suivi des précipitations

Dans le cadre du projet PACES-AT1, un suivi des précipitations a été entamé en septembre 2009 pour construire la droite locale des eaux météoriques. Les échantillons (37) collectés mensuellement depuis septembre 2009 au site même du GRES à l'UQAT, ont été analysés par le centre de recherche GEOTOP de l'UQAM pour déterminer la signature isotopique de la molécule d'eau ( $\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ). De plus, cinq échantillons d'eau de précipitations ont été analysés par les laboratoires Exova (2009, 1 échantillon) et Maxxam (2010, 4 échantillons) de Montréal pour l'analyse de plus d'une trentaine de paramètres chimiques au même titre que les échantillons d'eau souterraine (annexe B-1). Tous les résultats d'analyses chimiques effectuées sur les échantillons mensuels des précipitations ont été compilés dans la base de données du projet (BDterrain, section 3.4).

### 3.3.12 Inventaire des activités anthropiques

Suite à la compilation des données existantes, des travaux de caractérisation ont été nécessaires pour valider certaines des informations contenues dans les rapports, notamment sur la localisation et le type d'activités anthropiques, mais également pour acquérir des renseignements supplémentaires sur des sites non documentés. L'inventaire a été réalisé en étroite collaboration avec les municipalités au cours

des étés 2010 et 2012. Cet inventaire est venu compléter l'information obtenue des Codes d'utilisation des biens fonds (CUBF) fournis par le MAMROT afin de réaliser la carte sur l'indice de densité d'activités anthropiques pondérée par leur niveau d'impacts potentiels sur les eaux souterraines.

### 3.4 Synthèse et validation

La compilation des données existantes et les travaux de caractérisation ont permis la création d'une base de données (BDterrain) comprenant plus de 7 000 points (tableau 3.4). Élaborée avec la collaboration des partenaires, cette base de données regroupe l'ensemble de l'information hydrogéologique disponible sur la région. Les données de l'UQAT rassemblent l'ensemble des données collectées entre 2006 et 2012.

**Tableau 3.4 : Données insérées dans la base de données terrains**

Source des données	Nombre de données
MDDEP-BQMA	25
MDDEP-RSESQ	10
MDDEP-SIH	2 655
MRN-BADGEQ	2 864
UQAT	705
MTQ-BD	290
Rapports compilés	473
<b>Total</b>	<b>7 022</b>

En intégrant plusieurs sources de données, il est risqué de générer des doublons. Une phase de validation a donc permis de mettre en évidence, en fonction de critères spécifiques, des doublons ou des puits dont l'information a été mal saisie lors de la compilation des données, offrant ainsi l'opportunité de les repérer et de les corriger au besoin. Le processus de validation octroie à chaque point de contrôle une cote de validation (annexe B-6), permettant de « qualifier » l'erreur et ainsi juger de la validité de la donnée. La méthode de validation retenue est décrite par Carrier et al. (2013) pour le rapport final du PACES – Montérégie-Est.

## 4. Contexte géologique régional

La connaissance du contexte géologique régional est essentielle afin de dresser un portrait exhaustif de l'eau souterraine. Ce chapitre met donc les bases géologiques nécessaires à l'intégration et l'utilisation des données hydrogéologiques compilées. La géologie du socle rocheux, la géologie du Quaternaire et l'architecture des dépôts meubles (épaisseur de dépôts meubles, épaisseur d'argile, séquences stratigraphiques), allant jusqu'à la réalisation d'un modèle 3D, sont présentées dans ce chapitre.

### 4.1 Géologie du socle rocheux

L'eau souterraine des aquifères rocheux de l'Abitibi-Témiscamingue circule au sein d'une variété de roches ignées, métamorphiques et sédimentaires du Bouclier canadien. Cette circulation se fait principalement via des systèmes de discontinuités structurales dont les propriétés hydrauliques des aquifères sont tributaires (Rouleau et al., 1999). La nature des formations géologiques constituant les aquifères rocheux aura pour sa part une influence sur la composition chimique de l'eau qui y circule, résultat des interactions eau-roche définies par un ensemble de processus géochimiques (dissolution, précipitation, échange ionique, etc.). Ainsi, la cartographie géologique du substrat rocheux d'une région peut servir d'élément de base à la compréhension (1) de la variabilité spatiale des propriétés hydrauliques des aquifères, (2) des directions d'écoulement et (3) de la composition chimique de l'eau souterraine y circulant. La carte géologique présentée dans le cadre du présent projet (carte 12 ; annexe C-1) constitue une compilation des cartes géologiques au 1 :20 000 rendues disponibles via SIGEOM. La légende accompagnant la carte a été élaborée de manière à mettre en évidence l'origine des roches, leur mode de mise en place ainsi que leurs compositions minéralogiques et chimiques.

La région d'étude du PACES-AT1 chevauche les sous-provinces géologiques de l'Abitibi et du Pontiac, des composantes de la Province géologique du Supérieur du Bouclier canadien. La sous-province de l'Abitibi est la plus étendue des ceintures volcano-sédimentaires archéennes au monde (Hocq et Verpaelst, 1994). Les plus vieilles roches atteignent 2,7 Ga (formation de la Mine Hunter 2 728 Ma; Mueller et Mortensen, 2002). Les roches volcaniques ultramafiques, mafiques et intermédiaires se présentent dans la région sous la forme de bandes allongées orientées selon un axe nord-ouest – sud-est. On trouve aussi des lentilles de roches volcaniques felsiques, d'orientation semblable, à l'intérieur des unités précédentes. Des bandes de roches sédimentaires orientées nord-ouest – sud-est sont présentes dans le secteur de Saint-Dominique-du-Rosaire – Rochebaucourt ainsi que dans les secteurs de Saint-Mathieu-d'Harricana – Preissac, Mont-Brun – Rivière-Héva et Cadillac – Malartic. Des intrusions, issues de l'Archéen tardif, de forme plus ou moins circulaire occupent une grande partie du centre de la région. Des batholites et des plutons felsiques s'observent notamment dans le secteur de Preissac, La Motte, La Corne, Barraute, Saint-Nazaire-de-Berry, Taschereau, Amos, Trécesson, Senneterre et des lacs Pascalis et Tiblemont. Des roches intrusives intermédiaires se retrouvent dans le secteur de Taschereau, de Val-Senneville et au sud du Mont-Vidéo entre Barraute et Vassan. Les roches intrusives mafiques se retrouvent en grande majorité dans les roches volcaniques des collines Abijévis tandis que les roches intrusives ultramafiques occupent sporadiquement de faibles superficies, dont une fine bande aux limites des municipalités de Launay et de Trécesson. Les roches métamorphiques (gneiss) occupent le nord de la région et forment une large bande orientée nord-ouest – sud-est.

La sous-province du Pontiac, localisée au sud de la région, se caractérise par une dominance de roches métasédimentaires. Des dykes de diabase d'âge protérozoïque, d'orientation prédominante nord-est – sud-ouest, recourent les roches archéennes précédemment décrites.

De grandes failles recourent l'ensemble de la région d'est en ouest. La mieux connue est celle de Cadillac qui relie les localités de Val-d'Or et de Cadillac, et se prolonge vers l'ouest jusqu'à Kirkland Lake en Ontario. Cette faille est reconnue pour son contrôle métallogénique. Elle sépare les deux sous-provinces du Supérieur; l'Abitibi au nord et le Pontiac au sud. Les failles de Beauchamp, Castagnier, Chicobi, La Paix et Manneville sont les autres grandes failles de la région. D'autres failles, plus petites et d'orientation nord-sud les croisent tel que les failles Amos-Nord, Landrienne et rivière Laflamme.

## 4.2 Géologie du Quaternaire

En Amérique du Nord, la dernière glaciation du Quaternaire, au Wisconsinien, a atteint son extension maximale il y environ 18 000 ans. L'Inlandsis laurentidien recouvrait l'ensemble du Canada et le nord des États-Unis avec, par endroits, près de 4 km de glace. Cette glaciation constitue l'évènement majeur le plus récent à avoir contribué au modelage des paysages actuels. Dans la région, les glaces ont commencé à se retirer il y environ 9 000 ans. Aujourd'hui, les dépôts meubles observables sur le territoire témoignent des évènements glaciaires et postglaciaires. La compréhension de l'organisation spatiale et de l'architecture de ces unités de dépôts meubles constitue un élément fondamental à l'étude de la dynamique hydrogéologique régionale. Les éléments rapportés par Nadeau (2011) résument bien l'apport des études quaternaires à la compréhension de l'écoulement et de la répartition de l'eau souterraine:

*« Les propriétés physiques et minéralogiques des différents types de sédiments agiront différemment sur la circulation de l'eau et sur sa chimie. Le rendement de ces aquifères dépend de l'espace entre les grains qui est directement lié à leur granulométrie, à leur degré de compaction, aux liens entre les particules, à leur forme, à l'épaisseur de la formation, à la perméabilité des couches supérieures, au potentiel de recharge et à la structure de l'aquifère (Lüttig, 1990). La compréhension de l'écoulement des eaux souterraines dans les aquifères granulaires de l'Abitibi-Témiscamingue est donc directement liée à la dynamique de mise en place de ces dépôts. Les sables et graviers bien triés sont généralement des sédiments caractérisés par une porosité et une perméabilité élevées, constituant ainsi les meilleurs aquifères. Bien que les argiles puissent avoir des porosités très élevées, ces sédiments sont caractérisés par une faible perméabilité agissant comme aquitard. La cartographie des formations superficielles s'avère un outil indispensable pour comprendre la problématique associée à l'eau souterraine dans la région de l'Abitibi-Témiscamingue. La répartition, la stratigraphie et les caractéristiques sédimentologiques des unités sédimentaires influencent considérablement les caractéristiques hydrogéologiques de la région. »*

Dans le cadre du présent projet, les cartes de dépôts de surface de la Commission géologique du Canada (CGC) ont été retenues (figure 4.1) afin de présenter la répartition spatiale des dépôts quaternaires. Ces cartes sont considérées plus complètes que celles produites antérieurement (Vincent, 1971 ; Tremblay, 1974 ; cartes écoforestières du MRNF) puisqu'elles sont appuyées par des vérifications au sol. Elles présentent aussi une meilleure répartition des affleurements rocheux, une composante importante dans la cartographie des zones propices au développement d'aquifères superficiels.

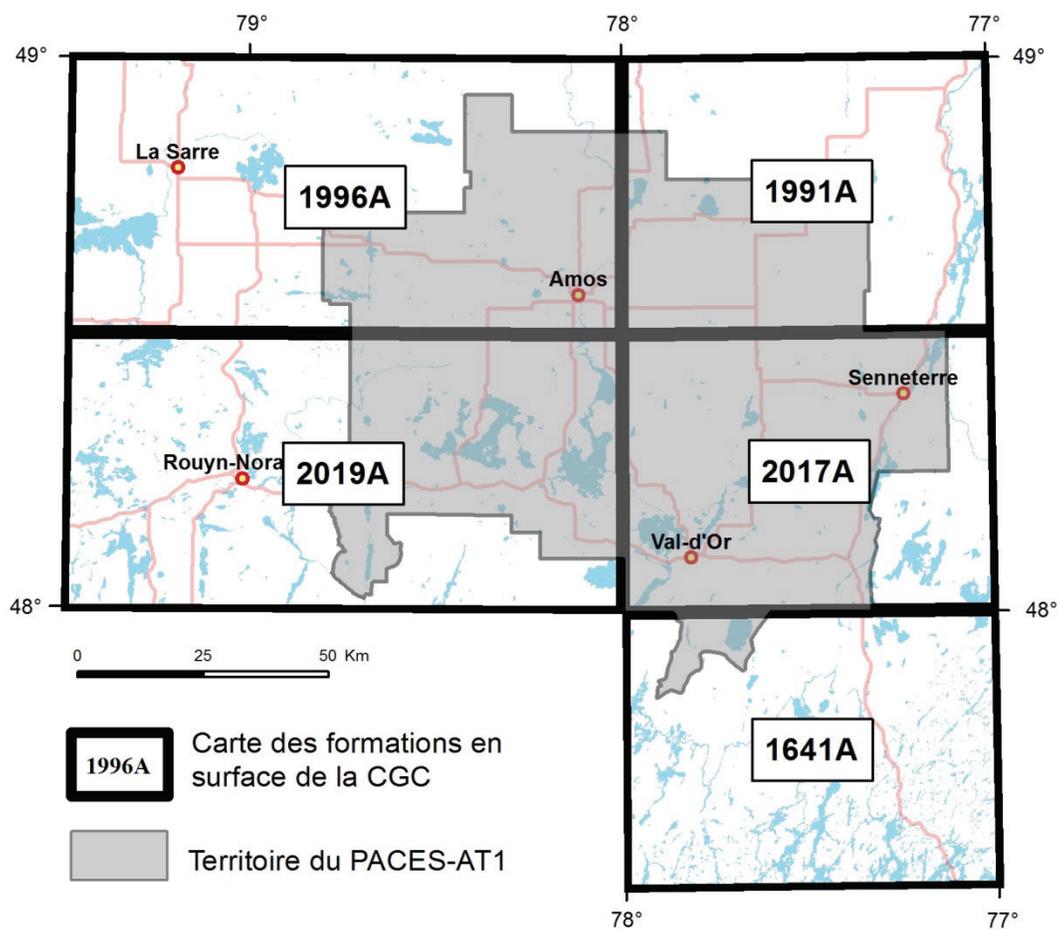


Figure 4.1 : Cartes récentes des dépôts de surface de l'Abitibi-Témiscamingue (échelle 1 : 100 000) produites par la CGC (Veillette, 1987b, carte 1641A; Veillette, 2004, carte 2019A; Paradis, 2005, carte 1991A; Thibaudeau et Veillette, 2005, carte 1996A; Paradis, 2007, cartes 2017A).

La carte 13 montre les formations en surface cartographiées par les équipes de la CGC. Dans le cadre du présent projet, la légende initiale des cartes de dépôts de surface de la CGC a été adaptée en fonction de la plus récente légende développée par la CGC-Québec (Parent et al., 2010) et adoptée par Géologie Québec pour la production des cartes de la géologie du Quaternaire des projets du PACES. La superficie couverte par chaque formation est présentée dans le tableau 4.1.

Tableau 4.1 : Formations superficielles du territoire PACES-AT1

Formations superficielles	Code légende	Superficie (km <sup>2</sup> ) <sup>1</sup>	Superficie (%)
Dépôts organiques	O	1 816,4	19,7
Dépôts alluviaux	A	206,0	2,2
Sédiments deltaïques	LGd	15,6	0,2
Sédiments sublittoraux et sédiments de plage	LGb	1 326,9	14,4
Sédiments d'eau profonde	LGa	3 228,0	34,9
Sédiments granulaires indifférenciés	G	3,1	<0,1
Sédiments juxtaglaciaires ou complexes de sédiments juxtaglaciaires et d'épandage proglaciaire en milieu subaquatique	Gx	392,9	4,3
Sédiments juxtaglaciaires	Gxi	143,2	1,6
Till continu	Tc	723,0	7,8
Till discontinu	Tm	237,0	2,6
Substrat rocheux	R	455,3	4,9
Plan d'eau		689,6	7,4
<b>Total</b>		<b>9 237,0</b>	<b>100</b>

<sup>1</sup> Les calculs de superficie ont été réalisés en employant la projection UTM NAD83 zone 17.

Les principales caractéristiques de ces formations ainsi que leur origine, telles que définies par Paradis (2005, 2007), Thibaudeau et Veillette (2005) et Veillette (1987b, 2004), sont présentées ci-dessous en ordre chronologique de mise en place.

#### 4.2.1 Dépôts glaciaires (till)

Les plus anciens dépôts qui affleurent sur la région du PACES-AT1 sont des tills. Déposés en discordance sur le socle rocheux, les couches de tills résultent du transport par la glace de fragments arrachés au substrat rocheux et de la reprise en charge de dépôts meubles anciens. Sur la carte des dépôts de surface (carte 13), le till se présente sous la forme d'une couche continue (Tc) d'épaisseurs variables pouvant atteindre plusieurs mètres, ou sous la forme d'une couche mince (inférieure à 1 m) et discontinue (Tm). Le till s'observe sur plus de 10 % du territoire et plus spécifiquement dans les collines Abijévis et dans le secteur du Mont-Vidéo. Il affleure peu dans la partie à basse altitude étant très souvent masqué par des sédiments fluvioglaciaires, glaciolacustres, éoliens et/ou organiques. Sous ces dépôts, la présence du till est très difficile à évaluer compte tenu de sa discontinuité et de sa composition granulométrique pouvant être très souvent confondue avec celle des dépôts sus-jacents. Dans certains cas, le développement de grands tunnels fluvioglaciaires formés sous le glacier a érodé la presque totalité du till déposant des sédiments fluvioglaciaires en contact avec le socle (Bolduc et al., 2005). Il est donc plus probable de le retrouver dans les dépressions du socle rocheux à l'abri des processus d'érosion. Les travaux de la CGC (voir figure 4.1) rapportent que les dépôts glaciaires de la région se présentent comme un sédiment hétérométrique à matrice sableuse. La granulométrie moyenne de sa matrice (taille inférieure à 2 mm) varie entre environ 60-70 % de sable, 20-25 % de limon et moins de 5 % d'argile. La forte dominance des sables résulte de la nature des roches locales principalement cristallines (Veillette, 1996).

### 4.2.2 Dépôts fluvioglaciaires

Les dépôts fluvioglaciaires sont des sédiments mis en place au contact ou à proximité du glacier par les eaux de fonte. Les complexes de sédiments juxtaglaciaires et d'épandages proglaciaires en milieu subaquatiques (Gx) forment en grande majorité les eskers de l'Abitibi-Témiscamingue. Cette forme fluvioglaciaire, commune dans la région, est une accumulation linéaire rectiligne ou sinueuse de sables et de graviers. Elle peut atteindre plusieurs mètres de hauteur et plusieurs dizaines, voire centaines, de kilomètres de longueur. Les eskers se forment parallèlement au sens d'écoulement de la glace étant approximativement orientés nord-sud. Lors de la fonte du glacier, l'eau s'infiltré et circule dans la glace par des canaux, des crevasses et des moulins, et s'achemine à l'intérieur de grands tunnels intraglaciaires et sous-glaciaires jusqu'au front de la glace. Soumise à de fortes pressions hydrostatiques, l'eau trie le matériel amenant les particules fines loin en aval. La granulométrie du noyau central des eskers, généralement hétérométrique, est essentiellement composée de blocs, graviers et sables grossiers ce qui témoigne de la force impressionnante de l'eau dans ces tunnels sous-glaciaires. Les principaux eskers de la région ont été présentés à la figure 2.1.

Les sédiments juxtaglaciaires (Gxi) associés à la Moraine d'Harricana sont les autres sédiments fluvioglaciaires importants de la région. Cette moraine, mise en place en position interlobaire (Allard, 1974; Veillette, 1986b), marque l'ouverture tel une « fermeture-éclair » entre deux masses de glace : le glacier du Nouveau-Québec en retrait vers le nord-est et le glacier d'Hudson en retrait vers le nord-ouest. La Moraine d'Harricana qui peut être suivie de North-Bay en Ontario jusqu'à de petites îles dans la Baie-James sépare la région en deux. La particularité de sa mise en place lui confère une composition granulométrique semblable à celle des eskers.

Les dépôts fluvioglaciaires couvrent 5,8 % du territoire à l'étude. La perméabilité élevée de ces dépôts granulaires en fait de bons aquifères. Ils constituent la source d'eau potable pour plusieurs municipalités munies d'un réseau d'aqueduc. Ces dépôts sont aussi convoités par l'industrie de la construction pour leur source en agrégat et servent d'assise pour un bon nombre de routes.

### 4.2.3 Dépôts glaciolacustres

Avec une couverture de près de 35 %, les sédiments d'eau profonde (LGa) dominent la région. Ils ont été mis en place dans le lac proglaciaire Barlow-Ojibway. Nadeau (2011) a décrit brièvement les événements postglaciaires entraînant la formation de la plaine argileuse et les caractéristiques générales de ces dépôts :

*« Lors du retrait glaciaire, des contraintes topographiques et le relèvement isostatique différentiel ont restreint l'évacuation des eaux de fonte vers la vallée du Saint-Laurent. Des lacs proglaciaires se sont développés [...] Le lac proglaciaire Barlow aurait été le premier à prendre forme au Témiscamingue, le relèvement isostasique aurait contrôlé, par la suite, l'émergence successive d'exutoires le long de la rivière des Outaouais faisant ainsi migrer le lac vers le nord suivant le retrait de la marge glaciaire. Pour une certaine période, ce lac proglaciaire a submergé la ligne de partage des eaux en Abitibi séparant le bassin versant du Saint-Laurent et celui de la Baie de James. Lors de l'émergence de la ligne de partage des eaux, le lac s'est scindé en deux entités glaciolacustres : le lac Barlow au sud et le lac Ojibway au nord. L'appellation « lac Barlow-Ojibway » est utilisée pour identifier l'entité glaciolacustre qui submergeait la ligne de partage des eaux au niveau de l'Abitibi [...] Les sédiments d'eau profonde ont été mis en place sous une tranche d'eau variant de 30 à 50 m d'épaisseur dans les eaux glaciolacustres (Veillette, 1983). Ce*

*sont des sédiments à grains fins formant des rythmites d'argiles et de limons (varves). Ils peuvent atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, camouflant ainsi une grande partie du substrat rocheux et des sédiments plus anciens (tels que les eskers). Ils forment une plaine argileuse qui atténue les accidents du socle rocheux. L'altitude maximale de ces dépôts à grain fin dans la région excède rarement 320 m. »*

Les sédiments sublittoraux et les sédiments de plage (LGb) sont liés au retrait progressif des eaux glaciolacustres. Une brèche dans la glace a permis le déversement du lac Ojibway dans la baie d'Hudson vers 7,7 <sup>14</sup>C ka BP (8,45 cal ka BP; Barber et al., 1999). Tout au long de sa vidange, les vagues ont remanié les crêtes d'eskers émergeant de la plaine argileuse et redistribué les sables sous forme de sédiments sublittoraux sur le flanc des eskers et en discordance sur les sédiments d'eau profonde. Ils se retrouvent aussi sur les hauts topographiques là où la tranche d'eau n'a jamais été assez épaisse pour permettre la sédimentation d'argile. Dans la région, ces dépôts couvrent un peu plus de 14 % du territoire. Leur épaisseur varie généralement entre 1 et 5 m, mais peut atteindre jusqu'à 20 m par endroit, et leur granulométrie est composée de sables, sables limoneux et graviers.

Nadeau (2011) rapporte que les sédiments deltaïques (LGd) se retrouvent principalement dans les deltas d'eskers. Ils sont constitués de sables et de graviers et occupent la zone de transition entre les dépôts fluvioglaciaires et glaciolacustres. Les deltas d'eskers présentent des épaisseurs atteignant par endroits 50 m et sont souvent marqués par des lignes de rivage sur leurs flancs témoignant du retrait progressif des eaux glaciolacustres. Dans la région, ils se concentrent dans les collines Abijévis.

#### 4.2.4 Dépôts alluviaux

Les dépôts alluviaux (A) se composent majoritairement de sables limoneux, limons argileux, sables et graviers mis en place dans les plaines alluviales. Une grande part de ces dépôts provient de l'érosion de la plaine argileuse par les cours d'eau. Ils atteignent au plus quelques mètres d'épaisseur et occupent un peu plus de 2 % du territoire, soit dans les plaines inondables de rivières et de ruisseaux.

#### 4.2.5 Dépôts organiques

Les dépôts organiques (O) ont été traités plus en détail dans la section 1.5.4.5 sur les milieux humides. Recouvrant près de 20 % du territoire, ils couvrent de grandes superficies au voisinage des grands eskers et de la Moraine d'Harricana. Localisés dans des milieux faiblement inclinés et mal drainés, ils abondent particulièrement sur les sédiments glaciolacustres à grains fins (argile). L'épaisseur des dépôts organiques varie entre 3 et 5 m.

### 4.3 Stratigraphie des dépôts quaternaires

La stratigraphie généralisée des dépôts de surface telle que décrite dans la section précédente est présentée à la figure 4.2. Cette colonne stratigraphique tirée de Veillette (1996) a été élaborée initialement pour la région du Témiscamingue, mais l'histoire glaciaire similaire qu'a vécue l'Abitibi a formé une séquence stratigraphique semblable. Le till déposé en discordance sur le socle rocheux constitue la base de la colonne stratigraphique. Les travaux de la CGC (voir figure 4.1) rapportent que des sédiments antérieurs à la dernière glaciation ont été découverts en Abitibi-Témiscamingue dans certains forages profonds et, dans de rares cas, dans des fosses artificielles profondes. Toutefois, étant donné leur rareté sur le territoire, ils n'ont pas été considérés pour cette étude. Les sédiments

fluvioglaciaires, les sédiments glaciolacustres issus de la submersion et de l'exondation du lac proglaciaire Barlow-Ojibway et les sédiments postglaciaires complètent la colonne stratigraphique de la région. Une simplification est proposée pour faciliter la compréhension de la composition granulométrique des unités stratigraphiques. Étant donné le manque de données stratigraphiques fiables, les unités lithostratigraphiques enfouies sous l'argile n'ont pas été différenciées. Elles ont toutes été regroupées sous la désignation de sédiments granulaires (sables et graviers). Ces dépôts peuvent toutefois inclure une quantité non négligeable de silt lorsqu'ils sont issus d'épandage sous-aquatique. L'ensemble des descriptions stratigraphiques des forages disponibles dans la région s'adapte à cette simplification.

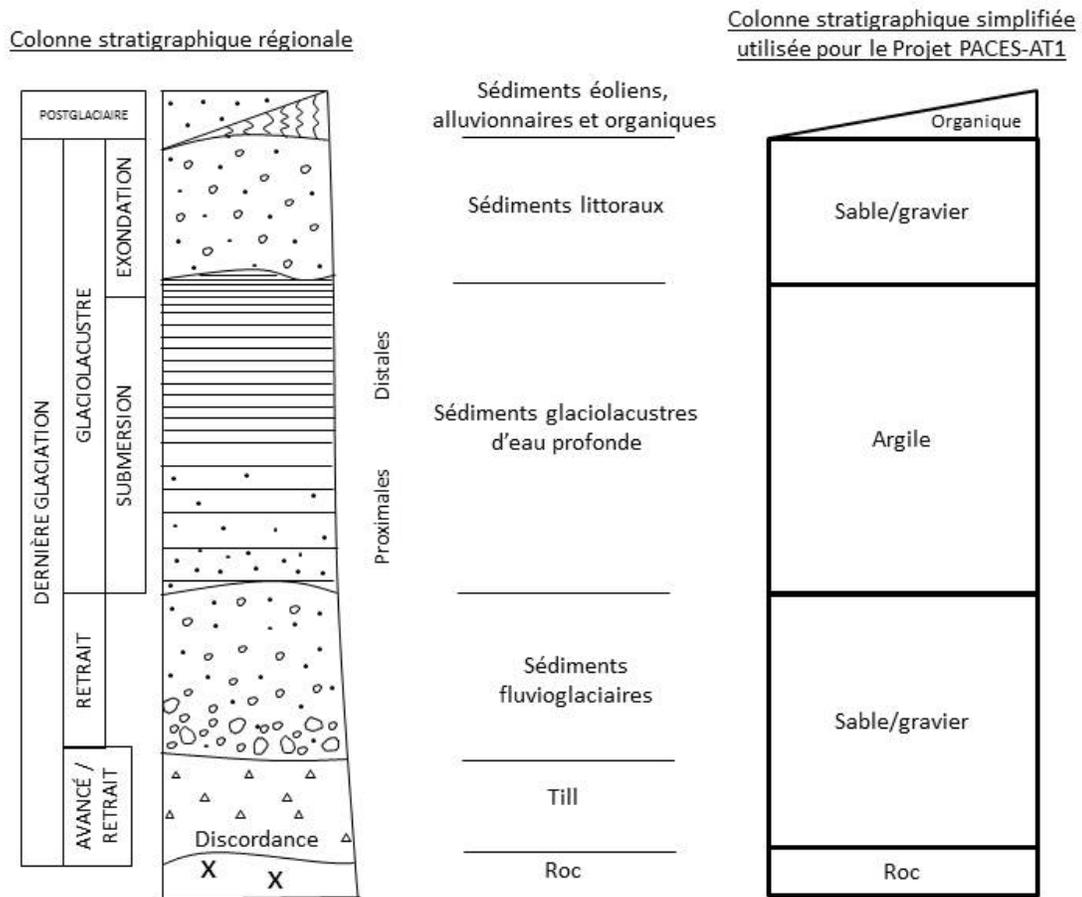


Figure 4.2 : Colonne stratigraphique régionale et simplifiée de la région d'étude (colonne stratigraphique régionale modifiée de Veillette, 1996).

#### 4.4 Architecture des formations superficielles

La colonne stratigraphique de la figure 4.2 ne se retrouve pas nécessairement en entier sur l'ensemble du territoire. L'objectif de cette section est de montrer la diversité des agencements des dépôts meubles et d'établir la répartition de chacune des séquences stratigraphiques sur le territoire. L'identification des milieux de mise en place des eskers, la création de coupes stratigraphiques mettant en évidence des particularités régionales et l'attribution d'une séquence stratigraphique à chaque unité

de surface (maillage de 100 m x 100 m) seront indispensables pour bien saisir l'architecture des dépôts meubles sur le territoire et ainsi faciliter la compréhension de l'écoulement et la répartition de l'eau souterraine. L'épaisseur totale de dépôts meubles, la topographie du socle rocheux ainsi que l'étendue et l'épaisseur des sédiments glaciolacustres d'eau profonde (plaine argileuse) sont les produits présentés qui servent de base pour établir les séquences stratigraphiques. Il est très important de se référer aux guides méthodologiques fournis dans les annexes C-5, C-6 et C-7 afin de bien cerner les limites associées à ces produits. Plusieurs traitements, effectués par les outils rendus disponibles par le logiciel ArcGIS version 10.0 (ESRI, 2010), ont été nécessaires pour générer les différents modèles d'épaisseur et de topographie. Bien que les cartes montrent des résultats cohérents, ces dernières ne doivent toutefois pas être interprétées comme des valeurs précises à l'échelle locale. En effet, (1) la grande variabilité de densité des points de contrôle sur le territoire, (2) la localisation imprécise de plusieurs de ces points de contrôle, (3) la rugosité du socle rocheux, (4) la méthode de traitement et (5) la résolution du produit livré réduisent l'exactitude des modèles.

#### 4.4.1 Milieux de mise en place des eskers

Une classification des eskers et de la Moraine d'Harricana en fonction du milieu de mise en place a été proposée dans le cadre d'un projet d'étude des eaux souterraines dans la MRC d'Abitibi (Veillette et al., 2004). Quatre milieux sont observés pour les eskers de l'Abitibi-Témiscamingue dont chacun possède son propre cadre stratigraphique et sa morphologie (figure 4.3). Grâce à l'organisation des dépôts de surface au voisinage des eskers et à une modélisation des altitudes maximales atteintes par les eaux glaciolacustres, Nadeau (2011) a identifié le milieu dans lequel se sont mis en place les différents segments d'eskers de l'Abitibi-Témiscamingue.

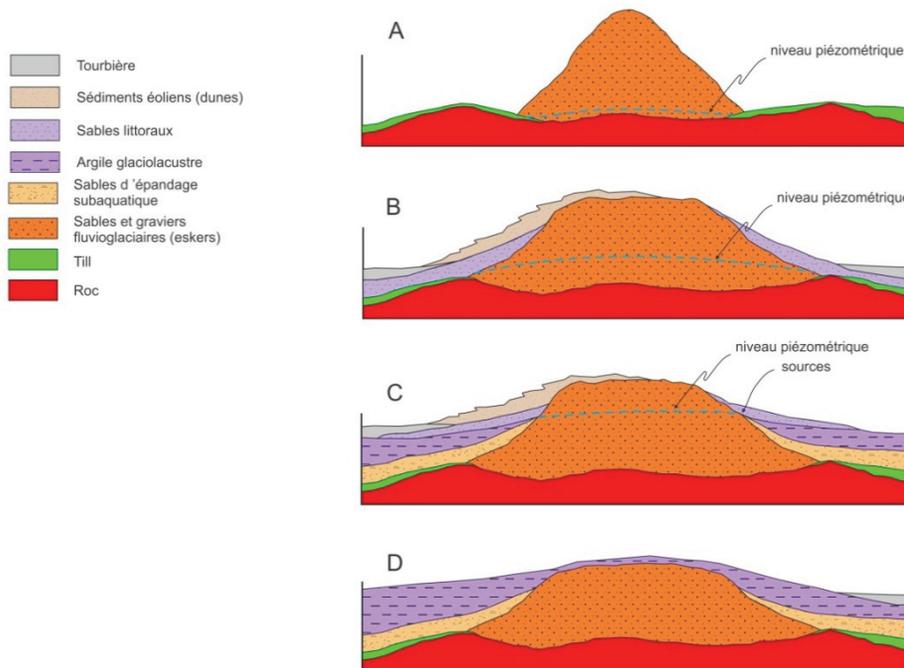


Figure 4.3 : Milieux de mise en place et séquences stratigraphiques des eskers de l'Abitibi-Témiscamingue (modifiée de Veillette et al., 2004).

La description des différents milieux identifiés (A, B, C, D) sur la figure 4.3 provient de Nadeau (2011) :

*« En A l'esker a été mis en place au-dessus du niveau maximal de la submersion glaciolacustres Barlow-Ojibway. Il présente la morphologie typique d'un esker sans remaniement important. Il est généralement de petite taille et est uniquement constitué de sédiments juxtaglaciaires. En B, l'esker se situait sous le niveau maximal du lac, mais au-dessus du plus haut niveau atteint par les sédiments à grains fins. Le sommet a été quelque peu remanié et aplani par la présence du lac proglaciaire. Des sables d'exondations associés au retrait du lac tapissent les flancs de l'esker. En C, l'esker a été mis en place sous le plus haut niveau atteint par les sédiments à grains fins. Les flancs d'esker sont partiellement enfouis par ces sédiments et lors de l'exondation du lac, des sables provenant du remaniement des sommets ont été redistribués sur les flancs couvrant par endroits ces sédiments à grains fins. Ce type d'esker présente généralement le plus haut potentiel aquifère. En D, l'esker a été complètement recouvert par les sédiments à grains fins. Par endroits, il est difficile de distinguer sa présence; des kettles (dépressions formées par la fonte tardive de blocs de glace) et des lacs de kettles révèlent généralement l'axe central de l'esker. »*

La figure 4.4 adaptée de Nadeau (2011) permet de constater que seuls les eskers de type B, C et D sont présents dans le secteur d'étude. La majorité des eskers sont associés au milieu C (77,4 %) signifiant qu'ils ont été mis en place en eaux profondes. Une couche d'argile enfouie une partie de leur volume granulaire. Les eaux glaciolacustres, qui ont atteint 400 m d'altitude, n'ont laissé émerger que quelques hauts sommets. Ainsi, les segments d'eskers localisés sur des hauts topographiques tels que le nord de l'esker Vaudray-Joannès, la pointe sud de l'esker Saint-Mathieu-Berry et la Moraine d'Harricana au niveau du Mont-Vidéo sont mis en place dans un environnement littoral (type B). Ils représentent 21,6 % des eskers de la région. L'esker de Barraute, entre les petits segments qui affleurent, possède une masse granulaire (1 % des eskers connus de la région) complètement enfouie sous l'argile (type D). Ces milieux de mise en place peuvent se retrouver le long d'un même esker. Cette particularité s'observe bien sur la figure 4.4 le long de l'esker Saint-Mathieu-Berry, Vaudray-Joannès et la Moraine d'Harricana (voir la figure 2.1 pour la localisation des eskers).

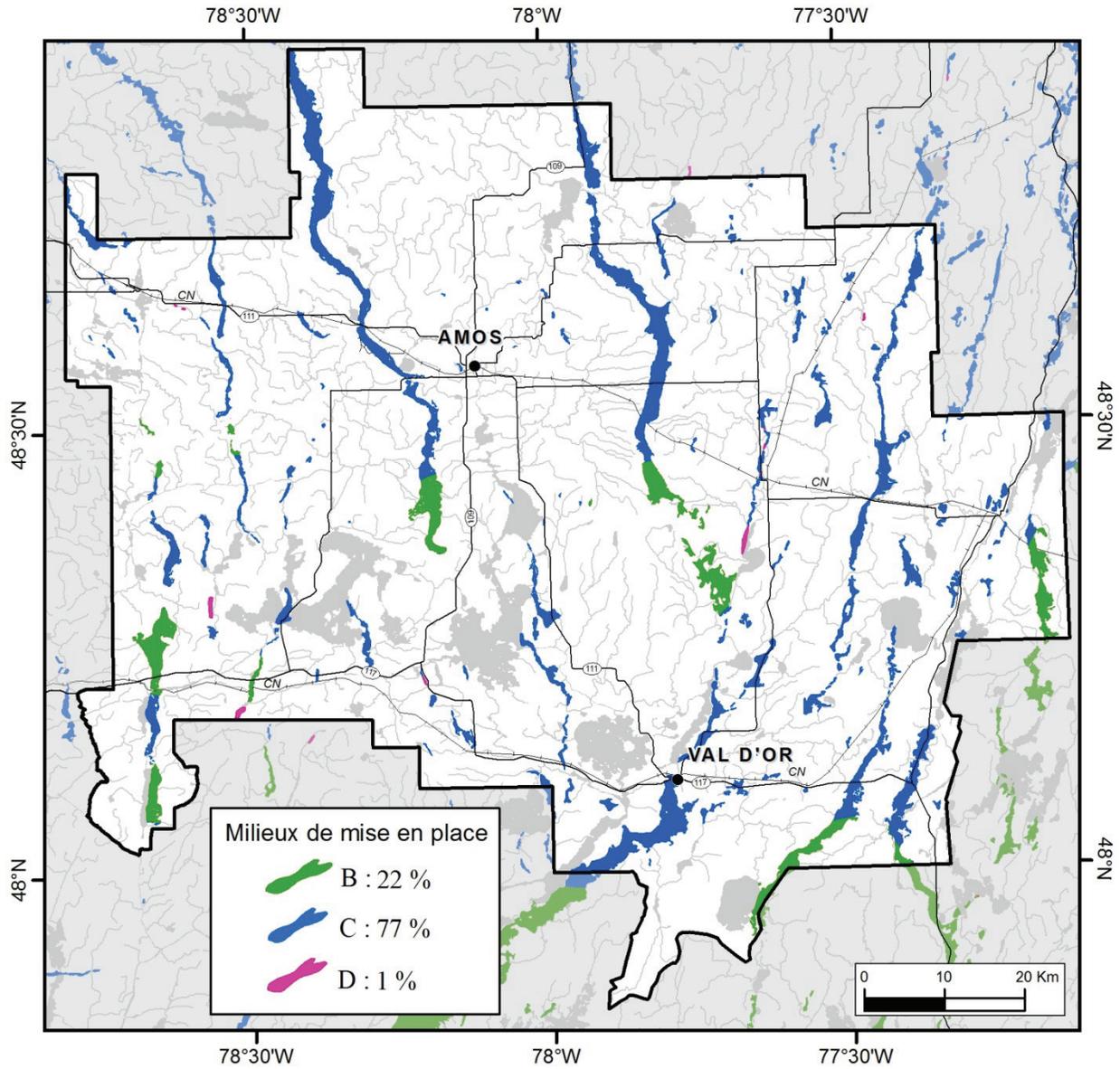


Figure 4.4 : Milieux de mise en place des eskers du PACES-AT1 (d'après Nadeau, 2011).

#### 4.4.2 Coupes stratigraphiques

La réalisation de coupes stratigraphiques a pour but d'établir la séquence des unités lithostratigraphiques du socle rocheux jusqu'à la surface, afin de mieux interpréter l'architecture des aquifères et de voir les relations avec les unités adjacentes et/ou la topographie du roc. Ces coupes intègrent et mettent en valeur l'information recueillie lors de la compilation des données de forages et des travaux de terrain (annexe C-2). Leur réalisation s'appuie aussi sur la connaissance de l'histoire glaciaire qui permet l'interprétation de certains contacts stratigraphiques. Dans le cadre du projet, deux types de coupes ont été réalisés, soit des coupes stratigraphiques régionales (annexe C-3) et des coupes stratigraphiques locales (annexe C-4). Les localisations des différentes coupes réalisées sont présentées à la figure 4.5.

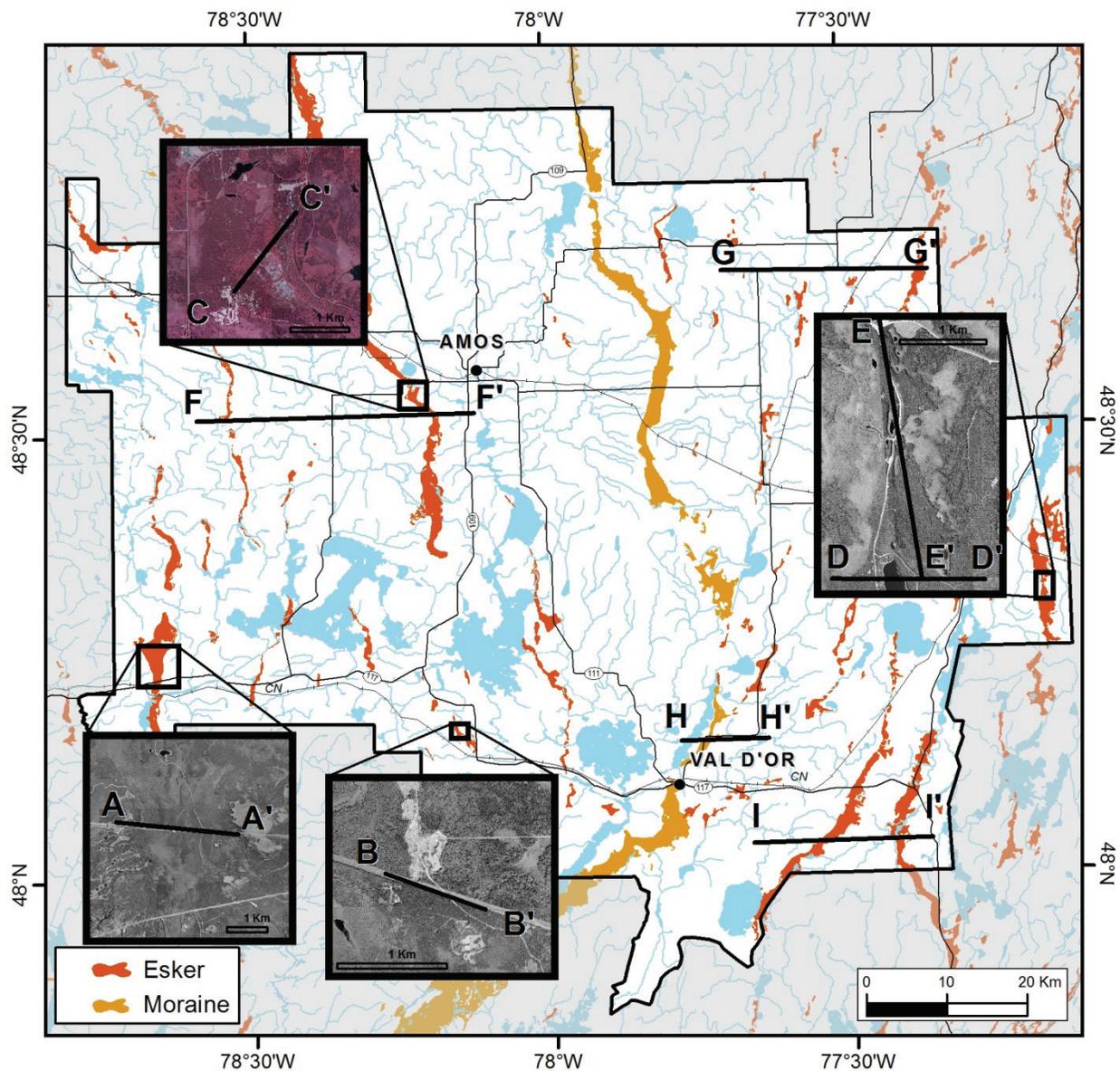


Figure 4.5 : Localisation des coupes stratigraphiques régionales et locales sur le territoire PACES-AT1.

