

Rapport final

Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de l'Abitibi-Témiscamingue (partie 2)

**Déposé au Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte
contre les changements climatiques dans le cadre du Programme d'acquisition de
connaissances sur les eaux souterraines du Québec**

Par :

**Vincent Cloutier
Eric Rosa
Simon Nadeau
Pierre-Luc Dallaire
Daniel Blanchette
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° : P002.R3

Mars 2015

Référence à citer :

Cloutier, V., Rosa, E., Nadeau, S., Dallaire, P.-L., Blanchette, D., et Roy, M., 2015. Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de l'Abitibi-Témiscamingue (partie 2). Rapport final déposé au Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec. Rapport de recherche P002.R3. Groupe de recherche sur l'eau souterraine, Institut de recherche en mines et en environnement, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 313 p., 15 annexes, 24 cartes thématiques (1:100 000).

Pour nous joindre :

Groupe de recherche sur l'eau souterraine (GRES)
Institut de recherche en mines et en environnement (IRME)
Université du Québec en Abitibi Témiscamingue (UQAT)

Campus d'Amos, 341, rue Principale Nord, 5e étage
Amos (Québec) J9T 2L8

<http://gres.uqat.ca/>

GRES@uqat.ca

Équipe de réalisation et partenaires

GRES-UQAT

| | |
|---------------------|-------------------------------------|
| Vincent Cloutier | Coordonnateur du projet, professeur |
| Eric Rosa | Chargé de projet, professeur |
| Daniel Blanchette | Agent de recherche |
| Pierre-Luc Dallaire | Agent de recherche |
| Simon Nadeau | Agent de recherche |
| Magalie Roy | Technologue en géomatique |

Collaborateurs

| | |
|----------------|---|
| Olivier Pitre | Directeur général, Société de l'eau souterraine Abitibi-Témiscamingue |
| Jean Veillette | Professeur associé, IRME-UQAT |

Étudiants de 3^e cycle

| | |
|---------------|---|
| Raphaël Bondu | Doctorat en sciences de l'environnement, UQAT |
| Nathalie Rey | Doctorat en sciences de l'environnement, UQAT |

Stagiaires de 2^e cycle

Cindy Cormier, Yacouba Fomba

Stagiaires de 1^e cycle

Claudia Dallaire-Leclerc, Alexandre Deschênes-Dénomé, Alexis Paré, Flavie St-Pierre, Marilyne Swiderski

Correction d'épreuves

Imelda Fradette

Partenaires régionaux

Conférence régionale des élus de l'Abitibi-Témiscamingue
MRC d'Abitibi-Ouest
MRC de Témiscamingue
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 2) remis au Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec. Ce projet, désigné sous l'acronyme PACES-AT2, complète le portrait de la ressource en eau souterraine de la région par l'étude des secteurs municipalisés non caractérisés par le PACES-AT1 (Cloutier et al., 2013a), complétant ainsi la couverture PACES du territoire municipalisé de l'Abitibi-Témiscamingue.

Ce rapport est accompagné (1) de 24 cartes thématiques à l'échelle 1/100 000 dressant le portrait physique et hydrogéologique de la région, (2) de 15 annexes présentant des données et informations complémentaires, (3) d'un atlas hydrogéologique de l'Abitibi-Témiscamingue, permettant de vulgariser le contenu de ce rapport et de celui du PACES-AT1 (Cloutier et al., 2013a) 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 trois années de travail réalisées afin de dresser le portrait de la ressource en eau souterraine d'une portion du territoire de l'Abitibi-Témiscamingue. Les approches de caractérisation employées dans le cadre de la présente étude se sont développées à partir de celles utilisées dans le cadre du PACES-AT1 (Cloutier et al., 2013a). Cette stratégie implique que certaines sections du texte du présent rapport sont adaptées de la référence précitée.

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 et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) 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-Ouest, la MRC de de Témiscamingue 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 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 de la Direction générales des politiques de l'eau du MDDELCC 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 et de l'Occupation du territoire, le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, le Ministère de l'Énergie et 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 10 362 km² localisé dans la région administrative de l'Abitibi-Témiscamingue et recouvrant partiellement les Municipalités régionales de comté d'Abitibi-Ouest, de Témiscamingue et de 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 dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec (PACES) du Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. 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 24 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 et la poursuite d'acquisition de connaissances jugées essentielles pour la région.

Table des matières

| | |
|---|---------------|
| <i>Équipe de réalisation et partenaires</i> | <i>iii</i> |
| <i>Avant-propos</i> | <i>iv</i> |
| <i>Remerciements</i> | <i>v</i> |
| <i>Résumé</i> | <i>vi</i> |
| <i>Table des matières</i> | <i>vii</i> |
| <i>Liste des tableaux</i> | <i>xii</i> |
| <i>Liste des figures</i> | <i>xvi</i> |
| <i>Liste des cartes thématiques (Documents numériques)</i> | <i>xxiii</i> |
| <i>Liste des annexes (Documents numériques)</i> | <i>xxiv</i> |
| <i>Liste des principaux acronymes, sigles et abréviations</i> | <i>xxv</i> |
| <i>Liste des principaux symboles et termes utilisés dans les équations, figures et tableaux</i> | <i>xxix</i> |
| <i>Autres symboles employés dans le document</i> | <i>xxxï</i> |
| <i>Unités et grandeurs physiques</i> | <i>xxxii</i> |
| <i>Liste des principaux symboles (et formules) chimiques utilisés</i> | <i>xxxiii</i> |
| 1. Introduction | 1 |
| 1.1 Mise en contexte | 1 |
| 1.2 Objectifs et structure | 2 |
| 2. Description du territoire | 3 |
| 2.1 Sources de données numériques | 5 |
| 2.2 Routes, limites municipales et toponymie (Carte 1) | 6 |
| 2.3 Topographie (Carte 2) | 9 |
| 2.4 Hydrographie et limites de bassins versants (Cartes 3-4)..... | 9 |
| 2.5 Couverture végétale (Carte 5) | 11 |
| 2.6 Milieux humides (Carte 6) | 14 |
| 2.7 Pédologie (Carte 7) | 15 |
| 2.8 Géologie du Quaternaire (Carte 8)..... | 16 |
| 2.8.1 Dépôts glaciaires (Till) | 19 |
| 2.8.2 Dépôts fluvioglaciaires | 19 |
| 2.8.3 Dépôts glaciolacustres | 20 |
| 2.8.4 Dépôts alluviaux..... | 21 |
| 2.8.5 Dépôts organiques | 21 |
| 2.9 Géologie du socle rocheux (Carte 9) | 21 |

| | |
|---|-----------|
| 2.10 Conditions climatiques | 23 |
| 2.10.1 Période de 1900 à 2010 | 23 |
| 2.10.2 Période de 1981 à 2010 | 27 |
| 2.11 Occupation du sol (Carte 10) | 29 |
| 2.12 Affectation du territoire (Carte 11) | 29 |
| 3. Acquisition de données complémentaires | 31 |
| 3.1 Acquisition de données topographiques | 31 |
| 3.2 Acquisition de données radar | 32 |
| 3.2.1 Principe de la méthode | 32 |
| 3.2.2 Acquisition des données de terrain | 33 |
| 3.2.3 Traitement des données | 34 |
| 3.2.4 Essais de type CMP | 39 |
| 3.2.5 Mesures d'épaisseur de neige au sol | 39 |
| 3.3 Mesures manuelles d'épaisseurs de tourbe | 39 |
| 3.4. Acquisition de données de résistivité électrique | 42 |
| 3.4.1 Principe de la méthode | 42 |
| 3.4.2 Acquisition des données terrain | 42 |
| 3.4.3 Traitement des données | 43 |
| 3.5. Forages et échantillonnage de matériaux granulaires | 44 |
| 3.6 Installation de piézomètres | 44 |
| 3.7 Suivis piézométriques et thermiques | 46 |
| 3.8. Essais au perméamètre de Guelph | 47 |
| 3.8.1 Principe de la méthode | 47 |
| 3.8.2 Réalisation des essais..... | 48 |
| 3.8.3 Stratégie de calcul | 49 |
| 3.9 Essais à l'infiltromètre à double anneau | 50 |
| 3.9.1 Principe de la méthode | 50 |
| 3.9.2 Réalisation des essais..... | 51 |
| 3.9.3 Stratégie de calcul | 52 |
| 3.10 Essais in situ de perméabilité à charge variable | 53 |
| 3.10.1 Principe de la méthode | 53 |
| 3.10.2 Réalisation des essais..... | 53 |
| 3.10.3 Stratégie de calcul..... | 55 |
| 3.11 Essais en colonnes | 55 |
| 3.11.1 Principe de la méthode | 55 |
| 3.11.2 Types de perméamètres développés | 56 |
| 3.11.3 Essais sur les perméamètres de type A..... | 57 |
| 3.11.4 Essais sur les perméamètres de type B | 61 |
| 3.11.5 Stratégie de calcul..... | 63 |
| 3.12 Analyses granulométriques | 63 |
| 3.12.1 Tamisage des échantillons | 63 |
| 3.12.2 Traitement des données | 64 |
| 3.13 Échantillonnages géochimiques | 65 |

| | |
|--|------------|
| 3.13.1 Échantillonnage des précipitations (pluie et neige)..... | 67 |
| 3.13.2 Échantillonnage et mesure de l'épaisseur de la neige au sol | 68 |
| 3.13.3 Échantillonnage des ruisseaux et rivières | 69 |
| 3.13.4 Échantillonnage des lacs | 70 |
| 3.13.5 Échantillonnage des eaux souterraines | 71 |
| 3.13.6 Échanges et suivis auprès des laboratoires..... | 73 |
| 3.14 Recensement des impacts anthropiques potentiels : cas des DET | 73 |
| 4. Résultats des travaux de terrain..... | 75 |
| 4.1 Acquisition de données topographiques..... | 77 |
| 4.2 Acquisition de données radar..... | 77 |
| 4.3 Mesures manuelles d'épaisseur de tourbe..... | 98 |
| 4.4 Acquisition de données de résistivité électrique | 99 |
| 4.5 Forages et échantillonnage de matériaux granulaires | 111 |
| 4.6 Installation de piézomètres..... | 112 |
| 4.7 Suivis piézométriques et thermiques..... | 112 |
| 4.8 Essais au perméamètre de Guelph..... | 115 |
| 4.9 Essais à l'infiltromètre à double anneau | 115 |
| 4.10 Essais in situ de perméabilité à charge variable..... | 116 |
| 4.11 Essais en colonnes | 118 |
| 4.12 Analyses granulométriques | 122 |
| 4.13 Analyses géochimiques | 123 |
| 4.13.1 Précipitations (pluie et neige) | 123 |
| 4.13.2 Échantillonnage et mesure de l'épaisseur de la neige au sol | 124 |
| 4.13.3 Échantillonnage des eaux de surface..... | 126 |
| 4.13.4 Échantillonnage des eaux souterraines | 128 |
| 4.14 Recensement des activités anthropiques potentiellement polluantes | 130 |
| 5. Cadre géologique..... | 132 |
| 5.1 Modèle altimétrique numérique (Carte 12) | 132 |
| 5.1.1 Traitement des données | 132 |
| 5.1.2 Évaluation de la précision du MAN sur un maillage de 10 m x 10 m | 133 |
| 5.1.3 Rugosité de la surface | 134 |
| 5.1.4 Redimensionnement du MAN sur maillage de 100 m | 135 |
| 5.1.5 Évaluation de la pente du sol (Carte 13) | 139 |
| 5.2 Épaisseur de dépôts meubles (Carte 14) et topographie du socle rocheux (Cartes 15) | 139 |
| 5.2.1 Observations et concepts supportant l'approche d'interprétation retenue | 140 |
| 5.2.2 Analyse des données..... | 141 |
| 5.2.3 Traitement des données | 142 |
| 5.2.4 Évaluation de la précision du modèle | 144 |
| 5.2.5 Portrait régional..... | 145 |
| 5.3 Épaisseur d'argile..... | 146 |
| 5.3.1 Observations et concepts supportant l'approche d'interprétation retenue | 147 |

| | |
|--|------------|
| 5.3.2 Définition de l'étendue de la plaine d'argile..... | 148 |
| 5.3.3 Analyse des données..... | 149 |
| 5.3.4 Traitement des données..... | 150 |
| 5.3.5 Portrait régional..... | 150 |
| 5.4 Architecture des formations superficielles (Carte 16)..... | 152 |
| 5.4.1 Observations et concepts supportant l'approche d'interprétation retenue..... | 152 |
| 5.4.2 Traitement des données et portrait régional..... | 153 |
| 5.5. Modèle géologique régional..... | 155 |
| 5.5.1 Modèles géologiques à l'échelle locale..... | 155 |
| 5.5.2 Synthèse géologique régionale..... | 165 |
| 6. Conditions hydrogéologiques..... | 166 |
| 6.1 Propriétés hydrauliques et configuration des écoulements (Thème 1)..... | 166 |
| 6.1.1 Terminologie et définitions..... | 166 |
| 6.1.2 Unités hydrogéologiques régionales..... | 167 |
| 6.1.3 Données disponibles..... | 169 |
| 6.1.4 Caractéristiques des unités hydrogéologiques régionales..... | 169 |
| 6.1.5 Hétérogénéité spatiale..... | 171 |
| 6.1.6 Influence de la conductivité hydraulique sur la configuration des écoulements..... | 173 |
| 6.1.7 Réseaux d'écoulement conceptuels et synthèse régionale..... | 176 |
| 6.1.8 Limites de l'approche proposée..... | 178 |
| 6.2 Conditions d'écoulement de la nappe (Carte 17)..... | 178 |
| 6.3 Piézométrie et écoulement régional (Carte 18) (Thème 3)..... | 180 |
| 6.3.1 Hypothèses sous-jacentes à l'approche privilégiée..... | 181 |
| 6.3.2 Source et traitement des données utilisées..... | 183 |
| 6.3.3 Portrait régional..... | 184 |
| 6.3.4 Exemple des bassins versants du secteur Duparquet - Kinojévis..... | 185 |
| 6.3.5. Piézométrie des formations fluvioglaciales..... | 187 |
| 6.3.6 Limites de l'approche régionale (piézométrie interpolée)..... | 190 |
| 6.3.7 Variations saisonnières des niveaux d'eau souterraine..... | 190 |
| 6.4 Fonctions hydrogéologiques des tourbières..... | 192 |
| 6.4.1 Sources de données et bases théoriques de l'approche de catégorisation..... | 192 |
| 6.4.2 Classification en fonction de l'environnement géologique : portrait régional..... | 196 |
| 6.4.3 Classification en fonction du réseau hydrographique : portraits locaux..... | 201 |
| 6.4.4 Morphologie des tourbières et coupes locales..... | 204 |
| 6.4.5 Synthèse relative aux fonctions hydrogéologiques des tourbières de la région..... | 209 |
| 6.4.6 Limites de l'approche proposée..... | 211 |
| 6.5 Liens hydrauliques aquifères - plans d'eau de surface (Thème 2)..... | 211 |
| 6.5.1 Sources de données et bases théoriques de l'approche de catégorisation..... | 211 |
| 6.5.2 Classification en fonction de l'environnement géologique : portrait régional..... | 215 |
| 6.5.3 Synthèse relative à l'évaluation des interactions potentielles entre les plans d'eau et les aquifères..... | 219 |
| 6.6 Bilan hydrologique et recharge (Carte 19)..... | 220 |
| 6.6.1 Source et traitement des données..... | 221 |
| 6.6.2 Apports verticaux..... | 221 |
| 6.6.3 Coefficient de ruissellement..... | 222 |
| 6.6.4 Évapotranspiration potentielle et réelle..... | 223 |
| 6.6.5 Emmagasinement de l'eau dans la zone non saturée..... | 224 |
| 6.6.6 Contraintes additionnelles sur l'évaluation de la recharge..... | 225 |

| | |
|--|------------|
| 6.6.7 Portrait régional..... | 225 |
| 6.7. Zones préférentielles de recharge et de résurgence (Carte 20) | 227 |
| 6.8 Épaisseurs et limites des aquifères régionaux | 228 |
| 6.8.1 Aspects théoriques | 228 |
| 6.8.2 Portrait régional..... | 230 |
| 6.9 Vulnérabilité de l'eau souterraine (Carte 21) | 233 |
| 7. Conditions Hydrogéochimiques | 237 |
| 7.1 Traitement préliminaire des données | 237 |
| 7.1.1 Présélection des données et limites de détection | 237 |
| 7.1.2 Évaluation du bilan ionique | 239 |
| 7.1.3 Estimation de la dureté totale et de la matière dissoute totale | 240 |
| 7.2 Définition des types d'eau..... | 241 |
| 7.3. Interprétations relatives au cadre hydrogéologique | 243 |
| 7.3.1 Variations spatiales des teneurs en matières dissoutes | 244 |
| 7.3.2 Variations spatiotemporelles de la composition isotopique ($\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$) de l'eau..... | 248 |
| 7.4 Qualité de l'eau à titre de ressource destinée à la consommation humaine | 250 |
| 7.5 Synthèse régionale | 259 |
| 8. Cadre anthropique et ressource en eau souterraine..... | 262 |
| 8.1 Usage de la ressource | 262 |
| 8.1.1 Sources de données disponibles et approche de calcul | 262 |
| 8.1.2 Quantification des prélèvements à l'échelle de la région d'étude | 263 |
| 8.1.3 Réseaux municipaux et captages privés | 266 |
| 8.1.4 Limites de l'approche proposée..... | 270 |
| 8.2 Activités anthropiques potentiellement polluantes (Cartes 22-23) (Thème 5) | 270 |
| 8.2.1 Mise à jour des travaux antérieurs | 270 |
| 8.2.2 Recensement des activités anthropiques potentiellement polluantes | 270 |
| 8.2.3 Indice de densité pondéré d'activités anthropiques | 271 |
| 8.3. Infrastructures de suivi (Carte 24) | 272 |
| 8.3.1 Stations météorologiques..... | 272 |
| 8.3.2 Stations hydrométriques | 273 |
| 8.3.3 Stations piézométriques | 275 |
| 9. Synthèse hydrogéologique régionale..... | 276 |
| 9.1 Sommaire des données numériques disponibles..... | 276 |
| 9.2 Représentations tridimensionnelles locales | 280 |
| 9.3 Contextes hydrogéologiques régionaux | 287 |
| 9.4 Modèle géologique 3D et perspectives de modélisation hydrogéologique | 292 |
| 10. Conclusions et recommandations | 293 |
| Bibliographie..... | 295 |
| Bibliographie des rapports..... | 305 |