#### 4.4.2.1 Coupes stratigraphiques régionales

Les coupes stratigraphiques régionales présentées à la figure 4.6 (coupes F, G, H et I; annexe C-3) ont permis de connaître la séquence des unités lithostratigraphiques de quatre secteurs de la région d'étude. Ces secteurs ont été choisis en fonction des données disponibles, de leur position géographique et de leur apport à la compréhension des contextes hydrogéologiques régionaux. Les objectifs des coupes régionales sont (1) d'évaluer l'étalement sous l'argile du matériel granulaire associé aux eskers, (2) de visualiser la continuité des principales unités lithostratigraphiques et la rugosité du socle rocheux et (3) d'évaluer la connectivité entre les eskers. Les coupes stratigraphiques ont donc été réalisées perpendiculairement aux eskers et se sont prolongées de chaque côté dans la plaine argileuse. Voici la description des coupes :

- Sur la coupe Sainte-Gertrude-Manneville (F – F'), les deux eskers (Launay et Saint-Mathieu-Berry) sont séparés par environ 25 km. La présence régulière d'affleurements rocheux et la faible présence de sable d'épandage identifié dans les forages stratigraphiques situés entre les deux eskers empêchent de conclure à une connectivité entre eux. Par contre, le comblement par des sédiments glaciaires et fluvioglaciaires des dépressions formées dans le socle rocheux et l'atténuation des irrégularités du socle rocheux par les sédiments d'eau profonde sont bien démontrés par cette coupe transversale.
- La coupe Despinassy (G – G') présente la stratigraphie des dépôts au nord-est de la région dans les plus basses altitudes du territoire. À cet endroit, la couche d'argile est continue et peut atteindre plusieurs mètres d'épaisseur. Ce secteur montre très peu d'affleurements rocheux; seule la crête de l'esker du lac Despinassy émerge de la plaine.
- La coupe du lac Blouin (H – H'), localisée en flanc de la Moraine d'Harricana, montre un étalement de sables fins sur quelques kilomètres à l'est sous les argiles. L'épaisseur de ces sables diminue progressivement en s'éloignant de la moraine pour devenir pratiquement absents au-delà de 5 km. Du côté ouest, malgré la présence d'affleurements, des sables connectés à la moraine semblent s'étaler sous le lac.
- La coupe Louvicourt (I – I') suggère une continuité de dépôts granulaires entre deux eskers. La proximité des deux segments pourrait expliquer cette connexion. L'altitude de surface avoisinant régulièrement plus de 325 m explique l'absence d'argile dans la partie centrale de la coupe.

La réalisation des coupes stratigraphiques régionales a montré que des sédiments granulaires s'étaient étalés sous les argiles sur une très grande superficie. Il est très difficile d'en évaluer la continuité puisqu'ils s'apparentent aux sédiments d'eau profonde à cause de leur granulométrie fine (sable fin silteux). Par contre, malgré la rugosité du socle rocheux, démontrée par plusieurs segments des coupes, on constate que les sédiments granulaires se prolongent latéralement aux eskers sur près de 5 km. Au-delà de cette distance, la couche d'argile a tendance à recouvrir directement le socle rocheux. Généralement, les eskers sont formés à une quinzaine de kilomètres d'intervalle, ce qui réduit les chances d'interconnexions. Toutefois, dans certains cas, lorsqu'ils sont rapprochés, les eskers peuvent être reliés par des sédiments granulaires enfouis associés aux sables d'épandage sous-aquatique. Dans l'ensemble de ces coupes, le till est généralement présent au contact du socle rocheux, mais la continuité de sa couverture est un élément à investiguer davantage. Il est très souvent mal identifié ou même absent de plusieurs forages ce qui rend sa représentation plus difficile. Il semble toutefois se retrouver plus systématiquement dans les creux du socle rocheux.

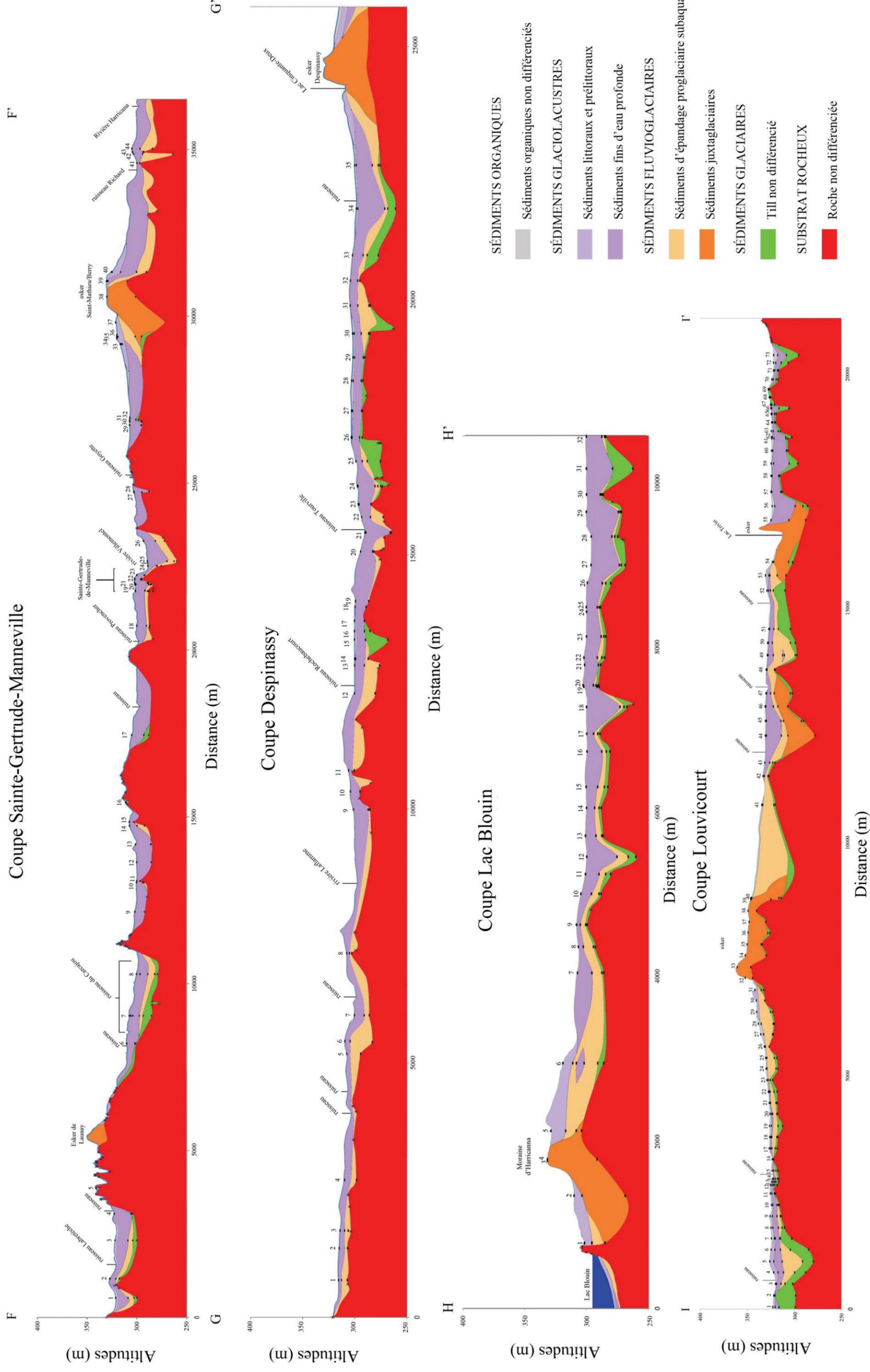


Figure 4.6 : Coupes stratigraphiques régionales

#### 4.4.2 Coupes stratigraphiques locales

Les coupes stratigraphiques locales (*c.-à-d.* A, B, C, D et E) permettent de mettre en évidence l'agencement des unités lithostratigraphiques des eskers en fonction de leur milieu de mise en place (section 4.4.1). Les sites choisis (1) offraient de bons contrôles stratigraphiques (forages et affleurements), (2) étaient bien répartis sur le territoire, (3) étaient faciles d'accès et (4) présentaient une particularité locale à valider. Les objectifs derrière la réalisation des coupes locales étaient donc (1) d'évaluer le prolongement de l'esker sous les argiles glaciolacustres, (2) d'observer la morphologie du substrat rocheux sous l'esker, (3) d'examiner les fluctuations locales de la position de la nappe phréatique et (4) d'obtenir des informations en continu des unités lithostratigraphiques.

La figure 4.7 présente les coupes stratigraphiques interprétées sur la base de l'ensemble des données disponibles (forages, levés géophysiques, niveaux d'eau). Les coupes stratigraphiques accompagnées des profils géophysiques interprétés sont présentées à l'annexe C-4.

##### *Coupe de l'esker de Vaudray-Joannès (A-A')*

L'esker de Vaudray-Joannès est un esker composé de segments appartenant aux types « B » et « C » (section 4.4.1). Au niveau de la coupe transversale A-A', le segment est classifié tel un esker de type « B », et se situe sur un haut topographique (voir le MAN, carte 5). La largeur de l'esker à cet endroit, fournie par la carte géologique du Quaternaire (carte 13), et la présence d'affleurements rocheux à l'est de la coupe suggèrent un faible enfouissement permettant de valider le type d'esker. La configuration de la surface du socle rocheux est très importante puisqu'elle semble dicter le sens d'écoulement de l'eau souterraine (vers l'ouest). Deux nappes phréatiques, séparées par un affleurement rocheux, sont observées sur la coupe. Le roc fracturé en surface permet sans doute un lien hydraulique entre la nappe située dans les sédiments au-dessus du roc et la nappe dans l'esker. Enfin, la tourbière située en flanc ouest témoigne de la présence de sédiments fins d'origine littorale et éolienne ainsi que du probable écoulement est-ouest de l'eau souterraine. La pseudo-section TDEM (annexe B-5) laisse présager un abaissement abrupt du roc, ou une faille, de 0 à environ 600 m.

##### *Coupe de l'esker de Malartic (B-B')*

La coupe de Malartic représente un exemple d'esker de type « C » (section 4.4.1) qui a généralement un potentiel aquifère élevé. Sur le territoire PACES-AT1, l'esker de Malartic n'est pas un segment majeur compte tenu de sa longueur restreinte, toutefois, il constitue un aquifère important puisque la municipalité de Malartic s'approvisionne en eau potable à même ce segment d'esker. Sous les sédiments granulaires, des fluctuations importantes du socle rocheux sont observables (amplitude d'environ 17 m). Sur les flancs, l'argile glaciolacustre est à l'altitude maximale de déposition, soit environ 320 m (section 4.2.3). Les sédiments littoraux et pré-littoraux se retrouvent uniquement sur le flanc est. La pseudo-section TDEM (annexe B-5) acquise sur le flanc ouest de la coupe (*c.-à-d.* 0 - 40 m) corrobore l'interprétation de la topographie du socle rocheux interprété par résistivité électrique.

##### *Coupe de l'esker Saint-Mathieu-Berry (C-C')*

La coupe effectuée sur l'esker de Saint-Mathieu-Berry expose une section d'eskers de type « C » (section 4.4.1). À cet endroit, le puits municipal de la ville d'Amos est à 2,2 km au sud-est de la coupe. La crête de l'esker se caractérise par une dépression résultant des activités d'une ancienne gravière. Les flancs de l'esker sont recouverts d'une couche d'argile telle que définie pour ce type d'esker. L'interprétation du profil géoradar (réflecteur géoradar surligné en jaune, annexe C-4) acquis sur le flanc est (*c.-à-d.* 780-1520 m) permet de constater que la surface de cette couche d'argile est irrégulière. Deux nappes

phréatiques sont observées, soit une nappe dans les sédiments de l'esker Saint-Mathieu-Berry et une seconde nappe, en surface, à l'intérieur des sédiments littoraux sus-jacent aux dépôts fins d'eau profonde (argile).

#### *Coupe des flancs de l'esker de Senneterre (D-D')*

La coupe de Senneterre présente un segment d'eskers de type « B » (section 4.4.1). Ce segment possède un lac de kettles sur sa crête (*c.-à-d.* Lac Clair) et se juxtapose à une remontée du socle rocheux du côté est. Les sédiments fluvioglaciaires préférentiellement accumulés dans les points bas du socle rocheux (environ 305 m au niveau de la crête de l'esker comparativement à 350 m pour les affleurements rocheux du côté est) forment un excellent aquifère alimentant en eau potable la municipalité de Senneterre. Une petite dépression rocheuse est observable à l'est de la coupe, celle-ci est comblée par un dépôt de till recouvert par quelques mètres de sédiments éoliens. La nappe phréatique comprise dans cette cuvette est hypothétique, sa présence est justifiée par l'élévation de la nappe mesurée dans l'esker et le lien hydraulique probable causé par les fractures du roc. L'élévation du Lac Clair donne le niveau piézométrique maximal de l'esker. Il a été discuté que certains lacs de kettles, situés sur les crêtes d'eskers, peuvent être isolés des dépôts granulaires dû à un dépôt imperméable de gyttja (Veillette, 2000), toutefois, la présence d'une tourbière sur le flanc ouest (*c.-à-d.* 0-205 m) témoigne de la présence probable d'une source de résurgence diffuse ou d'un niveau piézométrique près de la surface. Un lien hydraulique entre la nappe phréatique et le Lac Clair est donc fort probable. Cette section de l'esker de Senneterre se démarque des modèles conceptuels (section 4.4.1), ainsi que des autres coupes locales présentées, par sa surface aplanie (*c.-à-d.* dénivelé total d'environ 4 m).

#### *Coupe de la crête de l'esker de Senneterre (E-E')*

Cette coupe, parallèle à l'axe longitudinal de l'esker (nord-sud), correspond à la crête de l'esker de Senneterre. En surface, sur la quasi-totalité du segment, des sédiments éoliens sont présents sur près de 2 m d'épaisseur. Le socle rocheux montre quelques irrégularités (*c.-à-d.* amplitude d'environ 25 m). Au centre de la coupe (*c.-à-d.* de 900 à 1900 m), une dépression est observable tant en surface qu'au niveau du roc (*c.-à-d.* dénivelé de 8 m en surface et 10 m pour le roc). La position de la nappe phréatique est légèrement abaissée au centre de cette dépression, de telle sorte que deux sens d'écoulement de l'eau semblent converger. À cet endroit, les flancs de l'esker sont bordés par un lac à l'ouest et par une tourbière à l'est, laissant supposer que des sources d'eau font résurgences sur les flancs (figure 4.5). L'agrandissement du profil géoradar, acquis au niveau de la dépression, met en évidence des structures subhorizontales situées de part et d'autre des parois de la dépression, formant un « entonnoir » (réflecteurs géoradar surlignés en rouge, annexe C-4). Le centre de cette dépression conique est comblé par des structures verticales parallèles (réflecteurs géoradar surlignés en vert, annexe C-4). L'hypothèse la plus plausible, quant à l'explication de cette dépression et de la présence des réflecteurs géoradar, est le comblement d'un paléo-kettle.

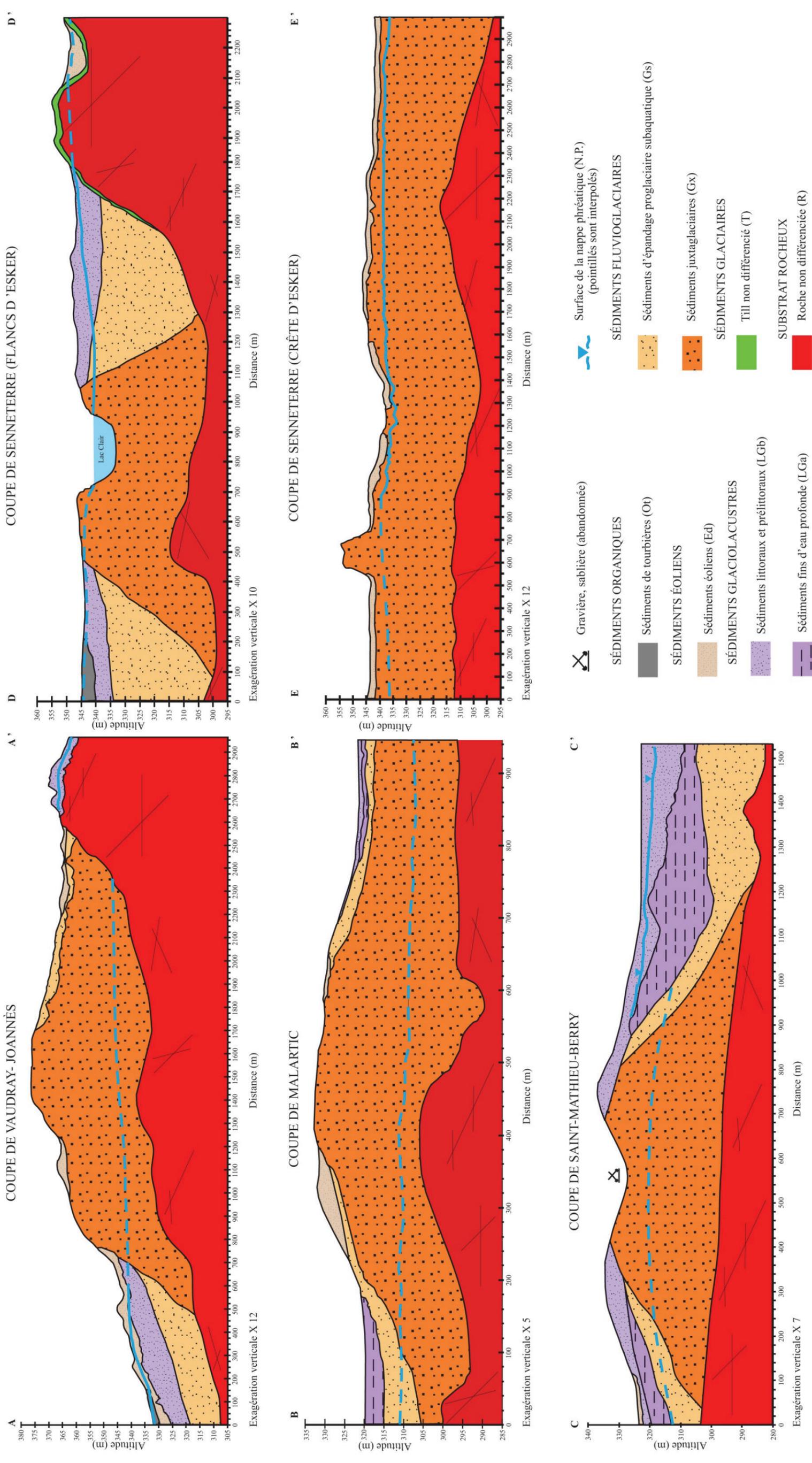


Figure 4.7 : Coupes stratigraphiques locales

#### 4.4.3 Épaisseur des dépôts meubles

La carte d'épaisseur des dépôts meubles (carte 14) permet de représenter les variations spatiales d'épaisseur des dépôts meubles sus-jacents à la surface du socle rocheux. Cette carte est très utile pour identifier l'épaisseur des aquifères granulaires tels que les eskers. Certaines dépressions du socle rocheux enfouies sous une épaisse couche de dépôts peuvent être repérées, ce qui facilite la recherche d'aquifères granulaires susceptibles d'être enfouis sous l'argile. Le produit cartographique sert aussi à préciser les secteurs où il y a absence d'accumulation significative de sédiments au-dessus du socle rocheux. La méthodologie suivie pour la production de la carte 14 est présentée à l'annexe C-5, il est très important de s'y référer afin de bien cerner les limites associées à ce produit.

L'épaisseur maximale modélisée sur le territoire est de 90 m. Les secteurs les plus épais coïncident avec les grands systèmes fluvioglaciaires de la région. La Moraine d'Harricana, l'esker Saint-Mathieu-Berry et l'esker Vaudray-Joannès constituent les principales zones d'accumulations atteignant régulièrement plus de 35 m au niveau de leur crête. Des forages localisés sur la crête de la Moraine d'Harricana ont montré des épaisseurs pouvant atteindre plus de 70 m de dépôts par endroit. Les hauts topographiques corrélés aux zones élevées du socle rocheux présentent les plus faibles accumulations de dépôts. Ces zones sont majoritairement caractérisées par la présence de till continu ou de till mince entrecoupées de grandes zones d'affleurements rocheux. Outre ces deux tendances, le territoire montre beaucoup de rugosité qui s'exprime par des variations constantes entre des zones d'affleurements et d'accumulations. Il est très commun d'observer des variations d'épaisseur de plusieurs mètres sur seulement une centaine de mètres de distance (taille des pixels du produit matriciel d'épaisseur de dépôts). En dépit de cette rugosité, l'épaisseur moyenne de dépôts meubles pour l'ensemble de la région atteint 14,6 m, représentant donc un volume de 132,2 km<sup>3</sup> de dépôts meubles, toutes granulométries confondues, qui recouvrent l'ensemble du territoire.

#### 4.4.4 Topographie du roc

La carte de la topographie du roc (carte 15) permet de représenter les variations spatiales de la surface du socle rocheux. Compte-tenu de la présence régulière de dépôts meubles sur le territoire, il est très difficile de représenter le socle rocheux lorsque l'absence d'indices en surface ne permet pas d'évaluer sa topographie. L'utilisation de l'épaisseur totale de dépôts meubles devient donc indispensable. En effet, la soustraction de l'épaisseur totale de dépôts meubles au modèle altimétrique numérique permet d'obtenir la topographie du socle rocheux. La méthodologie suivie pour la production de la carte 15 est présentée à l'annexe C-5 et il est très important de s'y référer afin de bien cerner les limites associées à cette carte. En soumettant l'hypothèse qu'il existe un contraste significatif entre la conductivité hydraulique du socle rocheux et celle des dépôts granulaires qui le recouvrent de façon discontinue, il apparaît réaliste de suggérer que les accidents du socle rocheux puissent constituer un facteur important en ce qui a trait à la dynamique d'écoulement de l'eau souterraine. En ce sens, la représentation des irrégularités du socle rocheux constitue un apport important à la compréhension de l'écoulement de l'eau souterraine.

Dans la région, l'élévation du socle rocheux varie de 230 m à un peu plus de 500 m. En général, les reliefs positifs sont formés d'intrusions granitiques contrairement aux roches volcaniques et métasédimentaires qui forment les principales dépressions du socle rocheux. Cette particularité est attribuable, du moins en partie, aux contrastes observés dans les taux d'érosion des différents ensembles lithologiques au cours de l'histoire géologique de la région. Le secteur de Val-d'Or, sous le lac Montigny, montre les plus basses altitudes du socle rocheux tandis que les hautes altitudes

correspondent aux principaux hauts topographiques observables à la surface, tel que les collines Abijévis et le Mont-Vidéo. Les dykes s'observent aussi sur la topographie du socle rocheux par des reliefs positifs linéaires d'axe nord-est – sud-ouest sur plusieurs dizaines de kilomètres. Certaines failles de la région, telles que celles de Manneville et de Laflamme forment, quant à elles, des dépressions linéaires pouvant atteindre plusieurs dizaines de kilomètres de longueur.

#### *4.4.5 Épaisseur de la couche argileuse*

La carte d'épaisseur d'argile (figure 4.8) représente la répartition spatiale de l'argile en plus des variations de son épaisseur. La méthodologie suivie est présentée à l'annexe C-6. En soumettant l'hypothèse que cette unité est caractérisée par une faible perméabilité (constat généralement reconnu pour les argiles), l'identification de son étendue permet d'observer les zones de confinements de la nappe phréatique. L'estimation régionale de l'épaisseur d'argile, lorsque comparée à l'épaisseur totale de dépôts meubles (section 4.4.3), permet également l'attribution de séquences stratigraphiques types pour chaque unité de surface (maillage de 100 m x 100 m) et la réalisation d'un modèle géologique 3D régionale.

Dans la région, l'altitude de sédimentation maximale des argiles est de 320 mètres. Sous cette élévation, seuls quelques affleurements rocheux ponctuels percent la couche argileuse. Ce sont les crêtes d'eskers et les grandes zones d'affleurements rocheux, s'élevant à des altitudes supérieures à 320 mètres, qui segmentent l'étendue de la plaine. Malgré la présence de quelques forages montrant des épaisseurs supérieures à 20 m, l'épaisseur d'argile se situe généralement entre 5 et 15 m. Les secteurs de Launay, Trécesson, Val-d'Or et le nord de Saint-Nazaire-de-Berry constituent les secteurs où l'accumulation d'argile est plus élevée que la moyenne. Les épaisseurs de moins de 5 m se retrouvent majoritairement en bordure d'affleurements rocheux ou dans le secteur nord-est de l'esker Vaudray-Joannès. Au total, 54,9 km<sup>3</sup> d'argile se sont déposés sur le territoire du PACES-AT1. Ce volume correspond à une accumulation de 6,1 m sur l'ensemble du territoire, toutefois, si l'on se limite à l'étendue des argiles, c'est en moyenne 10,1 m qui s'est sédimenté. La superposition des plans d'eau à l'étendue d'argile permet de constater que les grands lacs abitibiens sont généralement situés sur l'argile. Des études spécifiques seraient nécessaires pour comprendre l'interaction entre l'eau souterraine et ces plans d'eau.

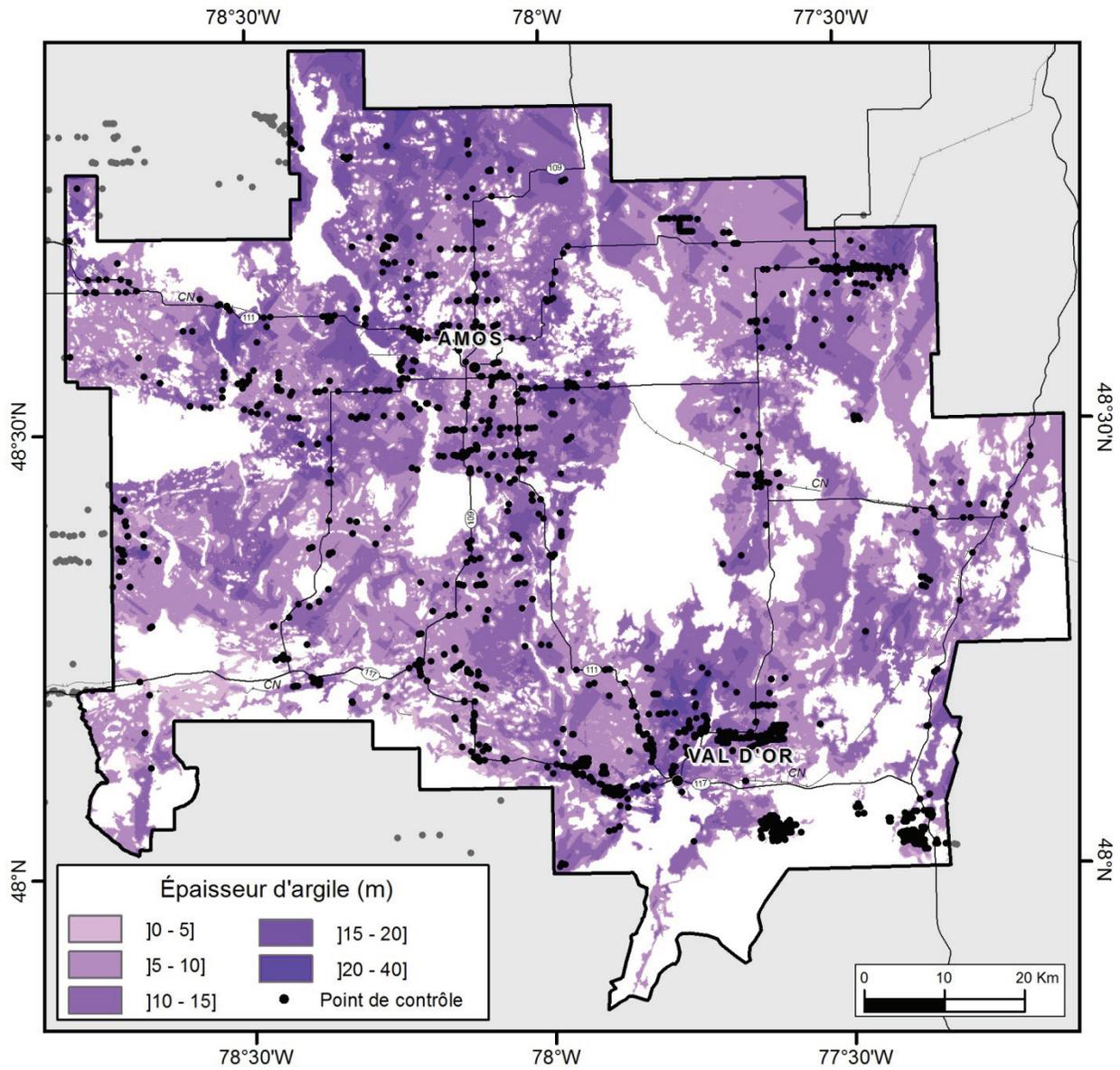


Figure 4.8 : Épaisseur de la couche d'argile sur le territoire PACES-AT1.

#### 4.4.6 Séquences stratigraphiques et modèles géologiques 3D

Les milieux de mise en place des eskers et les coupes stratigraphiques ont permis de mettre en évidence l'hétérogénéité de l'agencement des unités lithostratigraphiques du territoire. À l'aide des différentes couches d'informations générées au cours du projet, tel que l'épaisseur de dépôts meubles et l'épaisseur d'argile, ainsi que les formations en surface, une séquence stratigraphique a été attribuée pour chaque unité de surface sur un maillage de 100 m x 100 m (annexe C-7). Ainsi, 11 séquences (tableau 4.2) ont pu être attribuées sur le territoire (carte 16) respectant la terminologie de la colonne stratigraphique simplifiée (figure 4.2).

Ces séquences ont servi d'information de base pour la réalisation de plusieurs produits cartographiques tels la piézométrie, l'évaluation de la recharge et la définition des contextes hydrogéologiques. La séquence la plus commune sur le territoire est un socle rocheux recouvert de sables et graviers et d'une couche d'argile (séquence 5, 34,2 % de la zone d'étude). La présence d'argile dans les séquences stratigraphiques s'observe sur 63,4 % du territoire (séquences 5, 6, 7, 8, 9 et 10), toutefois, cette argile est parfois masquée par des sables littoraux (séquence 6, 7,1 % du territoire) ou des dépôts organiques (séquences 9 et 10, 13,5 % du territoire). Au total, 77,1 % du socle rocheux est directement recouvert d'une couche de sables et graviers (séquences 2, 3, 4, 5, 6, 10 et 11), 13,9 % est directement recouvert par de l'argile (séquences 7, 8 et 9) et 9 % affleure (séquence 1). La couche de sables et graviers recouvrant le roc est surmontée d'argile sur 49,5 % du territoire (séquences 5, 6 et 10). Dans ce cas, on peut s'attendre à ce que le dépôt granulaire soit, lorsqu'il est mince, davantage constitué de sable limoneux provenant d'épandage sous-aquatique ou uniquement composé de till. Le potentiel aquifère de ces sédiments granulaires peut donc être moindre que pourrait présager un matériel granulaire enfoui composé majoritairement de sables et graviers.

En utilisant ces séquences, un modèle géologique 3D régional a pu être réalisé (figure 4.9). Ce modèle permet de (1) visualiser l'irrégularité du socle rocheux, (2) observer les zones de hauts et bas topographiques du roc, (3) remarquer l'étalement des dépôts fluvioglaciers et les zones importantes d'accumulations des sables et graviers (eskers et moraines), (4) mettre en évidence l'étendue et l'épaisseur de la plaine argileuse, (5) souligner l'étalement de sables superposant l'argile et (6) localiser les grandes tourbières du territoire.

Le modèle géologique 3D tient compte des couches cartographiques produites précédemment. Sa précision est donc limitée par la fiabilité des données collectées et la basse résolution imposée par l'échelle régionale de l'étude. Néanmoins, l'agencement des différentes couches stratigraphiques permet l'amélioration de la compréhension quant à l'écoulement régional de l'eau souterraine. La réalisation d'un modèle plus détaillé avec l'ajout de forages stratigraphiques ciblés permettrait d'améliorer la compréhension de la dynamique hydrogéologique dans certains secteurs-clés, tels que les segments d'eskers où la diversité des activités anthropiques pourrait engendrer des conflits d'usage.

Tableau 4.2 : Séquences stratigraphiques du PACES-AT1

N°	Schéma	Description	%
1		Roc affleurant ou recouvert d'une mince couche de till discontinue d'une épaisseur inférieure à 1 m	9,0
2		Till continue d'une épaisseur moyenne supérieure à 1 m	7,9
3		Sable, gravier, caillou et bloc formant des eskers et moraines de cinq à plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur	5,9
4		Sédiments sublittoraux et de plages ou éoliens (sable, sable silteux et gravier) pouvant atteindre quelques dizaines de mètres d'épaisseur et surmontant une couche de till	7,9
5		Rythmites d'argile et de silt (varves) pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur et recouvrant des sédiments fluvioglaaciaires (sables, sable silteux et gravier) et probablement une couche de till	34,2
6		Sédiments sublittoraux et de plages ou éoliens (sable, sable silteux et gravier) pouvant atteindre quelques mètres d'épaisseur. Majoritairement situés en flancs d'eskers, ils surmontent des rythmites d'argile et de silt (varves) pouvant atteindre quelques mètres d'épaisseur, des sédiments fluvioglaaciaires (sable, sable silteux et gravier) et probablement une couche de till	4,2
7		Rythmites d'argile et de silt (varves) pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur	8,6
8		Sédiments sublittoraux et de plages ou éoliens (sable, sable silteux et gravier) pouvant atteindre quelques mètres d'épaisseur et surmontant des rythmites d'argile et de silt (varves) pouvant atteindre quelques mètres d'épaisseur.	2,9
9		Tourbe pouvant atteindre 5 m d'épaisseur et recouvrant des rythmites d'argile et de silt (varves) pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur	2,4
10		Tourbe pouvant atteindre 5 m d'épaisseur et recouvrant des rythmites d'argile et de silt (varves) pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, des sédiments fluvioglaaciaires (sable, sable silteux et gravier) et probablement une couche de till	11,1
11		Tourbe pouvant atteindre 5 m d'épaisseur et recouvrant majoritairement des sédiments sublittoraux et de plages (sable, sable silteux, gravier) pouvant atteindre quelques dizaines de mètres d'épaisseur et probablement une couche de till	5,9

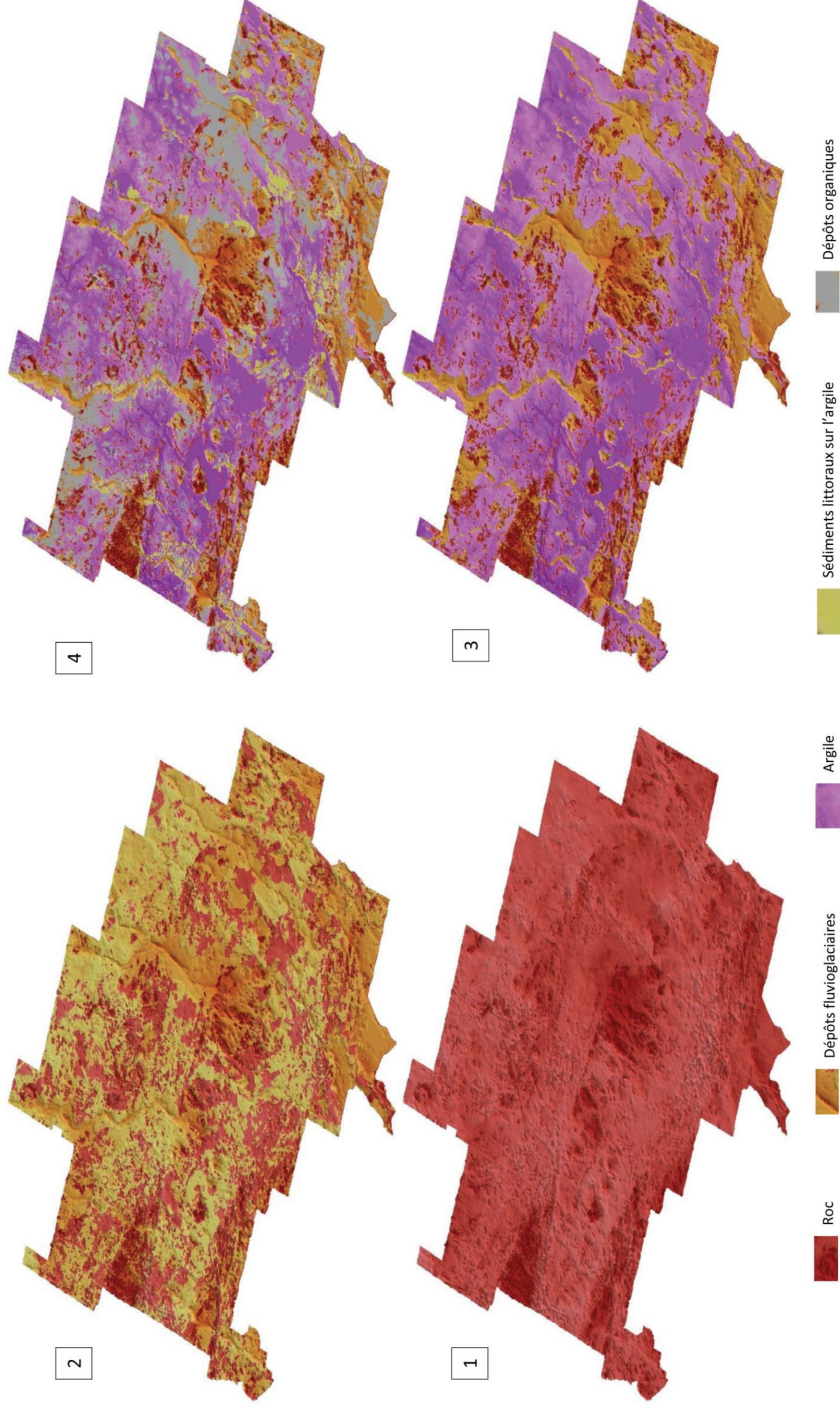


Figure 4.9 : Modèle géologique 3D développé pour le PACES-AT1, 1) Topographie du socle rocheux. 2) Matériel granulaire associé aux sédiments fluvioglaciaires. 3) Couverture de la plaine argileuse. 4) Sables littoraux sur l'argile et tourbière.

## 5. Conditions hydrogéologiques

Le présent chapitre traite (1) des propriétés hydrauliques des matériaux géologiques du territoire à l'étude, (2) des conditions d'écoulement de l'eau souterraine, (3) de la piézométrie régionale, (4) du bilan hydrologique régional, (5) des zones préférentielles de recharge et de résurgence, (6) de la vulnérabilité des nappes et (7) des propriétés géochimiques des eaux souterraines. L'intégration de l'ensemble de ces informations permet la réalisation de la synthèse hydrogéologique régionale.

### 5.1 Propriétés hydrauliques

#### 5.1.1 Terminologie et définitions

Dans le cadre de la présente étude, on regroupe sous la désignation « propriétés hydrauliques » un ensemble de propriétés physiques et de paramètres hydrauliques susceptibles de gouverner directement ou indirectement la dynamique d'écoulement de l'eau souterraine au sein des unités géologiques. Les définitions des propriétés discutées dans la présente section de même que certaines définitions jugées complémentaires sont rapportées au tableau 5.1.

**Tableau 5.1 : Définitions des propriétés physiques et paramètres hydrauliques retenus**

Désignation	Symbole <sup>1</sup>	Définition retenue <sup>2</sup>	Équation	Unités
Diamètre effectif	$D_{10}$	Diamètre des grains correspondant à 10 % de particules passantes (en masse) dans une courbe de distribution granulométrique (Holtz et Kovacs, 1991).		[L]
Porosité totale	$n_t$	Ratio du volume des vides ( $V_v$ ) (pores et interstices) au volume total d'un échantillon ( $V_t$ ).	$n_t = \frac{V_v}{V_t}$	[ ]
Porosité primaire	$n_p$	Porosité correspondant aux pores ou interstices contemporains de la formation de l'unité géologique		[ ]
Porosité secondaire	$n_s$	Porosité correspondant aux pores ou interstices postérieurs à la formation d'une unité géologique.		[ ]
Porosité efficace	$n_{\text{efficace}}$	Porosité correspondant aux pores et interstices reliés qui permettent l'écoulement gravitaire des liquides.		[ ]
Porosité effective	$n_{\text{effective}}$	Porosité correspondant aux pores et interstices reliés à l'état saturé qui permettent l'écoulement.		[ ]
Indice des vides	$e$	Ratio du volume des vides ( $V_v$ ) (pores et interstices) au volume du solide d'un échantillon ( $V_s$ ).	$e = \frac{V_v}{V_s}$	[ ]
Conductivité hydraulique	$K$	Paramètre mesurant la perméabilité (dans une direction) d'un milieu poreux vis-à-vis de l'eau, pour une masse volumique ( $\rho_w$ ) et une viscosité cinématique ( $\nu_w$ ) constantes.	$K = k \frac{\rho_w}{\nu_w}$	[LT <sup>-1</sup> ]
Perméabilité (intrinsèque)	$k$	Paramètre caractérisant un milieu poreux dans une direction vis-à-vis d'un fluide homogène, indépendamment des caractéristiques du fluide.		[L <sup>2</sup> ]
Transmissivité	$T$	Produit de la conductivité hydraulique ( $K$ ) d'une unité géologique par son épaisseur saturée ( $b$ ).	$T = Kb$	[L <sup>2</sup> T <sup>-1</sup> ]
Coefficient d'emmagasinement	$S$	Quantité d'eau qu'un aquifère relâche ou emmagasine par unité de surface d'aquifère d'épaisseur ( $b$ ) lorsque la charge hydraulique varie d'une unité.		[ ]

<sup>1</sup> Le symbole correspond à celui retenu dans le cadre de la présente étude. Il est à noter que les symboles correspondant aux définitions peuvent différer selon les références.

<sup>2</sup> Sauf si spécifié autrement, les définitions retenues sont adaptées de Chapuis (1999).

### 5.1.2 Données disponibles

Les informations issues de rapports techniques appliqués au territoire à l'étude ont permis la compilation de données issues de 53 essais hydrauliques. À ce nombre s'ajoutent les données issues de 14 essais de perméabilité à charges variables (*slug tests*) et de 75 essais au perméamètre de Guelph réalisés par le GRES-UQAT. Les données des essais hydrauliques compilés de rapports techniques et celles des essais réalisés dans le cadre du PACES-AT1 ont été vérifiées et/ou analysées à l'aide du logiciel AQTESOLV PRO version 4.50 (HydroSOLVE, 2007). Ainsi, les données issues de 142 essais hydrauliques (115 dans les dépôts granulaires et 27 dans le socle rocheux) ont été retenues pour l'évaluation des propriétés hydrauliques des unités géologiques du territoire (tableau 5.2). En complément, les données issues de 512 analyses granulométriques ont été utilisées pour caractériser les unités granulaires du territoire.

Tableau 5.2 : Sources des données quantitatives disponibles

Désignation	Symbole	Sources de données disponibles (nombre)
Caractéristiques granulométriques	D <sub>10</sub> , D <sub>50</sub> , D <sub>90</sub>	Analyses granulométriques tirées de rapports de consultants (120)
		Analyses granulométriques réalisées par le MTQ (293)
		Analyses granulométriques réalisées dans le cadre du PACES-AT1 (99)
Conductivité hydraulique <sup>1</sup>	K	Essais de perméabilité à charges variables <sup>2</sup> (14)
		Essais hydrauliques tirés de rapports de consultants (41)
Conductivité hydraulique à saturation terrain <sup>3</sup>	K <sub>fs</sub>	Essais au perméamètre de Guelph <sup>2</sup> (75)
Transmissivité	T	Essais hydrauliques tirés de rapports de consultants (22)
Coefficient d'emmagasinement	S	Essais hydrauliques tirés de rapports de consultants (n=8)

<sup>1</sup> Pour les besoins de la présente étude, certaines valeurs de K (n=12) ont été évaluées à partir de valeurs de T suivant la relation  $T=Kb$ , où b représente l'épaisseur de l'aquifère.

<sup>2</sup> Essais hydrauliques réalisés par le GRES-UQAT dans le cadre de la présente étude.

<sup>3</sup> La conductivité hydraulique mesurée dans le cadre des essais au perméamètre de Guelph est obtenue par une évaluation du taux d'infiltration au sein d'une unité initialement non saturée, une procédure pouvant engendrer le piégeage de bulles d'air au sein du sol, modifiant ainsi sa conductivité hydraulique. Pour cette raison, les valeurs obtenues par perméamètre de Guelph (K<sub>fs</sub>, référant à « *field saturated hydraulic conductivity* ») sont traitées séparément des valeurs obtenues par des essais hydrauliques en zone saturée.

### 5.1.3 Approche régionale

L'approche privilégiée pour la distribution spatiale des propriétés hydrauliques repose sur le postulat voulant que les caractéristiques attribuables à une parcelle du territoire à l'étude seront fonction (1) de la nature des unités géologiques qu'on y retrouve et (2) de l'architecture de ces dernières. Suivant ce postulat, il apparaît raisonnable de proposer que les différentes unités constituant les 11 séquences stratigraphiques types définies à la section 4.4.6 seraient susceptibles de présenter des propriétés hydrauliques distinctes. Les trois étapes de l'approche ainsi retenue sont présentées au tableau 5.3.

**Tableau 5.3 : Résumé de l'approche retenue pour la distribution spatiale des propriétés hydrauliques**

	Étapes de réalisation	Description	Référence au présent rapport
1	Réalisation d'un modèle géologique régional.	Subdivision du territoire en séquences stratigraphiques types.	Section 4.4.6
2	Définition d'unités hydrogéologiques régionales.	Regroupement des unités constituant les séquences stratigraphiques types du modèle géologique régional selon (1) leur nature et (2) leur position dans l'architecture spatiale.	Section 5.1.3.1
3	Attribution de plages de valeurs de propriétés hydrauliques aux unités hydrogéologiques régionales sur la base (1) des données territoriales quantitatives disponibles et (2) de données complémentaires tirées de la littérature scientifique.	Regroupement des données et réalisation d'analyses statistiques pour chaque unité hydrogéologique régionale.	Section 5.1.3.2

### 5.1.3.1 Unités hydrogéologiques régionales

Suivant l'approche régionale retenue (section 5.1.3), les unités sont d'abord définies selon leur nature, sur la base de la colonne stratigraphique régionale (figure 5.1), puis sur la base de leur position dans l'architecture des séquences stratigraphiques définies dans le modèle géologique régional (tableau 5.4). La subdivision et la définition des unités hydrogéologiques régionales (tableau 5.4) reposent essentiellement sur le modèle géologique préalablement défini (section 4.4.6). Lorsqu'applicable, certaines caractéristiques relatives aux courbes de distribution granulométrique des unités hydrogéologiques régionales ont été évaluées, permettant ainsi leur comparaison et la documentation de leur hétérogénéité intrinsèque. L'évaluation des caractéristiques granulométriques des différentes unités a été réalisée suivant une approche en trois étapes :

- 1- Classification et regroupement des données granulométriques en sept groupes (tableau 5.5) selon les sept unités hydrogéologiques régionales sur la base des données de forages;
- 2- Évaluation de caractéristiques granulométriques pour chaque échantillon à l'aide du logiciel GRADISTAT suivant la méthodologie proposée par Blott et Pye (2001);
- 3- Attribution de plages de valeurs de certaines caractéristiques tirées des courbes granulométriques ( $D_{10}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{90}$ ) pour chaque unité hydrogéologique régionale.

Le tableau 5.5 présente une description des unités hydrogéologiques régionales appuyée sur leurs caractéristiques géologiques et physiques.

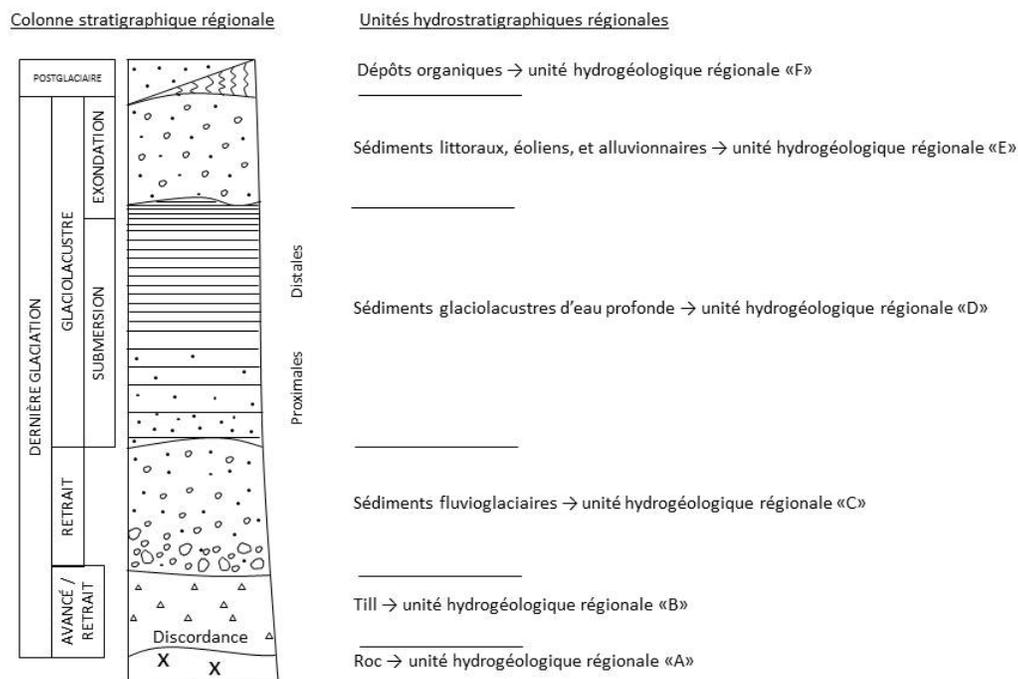


Figure 5.1 : Définition des unités hydrogéologiques régionales selon leur nature (modifiée et adaptée de la colonne stratigraphique régionale de Veillette, 1996). Il est à noter que par mesure de simplification, les sédiments éoliens et les alluvions du sommet de la séquence ont été regroupés avec les sédiments littoraux au sein de l'unité hydrogéologique régionale E.

**Tableau 5.4 : Définition des unités hydrogéologiques selon leur position dans l'architecture des séquences stratigraphiques types**

N°	Schéma des séquences stratigraphiques	Description	Code d'unité hydrogéologique régionale correspondante
1		Roc affleurant ou recouvert d'une mince couche de till discontinue d'une épaisseur inférieure à 1 m	A
2		Till continu d'une épaisseur moyenne supérieure à 1 m	B
3		Roc fracturé	A
		Sable, gravier, caillou et bloc formant des eskers et moraines de cinq à plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur	C1
4		Sédiments sublittoraux et de plages ou éoliens (sable, sable silteux et gravier)	E
		Till	B
		Roc fracturé	A
5		Rythmites d'argile et de silt (varves)	D
		Sédiments fluvioglaciers (sable, sable silteux et gravier) et/ou till	C2
		Roc fracturé	A
6		Sédiments sublittoraux et de plages ou éoliens (sable, sable silteux et gravier)	E
		Rythmites d'argile et de silt (varves)	D
		Sédiments fluvioglaciers (sable, sable silteux et gravier) et/ou till	C2
		Roc fracturé	A
7		Rythmites d'argile et de silt (varves)	D
		Roc fracturé	A
8		Sédiments sublittoraux et de plages ou éoliens (sable, sable silteux et gravier)	E
		Rythmites d'argile et de silt (varves)	D
		Roc fracturé	A
9		Tourbe	F
		Rythmites d'argile et de silt (varves)	D
		Roc fracturé	A
10		Tourbe	F
		Rythmites d'argile et de silt (varves)	D
		Sédiments fluvioglaciers (sable, sable silteux et gravier) et/ou till	C2
11		Roc fracturé	A
		Tourbe	F
		Sédiments sublittoraux et de plages (sable, sable silteux, gravier)	E
		Till	B
		Roc fracturé	A

Tableau 5.5 : Description des unités hydrogéologiques régionales

Unités hydrogéologiques régionales	Description / éléments distinctifs	Caractéristiques relatives aux courbes de distribution granulométrique																	
		D <sub>10</sub> (µm)						D <sub>50</sub> (µm)						D <sub>90</sub> (µm)					
		nb	min	med	max	nb	min	med	max	nb	min	med	max						
Unité F : Tourbe	L'unité F (figure 5.2) est essentiellement composée de dépôts organiques mis en places et accumulés à la faveur de conditions humides. Elle occupe le sommet de la colonne hydrostratigraphique régionale. À l'échelle du territoire à l'étude, cette unité est considérée comme constituée de deux couches superposées. La couche inférieure (catotème) est composée de matière organique partiellement décomposée maintenue en conditions saturées alors que les fluctuations temporelles du niveau d'eau souterrain ont essentiellement lieu au sein de la couche supérieure (acrotème) où des conditions aérobies s'observent périodiquement (Payette et Rochefort, 2001).	39	6	64	252	39	22	155	9 517	39	91	330	27 216						
Unité E : Sédiments subittoraux et de plages ou éoliens	L'unité E (figure 5.3) est composée de matériel granulaire issu du remaniement des sédiments de l'unité C1 par l'action de l'eau et/ou du vent, ce qui en fait une unité plus homogène que les unités C2, C1 et B d'un point de vue granulométrique. En raison de sa position dans la séquence stratigraphique, il apparaît raisonnable de proposer que cette unité devrait généralement présenter un faible niveau de compaction en comparaison aux unités C2, C1 et B.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.							
Unité D : Rythmites d'argile et de silt	L'unité D (figure 5.4) est composée de sédiments d'eau profonde mis en place au sein du lac proglaciaire Barlow-Ojibway. Cette unité est essentiellement constituée d'une alternance de couches subhorizontales d'argile et de silt. À l'échelle du territoire à l'étude, il s'agit de l'unité caractérisée par la distribution granulométrique la plus fine.	18	5	15	224	18	18	196	5 593	18	57	1 472	18 679						
Unité C2 : Sédiments fluvioglaciers et/ou till sous-jacents à une couche d'argile	L'unité C2 est composée de matériel granulaire principalement constitué de sédiments ayant été triés et transportés par l'eau lors de leur mise en place, leur conférant ainsi une composition granulométrique plus fine (D <sub>10</sub> médian = 15 µm) en comparaison à l'unité C1 (D <sub>10</sub> médian = 530). Par endroits, cette unité est susceptible d'être constituée (en tout ou en partie) de till. Néanmoins, la distinction entre le till et les sédiments fluvioglaciers à l'échelle régionale n'a pu être réalisée sur la base des données disponibles. Par définition, l'unité C2 est sous-jacente à une couche d'argile. De par sa nature et sa position dans l'architecture des dépôts meubles, elle est susceptible de présenter un niveau de compaction élevé.	455	6	530	5 808	455	26	5 828	52 946	455	100	32 294	112 000						
Unité C1 : Eskers et moraines	L'unité C1 (figure 5.5) constitue les eskers et moraines du territoire. Le processus de mise en place de ces sédiments fluvioglaciers dans un environnement de haute énergie en fait une unité hydrogéologique hétérogène (diamètre effectif D <sub>10</sub> allant de 6 à 5808 µm). À l'échelle du territoire PACES-AT1, il s'agit de l'unité caractérisée par la distribution granulométrique la plus grossière et la plus hétérogène. L'unité C1 est susceptible de présenter une forte hétérogénéité en ce qui a trait à son niveau de compaction.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.							
Unité B : Till	L'unité B (figure 5.6) est décrite comme un sédiment glaciaire hétérométrique dont la matrice est constituée de 60 à 70 % de sable, de 20 à 25 % de limon et de moins de 5 % d'argile (section 4.2.1). Elle occupe la base de la séquence de dépôts meubles du territoire. En raison de son mode de mise en place, cette unité est susceptible de présenter (localement) un niveau de compaction élevé.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.							
Unité A : Roc fracturé	Les différentes formations constituant le roc sont regroupées sous la désignation d'unité hydrogéologique régionale A, indépendamment de la distribution spatiale des différents types de roches.	Non applicable																	



Figure 5.2 : Unité hydrogéologique F (tourbe)



Figure 5.3 : Unité hydrogéologique E (sédiments sublittoraux et de plages ou éoliens)



Figure 5.4 : Unité hydrogéologique D (rythmites d'argile et de silt)



Figure 5.5 : Unité hydrogéologique C1 (eskers et moraine)



Figure 5.6 : Unité hydrogéologique B (till)

### *5.1.3.2 Distribution spatiale des propriétés hydrauliques et portrait régional*

Les informations relatives aux propriétés hydrauliques des unités hydrogéologiques prédéfinies sont obtenues à partir de données territoriales quantitatives (tableau 5.2), lesquelles sont complétées par des informations tirées de la littérature scientifique. Dans un premier lieu, la distribution spatiale des données territoriales quantitatives a consisté en l'attribution de plages de valeurs aux unités hydrogéologiques suivant une démarche en deux étapes :

- 1- classification et regroupement des données en classes selon les unités hydrogéologiques régionales (sur la base des données de forages);
- 2- attribution de plages de valeurs calculées (minimum, médiane, maximum) pour chaque unité hydrogéologique régionale.

Ces données quantitatives permettent essentiellement de documenter la conductivité hydraulique des unités A, C1, C2 et E. Les informations tirées de la littérature scientifique sont utilisées en complément afin de compléter le portrait régional (tableau 5.6). Il est à noter que les informations ainsi regroupées tendent à illustrer une hétérogénéité spatiale marquée en ce qui a trait à la conductivité hydraulique des différentes unités, avec des valeurs s'échelonnant sur plus de huit ordres de grandeur à l'échelle du territoire. Notons que l'hétérogénéité intrinsèque des unités est également importante en ce qui a trait à la conductivité hydraulique, avec des valeurs s'échelonnant sur quatre ordres de grandeur pour les unités A (roc fracturé), C1 (eskers et moraines) et C2 (sédiments fluvioglaciers et/ou till sous-jacents à une couche d'argile).

Il est important de spécifier que les valeurs de transmissivité (T) tirées des rapports de consultants ne sont pas présentées au tableau 5.6. Ce paramètre peut cependant être calculé pour chaque unité géologique du territoire par l'évaluation du produit de la conductivité hydraulique (K) et de l'épaisseur saturée (b) d'une unité géologique en un endroit donné (tableau 5.1,  $T = Kb$ ).

Tableau 5.6 : Synthèse des informations hydrogéologiques calculées et estimées

Unités hydrogéologiques régionales	Diamètre effectif (D <sub>10</sub> ) (µm) <sup>1</sup>			Facès granulométrique <sup>2,3,4</sup>	n <sup>5</sup> (%)	Coefficient d'emmagasinement (S)			K (m/s)			Éléments descriptifs	
	Min.	Méd.	Max.			Source des données	Min.	Méd.	Max.	Source des données	Min.		Méd.
<b>Unité F : Tourbe</b>	Non applicable			Non applicable	92 <sup>7</sup>	Aucune donnée			6,6x10 <sup>-5</sup>			L'unité F est documentée uniquement sur la base de données tirées de la littérature scientifique (sans application directe au territoire à l'étude). Essentiellement constituée de matière organique, l'unité F peut être subdivisée en deux couches principales, soit l'acrotelme et le catotelme (tableau 5.5). La couche inférieure (catotelme) est généralement caractérisée par une faible conductivité hydraulique (Payette et Rochefort, 2001) alors que la couche supérieure (acrotelme) est susceptible de présenter une conductivité hydraulique relativement élevée. L'eau souterraine est susceptible d'y circuler préférentiellement au sein de la couche de surface. L'unité de tourbe présente la plus haute porosité de la colonne hydrostratigraphique régionale.	
<b>Unité E : Sédiments subglaciaires et de plages ou éoliens</b>	6	64	252	Sable fin – sable moyen <sup>3</sup>	25 50	Aucune donnée			Données PACES-AT1 (n=5) <sup>6</sup>	4,3x10 <sup>-7</sup>	8,9x10 <sup>-7</sup>	5,8 x10 <sup>-5</sup>	À l'échelle du territoire à l'étude, des données issues de cinq essais de perméabilité à charges variables ( <i>Slug test</i> ) et de 29 essais au perméamètre de Guelph permettent de caractériser l'unité E. En complément, les données granulométriques disponibles pour cette unité (tableau 5.5) ont permis l'attribution de plages de valeurs pour les propriétés hydrauliques retenues sur la base de données tirées de la littérature. Les données disponibles tendent à indiquer que cette unité est caractérisée par une conductivité hydraulique inférieure aux unités granulaires C1 et C2.
									Perméamètre de Guelph (K <sub>g</sub> ) (n=29)	1,2x10 <sup>-5</sup>	6,6x10 <sup>-5</sup>	3,1x10 <sup>-4</sup>	
<b>Unité D : Rhythmites d'argile et de silt</b>	Données non disponibles			Argile – silt <sup>4</sup>	35 70	Aucune donnée			Littérature scientifique <sup>7,8</sup>	2,5x10 <sup>-11</sup>	-	9,3x10 <sup>-7</sup>	Malgré sa porosité potentiellement élevée, l'unité D est caractérisée par la conductivité hydraulique la plus faible de la séquence hydrogéologique régionale. De par son architecture (alternance de couches subhorizontales d'argile et de silt), cette unité est susceptible de présenter une anisotropie significative au niveau de sa conductivité hydraulique, à la faveur d'un écoulement horizontal préférentiel au sein des couches de silt. Il apparaît réaliste de proposer que les horizons argileux limitent significativement les écoulements verticaux au sein de cette unité. Néanmoins, des fractures, la bioturbation et les racines pourraient potentiellement y créer des chemins d'écoulement (verticaux) préférentiels à l'échelle locale.
<b>Unité C2 : Sédiments fluvioglaciaires et/ou till sous-jacents à une couche d'argile</b>	5	15	224	Silt – sable grossier <sup>3</sup>	25 50	6,3x10 <sup>-2</sup>			Données PACES-AT1 (n=6)	2,3x10 <sup>-7</sup>	1,6x10 <sup>-4</sup>	7,2x10 <sup>-3</sup>	Les données issues de six essais hydrauliques réalisés sur le territoire permettent de documenter l'unité C2. Elle est caractérisée par une conductivité hydraulique supérieure aux formations constituant ses épontes supérieure (unité D) et inférieure (unité A). La percolation de l'eau souterraine s'y effectuera essentiellement au sein des pores dont les dimensions seront influencées par la taille granulométrique des particules les plus fines (D <sub>10</sub> ) et par le niveau de compaction du matériel granulaire.
									Littérature scientifique <sup>7</sup>	9,3x10 <sup>-7</sup>	-	5,2x10 <sup>-4</sup>	
<b>Unité C1 : Eskers et moraines</b>	6	530	5808	Sable – gravier <sup>c</sup>	25 50	1,4x10 <sup>2</sup>	2,3x10 <sup>-1</sup>	4,0x10 <sup>-1</sup>	Données PACES-AT1 (n=29) <sup>6</sup>	1,6x10 <sup>-5</sup>	4,6x10 <sup>-4</sup>	3,2x10 <sup>-1</sup>	Les données issues de 29 essais hydrauliques réalisés sur le territoire permettent la documentation de l'unité C1. Cette dernière est caractérisée par la conductivité hydraulique la plus élevée de la séquence hydrostratigraphique régionale. Tel que rapporté au tableau 5.5, l'unité C1 présente une hétérogénéité marquée en ce qui a trait à ses caractéristiques granulométriques, ce qui tend à indiquer que sa conductivité hydraulique est susceptible d'être très variable dans l'espace. Pour un niveau de compaction donné, la taille des particules les plus fines constituant la matrice devrait influencer significativement sa conductivité hydraulique, avec des valeurs généralement plus faibles pour une matrice plus fine.
									Perméamètre de Guelph (K <sub>g</sub> ) (n=46)	4,9x10 <sup>-6</sup>	1,0x10 <sup>-4</sup>	5,9x10 <sup>-4</sup>	
<b>Unité B : Till</b>	Données non disponibles			Silt – sable <sup>4</sup>	25 50	Aucune donnée			Littérature scientifique	9,3x10 <sup>-7</sup>	-	1,4x10 <sup>-4</sup>	L'unité B est documentée uniquement sur la base de données tirées de la littérature scientifique (sans application directe au territoire à l'étude). Cette dernière constitue la base de la séquence de dépôts meubles du territoire à l'étude. Deux principaux facteurs sont susceptibles d'influencer sa conductivité hydraulique, soit (1) les caractéristiques des particules les plus fines de sa matrice (coefficient D <sub>10</sub> ) et (2) son niveau de compaction. De façon générale, un niveau de compaction plus élevé et une matrice plus fine auront tendance à limiter l'écoulement de l'eau souterraine au sein de cette unité.
<b>Unité A : Roc fracturé</b>	Non applicable			Non applicable	<10	4,1x10 <sup>6</sup>	2,4x10 <sup>-5</sup>	7,9x10 <sup>-4</sup>	Données PACES-AT1 (n=27) <sup>6</sup>	5,0x10 <sup>-9</sup>	2,1x10 <sup>-6</sup>	4,3x10 <sup>-5</sup>	Les données issues de 27 essais hydrauliques réalisés sur le territoire permettent la caractérisation de l'unité A, qui constitue la base de la colonne hydrostratigraphique régionale. L'interprétation de la dynamique d'écoulement au sein de cette unité s'appuie sur trois éléments d'information rapportés par Rouleau et al. (1999) dans le cadre d'une étude portant sur l'hydrogéologie du socle précambrien québécois : 1- L'eau souterraine s'écoulant en socle précambrien y est transmise principalement via des systèmes de discontinuités structurales (failles, zones de cisaillement, fractures) qui sont susceptibles de traverser les différents types de roches; 2- Les propriétés hydrauliques du socle précambrien seraient plus influencées par les discontinuités structurales que par les lithologies; 3- Les contraintes géomécaniques abtibiennes indiquent une composante principale majeure généralement horizontale, ce qui pourrait vraisemblablement accentuer le rôle des fractures subhorizontales (importantes jusqu'à une profondeur d'environ 75 m) sur l'écoulement de l'eau souterraine. Partant de ces éléments d'informations, il apparaît raisonnable de proposer que l'unité A est limitée à sa base par une zone de transition graduelle où le niveau de fracturation du roc diminue, alors que les frontières définies par les différents types de roches du territoire ne constitueraient pas des limites hydrogéologiques.
									Littérature scientifique <sup>5</sup>	10 <sup>-9</sup>	-	10 <sup>-4</sup>	

<sup>1</sup> Le diamètre effectif D<sub>10</sub> a été retenu ici afin d'appuyer la comparaison qualitative de certaines unités granulaires entrées elles. L'approche comparative est fondée sur le constat généralement reconnu voulant que ce paramètre soit représentatif de l'influence des particules les plus fines d'une unité sur la taille de ses pores et sur la percolation de l'eau (p. ex. voir Chapuis, 2012). Il est assumé ici que pour un niveau de compaction donné, la conductivité hydraulique d'une unité granulaire sera fonction de D<sub>10</sub>, avec des valeurs de K généralement plus élevées pour des valeurs de D<sub>10</sub> plus élevées.

<sup>2</sup> Nomenclature selon l'échelle GRADISTAT (Blott et Pye, 2001).

<sup>3</sup> Attribution sur la base des données granulométriques (D<sub>10</sub> – D<sub>90</sub>) (tableau 5.5).

<sup>4</sup> Attribution sur la base d'informations qualitatives (carte 13 : Géologie du Quaternaire).

<sup>5</sup> Données tirées de Freeze et Cherry (1979).

<sup>6</sup> Plages de valeurs calculées à partir des données issues de documents techniques appliqués au territoire à l'étude et des essais hydrauliques réalisés dans le cadre du PACES-AT1.

<sup>7</sup> Données tirées de la compilation de Todd et Mays (2005) à partir des données de Morris et Johnson (1967).

<sup>8</sup> L'étude de Rumpf (1996) portant sur des argiles glaciolacustres déposées dans des conditions géologiques similaires à celle du territoire d'étude du PACES-AT1, révèle que leur conductivité hydraulique peut atteindre 2,5x10<sup>-11</sup> m/s.

<sup>9</sup> Les valeurs du coefficient d'emmagasinement (S) de l'ordre de 10<sup>-2</sup> à 10<sup>-3</sup> sont typiques des nappes captives (Chapuis, 1999).

### *5.1.3.3 Limites de l'approche proposée*

La définition d'unités hydrogéologiques a permis de dresser un portrait régional des propriétés hydrauliques des différentes unités géologiques du territoire sur la base d'un nombre de données limitées. Cette approche présente l'avantage de mettre en évidence certaines caractéristiques distinctives des unités hydrogéologiques, en support à la compréhension de la dynamique hydrogéologique régionale.

Néanmoins, l'approche privilégiée implique des généralisations et une importante simplification de la complexité du milieu naturel. Ainsi, si les constats généraux discutés au tableau 5.6 sont considérés réalistes à l'échelle régionale, ils sont potentiellement erronés lorsqu'étudiés à l'échelle locale. Notons également que les données utilisées afin de dresser le portrait régional sont susceptibles de présenter un biais non-négligeable. À titre d'exemple, bon nombre d'essais hydrauliques compilés de rapports de consultants ont été réalisés dans le cadre d'études visant à identifier des sources d'approvisionnement en eau souterraine. Ainsi, il apparaît réaliste d'assumer que les sites jugés potentiellement plus productifs sur la base des données de forage (p. ex. présence de sédiments grossiers sur une forte épaisseur en zone saturée) aient été privilégiées pour la réalisation d'essais hydrauliques au détriment des sites jugés potentiellement moins productifs (p. ex. sédiments plus fins dans les descriptions de forages). Il en va de même pour les données granulométriques issues d'analyses réalisées par le MTQ pour l'identification de sites pour le prélèvement de matériel granulaire. De façon générale, les sites présentant du matériel grossier en abondance devraient avoir été privilégiés. Finalement, les données actuellement disponibles ne permettent pas une évaluation quantitative du niveau de compaction des différentes unités, un paramètre ayant potentiellement une influence sur la dynamique d'écoulement de l'eau souterraine à l'échelle régionale.

## 5.2 Conditions d'écoulement de la nappe

La définition du terme « aquifère » retenue dans le cadre de la présente étude renvoie aux racines latines du mot : « *aqua* » (eau) et « *ferre* » (porter). Ainsi, toute unité géologique transportant de l'eau sera définie comme une unité aquifère, sans égard à son potentiel d'exploitation. Ces unités sont distinguées en deux catégories selon les conditions d'écoulement de la nappe d'eau souterraine y percolant, soit (1) les aquifères à nappe libre et (2) les aquifères à nappe captive (tableau 5.7).

**Tableau 5.7 : Définitions des catégories d'aquifères**

Désignation	Définition retenue <sup>1</sup>
<b>Aquifère à nappe libre</b>	Unité géologique partiellement saturée, limitée à sa base par une limite imperméable et où il existe une surface sur laquelle la pression d'eau est égale à la pression atmosphérique.
<b>Aquifère à nappe captive</b>	Unité géologique saturée située entre des surfaces limites inférieure (base) et supérieure (sommet) imperméables.

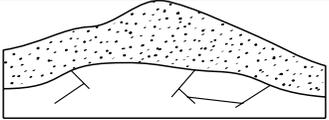
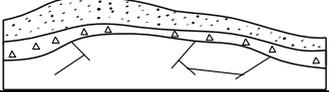
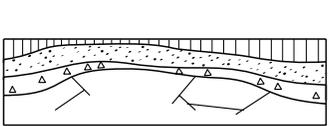
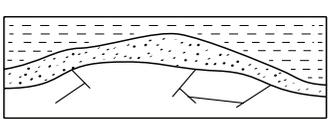
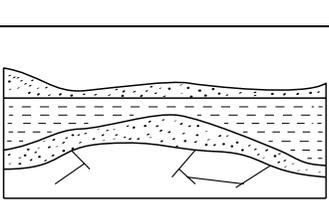
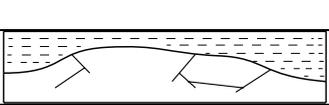
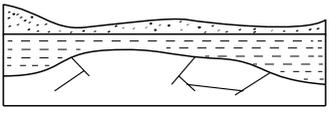
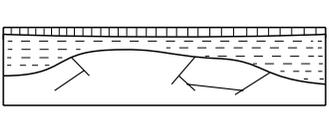
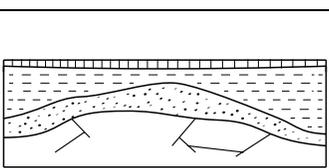
<sup>1</sup> Voir Chapuis (1999).

La notion d'imperméabilité, telle que rapportée au tableau 5.7, doit être considérée comme relative et non absolue. Ainsi, une unité est considérée imperméable (aquitard) si sa perméabilité est négligeable lorsque comparée à celle d'une unité considérée perméable (aquifère). À l'échelle du territoire à l'étude, deux unités sont susceptibles d'être considérées comme imperméables, soit (1) l'unité constituée d'argile et (2) l'unité de roc, lorsque ce dernier est faiblement fracturé. Suivant ces précisions, il apparaît que le principal regroupement pouvant être réalisé en ce qui concerne les conditions d'écoulement de la nappe concerne la présence (ou l'absence) de l'unité hydrogéologique régionale constituée par les rythmites d'argile et de silt (unité aquitard) dans l'architecture des dépôts meubles. Ainsi, l'ensemble des unités saturées en eau étant sous-jacentes à l'argile sont considérées comme des aquifères à nappe captive, alors que l'ensemble des unités partiellement ou totalement saturées en eau n'étant pas sous-jacentes à l'argile sont considérées comme des aquifères à nappe libre.

À l'échelle régionale, les conditions d'écoulement de la nappe (carte 17) sont dérivées des séquences stratigraphiques (section 4.4.6). Les séquences 5-6-7-8-9 et 10 sont regroupées sous la désignation d'aquifères à nappe captive et les séquences 1-2-3-4 et 11 sont regroupées sous la désignation d'aquifères à nappe libre (tableau 5.8).

Les zones d'aquifères de nappe libre occupent environ 37 % du territoire et correspondent principalement (1) aux eskers et à la Moraine d'Harricana ainsi qu'aux dépôts sublittoraux situés sur leurs flancs et (2) aux remontées du roc, que ce dernier soit recouvert ou non de till mince. Les principaux secteurs d'affleurements rocheux sont les Collines Abijévis (au nord de Mont-Brun), le Mont-Vidéo (à l'ouest de Baraute) et aux alentours du quartier de Cadillac. Les zones d'aquifères à nappes captives couvrent environ 63 % du territoire à l'étude et sont constituées des unités confinées sous la plaine argileuse (carte 13) et des zones de transition aux abords des eskers. L'altitude maximale des dépôts glaciolacustres, fixée à 320 m (section 4.4.5), représente assez bien la limite entre les deux types d'aquifères.

Tableau 5.8 : Regroupement des séquences stratigraphiques par conditions de confinement du PACES-AT1

	N°	Schéma	Description	%
Aquifères à nappe libre	1		Roc affleurant ou recouvert d'une mince couche de till discontinue d'une épaisseur inférieure à 1 m	36,6
	2		Till continue d'une épaisseur moyenne supérieure à 1 m	
	3		Sable, gravier, caillou et bloc formant des eskers et moraines de cinq à plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur	
	4		Sédiments sublittoraux et de plages ou éoliens (sable, sable silteux et gravier) pouvant atteindre quelques dizaines de mètres d'épaisseur et surmontant une couche de till	
	11		Tourbe pouvant atteindre 5 m d'épaisseur et recouvrant majoritairement des sédiments sublittoraux et de plages (sable, sable silteux, gravier) pouvant atteindre quelques dizaines de mètres d'épaisseur et probablement une couche de till	
Aquifères à nappe captive	5		Rythmites d'argile et de silt (varves) pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur et recouvrant des sédiments fluvioglaciaires (sables, sable silteux et gravier) et probablement une couche de till	63,4
	6		Sédiments sublittoraux et de plages ou éoliens (sable, sable silteux et gravier) pouvant atteindre quelques mètres d'épaisseur. Majoritairement situés en flancs d'eskers, ils surmontent des rythmites d'argile et de silt (varves) pouvant atteindre quelques mètres d'épaisseur, des sédiments fluvioglaciaires (sable, sable silteux et gravier) et probablement une couche de till	
	7		Rythmites d'argile et de silt (varves) pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur.	
	8		Sédiments sublittoraux et de plages ou éoliens (sable, sable silteux et gravier) pouvant atteindre quelques mètres d'épaisseur et surmontant des rythmites d'argile et de silt (varves) pouvant atteindre quelques mètres d'épaisseur	
	9		Tourbe pouvant atteindre 5 m d'épaisseur et recouvrant des rythmites d'argile et de silt (varves) pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur	
	10		Tourbe pouvant atteindre 5 m d'épaisseur et recouvrant des rythmites d'argile et de silt (varves) pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, des sédiments fluvioglaciaires (sable, sable silteux et gravier) et probablement une couche de till	

### 5.3 Piézométrie et écoulement régional

La carte piézométrique (carte 18) constitue une représentation en plan des charges hydrauliques évaluées sur l'ensemble du territoire. L'approche privilégiée dans le cadre de la présente étude consiste essentiellement en une interpolation par krigeage ordinaire des niveaux piézométriques entre les points de mesure, suivie de corrections manuelles et automatisées. Les sous-sections suivantes présentent les hypothèses sous-jacentes à l'utilisation de l'approche privilégiée, les sources de données utilisées, la méthodologie de validation/correction employée et une discussion sur la dynamique des écoulements à l'échelle régionale.

#### *5.3.1 Hypothèses sous-jacentes à l'approche privilégiée*

En raison (1) du nombre limité de points de mesure de charges hydrauliques et (2) de leur distribution hétérogène dans l'environnement, la réalisation de la carte piézométrique régionale a nécessité l'émission de cinq hypothèses de travail. Ces hypothèses, ainsi que les implications, justifications et précisions s'y rattachant, sont rapportées au tableau 5.9.

**Tableau 5.9 : Justification des bases de l'approche privilégiée pour la réalisation de la carte piézométrique régionale (carte 18)**

Hypothèses de travail	Implications	Justifications / précisions
À l'échelle régionale, les gradients hydrauliques verticaux sont négligeables par rapport aux gradients hydrauliques horizontaux.	Cette hypothèse implique que la composante dominante de l'écoulement de l'eau souterraine est horizontale et que les charges hydrauliques mesurées à différentes profondeurs peuvent être utilisées conjointement pour réaliser la carte piézométrique régionale.	Les seules données fiables actuellement disponibles, permettant de vérifier cette hypothèse, proviennent de trois grappes de piézomètres localisées à Saint-Mathieu d'Harricana (n=2) et Amos (n=1). Ces données tendent à indiquer un gradient vertical de l'ordre de 0,01. Les différences de charges imposées par un tel gradient sont jugées négligeables en comparaison à l'amplitude des variations de charges hydrauliques à l'échelle régionale.
L'amplitude des variations spatiales observées dans la piézométrie régionale est significativement supérieure à l'amplitude des variations saisonnières et interannuelles des charges hydrauliques.	Cette hypothèse implique que des données piézométriques mesurées en différents points dans le temps peuvent être utilisées conjointement pour la réalisation de la carte piézométrique régionale.	Selon les données du réseau de suivi des eaux souterraines du Québec (MDDEFP, s.d.-b) actuellement disponibles, les variations saisonnières et interannuelles de niveau d'eau au sein des aquifères à nappe libre seraient inférieures à 1 m. Ainsi, l'utilisation conjointe des données mesurées à différents moments pour la réalisation d'une carte piézométrique apparaît raisonnable.
Les aquifères fracturés du roc et du matériel granulaire sus-jacent sont en lien hydraulique.	Cette hypothèse implique que les données piézométriques mesurées dans les aquifères de roc fracturé et dans les aquifères granulaires peuvent être utilisées conjointement pour la réalisation de la carte piézométrique régionale.	Peu de données permettent d'infirmer ou de confirmer cette hypothèse. Néanmoins, Rouleau et al. (1999) rapportent que les contraintes géomécaniques abitibiennes ont généralement une composante principale majeure horizontale, ce qui favoriserait l'écoulement au sein de fractures subhorizontales qui sont relativement importantes jusqu'à une profondeur de 75 m. Ici, il est assumé que les discontinuités structurales mineures dans le roc sont abondantes et interconnectées jusqu'au fond des puits, ce qui impliquerait un lien entre les charges hydrauliques mesurées dans le roc et celles mesurées dans les dépôts meubles sus-jacents.
L'altitude de certains plans et cours d'eau de surface (lacs, sources ponctuelles, sources diffuses) qui sont en contact direct ou à proximité immédiate d'un aquifère à nappe libre est représentative du niveau piézométrique.	Cette hypothèse implique que les altitudes des plans d'eau en contact avec un aquifère à nappe libre sont représentatives des niveaux piézométriques.	En fonction de la perméabilité relativement élevée des unités hydrogéologiques composant les aquifères à nappe libre de la région (section 5.1), il apparaît justifié d'assumer que les niveaux des plans d'eau leur étant contigus tendent à être en équilibre avec les niveaux piézométriques.
Il est raisonnable d'interpoler par krigeage les charges hydrauliques entre deux points de mesure.	Cette hypothèse implique que le territoire étudié est suffisamment homogène sur le plan hydrogéologique et que la distribution spatiale des données piézométriques est adéquate pour justifier l'interpolation par krigeage.	En l'absence d'un modèle hydrogéologique numérique régional, il est assumé que l'interpolation des charges hydrauliques par krigeage produira les résultats les plus robustes.

### 5.3.2 Source et traitement des données utilisées

Le tableau 5.10 présente les différentes sources de données utilisées pour la génération de la carte piézométrique ainsi que leur mode de traitement, en lien avec les hypothèses rapportées au tableau 5.9.

**Tableau 5.10 : Source des données utilisées pour la réalisation de la carte piézométrique régionale**

Classes de données		Nombre	Traitement
A	Système d'information hydrogéologique (SIH)	2 204	Conversion des données de profondeur de la nappe en valeurs d'élévation piézométrique sur la base du MAN <sup>1</sup> (taille des pixels de 10 m)
B	Données issues de rapports de consultants et mesures réalisées dans le cadre du présent projet	517	Conversion des données de profondeur de la nappe en valeurs d'élévation piézométrique sur la base du MAN (taille des pixels de 10 m)
C	Sources ponctuelles et diffuses tirées de la compilation de Nadeau (2011)	1 426	Conversion des lignes représentatives des sources diffuses en points représentatifs de leur centroïdes. Extraction de l'altitude des points sur la base du MAN (taille des pixels de 10 m)
D	Plans et cours d'eau au contact d'aquifères à nappe libre	944	Extraction automatisée du centroïde des plans d'eau au contact avec des cellules identifiées comme des aquifères à nappe libre (section 5.2) et conversion en points. Extraction de l'altitude des points sur la base du MAN (taille des pixels de 10 m). Exclusion automatisée des plans d'eau entièrement circonscrits par les eskers et moraines <sup>2</sup>
E	Données Géoradar <sup>3</sup>	130	Calcul des niveaux d'eau à tous les 100 m le long des profils géoradar réalisés. Création de points et conversion des données de profondeur de la nappe en valeurs d'élévation piézométrique sur la base du MAN (taille des pixels de 10 m)
F	Plans et cours d'eau à proximité immédiate des eskers et moraines	318	Identification visuelle des plans et cours d'eau localisés à proximité immédiate des eskers et moraines, et jugés représentatifs du niveau piézométrique. Création manuelle de points et extraction des valeurs d'élévation piézométrique sur la base du MAN (taille des pixels de 10 m)
<b>Total</b>		<b>5 539</b>	

<sup>1</sup> Modèle altimétrique numérique (carte 5).

<sup>2</sup> Au niveau du territoire, les lacs entièrement circonscrits par les eskers et moraines constituent souvent des lacs de kettle. Le faible pH de ces plans d'eau (en comparaison à celui de l'eau souterraine) tend à indiquer qu'ils ne seraient pas en lien hydraulique avec l'aquifère (Veillette et al., 2004).

<sup>3</sup> Se référer à la section 3.3.8.

La carte piézométrique régionale (carte 18) résulte du krigeage des données issues des différentes sources rapportées au tableau 5.10, ce qui a permis l'obtention d'une couche matricielle sur un maillage d'une taille de 100 m.