Liste des tableaux

| | |
|--|-----|
| Tableau 2.1.1 Sommaire des sources de données utilisées pour la réalisation des produits cartographiques..... | 5 |
| Tableau 2.2.1 Municipalités et populations du territoire PACES-AT2 | 8 |
| Tableau 2.4.1 Bassins versants du territoire..... | 10 |
| Tableau 2.4.2 Classification et dénombrement des plans d'eau de la région | 11 |
| Tableau 2.5.1 Peuplements forestiers du territoire | 11 |
| Tableau 2.6.1 Classes de milieux humides du territoire | 15 |
| Tableau 2.7.1 Classes pédologiques du territoire..... | 16 |
| Tableau 2.8.1 Formations de surface du territoire..... | 17 |
| Tableau 2.10.1.1 Moyennes mensuelles des températures minimales et maximales journalières et des apports verticaux pour la période 1900-2010 | 24 |
| Tableau 2.11.1 Classes d'occupation du sol du territoire..... | 29 |
| Tableau 2.12.1 Définitions des classes d'affectation du territoire | 30 |
| Tableau 3.2.2.1 Paramétrages utilisés..... | 34 |
| Tableau 3.2.3.1 Vitesses de propagation des ondes électromagnétiques au sein des matériaux investigués | 34 |
| Tableau 3.2.3.2 Séquence de traitements utilisés..... | 35 |
| Tableau 3.3.1 Sommaire des démarches relatives à la réalisation de mesures manuelles d'épaisseur de tourbe | 40 |
| Tableau 3.4.3.1 Plage de résistivité des matériaux et types de roches rencontrés pour le présent projet..... | 43 |
| Tableau 3.12.1.1 Série de tamis utilisée pour l'analyse granulométrique | 64 |
| Tableau 3.12.2.1 Paramètres retenus afin de décrire les caractéristiques granulométriques | 65 |
| Tableau 3.13.1 Sommaire des échantillonnages géochimiques réalisés..... | 66 |
| Tableau 3.13.5.1 Paramètres <i>in situ</i> mesurés sur le terrain et critères de stabilité..... | 72 |
| Tableau 4.1 Sommaire descriptif de la stratégie de compilation des données de terrain..... | 75 |
| Tableau 4.1.1 Sommaire des données topographiques acquises..... | 77 |
| Tableau 4.2.1 Sommaire descriptif des profils géoradar acquis..... | 78 |
| Tableau 4.3.1 Différentes moyennes des mesures manuelles de tourbe | 98 |
| Tableau 4.4.1 Récapitulatif des pseudos-sections de résistivité électrique acquises | 100 |
| Tableau 4.5.1 Profondeur des forages réalisés et nombre d'échantillons prélevés | 111 |
| Tableau 4.6.1 Sommaire descriptif des piézomètres installés | 112 |
| Tableau 4.7.1 Sommaire descriptif des suivis temporels réalisés | 113 |
| Tableau 4.7.2 Statistiques descriptives des paramètres de suivi | 113 |
| Tableau 4.8.1 Sommaire des résultats issus des essais au perméamètre de Guelph | 115 |
| Tableau 4.9.1 Sommaire des résultats issus des essais à l'infiltromètre à double anneau..... | 116 |
| Tableau 4.10.1 Sommaire des résultats issus des essais de perméabilité à charge variable | 117 |
| Tableau 4.11.1 Sommaire descriptif des essais en colonne réalisés sur les perméamètres du type A et du type B | 119 |
| Tableau 4.12.1 Statistiques descriptives des paramètres déduits des analyses granulométriques | 122 |

| | |
|---|-----|
| Tableau 4.13.1.1 Sommaire des résultats d'analyses isotopiques sur les précipitations..... | 124 |
| Tableau 4.13.2.1 Sommaire des résultats analytiques pour la neige au sol..... | 124 |
| Tableau 4.13.2.2 Sommaire des paramètres intégrateurs pour la neige au sol..... | 125 |
| Tableau 4.13.2.3 Sommaire des mesures d'épaisseur de la couverture de neige | 125 |
| Tableau 4.13.3.1 Sommaire des paramètres intégrateurs pour les eaux de surfaces | 126 |
| Tableau 4.13.3.2 Sommaire des résultats analytiques des eaux de surface | 127 |
| Tableau 4.13.4.1 Sommaire des paramètres intégrateurs pour les eaux souterraines | 128 |
| Tableau 4.13.4.2 Sommaire des résultats analytiques des eaux souterraines..... | 129 |
| Tableau 4.14.1 Statistiques régionales relatives aux aires d'accumulation de rejets miniers | 130 |
| Tableau 4.14.2 Superficies régionales relatives aux coupes forestières | 130 |
| Tableau 4.14.3 Caractéristiques des sablières/gravières localisées sur les eskers/moraines du territoire à l'étude | 131 |
| Tableau 4.14.4 Statistiques régionales relatives aux DET..... | 131 |
| Tableau 5.1.1.1 Sources de données et traitements préliminaires | 132 |
| Tableau 5.1.5.1 Évaluation de la pente du sol | 139 |
| Tableau 5.2.1 Traitements préliminaires effectués pour l'obtention des données traitées..... | 140 |
| Tableau 5.3.1 Traitements préliminaires effectués pour l'obtention des données traitées..... | 147 |
| Tableau 5.4.1 Données de base servant à l'attribution d'une séquence stratigraphique à chaque parcelle du territoire..... | 152 |
| Tableau 5.4.2.1 Stratégie d'attribution d'une séquence stratigraphique à chaque parcelle du territoire | 154 |
| Tableau 5.5.1.1 Description des planches associées au modèle géologique | 157 |
| Tableau 6.1.1.1 Définitions des propriétés physiques et paramètres hydrauliques retenus | 166 |
| Tableau 6.1.2.1 Description des unités hydrogéologiques régionales | 168 |
| Tableau 6.1.3.1 Sources des données quantitatives disponibles | 169 |
| Tableau 6.1.4.1 Synthèse des informations hydrogéologiques calculées et estimées..... | 170 |
| Tableau 6.1.7.1 Description des ensembles retenus pour la définition des réseaux d'écoulement conceptuels..... | 176 |
| Tableau 6.2.1 Définitions des catégories d'aquifères..... | 179 |
| Tableau 6.2.2 Regroupements de séquences stratigraphiques retenues pour l'évaluation des conditions d'écoulement de l'eau souterraine..... | 180 |
| Tableau 6.3.1.1 Justification de l'approche privilégiée pour la réalisation de la carte piézométrique ... | 182 |
| Tableau 6.3.2.1 Source et traitement des données utilisées pour la réalisation de la carte piézométrique | 183 |
| Tableau 6.3.3.1 Principaux constats relatifs la piézométrie régionale | 184 |
| Tableau 6.3.5.1 Description des catégories d'esker en fonction de la piézométrie..... | 188 |
| Tableau 6.3.7.1 Sommaire des données piézométriques correspondant aux formations fluvioglaciaires de l'Abitibi-Témiscamingue | 191 |
| Tableau 6.4.1.1 Sommaire des sources de données exploitées et des constats associés..... | 193 |
| Tableau 6.4.1.2 Approche de catégorisation des complexes tourbeux en fonction de leur position au sein de l'environnement géologique et du réseau hydrographique..... | 194 |

| | |
|---|-----|
| Tableau 6.4.2.1 Description des schémas de catégorisation des tourbières selon l'environnement géologique | 196 |
| Tableau 6.4.4.1 Sommaire des observations géomorphologiques au niveau des sites investigués par radar..... | 204 |
| Tableau 6.4.5.1 Interprétations proposées en lien avec le schéma de catégorisation projeté | 210 |
| Tableau 6.5.1.1 Sommaire des sources de données exploitées et des constats associés..... | 212 |
| Tableau 6.5.1.2 Approche de catégorisation des plans d'eau en fonction de leur position au sein de l'environnement géologique..... | 213 |
| Tableau 6.5.2.1 Description des schémas de catégorisation des plans d'eau selon l'environnement géologique | 215 |
| Tableau 6.5.3.1 Interactions potentielles entre les plans d'eau de surface et les aquifères périphériques | 219 |
| Tableau 6.6.1.1 Sources et traitements des données utilisées pour la réalisation du bilan hydrologique | 221 |
| Tableau 6.6.3.1 Sommaire des valeurs de coefficient de ruissellement | 222 |
| Tableau 6.6.4.1 Paramètres retenus pour le calcul de l' ET_p | 223 |
| Tableau 6.6.5.1 Valeurs de capacité de rétention et de points de flétrissements | 224 |
| Tableau 6.6.7.1 Valeurs minimales, moyennes et maximales des paramètres liés à l'évaluation de la recharge | 226 |
| Tableau 6.7.1 Approche d'identification des zones préférentielles de recharge et de résurgence | 227 |
| Tableau 6.8.1.1 Contraintes géométriques relatives à l'évaluation de l'épaisseur des aquifères | 229 |
| Tableau 6.9.1 Paramètres, cotes et facteurs de pondération relatifs à la méthode DRASTIC | 234 |
| Tableau 6.9.2 Sommaire des valeurs d'indices DRASTIC évalués au niveau du territoire..... | 236 |
| Tableau 7.1.1.1 Nombre de résultats supérieurs aux limites de détection (>LD) pour chacun des paramètres analysés | 238 |
| Tableau 7.1.2.1 Conversion des unités de concentration en équivalents de charge | 239 |
| Tableau 7.1.2.2 Sommaire des résultats relatifs à l'évaluation du bilan ionique..... | 240 |
| Tableau 7.2.1 Concentrations moyennes des constituants majeurs et de la matière dissoute totale pour chacun des types d'eau définis pour les échantillons d'eau souterraine | 242 |
| Tableau 7.4.1 Critères utilisés pour l'évaluation de la qualité de l'eau..... | 251 |
| Tableau 7.4.2 Sommaire de l'évaluation de la qualité de l'eau pour les échantillons en fonction de leur provenance | 252 |
| Tableau 7.4.3 Proportion (%) des dépassements des critères de la qualité de l'eau selon la provenance des échantillons | 253 |
| Tableau 7.5.1 Sommaire des interprétations relatives à la dynamique hydrogéochimique régionale.... | 259 |
| Tableau 8.1.1.1 Sources et hiérarchisation des données relatives à la quantification de l'usage de la ressource..... | 262 |
| Tableau 8.1.1.2 Sommaire de la stratégie de quantification des prélèvements | 263 |
| Tableau 8.1.2.1 Utilisation de l'eau à l'échelle du territoire à l'étude | 263 |
| Tableau 8.1.2.2 Prélèvements d'eau à partir d'infrastructures publiques et privées | 264 |
| Tableau 8.1.3.1 Recensement des puits municipaux du territoire à l'étude..... | 267 |
| Tableau 8.1.4.1 Répertoire des puits privés du territoire à l'étude | 269 |

| | |
|--|-----|
| Tableau 8.2.1 Nombre de sites répertoriés par regroupement d'activités anthropiques sur la base des CUBF | 271 |
| Tableau 8.3.1.1 Historique et caractéristiques des stations météorologiques du territoire PACES-AT2 .. | 272 |
| Tableau 8.3.2.1 Historique et caractéristiques des stations hydrométriques du territoire PACES-AT2 .. | 274 |
| Tableau 8.3.3.1 Caractéristiques des stations de suivi des nappes phréatiques..... | 275 |
| Tableau 9.1.1 Signification des pictogrammes | 276 |
| Tableau 9.1.2 Sommaire des données numériques géoréférencées disponibles | 277 |
| Tableau 9.2.1 Justifications relatives au choix des secteurs illustrés sur les planches hydrogéologiques | 280 |
| Tableau 9.3.1 Sommaire des caractéristiques hydrogéologiques associées aux contextes hydrogéologiques identifiés au niveau du territoire à l'étude | 288 |
| Tableau 9.3.2 Descriptions associées à l'interprétation de la distribution spatiale des contextes hydrogéologiques de la région d'étude | 291 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 2.1 Localisation générale des PACES-AT en Abitibi-Témiscamingue | 3 |
| Figure 2.2 Territoires couverts par les PACES-AT1 et PACES-AT2..... | 4 |
| Figure 2.5.1 Zones de rusticité et zones bioclimatiques du territoire à l'étude..... | 13 |
| Figure 2.8.1 Cartes récentes des dépôts de surface de l'Abitibi-Témiscamingue (échelle 1 : 100 000) produites par la Commission géologique du Canada | 18 |
| Figure 2.10.1.1 Moyennes mobiles sur douze mois pour la période 1900-2010 | 25 |
| Figure 2.10.1.2 Distribution spatiale des moyennes annuelles des apports verticaux totaux et des températures moyennes annuelles | 26 |
| Figure 2.10.2.1 Présentation des moyennes mensuelles des températures moyennes et des moyennes annuelles des apports verticaux totaux mensuels pour la période 1981 à 2010 | 28 |
| Tableau 3.1 Répartition des travaux réalisés en fonction des thèmes ciblés..... | 31 |
| Figure 3.1.1 Composantes du système de navigation global par satellite GNSS R8 de Trimble | 32 |
| Figure 3.2.2.1 Assemblage du géoradar (bolide sur roues, acquisition de données sur eskers)..... | 33 |
| Figure 3.2.2.2 Assemblage du géoradar (bolide sur luge, acquisition de données sur complexes tourbeux) | 33 |
| Figure 3.2.3.1 Application de la séquence de traitement (exemple du profil GPR_h_39) | 36 |
| Figure 3.2.3.2 Effet de l'élimination des bruits de basses fréquences sur l'amplitude spectrale (exemple du profil GPR_h_39)..... | 37 |
| Figure 3.2.3.3 Effet de l'élimination des bruits d'extrêmes amplitudes sur l'amplitude spectrale..... (exemple du profil GPR_h_39)..... | 38 |
| Figure 3.2.3.4 Effet de l'élimination du bruit induit par les antennes sur l'amplitude spectrale..... (exemple sur le profil GPR_h_39) | 38 |
| Figure 3.2.4.1 Acquisition des données de type CMP | 39 |
| Figure 3.3.1 Approche méthodologique des mesures manuelles de l'épaisseur de tourbe | 41 |
| Figure 3.4.1.1 Diagramme schématique d'un système multi-électrodes utilisé pour l'acquisition d'une pseudo-section électrique 2D en employant la configuration dipôle-dipôle | 42 |
| Figure 3.4.2.1 Résistivimètre SYSCAL Pro SWITCH 72 d'IRIS Instruments | 43 |
| Figure 3.5.1 Forage réalisé à l'aide d'une foreuse de type Geoprobe 540MT | 44 |
| Figure 3.6.1 Représentation schématisée d'un piézomètre en PVC | 45 |
| Figure 3.6.2. Représentation schématisée des piézomètres en acier inoxydable..... | 46 |
| Figure 3.8.1.1 Principe de fonctionnement du perméamètre de Guelph | 47 |
| Figure 3.8.2.1 Composantes et installation du perméamètre de Guelph | 48 |
| Figure 3.9.1.1 Principe de fonctionnement de l'infiltromètre à double anneau..... | 50 |
| Figure 3.9.2.1 Composantes et installation de l'infiltromètre à double anneau..... | 51 |
| Figure 3.9.3.1 Représentation schématisée du processus d'infiltration tel que décrit par Green et Ampt (1911) (Modifiée de Todd et Mays, 2005) | 52 |
| Figure 3.10.2.1 Représentation schématisée de la méthode utilisée pour la réalisation des essais <i>in situ</i> de perméabilité à charge variable | 54 |
| Figure 3.11.2.1 Modèles de perméamètres utilisés dans le cadre du PACES-AT2 | 56 |