### 5.3.3 Niveaux d'incertitude et stratégie de validation/correction de la carte piézométrique

Il est implicite que (1) l'utilisation des hypothèses de travail énumérées au tableau 5.9 et (2) l'incertitude résultant de la fiabilité des différentes sources de données engendrent un niveau d'incertitude non-négligeable sur la carte piézométrique régionale qui en découle. Néanmoins, l'approche privilégiée permet de pallier à la distribution hétérogène (spatiale et temporelle) des données issues de différentes sources.

La première stratégie de validation appliquée à la carte piézométrique consiste à vérifier que les niveaux piézométriques évalués dans les zones d'aquifères à nappe libre sont inférieurs ou égaux au niveau de la

surface. Cette étape de validation a consisté en une comparaison de l'élévation des niveaux piézométriques de la couche matricielle d'un maillage d'une taille de 100 m avec l'élévation du modèle altimétrique numérique (MAN) sur la même résolution. Pour chaque cellule où l'altitude piézométrique excédait l'altitude du MAN, une correction a été appliquée à la couche matricielle de piézométrie afin d'abaisser le niveau piézométrique à l'élévation du MAN. Cette stratégie permet d'atténuer l'erreur sur la carte piézométrique sans avoir recours à l'ajout de points de forçage dans le schéma d'interpolation. Les zones où cette correction a dû être appliquée correspondent en grande partie aux secteurs localisés en flanc d'esker et souvent occupés par des milieux humides (ces secteurs apparaissent en hachuré sur la carte 18).

La seconde stratégie de validation de la carte piézométrique a consisté en une inspection visuelle. De façon simplifiée, les vérifications visaient à confirmer que les points hauts de la carte piézométrique correspondaient à des zones d'aquifères à nappe libre et que les points bas de la carte piézométrique correspondaient soit (1) à des résurgences de l'eau souterraine dans le réseau hydrographique de surface ou (2) à un exutoire d'eau souterraine hors de la zone d'étude. Les points causant des anomalies en égard aux aspects mentionnés ci-dessus ont été supprimés et le processus d'interpolation et de validation recommencé jusqu'à l'atteinte d'une carte respectant les contraintes de validation à l'échelle régionale.

Finalement, en cours de réalisation de la carte piézométrique, un test d'estimation de l'erreur a été réalisé. L'estimation s'est effectuée en sous-échantillonnant aléatoirement 5 % des données (conservées pour comparaison) et en réalisant l'interpolation de la piézométrie avec 95 % des données restantes. Chacune des données sous-échantillonnées (5 %) a été utilisée pour comparer la valeur prédite par interpolation à la valeur mesurée au même point de l'espace (relevé de la base de données). Cette opération a été répétée trois fois et la moyenne des écarts entre les valeurs mesurées et prédites a permis d'estimer l'erreur moyenne de l'interpolation. Cette étape a été réalisée à l'aide de l'outil « *subset* » du logiciel *ArcGIS* version 10 (ESRI, 2010). Les résultats suggèrent que l'erreur moyenne absolue sur les valeurs piézométriques interpolées serait de l'ordre de 3,7 m.

En égard aux sources d'incertitude discutées ci-dessus, il doit être souligné que la précision, la justesse et la validité de la carte piézométrique réalisée dans le cadre de la présente étude devront être réévaluées par chaque utilisateur sur la base de ses besoins spécifiques.

### **5.3.4 Piézométrie régionale**

Les niveaux piézométriques fluctuent entre 266 et 413 m au niveau du territoire à l'étude. Les Collines Abijévis (au nord de Mont-Brun) et le Mont-Vidéo (à l'ouest de Barraute) constituent les secteurs où les niveaux piézométriques sont les plus élevés. Les crêtes des eskers et de la Moraine d'Harricana observées sur le territoire définissent également des hauts piézométriques. Les niveaux piézométriques les plus bas sont observés au niveau de la plaine argileuse (carte 13), à des altitudes inférieures à 300 m.

Les principales directions d'écoulement sont rapportées sur la carte 18. À l'échelle régionale, l'écoulement se fait généralement depuis les hauts topographiques (p. ex. Collines Abijévis, Mont-Vidéo et crêtes de formations granulaires) vers les bas topographiques occupés par la plaine argileuse et le réseau hydrographique de surface.

## 5.4 Bilan hydrologique et recharge

### 5.4.1 Méthode d'évaluation de la recharge

Dans le cadre de la présente étude, la recharge de l'eau souterraine (RES) est définie comme l'alimentation (naturelle) en eau atteignant la zone saturée via la surface piézométrique. La stratégie retenue pour la quantification de ce paramètre consiste en l'établissement d'un bilan hydrologique (équation 1) suivant une méthode inspirée des travaux de Larose-Charrette (2000) et de Riverin (2006) :

$$RES = AV - R - \Delta E_S - ET_R \quad \text{Équation 1}$$

- RES : Recharge de l'eau souterraine  
AV : Apports verticaux (Poirier et al., 2012)  
R : Ruissellement  
 $\Delta E_S$  : Changement d'emménagement en eau dans le sol  
 $ET_R$  : Évapotranspiration réelle (somme de l'évaporation (E) et de la transpiration (T))

La figure 5.7 illustre de façon simplifiée l'approche d'évaluation de la recharge par bilan hydrologique. Essentiellement, la recharge est estimée à partir de la différence entre les apports (flèches en bleu) et les exports (flèches en rouge) en eau au niveau d'une parcelle de territoire. Il est proposé qu'une partie de l'eau issue des apports verticaux (AV) ruisselle (R) à la surface du sol et/ou s'évapore (E), alors qu'une partie s'infiltré (I) dans le sol. De l'eau infiltrée, une partie sera emmagasinée dans le sol selon sa capacité d'emménagement ( $E_S$ ) composée d'une réserve en eau disponible pour les plantes (RAS, *ready available supply*) et d'une quantité d'eau correspondant au point de flétrissement ( $\theta_w$ ). Une partie de l'eau emmagasinée sera puisée par les racines de la végétation pour être transpirée (T), alors que la balance constituera la recharge de l'eau souterraine (RES).

L'approche privilégiée pour l'évaluation de la recharge à l'échelle du territoire à l'étude consiste en l'évaluation d'un taux de recharge [ $L T^{-1}$ ] pour chaque parcelle de territoire sur un maillage de 100 m x 100 m suivant l'équation 1. Afin d'alléger le texte, les détails de la méthode de calcul ainsi que les paramètres nécessaires à la réalisation du bilan hydrologique sont présentés à l'annexe D-1. Le tableau 5.11 présente un résumé des paramètres évalués dans le cadre de la réalisation du bilan hydrologique pour les 11 séquences stratigraphiques du territoire à l'étude.

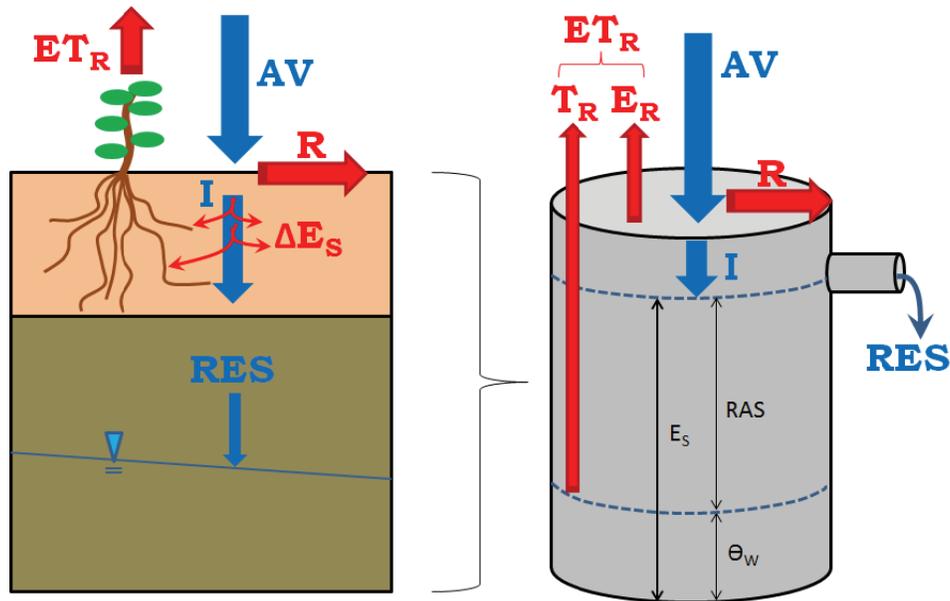


Figure 5.7 : Schématisation du bilan hydrologique :  $I$  représente l'infiltration de l'eau à la surface du sol,  $RAS$  de l'anglais *Ready available supply*, représente l'eau disponible pour les plantes et  $\theta_w$  représente le point de flétrissement.

#### 5.4.2 Recharge distribuée à l'échelle du territoire

Les valeurs de recharge calculées suivant l'équation 1 sont comprises entre 10 et 399 mm/an (tableau 5.11) à l'échelle du territoire couvert par la présente étude (carte 19). Les taux de recharge sont généralement plus élevés au niveau des secteurs d'aquifères à nappe libre (séquences stratigraphiques 1-2-3-4-11) en comparaison aux secteurs d'aquifères à nappe captive (séquences stratigraphiques 5-6-7-8-9-10). Les valeurs moyennes les plus élevées correspondent, de façon générale, aux tracés définis par les eskers et moraines du territoire alors que la recharge annuelle au niveau de la plaine argileuse est considérée inférieure à 100 mm/an, taux imposé en considérant l'ordre de grandeur médian ( $10^{-9}$  m/s) de l'intervalle de conductivité hydraulique évalué pour cette unité (tableau 5.6) considérée comme un aquitard (section 5.1).

Il est à noter que l'évaluation de la recharge par la réalisation d'un bilan hydrologique implique la réalisation d'un calcul fondé (1) sur l'estimation de paramètres et (2) sur l'émission de certaines hypothèses de travail (annexe D-1). Ainsi, bien que la méthode privilégiée permette de calculer des taux de recharge à l'échelle du territoire en suivant une stratégie de calcul homogène, les résultats obtenus représentent nécessairement une simplification de la complexité réelle du milieu naturel. Pour cette raison, une interprétation de la carte 19 sur la base d'une comparaison des taux de recharge au niveau des différentes séquences stratigraphiques de la région d'étude apparaît plus appropriée que la considération de valeurs absolues calculées pour la recharge.

Tableau 5.11 : Valeur minimale, moyenne et maximale des paramètres de la recharge pour les séquences stratigraphiques du PACES-AT1

Séquences stratigraphiques	Unité de surface	Apports verticaux (mm/an)			Cr (%)			Ruissellement (mm/an)			ETp (mm/an)			ETr (mm/an)			RAS (mm/an)			Recharge (mm/an)		
		Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.
1	Roc	854	893	930	5	40	88	76	387	808	482	498	510	81	342	469	0	0	0	15	165	399
2	Till	854	892	923	15	18	88	160	212	808	482	502	510	86	458	480	4.31	42.7	43	11	222	279
3	Sable et gravier	854	892	930	4	9	88	68	128	808	482	498	510	86	459	487	4.31	14.8	15	11	306	390
4	Sable et gravier	854	895	927	4	17	88	90	195	796	483	500	510	86	436	478	4.31	14.9	15	11	264	325
5	Argile	854	895	930	5	31	88	43	278	819	482	495	510	104	616	881	4.31	67.1	91		<100	
6	Argile	854	891	927	15	18	88	128	158	786	482	500	500	105	730	788	4.31	14.8	15		<100	
7	Argile	854	894	930	5	31	88	43	279	819	482	497	510	105	615	884	4.31	14.8	15		<100	
8	Argile	854	892	927	15	18	88	128	157	788	485	501	510	106	733	788	4.31	14.8	15		<100	
9	Argile	854	894	930	5	5	5	38	40	42	482	498	510	816	853	888	100	100	100		<100	
10	Argile	854	893	930	5	5	5	38	40	42	482	496	510	816	853	888	100	100	100		<100	
11	Organique	854	895	930	5	5	5	76	95	140	482	498	510	482	498	510	100	100	100	264	301	356

## 5.5 Zones préférentielles de recharge et de résurgence

L'identification de zones préférentielles de recharge et de résurgence est utilisée en appui à la compréhension de la dynamique hydrogéologique régionale. Essentiellement, il est considéré que les zones préférentielles de recharge constituent les principaux secteurs contribuant à la réalimentation de la ressource en eau souterraine à partir des apports verticaux. Les zones de résurgence préférentielles constituent quant à elles des exutoires à partir desquels l'eau quitte les aquifères et réalimente le réseau hydrographique de surface.

La recharge distribuée (section 5.4.2; carte 19) a servi de base pour la définition des zones de recharge préférentielles (carte 21). Un taux limite de 254 mm/an a été appliqué pour cette fin, valeur correspondant à la borne inférieure de la classe la plus élevée pour la pondération de l'incidence de la recharge dans la méthode d'évaluation de la vulnérabilité des nappes DRASTIC (Aller et al., 1987). Ainsi, les secteurs associés aux séquences stratigraphiques 3, 4 et 11 (tableau 5.11) sont identifiés comme les zones préférentielles de recharge du territoire à l'étude. Il s'agit principalement des secteurs associés aux eskers et moraine et aux milieux humides sus-jacents à des dépôts de sable et gravier. Il est à noter qu'à l'échelle régionale, les secteurs où les valeurs de recharge les plus élevées sont calculées correspondent, de façon générale, aux principaux points hauts identifiés sur la carte piézométrique (carte 18).

Les sources (ponctuelles et diffuses) ainsi que les éléments du réseau hydrographique de surface en contact avec des secteurs d'aquifère à nappe libre sont identifiés comme les zones de résurgence préférentielle de l'eau souterraine du territoire (carte 21). Ces zones de résurgence ont d'ailleurs été utilisées afin de contraindre la piézométrie régionale (section 5.3, carte 18). Les sources ponctuelles et diffuses du territoire sont essentiellement observées au niveau des flancs d'eskers et moraine. Ces sources sont jugées susceptibles de contribuer significativement (1) au maintien des conditions favorables au développement des milieux humides du territoire et (2) à l'alimentation en eau du réseau hydrographique de surface.

## 5.6 Vulnérabilité des aquifères

Dans le cadre de la présente étude, la vulnérabilité d'un aquifère est définie comme sa susceptibilité de se voir affecter par une contamination provenant de la surface. Cette vulnérabilité est évaluée de façon quantitative par la méthode de l'indice DRASTIC (Aller et al., 1987). L'indice DRASTIC est calculé par l'attribution de cotes (valeurs numériques allant de 1 à 10) à sept paramètres jugés susceptibles d'influencer la vulnérabilité des aquifères, chacun des paramètres possédant un poids (entre 1 et 5) permettant de quantifier son importance. Le tableau 5.12 présente les sept paramètres, les poids attribués, les données utilisées ainsi que les traitements appliqués (lorsqu'il y a lieu) alors que le détail de la méthode de calcul et le choix des cotes sont présentés aux annexes D-2 et D-3.

Tableau 5.12 : Paramètres nécessaires au calcul de l'indice DRASTIC

Paramètres	Poids	Description	Données utilisées	Traitements
<b>D</b> (profondeur à la nappe)	5	Profondeur de l'eau souterraine à partir de la surface du sol (en mètre)	- Couche matricielle du modèle altimétrique numérique (taille des pixels de 100 m, carte 5) - Couche matricielle de la piézométrie régionale (taille des pixels de 100 m, carte 18)	Soustraction entre les deux couches matricielles afin d'obtenir la profondeur à la nappe
<b>R</b> (recharge)	4	Recharge annuelle (en mm*an <sup>-1</sup> )	Couche matricielle de la recharge distribuée (taille des pixels de 100 m, carte 19)	
<b>A</b> (aquifère)	3	Caractéristiques du milieu aquifère	- Couche matricielle des séquences stratigraphiques (carte 16) - Couche matricielle de la piézométrie régionale (carte 18) - Couche matricielle de la topographie du roc (carte 15) - Couche matricielle des conditions d'écoulement de la nappe (carte 17)	Identification des unités aquifères en fonction des séquences stratigraphiques (carte 16) et de la piézométrie (carte 18)
<b>S</b> (type de sol)	2	Sol en surface	- Couche matricielle des séquences stratigraphique (carte 16)	
<b>T</b> (topographie)	1	Pente du sol (en %)	- Couche matricielle de la pente du sol (carte 6)	
<b>I</b> (impact de la zone vadose)	5	Nature de la zone vadose	- Couche matricielle des séquences stratigraphique (carte 16) - Couche matricielle de la piézométrie régionale (carte 18) - Couche matricielle de la topographie du roc (carte 15) - Couche matricielle de l'épaisseur des dépôts meubles (carte 14)	Pondération de la cote lorsque la zone non saturée est constituée de plus d'une unité (équation présenté à l'annexe D-2)
<b>C</b> (conductivité hydraulique)	3	Conductivité hydraulique de l'aquifère	- Couche matricielle des séquences stratigraphiques (carte 16) - Conductivité hydraulique (tableau 5.6) - Type d'aquifère (tiré du paramètre « A » aquifère)	

La carte 20 présente la distribution spatiale de l'indice DRASTIC du territoire PACES-AT1. Les valeurs calculées vont de 43 à 222, soit des degrés de vulnérabilité allant de très faible à très élevé selon la classification proposée par le guide technique *Captage d'eau souterraine pour des résidences isolées* (MDDEP, 2008) (tableau 5.13).

Tableau 5.13 : Degrés de vulnérabilité (modifié de MDDEP, 2008)

Indice DRASTIC	Degré de vulnérabilité
moins de 85	très faible
de 85 à 114	faible
de 115 à 145	moyen
de 146 à 175	élevé plus
plus de 175	très élevé

À l'échelle du territoire à l'étude, les aquifères présentant les indices DRASTIC les plus élevés (correspondant à un degré de vulnérabilité « élevé plus » à « très élevé ») sont principalement situés au niveau des eskers et moraines (carte 20) où des conditions d'écoulement de nappe libre prévalent (carte 17). En comparaison, des indices DRASTIC généralement plus faibles sont calculés pour les aquifères à nappe captive de la plaine argileuse. Suivant ces constats, il apparaît raisonnable de proposer qu'à l'échelle régionale, la distribution spatiale de l'unité d'argile (unité hydrogéologique D, section 5.2) a une incidence prépondérante sur l'évaluation des indices DRASTIC. Essentiellement, les données tendent à indiquer que cette unité aquitard permettrait de réduire significativement la vulnérabilité des aquifères à nappe captive en limitant le potentiel de migration de contaminants issus de la surface du sol. Néanmoins, l'unité D étant discontinue et ponctuée d'affleurements rocheux à l'échelle du territoire, il semble essentiel de préciser que des conditions de vulnérabilité plus élevées sont susceptibles d'être observées à l'échelle locale, nonobstant les tendances régionales illustrées à la carte 20.

## 5.7 Géochimie de l'eau souterraine

### 5.7.1 Banque de données géochimiques du GRES-UQAT

La banque de données géochimiques du GRES-UQAT inclut des analyses chimiques réalisées sur des échantillons prélevés entre 2006 et 2011, pour un total de 309 échantillons dont 196 prélevés dans le cadre du PACES-AT1 (tableau 5.14). Les sites d'échantillonnage regroupent 28 sources, 280 puits et piézomètres ainsi qu'un trou de sondage fait à la tarière manuelle dans l'esker Saint-Mathieu-Berry.

La figure 3.9 de la section 3.3.10 présente la localisation des 28 sources. La localisation des puits et piézomètres municipaux, gouvernementaux ainsi que les puits privés intégrés au portrait géochimique est présentée aux figures 3.1 et 3.2 (section 3.3). La méthodologie d'échantillonnage de l'eau souterraine appliquée dans le cadre du projet est présentée à l'annexe B-1.

**Tableau 5.14 : Périodes d'échantillonnage des sites utilisés dans le projet**

Campagne d'échantillonnage	Période	Nombre d'échantillons
Avant le projet PACES-AT1	2006	71
	2009	42 <sup>1,2</sup>
Pour le projet PACES-AT1	2010 et 2011	196
<b>Nombre total d'échantillons utilisés dans le projet</b>		<b>309</b>

<sup>1</sup> Esker Saint-Mathieu-Berry, Blanchette et al. (2011)

<sup>2</sup> Castelli (2012)

Le tableau 5.15 présente l'ensemble des paramètres analytiques retenus dans le cadre de la présente étude ainsi que les limites de détection applicables pour les différentes campagnes d'échantillonnage. En plus des paramètres rapportés au tableau 5.15, des mesures in situ ont été réalisées lors de la purge des puits et du prélèvement de l'eau des sources (température, pH, conductivité électrique spécifique, oxygène dissous et potentiel d'oxydoréduction) selon la méthodologie décrite à l'annexe B-1. Deux paramètres ont été calculés à partir des résultats analytiques des constituants majeurs (dureté et matière dissoute totale (MDT)) suivant la méthodologie rapportée à l'annexe D-4.

Tableau 5.15 : Résumé des limites de détections (LD) d'analyses et mesures

Paramètres	Unités	Limites de détections (LD)		
		Année 2006	Année 2009	Années 2010 et 2011
<b>In situ<sup>1</sup></b>				
Température	°C	± 0,15	± 0,15	± 0,15
pH	-	± 0,2	± 0,2	± 0,02
Conductivité électrique spécifique à 25 °C	µS/cm	± 1	± 1	± 0,02
Oxygène dissous (mg/l)	mg/L	± 0,2	± 0,2	± 0,02
Potentiel d'oxydoréduction - ORP	mV	± 20	± 20	± 0,10
<b>Constituants majeurs</b>				
Calcium - Ca	mg/L	< 0,05	< 0,02	< 0,05
Magnésium - Mg	mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Sodium - Na	mg/L	< 0,03	< 0,5	< 0,03
Potassium - K	mg/L	< 0,1	< 0,5	< 0,1
Alcalinité Totale à pH 4.5	mg CaCO <sub>3</sub> /L	< 2	< 1	< 1
Chlorures - Cl	mg/L	< 0,05	< 0,2	< 0,05
Sulfates - SO <sub>4</sub>	mg/L	< 0,1	< 0,3	< 0,1
Silicium soluble - Si	mg/L	< 0,1	< 0,02	< 0,1
Dureté calculée <sup>2</sup>	mg CaCO <sub>3</sub> /L	-	-	-
Matière dissoute totale calculée <sup>2</sup> - MDT	mg/L	-	-	-
<b>Constituants mineurs</b>				
Azote ammoniacal - NH <sub>4</sub>	mg N/L	-	< 0,02	< 0,02
Bromures - Br	mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Fluorures - F	mg/L	< 0,08	< 0,2	< 0,1
Nitrites et Nitrates - NO <sub>2</sub> -NO <sub>3</sub>	mg N/L	< 0,02	< 0,02 <sup>3</sup>	< 0,02
Phosphore inorganique	mg P/L	-	< 0,03	< 0,03
Sulfures	mg S/L	< 0,02	< 0,04	< 0,02
<b>Métaux traces</b>				
Aluminium - Al	mg/L	< 0,001	< 0,01	< 0,001
Antimoine - Sb	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Argent - Ag	mg/L	< 0,0001	< 0,0006	< 0,0001
Arsenic - As	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Baryum - Ba	mg/L	< 0,002	< 0,01	< 0,002
Béryllium - Be	mg/L	-	< 0,001	< 0,0005
Bismuth - Bi	mg/L	-	< 0,001	< 0,00025
Bore - B	mg/L	< 0,005	< 0,02	< 0,005
Cadmium - Cd	mg/L	< 0,0002	< 0,001	< 0,0002
Chrome - Cr	mg/L	< 0,0005	< 0,001	< 0,0005
Cobalt - Co	mg/L	-	< 0,001	< 0,0005
Cuivre - Cu	mg/L	< 0,0005	< 0,001	< 0,0005
Étain - Sn	mg/L	-	< 0,001	< 0,001
Fer - Fe	mg/L	< 0,03	< 0,1	< 0,03
Lithium - Li	mg/L	< 0,01	< 0,001	< 0,01
Manganèse - Mn	mg/L	< 0,0004	< 0,005	< 0,0004
Molybdène - Mo	mg/L	-	< 0,001	< 0,0005
Nickel - Ni	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Plomb - Pb	mg/L	< 0,0001	< 0,001	< 0,0001
Sélénium - Se	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Strontium - Sr	mg/L	< 0,002	< 0,01	< 0,002
Titane - Ti	mg/L	-	< 0,001	< 0,001
Uranium - U	mg/L	-	< 0,005	< 0,001
Vanadium - V	mg/L	-	< 0,03	< 0,002
Zinc - Zn	mg/L	< 0,001	< 0,01	< 0,001

<sup>1</sup> Pour les paramètres in situ, la limite de détection correspond à la précision de l'instrument utilisé.

<sup>2</sup> Paramètre calculé à l'aide des concentrations des constituants majeurs.

<sup>3</sup> Lors de la campagne de 2009, les nitrites et nitrates ont été analysés séparément avec une même limite de détection.

La qualité des analyses chimiques a été vérifiée en calculant l'électroneutralité (%) sur la base des constituants majeurs cationiques (Ca, Mg, Na, K) et anioniques (alcalinité totale ( $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ ), Cl,  $\text{SO}_4$ ). La méthode de calcul est présentée à l'annexe D-4. Le calcul de l'électroneutralité permet de vérifier s'il y a l'équilibre ionique entre les anions et les cations et est considéré ici comme un indicateur indirect de la fiabilité des analyses chimiques. Dans le cadre du PACES-AT1, une limite de  $\pm 10\%$  a été retenue, signifiant qu'un échantillon qui présente un écart d'électroneutralité  $< -10\%$  ou  $> 10\%$  ne sera pas retenu pour l'interprétation des données. Le tableau 5.16 résume les résultats de l'évaluation d'électroneutralité.

**Tableau 5.16 : Résultats de l'évaluation de l'électroneutralité**

Écart à l'électroneutralité	Nombre d'échantillons	Proportion des échantillons (%)
<b>&lt;-10 %</b>	<b>9</b>	<b>2,9</b>
<b>-10 % - 5 %</b>	54	17,5
<b>-5 % à 5 %</b>	234	75,7
<b>5 % à 10 %</b>	10	3,2
<b>&gt;10 %</b>	<b>2</b>	<b>0,7</b>
<b>Total</b>	<b>309</b>	<b>100</b>

Au total, onze échantillons ne respectent pas la limite fixée à  $\pm 10\%$ . Ainsi, les interprétations géochimiques rapportées ci-dessous sont basées sur les données issues de 298 échantillons jugés fiables.

### 5.7.2 Portrait géochimique régional

Les données géochimiques utilisées pour dresser le portrait régional incluent l'ensemble des paramètres rapportés au tableau 5.15 et le tableau 5.17 résume leurs statistiques descriptives.

À l'exception des constituants majeurs (Ca, Mg, Na, K, alcalinité totale ( $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ ), Cl,  $\text{SO}_4$ ) ainsi que du Si, tous les constituants ont une concentration moyenne ( $\mu$ ) inférieure à 1 mg/L. L'étalement des valeurs rapportées pour les différents paramètres analysés (Minimum, 25 %, Médiane, 75 %, Maximum) illustre une grande variabilité de la géochimie de l'eau souterraine à l'échelle régionale.

Tableau 5.17 : Statistiques descriptives des échantillons d'eau souterraine du PACES-AT1

Paramètres	Statistiques descriptives <sup>1,2,3</sup>							
	Nombre de données <sup>4</sup>	Moyenne (mg/L) <sup>1</sup>	Écart-type (mg/L) <sup>1</sup>	Minimum (mg/L) <sup>1</sup>	25 % (mg/L) <sup>1</sup>	Médiane (mg/L) <sup>1</sup>	75 % (mg/L) <sup>1</sup>	Maximum (mg/L) <sup>1</sup>
<b>In situ</b>								
Température (°C)	308	7,2	1,8	4,7	6,1	6,9	7,8	22,3
pH	309	7,36	0,90	2,52	6,97	7,58	7,92	9,38
Conductivité électrique spécifique à 25 °C	297	322	235	21,0	134	285	451	1 660
Oxygène dissous	303	3,37	4,73	0,00	0,00	0,70	6,76	37,94
ORP (mV)	309	-5,3	146,2	-424,4	-120,2	-34,0	113,4	710,1
<b>Constituants majeurs</b>								
Ca	309	39,4	33,5	0,084	17,0	35,0	55,0	320
Mg	309	9,7	9,3	0,005	2,8	6,1	15,0	49,0
Na	309	11,4	19,4	0,5	2,6	6,5	13,0	180
K	309	1,8	1,6	0,05	0,77	1,5	2,5	18,0
Alcalinité Totale à pH = 4,5 (CaCO <sub>3</sub> )	309	147	109	0,5	55,0	124	220	540
Bicarbonates <sup>5</sup> (HCO <sub>3</sub> )	309	180	133	0,6	67,7	151	268	658
Cl	309	8,2	26,0	0,05	0,50	1,0	5,1	380
SO <sub>4</sub>	309	12,8	62,1	0,05	3,4	6,6	10,0	870
Si	309	7,6	2,5	0,05	5,7	7,4	9,3	15,0
Dureté calculée <sup>6</sup> (CaCO <sub>3</sub> )	298	140	115	0,28	55,0	118	200	914
MDT <sup>6</sup>	298	282	200	27,6	117	244	405	1 433
<b>Constituants mineurs</b>								
NH <sub>4</sub> (N)	238	0,11	0,23	0,01	0,010	0,050	0,12	2,9
Br	309	0,12	0,11	0,05	0,05	0,05	0,25	1,0
F	304	0,12	0,18	0,04	0,05	0,10	0,10	1,8
NO <sub>2</sub> -NO <sub>3</sub> (N)	309	0,19	0,54	0,01	0,01	0,05	0,09	4,9
Phosphore inorganique (P)	233	0,024	0,020	0,015	0,015	0,015	0,015	0,130
Sulfures (S)	308	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,20
<b>Métaux traces</b>								
Al	309	0,0197	0,0775	0,0005	0,0020	0,0050	0,0084	0,94
Sb	309	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0060
Ag	309	0,00014	0,00015	0,00005	0,00005	0,00005	0,00020	0,00130
As	309	0,0023	0,0057	0,0005	0,0005	0,0005	0,0016	0,0530
Ba	309	0,053	0,351	0,001	0,005	0,012	0,032	6,1
Be	238	0,00029	0,00010	0,00025	0,00025	0,00025	0,00025	0,00050
Bi	238	0,00020	0,00015	0,00013	0,00013	0,00013	0,00013	0,00071
B	309	0,0138	0,0210	0,0025	0,0025	0,010	0,015	0,26
Cd	309	0,0003	0,0019	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0330
Cr	309	0,00090	0,00108	0,00025	0,00025	0,00025	0,00110	0,00920
Co	238	0,00041	0,00083	0,00025	0,00025	0,00025	0,00025	0,012
Cu	309	0,00426	0,01373	0,00025	0,00025	0,00050	0,00240	0,170
Sn	238	0,0006	0,0009	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0130
Fe	309	0,574	1,649	0,015	0,015	0,058	0,440	16,0
Li	309	0,0054	0,0060	0,0005	0,0050	0,0050	0,0050	0,0650
Mn	309	0,1777	0,3016	0,0002	0,0029	0,066	0,23	2,7
Mo	238	0,00160	0,00421	0,00025	0,00050	0,00097	0,0016	0,0620
Ni	309	0,0020	0,0063	0,0005	0,0005	0,0005	0,0011	0,0770
Pb	309	0,00031	0,00041	0,00001	0,00005	0,00015	0,0005	0,0030
Se	309	0,0005	0,0002	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0031
Sr	309	0,247	0,616	0,001	0,043	0,110	0,250	8,0
Ti	238	0,0010	0,0014	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0090
U	238	0,0017	0,0056	0,0005	0,0005	0,0005	0,0018	0,071
V	238	0,004	0,006	0,001	0,001	0,001	0,0022	0,03
Zn	309	0,0198	0,0657	0,0005	0,0039	0,0059	0,014	0,76

<sup>1</sup> Pour les besoins statistiques, les résultats rapportés sous les limites de détection ont été fixés à la moitié de celles-ci.

<sup>2</sup> Lorsque non spécifié, les unités sont en mg/L.

<sup>3</sup> Les valeurs Minimum, 25 %, Médiane, 75 % et Maximum soulignées sont susceptibles de représenter des valeurs sous les limites de détection.

<sup>4</sup> Les statistiques descriptives incluent tous les échantillons, nonobstant l'électroneutralité.

<sup>5</sup> Pour le calcul de la MDT et la suite du texte, l'alcalinité totale a été convertie en bicarbonates (HCO<sub>3</sub>) (voir annexe D-4).

<sup>6</sup> Paramètre calculé à l'aide des concentrations des constituants majeurs.

### 5.7.3 Types d'eau

Cloutier (2004) a proposé une méthode permettant la classification de différents types d'eau sur la base des teneurs en constituants majeurs. Selon cette approche, 24 types d'eau peuvent être définis sur la base des constituants cationiques (Ca, Mg, Na, ou K) et anioniques ( $\text{HCO}_3$ , Cl ou  $\text{SO}_4$ ) dominants. Suivant cette méthode de classification, six types d'eau ont été identifiés dans le cadre de la présente étude (tableau 5.18). Les résultats rapportés au tableau 5.18 indiquent que les eaux souterraines du territoire à l'étude sont dominées à 94,3 % par le type d'eau Ca- $\text{HCO}_3$ .

Tableau 5.18 : Définition des types d'eau pour les échantillons qui respectent l'électroneutralité

Types d'eau	Nombre d'échantillons	Proportion des échantillons (%)
Ca- $\text{HCO}_3$	281	94,3
Mg- $\text{HCO}_3$	2	0,7
Na- $\text{HCO}_3$	8	2,7
Ca-Cl	2	0,7
Na-Cl	3	1,0
Ca- $\text{SO}_4$	2	0,7
<b>Total</b>	<b>298</b>	<b>100</b>

À titre indicatif, le tableau 5.19 présente les concentrations moyennes des constituants majeurs pour les échantillons regroupés selon les six types d'eau.

Tableau 5.19 : Statistiques descriptives pour les types d'eau du PACES-AT1

Type d'eau	Nb éch.	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	$^1\text{HCO}_3$ (mg/L)	Cl (mg/L)	$\text{SO}_4$ (mg/L)	Si (mg/L)	MDT <sup>2</sup> (mg/L)
Ca- $\text{HCO}_3$	281	39,4	9,9	8,4	1,8	181,6	5,8	7,9	7,6	271,3
Mg- $\text{HCO}_3$	2	20,7	19,2	9,9	3,7	182,9	1,9	6,2	10,3	266,4
Na- $\text{HCO}_3$	8	2,8	0,6	86,8	1,5	248,3	8,0	5,6	7,7	370,1
Ca- $\text{SO}_4$	2	310,0	33,0	53,5	4,4	157,3	65,0	770,0	8,8	1412,0
Ca-Cl	2	38,0	8,1	18,5	3,1	58,5	63,0	15,5	7,3	220,3
Na-Cl	3	27,3	7,1	76,3	2,1	66,7	159,3	13,3	6,5	366,1

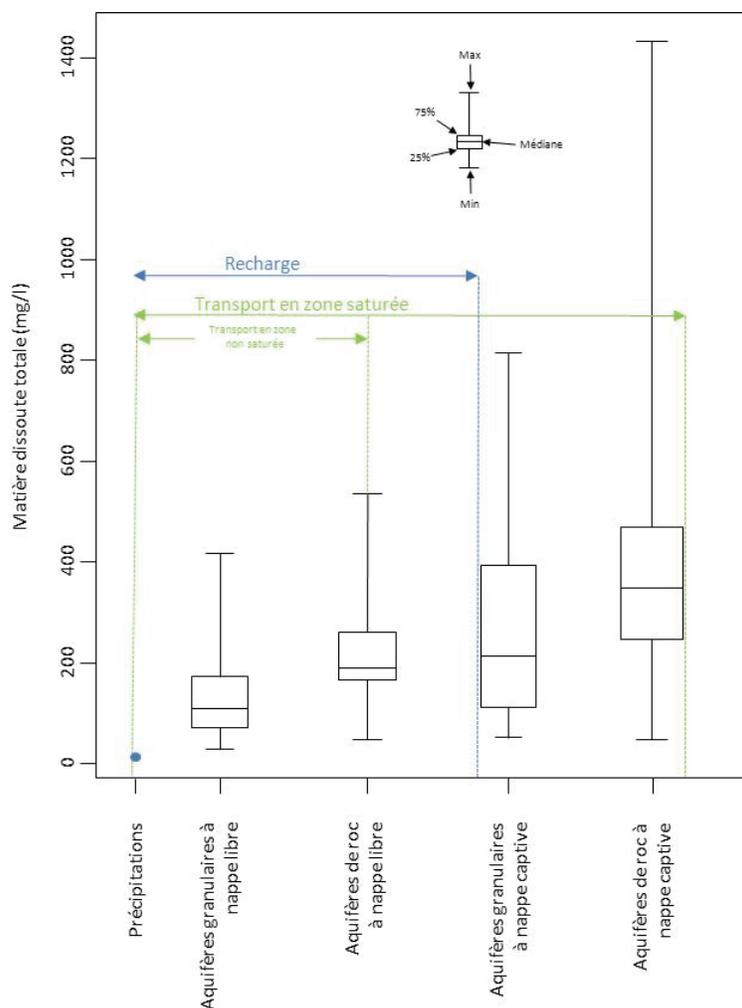
<sup>1</sup> Les bicarbonates ( $\text{HCO}_3$ ) sont obtenus par la conversion de l'alcalinité totale selon la procédure indiquée à l'annexe D-4.

<sup>2</sup> La matière dissoute totale est le résultat de la sommation des constituants chimiques rapportés dans le présent tableau. Le détail de la méthode de calcul est rapporté à l'annexe D-4.

### 5.7.4 Origine de la signature géochimique de l'eau souterraine

Plusieurs processus sont susceptibles d'influencer la géochimie de l'eau souterraine lors de son écoulement dans un système aquifère, et ce, des zones de recharge aux zones de résurgence. Une discussion exhaustive de ces processus excède le cadre de la présente étude. L'approche privilégiée ici consiste à identifier des regroupements pouvant être distingués à l'échelle régionale sur la base (1) de la signature géochimique de l'eau souterraine, (2) des caractéristiques et de l'architecture des unités hydrogéologiques régionales et (3) des conditions d'écoulement de l'eau souterraine. Suivant cette approche, il apparaît que les échantillons d'eau souterraine analysés dans le cadre du PACES-AT1

peuvent être regroupés en quatre grandes classes (figure 5.8), soit (1) les aquifères granulaires à nappe libre, (2) les aquifères de roc à nappe libre, (3) les aquifères granulaires à nappe captive et (4) les aquifères de roc à nappe captive.



**Figure 5.8 : Variation de la matière dissoute totale en fonction des quatre grandes classes d'échantillons. La matière dissoute totale des précipitations (point bleu) est indiquée à titre comparatif.**

Tel que rapporté à la figure 5.8, le premier constat régional porte sur les conditions d'écoulement, alors que les données tendent à indiquer une concentration en matière dissoute totale plus élevée pour les échantillons prélevés au sein d'aquifères à nappe captive en comparaison aux échantillons prélevés au sein d'aquifères à nappe libre (tableau 5.20). Le second constat régional porte sur la nature des unités aquifères, alors que les données suggèrent que les aquifères de roc fracturé du territoire tendent à présenter une teneur plus élevée en matière dissoute totale que les aquifères granulaires, indépendamment du niveau de confinement (tableau 5.21). Ces deux constats régionaux tendent à supporter l'hypothèse voulant que la teneur en matière dissoute totale de l'eau souterraine du territoire reflète, du moins partiellement, l'évolution géochimique de l'eau issue des précipitations qui se charge graduellement en matière dissoute lors de la recharge et du transport au sein des aquifères.

**Tableau 5.20 : Statistiques descriptives des constituants majeurs en fonction des conditions de confinement de la nappe phréatique**

Conditions de confinement	Nb éch.	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	<sup>1</sup> HCO <sub>3</sub> (mg/L)	Cl (mg/L)	SO <sub>4</sub> (mg/L)	Si (mg/L)	MDT (mg/L)
Libre	91	22,9	4,1	5,4	1,2	86,9	6,9	8,6	6,6	150,1
Captive	207	47,5	12,4	14,3	2,1	222,8	8,7	15,0	8,1	340,2

<sup>1</sup> Les bicarbonates (HCO<sub>3</sub>) sont obtenus par la conversion de l'alcalinité totale selon la procédure indiquée à l'annexe D-4.

**Tableau 5.21 : Statistiques descriptives des constituants majeurs en fonction de la géologie**

Environnement géologique	Nb éch.	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	<sup>1</sup> HCO <sub>3</sub> (mg/L)	Cl (mg/L)	SO <sub>4</sub> (mg/L)	Si (mg/L)	MDT (mg/L)
Sources	24	14,5	2,1	2,1	0,5	53,0	1,7	5,6	4,7	89,6
Granulaire	109	30,1	6,9	7,5	1,5	125,4	9,7	8,1	7,2	204,6
<b>Roches du Bouclier canadien<sup>2</sup></b>										
Dykes	4	52,5	9,6	15,0	2,0	212,5	16,7	12,4	8,0	337,7
RIF	37	48,1	11,5	14,5	1,9	207,2	6,3	31,5	8,5	339,2
RIL	7	38,8	9,4	28,0	2,0	194,1	17,2	9,2	7,1	313,8
RIM	1	55,0	7,0	8,1	1,1	207,3	18,0	9,1	5,5	317,4
RMET	5	37,6	5,6	12,6	1,4	147,1	12,2	9,5	10,2	247,7
RSED	12	70,2	16,0	15,1	2,6	244,2	10,6	63,4	10,4	444,2
RVF	6	50,7	12,0	9,9	2,3	233,7	4,3	7,3	7,8	336,7
RVIM	76	50,9	14,6	17,0	2,3	264,8	7,6	7,9	8,0	382,2
RVU	4	43,0	15,3	10,1	6,8	250,0	0,7	6,8	10,8	355,7
<b>Global</b>	<b>152</b>	<b>50.6</b>	<b>13.2</b>	<b>16.0</b>	<b>2.3</b>	<b>238.7</b>	<b>8.1</b>	<b>18.2</b>	<b>8.4</b>	<b>365.0</b>

<sup>1</sup> Les bicarbonates (HCO<sub>3</sub>) sont obtenus par la conversion de l'alcalinité totale selon la procédure indiquée à l'annexe D-4.

<sup>2</sup> RIF : Roches intrusives felsiques; RIL : Roches intrusives intermédiaires; RIM : Roches intrusives mafiques; RMET : Roches métasédimentaires; RSED : Roches sédimentaires; RVF : Roches volcaniques mafiques; RVIM : Roches volcaniques intermédiaires à mafiques; RVU : Roches volcaniques ultramafiques.

Les données présentées à la section 5.5 suggéraient qu'à l'échelle régionale, la recharge s'effectue essentiellement au niveau des aquifères à nappe libre. L'eau faiblement minéralisée issue des précipitations y alimente les aquifères à nappe libre, alors qu'un ensemble de processus liés à l'infiltration, à la recharge et au transport au sein des aquifères contribuent à augmenter graduellement sa teneur en MDT. L'évolution subséquente de l'eau souterraine (vers des teneurs plus élevées en MDT) serait influencée par les processus d'interaction avec des minéraux des roches. Suivant cette interprétation, la tendance d'accroissement de la MDT depuis les zones d'aquifères à nappe libre jusqu'aux aquifères de roc confiné (figure 5.9) serait le reflet de la distance (et potentiellement du temps de séjour) parcourue par l'eau souterraine dans le système aquifère. Cette interprétation semble concorder avec la disposition des lignes régionales d'écoulement (carte 18) où l'écoulement régional s'effectue généralement depuis les zones d'aquifères à nappe libre vers les zones d'aquifères à nappe captive.

Notons que plusieurs autres paramètres sont susceptibles d'influencer significativement la signature géochimique de l'eau souterraine. Entres autres, la composition minéralogique des matériaux granulaires et du roc, les conditions physico-chimiques au sein des aquifères, les processus de mélange, la vitesse d'écoulement de l'eau souterraine et la pollution anthropique sont des paramètres susceptibles d'influencer significativement la signature géochimique de l'eau souterraine.

## 5.8 Synthèse hydrogéologique régionale

Les connaissances hydrogéologiques présentées dans le présent chapitre sont interprétées et intégrées aux sept unités hydrogéologiques régionales (section 5.1.3.1) des 11 séquences stratigraphiques du territoire (section 4.4.6; carte 16) afin de produire la synthèse hydrogéologique de la région d'étude. Le tableau 5.22 présente la démarche de réalisation qui a permis le développement du portrait hydrogéologique régional de ce vaste territoire de près de 10 000 km<sup>2</sup> et caractérisé par 1) une diversité d'agencements des dépôts meubles, 2) un socle rocheux très accidenté avec une topographie irrégulière et 3) une couverture de dépôts de surface qui masque le socle rocheux sur près de 95 % du territoire.

Avant d'exposer le portrait hydrogéologique régional du PACES-AT1 (section 5.8.2), la section 5.8.1 présente le modèle de Nadeau (2011) qui consiste en une première évaluation qualitative du potentiel aquifère des eskers de l'Abitibi-Témiscamingue.

Tableau 5.22 : Démarche de réalisation du PACES-AT1

Étapes de réalisation (sections)		Éléments retenus pour construire le portrait hydrogéologique régional		
1	Informations géologiques (4.1 à 4.3)	Géologie du roc (carte 12)		
		Géologie du Quaternaire et affleurements (carte 13)		
		Données de forages ⇒ stratigraphie simplifiée (figure 4.2)		
2	Architecture des formations superficielles (4.4 et 4.5)	Milieux de mise en place des eskers (figures 4.3 et 4.4)	+ carte 13 et figure 4.2 ⇒	<b>Définition de 11 séquences stratigraphiques et répartition sur le territoire (maillage de 100 m x 100 m) (carte 16)</b>  ⇒ Modèle géologique 3D (figure 4.9)
		Coupes stratigraphiques régionales et locales (figures 4.6 et 4.7)		
		Épaisseur des dépôts meubles (carte 14)		
		Topographie du roc (carte 15)		
		Épaisseur et répartition spatiale de l'argile (figure 4.8)		
3	Informations hydrogéologiques (5.1 à 5.7)	Propriétés hydrauliques ⇒ <b>7 unités hydrogéologiques régionales</b>		
		Conditions d'écoulement de la nappe (carte 17)		
		Piézométrie régionale (carte 18)		
		Recharge et résurgence (cartes 19 et 21)		
		Vulnérabilité des aquifères (carte 20)		
		Géochimie de l'eau souterraine		
4	Synthèse hydrogéologique régionale (5.8)	Modèle préexistant (Nadeau, 2011)		
		<b>6 contextes hydrogéologiques</b> ↓ <b>Portrait hydrogéologique régional</b>		

### 5.8.1 Modèle préexistant

Dans ses travaux sur les milieux de mise en place des eskers et de la Moraine d'Harricana, Nadeau (2011) a identifié la présence d'eskers de types B, C, et D dans la région d'étude (section 4.4.1). La figure 4.4 de la section 4.4.1 montre que 77 % des eskers du PACES-AT1 sont de type C. Ce sont des eskers qui ont été mis en place en eaux profondes, et une couche d'argile enfouit une partie de leur volume granulaire sur leurs flancs. Les eskers de type B (22 %) sont les segments d'eskers localisés sur des hauts topographiques (p. ex. nord de l'esker Vaudray-Joannès, pointe sud de l'esker Saint-Mathieu-Berry et Moraine d'Harricana au niveau du Mont-Vidéo), alors que 1 % des eskers connus de la région sont de type D, complètement enfouis sous l'argile (p. ex. esker de Barraute).

Les milieux de mise en place des eskers (figure 4.4; section 4.4.1), combinés (1) à la présence ou à l'absence de résurgence d'eau ponctuelle ou diffuse et (2) à la présence d'affleurements de till ou de roc à proximité des segments d'eskers, ont permis à Nadeau (2011) de proposer une première évaluation qualitative du potentiel aquifère des eskers de l'Abitibi-Témiscamingue. Quatre niveaux de potentiel aquifère ont été attribués selon ces caractéristiques, d'un potentiel aquifère faible (niveau 1) à élevé (niveau 4). La figure 5.9 présente la proportion et la répartition des niveaux de potentiel aquifère pour les segments d'eskers de la région d'étude. La majorité des segments présente un potentiel aquifère élevé (91 % de niveaux 3 et 4) dont 60 % possèdent le plus haut niveau. Ainsi, outre quelques segments d'eskers de type B situés sur les hauts topographiques en milieu littoral dont le potentiel aquifère serait plus faible (9 % de niveau 2), la majorité des eskers de la région ont un bon potentiel aquifère, représentant une caractéristique importante de l'hydrogéologie de la région d'étude. L'absence du plus bas niveau de potentiel aquifère (niveau 1) s'explique par la présence constante de caractéristiques favorables à la présence d'eau dans la formation granulaire.

Le modèle de Nadeau (2011), qui intègre la classification des milieux de mise en place des eskers de Veillette et al. (2004) à des observations géomorphologiques (présence ou absence d'affleurement de till ou de roc à proximité des eskers) et hydrogéologiques (présence ou absence de résurgence d'eau ponctuelle ou diffuse), est une première évaluation du potentiel aquifère des eskers de la région d'étude. Ce modèle répondait directement à la nécessité d'acquérir des connaissances sur les eskers de l'Abitibi-Témiscamingue, qui sont à la fois des aquifères essentiels pour l'alimentation en eau potable de plusieurs municipalités, et des milieux convoités pour de nombreuses activités anthropiques (p. ex. sablières et gravières, coupes forestières, villégiature), pouvant engendrer des conflits d'usage et représenter des défis pour la gestion durable de la ressource.

Le modèle qualitatif de Nadeau (2011) appliqué aux eskers a servi de base pour le développement des travaux du PACES-AT1 dont le premier objectif est d'établir le portrait de la ressource en eau souterraine et des aquifères de la région d'étude, incluant les aquifères des eskers et l'aquifère rocheux fracturé. En intégrant les travaux de compilation, d'acquisition, et d'interprétation de nouvelles données hydrogéologiques, le présent projet propose un portrait hydrogéologique de l'ensemble du territoire du PACES-AT1.

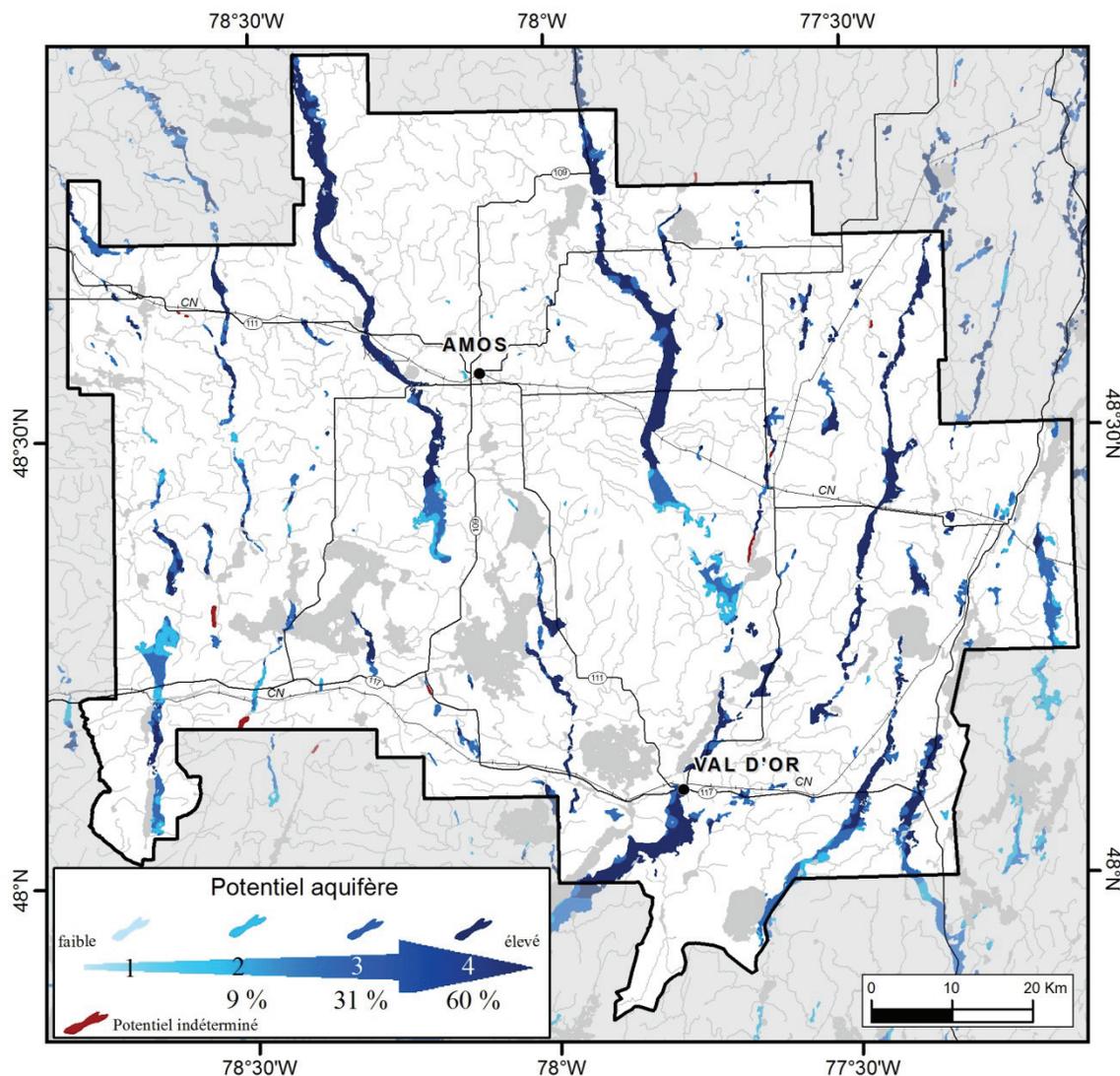


Figure 5.9 : Potentiel aquifère des eskers de la région d'étude (d'après Nadeau, 2011)

### 5.8.2 Portrait hydrogéologique régional

L'approche utilisée pour réaliser le portrait régional (tableau 5.22) consiste à attribuer aux unités hydrogéologiques les informations hydrogéologiques acquises dans le présent projet. Bien que cette approche implique une simplification de la complexité du milieu physique, elle présente l'avantage de permettre la réalisation d'un portrait hydrogéologique régional fondé principalement sur les données jugées les plus fiables (cartes géologiques, affleurements et données de forages).

L'intégration des informations hydrogéologiques (propriétés hydrauliques, géochimie, recharge, vulnérabilité) aux unités hydrogéologiques dans la synthèse régionale (tableau 5.23) permet de réaliser des regroupements de séquences stratigraphiques (SS) en contextes hydrogéologiques (CH). L'approche par regroupements a permis de passer de 11 séquences stratigraphiques, composées d'un agencement de sept unités hydrogéologiques, à six contextes hydrogéologiques :

- 1- les contextes « Affleurement rocheux » (CH1), « Eskers et Moraine » (CH2) et « Tourbières sur granulaire » (CH3) sont représentatifs des aquifères de roc et des aquifères granulaires à nappe libre du territoire;
- 2- les contextes « Flancs d'eskers » (CH4), « Tourbières sur argile » (CH5) et « Plaine argileuse » (CH6) sont représentatifs des aquifères granulaires et des aquifères de roc à nappe captive du PACES-AT1. Il est important de noter que des aquifères à nappe libre superficiels et relativement de faible envergure peuvent être observés localement dans les contextes hydrogéologiques CH4 et CH5.

Les six contextes hydrogéologiques, regroupés sur la base des similarités dans le contexte géologique et les conditions hydrogéologiques, sont ainsi représentatifs de l'ensemble du territoire. La synthèse hydrogéologique régionale, présentée dans le tableau 5.23 en fonction des contextes hydrogéologiques CH1 à CH6, donne les informations pour comprendre la dynamique d'écoulement, la géochimie et la vulnérabilité des aquifères associés aux différents contextes hydrogéologiques.

Les figures 5.11 et 5.12 accompagnent le tableau 5.23. Le bloc diagramme 3D de la figure 5.10 présente de façon conceptuelle la dynamique d'écoulement de l'eau souterraine entre les contextes hydrogéologiques, des aquifères à nappe libre en zones de recharge aux aquifères à nappe captive de la plaine argileuse. En intégrant la distribution spatiale des contextes hydrogéologiques sur le territoire, avec le maillage de 100 m x 100 m, et la dynamique d'écoulement de l'eau souterraine, la figure 5.11 illustre le portrait hydrogéologique régional du PACES-AT1.

#### **Notes pour le tableau 5.23 :**

Nb : nombre d'échantillons; Min : minimum; Moy : moyenne; Max : maximum ; C : carte; F : figure.

<sup>1</sup> La description complète des séquences stratigraphiques est présentée au tableau 4.4;

<sup>2</sup> La définition retenue pour unité hydrogéologique est la suivante : « Ensemble de formations géologiques d'extension significative possédant des caractéristiques hydrogéologiques particulières. » (OQLF). Les unités ont été interprétées en utilisant la colonne stratigraphique simplifiée du PACES-AT1 (figure 5.1);

<sup>3</sup> Sub, plages, éoliens : Sédiments sublittoraux et de plages ou éoliens (E);

<sup>4</sup> Fg et/ou till : Sédiments fluvioglaciers et/ou till sous-jacents à une couche d'argile (C2);

<sup>5</sup> Conductivité hydraulique : paramètre mesurant la perméabilité à l'eau d'un milieu poreux. De façon simplifiée, ce paramètre permet d'évaluer avec quelle aisance une unité laissera circuler l'eau souterraine. Les valeurs de conductivité hydraulique ont été évaluées dans le cadre du PACES-AT1 ou sont tirées de la littérature (tableau 5.6);

<sup>6</sup> Porosité (n) : volume d'eau contenu par volume de solide (paramètre sans unité). Les valeurs proviennent du tableau 5.6;

<sup>7</sup> Matière dissoute totale;

<sup>8</sup> Les valeurs de recharge ont été déterminées par bilan hydrologique (tableau 5.11);

<sup>9</sup> La vulnérabilité est présentée à la section 5.6;

<sup>10</sup> Regroupement des séquences stratigraphiques avec un contexte géologique et des conditions hydrogéologiques similaires.

Tableau 5.23 : Synthèse hydrogéologique régionale du PACES-AT1

N°	%	Séquence stratigraphique (SS) <sup>1</sup>		Unités hydrogéologiques <sup>2</sup>	Propriétés hydrauliques		MDT <sup>7</sup> (mg/L)		Recharge <sup>8</sup> (mm/an)		Vulnérabilité <sup>9</sup> (DRASTIC)		Contextes hydro-géologiques (CH) <sup>10</sup>	Synthèse hydrogéologique régionale Dynamique d'écoulement de l'eau souterraine, géochimie et vulnérabilité des aquifères (voir les figures 5.11 et 5.12)		
		Schéma			K <sup>5</sup> (m/s) Min.-Max.	n <sup>6</sup> (%)	Nb	Moy	Min	Moy	Max	Min			Moy	Max
1	9,0		A	5,0x10 <sup>-2</sup> -4,3x10 <sup>-5</sup>	<10	8	253	15	165	399	73	126	163	Représentant près de 17 % du territoire, CH1 est localisé aux points hauts piézométriques correspondant généralement à des hauts topographiques dont l'élévation excède l'altitude de la plaine argileuse (320 m), p. ex. les secteurs des collines Abiévis et du Mont-Vidéo qui ont des charges hydrauliques autour de 400 m (C16). Ces secteurs sont propices à la recharge de l'eau souterraine (C19; F5.12). CH1 est aussi observé dans la plaine argileuse alors que des zones d'affaissements rocheux et de till sur roc brisent la continuité de l'argile et peuvent représenter des zones de recharge locale de l'aquifère rocheux fracturé (F5.11-5.12). Pour SS1, l'eau s'infiltre directement dans le roc, l'aquifère rocheux fracturé à nappe libre. Pour SS2, la surface de la nappe est majoritairement dans l'unité hydrogéologique A « Roc fracturé » (C17), l'eau s'écoule au travers de l'unité B « till » pour recharger l'aquifère rocheux fracturé. Plusieurs des points hauts piézométriques se situent à proximité des limites de bassins versants de surface et les directions d'écoulement de l'eau souterraine seraient influencées par la topographie du roc (C15; F5.12). La MDT moyenne pour l'aquifère rocheux fracturé est 253 mg/L, et le degré de vulnérabilité moyen est « moyen », mais pouvant aller jusqu'à élevé plus (C20).		
2	7,9		B	9,3x10 <sup>-7</sup> -1,4x10 <sup>-4</sup>	25-50	1	288	11	222	279	67	134	182			
3	5,9		C1	4,9x10 <sup>-6</sup> -3,2x10 <sup>-1</sup>	25-50	57	135	11	306	390	75	195	222			
4	7,9		A	5,0x10 <sup>-2</sup> -4,3x10 <sup>-5</sup>	<10	7	211									
11	5,9		E	4,3x10 <sup>-7</sup> -3,1x10 <sup>-4</sup>	25-50	1	65	11	264	325	75	199	220	Représentant près de 14 % du territoire, CH2 est localisé aux points hauts piézométriques correspondant généralement à des hauts topographiques dont l'élévation excède l'altitude de la plaine argileuse (F5.11-5.12). CH2 est caractérisé par des charges hydrauliques variant entre 300 m (C18), et représente des zones de recharge préférentielle, particulièrement dans le secteur du Mont-Vidéo et de la Moraine d'Harricana (C21; F5.12). SS3 est associée aux eskers et à la Moraine d'Harricana (unité hydrogéologique C1) de cinq à plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur au-dessus du roc fracturé. Les propriétés hydrauliques de l'unité C1 font des eskers et de la Moraine les unités hydrogéologiques avec le meilleur potentiel aquifère de la région. SS4 est généralement associée aux flancs de tronçons d'eskers et de la Moraine, particulièrement dans le secteur du Mont-Vidéo (C16). L'unité hydrogéologique E de SS4 surmonte une couche de till (unité B). C'est un aquifère à nappe libre généralement en lien hydraulique avec SS3, justifiant ainsi l'intégration de SS4 dans CH2. La base des aquifères à nappe libre ne serait pas une limite franche mais correspondrait plutôt à la zone de transition graduelle entre le roc fracturé et potentiellement plus altéré et le roc sain sous-jacent. La surface de la nappe est dans les unités C1 et E, à l'exception de remontrées du socle rocheux où la nappe est observée dans le roc (p. ex. pointe sud de l'esker Saint-Mathieu-Berry; C17). Plusieurs limites de bassins versants de surface suivent la crête de tronçons d'eskers et de la Moraine dans l'axe longitudinal (F5.12). L'eau circule dans l'unité C1 de la crête jusqu'aux bordures (C18) et peut faire résurgence 1) aux zones de sources ponctuelles et diffusées localisées en flancs d'eskers (F5.11b) et 2) aux éléments du réseau hydrogéographique en contact direct avec ces aquifères à nappe libre (C21). La topographie du roc peut influencer les directions d'écoulement de l'eau souterraine (p. ex. esker Saint-Mathieu-Berry; C18). SS3 est caractérisée par une MDT moyenne de 135 mg/L pour l'aquifère granulaire (unité C1) et de 211 mg/L pour l'aquifère rocheux fracturé (unité A). La MDT moyenne de 8 échantillons de sources ponctuelles associées à SS3 est de 97 mg/L. Avec un indice DRASTIC moyen de 195 et 199 pour SS3 et SS4 respectivement, CH2 a un degré de vulnérabilité « très élevé » (C20).		
			B	9,3x10 <sup>-7</sup> -1,4x10 <sup>-4</sup>	25-50	1	49									
			A	5,0x10 <sup>-2</sup> -4,3x10 <sup>-5</sup>	<10											
			F	6,6x10 <sup>-5</sup>	92		264	330	356							
6	4,2		E	4,3x10 <sup>-7</sup> -3,1x10 <sup>-4</sup>	25-50									CH3 (SS1) représente près de 6 % du territoire. Ce sont des zones de tourbières recouvrant les unités hydrogéologiques E et B, correspondant généralement à des secteurs en flancs de tronçons d'eskers et de la Moraine (F5.11a-5.12), ou à des zones de tourbières qui se sont développées entre deux eskers (p. ex. entre les eskers de Barrault et de Despinassy) (C16). Dans le cas des tourbières en flancs d'eskers et de la Moraine, au niveau de la topographie et de la piézométrie, CH3 est localisée en aval de CH2, avec présence possible de sources ponctuelles et diffusées (C21). Ces sources ont un rôle écologique essentiel pour alimenter en eau les tourbières et le réseau hydrogéographique. CH3 est un aquifère à nappe libre et une zone préférentielle de recharge (C21). Bien que la nappe soit localisée dans l'unité organique, seul l'aquifère granulaire sous-jacent est considéré sur la carte C17. L'eau peut circuler de l'unité hydrogéologique F aux unités E et B sous-jacentes, pour rejoindre l'unité A de roc fracturé. La topographie du roc peut influencer les directions d'écoulement de l'eau souterraine dans l'aquifère à l'interface des unités granulaires et du roc fracturé. Avec un indice DRASTIC moyen de 211, CH3 a un degré de vulnérabilité « très élevé » (C20).		
			D	2,5x10 <sup>-11</sup> -9,3x10 <sup>-7</sup>	35-70											
			C2	2,3x10 <sup>-7</sup> -7,2x10 <sup>-3</sup>	25-50	20	206									
			A	5,0x10 <sup>-2</sup> -4,3x10 <sup>-5</sup>	<10	5	235									
8	2,9		E	4,3x10 <sup>-7</sup> -3,1x10 <sup>-4</sup>	25-50									CH4 représente des zones de sédiments sublittoraux, de plage ou éoliens (unité D). SS6 (environ 4 % du territoire) est majoritairement situé en flancs d'eskers et de la Moraine d'Harricana (C16). L'unité E au-dessus de l'argile peut représenter localement de petits aquifères de surface à nappe libre, alors que l'unité C2 sous-jacente est composée de sédiments fluvioglaciers et représente par endroit la partie en condition de nappe captive des eskers et de la Moraine (p. ex. SS6 en contact avec SS3 sur les flancs est, et ouest, de l'esker Saint-Mathieu-Berry; C16). SS8 ne représente que près de 3 % du territoire. Tout comme pour SS6, l'unité E au-dessus de l'argile peut représenter localement de petits aquifères de surface à nappe libre, mais l'unité argile repose directement sur l'aquifère de roc fracturé (unité A) à nappe captive. En ce qui a trait à l'écoulement de l'eau souterraine, l'aquifère à nappe captive de CH4 constitue généralement une zone de transition (avec présence possible de sources ponctuelles et diffusées; C21) entre les aquifères à nappe libre situés en amont (CH2) et les séquences SS5 et SS7 de la plaine argileuse en aval (CH6; F5.11b). En plus d'être délimités par la topographie du roc et les gradients hydrauliques, les directions d'écoulement de l'eau souterraine dans le roc dépendent de la géométrie des fractures. La couche d'argile étant défini comme une formation aquitard, sa contribution à la recharge de l'aquifère à nappe captive sous-jacent est considérée négligeable (C19). L'aquifère granulaire à nappe captive de SS6 a une MDT moyenne de 206 mg/L, alors que l'aquifère rocheux fracturé a une MDT moyenne de 235 mg/L pour SS6 et de 283 mg/L pour SS8. Avec un indice DRASTIC moyen de 93 et 131 respectivement pour SS8 et SS6, CH4 a un degré de vulnérabilité « faible » à « moyen » (C20).		
			D	2,5x10 <sup>-11</sup> -9,3x10 <sup>-7</sup>	35-70											
			A	5,0x10 <sup>-2</sup> -4,3x10 <sup>-5</sup>	<10											
			F	6,6x10 <sup>-5</sup>	92		264	330	356							
9	2,4		D	2,5x10 <sup>-11</sup> -9,3x10 <sup>-7</sup>	35-70									CH5 représente plus de 13 % du territoire. Ce sont des zones de tourbières recouvrant l'unité d'argile (D), correspondant généralement à des secteurs en flancs de tronçons d'eskers et de la Moraine d'Harricana, plus bas topographiquement que CH3 qui est en condition de nappe libre. Dans certains cas, il est possible d'observer la succession des contextes hydrogéologiques CH2-CH3-CH5, p. ex. sur le flanc ouest de la Moraine d'Harricana, dans le secteur de Landrienne, où l'on passe de la crête de la Moraine en condition de nappe libre, aux séquences dominées par la tourbière en surface, jusqu'à la plaine argileuse (CH6) (F5.12). Lorsqu'elles sont localisées en flancs d'eskers ou de la Moraine, ces tourbières sont alimentées en eau par les sources ponctuelles et diffusées associées à CH3, formant un aquifère à nappe libre de surface au-dessus de l'argile, contribuant ainsi à l'alimentation continue du réseau hydrogéographique. La juxtaposition des tourbières aux flancs d'eskers et de la Moraine indique une possible circulation des eaux souterraines depuis les formations granulaires vers l'eau de surface via un environnement de transition constitué par les tourbières. Pour SS10, l'aquifère à nappe captive est l'unité granulaire C2 en lien hydraulique avec le roc fracturé, alors que pour SS9, l'argile repose directement sur l'aquifère de roc fracturé à nappe captive. En ce qui a trait à l'écoulement de l'eau souterraine, l'aquifère à nappe captive de CH5 constitue généralement une zone de transition entre les aquifères à nappe libre situés en amont (CH1, CH2, CH3) et la plaine argileuse en aval (CH6), la topographie du roc peut influencer les directions d'écoulement de l'eau souterraine dans l'aquifère à nappe captive. La présence des dépôts organiques saturés en eau à la surface est susceptible, par endroits, de favoriser la recharge des aquifères sous-jacents. Néanmoins, à l'échelle régionale, la présence d'argile (unité aquitard) devrait limiter significativement les écoulements verticaux. L'aquifère granulaire à nappe captive de SS10 a une MDT moyenne de 171 mg/L, alors que l'aquifère rocheux fracturé à une MDT moyenne de 280 mg/L pour SS10 et de 214 mg/L pour SS9. Avec un indice DRASTIC moyen de 92 et 111 respectivement pour SS9 et SS10, CH5 a une vulnérabilité « faible » à « moyen » (C20).		
			A	5,0x10 <sup>-2</sup> -4,3x10 <sup>-5</sup>	<10	3	214									
			F	6,6x10 <sup>-5</sup>	92											
			D	2,5x10 <sup>-11</sup> -9,3x10 <sup>-7</sup>	35-70											
10	11,1		D	2,5x10 <sup>-11</sup> -9,3x10 <sup>-7</sup>	35-70									CH6 (43 % du territoire) caractérise la plaine argileuse correspondant au bas topographique entre les eskers et la Moraine (C16; F5.12), avec une piézométrie indiquant que les gradients et les charges hydrauliques (généralement inférieures à 300 m) sont plus faibles dans ces secteurs à nappe captive comparativement aux aquifères à nappe libre (C18). La couche d'argile (unité D) est considérée comme un aquitard, sa perméabilité est négligeable en comparaison avec les autres unités hydrogéologiques (C1, C2, E, B, A, F). L'unité d'argile délimite les zones d'aquifères à nappe libre (figure 4.8), et les unités saturées en eau sous-jacentes à l'argile sont des aquifères à nappe captive. Pour SS5, l'aquifère à nappe captive est l'unité C2 relativement perméable en lien hydraulique avec le roc fracturé, alors que pour SS7, l'argile repose directement sur l'aquifère de roc fracturé à nappe captive. Les directions générales d'écoulement semblent être influencées par la topographie du roc (C15-C18; F5.12). L'eau souterraine converge dans plusieurs directions vers différents points bas piézométriques de la plaine argileuse, incluant des lacs qui occupent des creux topographiques, qui correspondent aussi à des dépressions dans la topographie du roc (C15). En plus d'être délimitées par la topographie du roc et les gradients hydrauliques, les directions d'écoulement de l'eau souterraine dans le roc dépendent de la géométrie des fractures. La couche d'argile étant définie comme un aquitard, sa contribution à la recharge de l'aquifère à nappe captive sous-jacent est considérée négligeable (C19). Toutefois, plusieurs zones d'affaissements rocheux (CH1) brisent la continuité de la couche d'argile et peuvent contribuer à une recharge locale de l'aquifère rocheux fracturé bien que localisées dans les secteurs dominés par CH6 (F5.12). L'aquifère granulaire à nappe captive de SS5 a une MDT moyenne de 352 mg/L, alors que l'aquifère rocheux fracturé à une MDT moyenne de 418 mg/L pour SS5 et de 341 mg/L pour SS7. Avec un indice DRASTIC moyen de 78 et 114 respectivement pour SS7 et SS5, CH6 a un degré de vulnérabilité « très faible » à « faible » (C20). Il est important de noter que la présence d'affaissements rocheux dans la plaine argileuse permet un lien entre la surface et l'aquifère rocheux fracturé, pouvant ainsi augmenter la vulnérabilité localement bien qu'étant dans la plaine argileuse (C20).		
			A	5,0x10 <sup>-2</sup> -4,3x10 <sup>-5</sup>	<10	4	280									
			F	6,6x10 <sup>-5</sup>	92											
			D	2,5x10 <sup>-11</sup> -9,3x10 <sup>-7</sup>	35-70											
5	34,2		D	2,5x10 <sup>-11</sup> -9,3x10 <sup>-7</sup>	35-70									CH6 (43 % du territoire) caractérise la plaine argileuse correspondant au bas topographique entre les eskers et la Moraine (C16; F5.12), avec une piézométrie indiquant que les gradients et les charges hydrauliques (généralement inférieures à 300 m) sont plus faibles dans ces secteurs à nappe captive comparativement aux aquifères à nappe libre (C18). La couche d'argile (unité D) est considérée comme un aquitard, sa perméabilité est négligeable en comparaison avec les autres unités hydrogéologiques (C1, C2, E, B, A, F). L'unité d'argile délimite les zones d'aquifères à nappe libre (figure 4.8), et les unités saturées en eau sous-jacentes à l'argile sont des aquifères à nappe captive. Pour SS5, l'aquifère à nappe captive est l'unité C2 relativement perméable en lien hydraulique avec le roc fracturé, alors que pour SS7, l'argile repose directement sur l'aquifère de roc fracturé à nappe captive. Les directions générales d'écoulement semblent être influencées par la topographie du roc (C15-C18; F5.12). L'eau souterraine converge dans plusieurs directions vers différents points bas piézométriques de la plaine argileuse, incluant des lacs qui occupent des creux topographiques, qui correspondent aussi à des dépressions dans la topographie du roc (C15). En plus d'être délimitées par la topographie du roc et les gradients hydrauliques, les directions d'écoulement de l'eau souterraine dans le roc dépendent de la géométrie des fractures. La couche d'argile étant définie comme un aquitard, sa contribution à la recharge de l'aquifère à nappe captive sous-jacent est considérée négligeable (C19). Toutefois, plusieurs zones d'affaissements rocheux (CH1) brisent la continuité de la couche d'argile et peuvent contribuer à une recharge locale de l'aquifère rocheux fracturé bien que localisées dans les secteurs dominés par CH6 (F5.12). L'aquifère granulaire à nappe captive de SS5 a une MDT moyenne de 352 mg/L, alors que l'aquifère rocheux fracturé à une MDT moyenne de 418 mg/L pour SS5 et de 341 mg/L pour SS7. Avec un indice DRASTIC moyen de 78 et 114 respectivement pour SS7 et SS5, CH6 a un degré de vulnérabilité « très faible » à « faible » (C20). Il est important de noter que la présence d'affaissements rocheux dans la plaine argileuse permet un lien entre la surface et l'aquifère rocheux fracturé, pouvant ainsi augmenter la vulnérabilité localement bien qu'étant dans la plaine argileuse (C20).		
			A	5,0x10 <sup>-2</sup> -4,3x10 <sup>-5</sup>	<10	91	418									
			F	6,6x10 <sup>-5</sup>	92											
			D	2,5x10 <sup>-11</sup> -9,3x10 <sup>-7</sup>	35-70											
7	8,6		D	2,5x10 <sup>-11</sup> -9,3x10 <sup>-7</sup>	35-70									CH6 (43 % du territoire) caractérise la plaine argileuse correspondant au bas topographique entre les eskers et la Moraine (C16; F5.12), avec une piézométrie indiquant que les gradients et les charges hydrauliques (généralement inférieures à 300 m) sont plus faibles dans ces secteurs à nappe captive comparativement aux aquifères à nappe libre (C18). La couche d'argile (unité D) est considérée comme un aquitard, sa perméabilité est négligeable en comparaison avec les autres unités hydrogéologiques (C1, C2, E, B, A, F). L'unité d'argile délimite les zones d'aquifères à nappe libre (figure 4.8), et les unités saturées en eau sous-jacentes à l'argile sont des aquifères à nappe captive. Pour SS5, l'aquifère à nappe captive est l'unité C2 relativement perméable en lien hydraulique avec le roc fracturé, alors que pour SS7, l'argile repose directement sur l'aquifère de roc fracturé à nappe captive. Les directions générales d'écoulement semblent être influencées par la topographie du roc (C15-C18; F5.12). L'eau souterraine converge dans plusieurs directions vers différents points bas piézométriques de la plaine argileuse, incluant des lacs qui occupent des creux topographiques, qui correspondent aussi à des dépressions dans la topographie du roc (C15). En plus d'être délimitées par la topographie du roc et les gradients hydrauliques, les directions d'écoulement de l'eau souterraine dans le roc dépendent de la géométrie des fractures. La couche d'argile étant définie comme un aquitard, sa contribution à la recharge de l'aquifère à nappe captive sous-jacent est considérée négligeable (C19). Toutefois, plusieurs zones d'affaissements rocheux (CH1) brisent la continuité de la couche d'argile et peuvent contribuer à une recharge locale de l'aquifère rocheux fracturé bien que localisées dans les secteurs dominés par CH6 (F5.12). L'aquifère granulaire à nappe captive de SS5 a une MDT moyenne de 352 mg/L, alors que l'aquifère rocheux fracturé à une MDT moyenne de 418 mg/L pour SS5 et de 341 mg/L pour SS7. Avec un indice DRASTIC moyen de 78 et 114 respectivement pour SS7 et SS5, CH6 a un degré de vulnérabilité « très faible » à « faible » (C20). Il est important de noter que la présence d'affaissements rocheux dans la plaine argileuse permet un lien entre la surface et l'aquifère rocheux fracturé, pouvant ainsi augmenter la vulnérabilité localement bien qu'étant dans la plaine argileuse (C20).		
			A	5,0x10 <sup>-2</sup> -4,3x10 <sup>-5</sup>	<10	28	341									
			F	6,6x10 <sup>-5</sup>	92											
			D	2,5x10 <sup>-11</sup> -9,3x10 <sup>-7</sup>	35-70											

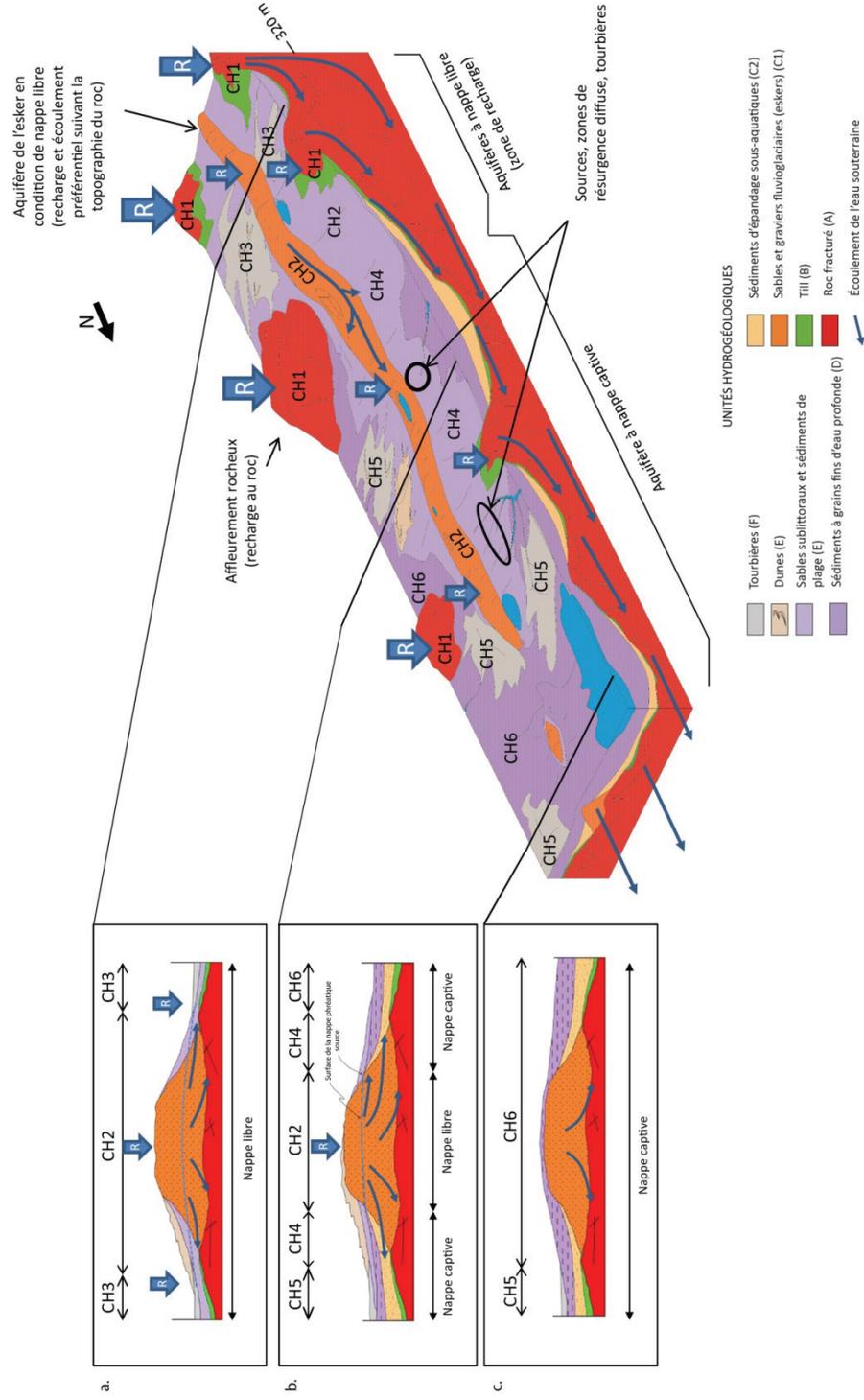


Figure 5.10 : Bloc diagramme 3D conceptuel de la dynamique d'écoulement de l'eau souterraine et des contextes hydrogéologiques du PACES-AT1 (CH1 : Affleurements rocheux; CH2 : Eskers et Moraine; CH3 : Tourbières sur granulaire; CH4 : Flancs d'eskers; CH5 : Tourbières sur argile; CH6 : Plaine argileuse). Les coupes transversales à l'esker présentent les contextes hydrogéologiques pour a) l'esker en position sublittoral (type B), b) l'esker semi-enfoui (type C) et c) l'esker enfoui (type D).

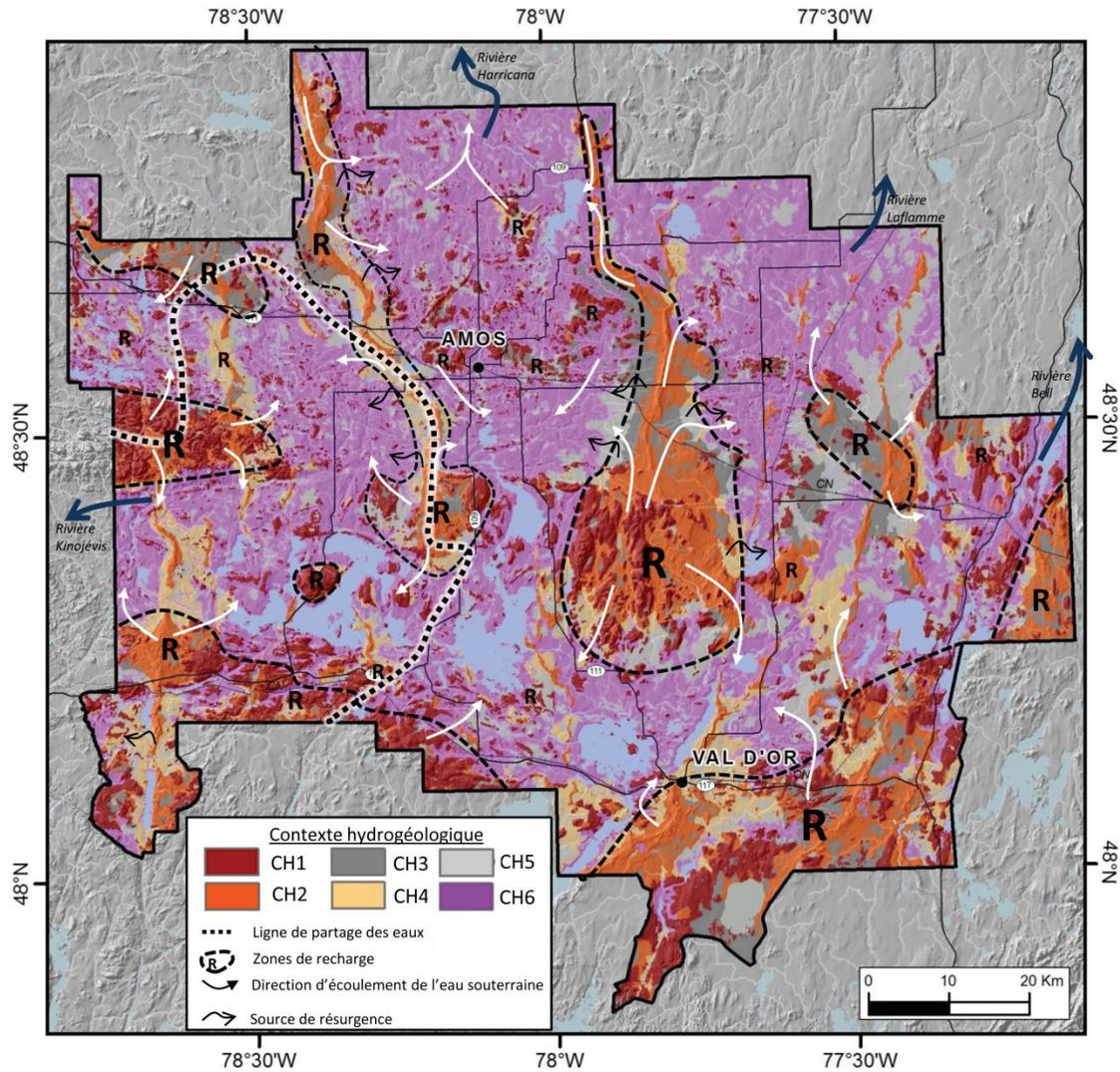


Figure 5.11 : Distribution spatiale des contextes hydrogéologiques et dynamique d'écoulement de l'eau souterraine du PACES-AT1 (CH1 : Affleurements rocheux; CH2 : Eskers et Moraine; CH3 : Tourbières sur granulaire; CH4 : Flancs d'eskers; CH5 : Tourbières sur argile; CH6 : Plaine argileuse).