| | |
|---|----|
| Figure 3.11.3.1 Représentation schématique du perméamètre de type A | 59 |
| Figure 3.11.3.2 Représentation schématisée des essais réalisés à l'aide du perméamètre de base (modèle de base) | 60 |
| Figure 3.11.4.1 Représentation schématique du perméamètre de type B | 62 |
| Figure 3.11.4.2 Représentation schématisée des essais réalisés à l'aide du perméamètre réduit (modèle réduit) | 62 |
| Figure 3.12.1.1 Tamiseuse à vibration Retsch AS200 | 64 |
| Figure 3.13.1.1 Matériel utilisé pour le suivi des précipitations liquides | 67 |
| Figure 3.13.1.2 Matériel utilisé pour le suivi des précipitations solides..... | 68 |
| Figure 3.13.2.1 Configurations de filtration avec seringue de 60 ml..... | 69 |
| Figure 3.13.3.1 Échantillonnage des ruisseaux et rivières (prélèvement)..... | 70 |
| Figure 3.13.3.2 Échantillonnage des ruisseaux et rivières (filtration et remplissage des bouteilles)..... | 70 |
| Figure 3.13.4.1 Illustration schématisée du système d'échantillonnage utilisé pour le prélèvement d'eau au lac Tee | 71 |
| Figure 3.13.5.1 Illustration des procédures de filtration des échantillons d'eau souterraine | 73 |
| Figure 4.1 Représentation cartographique simplifiée des travaux de terrain réalisés dans le cadre de la présente étude..... | 76 |
| Figure 4.2.1 Localisation des profils GPR des secteurs G1 à G4 | 79 |
| Figure 4.2.2 Localisation des profils GPR des secteurs G5 à G7 | 80 |
| Figure 4.2.3 Localisation des profils GPR des secteurs G8 à G11 | 81 |
| Figure 4.2.4 Profil GPR_h_13 (secteur G1) | 82 |
| Figure 4.2.5 Profil GPR_h_14 (secteur G1) | 82 |
| Figure 4.2.6 Profil GPR_h_15 (secteur G1) | 82 |
| Figure 4.2.7 Profil GPR_h_16 (secteur G1) | 83 |
| Figure 4.2.8 Profil GPR_h_01 (secteur G2) | 83 |
| Figure 4.2.9 Profil GPR_h_02 (secteur G2) | 83 |
| Figure 4.2.10 Profil GPR_h_04 (secteur G3) | 84 |
| Figure 4.2.11 Profil GPR_h_05 (secteur G3) | 84 |
| Figure 4.2.12 Profil GPR_h_06 (secteur G3) | 84 |
| Figure 4.2.13 Profil GPR_h_07 (secteur G3) | 85 |
| Figure 4.2.14 Profil GPR_h_08 (secteur G3) | 85 |
| Figure 4.2.15 Profil GPR_h_17 (secteur G4) | 85 |
| Figure 4.2.16 Profil GPR_h_18 (secteur G4) | 86 |
| Figure 4.2.17 Profil GPR_h_20 (secteur G4) | 86 |
| Figure 4.2.18 Profil GPR_h_09 (secteur G5) | 86 |
| Figure 4.2.19 Profil GPR_h_10 (secteur G5) | 87 |
| Figure 4.2.20 Profil GPR_h_11 (secteur G5) | 87 |
| Figure 4.2.21 Profil GPR_h_12 (secteur G5) | 87 |
| Figure 4.2.22 Profil_6 (secteur G6)..... | 88 |
| Figure 4.2.23 Profil GPR_h_27 (secteur G7) | 88 |
| Figure 4.2.24 Profil GPR_h_28 (secteur G7) | 88 |
| Figure 4.2.25 Profil GPR_h_29 (secteur G7) | 89 |

| | |
|--|-----|
| Figure 4.2.26 Profil GPR_h_30 (secteur G7) | 89 |
| Figure 4.2.27 Profil GPR_h_45 (secteur G8) | 89 |
| Figure 4.2.28 Profil GPR_h_46 (secteur G8) | 90 |
| Figure 4.2.29 Profil GPR_h_47 (secteur G8) | 90 |
| Figure 4.2.30 Profil GPR_h_48 (secteur G8) | 90 |
| Figure 4.2.31 Profil GPR_h_49 (secteur G8) | 91 |
| Figure 4.2.32 Profil GPR_h_21 (secteur G9) | 91 |
| Figure 4.2.33 Profil GPR_h_22 (secteur G9) | 91 |
| Figure 4.2.34 Profil GPR_h_23 (secteur G9) | 92 |
| Figure 4.2.35 Profil GPR_h_24 (secteur G9) | 92 |
| Figure 4.2.36 Profil GPR_h_25 (secteur G9) | 92 |
| Figure 4.2.37 Profil GPR_h_26 (secteur G9) | 93 |
| Figure 4.2.38 Profil_1 (secteur G9) | 93 |
| Figure 4.2.39 Profil_3 (secteur G9) | 94 |
| Figure 4.2.40 Profil_4 (secteur G10) | 94 |
| Figure 4.2.41 Profil_5 (secteur G10) | 94 |
| Figure 4.2.42 Profil GPR_h_37 (secteur G11) | 95 |
| Figure 4.2.43 Profil GPR_h_38 (secteur G11) | 95 |
| Figure 4.2.44 Profil GPR_h_39 (secteur G11) | 95 |
| Figure 4.2.45 Profil GPR_h_40 (secteur G11) | 96 |
| Figure 4.2.46 Profil GPR_h_41 (secteur G11) | 96 |
| Figure 4.2.47 Profil GPR_h_42 (secteur G11) | 96 |
| Figure 4.2.48 Profil GPR_h_43 (secteur G11) | 97 |
| Figure 4.2.49 Profil GPR_h_44 (secteur G11) | 97 |
| Figure 4.3.1 Relation entre les mesures manuelles d'épaisseur de tourbe et les temps d'aller-retour de l'onde géoradar pour chacun des sites sondés..... | 99 |
| Figure 4.4.1 Localisation des profils de résistivité électrique des secteurs R1 à R4 | 101 |
| Figure 4.4.2 Localisation des profils de résistivité électrique des secteurs R5 à R8 | 102 |
| Figure 4.4.3 Localisation des profils de résistivité électrique des secteurs R9 à R12 | 103 |
| Figure 4.4.4 Localisation des profils de résistivité électrique du secteur R13..... | 104 |
| Figure 4.4.5 Pseudo-sections de résistivité électrique (« res-rein » - La Reine, secteur R1) | 104 |
| Figure 4.4.6 Pseudo-sections de résistivité électrique (« res-st-vital » - Saint-Vital-de-Clermont, secteur R2) | 105 |
| Figure 4.4.7 Pseudo-sections de résistivité électrique (« res-dupuy » - Dupuy, secteur R3) | 105 |
| Figure 4.4.8 Pseudo-sections de résistivité électrique (« res-clerval » - Clerval, secteur R4) | 106 |
| Figure 4.4.9 Pseudo-sections de résistivité électrique (« res-authiern » - Authier-Nord, secteur R5)..... | 106 |
| Figure 4.4.10 Pseudo-sections de résistivité électrique (« res-palma » - Palmarolle, secteur R6)..... | 107 |
| Figure 4.4.11 Pseudo-sections de résistivité électrique (« res-gali » - Gallichan, secteur R7) | 107 |
| Figure 4.4.12 Pseudo-section de résistivité électrique (« res-st-germ » - Sainte-Germaine-Boulé, secteur R8) | 108 |
| Figure 4.4.13 Pseudo-sections de résistivité électrique (« arnt-electro » - Arntfield, secteur R9) | 108 |
| Figure 4.4.14 Pseudo-sections de résistivité électrique (« arnt-electrob » - Arntfield, secteur R9) | 109 |

| | |
|--|-----|
| Figure 4.4.15 Pseudo-sections de résistivité électrique (« res-nddn » - Notre-Dame-du-Nord, secteur R10)..... | 109 |
| Figure 4.4.16 Pseudo-sections de résistivité électrique (« res-st-brun » - Saint-Bruno-de-Guigues, secteur R11)..... | 110 |
| Figure 4.4.17 Pseudo-sections de résistivité électrique (« res-vm » - Ville-Marie, secteur R12)..... | 110 |
| Figure 4.4.18 Pseudo-sections de résistivité électrique (« res-lorrain » - Lorrainville, secteur R13)..... | 111 |
| Figure 4.7.1 Suivis temporels des niveaux d'eau..... | 114 |
| Figure 4.7.2 Suivis temporels de la température de l'eau..... | 114 |
| Figure 4.10.1 Exemple des données acquises au site 2ABTE00353..... | 117 |
| Figure 4.11.1 Évolution des hauteurs lors de l'essai en colonne de l'échantillon 2ABTE10029-1 sur le perméamètre de type A..... | 120 |
| Figure 4.11.2 Détermination par graphique du débit (Q) médian pour l'essai à charge constante..... | 121 |
| Figure 4.11.3 Détermination graphique de la conductivité hydraulique (K médian) pour l'essai à charge variable..... | 121 |
| Figure 5.1.1.1 Ensembles de bassins versants retenus pour la réalisation du MAN..... | 133 |
| Figure 5.1.2.1 Localisation des 272 bornes géodésiques..... | 134 |
| Figure 5.1.3 Rugosité de surface calculée en fonction des unités géologiques retenues..... | 135 |
| Figure 5.1.4.1 Conversion d'un MAN de 10 m x 10 m en un MAN de 100 m x 100 m..... | 136 |
| Figure 5.1.4.2 Étalement des valeurs d'irrégularité calculées sur l'ensemble du MAN..... | 136 |
| Figure 5.1.4.3 Étalement des valeurs d'irrégularité calculées pour le PACES-AT2..... | 136 |
| Figure 5.1.4.5 Étalement des valeurs d'irrégularité calculées pour les surfaces d'affleurement rocheux et de till à couverture discontinue du PACES-AT2..... | 137 |
| Figure 5.1.9 Comparaison des valeurs d'irrégularité calculées avec la distribution spatiale des formations superficielles..... | 138 |
| Figure 5.2.2.1 Épaisseur moyenne de dépôts meubles et nombre de forages par rapport à la distance à un affleurement rocheux..... | 141 |
| Figure 5.2.2.2 Limites d'épaisseur de dépôts meubles par rapport à la distance à un affleurement rocheux..... | 142 |
| Figure 5.2.3.1 Représentation schématisée des étapes relatives au calcul de l'épaisseur des dépôts meubles et de la topographie du socle rocheux..... | 143 |
| Figure 5.2.4.1 Comparaison des épaisseurs mesurées et des épaisseurs modélisés..... | 144 |
| Figure 5.2.5.1 Épaisseurs de dépôts meubles modélisées en fonction de l'altitude de la surface du socle rocheux..... | 146 |
| Figure 5.3.2.1 Stratégies pour délimiter la plaine d'argile..... | 148 |
| Figure 5.3.3.1 Épaisseur moyenne d'argile par rapport à la distance de la limite de l'étendue d'argile..... | 149 |
| Figure 5.3.3.2 Comparaison des épaisseurs moyennes d'argile et de dépôts meubles..... | 149 |
| Figure 5.3.4.1 Stratégie de troncature de la couche d'argile sur la base de l'épaisseur totale des dépôts meubles..... | 150 |
| Figure 5.3.5.1 Étendue et distribution spatiale de l'épaisseur de la couche d'argile..... | 151 |
| Figure 5.4.1.1 Regroupement des unités lithostratigraphiques de la région..... | 152 |
| Figure 5.4.1.2 Schéma conceptuel illustrant l'architecture des unités lithostratigraphiques de la région..... | 153 |

| | |
|--|-----|
| Figure 5.5.1 Sources et traitements des données associées à la production du modèle géologique..... | 155 |
| Figure 5.5.1.1 Plan de localisation des secteurs retenus pour l'illustration du modèle géologique tridimensionnel..... | 156 |
| Figure 5.5.2.1 Coupe géologique synthèse (sud-nord) du territoire PACES-AT2..... | 165 |
| Figure 6.1.2.1 Définition des unités hydrogéologiques régionales. | 167 |
| Tableau 6.1.4.2 Synthèse des caractéristiques granulométriques calculées | 171 |
| Figure 6.1.5.1 Illustration de l'hétérogénéité spatiale mesurée dans le cadre de la réalisation d'essais en colonnes ¹ | 172 |
| Figure 6.1.6.1 Représentation conceptuelle des écoulements au sein d'un volume unitaire | 174 |
| Figure 6.1.6.2 Réseau d'écoulement pour un système simple..... | 174 |
| Figure 6.1.6.3 Réfraction des lignes d'écoulement au sein d'un milieu hétérogène | 175 |
| Figure 6.1.7.1 Schéma conceptuel relatif aux réseaux d'écoulement de la région..... | 177 |
| Figure 6.2.1 Représentation conceptuelle des conditions d'écoulement au sein des aquifères | 179 |
| Figure 6.3.4.1 Piézométrie des bassins versants du secteur Duparquet - Kinojévis..... | 186 |
| Figure 6.3.5.1 Schéma conceptuel illustrant la position d'une formation fluvioglaciale au sein de l'environnement géologique..... | 187 |
| Figure 6.3.5.2 Schéma de catégorisation des eskers en fonction des conditions piézométriques | 188 |
| Figure 6.3.5.3 Distribution spatiale des formations fluvioglaciales de catégories X, Y et Z de la région | 189 |
| Figure 6.4.1.1 Représentation schématique de l'approche de catégorisation des complexes tourbeux en fonction de leur position au sein de l'environnement géologique et du réseau hydrographique..... | 195 |
| Figure 6.4.2.1 Plan de localisation des polygones de tourbières de la région d'étude et des subdivisions spatiales retenues pour leur catégorisation | 197 |
| Figure 6.4.2.2 Catégorisation des tourbières des territoires PACES-AT1 et PACES-AT2 selon le cadre géologique | 198 |
| Figure 6.4.2.3 Catégorisation des tourbières des territoires PACES-AT1 et PACES-AT2 selon le cadre géologique, pour la portion située au sein du bassin hydrographique du Saint-Laurent | 199 |
| Figure 6.4.2.4 Catégorisation des tourbières des territoires PACES-AT1 et PACES-AT2 selon le cadre géologique, pour la portion située au sein du bassin hydrographique de la Baie James..... | 200 |
| Figure 6.4.3.1 Approche de catégorisation des tourbières selon leur position au sein du réseau hydrographique..... | 201 |
| Figure 6.4.3.2 Distribution spatiale des sites retenus pour la photo-interprétation..... | 202 |
| Figure 6.4.3.3 Classification des tourbières selon leur position au sein du réseau hydrographique | 203 |
| Figure 6.4.4.1 Coupe locale du secteur La Reine | 205 |
| Figure 6.4.4.2 Coupe locale du secteur Saint-Vital-Clermont..... | 206 |
| Figure 6.4.4.3 Coupe locale du secteur Sainte-Germaine-Boulé..... | 207 |
| Figure 6.4.4.4 Coupe locale du secteur Belleterre..... | 208 |
| Figure 6.4.5.1 Schéma conceptuel de projection des données de catégorisation des tourbières..... | 209 |
| Figure 6.5.1.1 Représentation schématique de l'approche de catégorisation des plans d'eau en fonction de leur position au sein de l'environnement géologique et du réseau hydrographique | 214 |
| Figure 6.5.2.1 Catégorisation des plans d'eau des territoires PACES-AT1 et PACES-AT2 selon le cadre géologique | 216 |

| | |
|---|-----|
| Figure 6.5.2.2 Catégorisation des plans d'eau des territoires PACES-AT1 et PACES-AT2 selon le cadre géologique, pour la portion située au sein du bassin hydrographique du Saint-Laurent | 217 |
| Figure 6.5.2.3 Catégorisation des plans d'eau des territoires PACES-AT1 et PACES-AT2 selon le cadre géologique, pour la portion située au sein du bassin hydrographique de la Baie James..... | 218 |
| Figure 6.6.1 Représentation schématique des composantes de l'équation 6.6.1 | 220 |
| Figure 6.8.1.1 Représentation simplifiée de l'approche de classification des aquifères régionaux..... | 228 |
| Figure 6.8.1.2 Calculs théoriques de transmissivité pour différentes valeurs de K et b | 230 |
| Figure 6.8.2.1 Distribution spatiale de l'épaisseur des aquifères granulaires des territoires PACES-AT2 (ouest) et PACES-AT1 (est)..... | 232 |
| Figure 6.9.1 Distribution spatiale des valeurs de cotes calculées pour les paramètres inclus à l'évaluation de l'indice DRASTIC | 235 |
| Figure 7.1.3.1 Concentrations des espèces carbonatées en fonction du pH pour un contenu constant de carbone inorganique total de 1 mmol/L..... | 241 |
| Figure 7.2.1 Diagramme de Piper présentant la répartition des échantillons d'eau souterraine selon leur type d'eau | 242 |
| Figure 7.3.1 Compartiments hydrogéologiques et provenance des données hydrogéochimiques | 243 |
| Figure 7.3.1.1 Diagramme de Piper présentant la répartition des échantillons de neige au sol | 245 |
| Figure 7.3.1.2 Diagramme de Piper présentant la répartition des échantillons d'eau de surface | 245 |
| Figure 7.3.1.3 Diagramme de Piper présentant la répartition des échantillons d'aquifères à nappe libre | 246 |
| Figure 7.3.1.4 Diagramme de Piper présentant la répartition des échantillons d'aquifères à nappe captive | 246 |
| Figure 7.3.1.5 Évolution de la composition chimique selon la provenance des échantillons | 247 |
| Figure 7.3.1.6 Évolution du ratio $(Ca+HCO_3)/(Na+Cl)$ selon la provenance des échantillons | 248 |
| Figure 7.3.2.1 Signatures isotopiques des eaux échantillonnées | 249 |
| Figure 7.3.2.2 Évolution temporelle de la signature $\delta^{18}O$ dans les précipitations | 250 |
| Figure 7.4.1 Distribution spatiale des types d'eau de l'eau souterraine et des dépassements des critères de qualité de l'arsenic (As), l'antimoine (Sb), du fluorure (F), du plomb (Pb) et de l'uranium (U) à l'échelle de la région d'étude..... | 254 |
| Figure 7.4.2 Distribution spatiale des dépassements des critères de qualité de la dureté totale calculée et du pH à l'échelle de la région d'étude | 255 |
| Figure 7.4.3 Distribution spatiale des dépassements des critères de qualité de l'aluminium (Al), des sulfates (SO_4) et du sulfure à l'échelle de la région d'étude..... | 256 |
| Figure 7.4.4 Distribution spatiale des dépassements des critères de qualité du sodium (Na) et du chlorure (Cl) à l'échelle de la région d'étude..... | 257 |
| Figure 7.4.5 Distribution spatiale des dépassements des critères de qualité du fer (Fe) et du manganèse (Mn) à l'échelle de la région d'étude..... | 258 |
| Figure 7.5.1 Synthèse hydrogéochimique régionale | 260 |
| Figure 7.5.2 Distribution spatiale des teneurs en MDT et composition isotopique ($\delta^{18}O$) de l'eau à l'échelle de la région d'étude..... | 261 |
| Figure 8.1.2.1 Prélèvements d'eau par secteurs d'utilisation | 265 |
| Figure 8.1.3.1 Distribution spatiale des captages d'eau souterraine de la région d'étude..... | 268 |

| | |
|--|-----|
| Figure 9.3.1 Bloc diagramme synthèse illustrant les conditions hydrogéologiques du Territoire PACES-AT2 | 289 |
| Figure 9.3.1 Distribution spatiale des contextes hydrogéologiques identifiés au niveau du territoire à l'étude | 290 |
| Figure 9.4.1 Contributions PACES-AT2 et perspectives pour les études hydrogéologiques en région | 292 |

Liste des cartes thématiques (Documents numériques)

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

Notes :

- Les cartes thématiques sont disponibles en format PDF dans l'annexe 1.1.1
- Le lecteur détenant une version du rapport n'étant pas accompagnée des documents numériques associés peut en faire la demande par courrier électronique à l'adresse GRES@uqat.ca

Liste des annexes (Documents numériques)

Chapitre 1 :

Annexe 1.1.1 Cartes thématiques

Chapitre 3 :

Annexe 3.14.1 Rapport de recherche P004.R2

Chapitre 4 :

Annexe 4.2.1 Mesures manuelles d'épaisseur de neige
Annexe 4.3.1 Mesures manuelles d'épaisseur de tourbe
Annexe 4.6.1 Sections de forages
Annexe 4.7.1 Suivis piézométriques et thermiques
Annexe 4.8.1 Essais au perméamètre de Guelph
Annexe 4.9.1 Essais à l'infiltromètre à double anneau
Annexe 4.10.1 Essais in situ de perméabilité à charge variable
Annexe 4.11.1 Essais en colonnes
Annexe 4.12.1 Analyses granulométriques
Annexe 4.13.1 Analyses géochimiques : certificats analytiques

Chapitre 5 :

Annexe 5.5.1 Modèle géologique régionale

Chapitre 8 :

Annexe 8.1 Usage de la ressource
Annexe 8.2.1 Activités anthropiques potentiellement polluantes

Note :

- Le lecteur détenant une version du rapport n'étant pas accompagnée des documents numériques associés peut en faire la demande par courrier électronique à l'adresse GRES@uqat.ca

Liste des principaux acronymes, sigles et abréviations

| | |
|-----------|--|
| 2D | Deux dimensions |
| 3D | Trois dimensions |
| A | Argile |
| A.C. | Aucune condition applicable |
| aa / aaaa | Année |
| AAPP | Activités anthropiques potentiellement polluantes |
| ABS | Acrylonitrile butadiène styrène |
| AEP | Aire d'empilement et d'ébranchage à caractère permanent |
| AFS | Architecture des formations superficielles |
| AGC | Automatic Gain Control |
| AGR | Agriculture et Agroalimentaire Canada |
| Alt. | Altitude |
| ANT | Fortement perturbé par l'activité humaine |
| Art. | Article |
| ASTM | American society for testing and materials |
| AT et A-T | Abitibi-Témiscamingue |
| AVM | Apports verticaux moyens |
| BDAT | Base de données pour l'aménagement du territoire du Québec |
| BDGA | Base de données géographiques et administratives |
| BDTQ | Base de données topographiques du Québec |
| BNDT | Base nationale de données topographiques du Canada |
| C | Centre |
| CEHQ | Centre d'expertise hydrique du Québec |
| CERFO | Centre collégial de transfert de technologie en foresterie |
| CGC | Commission géologique du Canada |
| CH | Contexte hydrogéologique |
| CMA | Concentrations maximales acceptables |
| CMP | <i>common mid-point</i> |
| CRÉAT | Conférence régionale des élus de l'Abitibi-Témiscamingue |
| CRRNT | Commission régionale sur les ressources naturelles et le territoire |
| CUBF | Codes d'utilisation des biens-fonds |
| DEL | Droite évaporatoire locale |
| DEMR | Droite des eaux météoriques régionale |
| DET | Dépôts en tranchée |
| DM | Dépôts meubles |
| DRASTIC | Évaluation de la vulnérabilité de l'eau souterraine selon la méthode DRASTIC |
| DVL | Digital Video Logger |
| E | Est |

| | |
|---------|--|
| EA | Épaisseur d'argile |
| EDG | Épaisseur de sédiments granulaires |
| EDM | Épaisseur de dépôts meubles |
| FOR | Forages à la géoprobe |
| GESTIM | Gestion des titres miniers |
| GMS | <i>Groundwater Modeling System</i> |
| GNSS | <i>Global Navigation Satellite System</i> |
| GPR | <i>Ground Penetrating Radar</i> |
| GPS | <i>Global Positioning System</i> |
| GR | Gravière |
| GRES | Groupe de recherche sur l'eau souterraine |
| GRIES | Groupe de recherche interuniversitaire sur les eaux souterraines |
| HDPE | Polyéthylène de haute densité |
| IDP | Indice de densité pondéré |
| INOX | Acier inoxydable |
| L.R.Q | Lois et Règlements du Québec |
| Lat. | Latitude |
| LD | Limite de detection |
| LDPE | Polyéthylène de basse densité |
| LE | Pôle de classification « Externe » |
| LI | Pôle de classification « Interne » |
| LL | Pôle de classification « Lac » |
| Long. | Longitude |
| LQE | Loi sur la qualité de l'environnement |
| LTE | Lignes de transport d'énergie |
| MAMROT | Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire du Québec |
| MAN | Modèle altimétrique numérique |
| MAPAQ | Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec |
| Max. | Valeur maximale |
| MDDEFP | Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec |
| MDDELCC | Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec |
| MDDEP | Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec |
| Méd. | Valeur médiane |
| MERN | Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles |
| Min. | Valeur minimale |
| mm | Mois |
| Moy. | Valeur moyenne |
| MPS | Multiprobe system |
| 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 |
| N | Nord |
| N.P. | Niveau piézométrique |
| NA ou na | Aucun essai réalisé / Non applicable |
| nb ou n | Nombre |
| ND | Non disponible |
| NF | Milieu faiblement perturbé par l'activité humaine |
| NF/FCC | Hydrochloric Acid |
| NMM | Niveau moyen de la mer |
| O | Ouest |
| OBV | Organisme de bassin versant |
| OBVAJ | Organisme de bassin versant Abitibi-Jamésie |
| OBVT | Organisme de bassin versant du Témiscamingue |
| OE | Ordre esthétique |
| p. | Page |
| p. ex. | Par exemple |
| 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) |
| PG | Points de grille |
| PG | Essais au perméamètre de Guelph |
| pH | Potentiel hydrogène |
| PRDIRT | Plan régional de développement intégré des ressources et du territoire |
| Pt | Problème technique |
| PVC | Chlorure de polyvinyle |
| Qc | Québec |
| R | Recharge |
| RAS | Ready available supply |
| RNCAN | Ressources naturelles Canada |
| RO | Route et autoroute |
| ROVBQ | Regroupement des organismes de bassins versants du Québec |
| RTK | Real Time Kinematic |
| S | Sud |
| s.d. | Sans date |
| SADR | Schéma d'aménagement et de développement révisé |
| SG | Sablère – gravière OU Sable et gravier |
| SIEF | Système d'information écoforestière |
| SIG | Système d'information géographique |
| SIGEOM | Système d'information géominière |
| SIH | Système d'information hydrogéologique |

| | |
|--------------|---|
| SLAP | Standard Light Antarctic Precipitation |
| SO | Sans objet |
| TIN | Réseau triangulé irrégulier |
| UQÀM | Université du Québec à Montréal |
| UQAT | Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue |
| UTM NAD83 | Universal Transverse Mercator / North American Datum 83 |
| VRN | Ville de Rouyn-Noranda |
| VSMOW | Vienna Standard Mean Ocean Water |

Liste des principaux symboles et termes utilisés dans les équations, figures et tableaux

| Symbole | | Équations 3.8.1 à 3.8.11 | Figure 3.9.3 | Équations 3.9.1 à 3.9.4 | Équations 3.10.1. à 3.10.4 | Équations 3.11.1 et 3.11.2 | Équation 3.13.1 | Équations 4.13.1 et 4.13.2 | Tableau 6.1.1.1 | Équations 6.1.6.1 à 6.1.6.5 | Équation 6.1.6.6 | Équations 6.3.1 et 6.3.2 | Équation 6.6.1 | Figure 6.6.1 | Équation 6.6.3.1 | Équations 6.6.4.1 à 6.6.4.3 | Équations 6.6.5.1 et 6.6.5.2 | Équation 6.8.1.1 | Équation 6.9.1 | Équation 7.1.2.1 | Équations 7.1.3.1 à 7.1.3.4 | Tableau 8.1.2 |
|---------------------------------------|--|--------------------------|--------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|-----------------------------|------------------|--------------------------|----------------|--------------|------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|----------------|------------------|-----------------------------|---------------|
| K_{SP} | Conductivité hydraulique à un niveau de saturation partielle | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SN et DN | Simple niveau et double niveau | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A, R ou r | Rayon | X | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C ou F | Facteur de forme | X | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H, H_x , h ou h_x | Charge hydraulique/Niveau d'eau | X | X | | X | X | | | | X | | X | | | | | | | | | | |
| R_x | Taux de décroissance du niveau d'eau | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| X | Constante représentant la surface des réservoirs combinés | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K | Conductivité hydraulique | X | | X | X | X | | | | | X | | | | | | | | | | | |
| Φ_m ou ψ | Potentiel matriciel | X | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| θ_i | Teneur en eau initiale | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| θ_e , n_e ou $n_{effective}$ | Porosité effective | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| θ_r | Teneur en eau résiduelle | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| n | Porosité | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $\Delta\theta$ | Changement de teneur en eau | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L | Profondeur ou position du front d'infiltration | | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| F ou f | Infiltration cumulative / Taux d'infiltration potentiel | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T ou t_x | Temps | | | X | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Q ou q | Débit | | | | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T_0 | Décalage temporel de base (basic time lag) | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| gc | gradient hydraulique constant | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | |
| gv | gradient hydraulique variable | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | Surface de l'échantillon | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | |
| V | Volume | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | |
| DT | Diamètre du tubage intérieur | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | |
| π | Pi (3,1416) | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | |
| PT | Profondeur totale du puits | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | |
| PE | Profondeur de l'eau souterraine | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | |
| IMF | Intervalle du massif filtrant | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | |
| DF | Diamètre du forage | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | |
| z | Élévation | | | | | | | | | X | X | | | | | | | | | | | |
| p | Pression interstitielle au sein de l'aquifère | | | | | | | | | X | X | | | | | | | | | | | |
| ρ_w | Densité du fluide | | | | | | | | | X | X | | | | | | | | | | | |
| g | Accélération gravitationnelle | | | | | | | | | X | X | | | | | | | | | | | |
| u | Vitesse | | | | | | | | | X | X | | | | | | | | | | | |
| i | gradient hydraulique | | | | | | | | | X | X | | | | | | | | | | | |
| R | Ratio ($^2H/^1H$) et ($^{18}O/^{16}O$) | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | |
| δ^{2H} - $\delta^{18}O$ | Isotope stable de la molécule d'eau | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | |
| RES | Recharge de l'eau souterraine | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | |
| AV | Apports verticaux totaux | | | | | | | | | | | | X | | X | | | | | | | |
| R | Ruissellement | | | | | | | | | | | | X | | X | | | | | | | |
| ΔE_s | Changement d'emménagement en eau dans le sol | | | | | | | | | | | | X | | | | X | | | | | |
| ET_R | Évapotranspiration réelle | | | | | | | | | | | | X | | | X | | | | | | |
| E | Évaporation | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | |
| T | Transpiration | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | |
| I | Infiltration | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | |
| θ_w | Point de flétrissement | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | |
| C_R | Coefficient de ruissellement | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | |
| ET_P | Évapotranspiration potentielle annuelle | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | |
| θ | Température moyenne de l'air | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | |
| F | Coefficient de correction | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | |
| I ou i | Indice | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | |
| RAS | Portion facilement accessible par les plantes | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | |
| CR | Capacité de rétention | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | |
| d | Zone racinaire | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | |
| K | Conductivité hydraulique | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | |
| b ou H | Épaisseur | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | |
| T | Transmissivité | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | |

| Symbole | | Équations 3.8.1 à 3.8.11 | Figure 3.9.3 | Équations 3.9.1 à 3.9.4 | Équations 3.10.1 à 3.10.4 | Équations 3.11.1 et 3.11.2 | Équation 3.13.1 | Équations 4.13.1 et 4.13.2 | Tableau 6.1.1.1 | Équations 6.1.6.1 à 6.1.6.5 | Équation 6.1.6.6 | Équations 6.3.1 et 6.3.2 | Équation 6.6.1 | Figure 6.6.1 | Équation 6.6.3.1 | Équations 6.6.4.1 à 6.6.4.3 | Équations 6.6.5.1 et 6.6.5.2 | Équation 6.8.1.1 | Équation 6.9.1 | Équation 7.1.2.1 | Équations 7.1.3.1 à 7.1.3.4 | Tableau 8.1.2 |
|-----------------------|--|--------------------------|--------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|-----------------------------|------------------|--------------------------|----------------|--------------|------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|----------------|------------------|-----------------------------|---------------|
| DRASTIC | Depth, Recharge, Aquifere media, Soil media, Topograhly slope, Impact of vadose zone, Aquifer conductivity | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | |
| C | Cotes | | | | | | | | X | | | | | | | | | | X | | | |
| FP | Facteurs de pondération | | | | | | | | X | | | | | | | | | | X | | | |
| i | Unité | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| n _t | Porosité totale | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| n _p | Porosité primaire | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| n _s | Porosité secondaire | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| n _{efficace} | Porosité efficace | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| e | Indice des vides | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| k | Perméabilité intrasèque | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| S | Coefficient d'emmagasinement | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| θ | Angles entre les lignes d'écoulement et l'interface au sein des milieux | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | |
| v | Vélocité de Darcy | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | |
| BI | Bilan ionique | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | |
| MDT | Matière dissoute totale | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | |
| V | Volume prélevé | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X |
| Bi | Population associée au bétail de type i | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X |
| PA | Productions agricoles | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X |
| R | Résidentiel | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X |
| ICI | Industries, commerces et institutions | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X |
| Ti | Taux de prélèvement associé au bétail de type i | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X |
| P | Population totale en nombre d'habitants. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X |
| V _{TM} | Volume total associé au réseau municipal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X |
| V _{GPENM} | Volumes recensés au registre des grands préleveurs (GPE) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X |
| NM | Non municipal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X |
| i | Jour | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X |