## 6. Ressources en eau souterraine

Les chapitres 4 et 5 ont présenté la connaissance et la compréhension des systèmes aquifères du territoire PACES-AT1, et la section 5.8 du précédent chapitre résume leurs caractéristiques géologiques et hydrogéologiques. Le présent chapitre se distingue des deux précédents, car il traite de la ressource en eau souterraine à proprement parler, c'est-à-dire qu'il y est discuté du rendement potentiel des environnements aquifères, de la qualité de l'eau souterraine et de son utilisation ainsi que des activités anthropiques qui ont potentiellement un impact sur sa qualité. Les dernières sections du chapitre font état des différents réseaux de surveillance existants et de recommandations relatives à la gestion durable et au potentiel d'exploitation de la ressource en eau souterraine du territoire du PACES-AT1.

### 6.1 Rendement potentiel des aquifères

La stratégie privilégiée dans la présente étude se fonde en premier lieu sur une évaluation indirecte du rendement potentiel des aquifères. La notion de rendement potentiel des aquifères, telle que retenue ici, fait essentiellement référence au débit qu'il est physiquement possible d'extraire de façon continue d'un aquifère. Suivant cette désignation, le rendement potentiel des aquifères est estimé indirectement sur la base (1) des caractéristiques géométriques, (2) de la conductivité hydraulique et (3) du taux de recharge des aquifères. Ainsi, le rendement potentiel d'un environnement aquifère sera principalement fonction de sa taille, de l'aisance avec laquelle il laisse circuler l'eau souterraine et du taux auquel la ressource en eau peut s'y renouveler. Les principes applicables à la gestion durable de la ressource seront discutés à la section 6.6.

#### 6.1.1 Aquifères granulaires

La cartographie de la transmissivité des aquifères granulaires à l'échelle régionale est utilisée comme point de départ pour l'évaluation comparative de leur rendement potentiel. Tel que défini préalablement (tableau 5.1), ce paramètre représente le produit de la conductivité hydraulique d'un aquifère par son épaisseur. Il est proposé que pour un taux de recharge donné, à l'échelle régionale, la transmissivité d'un environnement aquifère constituera un reflet indirect du débit extractible de la ressource. Essentiellement, les aquifères granulaires caractérisés par des transmissivités plus élevées sont jugés susceptibles de présenter un rendement potentiel plus important en comparaison aux aquifères caractérisés par des transmissivités plus faibles. Notons également que le rendement potentiel des aquifères pour un secteur sera fonction de la superficie pour laquelle sa transmissivité doit être considérée.

La transmissivité des principales unités d'aquifères granulaires évaluée à l'échelle du territoire repose sur l'utilisation conjointe (1) des valeurs médianes de conductivité hydraulique rapportées au tableau 5.6 pour les différentes unités hydrogéologiques régionales, (2) des calculs d'épaisseur des dépôts meubles (carte 14) et (3) des données piézométriques (carte 18). Le tableau 6.1 résume la stratégie de calcul de l'épaisseur des unités aquifères à l'échelle régionale. Le détail du calcul est présenté à l'annexe E-1. Pour les besoins du calcul, l'épaisseur des unités hydrogéologiques régionales sus-jacentes à l'argile (séquences stratigraphiques 6, 8, 9 et 10, tableau 5.4, section 5.1.3.1) ou sus-jacentes aux sédiments sublittoraux et de plages ou éoliens (séquence stratigraphique 11, tableau 5.4, section 5.1.3.1) ont été omises. Ces unités aquifères présentent généralement de faibles épaisseurs et sont peu susceptibles de constituer des aquifères exploitables de façon durable, nonobstant leur importance dans la dynamique hydrogéologique régionale.

Tableau 6.1 : Stratégie de calcul de l'épaisseur des unités aquifères à l'échelle régionale

Conditions d'écoulement	Séquences stratigraphiques	Stratégie de calcul de l'épaisseur de l'aquifère
Aquifères à nappe libre	1	Aucune épaisseur n'est déterminée pour l'aquifère rocheux.
	2, 3, 4 et 11	Lorsque la surface de la nappe phréatique est localisée dans l'aquifère sus-jacent au roc, l'épaisseur de l'aquifère correspond à la différence entre l'élévation de la surface piézométrique et l'élévation de la surface du roc.
Aquifères à nappe captive	5, 6 et 10	L'épaisseur de l'aquifère correspond à la différence entre l'élévation de la base de la couche d'argile (unité aquitard) et l'élévation de la surface du roc.
	7, 8 et 9	Aucune épaisseur n'est déterminée pour l'aquifère rocheux.

Les épaisseurs ainsi déterminées, il devient donc possible d'estimer la transmissivité des aquifères du territoire en multipliant l'épaisseur de l'unité aquifère considérée par sa valeur médiane de conductivité hydraulique (tableau 6.2).

Tableau 6.2 : Unités aquifères considérées et valeurs médianes de la conductivité hydraulique utilisée pour l'estimation de la transmissivité

Séquences stratigraphiques	Unité aquifère considérée <sup>1</sup>	Code d'unité hydrogéologique <sup>1</sup>	Valeur médiane de la conductivité hydraulique (m/s) <sup>2</sup>	Source de la conductivité hydraulique <sup>2</sup>
2	Till	B	$31,14 \times 10^{-5}$	Littérature scientifique
3	Esker et moraine	C1	$4,6 \times 10^{-4}$	Données PACES-AT1
4	Sédiments sublittoraux et de plages ou éoliens <sup>4</sup>	E	$8,9 \times 10^{-7}$	Données PACES-AT1
5	Sédiments fluvioglaciers et/ou till sous-jacent à l'argile	C2	$1,6 \times 10^{-4}$	Données PACES-AT1
6	Sédiments fluvioglaciers et/ou till sous-jacent à l'argile	C2	$1,6 \times 10^{-4}$	Données PACES-AT1
10	Sédiments fluvioglaciers et/ou till sous-jacent à l'argile	C2	$1,6 \times 10^{-4}$	Données PACES-AT1
11	Sédiments sublittoraux et de plages ou éoliens sous la tourbe <sup>4</sup>	E	$8,9 \times 10^{-7}$	Données PACES-AT1

<sup>1</sup> Information tirée du tableau 5.4 de la section 5.1.3.1.

<sup>2</sup> Information tirée du tableau 5.6 de la section 5.1.3.2.

<sup>3</sup> En l'absence d'une médiane, une moyenne géométrique a été calculée à partir des valeurs minimale et maximale.

<sup>4</sup> L'épaisseur de till sous-jacent à l'unité aquifère considérée est inconnue. Ainsi, la totalité de l'épaisseur de l'aquifère calculée pour les séquences 4 et 11 a été appliquée à l'unité aquifère considérée.

L'ensemble de la procédure (annexe E-1) permet de présenter l'estimation de la transmissivité ( $m^2/s$ ) des aquifères granulaires du territoire PACES-AT1 (figure 6 1).

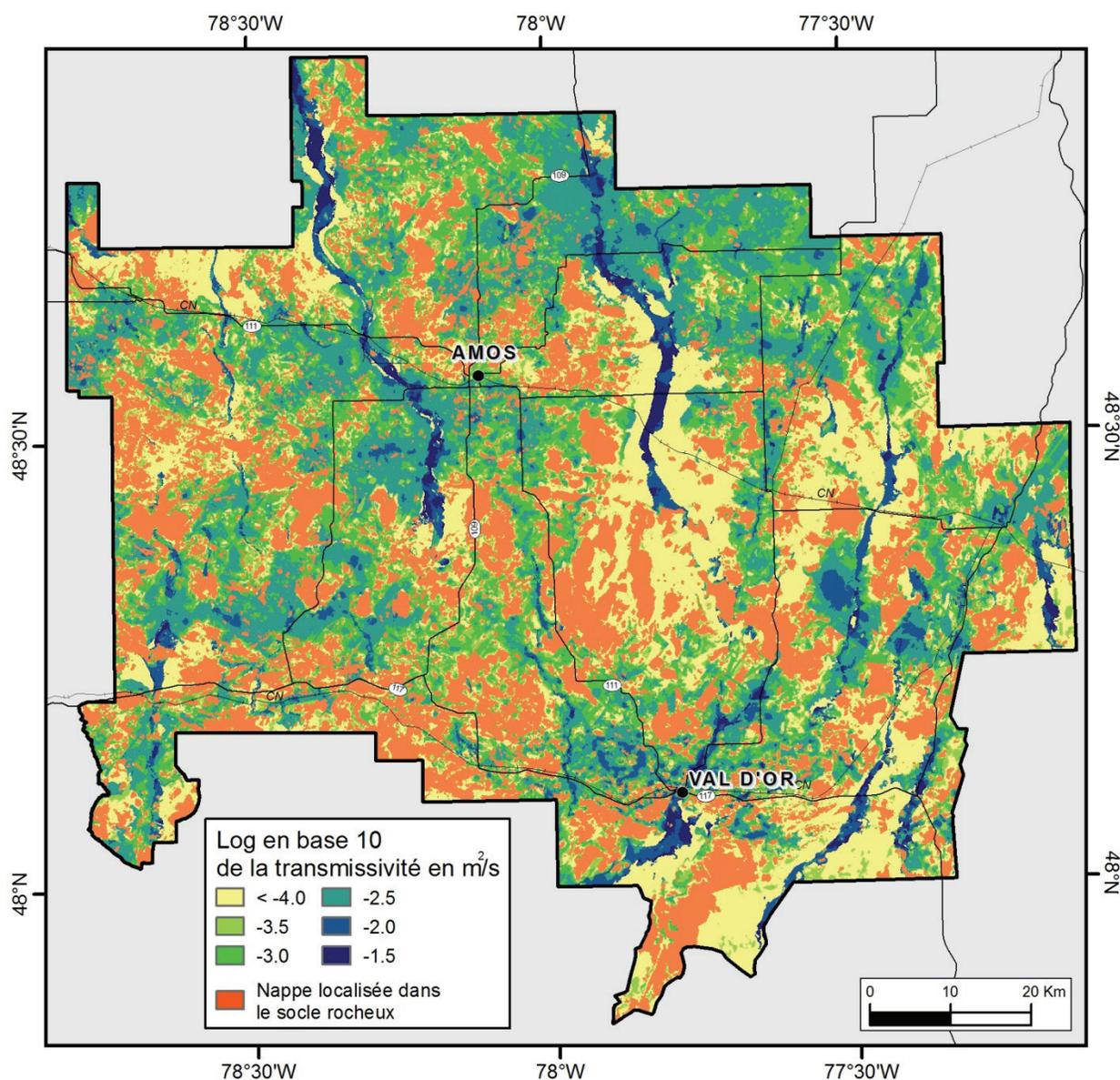


Figure 6.1 : Distribution spatiale du logarithme en base 10 de la transmissivité ( $m^2/s$ ) des aquifères granulaires du territoire PACES-AT1

Sur la figure 6.1, les secteurs où il n'y a que la présence d'aquifère rocheux sont de couleur orange. Ceci inclut certains secteurs où des unités granulaires sont sus-jacentes au roc, mais où la surface piézométrique (carte 18) est localisée dans ce dernier. Il est à noter que dans certains de ces cas, la variation annuelle de la surface piézométrique pourrait engendrer la présence d'aquifères granulaires pendant certaines périodes de l'année. Toutefois, les données actuelles ne permettent pas de tirer de conclusions précises à cet égard. Ainsi, dans ces secteurs, le socle rocheux a été identifié comme l'aquifère principal. De plus, les valeurs de transmissivité rapportées sur la figure 6.1 ont été converties en logarithme en base 10 pour simplifier la légende.

Ainsi, selon la figure 6.1, les unités aquifères qui présentent le meilleur rendement potentiel sont représentées par les eskers et la Moraine d'Harricana avec des transmissivités supérieures à

$3.16 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  (correspondant à une valeur de -2.5 sur l'échelle logarithmique de la figure 6.1). Ces secteurs sont en conditions de nappe libre et consistent généralement en des zones de recharge préférentielle pour l'eau souterraine. Les flancs des eskers et de la Moraine d'Harricana, qui sont des environnements mixtes, tantôt captifs, tantôt libres, sont caractérisés par des transmissivités plus faibles que le corps central de la formation fluvioglaciale et ceci peut s'expliquer par une diminution de l'épaisseur de l'aquifère vers les flancs et/ou la différence de trois ordres de grandeur entre les valeurs médianes utilisées de la conductivité hydraulique (code E vs code C1; tableau 6.2). Les aquifères granulaires en conditions de nappe captive dans la plaine argileuse sont quant à eux caractérisés par des transmissivités intermédiaires variant de  $1 \times 10^{-4}$  à  $3.16 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  (correspondant à une valeur de -4 à -2.5 sur l'échelle logarithmique de la figure 6.1). Finalement, le socle rocheux est généralement l'aquifère principal lorsque le till est présent en surface.

## 6.2 Qualité de la ressource

La présente section traite de l'eau souterraine du territoire en ce qui a trait à sa qualité à titre de ressource en eau potable. L'évaluation de la qualité de la ressource se base sur des comparaisons effectuées entre les données géochimiques préalablement discutées (section 5.7) et une sélection de normes et recommandations relatives à l'eau potable. Il est important de spécifier que l'évaluation de la qualité de l'eau est effectuée sur des échantillons d'eau souterraine brute, c.-à-d. prélevés en amont de tout système de traitement lorsque présent (p. ex. adoucisseur, filtre, etc.).

### 6.2.1 Paramètres de l'évaluation de la qualité de l'eau

Pour les échantillons prélevés, la présente étude documente un total de 46 paramètres incluant 39 constituants chimiques analysés en laboratoire, cinq paramètres in situ mesurés lors de la purge ainsi que deux paramètres calculés (tableau 5.15; section 5.7.1). La méthodologie d'échantillonnage de l'eau souterraine appliquée dans le cadre du projet est présentée à l'annexe B-1. Les valeurs de 24 des 46 paramètres peuvent être comparées à une norme du *Règlement sur la qualité de l'eau potable* (MDDEFP, s.d.-c) ou à une recommandation tirée des *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada* (Santé Canada, s.d.) présentées au tableau 6.3.

Deux types de normes et recommandations sont rapportées au tableau 6.3, soit (1) les objectifs d'ordre esthétique (OE) et (2) les concentrations maximales acceptables (CMA). Lorsqu'une problématique de qualité est associée à une considération esthétique (OE), cette problématique peut altérer le goût de l'eau, sa couleur ainsi que son odeur. Lorsque cette problématique concerne un critère de santé (CMA), elle est susceptible d'avoir des effets sur la santé. Ainsi, 13 objectifs d'ordre esthétique et 11 concentrations maximales acceptables sont utilisés pour évaluer la qualité des eaux souterraines du territoire PACES-AT1. Il est à noter que l'évaluation de la dureté totale et de la matière dissoute totale est basée sur des calculs et non sur des analyses effectuées en laboratoire. Ainsi, au même titre que ces deux paramètres, l'évaluation de la qualité constitue une estimation.

Tableau 6.3 : Normes et recommandations de l'eau potable utilisées dans le cadre du PACES-AT1

Paramètres	Unités	Objectifs d'ordre esthétique (OE)	Concentrations maximales acceptables (CMA)
<b>Normes du Règlement sur la qualité de l'eau potable (MDDEFP, s.d.-c)</b>			
Antimoine (Sb)	mg/L		0,006
Arsenic (As)	mg/L		0,010
Baryum (Ba)	mg/L		1,0
Bore (B)	mg/L		5,0
Cadmium (Cd)	mg/L		0,005
Chrome (Cr)	mg/L		0,05
Cuivre (Cu)	mg/L	≤ 1,0	
Fluorures (F)	mg/L		1,5
Nitrites – Nitrates (NO <sub>2</sub> – NO <sub>3</sub> en N)	mg/L		10,0
pH	sans unité	6,5 – 8,5	
Plomb (Pb)	mg/L		0,010
Sélénium (Se)	mg/L		0,01
Uranium (U)	mg/L		0,02
<b>Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada (Santé Canada, s.d.)</b>			
Aluminium (Al)	mg/L	≤ 0,1	
Chlorures (Cl)	mg/L	≤ 250	
Dureté totale calculée	mg CaCO <sub>3</sub> /L	≤ 200	
Fer (Fe)	mg/L	≤ 0,3	
Manganèse (Mn)	mg/L	≤ 0,05	
Matière dissoute totale (MDT) calculée	mg/L	≤ 500	
Sodium (Na)	mg/L	≤ 200	
Sulfures comme H <sub>2</sub> S	mg/L	≤ 0,05	
Sulfates (SO <sub>4</sub> )	mg/L	≤ 500	
Température	°C	≤ 15	
Zinc (Zn)	mg/L	≤ 5,0	

### 6.2.2 Qualité générale de l'eau souterraine

Le tableau 6.4 intègre des informations tirées du tableau 5.17 (section 5.7.2), lesquelles sont comparées aux valeurs des normes et recommandations rapportées au tableau 6.3. Les deux dernières colonnes du tableau 6.4 indiquent le nombre de dépassements de la norme ou de la recommandation pour chacun des paramètres ainsi que la proportion d'échantillons affectés.

Les problématiques de la qualité de l'eau souterraine concernent majoritairement des objectifs d'ordre esthétique (OE). Dix des 13 paramètres associés à un OE présentent au moins un dépassement atteignant 163 dépassements pour le manganèse (Mn). Plusieurs dépassements ont aussi été identifiés pour fer (91), la dureté totale (75), le pH (53) et la matière dissoute totale (40). Ensemble, les dépassements de ces cinq paramètres (422) comptent pour plus de 90 % des 463 dépassements, incluant les 19 dépassements associés à des CMA.

En ce qui a trait aux CMA, les problématiques identifiées concernent cinq paramètres : As, Ba, Cd, F et U. À l'exception de l'arsenic (As) qui présente 14 dépassements, Ba, Cd, F et U présentent de un à deux dépassements. Notons que la problématique de l'arsenic a fait l'objet d'études plus approfondies par le passé (Poissant, 1997; 1998).

Tableau 6.4 : Statistiques descriptives des paramètres utilisés pour l'évaluation de la qualité de l'eau

Paramètres	Statistiques descriptives <sup>1,2,3</sup>						Valeurs du critère de qualité	Nombre de dépassements	Proportion (%)
	Nombre de données <sup>4</sup>	Minimum (mg/L) <sup>1</sup>	25 % (mg/L) <sup>1</sup>	Médiane (mg/L) <sup>1</sup>	75 % (mg/L) <sup>1</sup>	Maximum (mg/L) <sup>1</sup>			
<b>Dépassements des concentrations maximales acceptables (CMA)</b>									
Antimoine (Sb)	309	<u>0,0005</u>	<u>0,0005</u>	<u>0,0005</u>	<u>0,0005</u>	0,0060	0,006	0	0
Arsenic (As)	309	<u>0,0005</u>	<u>0,0005</u>	<u>0,0005</u>	0,0016	0,0530	0,010	14	4,5
Baryum (Ba)	309	<u>0,001</u>	<u>0,005</u>	0,012	0,032	6,1	1,0	1	0,3
Bore (B)	309	<u>0,0025</u>	<u>0,0025</u>	<u>0,010</u>	0,015	0,26	5,0	0	0
Cadmium (Cd)	309	<u>0,0001</u>	<u>0,0001</u>	<u>0,0001</u>	<u>0,0001</u>	0,0330	0,005	1	0,3
Chrome (Cr)	309	<u>0,00025</u>	<u>0,00025</u>	<u>0,00025</u>	0,00110	0,00920	0,050	0	0
Fluorures (F)	304	<u>0,04</u>	<u>0,05</u>	<u>0,10</u>	<u>0,10</u>	1,8	1,50	1	0,3
Nitrites et Nitrates (NO <sub>2</sub> -NO <sub>3</sub> en N)	309	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>	0,05	0,09	4,9	10,0	0	0
Plomb (Pb)	309	<u>0,00001</u>	<u>0,00005</u>	<u>0,00015</u>	<u>0,0005</u>	0,0030	0,010	0	0
Sélénium (Se)	309	<u>0,0005</u>	<u>0,0005</u>	<u>0,0005</u>	<u>0,0005</u>	0,0031	0,010	0	0
Uranium (U)	238	<u>0,0005</u>	<u>0,0005</u>	<u>0,0005</u>	<u>0,0018</u>	0,071	0,020	2	0,8
<b>Dépassements des objectifs esthétiques (OE)</b>									
Aluminium (Al)	309	<u>0,0005</u>	<u>0,0020</u>	<u>0,0050</u>	0,0084	0,94	≤ 0,1	8	2,6
Chlorures (Cl)	309	<u>0,05</u>	0,50	1,0	5,1	380	≤ 250	1	0,3
Cuivre (Cu)	309	<u>0,00025</u>	<u>0,00025</u>	<u>0,00050</u>	0,00240	0,170	≤ 1,0	0	0
Dureté calculée <sup>5</sup> (CaCO <sub>3</sub> )	298	0,28	55,0	118	200	914	≤ 200	75	25,2
Fer (Fe)	309	<u>0,015</u>	<u>0,015</u>	0,058	0,440	16,0	≤ 0,3	91	29,4
Manganèse (Mn)	309	<u>0,0002</u>	0,0029	0,066	0,23	2,7	≤ 0,05	163	52,8
Matière dissoute totale calculée (MDT) <sup>5</sup>	298	27,6	117	244	405	1 433	≤ 500	40	13,4
pH	309	2,52	6,97	7,58	7,92	9,38	≤ 6,5 – 8,5	53	17,2
Sodium (Na)	309	<u>0,5</u>	2,6	6,5	13,0	180	≤ 200	0	0
Sulfates (SO <sub>4</sub> )	309	<u>0,05</u>	3,4	6,6	10,0	870	≤ 500	2	0,6
Sulfures (S)	308	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>	0,20	≤ 0,05	9	2,9
Température (°C)	308	4,7	6,1	6,9	7,8	22,3	≤ 15	2	0,6
Zinc (Zn)	309	<u>0,0005</u>	<u>0,0039</u>	0,0059	0,014	0,76	≤ 5,0	0	0

<sup>1</sup> Pour les besoins statistiques, les résultats rapportés sous les limites de détection ont été fixés à la moitié de celles-ci.

<sup>2</sup> Lorsque non spécifié, les unités sont en mg/L.

<sup>3</sup> Les valeurs Minimum, 25 %, Médiane, 75 % et Maximum soulignées sont susceptibles de représenter des valeurs sous les limites de détection.

<sup>4</sup> Les statistiques descriptives incluent tous les échantillons, nonobstant l'électroneutralité.

<sup>5</sup> Paramètre calculé à l'aide des concentrations des constituants majeurs.

La carte 22 présente la distribution spatiale des dépassements de CMA. Les 19 dépassements identifiés touchent 19 sites d'échantillonnages différents. Les dépassements de CMA en arsenic s'observent dans plusieurs secteurs dont ceux de Saint-Mathieu-d'Harricana, de Malartic et de Cadillac.

En complément, la carte 23 présente la distribution spatiale des dépassements d'OE (notons que les deux dépassements associés à la température y ont été omis). Les dépassements associés au Mn, au Fe et à la dureté totale sont répandus sur le territoire alors que les dépassements de la recommandation pour la matière dissoute totale (MDT) sont surtout concentrés dans la partie nord de la carte, à partir de Saint-Mathieu-d'Harricana jusqu'à Saint-Dominique-du-Rosaire, secteur où des dépassements de la norme du pH sont également observés.

### 6.2.3 Qualité de l'eau, environnements géologiques et conditions d'écoulement de l'eau souterraine

Sur les cartes 22 et 23, les sites d'échantillonnage présentant un ou plusieurs dépassements de normes ou de recommandations sont identifiés par le type d'aquifère (sédiments, roc, aquifère indéterminé) ou comme une source dans le cas d'une résurgence d'eau souterraine. En lien avec les cartes 22 et 23, le tableau 6.5 résume la distribution des problématiques de la qualité de l'eau en fonction des différentes formations géologiques qui composent les aquifères de la région.

**Tableau 6.5 : Nombre de dépassements des normes et recommandations en fonction des environnements géologiques du PACES-AT1**

Paramètres	Nombre de données	Nombre de sites d'échantillonnages en fonction des environnements géologiques													
		Inconnu (13)	Source (28)	Granulaire (114)	Total Source et Granulaire (142)	Dykes (4)	RIF (37)	RII (7)	RIM (1)	RMET (5)	RSED (12)	RVF (6)	RVIM (78)	RVU (4)	Total 'Bouclier Canadien (154)
Al	309	0	3	2	5	0	0	2	0	1	0	0	0	0	3
As	309	2	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	8	0	12
Ba	309	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Cd	309	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl	309	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dureté calculée	298	3	0	14	14	1	12	2	0	0	6	3	33	1	58
F	304	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Fe	309	4	4	25	29	0	11	2	0	4	8	1	30	2	58
MDT calculée	298	2	0	9	9	0	7	1	0	0	3	0	17	1	29
Mn	309	12	0	42	42	2	21	5	0	4	11	6	56	4	109
pH	309	3	8	34	42	0	5	2	0	0	0	0	1	0	8
SO <sub>4</sub>	309	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2
Sulfures (H <sub>2</sub> S)	308	0	0	4	4	0	1	0	0	0	1	1	0	2	5
Température	308	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
U	309	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2

RIF : Roches intrusives felsiques; RII : Roches intrusives intermédiaires; RIM : Roches intrusives mafiques; RMET : Roches métasédimentaires; RSED : Roches sédimentaires; RVF : Roches volcaniques mafiques; RVIM : Roches volcaniques intermédiaires à mafiques; RVU : Roches volcaniques ultramafiques.

Dans le tableau 6.5, les environnements géologiques associés aux formations rocheuses sont surlignés en vert tandis que ceux associés aux sources et aux dépôts granulaires tels que les eskers et la Moraine

d'Harricana sont surlignés en jaune. Les colonnes « Total Source et Granulaire » et « Total Bouclier Canadien » font la sommation du nombre de dépassements des normes et/ou des recommandations pour leurs environnements géologiques respectifs. Dans ces deux colonnes, les sommations surlignées en jaune ou en vert indiquent les problématiques de qualité pour lesquelles il existe un contraste marqué entre les deux environnements géologiques. Ainsi, en nombre absolu de dépassements, les problématiques de qualité en As, en dureté, en Fe, en MDT et en Mn sont surtout caractéristiques des aquifères de roc fracturé tandis que la problématique du pH est principalement liée aux formations granulaires et aux sources. Notons toutefois que ces derniers présentent aussi des dépassements de dureté, de Fe et de Mn.

Le tableau 6.6 présente les problématiques de la qualité de l'eau souterraine selon les conditions d'écoulement de la nappe phréatique. À l'exception des problématiques de pH, les eaux souterraines des aquifères à nappe captive tendent à présenter plus de dépassements de normes et/ou recommandations relatives à la qualité de l'eau en comparaison aux aquifères à nappe libre.

**Tableau 6.6 : Nombre de dépassements des normes et recommandations en fonction des conditions d'écoulement de la nappe phréatique**

Paramètres	Nombre de données	Conditions d'écoulement de la nappe phréatique (nombre de sites d'échantillonnage)		
		Libre (99)	Captive (210)	Total (309)
Al	309	5	3	8
As	309	1	13	14
Ba	309	0	1	1
Cd	309	0	1	1
Cl	309	0	1	1
Dureté calculée	298	4	71	75
F	304	0	1	1
Fe	309	19	72	91
MDT calculée	298	2	38	40
Mn	309	30	133	163
pH	309	35	18	53
SO <sub>4</sub>	309	0	2	2
Sulfures (H <sub>2</sub> S)	308	2	7	9
Température	308	0	2	2
U	309	1	1	2

### 6.3 Usage de la ressource

Les éléments d'information rapportés dans la présente section visent à proposer une évaluation quantitative (1) du volume d'eau prélevé au niveau du territoire en fonction de sa provenance (surface vs souterraine) et (2) du volume d'eau souterraine prélevé par les différents utilisateurs. Les données utilisées proviennent du Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire (MAMROT), de l'Observatoire de l'Abitibi-Témiscamingue, du Ministère du Développement durable, de

l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP), du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) et des municipalités via des questionnaires complétés par les responsables municipaux dans le cadre des activités du PACES-AT1. Le tableau 6.7 présente les sources de données utilisées, le type de données utilisées et la hiérarchisation de l'utilisation de ces sources.

**Tableau 6.7 : Sources de données utilisées pour l'évaluation de l'utilisation de la ressource en eau**

Source de données	Type de données utilisées	Hiérarchisation de la source
MAMROT (s.d.-a)	Population totale des municipalités.	Première source de la population totale, car elle fournit l'information la plus récente disponible.
Observatoire de l'Abitibi-Témiscamingue (s.d.)	Population totale des quartiers de Ville de Rouyn-Noranda.	Seconde source pour la population totale, le MAMROT (s.d.) ne fournit que la population totale de Ville de Rouyn-Noranda.
MDDEFP (s.d.-e)	Répertoire des réseaux municipaux de distribution d'eau potable et nombre de personnes desservies.	Première source pour l'identification des réseaux présents sur le territoire du PACES-AT1 et du nombre de personnes desservies par réseau. Information la plus récente disponible.
Registre des grands préleveurs	Entité qui pompe de l'eau à un débit supérieur à 75 m <sup>3</sup> /j; Type d'eau : surface et/ou souterraine; Volume d'eau pompée.	Données fournies par le MDDEFP; Première source de données pour les grands préleveurs.
Sondage des municipalités effectué par le GRES en 2010 et 2011	Population totale des municipalités; Nombre de personnes desservies par un réseau; Débit annuel d'eau pompée par les réseaux; Le type d'eau utilisée : surface et/ou souterraine.	Données moins récentes que celles des sources mentionnées précédemment; Source de données utilisées lorsqu'il y a des incohérences ou de l'information manquante dans les sources de données citées précédemment.
MAPAQ (2010)	Nombres de têtes animales par municipalité.	Première source pour ce type de données du secteur agricoles.

Le tableau 6.7 est complémentaire à l'approche méthodologique qui a été appliquée pour l'évaluation de l'utilisation de la ressource en eau (annexe E-2). Il est important de se référer à l'annexe E-2 pour bien saisir les limites associées aux valeurs présentées dans cette section. Notamment, il est à considérer que certaines incohérences en ce qui a trait à l'évaluation quantitative de l'utilisation de l'eau sont inhérentes à l'utilisation conjointe des différentes sources de données précitées. Il est également à noter que les évaluations discutées dans la présente section, en lien avec la MRC d'Abitibi-Ouest et la Ville de Rouyn-Noranda, portent uniquement sur la portion du territoire couvert par le PACES-AT1 et non sur l'entièreté des territoires couverts par ces deux entités.

Le tableau 6.8 ainsi que la figure 6.2 présentent l'utilisation de l'eau de surface et de l'eau souterraine sur le territoire PACES-AT1. Au total, il est estimé que 31,49 Mm<sup>3</sup>/an d'eau sont prélevés afin de répondre aux besoins du territoire. De ce volume, environ 70 % (22,02 Mm<sup>3</sup>/an) provient de l'eau souterraine. Les MRC d'Abitibi (10,76 Mm<sup>3</sup>/an) et de la Vallée-de-l'Or (18,42 Mm<sup>3</sup>/an) sont les plus grands préleveurs d'eau, observation s'expliquant notamment par un plus grand nombre d'utilisateurs sur le territoire du PACES-AT1. L'eau souterraine compte pour environ 93 % de l'eau utilisée par la MRC de La Vallée-de-l'Or (17,15 Mm<sup>3</sup>/an) tandis que dans la MRC d'Abitibi, les plus grands prélèvements s'effectuent à même l'eau de surface (6,67 Mm<sup>3</sup>/an pour près de 62 %).

Tableau 6.8 : Utilisation de l'eau sur le territoire PACES-AT1

MRC / Ville	Nombre de municipalités considérées	Eau de surface (Mm <sup>3</sup> /an)				Eau souterraine (Mm <sup>3</sup> /an)				Total (Mm <sup>3</sup> /an)			
		Productions agricoles	ICI <sup>1</sup>	Résidentiel	Total	Productions agricoles	ICI <sup>1</sup>	Résidentiel	Total	Productions agricoles	ICI <sup>1</sup>	Résidentiel	Total
Abitibi	17	0	6,67	0	6,67	0,18	1,74	2,18	4,10	0,18	8,41	2,18	10,76
Abitibi-Ouest	2	0	0	0	0	0,02	0,09	0,12	0,22	0,02	0,09	0,12	0,22
La Vallée-de-l'Or	7	0	1,27	0	1,27	0,05	13,13	3,97	17,15	0,05	14,40	3,97	18,42
Ville de Rouyn-Noranda	3 quartiers	0	1,53	0	1,53	0,07	0,35	0,13	0,55	0,07	1,88	0,13	2,08
<b>Total</b>		0	9,47	0	9,47	0,31	15,32	6,40	22,02	0,31	24,78	6,40	31,49

<sup>1</sup> ICI : Industriels, commerciaux et institutionnels

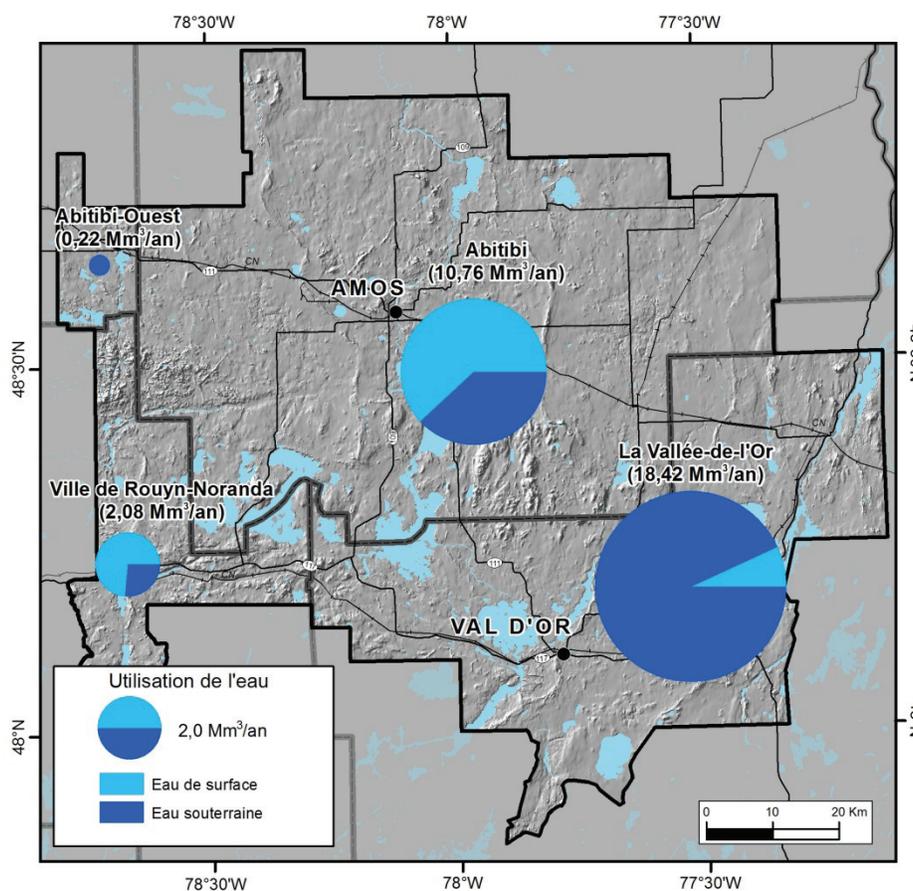


Figure 6.2 : Utilisation de l'eau sur le territoire PACES-AT1

Au niveau des utilisateurs de la ressource, il est évalué que la plus forte demande provient des milieux industriels, commerciaux et institutionnels (ICI) qui utilisent 24,78 Mm<sup>3</sup>/an, soit plus de 78 % de la ressource prélevée. Il s'agit des seuls utilisateurs d'eau de surface (9,47 Mm<sup>3</sup>/an) du territoire. L'eau souterraine constitue pour sa part l'unique source d'eau pour les besoins domestiques (6,40 Mm<sup>3</sup>/an) et agricoles (0,31 Mm<sup>3</sup>/an), mais fournit aussi 15,32 Mm<sup>3</sup>/an d'eau aux ICI. L'eau souterraine est desservie aux usagers par des réseaux d'aqueduc municipaux ou par des installations privées (puits tubulaires, puits de surface, pointes, etc.) La figure 6.3 présente une évaluation quantitative de l'utilisation de l'eau souterraine par secteur d'activités, selon un approvisionnement municipal ou privé pour chacune des MRC du territoire à l'étude. Les réseaux d'aqueduc municipaux de la MRC d'Abitibi et d'Abitibi-Ouest acheminent la majorité de la ressource aux utilisateurs (soit près de 70 %), alors qu'au niveau de la Ville de Rouyn-Noranda et de La Vallée-de-l'Or, les puits privés comblent la plus grande partie des besoins (75 % pour la Ville de Rouyn-Noranda et 62 % pour La Vallée-de-l'Or). Après les ICI, le secteur résidentiel est le second plus important utilisateur d'eau souterraine, avec environ 30 % (6,40 Mm<sup>3</sup>/an, tableau 6.8) de l'eau prélevée. De plus, les volumes d'eau souterraine prélevés par le secteur résidentiel dans les quatre MRC proviennent majoritairement des réseaux de distribution. L'eau utilisée à des fins agricoles est entièrement prélevée à partir de captages privés alors que les MRC d'Abitibi, d'Abitibi-Ouest et la Ville de Rouyn-Noranda possèdent les proportions d'utilisation les plus élevées en comparaison à la MRC de La Vallée-de-l'Or.

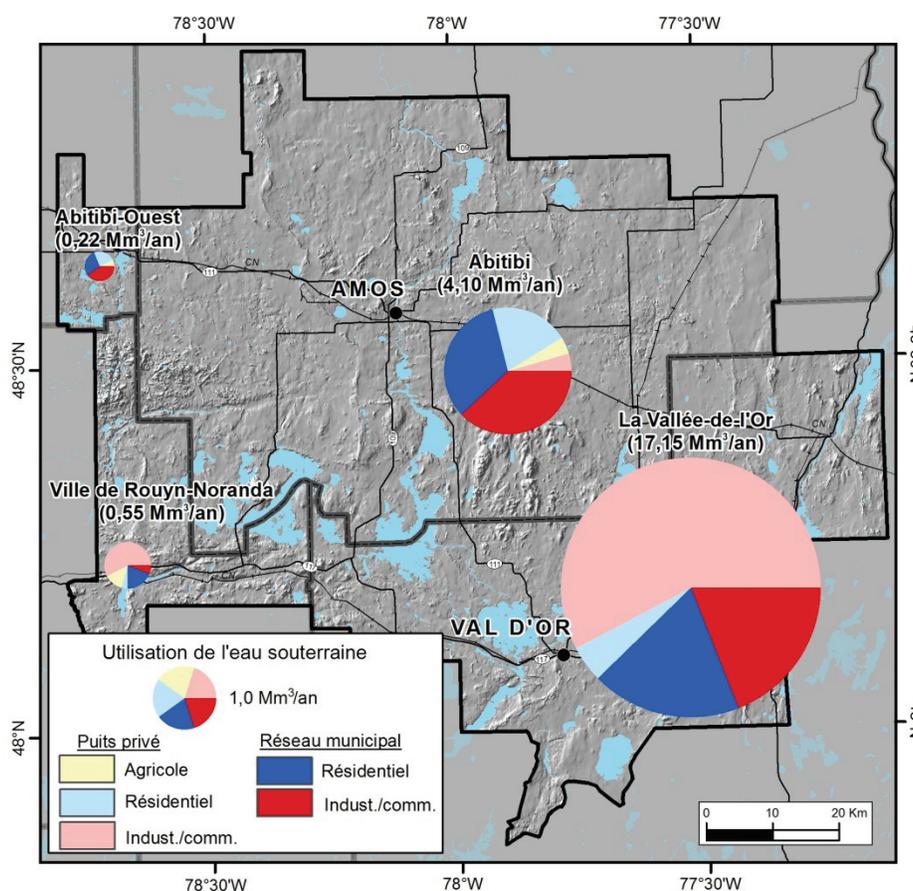


Figure 6.3 : Utilisation de l'eau souterraine par MRC, selon les usages et le type d'approvisionnement.

Le tableau 6.9 présente les captages d'eau souterraine municipaux desservant les populations du territoire à l'étude. Au total, ces captages permettent d'approvisionner plus de 51 000 personnes en eau potable. Ce nombre correspond à 86 % de la population faisant partie des municipalités possédant des puits municipaux, et à environ 74 % de la population totale du territoire PACES-AT1. Les municipalités les plus peuplées de la région desservent majoritairement leurs résidents à l'aide d'un réseau d'aqueduc municipal, soit Amos (94 %), Barraute (73 %), Malartic (99 %), Senneterre (98 %), et Val-d'Or incluant Vassan et Val-Senneville (87 %). Au total, 29 puits municipaux sont dénombrés sur le territoire PACES-AT1. De ce nombre 18 pompent l'eau dans des aquifères granulaires (eskers ou Moraine d'Harricana), alors que huit exploitent des aquifères rocheux fracturés. L'identification du type d'aquifère a été impossible pour trois puits municipaux en raison des contraintes relatives aux informations disponibles.