Autres symboles employés dans le document

| | |
|------------------|------------------------------|
| > | Supérieur |
| < | Inférieur |
| ° | Degré |
| ≈ | Environ |
| ∅, D ou d | Diamètre |
| Z | Profondeur |
| ‰ | Pour mille |
| ≥ | Supérieur ou égale |
| ± | Plus ou moins |
| % | Pourcentage |
| T _{max} | Température maximale |
| T _{min} | Température minimale |
| T _{mm} | Température minimale moyenne |
| R ² | Coefficient de détermination |
| ∑ | Somme |

Unités et grandeurs physiques

| | |
|-------------------|----------|
| [T] | Temps |
| [L] | Longueur |
| [L ²] | Aire |
| [L ³] | Volume |
| [M] | Masse |

| Longueur | |
|----------|------------|
| m | Mètre |
| cm | Centimètre |
| mm | Millimètre |
| μm | Micromètre |

| Aire | |
|-----------------|------------------|
| km ² | Kilomètre carré |
| cm ² | Centimètre carré |

| Volume | |
|-----------------|------------------------------|
| km ³ | Kilomètre cube |
| m ³ | Mètre cube |
| mm ³ | Millimètre cube |
| L | Litre (= 1 dm ³) |
| mL | Millilitre |

| Masse | |
|-------|-------------|
| g | Gramme |
| mg | Milligramme |

| Temps | |
|-------|-------------------|
| Ga | Milliard d'années |
| Ma | Million d'années |
| ns | Nanoseconde |
| s | Seconde |
| h | Heure |

| Unités calorifiques | |
|---------------------|---------------|
| C° | Degré Celcius |

| Différence de potentiel (ou tension) / Force électromotrice | |
|---|-----------|
| V | Volt |
| mV | Millivolt |

| Fréquence | |
|-----------|-----------|
| MHz | Mégahertz |

| Conductance électrique | |
|------------------------|--------------|
| μS | Microsiemens |
| Ω | Ohm |

Liste des principaux symboles (et formules) chimiques utilisés

| Symbole | Nom |
|-------------------------|--|
| ^{13}C | Carbone 13 |
| ^{14}C | Carbone 14 |
| ^3H | Tritium |
| Ag | Argent |
| Al | Aluminium |
| As | Arsenic |
| B | Bore |
| Ba | Baryum |
| Be | Béryllium |
| Bi | Bismuth |
| Br | Bromures |
| Ca | Calcium |
| CaCO_3 | Carbonate de calcium / Alcalinité totale |
| Cd | Cadmium |
| Cl | Chlorures |
| Co | Cobalt |
| Cr | Chrome |
| Cu | Cuivre |
| F | Fluorures |
| Fe | Fer |
| H | Hydrogène |
| H_2SO_4 | Acide sulfurique |
| HCO_3 | Bicarbonate |
| Hg | Mercure |
| HNO_3 | Acide nitrique |
| K | Potassium |
| Li | Lithium |
| Mg | Magnésium |
| Mn | Manganèse |
| Mo | Molybdène |
| Na | Sodium |
| NaN_3 | Azoture de sodium |
| NaOH | Hydroxyde de sodium |
| Ni | Nickel |

| Symbole | Nom |
|--|---------------------------|
| NO_2 | Nitrites |
| NO_3 | Nitrates |
| O | Oxygène |
| Pb | Plomb |
| S | Sulfures |
| Sb | Antimoine |
| Se | Sélénium |
| Si | Silicium |
| Sn | Étain |
| SO_4 | Sulfates |
| Sr | Strontium |
| Ti | Titane |
| U | Uranium |
| V | Vanadium |
| Zn | Zinc |
| $\text{ZN}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | Acétate de zinc dihydraté |

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 relatives à cette ressource demeurent 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 et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) 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).

Le Groupe de recherche sur l'eau souterraine (GRES) de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT) a obtenu le mandat du MDDELCC en 2012 de réaliser ce projet PACES, désigné sous l'acronyme PACES-AT2, sur la portion ouest de l'Abitibi et du Témiscamingue. Avec le PACES-AT1 qui a couvert le secteur est de l'Abitibi (Cloutier et al., 2013a), la cartographie hydrogéologique réalisée dans le cadre des PACES couvre l'ensemble du territoire municipalisé de l'Abitibi-Témiscamingue.

Ce rapport final décrit la réalisation et la synthèse des connaissances issues du projet PACES-AT2. Le document comporte dix chapitres. Suivant la mise en contexte et la description des objectifs (Chapitre 1), le chapitre 2 présente un portrait de l'environnement physique et humain propre à la région d'étude. Les chapitres 3 et 4 présentent les approches méthodologiques associées aux travaux de terrain et de laboratoire ainsi que les résultats associés, respectivement. Les chapitres 5 et 6 dressent une synthèse du cadre géologique et des conditions hydrogéologiques régionales. Les conditions hydrogéochimiques sont discutées dans le chapitre 7. Le chapitre 8 présente le cadre anthropique en lien avec la ressource en eau souterraine. Finalement, les chapitres 9 et 10 présentent la synthèse hydrogéologique régionale et les conclusions et recommandations associées, respectivement. L'ensemble des cartes thématiques citées dans le rapport (Cartes 1 à 24, échelle 1 : 100 000) sont fournies à l'annexe 1.1.1.

1.2 Objectifs et structure

Les objectifs généraux du PACES-AT2 sont (1) de dresser un portrait de la qualité et de la quantité de la ressource en eau souterraine au niveau du territoire couvert par la Ville de Rouyn-Noranda et les MRC d'Abitibi-Ouest et de Témiscamingue et (2) de poursuivre le développement de partenariats entre les acteurs de l'eau présents sur le territoire. La démarche de caractérisation régionale proposée dans le cadre de la présente étude ciblait notamment cinq thèmes jugés prioritaires :

- 1- L'amélioration des connaissances portant sur les propriétés hydrogéologiques des différentes unités géologiques du territoire;
- 2- L'évaluation des liens hydrauliques entre les différents aquifères régionaux et le réseau hydrographique;
- 3- L'évaluation de la piézométrie sur les flancs de formations fluvioglaciales (eskers et moraines) et des liens hydrogéologiques entre ces aquifères à nappe libre, les aquifères périphériques et le réseau hydrographique;
- 4- L'évaluation des fonctions hydrogéologiques des tourbières à l'échelle régionale;
- 5- La documentation des impacts potentiels des activités anthropiques sur l'eau souterraine des eskers et moraines.

Conformément aux exigences relatives à la réalisation des PACES, l'étude a été menée en trois phases consistant (1) en la collecte des données préexistantes (Phase 1 : Cloutier et al., 2013b), (2) en la réalisation de travaux complémentaires (Phase 2 : Cloutier et al., 2014) et (3) en l'intégration des informations pour fins de synthèse et de transfert (Phase 3 : présent rapport). Le rapport s'accompagne d'un atlas hydrogéologique régional.

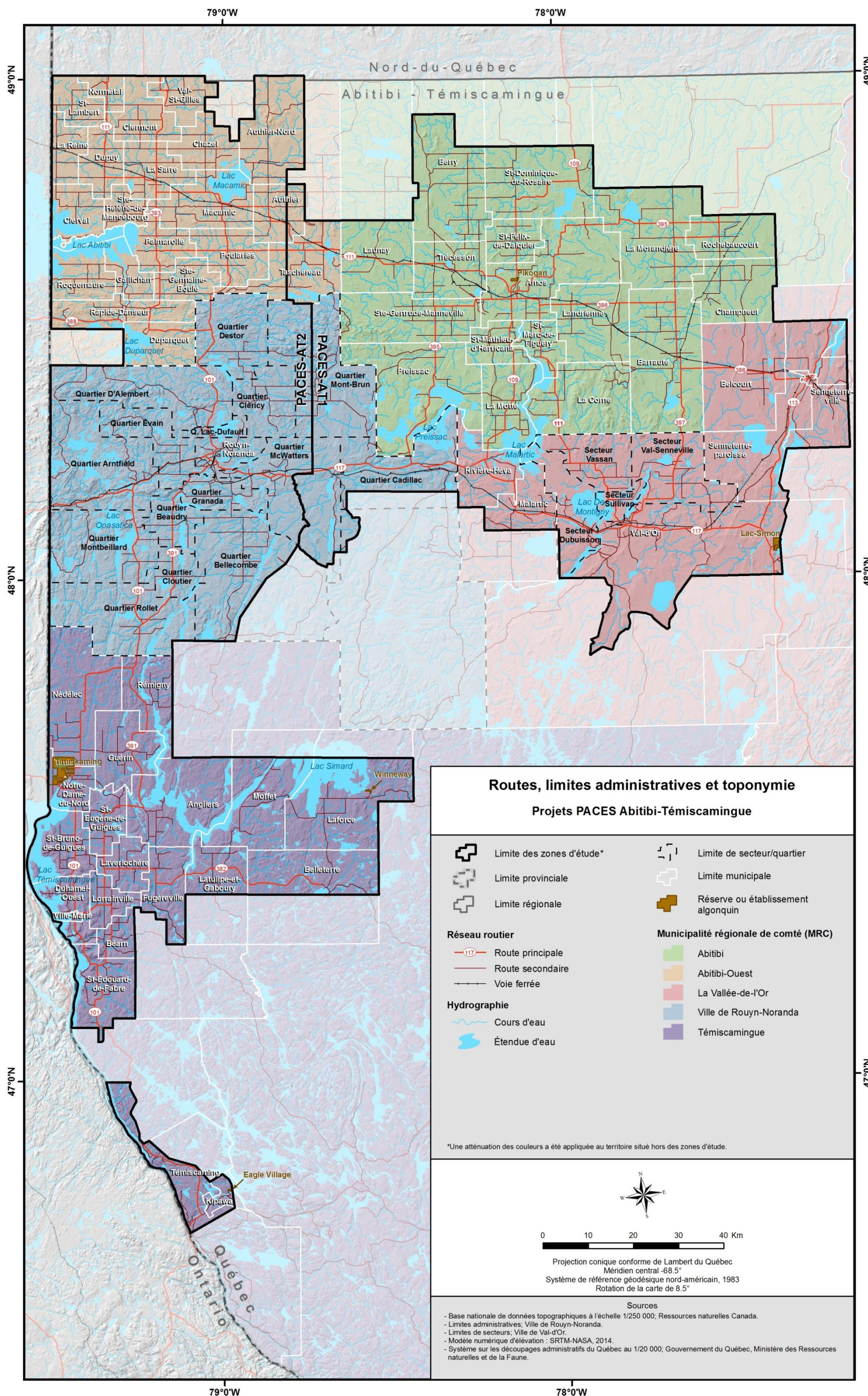
2. Description du territoire

Située au nord-ouest du Québec méridional, l'Abitibi-Témiscamingue couvre une superficie totale d'environ 64 700 km². La région est limitée au nord par le Nord-du-Québec, au sud par l'Outaouais, à l'est par la Mauricie et à l'ouest par l'Ontario (Figure 2.1). Le PACES-AT1 (projet antérieur, Cloutier et al., 2013a) a couvert une partie des territoires municipalisés du centre et du nord de la région (Figure 2.1). En continuité, le PACES-AT2 complète le portrait de la ressource en eau souterraine de la région par la couverture des secteurs municipalisés non caractérisés par le PACES-AT1, soit un regroupement des territoires de la Ville de Rouyn-Noranda et des MRC d'Abitibi-Ouest et de Témiscamingue, pour une superficie totale de 10 362 km² (Figures 2.1 et 2.2).

Figure 2.1 Localisation générale des PACES-AT en Abitibi-Témiscamingue



Figure 2.2 Territoires couverts par les PACES-AT1 et PACES-AT2



2.1 Sources de données numériques

Les sous-sections qui suivent présentent une synthèse de l'information et des données existantes à l'échelle du territoire PACES-AT2. Chaque sous-section du chapitre 2 correspond à un ou plusieurs livrables (produits cartographiques ou analyses statistiques) exigés dans le cadre de la réalisation du PACES-AT2. Le tableau 2.1.1 dresse un sommaire des principales sources de données utilisées pour la réalisation des produits cartographiques de l'annexe 1.1.1. Ces sources sont citées à même les produits cartographiques (Cartes 1 à 24 de l'annexe 1.1.1). Sauf si spécifié autrement, l'ensemble des calculs de superficie présentés dans les différents tableaux du présent chapitre ont été réalisés en employant la projection UTM NAD83 zone 17N.

Tableau 2.1.1 Sommaire des sources de données utilisées pour la réalisation des produits cartographiques

| Cartes ¹ | Thèmes | Sources de données ² |
|---------------------|--|---|
| 1 à 24 | Route, étendue d'eau et cours d'eau pour le Québec, Courbes de niveau | Base de données pour l'aménagement du territoire du Québec au 1 : 100 000 (BDAT) (MERN) |
| 1 à 24 | Route, étendue d'eau et cours d'eau pour l'Ontario | Base nationale de données topographiques du Canada au 1 : 50 000 (BNDT) |
| 1 à 24 | Carte de localisation provinciale | Limites géopolitiques canadiennes |
| 1 à 24 | Carte de localisation régionale | Base de données géographiques et administratives du Québec à l'échelle de 1 : 1 000 000 (BDGA) (MERN) |
| 1 à 24 | Limites administratives | Système sur les découpages administratifs du Québec au 1 : 20 000 (MERN) |
| 1 | Quartiers | Limites administratives (VRN) |
| 2 et 12 | Sommets | http://www.observat.qc.ca/Tableaux-statistiques/territoire/les-plus-hauts-sommets-de-labitibi-temiscamingue |
| 4 et 24 | Bassins versants | Bassins hydrographiques du Québec à l'échelle 1 : 250 000 (CEHQ) |
| 5, 6, 7, 10, 22 | Couverture végétale, milieux humides, pédologie, occupation du sol | Système d'information écoforestière, 4 ^e inventaire écoforestier 1 : 20 000 (SIEF) (MRNF, 2011) |
| 11 | Affectations du territoire | - Grandes affectations du territoire; MRC d'Abitibi-Ouest, 2014 (adopté mais non en vigueur) ³ - Grandes affectations du territoire; MRC du Témiscamingue, 2009 - Grandes affectations du territoire; Ville de Rouyn-Noranda, 2011 |
| 8, 14, 15, 22 | Géologie du Quaternaire | Cartes de la géologie des formations en surface de la CGC au 1 : 100 000 (Veillette, 1986a,b, Cartes 1639A, 1642A; Veillette, 1987a,b, Cartes 1640A, 1643A; Veillette et Daigneault, 1987, Carte 1644A; Thibaudeau et Veillette, 2005, Carte 1996A; Veillette, 2004, Carte 2019A) |
| 9, 14 et 15 | Compilation de données géologiques (zones géologiques, failles, affleurements), données des forages miniers, données des affleurements | Système d'information géominière (SIGEOM-MRN) |
| 14 et 15 | Forages SIH | Système d'information hydrogéologique (SIH) |
| 14 et 15 | Forages | Compilation de forages (MRNF) |
| 18 et 20 | Sources ponctuelles et diffuses | 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, UQAM, Montréal, 145 pages. |
| 19 | Apports verticaux journaliers estimé de 1900-2010 – version 2012 | Centre d'expertise hydrique du Québec. Contribution au Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines. |

Tableau 2.1.1 Sommaire des sources de données utilisées pour la réalisation des produits cartographiques (suite)

| Cartes ¹ | Thèmes | Sources de données ² |
|---------------------|--|--|
| 19 | Coefficient de ruissellement | Ministère des Transports du Québec(MTQ). 2004. Manuel de conception des pontons. Guide et manuels des techniques. Service de l'hydraulique. Québec, Publications du Québec, 501 p. |
| 22 | Aires d'accumulation liées à l'industrie minière | Compilation GRES-UQAT de diverse base de données |
| 22 | Dépôts en tranché fermés | Compilation GRES-UQAT |
| 22 | Terrains contaminés | Répertoire des terrains contaminés du 5 mars 2013; Gouvernement du Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs; |
| 23 | Activités anthropiques | Codes d'utilisations des biens-fonds, 2012 (MAMROT) |
| 24 | Stations climatologiques | Stations climatologiques (MDDELCC) http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/climat/surveillance/index.asp Données climatologiques historiques (Gouvernement du Canada) http://climat.meteo.gc.ca/ |
| 24 | Stations hydrométriques | Stations hydrométriques (CEHQ-MDDELCC) http://www.cehq.gouv.qc.ca/suivihydro/ Données hydrométriques (Gouvernement du Canada) http://eau.ec.gc.ca/index_f.html |
| 24 | Stations piézométriques | Réseau du suivi des eaux souterraines du Québec (MDDELCC) http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/piezo/index.htm |

¹ Les cartes 1 à 24 correspondent aux cartes présentées à l'annexe 1.1.1. ² Acronymes : CEHQ : Centre d'expertise hydrique du Québec; CGC : Commission géologique du Canada; MDDEFP : Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec; MDDELCC : Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec. MERN : Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec; MRC : Municipalité Régionale de Comté; MRN : Ministère des Ressources naturelles du Québec; MRNF : Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec; VRN : Ville de Rouyn-Noranda. ³ Schéma d'aménagement et de développement révisé (SADR-02) de la MRC d'Abitibi-Ouest, règlement no 02-2014. Le règlement no 02-2014 a été adopté le 29 octobre 2014 par le conseil administratif de la MRC d'Abitibi-Ouest, mais le SADR-02 n'est pas en vigueur.