Tableau 6.9 : Répertoire des puits municipaux

MRC	Municipalité	Population totale <sup>1</sup>	Puits municipaux			Population desservie <sup>4</sup>	
			Type aquifère			Nombre	%
			Roc	Granulaire	Inconnu		
Abitibi	Amos	12 765		2		12 001	94
	Barraute	2 015		1		1 470	73
	Champneuf	138	1 <sup>5</sup>			77	56
	Landrienne	951	2			647	68
	Saint-Dominique-du-Rosaire	456		2	1	200	44
	Saint-Félix-de-Dalquier	860	2			480	56
Abitibi-Ouest	Taschereau	987		2		700	71
Rouyn-Noranda	Quartier Cadillac	896 <sup>2</sup>		2		850	95
	Quartier Mont-Brun	505 <sup>3</sup>	1			302	60
La Vallée-de-l'Or	Malartic	3 558 <sup>2</sup>		3		3 533 <sup>2</sup>	99
	Senneterre	3 075 <sup>2</sup>		2		3 000 <sup>2</sup>	98
	Val-d'Or	32 438		2		28 215	87
					1		
	Quartier Val-Senneville		1 <sup>5</sup>		1		
	Quartier Vassan		1 <sup>5</sup>				
Rivière-Héva	1 529		2		180	12	
<b>Total</b>		<b>60 173</b>	<b>8</b>	<b>18</b>	<b>3</b>	<b>51 655</b>	<b>86</b>

<sup>1</sup> Information tirée de MAMROT (s.d.-a).

<sup>2</sup> Information tirée des sondages effectués par le GRES en 2010 et 2011.

<sup>3</sup> Information tirée de l'Observatoire de l'Abitibi-Témiscamingue (s.d.).

<sup>4</sup> Information tirée du répertoire des réseaux municipaux de distribution d'eau potable (MDDEFP, s.d.-d).

<sup>5</sup> Établis selon les profondeurs des puits et les connaissances des sites.

Suivant les évaluations rapportées ci-dessus, il est estimé que 26 % de la population s'alimente en eau souterraine à partir de puits privés (tableau 6.10). Un certain nombre de ces puits, compilés dans le système d'information hydrogéologique (SIH) du MDDEFP, sont comptabilisés au tableau 6.10. Les valeurs sur le nombre de puits privés sont présentées à titre informatif puisqu'il n'existe aucun registre complet sur les puits privés. Il est tout de même intéressant de constater que 86 % des puits (1 488) comptabilisés captent l'eau souterraine au niveau des aquifères rocheux. Ce nombre est nettement supérieur à la proportion de puits au roc (28 %) municipaux comptabilisés au tableau 6.9. Cette observation suggère que les municipalités, lorsqu'elles le peuvent, favorisent les formations granulaires, entre autres, les eskers et la moraine pour implanter leur puits d'approvisionnement. De leur côté, les particuliers qui habitent à l'extérieur des centres urbains, sont généralement localisés dans la plaine argileuse et sollicitent d'avantage l'aquifère de roc fracturé pour s'approvisionner en eau souterraine.

Tableau 6.10 : Répertoire des puits privés

MRC	Municipalité	Population totale <sup>1</sup>	Population desservie par des puits privés		Puits privés SIH (Type aquifère)		
			Nombre	%	Roc	Granulaire	Inconnu
Abitibi	Amos	12 765	764	6	139	15	
	Barraute	2 015	545	27	66	7	
	Berry	624	624	100	47	3	
	Champneuf	138	61	44	36	3	1
	La Corne	730	730	100	35	1	
	La Morandière	224	224	100	47	4	1
	La Motte	467	467	100	40	2	
	Landrienne	951	304	32	17	7	
	Launay	230	230	100	23	11	
	Preissac <sup>4</sup>	802	802	100	48	5	
	Rochebaucourt	161	161	100	39	1	
	Saint-Dominique-du-Rosaire	456	256	56	11	1	
	Saint-Félix-de-Dalquier	860	380	44	38	4	
	Sainte-Gertrude-Manneville	778	778	100	75	6	
	Saint-Marc-de-Figuery	794	794	100	59	8	
Saint-Mathieu-d'Harricana	702	702	100	44	6		
Trécesson	1 172	1 172	100	63	14	1	
Abitibi-Ouest	Authier	282	282	100	10	3	
	Taschereau	987	287	29	38	5	
Rouyn-Noranda	Quartier Cadillac	896 <sup>2</sup>	46	5	9	4	
	Quartier McWatters	20 <sup>2</sup>	20	100	9	8	
	Quartier Mont-Brun	505 <sup>3</sup>	203	40	47	2	
La Vallée-de-l'Or	Belcourt	243	243	100	10	0	
	Lac-Simon	1 458	1 458	100	1	0	
	Malartic	3 558 <sup>2</sup>	25	<0,1	9	11	
	Rivière-Héva	1 529	1 349	88	74	3	
	Senneterre	3 075 <sup>2</sup>	75	2	8	10	
	Senneterre-Paroisse	1 236	1 236	100	59	9	
	Val-d'Or	32 438	4223	13	387	80	
<b>Total</b>		<b>70 096</b>	<b>18 441</b>	<b>26</b>	<b>1 488</b>	<b>233</b>	<b>3</b>

<sup>1</sup> Information tirée de MAMROT (s.d.-a).

<sup>2</sup> Information tirée des sondages effectués par le GRES en 2010 et 2011.

<sup>3</sup> Information tirée de l'Observatoire de l'Abitibi-Témiscamingue (s.d.).

<sup>4</sup> Réseau et puits communs gérés par les habitants de la municipalité, alimentent également les infrastructures municipales.

La figure 6.4 présente la distribution spatiale des puits privés de la zone d'étude extraits du système d'information hydrogéologique (SIH), ainsi que les types d'aquifères associés. Les puits utilisant un aquifère granulaire se localisent particulièrement près des eskers et de la Moraine d'Harricana, bien que certains soient situés aux abords des cours d'eau à l'intérieur de la plaine argileuse. Les puits au roc sont répartis sur l'ensemble du territoire dans la plaine argileuse.

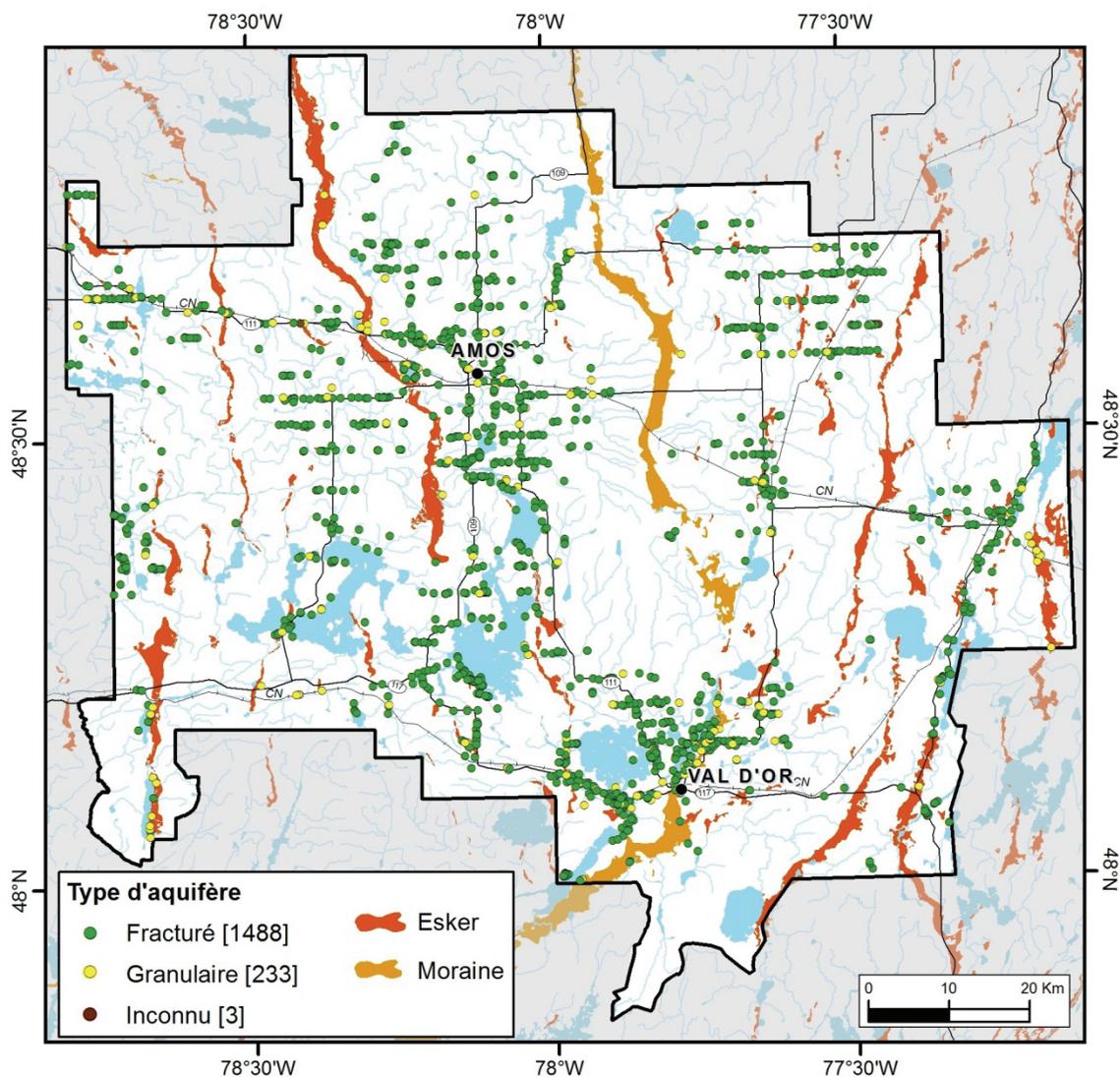


Figure 6.4 : Distribution des puits privés desservant la population de la zone PACES-AT1

## 6.4 Activités anthropiques potentiellement polluantes

### 6.4.1 Activités recensées

Les activités anthropiques potentiellement polluantes (AAPP) regroupent des activités humaines pouvant comporter un risque pour la qualité de l'eau souterraine. Ces activités peuvent être de nature et d'origine diverses (tableau 6.11). Dans le cadre du PACES-AT1, seulement les activités industrielles ont été ciblées. Les activités du secteur agricole n'ont pas été considérées parce que les zones agricoles sont présentées à la carte 3 de l'occupation du sol. Au niveau des activités potentiellement polluantes en milieu résidentiel, les fosses septiques utilisées en milieu rural sont souvent citées. Toutefois, l'impact des fosses septiques sur la qualité de l'eau souterraine est généralement restreint au site lui-même (annexe E-3). Considérant l'échelle d'application régionale du PACES-AT1, les activités en milieu résidentiel n'ont pas été considérées dans le recensement des activités anthropiques potentiellement polluantes. Ainsi, 731 sites d'activités ont été recensés sur le territoire à l'étude et sont issus des codes

d'utilisation des biens-fonds (CUBF) du Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire (MAMROT), des codes d'utilisation des biens-fonds de la Ville de Senetterre, de l'inventaires des dépôts en tranchée de la MRC d'Abitibi, de la localisation des parcs à résidus miniers du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, du système d'aide à la gestion des opérations du Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, des milieux anthropiques de la Ville de Rouyn-Noranda et des produits numériques des droits miniers du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune.

Pour les besoins du projet PACES-AT1, un regroupement des activités a été effectué sur la base des codes d'utilisation des biens-fonds (CUBF). Le code CUBF est attribué lors de l'évaluation foncière et il est fonction du type d'activité pratiquée sur le site, donc de l'utilisation du site. Le tableau 6.11 résume les regroupements basés sur les codes CUBF et la liste générale des activités sur laquelle ont été basés les regroupements est présentée à l'annexe E-3.

**Tableau 6.11 : Nombre de sites répertoriés par regroupement d'activités anthropiques**

Regroupements d'activités anthropiques	Nombre de sites répertoriés	Proportion des sites répertoriés (%)
Activités de soutien au transport ferroviaire	2	0.3
Activités minières	67	9.2
Aéroport	3	0.4
Assainissement et gestion des déchets	124	17.0
Cimetière	29	4.0
Distribution de gaz naturel	1	0.1
Extraction de substances minérales de surface	244	33.3
Fabrication de machines pour l'agriculture, la construction et l'extraction minière	1	0.1
Fabrication de produits minéraux non métalliques	9	1.2
Grossistes-marchands de pétrole et de produits pétroliers ou de mazout	2	0.3
Industrie de fabrication de produits chimiques	1	0.1
Industrie de transformation et d'utilisation des métaux	2	0.3
Industries de produits alimentaires	4	0.5
Industries du bois, pâte à papier et produits du papier	27	3.7
Production, transport et distribution d'électricité	9	1.2
Raffinage et transformation de sous-produits pétroliers	2	0.3
Réparation et entretien de véhicules automobiles	41	5.6
Restaurant	64	8.8
Station-service	50	6.8
Terrain de golf	6	0.8
Vente, réparation et entretien de véhicules automobiles	43	5.9
<b>Total</b>	<b>731</b>	<b>100</b>

Avec respectivement 33 % et 17 % des sites répertoriés, les activités associées à l'extraction de substances minérales de surface ainsi qu'à l'assainissement et la gestion des déchets représentent à elles seules la moitié des sites d'activités anthropiques recensées sur le territoire PACES-AT1.

### 6.4.2 L'indice de densité pondéré d'activités anthropiques

L'impact possible sur les eaux souterraines des activités anthropiques potentiellement polluantes soulève trois grandes questions :

- 1- Est-ce que les activités anthropiques rapportées au tableau 6.11 ont des impacts réels sur les eaux souterraines?
- 2- Si oui, comment affectent-ils la qualité de la ressource?
- 3- Quelles est l'intensité et l'envergure de ces impacts?

Les connaissances requises pour répondre à ces questions dépassent le mandat et les objectifs du PACES-AT1. Néanmoins, l'élaboration d'une approche méthodologique a contribué au développement de l'indice de densité des activités anthropiques, pondéré par le niveau de risque leur étant associé. Cet indice de densité pondéré permet une représentation indirecte de la pression exercée sur la ressource en eau souterraine en termes de risque potentiel de contamination associé aux activités anthropiques. Les détails de l'approche méthodologique réalisée en six étapes sont présentés à l'annexe E-3 et résumés comme suit :

- 1- Identification des AAPP au niveau du territoire à l'étude;
- 2- Identification de la liste des contaminants chimiques pouvant être générés par chacune des AAPP sélectionnées. Au maximum, trois contaminants peuvent être retenus pour la détermination de l'indice (annexe E-3);
- 3- Évaluation qualitative de l'impact potentiel de l'AAPP, ou niveau de risque associé aux AAPP, en fonction des contaminants chimiques identifiés au point 1. Quatre critères sont évalués qualitativement :
  - a. la toxicité des contaminants chimiques (Non toxique, Toxique, Très toxique);
  - b. la quantité (Petite, Grande, Très élevée) et la concentration (Faible, Moyenne, Élevée) des contaminants pouvant être générés;
  - c. la zone d'impact ou l'étendue de l'activité (Ponctuelle, Locale, Régionale);
  - d. la fréquence des rejets de contaminants (Accidentelle, Récurrente).
- 4- En fonction de l'évaluation qualitative, chaque critère se voit attribuer un poids. L'impact potentiel, ou niveau de risque, est le résultat de l'addition des poids attribués en fonction des quatre critères. Les valeurs déterminées pour chacune des AAPP du PACES-AT1 sont tirées de l'annexe E-3;
- 5- Mise en carte des AAPP avec leur valeur d'impact potentiel en fonction de leur localisation spatiale;
- 6- Génération de l'indice de densité pondéré (carte 24) à l'aide du logiciel ArcGIS 10 (ESRI, 2010).

La carte 24 illustre ainsi de façon relative le niveau de risque associé aux AAPP. On y constate que les zones à risque plus élevé tendent à s'aligner préférentiellement le long des grands axes routiers et des municipalités du territoire. Il est proposé ici que l'utilisation conjointe de l'indice de risque associé aux AAPP (carte 24) et de la carte de vulnérabilité des aquifères (carte 20) devrait fournir aux gestionnaires du territoire les outils nécessaires à l'identification des secteurs prioritaires où un suivi préventif de la qualité de l'eau souterraine devrait être réalisé. Notons toutefois que le résultat présenté sur la carte 24 relève d'une évaluation qualitative de niveaux de risque (ou d'impacts potentiels sur l'eau souterraine) associé aux AAPP. Il ne s'agit pas d'une évaluation quantitative de l'incidence des AAPP sur l'eau souterraine. L'utilité de la carte 24 n'est applicable qu'à l'échelle régionale et ne réduit en rien la nécessité de conduire des évaluations ponctuelles dans le cas de problématiques locales.

## 6.5 Stations météorologiques, hydrométriques et de suivi de nappe

Depuis 1913, le territoire couvert par le PACES-AT1 a été instrumenté pour permettre le suivi des conditions climatiques, des niveaux et des débits des rivières ainsi que de la variation de l'élévation des nappes d'eau souterraine. Certaines stations sont maintenant fermées ou inactives tandis que d'autres sont encore en activité. Les tableaux 6.12, 6.13 et 6.14 présentent l'historique de l'instrumentation du territoire à l'étude. La carte 25 présente la localisation des différents types de stations, qu'elles soient fermées ou actives. Les données des tableaux 6.12 et 6.13 sont basées sur les informations transmises en 2010 par le MDDEFP.

### 6.5.1 Stations météorologiques

La première station météorologique de la région a été mise en place à Amos en 1913, et depuis, 23 nouvelles stations ont été installées sur le territoire. Au total, 15 stations météorologiques ont été mises en place par Environnement Canada et neuf par le Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP). De celles-ci, une station d'Environnement Canada ainsi que les neuf du MDDEFP sont encore actives. Les stations du MDDEFP représentent une partie des stations actuellement en place contribuant au réseau de surveillance du climat du MDDEFP. Les informations au sujet de ce réseau sont disponibles sur le site internet du MDDEFP (MDDEFP, s.d.-e). La station encore active d'Environnement Canada est localisé à l'aéroport de Val-d'Or.

Tableau 6.12 : Historique et caractéristiques des stations météorologiques du territoire PACES-AT1

ID station	Nom de la station	Exploitant	MRC	État	Début de la prise des mesures	Date de la dernière prise de mesure	Durée des mesures (années)
7090120	Amos	Environnement Canada	MRC Abitibi	inactive	01-06-1913	31-10-2000	87
7090470	Barraute		MRC Abitibi	inactive	17-06-1982	31-05-1994	12
7090520	Barville		MRC Abitibi	inactive	01-08-1953	31-08-1957	4
7093710	La-Ferme		MRC Abitibi	inactive	01-08-1917	30-04-1936	19
7084560	Manneville		MRC Abitibi	inactive	01-10-1949	31-03-1993	44
7098362	Taschereau 2		MRC Abitibi-Ouest	inactive	01-01-1963	31-03-1966	3
709M332	Louvicourt		MRC Vallée-de-l'Or	inactive	13-07-1980	31-05-1994	14
7094840	Megiscane		MRC Vallée-de-l'Or	inactive	01-05-1952	30-09-1957	5
7097888	Senneterre		MRC Vallée-de-l'Or	inactive	01-01-1940	30-04-1951	11
7097900	Senneterre		MRC Vallée-de-l'Or	inactive	01-07-1967	31-05-1994	27
7097902	Senneterre		MRC Vallée-de-l'Or	inactive	01-04-1960	30-04-1960	0
7097906	Senneterre (radar)		MRC Vallée-de-l'Or	inactive	01-01-1957	30-06-1975	18
7098600	Val d'Or		MRC Vallée-de-l'Or	active	13-09-1952	30-11-1995	45
7081000	Cadillac		Ville Rouyn-Noranda	inactive	19-09-1951	09-06-1984	33
7081002	Cadillac		Ville Rouyn-Noranda	inactive	01-06-1976	18-11-1978	2
709BCG0	Figury	MDDEFP	MRC Abitibi	active	01-10-2006	31-12-2009	3
7094026	La Morandière		MRC Abitibi	active	01-11-1965	31-12-2009	31
709CEE9	Lac-Berry		MRC Abitibi	active	01-07-1973	31-12-2009	15
7084561	Manneville-2		MRC Abitibi	active	01-10-2006	31-12-2009	3
7098360	Taschereau		MRC Abitibi-Ouest	active	13-09-1951	31-12-2009	37
7090580	Bell		MRC Vallée-de-l'Or	active	01-01-1999	31-12-2009	10
7096621	Rivière-Héva		MRC Vallée-de-l'Or	active	14-06-1984	31-12-2009	25
709HFRF	Vassan		MRC Vallée-de-l'Or	active	01-10-2006	31-12-2009	3
7085106	Mont-Brun		Ville Rouyn-Noranda	active	29-05-1980	31-12-2009	29

### 6.5.2 Stations hydrométriques

Les stations hydrométriques 080102 et 080721 sont les premières à être installées sur le territoire du PACES-AT1. Ces deux stations prenaient des mesures de débits dans la rivière Harricana à la hauteur d'Amos et dans la rivière Bell à Senneterre. Au total, douze stations hydrométriques ont été mises en place et seulement deux sont actuellement active : 080101 et 080106. Les deux stations sont actuellement exploitées par le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) qui est une unité administrative du MDDEFP. Ces stations font partie du réseau de suivi hydrologique du CEHQ (CEHQ, s.d.). Le tableau 6.13 présente l'historique et les caractéristiques des stations hydrométriques du territoire du PACES-AT1. Sur la carte 25, les bassins versants visés par dix des douze stations hydrométriques sont rapportés.

**Tableau 6.13 : Historique et caractéristiques des stations hydrométriques du territoire PACES-AT1**

ID station <sup>1</sup>	Nom et localisation de la station	Exploitant	MRC	Paramètres	État	Début des prises de mesures	Année de la dernière prise de mesure	Durée des mesures (années)
080102	Rivière Harricana à Amos-2	Environnement Canada	MRC Abitibi	Débit	inactive	1914	1933	20
043009	Rivière Kinojévis en aval de la rivière Villemontel		MRC Abitibi	Débit	inactive	1936	1966	31
043008	Rivière Kinojévis en aval du Lac Preissac		MRC Abitibi	Débit	inactive	1938	1972	35
089905	Lac Robertson		MRC Abitibi-Ouest	Niveaux	inactive	1970	1972	3
089906	Lac Taschereau		MRC Abitibi-Ouest	Niveaux	inactive	1970	1974	5
080720	Lac Villebon		MRC de la Vallée-l'Or	Niveaux	inactive	1968	1972	4
080706	Rivière Belle à Senneterre-1		MRC de la Vallée-l'Or	Débit	inactive	1964	1972	9
080703	Rivière Belle à Senneterre-2		MRC de la Vallée-l'Or	Débit	inactive	1927	1963	37
080708	Rivière Belle à Senneterre-3		MRC de la Vallée-l'Or	Débit	inactive	1922	1927	6
080721	Rivière Belle à Senneterre-4		MRC de la Vallée-l'Or	Débit	inactive	1914	1922	9
080101	Rivière Harricana à Amos	CEHQ	MRC Abitibi	Débit	active	1933	2001	69
080106	Rivière Boulamaque		MRC de la Vallée-l'Or	Débit	active	2009	-	0

<sup>1</sup> Code d'identification provincial

### 6.5.3 Stations de suivi de nappes

Le suivi de l'élévation des nappes phréatiques est le plus récent des réseaux du territoire PACES-AT1. Les premières stations (11) ont été installées en 2008 par le MDDEFP dans le cadre du réseau de suivi des eaux souterraines du Québec dont l'information est disponible via internet (MDDEFP, s.d.-b). Depuis 2010, le GRES-UQAT s'est aussi équipé d'un réseau de suivi de l'eau souterraine en instrumentant 29 stations. En collaboration avec des municipalités et pour les travaux du PACES-AT1, le réseau du GRES s'intéresse principalement à l'eau souterraine des eskers et à la Moraine d'Harricana localisés dans huit municipalités. Finalement, pour la protection et la gestion durable de son approvisionnement en eau souterraine, la ville d'Amos a elle aussi implanté un réseau de suivi de l'eau souterraine. Les six stations instrumentées ceinturent ses deux puits d'approvisionnement. En plus de suivre les variations de la

surface de la nappe phréatique, la ville d'Amos fait un suivi de la qualité de l'eau. Le tableau 6.14 présente les caractéristiques des stations de suivi de nappes et la carte 25 présente leur localisation.

**Tableau 6.14 : Caractéristiques des stations de suivi des nappes phréatiques**

ID station	Exploitant	MRC	Municipalité	État	Début de la prise de mesures	
08070001	MDDEFP	MRC Abitibi	Barraute	active	24-05-2008	
08010004		MRC Abitibi	La Motte	active	25-05-2009	
08010001		MRC Abitibi	Landrienne	active	24-05-2008	
08010005		MRC Abitibi	Landrienne	active	12-06-2009	
08010006		MRC Abitibi	Landrienne	active	12-06-2009	
04300007		Ville de Rouyn-Noranda	McWatters	active	15-05-2009	
04300008		Ville de Rouyn-Noranda	Mont-Brun	active	24-05-2009	
08010003		MRC Abitibi	Saint-Dominique-du Rosaire	active	07-05-2009	
08010002		MRC Abitibi	Sainte-Gertrude-Manneville	active	23-05-2008	
08070002		MRC Vallée-de-l'Or	Senneterre	active	22-08-2008	
08010007		MRC Vallée-de-l'Or	Val-d'Or	active	21-10-2009	
TSAM-P1		GRES UQAT	MRC Abitibi	Amos	active	16-06-2011
TSAM-P5			MRC Abitibi	Amos	active	16-06-2011
PACES-11			MRC Abitibi	La Motte	active	1-11-2011
TLAM-P1	MRC Abitibi		La Motte	active	16-06-2011	
TLAM-P2	MRC Abitibi		La Motte	active	30-11-2010	
TLAM-P3	MRC Abitibi		La Motte	active	16-06-2011	
PACES-03	MRC Abitibi		Landrienne	active	26-10-2011	
Ancien Pz	MRC Vallée-de-l'Or		Malartic	active	17-06-2011	
FE-07	MRC Vallée-de-l'Or		Malartic	active	17-06-2011	
FE-27	MRC Vallée-de-l'Or		Malartic	active	17-06-2011	
FE-28	MRC Vallée-de-l'Or		Malartic	active	17-06-2011	
PACES-15	Ville de Rouyn-Noranda		Rouyn-Noranda	active	07-11-2011	
PACES-16	Ville de Rouyn-Noranda		Rouyn-Noranda	active	07-11-2011	
PACES-12	MRC Abitibi		Saint-Mathieu-d'Harricana	active	01-11-2011	
PACES-13	MRC Abitibi		Saint-Mathieu-d'Harricana	active	4-11-2011	
PACES-14	MRC Abitibi		Saint-Mathieu-d'Harricana	active	17-11-2011	
TSSM-P1	MRC Abitibi		Saint-Mathieu-d'Harricana	active	02-12-2010	
TSSM-P2	MRC Abitibi		Saint-Mathieu-d'Harricana	active	02-12-2010	
TSSM-P6	MRC Abitibi		Saint-Mathieu-d'Harricana	active	02-12-2010	
PACES-01	MRC Vallée-de-l'Or		Senneterre	active	18-10-2011	
PACES-02	MRC Vallée-de-l'Or		Senneterre	active	18-10-2011	
PZ-1	MRC Vallée-de-l'Or		Val-d'Or	active	07-07-2011	
PZ-12	MRC Vallée-de-l'Or		Val-d'Or	active	06-07-2011	
PZ-13	MRC Vallée-de-l'Or		Val-d'Or	active	07-07-2011	
PZ-15	MRC Vallée-de-l'Or		Val-d'Or	active	06-07-2011	
PZ-18	MRC Vallée-de-l'Or		Val-d'Or	active	06-07-2011	
PZ-23	MRC Vallée-de-l'Or		Val-d'Or	active	06-07-2011	
PZ-3	MRC Vallée-de-l'Or		Val-d'Or	active	05-07-2011	
PZ-5	MRC Vallée-de-l'Or		Val-d'Or	active	06-07-2011	
PZ-1-91	Ville d'Amos		MRC Abitibi	Amos	active	22-07-2010
PZ-2-2007			MRC Abitibi	Amos	active	23-07-2010
PZ-3-91			MRC Abitibi	Amos	active	23-07-2010
PZ-4-90			MRC Abitibi	Amos	active	23-07-2010
PZ-5-91			MRC Abitibi	Amos	active	23-07-2010
PZ-8-91		MRC Abitibi	Amos	active	21-07-2010	

## 6.6 Gestion durable de la ressource et recommandations

Regroupées en trois grandes classes (transfert des connaissances, protection des zones sensibles et suivi de la ressource), les principales recommandations proposées ici ont pour objectif l'établissement de bases favorisant la gestion durable de la ressource en eau souterraine au niveau du territoire PACES-AT1. Il ne s'agit pas d'un inventaire exhaustif de l'ensemble des démarches qui devraient être maintenues ou mises en place afin d'assurer la gestion durable de la ressource, mais de recommandations ciblées, jugées prioritaires et pouvant être directement appuyées sur des données PACES-AT1. Le tableau 6.15 constitue une synthèse des recommandations émises, alors que les sections qui suivent fournissent des précisions relatives aux trois grandes classes ciblées.

### 6.6.1 Classe 1 : transfert des connaissances

Le transfert des connaissances constituera le principal élément permettant l'utilisation des données issues du PACES-AT1 en appui à la gestion durable de la ressource en eau souterraine du territoire à l'étude. La rentabilité à long terme et les retombées du PACES-AT1 seront donc directement fonction de cette étape de transfert à l'échelle régionale. Les recommandations rapportées au tableau 6.15 identifient essentiellement trois aspects qui paraissent fondamentaux afin d'assurer la viabilité du transfert des connaissances : (1) le programme de transfert doit être amorcé rapidement, (2) sa pérennité est indispensable et (3) sa gestion doit être déléguée à un organisme régional. En complément, le tableau 6.16 présente un schéma de partage des responsabilités apparaissant réaliste pour le transfert efficace des connaissances issues du PACES-AT1.

### 6.6.2 Classe 2 : protection des zones sensibles

La gestion durable de la ressource en eau souterraine implique entre autres la mise en place de stratégies permettant son exploitation sans que son intégrité ne soit compromise pour les générations futures. Suivant ce principe, et sur la base des données du PACES-AT1, cinq recommandations prioritaires sont définies en ce qui a trait à la protection de la ressource en eau souterraine du territoire (recommandations 4 à 8, tableau 6.15). Il est à noter que toutes les mesures visant à réduire les incidences potentielles des activités anthropiques sur l'environnement devraient s'appliquer systématiquement sur l'ensemble du territoire. Néanmoins, puisqu'il est pratiquement impossible d'éliminer totalement le risque associé à une vaste gamme d'activités anthropiques ayant lieu sur le territoire (section 6.4.1), l'implantation de nouvelles activités devrait prendre en compte les recommandations du tableau 6.15 en ce qui a trait à la protection de la ressource en eau souterraine.

### 6.6.3 Classe 3 : suivi de la ressource

La gestion durable de la ressource en eau souterraine passe inévitablement par un suivi de sa qualité et des niveaux piézométriques dans le temps, tant pour la prévention de la détérioration de la ressource que pour la compréhension de son évolution dans le temps. En premier lieu, il apparaît raisonnable de proposer que les suivis préventifs de la qualité de l'eau souterraine et des niveaux piézométriques sont susceptibles de permettre l'identification précoce de problématiques liées à la ressource. En second lieu, la comparaison directe de données acquises à différentes époques peut s'avérer problématique, notamment en raison du fait que les études hydrogéologiques sont généralement réalisées de façon ponctuelle dans le temps, suivant des méthodologies susceptibles de différer. Les suivis à long terme s'appuyant sur les méthodologies éprouvées s'avèrent indispensables pour pallier à cette lacune. Les recommandations 9 à 13, rapportées au tableau 6.15, ciblent ces aspects.

Tableau 6.15 : Synthèse des recommandations

Recommandations prioritaires		Pistes relatives au mode d'application / Utilité potentielle des données issues du PACES-AT1
Classe 1 : transfert des connaissances	1	Il apparaît indispensable que le programme de transfert des connaissances soit amorcé dans les plus brefs délais afin de bénéficier des échanges déjà en cours avec les partenaires ayant participé activement à la réalisation du PACES-AT1.
	2	Le transfert des connaissances doit être mené en continu, de façon à ce que la protection de l'eau souterraine soit prise en compte de façon permanente dans le cadre de la gestion du territoire. De plus, le programme de transfert de connaissances doit constituer le point d'entrée permettant d'achever les nouvelles connaissances qui seront acquises en ce qui a trait à l'eau souterraine suite à la publication du présent rapport.
	3	Il est fortement recommandé que le programme de transfert soit chapeauté par un organisme régional. Le fait de procéder ainsi permettrait d'optimiser les échanges entre les différents intervenants impliqués dans la gestion de l'eau et du territoire en Abitibi-Témiscamingue. Ce mandat s'intègre dans la mission de la SESAT pour la région, mais l'organisme n'a pas de financement spécifique pour assurer la gestion d'un programme de transfert de connaissances. Il est essentiel que le Gouvernement du Québec évalue les options pour financer des programmes de transfert afin de s'assurer que les investissements majeurs déjà consentis par le Québec et les régions soient maximisés dans la gestion durable de la ressource et l'aménagement du territoire.
Classe 2 : protection des zones sensibles	4	La gestion durable de la ressource passe inévitablement par la protection accrue des captages exploités à l'heure actuelle. Cette recommandation doit s'appliquer à toutes les échelles, allant des puits de particuliers jusqu'aux captages municipaux (figures 3.1 et 6.4). Il est proposé ici que l'implantation d'activités susceptibles de porter atteinte à l'eau souterraine (tant en termes de qualité que de quantité) devrait minimalement prendre en compte la distribution des captages (figures 3.1 et 6.4) et les directions d'écoulement de l'eau souterraine (carte 18) de façon à réduire le risque de porter atteinte aux captages déjà existants. De même, l'implantation de nouveaux captages d'eau souterraine devrait tenir compte de la densité des activités anthropiques potentiellement polluantes (carte 24). Dans les cas où l'incidence d'une activité anthropique est inconnue ou non documentée, le principe de précaution devrait systématiquement primer afin d'assurer la protection des captages. Finalement, à toutes les échelles, il est indispensable de s'assurer que le captage d'eau souterraine n'exécède pas le taux de renouvellement en eau des aquifères.
	5	Les zones préférentielles de recharge (cartes 19 et 21) constituent, à l'échelle régionale, les principaux secteurs à partir desquels la réalimentation de la ressource en eau souterraine s'effectue de façon naturelle. Puisque ces secteurs constituent les principaux points d'entrée de la ressource en eau souterraine vers les aquifères régionaux, toute perturbation y ayant lieu doit être considérée susceptible d'engendrer des répercussions sur la ressource. Dans une optique de gestion durable de la ressource en eau souterraine, la protection des zones préférentielles de recharge doit donc être priorisée.
	6	Les zones préférentielles de résurgence (carte 21) constituent des environnements de transition entre les systèmes aquifères et le réseau hydrographique de surface. Leur protection apparaît fondamentale au maintien du rôle écologique des eaux souterraines sur les écosystèmes associés aux milieux humides (carte 10) et aux plans d'eau de surface (carte 8).
	7	La carte du rendement potentiel des aquifères granulaires (figure 6.1) permet une évaluation indirecte de la disponibilité de la ressource en eau souterraine sur le territoire. Dans un contexte où la protection de la ressource doit être assurée pour les générations futures, plus un secteur présente un rendement potentiel élevé, plus sa protection doit être priorisée.
Classe 3 : suivi de la ressource	8	La cartographie des indices DRASTIC (carte 20) permet une comparaison de la vulnérabilité relative des différents aquifères du territoire. Dans une optique de gestion durable de la ressource en eau souterraine, la gestion du territoire doit être adaptée de façon à minimiser les interventions dans les secteurs à vulnérabilité élevée.
	9	Les données acquises dans le cadre du réseau de surveillance de l'eau souterraine du MDDEFP (carte 25) sont jugées indispensables à la gestion durable de la ressource en eau souterraine. À moins que des infrastructures de suivi complémentaires ne soient mises en place dans un avenir rapproché, ces données constitueront les seules archives permettant une évaluation directe de l'évolution des niveaux piézométriques dans le temps à l'échelle du territoire. Ces données, complémentaires aux études hydrogéologiques généralement réalisées de façon ponctuelle dans le temps, devraient permettre de mieux comprendre les mécanismes dictant l'évolution de la ressource.
	10	Le nombre d'infrastructures de suivi est limité au niveau du territoire (carte 25) et ne permet pas de généralisations à l'échelle de l'Abitibi-Témiscamingue. Il est recommandé que des mesures soient mises en place afin de favoriser l'implantation de nouvelles infrastructures de suivi, minimalement (1) en périphérie des captages municipaux et (2) à proximité des sites où ont lieu des activités susceptibles de porter atteinte à l'eau souterraine. De telles données paraissent indispensables (1) à la protection à long terme des captages et (2) à l'évaluation quantitative de l'incidence des activités anthropiques sur l'eau souterraine.
	11	Le suivi des puits de particuliers apparaît indispensable pour la protection de la santé publique. Un suivi préventif des puits de particuliers permettrait potentiellement l'identification de problématiques environnementales avant que la ressource ne soit sévèrement compromise. La sensibilisation de la population à cette problématique doit être priorisée.
	12	Les données acquises dans le cadre de la présente étude sont le reflet des conditions hydrogéologiques actuelles et passées, interprétées à la lumière des connaissances contemporaines à la publication de ce rapport. Les conditions environnementales, tout autant que les connaissances scientifiques, sont susceptibles d'évoluer significativement dans le temps. Pour ces raisons, un programme permettant la réalisation de mises à jour périodiques sur les données PACES et sur leur interprétation est nécessaire.
	13	Les suivis hydrométriques (section 6.5.2) et météorologiques (section 6.5.1) sont complémentaires aux suivis de la ressource en eau souterraine. La compréhension des liens entre le climat, les eaux de surface et les aquifères nécessite que tous ces suivis soient maintenus, voire augmentés.

Tableau 6.16 : Schéma de transfert des connaissances

Entité	Responsabilité
<b>GRES-UQAT</b>	Assurer le transfert des connaissances et des informations au MDDEFP, aux partenaires du projet et à un organisme chargé de chapeauter les démarches de transfert (SESAT), participer activement aux activités de transfert des connaissances et assurer des suivis sur une base permanente en lien avec les livrables PACES, les questionnements qui pourraient en découler et l'évolution des connaissances dans le temps.
<b>MDDEFP</b>	Assurer la disponibilité des données PACES auprès des utilisateurs, promouvoir le transfert des connaissances et la réalisation de projets complémentaires.
<b>Organisme régional de transfert (p. ex. : SESAT)</b>	Organiser un plan de transfert des connaissances auprès des acteurs de l'eau à l'échelle régionale, organiser les activités de transfert des connaissances à l'échelle régionale, animer les échanges entre le milieu universitaire, le MDDEFP et les autres acteurs de l'eau de la région et s'assurer de la diffusion des connaissances et des recommandations issues du PACES-AT1 auprès des acteurs de l'eau de la région dans une perspective à long terme.

## 7. Conclusions

La présente étude a été réalisée par le Groupe de recherche sur l'eau souterraine de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, en collaboration avec le milieu régional et le Groupe de recherche interuniversitaire sur les eaux souterraines (GRIES) dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec (PACES) du Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP).

Les travaux ayant été réalisés s'insèrent dans le cadre des démarches visant (1) à assurer la protection et la pérennité de la ressource en eau souterraine du Québec méridional et (2) à améliorer la compréhension des paramètres et des mécanismes régulant le fonctionnement hydrogéologique du territoire. Spécifiquement, l'étude avait pour objectif l'établissement du portrait hydrogéologique d'une partie du territoire municipalisé de l'Abitibi-Témiscamingue en support à la gestion durable de la ressource en eau souterraine.

Conformément aux exigences du MDDEFP pour la réalisation des PACES, l'étude a été menée en trois phases consistant en (1) la collecte des données existantes, (2) la réalisation de travaux de terrain complémentaires et (3) l'intégration des informations pour fins de synthèse et de transfert. Au terme de ses trois phases de réalisation, l'étude a entre autres permis :

- le recensement exhaustif des informations pertinentes à la compréhension de la dynamique hydrogéologique du territoire;
- l'acquisition de données hydrogéologiques complémentaires via la réalisation de travaux de terrain;
- l'intégration de l'ensemble des informations hydrogéologiques au sein d'une base de données géoréférencées;
- la production de 25 produits cartographiques permettant de dresser le portrait physique et hydrogéologique de la région à l'étude (cartes 1 à 25);
- la production d'un atlas hydrogéologique permettant de vulgariser le contenu de ce rapport.

Les principales réalisations relatives à la compréhension de la dynamique hydrogéologique régionale issues de l'étude découlent directement de l'interprétation des informations incluses à la base de données géoréférencées ainsi qu'aux cartes ayant été produites. On compte, parmi ces réalisations :

- 1- la production d'un modèle géologique régional permettant la représentation de l'architecture des formations superficielles dans l'espace notamment grâce à l'établissement de onze séquences stratigraphiques types pour le territoire à l'étude (section 4.4);
- 2- la définition et la caractérisation des six principales unités hydrogéologiques présentes au niveau du territoire à l'étude (section 5.1);
- 3- la réalisation d'un bilan hydrologique régional (section 5.4);
- 4- l'évaluation de la composition géochimique et de la qualité de l'eau souterraine à l'échelle régionale (sections 5.7 et 6.2);
- 5- la réalisation d'une synthèse hydrogéologique (section 5.8) intégrant l'ensemble des informations issues du modèle géologique régional (section 4.4) et de la caractérisation des unités hydrogéologiques et des aquifères du territoire (section 5.1 à 5.7);
- 6- l'établissement du portrait de l'eau souterraine du territoire à titre de ressource (sections 6.1 à 6.6).

D'un point de vue pratique, les principales retombées des réalisations issues de la présente étude concernent l'établissement du portrait hydrogéologique régional pouvant servir de base pour l'émission de recommandations visant à assurer la gestion durable de la ressource en eau souterraine du territoire.

D'un point de vue scientifique, les principales retombées de l'étude concernent l'établissement d'une stratégie de caractérisation hydrogéologique régionale permettant l'évaluation quantitative des propriétés des unités hydrogéologiques et des caractéristiques de la ressource en eau sur la base d'un nombre limité de données distribuées de façon hétérogène dans l'espace et le temps.

Les recommandations issues de la présente étude (section 6.6) ont pour objectif l'établissement de bases favorisant la gestion durable de la ressource en eau souterraine au niveau du territoire. Il ne s'agit pas d'un inventaire exhaustif de l'ensemble des démarches qui devraient être maintenues ou mises en place afin d'assurer la gestion durable de la ressource, mais de recommandations ciblées, jugées prioritaires et pouvant être directement appuyées sur des réalisations tirées de la présente étude. Ces recommandations se partagent en trois grandes classes et concernent (1) le transfert des connaissances, (2) la protection de zones jugées sensibles et (3) le suivi de la ressource en eau souterraine.