2.2 Routes, limites municipales et toponymie (Carte 1)

La carte 1 présente les limites municipales ainsi que les routes du territoire. Les données utilisées pour la construction de cette carte sont rapportées au tableau 2.1.1. Le tableau 2.2.1 présente les superficies associées aux territoires des municipalités et communautés algonquines de la région d'étude et fournit une évaluation du nombre d'habitants occupant ces entités. Le territoire visé par le projet comprend 54 municipalités et trois communautés algonquines (Tableau 2.2.1), pour une population totale estimée à 79 737 habitants. Les principaux axes routiers desservant le territoire sont d'orientation nord-sud et est-ouest. Dans l'axe est-ouest, les routes 111 et 117 constituent les principales voies d'accès. La route 111 traverse la portion nord du territoire, reliant Taschereau, Authier, Macamic et La Sarre puis bifurque vers le nord pour rejoindre Dupuy et Normétal. La route 117 traverse quant à elle la région depuis la frontière Québec-Ontario, reliant les quartiers Arntfield, Évain, McWatters et Cadillac, en passant par Rouyn-Noranda. Plus au sud, la route 382 relie Laverlochère, Fugèreville, Latulipe-et-Gaboury et Belleterre. Dans l'axe nord-sud, les routes 391 et 101 constituent les principales voies d'accès. Dans le secteur Nord, la route 393 relie Val-Saint-Gilles, Clermont, La Sarre, Palmarolle et Duparquet, puis rejoint la route 101. La route 101 traverse quant à elle la région du nord au sud. Depuis Macamic, elle rejoint Poularies, traverse les quartiers de Destor, D'Alembert et du Lac-Dufault et rejoint la route 117 au niveau de Rouyn-Noranda. Au sud de la route 117, la route 101 relie Arntfield, Montbeillard et Rollet

ainsi que Nédélec, Timiskaming, Notre-Dame-du-Nord, Saint-Bruno-de-Guigues, Duhamel-Ouest, Ville-Marie, Saint-Édouard-de-Fabre, et Témiscaming. Parallèle à la route 101 et à l'est de cette dernière, la route 391 relie Rouyn-Noranda, les quartiers Beaudry, Cloutier et Rollet ainsi que les municipalités de Rémigny, Guérin, Angliers, Saint-Eugène-de-Guigues, Laverlochère, Lorrainville, Béarn et Saint-Édouard-de-Fabre. Outre les accès précités, plusieurs routes, rangs et chemins secondaires permettent d'accéder à la majeure partie du territoire. En certains endroits, les chemins forestiers constituent les principaux accès.

Tableau 2.2.1 Municipalités et populations du territoire PACES-AT2

| MRC | Nom de la municipalité | Désignation | Superficie totale (km ²) | Superficie incluse au territoire PACES-AT2 (km ²) | Population totale ¹ (nombre d'habitants) | |
|------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------------------|---|---|---------------------|
| Abitibi-Ouest | Authier | Municipalité | 143,39 | 95,78 | 274 | 20 874 |
| | Authier-Nord | Municipalité | 297,15 | 297,15 | 266 | |
| | Chazel | Municipalité | 140,21 | 140,21 | 304 | |
| | Clermont | Canton | 158,73 | 158,73 | 483 | |
| | Clerval | Municipalité | 130,86 | 130,86 | 380 | |
| | Duparquet | Ville | 156,16 | 156,16 | 612 | |
| | Dupuy | Municipalité | 122,64 | 122,64 | 961 | |
| | Gallichan | Municipalité | 98,09 | 98,09 | 503 | |
| | La Reine | Municipalité | 98,45 | 98,45 | 344 | |
| | La Sarre | Ville | 153,08 | 153,08 | 7 576 | |
| | Macamic | Ville | 240,5 | 240,5 | 2 798 | |
| | Normétal | Municipalité | 55,39 | 55,39 | 843 | |
| | Palmarolle | Municipalité | 135,21 | 135,21 | 1 456 | |
| | Poularies | Municipalité | 169,71 | 169,71 | 671 | |
| | Rapide-Danseur | Municipalité | 185,43 | 185,43 | 336 | |
| | Roquemaure | Municipalité | 155,72 | 155,72 | 431 | |
| | Saint-Lambert | Paroisse | 101,26 | 101,26 | 196 | |
| | Ste-Germaine-Boulé | Municipalité | 111,56 | 111,56 | 955 | |
| | Ste-Hélène-de-Mancebourg | Paroisse | 69,93 | 69,93 | 354 | |
| | Taschereau | Municipalité | 272,75 | 76,19 | 956 | |
| Val-Saint-Gilles | Municipalité | 109,2 | 109,2 | 175 | | |
| Témiscamingue | Angliers | Village | 384,48 | 384,48 | 302 | 16 696 |
| | Béarn | Municipalité | 552,37 | 72,40 | 775 | |
| | Belleterre | Ville | 607,09 | 288,01 | 281 | |
| | Duhamel-Ouest | Municipalité | 128,75 | 128,75 | 883 | |
| | Eagle Village (Kebaowek) | Communauté algonquine | 0,22 | 0,22 | 276 ^a | |
| | Fugèreville | Municipalité | 168,33 | 168,33 | 333 | |
| | Guérin | Canton | 207,87 | 207,87 | 324 | |
| | Kipawa | Municipalité | 47,1 | 34,26 | 476 | |
| | Laforce | Municipalité | 590,77 | 590,77 | 509 | |
| | Latulipe-et-Gaboury | Cantons unis | 299,79 | 146,48 | 302 | |
| | Laverlochère | Municipalité | 107,29 | 107,29 | 683 | |
| | Lorrainville | Municipalité | 87,59 | 87,59 | 1 323 | |
| | Moffet | Municipalité | 427,65 | 313,41 | 189 | |
| | Nédélec | Canton | 374,92 | 374,92 | 372 | |
| | Notre-Dame-du-Nord | Municipalité | 90,06 | 90,06 | 1 072 | |
| | Rémigny | Municipalité | 996,86 | 183,87 | 280 | |
| | Saint-Bruno-de-Guigues | Municipalité | 186,37 | 186,37 | 1 158 | |
| | Saint-Édouard-de-Fabre | Paroisse | 216,8 | 216,8 | 631 | |
| | Saint-Eugène-de-Guigues | Municipalité | 116,73 | 116,73 | 469 | |
| | Témiscaming | Ville | 862,42 | 182,93 | 2 354 | |
| Timiskaming | Communauté algonquine | 18,86 | 18,86 | 641 ^a | | |
| Ville-Marie | Ville | 12,56 | 12,56 | 2 607 | | |
| Winneway | Communauté algonquine | 0,39 | 0,39 | 456 ^a | | |
| Ville de Rouyn-Noranda | Arntfield | Quartier | 465,32 | 465,32 | 520 ^b | 42 167 ^d |
| | Beaudry | Quartier | 123,36 | 123,36 | 1 153 ^c | |
| | Bellecombe | Quartier | 734,17 | 432,31 | 800 ^b | |
| | Cléricy | Quartier | 192,34 | 192,34 | 425 ^b | |
| | Cloutier | Quartier | 104,39 | 104,39 | 345 ^b | |
| | D'Alembert | Quartier | 407,5 | 407,5 | 930 ^b | |
| | Destor | Quartier | 270,16 | 270,16 | 385 ^b | |
| | Évain | Quartier | 206,25 | 206,25 | 3 845 ^b | |
| | McWatters | Quartier | 468,49 | 228,91 | 1 915 ^b | |
| | Montbeillard | Quartier | 369,25 | 369,25 | 720 ^b | |
| | Mont-Brun | Quartier | 522,34 | 197,02 | 505 ^b | |
| | Rouyn-Noranda | Ancienne ville | 124,45 | 124,45 | 29 435 ^b | |
| | Rollet | Quartier | 417,25 | 417,25 | 415 ^b | |
| | | | | | Total | 79 737 |

¹ MAMROT, s.d.a, ^a Secrétariat des affaires autochtones du Québec (2012); ^b Observatoire de l'Abitibi-Témiscamingue s.d.a; ^c Agence, (2004) donnée pour 2001; ^d Population totale pour la Ville de Rouyn-Noranda; MAMROT s.d.a.

2.3 Topographie (Carte 2)

La carte topographique (Carte 2) consiste en une représentation en plan des variations d'altitude de la région d'étude. Les données utilisées pour la construction de cette carte sont rapportées au tableau 2.1.1. Les altitudes y sont représentées à l'aide de courbes de niveau construites sur des équidistances de 20 m et 100 m (niveaux intermédiaires et maîtresses, respectivement). Trois grandes tendances semblent dicter le relief de la région. Le secteur au nord du lac Abitibi présente un relief où les variations d'altitude sont relativement faibles (régulièrement entre 280 m et 320 m). Les collines Nissing (458 m) constituent le principal point haut de ce secteur, alors que le Lac Abitibi se situe à une altitude d'environ 280 m. Au sud du lac Abitibi et jusqu'au sud de Rollet, le relief est plus accidenté, tel qu'illustré par le rapprochement des courbes de niveau sur la carte 2. Des variations d'altitude atteignent régulièrement plus de 100 m sur de courtes distances. Le mont Dominant (572 m), les collines Cheminis (507 m), le mont Kanasuta (502 m), les monts Bourniot (486 m), les collines Kékéko (482 m), le mont Duprat (≈ 465 m), les collines Destor (462 m), le mont Œil du Nord (≈ 445 m), les collines Amulet (≈ 405 m) et les monts Fabie (365 m) constituent les principaux points hauts de ce secteur. Au sud de Rollet, le relief est moins accidenté, avec des élévations se situant généralement entre 260 et 340 m. Plusieurs collines aux flancs abrupts et aux sommets plats, dont le mont Plante (≈ 335 m), se retrouvent toutefois le long du lac Témiscamingue (≈ 180 m), créant un relief ondulé qui se démarque du reste de la région.

2.4 Hydrographie et limites de bassins versants (Cartes 3-4)

Les cartes 3 et 4 illustrent la distribution spatiale des plans et cours d'eau constituant le réseau hydrographique ainsi que les bassins versants de niveau 1 et 2 de la région d'étude. Les données utilisées pour la réalisation de ces cartes sont rapportées au tableau 2.1.1. Un bassin versant se définit comme une région possédant un exutoire commun pour ses écoulements de surface. Il est l'équivalent d'un réservoir délimité, confinant les précipitations à son exutoire (Anctil et al., 2005). Il est à noter que les limites des bassins versants du réseau hydrographique (en surface), telles que présentées sur la carte 4, ne correspondent pas nécessairement aux limites des bassins versants définies par les systèmes d'écoulement de l'eau souterraine. Le tableau 2.4.1 présente les bassins versants de niveau 1, les sous-bassins qui les subdivisent (bassins versants de niveau 2) ainsi que leurs superficies respectives. La zone d'étude est occupée par trois bassins versants de niveau 1, soit ceux des rivières Harricana, Moose et des Outaouais. La limite définie par la juxtaposition du bassin versant de la rivière Moose (au nord) avec celui de la rivière des Outaouais (au sud) correspond à ligne de partage des eaux entre les grands bassins hydrographiques de la Baie James et du Saint-Laurent. Ainsi, les eaux du bassin versant de la rivière des Outaouais s'écoulent vers le sud dans le bassin hydrographique du Saint-Laurent, alors que celles des rivières Harricana et Moose se déversent au nord, dans le bassin de la Baie James. Le bassin de la rivière des Outaouais occupe 64,3 % de la zone d'étude. Au sein du territoire, les sous-bassins (niveau 2) les plus étendus sont ceux des rivières Abitibi ($3\,415\text{ km}^2$), Kinojévis ($1\,774\text{ km}^2$), Barrière (989 km^2) et Blanche (612 km^2).

Tableau 2.4.1 Bassins versants du territoire

| Bassin versant niveau 1 | Superficie ¹ (km ²) | Superficie (%) | Bassin versant niveau 2 | Superficie ¹ (km ²) |
|------------------------------------|---|-------------------|-------------------------|---|
| Rivière Harricana ² | 285,5 | 2,8 | Rivière Octave | 19,2 |
| | | | Rivière Turgeon | 266,3 |
| Rivière Moose ² | 3 415,2 | 33,0 | Rivière Abitibi | 3 415,2 |
| Rivière des Outaouais ³ | 6 659,8 | 64,3 | Petite rivière Blanche | 94,9 |
| | | | Rivière Beauchêne | 0,6 |
| | | | Ruisseau Bryson | 111,7 |
| | | | Ruisseau l'Africain | 60,9 |
| | | | Rivière à la Loutre | 524,0 |
| | | | Rivière Barrière | 988,7 |
| | | | Rivière Blanche | 612,4 |
| | | | Rivière Fraser | 174,2 |
| | | | Rivière Kinojévis | 1 773,5 |
| | | | Rivière Kipawa | 101,1 |
| | | | Rivière Lavallée | 75 |
| | | | Rivière Roger | 2,7 |
| | | | Rivière Winneway | 77,6 |
| Total | 10 360,5 | 100,0 | Total | 8 278,8 |

¹ Calculs des superficies à l'intérieur de la zone d'étude uniquement. ² Bassin versant inclus au territoire sous la responsabilité de l'Organisme de bassin versant Abitibi-Jamésie (OBVAJ) ROVBQ (s.d.a). ³ Bassin versant inclus au territoire sous la responsabilité de l'Organisme de bassin versant du Témiscamingue (OBVT) ROVBQ (s.d.a).

Au niveau de la zone d'étude, on compte deux organismes de bassin versant (OBV) émanant du découpage en zones de gestion intégrée de l'eau par le gouvernement provincial. Au sens de la Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et visant à renforcer leur protection (Art. 14, alinéa 3a), un OBV est un « organisme ayant pour mission 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 ». Il est à noter que les bassins des rivières Moose et des Outaouais sont traversés par la frontière Québec-Ontario. Ainsi les deux OBV présents sur la région d'étude, soit l'Organisme de bassin versant Abitibi-Jamésie (OBVAJ) et l'Organisme de bassin versant du Témiscamingue (OBVT), voient chacun leur territoire d'activité limité à la portion orientale des bassins précités. Les plans et cours d'eau couvrent environ 10,5 % de la superficie de la région d'étude (Carte 3). Sur la base de la classification proposée au tableau 2.4.2, un total de trois lacs et réservoirs de grande taille sont identifiés dans la région d'étude, soit le lac Abitibi (878 km²), le lac-réservoir Témiscamingue (306 km²) et le lac-réservoir des Quinze qui inclut le Lac Simard (145 km²) (Observatoire de l'Abitibi-Témiscamingue, 2007). Plusieurs installations hydroélectriques sont présentes sur le territoire (p. ex. barrages, digues ou lacs-réservoirs) et modifient le réseau hydrographique (p. ex. débits, impact des crues, zones inondées).

Tableau 2.4.2 Classification et dénombrement des plans d'eau de la région

| Appellation retenue ¹ | Superficie (km ²) | Nombre de lacs recensés ² |
|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| Lacs de grande taille | > 100 | 3 ^a |
| Lacs de taille moyenne | 1 – 100 | 68 |
| Lacs de petite taille | 0,1 - 1 | 249 |
| Étangs | < 0,1 | 11 810 |

¹ Adapté de Kalff (2001). ² À l'exception des lacs de grande taille, les lacs contigus à la frontière Québec-Ontario ont été exclus de l'analyse. Les lacs dont l'étendue se prolongeait à l'extérieur de la zone d'étude du côté québécois sont inclus au recensement proposé. ^a À noter que le lac-réservoir Kipawa ne figure pas dans les statistiques même si ce dernier touche de quelque peu notre zone d'étude (22 km²/268 km²).

2.5 Couverture végétale (Carte 5)

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) (Bouffroy et al., 2010). Le type forestier décrit le peuplement actuel ainsi que le sous-bois y étant 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). La connaissance des espèces dominantes présentes au sein d'habitats particuliers (p. ex. climatiques, hydrologiques, pédologiques) peut s'avérer utile afin de déceler des particularités liées aux conditions hydrogéologiques d'un territoire. À titre d'exemple, le frêne noir (*Fraxinus nigra* Marsh) s'établit en sols humides et marécageux, alors que le pin gris (*Pinus banksiana* Ait Dumont) est une essence xérophylite (Victorin et al., 2002).

La carte 5 présente la répartition spatiale des différents peuplements forestiers de la région d'étude alors que le tableau 2.5.1 présente un sommaire des caractéristiques liées aux peuplements forestiers et aux types écologiques regroupés du territoire. Le tableau 2.1.1 présente un sommaire des données utilisées pour la réalisation de la carte 5.

Tableau 2.5.1 Peuplements forestiers du territoire

| Peuplement forestier | Types écologiques regroupés ¹ | Superficie (km ²) | Superficie (%) ² |
|-------------------------|--|-------------------------------|-----------------------------|
| Bétulaie | MJ10-MJ11-MJ12-MJ13-MJ14-MJ15-MJ20-MJ21-MJ22-MJ22P-MJ23-MJ24-MJ25-MJ26 | 1 966,6 | 31,3 |
| Érablière | FE20-FE30-FE31-FE32-FE33-FE35-FE60-FE62- | 22,4 | 0,4 |
| Frênaie noire à sapin | MF14-MF15-MF16 | 21,1 | 0,3 |
| Lande ou éricacées | LA20 | 0,1 | 0 |
| Pessière | ME13-ME16-RB10-RB11-RB12-RB13-RB16-RE10-RE11-RE12-RE13-RE16-RE20-RE21-RE22-RE22P-RE23-RE24-RE25-RE26 | 504,6 | 8,0 |
| Pinède blanche ou rouge | RP10-RP11-RP12-RP13-RP14-RP15 | 80,5 | 1,3 |
| Prucheraie | RT10-RT12-RT15 | 1,9 | < 0,1 |

Tableau 2.5.1 Peuplements forestiers du territoire (Suite)

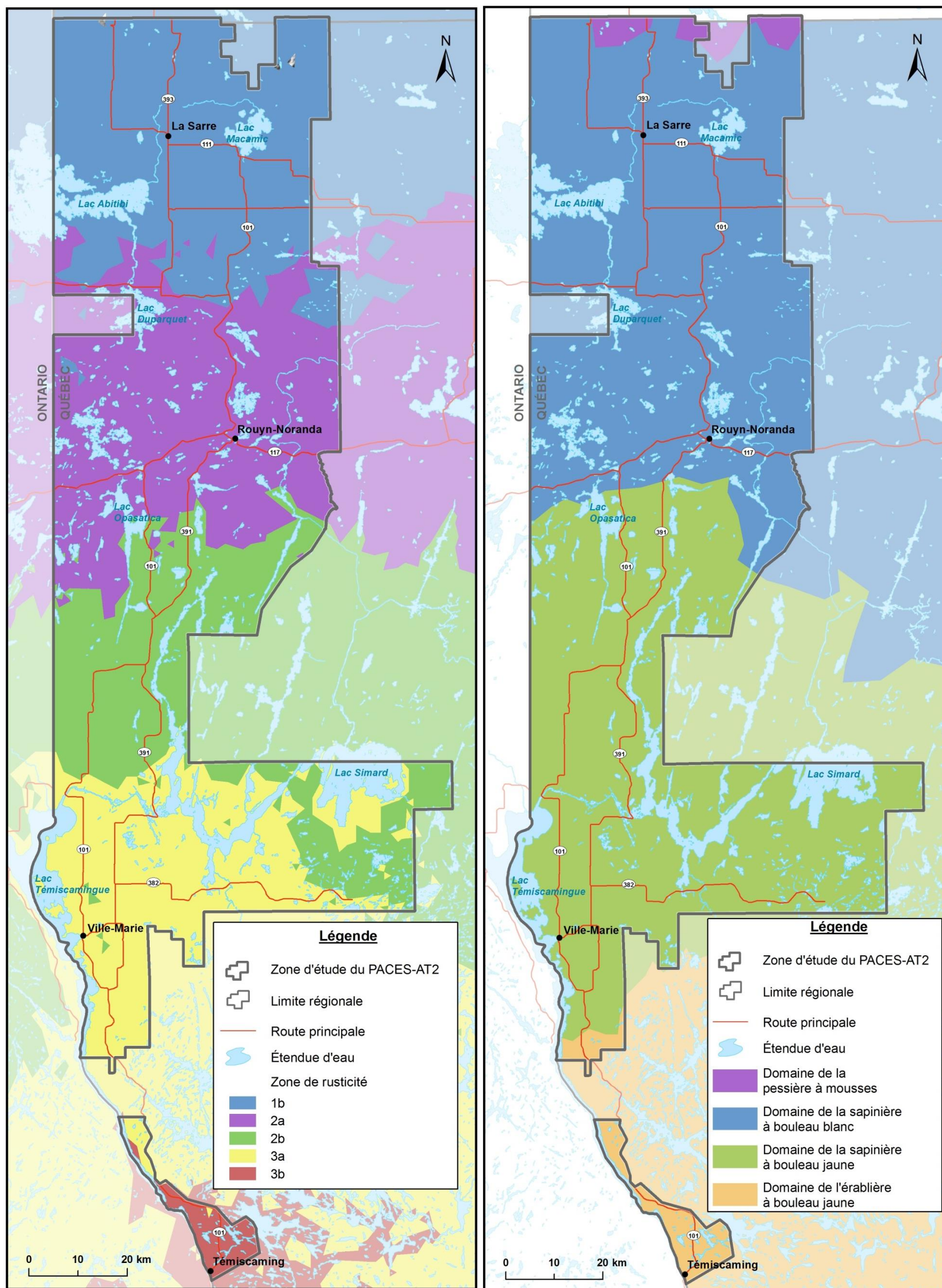
| Peuplement forestier | Types écologiques regroupés ¹ | Superficie (km ²) | Superficie (%) ² |
|----------------------|--|-------------------------------|-----------------------------|
| Sapinière | MS10-MS11-MS12-MS14-MS15-MS16-MS20-MS21-MS22-MS22P-MS23-MS24-MS25-MS26-MS60-MS61-MS62-MS62P-MS63-MS64-MS65-MS66-RS10-RS11-RS12-RS13-RS14-RS15-RS16-RS20-RS21-RS22-RS22M-RS22P-RS23-RS24-RS25-RS25P-RS25S-RS26-RS50-RS51-RS52-RS53-RS54-RS55-RS56 | 3 719,4 | 58,9 |
| Total | | 6 316,6 | 100 |

¹ Regroupements effectués à partir des types écologiques du Quatrième inventaire écoforestier réalisé par le Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune (MRNF, 2011).

² Fait référence à la superficie occupée par des peuplements forestiers, et non au territoire PACES-AT2 en entier.

La carte 5 illustre une transition se déclinant selon l'axe nord-sud en ce qui a trait à la distribution spatiale des types de peuplements forestiers. Les pessières occupent une proportion significative du secteur septentrional du territoire (au nord du lac Abitibi), où l'épinette noire (*Picea mariana* Mill BSP) croît. Cette essence préfère les sols humides et majoritairement recouverts d'un épais lit de mousse (Victorin et al., 2002). Plus au sud, le secteur situé entre les lacs Abitibi et Opasatica est principalement occupé par la sapinière, peuplement dominant du territoire PACES-AT2 (Tableau 2.5.1). L'essence qui y règne est le sapin baumier (*Abies balsamea* L. Mill), reconnu pour évoluer au sein de multiples habitats, pour autant que le sol soit constamment humide (Victorin et al., 2002). Plus au sud, dans le secteur situé entre les extrémités nord des lacs Opasatica et Témiscamingue, la bétulaie domine. Le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britton), arbre emblématique du Québec (MRNF, s.d.a), y partage son habitat avec d'autres essences. Des peuplements de frênaie noire (*Fraxinus nigra* Marsh) à sapin sont entremêlés au sein des bétulaies. Finalement, le secteur méridional du territoire est caractérisé par un assemblage de peuplements. On y retrouve un mélange d'érablières (érables à sucre, *Acer saccharum* Marsh), de pinède blanche ou rouge (pin blanc, *Pinus strobus* L. ou pin rouge, *Pinus resinosa* Ait) et de prucheraie (pruche, *Tsuga canadensis* L. Carr). L'érable est reconnu pour affectionner le sable, les terrains surélevés et les moraines bien drainées, alors que la pruche ne tolère pas le froid et croît généralement en association avec l'érable ou le bouleau (Victorin et al., 2002). Il est à noter qu'une étude menée par le Centre Collégial de Transfert de Technologie en Foresterie (CERFO) a investigué la concordance entre l'information issue du Quatrième inventaire écoforestier et la réalité du terrain (Bouffroy et al., 2009). Leurs résultats suggèrent qu'une concordance parfaite (type forestier et physique du sol) entre les deux types d'inventaires n'est obtenue que dans 55 % des cas. Malgré ces limites, il est proposé ici que la carte 5 permet l'interprétation de tendances régionales observables dans les peuplements forestiers. Le ministère canadien de l'agriculture et de l'agro-alimentaire propose une cartographie des zones de rusticité basée sur les conditions climatiques et l'altitude (AGR, s.d.a), cette dernière permettant de distinguer les emplacements propices à la survie des différents types d'arbres, d'arbustes et de fleurs. Suivant cette approche, cinq zones se succèdent sur le territoire PACES-AT2 (Figure 2.5.1), soit du nord au sud les zones 1b (température minimale moyenne (t_{mm}) de -48,3 à -45,6 C°), 2a (t_{mm} de -45,6 à -42,8 C°), 2b (t_{mm} de -42,8 à -40 C°), 3a (t_{mm} de -40 à -37,2 C°) et 3b (t_{mm} de -37,2 à -34,4 C°). Le territoire couvert s'étend également sur quatre zones bioclimatiques distinctes (Figure 2.5.1), soit du nord au sud (1) le domaine de pessière à mousses (zone boréale), (2) le domaine de la sapinière à bouleau blanc (zone boréale), (3) le domaine de la sapinière à bouleau jaune (zone tempérée nordique) et (4) le domaine de l'érablière à bouleau jaune (zone tempérée nordique) (MRN, s.d.a). Ainsi, tout laisse supposer que les transitions de peuplements forestiers se succédant du nord vers le sud résulteraient d'un contrôle principalement d'ordre climatique.

Figure 2.5.1 Zones de rusticité et zones bioclimatiques du territoire à l'étude



Référence : Zones de rusticité adaptées de AGR, s.d.a; Zones bioclimatiques adaptées de MRN, s.d.a

2.6 Milieux humides (Carte 6)

Les milieux humides se définissent comme des terres maintenues en conditions saturées durant une période suffisante pour que s'opèrent des processus se caractérisant notamment par un faible drainage des sols, par la présence d'hydrophytes et par l'établissement d'activités biologiques propres aux conditions humides (Groupe de travail national sur les terres humides, 1997). Les milieux humides constituent généralement une zone de transition entre les écosystèmes aquatiques et terrestres et les limites entre ces derniers forment un continuum (Buteau et al., 1994). Une discussion exhaustive des différentes approches de classifications relatives aux milieux humides irait au-delà de la portée du présent rapport. Pour de plus amples renseignements à cet effet, 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 milieux humides a été réalisée, dans la mesure du possible, avec un souci de conformité au cadre légal québécois (Tableau 2.6.1). La Loi sur la qualité de l'environnement (LQE), article 22 (L.R.Q., c. Q-2), deuxième 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, les marécages et les tourbières ont été considérés pour la réalisation de la carte des milieux humides. Pour des précisions relatives aux définitions retenues par le ministère de l'Environnement, le lecteur est référé au Guide d'interprétation, Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (MDDEP, 2007).

Les données utilisées pour la construction de la carte des milieux humides sont rapportées au tableau 2.1.1. L'identification des différents types de milieux humides est basée sur l'approche proposée par Ménard et al., (2006). Ce rapport technique, produit par Canards Illimités Canada, fait mention des différentes requêtes cartographiques nécessaires afin de circonscrire les secteurs de milieux humides à partir des données du troisième inventaire écoforestier. Cette méthodologie ne permet pas de distinguer les marais des lacs. Ainsi, la carte 6 présente uniquement la distribution spatiale des étangs, marécages et tourbières de la région d'étude. Le tableau 2.6.1 présente les superficies du territoire occupées par chaque type de milieux humides. Les marécages et tourbières sont uniformément répartis en zones restreintes sur le territoire. Ils comptent respectivement pour 75,2 % et 20,6 % des terres humides identifiées. Ces deux types de milieux humides partagent généralement des limites contiguës. Il semble y avoir une augmentation des tourbières et marécages, tant en nombre qu'en superficie, dans la portion septentrionale de la région d'étude. Les deux catégories d'étangs représentent ensemble près de 4 % des terres humides identifiées. Ces derniers se retrouvent majoritairement au sein des tourbières.

Tableau 2.6.1 Classes de milieux humides du territoire

| Milieux humides | Définitions retenues | Superficie (km ²) | Superficie (%) ¹ |
|--|--|-------------------------------|-----------------------------|
| Étangs (reliés au réseau hydrographique) | Plans d'eau surfaciques ayant une superficie égale ou inférieure à 8 hectares (Ménard et al, 2006) | 68,5 | 4,1 |
| Étangs (isolés du réseau hydrographique) | | 1,2 | 0,1 |
| Marécages | Zones dominées par une végétation ligneuse, arborescente ou arbustive, soumises à des inondations saisonnières et caractérisées par une nappe phréatique élevée et une circulation d'eau enrichie en minéraux (Payette et Rochefort, 2001) | 1 259,2 | 75,2 |
| Tourbières | Milieux à drainage variable où le processus d'accumulation organique prévaut sur le processus de décomposition et d'humification (Payette et Rochefort, 2001) | 344,5 | 20,6 |
| Total | | 1 673,4 | 100 |

¹ Fait référence à la superficie des milieux humides, et non au territoire PACES-AT2 en entier.

2.7 Pédologie (Carte 7)

La pédologie est le domaine de la science qui a pour but d'étudier les sols (Foucault et Raoult, 2005). La carte pédologique (Carte 7) illustre la distribution spatiale des principaux types de sols de la région. Les données utilisées pour la construction de cette carte sont rapportées au tableau 2.1.1. La carte permet de distinguer les textures et les classes de drainage des sols de la région. La texture est liée à la granulométrie des sédiments observés en surface alors que le drainage est lié à la vitesse à laquelle les surplus d'eau s'évacuent dans le sol. Ce drainage est conditionné entre autres par la position topographique, la perméabilité du sol, l'assise rocheuse, l'épaisseur de dépôts meubles, l'abondance et la régularité des apports en eau et le niveau de la nappe phréatique (MRNF, 2008a). Une classification est proposée pour mettre en évidence ces deux caractéristiques (Tableau 2.7.1).

Au niveau de la zone d'étude, les sols argileux dominent avec une couverture spatiale de plus de 39 %. Le relief plat formé par l'accumulation d'argiles dans les secteurs de basses altitudes explique la dominance de ces sols caractérisés par un mauvais drainage. La grande proportion des sols organiques (10,1 %) est liée en partie à la présence de la plaine argileuse mal drainée, les dépressions argileuses rassemblant les conditions favorables au développement des sols organiques. Les sols issus de dépôts de till couvrent 20 % du territoire, ils sont majoritairement concentrés dans les secteurs où l'élévation du socle rocheux est supérieure à l'altitude de la plaine argileuse. La nappe phréatique se situe généralement sous le premier mètre dans ce type de sols. Les sols sableux et graveleux (respectivement 3,5 et 1,3 %) sont habituellement caractérisés par un bon drainage; la nappe y est généralement à plus d'un mètre de la surface (MRNF, 2008). Sur le territoire étudié, ce type de sol est principalement associé aux eskers. Enfin, le type de sol n'a pu être déterminé pour 25,2 % du territoire. Il s'agit de secteurs occupés par les étendues d'eau, les affleurements rocheux ou les zones urbaines.