Le **transfert des connaissances** constituera le principal élément permettant l'utilisation des données issues de la présente étude en support à la gestion durable de la ressource en eau souterraine du territoire. Trois aspects paraissent fondamentaux afin d'assurer la viabilité du transfert des connaissances :

- 1- le programme de transfert doit être amorcé rapidement;
- 2- la pérennité du programme de transfert est indispensable;
- 3- la gestion du programme de transfert doit être chapeauté par un organisme régional.

L'application de ces recommandations permettrait vraisemblablement (1) de bénéficier des échanges déjà en cours avec les partenaires du projet, (2) d'assurer que les données hydrogéologiques sont prises en compte de façon permanente dans le cadre de la gestion du territoire et (3) d'optimiser le partage de l'information avec les différents intervenants concernés (organismes, gestionnaires du territoire, secteur privé). Pour l'Abitibi-Témiscamingue, la SESAT est l'organisme désigné pour assurer la responsabilité du transfert des connaissances. Pour que cette première classe de recommandations soit viable, la Gouvernement du Québec doit évaluer les options pour financer des programmes de transfert des connaissances dans les différentes régions caractérisées par un PACES.

Quatre recommandations prioritaires sont définies en ce qui a trait à la **protection de zones jugées sensibles** sur la base des données traitées dans le cadre de la présente étude :

- 1- Accroître la protection des captages d'eau souterraine déjà existants, et particulièrement ceux destinés à l'alimentation en eau potable (section 6.3);
- 2- Assurer la protection des zones préférentielles de recharge et de résurgence (section 5.5);
- 3- Considérer le rendement potentiel des aquifères granulaires (section 6.1) dans la gestion du territoire;
- 4- Considérer le niveau de vulnérabilité des aquifères dans la gestion du territoire (section 5.6).

L'application de ces recommandations permettrait vraisemblablement (1) de limiter l'incidence des pressions anthropiques sur les captages existants, (2) de minimiser l'altération des processus liés à la recharge naturelle des aquifères et de favoriser la préservation du rôle écologique de l'eau souterraine

sur le réseau hydrographique ainsi que (3) de protéger la ressource en eau souterraine pour les générations futures.

Finalement, cinq recommandations prioritaires sont émises en ce qui a trait au **suiti de la ressource en eau souterraine** du territoire :

- 1- Maintenir à long terme le réseau de surveillance de l'eau souterraine du MDDEFP (section 6.5);
- 2- Favoriser l'implantation de nouvelles infrastructures de suivi de l'eau souterraine;
- 3- Sensibiliser la population à l'importance de réaliser un suivi de la qualité de l'eau au niveau des puits de particuliers;
- 4- Créer des programmes assurant des mises à jour périodiques des données issues des PACES;
- 5- Assurer la pérennité des suivis environnementaux complémentaires (section 6.5).

L'application de ces recommandations permettrait vraisemblablement (1) l'archivage de données hydrogéologiques nécessaire au suivi de l'évolution temporelle de la ressource en eau souterraine en termes de qualité et de quantité, (2) d'augmenter la protection de la santé des utilisateurs d'eau souterraine par l'identification précoce d'éventuelles problématiques relatives à sa qualité et (3) d'assurer une réévaluation périodique des informations issues de la présente étude en tenant compte de nouvelles connaissances.

Hormis l'application des recommandations précitées, trois interventions, qui relèvent à notre avis d'une collaboration entre le milieu de la recherche et les instances responsables de la gestion du territoire, sont jugées prioritaires à l'échelle régionale dans une perspective à court terme :

- 1- Une évaluation quantitative de l'incidence des activités anthropiques potentiellement polluantes sur la ressource en eau souterraine du territoire. La caractérisation de l'incidence de l'industrie minière apparaît notamment prioritaire dans le contexte régional;
- 2- Une intégration conjointe des données issues de la présente étude avec les données issues du second projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de l'Abitibi-Témiscamingue (voir Cloutier et al., 2013);
- 3- L'établissement d'une stratégie régionale visant à assurer la protection des eskers et moraines du territoire.

## Bibliographie

- Allard, M. 1974. Géomorphologie des eskers abitibiens ». *Cahiers de géographie du Québec*, vol. 18, n° 44, p. 271-296. En ligne. <<http://id.erudit.org/iderudit/021195ar>>.
- Aller, L., T. Bennett, J. H. Lehr, R. Petty et G. et Hackett. 1987. *DRASTIC : A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings*. Rapport du US EPA-600/2-87-035.
- Barber, D. C., A. Dyke, C. Hillaire-Marcel, A. E. Jennings, J. T. Andrews, M. W. Kerwin, G. Bilodeau, R. McNeely, J. Southon, M. D. Morehead et J. M. Gagnon. 1999. Forcing of the cold event of 8,200 years ago by catastrophic drainage of Laurentide lakes. *Nature*, vol. 400, n° 6742, p. 344-348. En ligne. <<http://dx.doi.org/10.1038/22504>>.
- Bergeron, Y. 2000. Une histoire de la végétation de l'Abitibi. Dans *Abitibi-Témiscamingue: de l'emprise des glaces à un foisonnement d'eau et de vie 10 000 ans d'histoire*, Sainte-Foy (Québec) Éditions MultiMondes, 159 p.
- Blanchette, D., V. Cloutier, R. Lefebvre et I. Clark. 2011. *Hydrochemical characterisation of groundwater to understand the flow dynamics of the Saint-Mathieu/Berry Esker, Abitibi, Québec*. Geohydro 2011, Congrès conjoint CANQUA et AIH-CNC, Québec, 28-31 août 2011, 7 p.
- Blot, S. J. et K. Pye. 2001. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 26, n° 11, p. 1237-1248.
- Blouin, J., et J.-P. Berger. 2003. *Guide de reconnaissance des types écologiques des régions écologiques 4d - Hautes collines de Charlevoix et du Saguenay et 4e - Plaine du lac Saint-Jean et du Saguenay*. Québec, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Forêt Québec, Direction des inventaires forestiers, Division de la classification écologique et productivité des stations.
- Bolduc, A., S. Paradis, M.-N. Riverin, R. Lefebvre et Y. Michaud. 2005. A 3D esker geomodel for groundwater research: the case of the Saint-Mathieu-Berry esker, Abitibi, Québec, Canada. In *Three-Dimensional Geologic Mapping for groundwater applications* (Salt Lake City, UT ), sous la dir. de Geological Society of America. Salt Lake City, UT Geological Survey of Canada.
- Boulfroy, E., P. Bournival et G. Lessard. 2009. *Évaluation du degré de concordance entre la cartographie et la réalité terrain pour la donnée de type écologique dans l'UAF 61-52*. CERFO. Rapport 2009-15. 94 p.
- Boulfroy, E., P. Bournival et G. Lessard. 2010. *Évaluation du degré de concordance entre la cartographie écoforestière du 4<sup>e</sup> décennal et la réalité terrain pour la donnée de type écologique dans l'UAF 061-52 (2<sup>e</sup> année)*. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO). Rapport 2010-18. 52 p.
- Buteau, P., N. Dignard et P. Grondin. 1994. *Système de classification des milieux humides du Québec*. Ministère des Ressources naturelles. 25 p.

- Carrier, M.-A., et collaborateurs. 2013. *Portrait des ressources en eau souterraine en Montérégie Est, Québec, Canada*. Institut de recherche scientifique (INRS), Commission géologique du Canada (CGC), Organisme de bassin versant de la Yamaska (OBV Yamaska).
- Castelli, S. 2012. *Hydrogéochimie des sources associées aux eskers de l'Abitibi, Québec*. Mémoire de maîtrise. Montréal, Département de génies civil, géologique et des mines, École Polytechnique de Montréal, 107 p.
- Centre Collégial de Transfert de Technologie en Foresterie (CERFO). 2009. *Cartographie des types écologiques : peut-on se fier à ces données*. Note technique - Technote. 4 p.
- Centre d'expertise hydrique Québec (CEHQ). s.d. « Le réseau hydrométrique québécois ». En ligne. <http://www.cehq.gouv.qc.ca/hydrometrie/reseau/index.htm>. Consulté le 17 juillet 2013.
- Champagne, R. 1988. *Évaluation du potentiel aquicole de la région de l'Abitibi à partir des sources d'eau gravitaire émergeant des eskers*. Ministère de l'agriculture des pêcheries et de l'alimentation du Québec. Québec.
- Chapuis, R. P. 1999. *Guide des essais de pompage et leurs interprétations*. Gouvernement du Québec – Les Publications du Québec. Sainte-Foy (Québec). 156 p.
- Chapuis, R. P. 2012. Predicting the saturated hydraulic conductivity of soils: a review. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, volume 71, n° 3, p. 401-434.
- Cloutier, V. 2004. *Origine et évolution géochimique des eaux souterraines du système aquifère des Basses-Laurentides dans les roches sédimentaires paléozoïques des Basses-Terres du Saint-Laurent, Québec, Canada*. Thèse de doctorat. Québec, Institut national de la recherche scientifique, Eau, Terre et Environnement, 382 p.
- Cloutier, V., T. Aubert, F. Audet-Gagnon, M. Roy, J. Veillette, D. Blanchette et G. Robert. 2010. *Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de l'Abitibi-Témiscamingue (partie 1) Phase I – Collecte des données existantes*. Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT) - Groupe de recherche sur l'eau souterraine (GRES). Premier rapport d'étape. 79 p.
- Cloutier, V., F. Audet-Gagnon, T. Aubert, M. Roy, S. Nadeau, P.-L. Dallaire, F. Fallara, O. Pitre, G. Godbout, D. Blanchette, S. Castelli, M. Ferlatte, J. Veillette et G. Robert. 2011. *Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de l'Abitibi-Témiscamingue (partie 1) Phase II - Réalisation des travaux terrain*. Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT) - Groupe de recherche sur l'eau souterraine (GRES). Second rapport d'étape. 52 p.
- Cloutier, V., Dallaire, P.-L., Nadeau, S., Roy, M., Rosa, E. 2013. *Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de l'Abitibi-Témiscamingue (partie 2)*. Rapport de phase 1 déposé au ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec. Rapport de recherche P002.R1. Groupe de recherche sur l'eau souterraine, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 74 p., 5 annexes.

ESRI. 2010. ArcGIS version 10.0

Foucault, A. et J.-F. Raoult. 2005. *Dictionnaire de Géologie*. Dunod. Paris, UniverSciences: 382 p.

Freeze, R. A. et J. A. Cherry. 1979. *Groundwater*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 604 p.

Gouvernement du Québec. 2002. *L'eau. La vie. L'avenir*. Politique nationale de l'eau. 94 p.  
En ligne. <<http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/politique/politique-integral.pdf>>.

Groupe de travail national sur les terres humides. 1997. *Système de classification des terres humides du Canada*. Deuxième édition. Édité par B.G. Warner et C.D.A. Rubec. Université de Waterloo, Waterloo, Ontario. 68 p.

Groupe de travail sur la classification des sols. 2002. *Le système canadien de classification des sols*. 3<sup>e</sup> édition. Direction générale de la recherche, Ministère de l'Agriculture et de l'Agro-Alimentaire du Canada. Publication 1646. Ottawa, Ontario. 196 p.

Hocq, M. et P. Verpaelst. 1994. *Les sous-provinces de l'Abitibi et du Pontiac*. Dans *Géologie du Québec*, Les publications du Québec. p. 21 – 47.

Holtz, R. D. et W.D. Kovacs. 1991. *Introduction à la géotechnique*. Éditions de l'école Polytechnique de Montréal, Montréal, 808 p.

HydroSOLVE, Inc. 2007. AQTESOLV for Windows version 4.5

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA). s.d. « Études pédologiques ». En ligne. <<http://www.irda.qc.ca/fr/Etudes-pedologiques>>. Consulté le 21 mars 2013.

Larose-Charette, D. 2000. *Modélisation hydrogéologique des aquifères libres de la MRC de Portneuf*. Mémoire de maîtrise. Institut national de la recherche scientifique - Géoresources, Québec. 308 p.

Lüttig, G. 1990. Quaternary research in view of modern requirements of applied geology. In *Economic quaternary geology in the Nordic countries (L.K. Kauranne et L.-K. Königsson)*, Striae, Upsalap. p. 15-29.

Ménard, S., M. Darveau, L. Imbeau et L.-V. Lemelin. 2006. *Méthode de classification des milieux humides du Québec boréal à partir de la carte écoforestière du 3<sup>e</sup> inventaire décennal*. Rapport technique n° Q2006-3, Canards Illimités Canada-Québec. 19 p.

Ministère de l'Agriculture, Pêcheries et Alimentation (MAPAQ). 2010. Fiche d'enregistrement des exploitations agricoles. Révision janvier 2012.

Ministère des Affaires municipales, Région et Occupation du territoire (MAMROT). s.d.-a. « Répertoire des municipalités ». Gouvernement du Québec. En ligne. <<http://www.mamrot.gouv.qc.ca/repertoire-des-municipalites/>>. Consulté le 5 mars 2013.

Ministère des Affaires municipales, Région et Occupation du territoire (MAMROT). s.d.-b. « Guide La prise de décision en urbanisme ». Gouvernement du Québec. En ligne.  
<<http://www.mamrot.gouv.qc.ca/amenagement-du-territoire/guide-la-prise-de-decision-en-urbanisme/planification/grandes-affectations-du-territoire/>>. Consulté le 9 mars 2013.

Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs (MRNFP). 2004. Système d'information écoforestière (SIEF) - Produits de diffusion, Spécifications techniques. Gouvernement du Québec. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs (MRNFP) - Direction des inventaires forestiers. 80 p.

Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune (MRNF). 2008. *Norme de stratification écoforestière Quatrième inventaire écoforestier*. Forêt Québec - Direction des inventaires forestiers. 62 p.

Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune (MRNF). 2011. *Norme de stratification écoforestière, Quatrième inventaire écoforestier*. Forêt Québec - Direction des inventaires forestiers. 92 p.

Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec (MDDEP). 2007. *Guide d'interprétation, Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, Direction des Politiques de l'eau. 148 p.

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, (MDDEP). 2008. *Captage d'eau souterraine pour des résidences isolées*. Guide technique. Gouvernement du Québec. 48 p.

Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP). 2012. *Gestion intégrée des ressources en eau: Cadre de référence*. Gouvernement du Québec. 36 p.

Ministère du développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP). s.d.-a. *Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines*. Gouvernement du Québec. En ligne. <<http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/souterraines/programmes/acquisition-connaissance.htm#troisieme>>. Consulté le 11 février 2013.

Ministère du développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP). s.d.-b. *Réseau du suivi des eaux souterraines du Québec*. Gouvernement du Québec. En ligne. <<http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/piezo/index.htm>>. Consulté le 21 mars 2013.

Ministère du développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP). s.d.-c. *Règlement sur la qualité de l'eau potable*. Gouvernement du Québec. En ligne. <<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/potable/brochure/>>. Consulté le 21 mars 2013.

Ministère du développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP). s.d.-d. *Réseaux municipaux de distribution d'eau potable*. Gouvernement du Québec. En ligne. <<http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/potable/distribution/resultats.asp>>. Consulté le 11 juillet 2013.

Ministère du développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP). s.d.-e. *Surveillance du climat: Réseau et paramètres*. Gouvernement du Québec. En ligne. <<http://www.mddep.gouv.qc.ca/climat/surveillance/>>. Consulté le 17 juillet 2013.

- Miron, F. 2000. Les eskers, un milieu fragile. Dans *Abitibi-Témiscamingue: de l'emprise des glaces à un foisonnement d'eau et de vie 10 000 ans d'histoire*. Éditions MultiMondes, Sainte-Foy, Québec, 159 p.
- Morris, D.A., et A. I. Johnson. 1967. *Summary of Hydrologic and Physical Properties of Rock and Soil Materials, as Analyzed by the Hydrologic Laboratory of the U.S. Geological Survey 1948-60*. Government of United States. Department of the Interior - Geological survey. 46 p.
- Mueller, W.U., et J.K. Mortensen. 2002. Age constraints and characteristics of subaqueous volcanic construction, the Archean Hunter Mine Group, Abitibi greenstone belt. In *Evolution of the Archean Abitibi greenstone belt and adjacent terranes; insights from geochronology, geochemistry, structure and facies analysis.*, R. Marquis and P.C.Thurston W.U. Mueller, p. 119-152.
- Nadeau, S. 2011. *Estimation de la ressource granulaire et du potentiel aquifère des eskers de l'Abitibi-Témiscamingue et du sud de la Baie-James (Québec)*. Mémoire de maîtrise. Département de géographie, Université du Québec à Montréal (UQÀM), Montréal, 145 p.
- Observatoire de l'Abitibi-Témiscamingue. s.d. *Population des quartiers regroupés de Rouyn-Noranda, recensement de 2011 (MRC)*. En ligne.  
<<http://www.observat.qc.ca/statistiques/40/demographie>>. Consulté le 11 juillet 2013.
- Paradis, S. J. 2005. Géologie des formations en surface et histoire glaciaire, Lac Castagnier, Québec. Commission géologique du Canada. Carte 1991A.
- Paradis, S. J. 2007. Géologie des formations en surface et histoire glaciaire, Lac Blouin, Québec. Commission géologique du Canada. Carte 2017A.
- Parent, M., Paradis S. J. et R. Boivin. 2010. Formations superficielles – Légende et notes descriptives 1/50 000 à 1/125 000. Version 11. GGC – Québec.
- Payette, S. et L. Rochefort. 2001. *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Les Presses de l'Université Laval. Saint-Nicolas, Québec. 621 p.
- Poirier, C., T.C. Fortier Fillion, R. Turcotte, P. Lacombe. 2012. *Apports verticaux journaliers estimés de 1900 à 2010 – version 2012*. Contribution au Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES). Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), Direction de l'expertise hydrique, 112 p.
- Poissant, L.-M. 1997. *La contamination par l'arsenic des puits domestiques en Abitibi-Témiscamingue : Étude descriptive*. Régie régionale de la santé et des services sociaux de l'Abitibi-Témiscamingue, Direction régionale de la santé publique, Module santé environnementale. 66 p.
- Poissant, L.-M. 1998. *L'imprégnation par l'arsenic d'une population de l'Abitibi-Témiscamingue par ingestion d'eau de leur puits, 1995*. Régie régionale de la santé et des services sociaux - Abitibi-Témiscamingue, Direction régionale de la santé publique. 84 p.

- Regroupement des Organismes de Bassin Versant du Québec (ROBVQ). s.d. En ligne. <<http://www.robvq.qc.ca/>>. Consulté le 27 février 2013.
- Rey, N. 2011. *Géochimie de l'eau souterraine en Abitibi-Témiscamingue*. Rapport de stage de master professionnel. Département environnement, technologies et société, Université de Provence, 48 p.
- Riverin, M.-N. 2006. *Caractérisation et modélisation de la dynamique d'écoulement dans le système aquifère de l'esker Saint-Mathieu/Berry, Abitibi, Québec*. Mémoire de maîtrise. Institut national de la recherche scientifique, Eau, Terre et Environnement, Québec, 165 p.
- Rompré, M., et D. Carrier. 1997. *Étude pédologique des sols défrichés de l'Abitibi-Témiscamingue*. Centre de recherche et d'expérimentation des sols, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. 126 p.
- Rouleau, A., J. Guha, G. Archambault et A. Benlahcen. 1999. Aperçu de l'hydrogéologie en socle précambrien au Québec et des problématiques minières. *Hydrogéologie*, n° 4, p. 23-32.
- Rumpf, K. H. 1996. *The physical and chemical hydrogeology of the Little Clay Belt; District of Timiskaming*. Mémoire de maîtrise, Université de Waterloo, Waterloo, Ontario.
- Santé Canada, Gouvernement du Canada. s.d. *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada – Tableau sommaire*. En ligne. [http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/2012-sum\\_guide-res\\_recom/index-fra.php](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/2012-sum_guide-res_recom/index-fra.php). Consulté le 15 mars 2013.
- Thibaudeau, P. et Veillette, J.J. 2005. Géologie des formations en surface et histoire glaciaire, Lac Chicobi, Québec; Commission géologique du Canada, carte 1996A, échelle 1/100 000.
- Todd, D. K., et L. W. Mays. 2005. *Groundwater hydrology*. Third Edition. Wiley, John Wiley & Sons, Inc. 636 p.
- Tremblay, G. 1974. *Géologie du Quaternaire. Régions de Rouyn-Noranda et d'Abitibi*. Comtés d'Abitibi-Est et d'Abitibi-Ouest. Ministère des Richesses Naturelles. Service de l'Exploration géologique. Québec, Gouvernement du Québec. DP-236. 100 p.
- Veillette, J. J. 1983. Déglaciation de la vallée supérieure de l'Outaouais, le lac Barlow et le sud du lac Ojibway, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 37, n° 1, p. 67-84.
- Veillette, J. J. 1986a. Géologie des formations en surface, New Liskeard, Ontario-Québec. Commission géologique du Canada, carte 1639A, échelle 1 : 100 000.
- Veillette, J. J. 1986b. Former southwesterly ice-flows in Abitibi-Témiscamingue: implications for the configuration of the Late Wisconsinan ice sheet. *Canadian Journal of Earth Sciences*, vol. 23, p. 1724-1741.
- Veillette, J. J. 1987a. Géologie des formations en surface, Lac Simard, Québec. Commission géologique du Canada, carte 1640A, échelle 1 : 100 000.

- Veillette, J. J. 1987b. Géologie des formations en surface, Grand Lake Victoria North, Québec. Commission géologique du Canada, carte 1641A, échelle 1 : 100 000.
- Veillette, J. J. 1996. *Géomorphologie et géologie du quaternaire du Témiscamingue, Québec et Ontario*. Commission géologique du Canada, Natural Resources Canada / Ressources naturelles Canada. Bulletin 476. 269 p.
- Veillette, J. 2000. Un roc ancien rajeuni par les glaciers. Dans *Abitibi-Témiscamingue: de l'emprise des glaces à un foisonnement d'eau et de vie 10 000 ans d'histoire*. Éditions MultiMondes, Sainte-Foy, Québec.
- Veillette, J.J. 2004. Géologie des formations en surface et histoire glaciaire, Cadillac, Québec; Commission géologique du Canada, carte 2019A, échelle 1/100 000.
- Veillette, J., A. Maqsood, H. De Corta et D. Bois. 2004. *Hydrogéologie des eskers de la MRC d'Abitibi, Québec*. 57<sup>e</sup> congrès canadien de géotechnique et 5<sup>e</sup> congrès conjoint SGC/AIH/CNN, Ville de Québec, octobre 2004, session 3B2, p. 6-13.
- Victorin, M., E. Rouleau, L. Brouillet et collaborateurs. 2002. *Flore laurentienne*, 3<sup>e</sup> édition. Gaëtan Morin éditeur. Boucherville, Québec. 1093 p.
- Ville de Rouyn-Noranda. 2010. Schéma d'aménagement et de développement révisé 2010. 249 p.
- Vincent, J. -S. 1971. *Le Quaternaire des cantons de Guigues, Baby, Duhamel et Laverlochère, comté de Témiscamingue, Québec*. Mémoire de maîtrise, Département de géographie, Université d'Ottawa, Ottawa, Ontario. 146 p.

## Bibliographie des rapports

- Abitibi Consolidated Division Amos. 2008. Arrangement général du site usine de papier journal d'Amos.
- ADS Environnement inc. 1994. Caractérisation complémentaire - Parc à résidus miniers - Canadian Malartic. 39 p.
- Bessette, Crevier, Parent, Tanguay et & associés. 1974. Ville de Val-d'Or - Étude sur les sources d'approvisionnement en eau potable. 17 p.
- Bilodeau, D. 1992. Recherche en eau souterraine et essai d'un puits existant à Cadillac. 6 p.
- Bureau d'audiences publiques sur l'environnement. 2009. Projet minier aurifère Canadian Malartic. 150 p.
- Champagne, R. 1988. Évaluation du potentiel aquicole de la région de l'Abitibi à partir des sources d'eau gravitaire émergeant des eskers. 13 p.
- Compagnie Internationale des Eaux Ltée. 1975. Municipalité de Senneterre, Québec - Exploration et développement des eaux souterraines. 7 p.
- Compagnie Internationale des Eaux Ltée. 1977. Étude hydrogéologique pour l'alimentation en eau - ville Amos. 32 p.
- Compagnie Internationale des Eaux Ltée. 1979-a. Localisation du futur site d'implantation d'un collecteur à drains horizontaux Fehlmann à Amos, Québec. 11 p.
- Compagnie Internationale des Eaux Ltée. 1979-b. Ville de Val-d'Or - Projet No. P-109-1978 - Recherche en eau souterraine. 23 p.
- Compagnie Internationale des Eaux Ltée. 1980-a. Rapport sur la construction du collecteur Fehlmann pour la ville d'Amos. 6 p.
- Compagnie Internationale des Eaux Ltée. 1980-b. Zone de protection au site du nouveau puits. 5 p.
- Compagnie Internationale des Eaux Ltée. 1990. Ville de Val-d'Or - Définition des périmètres de protection des puits d'appoint. 24 p.
- Consultants H.G.E. Inc. 1989. Étude hydrogéologique pour la recherche d'une source d'approvisionnement en eau souterraine additionnelle à la ferme de truites Saint-Mathieu. 60 p.
- Consultants H.G.E. inc. 1990. Étude hydrogéologique Puits PE-1. 13 p.
- Côté, L., Gagné et Ingénieurs-conseils. 1976. Rapport sur une étude préliminaire établissant les besoins en matière d'aqueduc et d'égouts sanitaires pour desservir les résidents actuels et futurs du village de St-Félix de Dalquier.

- Deblois, R. 1955. Rapport préliminaire sur un relevé hydrologique fait à la Mine-École, Val-d'Or, Abitibi. 4 p.
- Dessau-Soprin inc. 2004. Étude pour la délimitation des aires d'alimentation potentielles du puits collecteur en fonction de l'accroissement des besoins de la ville d'Amos. 10 p.
- Dessau-Soprin inc. 2001. Ville de Malartic - Approvisionnement en eau potable - Développement urbain - Rapport de balancement hydraulique. 43 p.
- Dessau-Soprin inc. 2002. Ville de Malartic - Approvisionnement en eau potable - Évaluation hydrogéologique. 27 p.
- Dessau-Soprin inc. 2003. Ville de Malartic - Approvisionnement en eau potable - Étude hydrogéologique de la demande d'autorisation pour les installations de captage d'eau souterraine. 25 p.
- Dessau-Soprin inc. 2006. Approvisionnement en eau potable de la municipalité de Malartic - Étude du bilan hydrique de l'aquifère exploité au nord-est de l'agglomération. 8 p.
- Dessau. 2008. Étude pour la délimitation des aires d'alimentation potentielles du puits collecteur en fonction de l'accroissement des besoins de la Ville d'Amos. 13 p.
- Envirotecheau Coop. 1996. Municipalité de Barraute - Alimentation en eau potable phase 2 - Construction du puits permanent. 13 p.
- GCE Consulteaux. 2005. Ceinture d'alerte de l'esker sud - Échantillonnage effectué en septembre 2005. 8 p.
- GCE Consulteaux. 2006. Étude hydrogéologique - Recherche en eau souterraine et implantation du puits de production - Ville de Malartic. 27 p.
- GCE Consulteaux. 2007-a. Étude hydrogéologique - Puits PP-1 et PP-2 et Source Gabriel. 33 p.
- GCE Consulteaux. 2007-b. Modélisation de l'écoulement souterrain et de la dispersion des contaminants - Secteur de la source Gabriel. 50 p.
- GCE Consulteaux. 2007-c. Rapport d'étude hydrogéologique - Rivière-Héva (Québec). 10 p.
- GCE Consulteaux. 2007-d. Ville de Malartic - Étude hydrogéologique - Essais de pompage du puits d'essai FE-12, Malartic (Qc). 11 p.
- GCE Consulteaux. 2008-a. Étude environnementale de site phase 2 - Aire d'alimentation Puits PP-3, Val-d'Or (Qc). 14 p.
- GCE Consulteaux. 2008-b. Étude hydrogéologique - Puits PP-3. 35 p.
- GCE Consulteaux. 2008-c. Rapport d'expertise - Étude hydrogéologique. 17 p.
- GCE Consulteaux. 2009-a. Étude hydrogéologique - Puits Caisson, de Vassan et de Val-Senneville. 18 p.

- GCE Consultants. 2009-b. Étude hydrogéologique - Puits PP-4. 33 p.
- GCE Consultants. 2009-c. Étude hydrogéologique - Recherche en eaux souterraines. 19 p.
- GCE Consultants. 2010. Étude hydrogéologique Puits P-7. 28 p.
- GENIVAR. 2007. Avis de projet visant le projet minier aurifère Canadian Malartic. 49 p.
- GENIVAR. 2008-a. Projet minier aurifère Canadian Malartic - Étude d'impact sur l'environnement - Rapport sectoriel - Qualité de l'eau, des sédiments et communauté d'invertébrés benthiques. 49 p.
- GENIVAR. 2008-b. Projet minier aurifère Canadian Malartic - Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social - Rapport sectoriel - Milieu physique. 93 p.
- GENIVAR. 2008-c. Projet minier aurifère Canadian Malartic sur le territoire de la Municipalité de Malartic par Corporation minière Osisko. Étude d'impact sur l'environnement. Orientation du projet de restauration du site minier. 6 p. (M114767).
- GENIVAR. 2008-d. Projet minier aurifère Canadian Malartic, Étude d'impact sur l'environnement - Rapport principal. 734 p.
- Géophysique SIGMA inc. 1995. Projet Senneterre - Alimentation en eau potable - Levé sismique réfraction 1995. 12 p.
- Golder Associés. 1996. Expertise hydrogéologique sur le potentiel d'approvisionnement en eau souterraine de l'esker St-Mathieu en amont et en aval de la ferme de truites St-Mathieu. 3 p.
- Golder Associés. 2002-a. Phase A : Expertise hydrogéologique portant sur les limites du parc hydrique proposé par le CCPE. 4 p.
- Golder Associés. 2002-b. Phase B - Évaluation du potentiel hydrique. 8 p.
- Golder Associés (2009). Évaluation environnementale de site - Phase 1 et 2 dans le cadre de la fermeture de la scierie Gallichan à l'exception du site d'entreposage: Annexes.
- Grenier, C. 1988. Commentaires sur une étude hydrogéologique concernant la possibilité de contamination de la prise d'eau de la ville d'Amos (Abitibi). 5 p.
- Groupe conseil DOZ inc. 1995. Caractérisation environnementale de l'aéroport de Val-d'Or. 71 p.
- Groupe Consultants inc. 1995-a. Ville de Val-d'Or - Étude hydrogéologique. 15 p.
- Groupe Consultants inc. 1995-b. Ville de Val-d'Or - Étude hydrogéologique Esker nord - Esker sud. 49 p.
- Groupe Consultants inc. 1996. Rapport d'analyses des eaux des piézomètres de l'esker nord et de la source Gabriel. 4 p.

- Groupe Consulteaux inc. 1997-a. Projet de développement domiciliaire dans l'aire d'alimentation du puits caisson. 12 p.
- Groupe Consulteaux inc. 1997-b. Truites St-Mathieu Plan directeur d'aménagement - Visite de terrain pour l'identification d'un site de captage. 7 p.
- Groupe Consulteaux inc. 1998-a. Projet de construction d'une route entre le chemin Baie-Jolie et la route 397. 14 p.
- Groupe Consulteaux inc. 1998-b. Rapport d'analyse des eaux des piézomètres de l'esker nord. 4 p.
- Groupe Qualitas Inc. 2010. Construction d'un nouveau puits, Rivière-Héva, Québec. 14 p.
- Groupe Qualitas inc. 1991. Recherche en eau souterraine - Rapport hydrogéologique. 31 p.
- Groupe Stavibel inc. 1996. Municipalité de Barraute - Construction d'un puits permanent et évaluation du potentiel aquifère.
- Institut national de recherche scientifique (INRS). 1994. Caractérisation géochimique du parc de résidus miniers Canadian Malartic. 104 p.
- Institut national de recherche scientifique (INRS). 1997. Atténuation de la contamination en arsenic au Parc Wood Cadillac. 40 p.
- International Water Supply Ltd. 1967. Ville de Malartic - Approvisionnement en eau - Étude des nappes d'eau souterraine. 5 p.
- International Water Supply Ltd. 1972. Alimentation en eau - Ville de Val-d'Or. 7 p.
- International Water Supply Ltd. 1973. Puits d'essai pour déterminer les possibilités d'approvisionnement en eau du parc industriel de Val-d'Or. 9 p.
- International Water Supply Ltd. 1974. Ville de Malartic - Alimentation en eau - Expertise de nappes d'eau souterraine. 2 p.
- Jolicoeur, Marcel. 1987. Impact de la construction d'un développement résidentiel sur la qualité de l'eau au site du puits de la ville d'Amos. 17 p.
- Laboratoires d'expertises de Québec ltée. 2000. Étude géotechnique et hydrogéologique complémentaire - Implantation d'un L.E.S - Amos (Québec). 17 p.
- LAFORST NOVA AQUA. 2008. Mise aux normes RCES des puits municipaux No 1 et No 2. 39 p.
- Laforest Nova Aqua Inc. 2011. Évaluation des aires de protection du puits collecteur et du puits caisson - Secteur Lac des sources. 36 p.
- Lalonde J.-P. et N. Chouinard. 1983. Géochimie des eaux souterraines : Méthodologie de l'échantillonnage et résultats des essais: 49.

- Lalonde J.-P., N Chouinard, et al. 1980. Données brutes de l'échantillonnage des eaux souterraines de l'Abitibi: 267.
- Lalonde J.-P., N. Chouinard, et al. 1981. Atlas géochimique des eaux souterraines - Région de l'Abitibi: 135 + Annexes.
- Ministère de l'Énergie et des Ressources (MER). 1990. Implantation des piézomètres dans l'esker de Saint-Mathieu. Gouvernement du Québec - Ministère de l'Énergie et des Ressources (MER). 32 p.
- Ministère de l'Environnement (ME). 1982. Présence d'éléments toxiques dans les eaux souterraines de l'Abitibi. Gouvernement du Québec - Ministère de l'Environnement (ME). 5 + Annexe p.
- ME (1986). Région de l'Abitibi - Carte de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution.
- Ministère de l'Environnement (ME). 1987. Rapport d'analyse. Gouvernement du Québec - Ministère de l'Environnement (ME). 2 p.
- Ministère de l'Environnement (ME). 1999. Portrait régional de l'eau - Abitibi-Témiscamingue (Région administrative 8). Gouvernement du Québec - Ministère de l'Environnement (ME). 24 p.
- Ministère de l'Environnement et de la Faune (MEF). 1995. Ville de Val-d'Or vs Procureur général du Québec et A. Lamothe (1991) inc. Gouvernement du Québec - Ministère de l'Environnement et de la Faune (MEF). 7 p.
- Ministère des Ressources naturelles (MRN). 1961. Rapport hydrogéologique préliminaire sur des visites faites à Matagami et à Pascalis. Gouvernement du Québec - Ministère des Ressources naturelles (MRN). 3 p.
- Ministère des Ressources naturelles (MRN). 1971-a. Levé hydrogéologique à Barraute, comté d'Abitibi. Gouvernement du Québec - Ministère des Ressources naturelles (MRN). 3 p.
- Ministère des Ressources naturelles (MRN). 1971-b. Levé hydrogéologique à Cadillac, comté d'Abitibi. Gouvernement du Québec - Ministère des Ressources naturelles (MRN). 3 p.
- Ministère des Ressources naturelles (MRN). 1971-c. Levé hydrogéologique à Palmarolle. Gouvernement du Québec - Ministère des Ressources naturelles (MRN). 24 p.
- Ministère des Ressources naturelles (MRN). 1971-d. Levé hydrogéologique à Taschereau, comté d'Abitibi. Gouvernement du Québec - Ministère des Ressources naturelles (MRN). 3 p.
- Ministère des Ressources naturelles (MRN). 1971-e. Recherche d'une nouvelle source d'approvisionnement en eau potable à Cadillac, comté d'Abitibi. Gouvernement du Québec - Ministère des Ressources naturelles (MRN). 2 p.
- Ministère des Ressources naturelles (MRN). 1976. Exploitation de dépôts meubles à proximité de la source d'approvisionnement en eau de la ville d'Amos, comté d'Abitibi. Gouvernement du Québec - Ministère des Ressources naturelles (MRN). 3 p.

- Ministère des Ressources naturelles (MRN). 1978-a. Levé hydrogéologique à Saint-Dominique du Rosaire, comté d'Abitibi. Gouvernement du Québec - Ministère des Ressources naturelles (MRN). 4 p.
- Ministère des Ressources naturelles (MRN). 1978-b. Levé hydrogéologique à Sullivan comté d'Abitibi. Gouvernement du Québec - Ministère des Ressources naturelles (MRN). 4 p.
- Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (2010). Plan d'affectation du territoire public - Abitibi-Témiscamingue.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). 2007. Directive pour le projet minier aurifère Canadian Malartic. Gouvernement du Québec - Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). 27 p.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). 2008. Questions et commentaires pour le projet minier aurifère Canadian Malartic sur le territoire de la Municipalité de Malartic par Corporation minière Osisko. Gouvernement du Québec - Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). 21 p.
- Monterval inc. 1993-a. Municipalité de Landrienne - Recherche en eau souterraine - Interprétation des essais de pompage puits No 2. 18 p.
- Monterval Inc. 1993-b. Municipalité de Rivière-Héva - Échantillonnage d'eau. 8 p.
- Monterval inc. 1995-a. Recherche en eau souterraine et évaluation du potentiel aquifère. 49 p.
- Monterval inc. 1995-b. Ville de Senneterre - Recherche en eau souterraine et évaluation du potentiel aquifère. 48 p.
- Monterval inc. 1996-a. Municipalité de Barraute - Conduites d'aqueduc et poste de distribution projetés - Étude géotechnique. 19 p.
- Monterval inc. 1996-b. Municipalité de Landrienne - Réservoir et poste de distribution projetés - Étude géotechnique. 12 p.
- Monterval inc. 1996-c. Ville de Senneterre - Forage d'essai et construction d'un puits permanent. 27 p.
- Monterval inc. 1999. Ville de Senneterre - Conduite d'adduction d'eau potable - Senneterre, Québec - Étude géotechnique. 18 p.
- Monterval inc. 2002-a. Municipalité du village de Taschereau - Construction d'un nouveau puits - Rapport hydrogéologique. 25 p.
- Monterval inc. 2002-b. Ville de Senneterre - Alimentation en eau potable - Construction d'un puits d'appoint. 24 p.
- Monterval inc. 2003. Municipalité de Taschereau - Construction d'un nouveau puits - Rapport hydrogéologique complémentaire. 16 p.

- Poissant, L.-M. 1995. La contamination bactériologique des puits domestiques en Abitibi-Témiscamingue. 94 p.
- Poissant, L.-M.. 1997. La contamination par l'arsenic des puits domestiques en Abitibi-Témiscamingue. 68 p.
- Poissant, L.-M. 1998-a. L'imprégnation par l'arsenic d'une population de l'Abitibi-Témiscamingue par ingestion d'eau de leur puits, 1995. 84 p.
- Poissant, L.-M. 1998-b. Perception de la qualité de l'eau, habitudes d'aménagement et d'entretien de puits domestiques chez leurs propriétaires en Abitibi-Témiscamingue en 1996. 70 p.
- Les Puits Aubins. (2009). Rapport de forage. No d'identification 342-2009-27809. 1p.
- Qualitas Monterval. 2006. Délimitation des périmètres de protection du puits PE-96-1 - Landrienne (Québec). 16 p.
- Qualitas Monterval. 2007. Délimitation des aires de protection du puits PE-1 - Étude hydrogéologique complémentaire - Rivière-Héva (Québec). 15 p.
- Qualitas Monterval. 2008a. Étude hydrogéologique complémentaire sur les aires de protection du puits PE-1. 11 p.
- Qualitas Monterval. 2008b. Mise aux normes du puits municipal. 20 p.
- RE Consultants/Techonorem Inc. 2004. Étude hydrogéologique des puits de captage no.1 et no.2 du secteur de Cadillac. 55 p.
- RE Consultants/Techonorem Inc. 2005. Détermination de l'aire d'alimentation et des aires de protection bactériologique et virologique des ouvrages de captage d'eau souterraine de Mont-Brun, ville de Rouyn-Noranda. 56 p.
- RE Consultants/Techonorem Inc. 2006. Amélioration des connaissances sur la prise d'eau potable communautaire de l'aéroport de Rouyn-Noranda. 59 p.
- Riverin, M.-N. 2006. Caractérisation et modélisation de la dynamique d'écoulement dans le système aquifère de l'esker Saint-Mathieu / Berry, Abitibi, Québec. 165 p.
- Rondot J. 1982. L'esker du lac Berry. 19 p.
- Services techniques en eau souterraine Inc. 1973. Levé hydrogéologique à Val-d'Or, QUÉ. 14 p.
- Simard, G. et R. Des Rosiers. 1979. Qualité des eaux souterraines du Québec: 160.
- SNC LAVALIN Environnement inc. (division Geocon). 1999. Site minier Manitou-Barvue - Restauration de la zone d'épandage - Val-d'Or, Québec. 63 p.

- Sogesteau ltée. 1991a. Rapport d'étude hydrogéologique secteur sud de l'esker où est situé le puits collecteur. 20 p.
- Sogesteau ltée. 1991b. Rapport de l'étude hydrogéologique visant à tracer la limite extrême nord de la zone de protection tertiaire assignée au puits d'alimentation en eau potable. 37 p.
- Soprin. 1996. Municipalité de Landrienne - Réseau d'aqueduc secteur urbanisé.
- St-Amant, Vézinat, Vinet, Brassard et Ingénieurs-Conseils. 1974. Corporation Municipale de Champneuf - Étude préliminaire d'un réseau d'aqueduc et d'égout sanitaire. 30 p.
- St-Amant, Vézinat, Vinet, Brassard et Ingénieurs-Conseils. 1983. Ville de Senneterre - Alimentation en eau potable. 35 p.
- St-Amant, Vézinat, Vinet, Brassard et Ingénieurs-Conseils. 1987. Ville de Senneterre - Parc Industriel - Aménagement des infrastructures municipales. 35 p.
- Statistique Canada. 2008. Enquête sur les usines de traitement de l'eau potable 2008 - Année de rapport 2005, 2006 et 2007. 23 p.
- Sylvestre, Marcel. 1986. Évaluation d'un cas de contamination par des sels de déglçage à Barraute, MRC Abitibi.
- Technologies DOZ inc. 1999. Opinion sur la zone de protection à définir du puits collecteur de la ville d'Amos partie sud. 16 p.
- Technologies DOZ inc. 2000a. Cartographie de la vulnérabilité de l'aquifère d'Amos en fonction de l'indice DRACTIC. 11 p.
- Technologies DOZ inc. 2000b. Implantation de 5 puits d'observation additionnels dans la partie nord de l'esker d'Amos. 13 p.
- Tremblay, G. 1973. Géologie du Quaternaire région d'Abitibi, centre-ouest, comtés d'Abitibi-Ouest, d'Abitibi-Est, et de Rouyn-Noranda: 36.