Tableau 2.7.1 Classes pédologiques du territoire

| Texture sol / Groupe sol | Niveau de drainage | Superficie (%) |
|---|---|----------------|
| Sols argileux (39,8 %) | Bien drainé | 0,1 |
| | Modérément bien drainé | 16,5 |
| | Imparfaitement drainé | 20,5 |
| | Mal drainé | 2,8 |
| | Très mal drainé | < 0,1 |
| Sols loameux (< 0,1 %) | Modérément bien drainé | < 0,1 |
| Sols sableux (3,5 %) | Bien drainé | 1,4 |
| | Modérément bien drainé | 1,3 |
| | Imparfaitement drainé | 0,6 |
| | Mal drainé | 0,2 |
| | Très mal drainé | < 0,1 |
| Sols graveleux (1,3 %) | Rapidement drainé | < 0,1 |
| | Bien drainé | 1,1 |
| | Modérément bien drainé | 0,2 |
| | Imparfaitement drainé | < 0,1 |
| Sols organiques (10,1 %) | Imparfaitement drainé | < 0,1 |
| | Mal drainé | 2,9 |
| | Très mal drainé | 7,2 |
| Sols issus de dépôts de tills (20,0 %) | Rapidement drainé | < 0,1 |
| | Bien drainé | 2,4 |
| | Modérément bien drainé | 15,3 |
| | Imparfaitement drainé | 2,2 |
| | Mal drainé | 0,1 |
| Sols divers (25,2 %) | Affleurement rocheux | 10,9 |
| | Non cartographié (p. ex. étendue d'eau, zones urbaines) | 14,3 |

2.8 Géologie du Quaternaire (Carte 8)

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. Il constitue l'évènement majeur le plus récent à avoir contribué au modelage de nos paysages actuels. Dans la région, les glaces ont commencé à se retirer il y environ 10 000 ans. Aujourd'hui, les dépôts meubles observables sur la région 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 de base de l'étude de la dynamique hydrogéologique régionale. Les éléments rapportés par Nadeau (2011) résument 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-

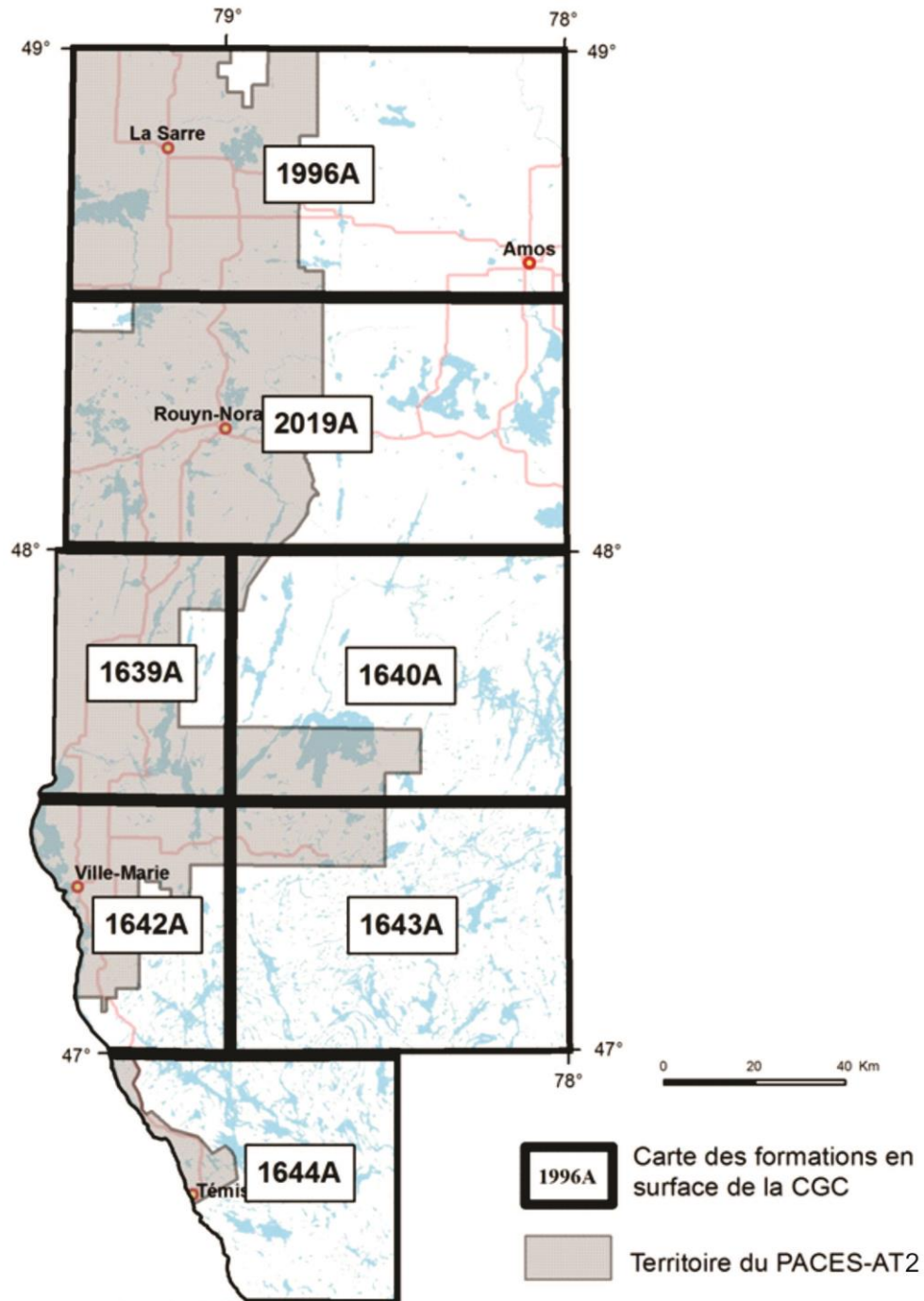
Témiscamingue est donc directement liée à la dynamique de mise en place de ces dépôts. Les sables et graviers bien triés sont généralement des sédiments caractérisés par une porosité et une perméabilité élevées, constituant ainsi les meilleurs aquifères. Bien que les argiles puissent avoir des porosités 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) (Figure 2.8.1 ; Tableau 2.1.1) ont été retenues 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 Ministère des Ressources naturelles et de la Faune) 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 aquifères superficiels. 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 PACES. La superficie couverte par chaque formation est présentée dans le tableau 2.8.1. Les principales caractéristiques de ces formations ainsi que leur origine, telles que définies par les auteurs (Figure 2.8.1), sont présentées en ordre chronologique dans les sous-sections suivantes.

Tableau 2.8.1 Formations de surface du territoire

| Formations de surface | Code légende | Superficie (km ²) | Superficie (%) |
|---|--------------|-------------------------------|----------------|
| Dépôts organiques | O | 1 032,08 | 10,0 |
| Dépôts alluviaux | A | 167,61 | 1,6 |
| Sédiments deltaïques | LGd | 24,94 | 0,3 |
| Sédiments sublittoraux et sédiments de plage | LGb | 531,31 | 5,1 |
| Sédiments d'eau profonde | LGa | 4 151,17 | 40,1 |
| Sédiments granulaires indifférenciés | G | 7,74 | 0,1 |
| Sédiments juxtaglaciaires ou complexes de sédiments juxtaglaciaires et d'épandage proglaciaire en milieu subaquatique | Gx | 159,42 | 1,5 |
| Sédiments juxtaglaciaires | Gxi+GxT | 107,57 | 1,0 |
| Sédiments d'épandage proglaciaire subaérien | Go | 12 | 0,1 |
| Till continu | Tc | 600,7 | 5,8 |
| Till discontinu | Tm | 976,23 | 9,4 |
| Substrat rocheux | R | 1 459,51 | 14,1 |
| Plan d'eau | | 1 131,3 | 10,9 |
| Total | | 10 361,58 | 100 |

Figure 2.8.1 Cartes récentes des dépôts de surface de l'Abitibi-Témiscamingue (échelle 1 : 100 000) produites par la Commission géologique du Canada



Références : Veillette, 1986a,b, Cartes 1639A, 1642A; Veillette, 1987a,b, Cartes 1640A, 1643A; Veillette et Daigneault, 1987, Carte 1644A; Thibaudeau et Veillette, 2005, Carte 1996A; Veillette, 2004, Carte 2019A

2.8.1 Dépôts glaciaires (Till)

Les plus anciens dépôts qui affleurent sur la région d'étude sont des tills. Déposés en discordance sur le socle rocheux, les couches de tills résultent du transport par la glace des sédiments arrachés au substrat rocheux et de la reprise en charge de dépôts meubles anciens. Sur la carte des dépôts de surface, le till se présente sous la forme d'une couche continue (Tc) d'épaisseur variable pouvant atteindre plusieurs mètres, ou sous la forme d'une couche mince (inférieure à 1 m) et discontinue (Tm). Le till s'observe sur 15,2 % du territoire et plus spécifiquement dans le secteur des collines Abijévis, des monts Fabie, du mont Kanasuta, des collines Kékéko, au sud du lac Simard près de Belleterre, près de Témiscaming, Eagle Village et Kipawa. Il affleure peu dans les secteurs de faibles altitudes puisqu'il y est souvent masqué par des sédiments fluvioglaciaires, glaciolacustres, éoliens et/ou organiques. Sous ces dépôts, l'identification de la présence du till est difficile compte tenu de sa discontinuité et de sa composition granulométrique pouvant être 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 retrouver le till dans les dépressions du socle rocheux, à l'abri des processus d'érosion. Les travaux de la CGC (Figure 2.8.1) 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). Au pourtour du lac Témiscamingue, la présence de till carbonaté a été constatée. Il proviendrait des lambeaux de roches paléozoïques situés au nord-est du lac Témiscamingue, du côté ontarien. La granulométrie de ce till ne change toutefois pas significativement, suggérant un apport plus dominant de sédiments issus des roches cristallines (Veillette, 1996).

2.8.2 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, consiste en une accumulation linéaire rectiligne ou sinueuse de sable et de gravier. 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 et sont 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 en s'acheminant 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, gravier et sable grossiers témoignant de la force de l'eau dans ces tunnels sous-glaciaires. Les eskers situés au nord de La Sarre, à l'ouest de D'Alembert, entre Nédelec et Guérin, à Angliers, Moffet et Latulipe-et-Gaboury sont les principaux de la région.

Les sédiments juxtaglaciaires interlobaires (Gxi) sont principalement associés à la Moraine d'Harricana. Cette moraine s'observe dans la région uniquement dans la municipalité de Témiscaming, connue aussi sous le nom de moraine du lac McConnell (Boissonneau 1968), et à l'est de Belleterre. Cette moraine, mise en place en position interlobaire (Allard, 1974; Veillette, 1986c), marque l'ouverture telle 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, est l'un des plus importants complexes fluvioglaciers de l'Amérique du Nord (Veillette, 1996). La portion de la moraine près de Témiscaming renferme une teneur en carbonate qui contraste avec les sédiments voisins issus de roches cristallines, l'eau qui y circule posséderait donc des propriétés physico-chimiques bien différentes de celle des aquifères avoisinants. Les moraines frontales de Roulier, Laverlochère et Fabre sont d'autres sédiments juxtaglaciers qui s'apparentent à ceux de la Moraine d'Harricana. D'après Veillette (1996), la moraine de Roulier marque une halte du glacier qui se retirait vers le nord-ouest. Plusieurs buttes et affleurements rocheux auraient servi de points d'appui au front glaciaire. Les moraines de Laverlochère (Daigneault, 1986) et de Fabre, en forme d'arc de cercle, résultent plutôt de la présence d'un lobe de glace tardive. À cette phase du projet, il n'y a pas encore de distinction entre les différents types de moraines. Elles sont toutes identifiées sous l'appellation « sédiments juxtaglaciers » et il est considéré qu'elles sont formées de sable et de gravier stratifiés mis en place en milieu sous-aquatique.

Les sédiments d'épandage proglaciaires subaérien (Go) forment des plaines d'épandage majoritairement localisées autour du lac aux Sables près de Belleterre et près de Témiscaming. Ils comblent généralement les fonds de vallées ou se retrouvent en bordure de lacs.

2.8.3 Dépôts glaciolacustres

Avec une couverture de plus de 40 %, les sédiments d'eau profonde (LGa) dominent la région. Ils ont été mis en place dans les lacs proglaciaires Barlow et 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 (tel que les eskers). Ils forment une plaine argileuse qui atténue les accidents du socle rocheux. »

Au sud du Témiscamingue, l'altitude maximale atteinte par l'argile est de 240 m. Cette altitude s'élève progressivement pour culminer au niveau de Rouyn-Noranda, à 320 m, et atteint une élévation d'approximativement 310 m au nord de La Sarre. À certains endroits au Témiscamingue, près du lac Témiscamingue, des épaisseurs d'argile supérieures à 50 m ont été mesurées. Toutefois, des épaisseurs d'environ 10 m sont généralement observées sur la région. Sur le pourtour du lac Témiscamingue, les travaux de Veillette (1996) ont montré la présence d'argile carbonatée. Tout comme le till, ces particules proviendraient de l'érosion des roches paléozoïques au nord-est du lac Témiscamingue.

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 ¹⁴C ka BP (8,45 cal ka BP; Barber *et al.*, 1999), tandis que le lac Barlow s'est drainé vers le Saint-Laurent par la rivière des Outaouais. Tout au long de leur 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 pas été assez épaisse pour permettre la sédimentation d'argile. Leur épaisseur varie généralement entre 1 et 5 m mais peut atteindre jusqu'à 20 m par endroit et leur granulométrie est composée de sable, sable limoneux et gravier.

Les sédiments deltaïques (LGd) forment principalement des deltas d'eskers. Composés de sable et de gravier, ils occupent la zone de transition entre les dépôts fluvioglaciaires et glaciolacustres. Dans la région, c'est le delta associé à la moraine de Roulier, qui marque une halte dans le retrait du glacier, qui regroupe la plus grande part de ces sédiments. D'autres deltas, plus petits, s'observent surtout au Témiscamingue.

2.8.4 Dépôts alluviaux

Les dépôts alluviaux (A) se composent majoritairement de sable limoneux, limons argileux, sable et gravier mis en place dans les plaines alluviales. Ils atteignent au plus quelques mètres d'épaisseur et occupent 1,6 % du territoire, soit dans les plaines inondables de rivières et de ruisseaux.

2.8.5 Dépôts organiques

Les dépôts organiques (O) ont été traités plus en détail dans la section 2.6. Localisés dans des milieux faiblement inclinés et généralement mal drainés, ils abondent particulièrement sur les sédiments glaciolacustres à grains fins (argile), notamment au nord du lac Abitibi. L'épaisseur des dépôts organiques est généralement inférieure à 5 m.

2.9 Géologie du socle rocheux (Carte 9)

L'eau souterraine des aquifères rocheux de la région de l'Abitibi-Témiscamingue circule au sein d'une vaste 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. 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 9) constitue une compilation des cartes géologiques au 1 : 20 000 rendues disponibles par SIGEOM (Tableau 2.1.1). 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 chevauche les sous-provinces géologiques de l'Abitibi et du Pontiac, des composantes de la Province du Supérieur du Bouclier canadien, ainsi qu'une mince bande de la province de Grenville, dans le secteur

sud. La sous-province de l'Abitibi, qui couvre le nord de la région, 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 (basalte, andésite) se présentent dans la région sous la forme de bandes allongées orientées 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 Chazel ainsi que dans les secteurs de Duparquet – Destor et McWatters. Des intrusions archéennes constituant de grands batholites et plutons felsiques, de forme plus ou moins circulaire, sont observables dans la portion nord de la région. Ces intrusions dominent le secteur de Clerval, La Sarre, Colombourg, Palmarolle, Poularies, Sainte-Germaine-Boulé ainsi qu'entre Évain et D'Alembert. Les roches intrusives intermédiaires se retrouvent surtout dans le secteur de Palmarolle, du lac Macamic et dans plusieurs petits secteurs à l'ouest de D'Alembert. Les roches intrusives mafiques se retrouvent en grande majorité dans les roches volcaniques des collines Abijévis, près de Destor et dans les secteurs de Roquemaure et Arntfield tandis que les roches intrusives ultramafiques occupent sporadiquement de faibles superficies dont de fines bandes situées aux limites des municipalités de Dupuy, La Sarre et Rapide-Danseur.

La sous-province du Pontiac, localisée au sud de Rouyn-Noranda et principalement au Témiscamingue, est séparée de la sous-province de l'Abitibi par la faille de Cadillac, une structure qui s'étend d'est en ouest sur une distance de plus de 100 kilomètres. La sous-province du Pontiac est formée par des orthogneiss et des granitoïdes (55 %), par des roches sédimentaires ou des paragneiss (40 %) et par des roches volcaniques (5 %) qui atteignent généralement le faciès des amphibolites (Hocq et Verpaelst, 1994). Sur le territoire du PACES-AT2, les roches métasédimentaires dominent au nord dans le secteur de Beaudry, Cloutier, Sainte-Agnès-de-Bellecombe et se retrouvent aussi dans le secteur de Notre-Dame-du-Nord. D'autres roches sédimentaires non déformées, plus jeunes, d'âge protérozoïque (Groupe de Cobalt), recouvrent en discordance les roches archéennes du Pontiac (Hocq et Verpaelst, 1994), entre Saint-Édouard-de-Fabre et Saint-Bruno-de-Guigues le long du lac Témiscamingue, et un segment de la faille de Cadillac entre l'Ontario et la route 391. Les roches intrusives dominent sur une très large superficie, notamment dans le secteur de Fugèreville, Guérin, Laforce, Moffet, Nédelec, Rémigny et Rollet. Les roches volcaniques, couvrant une superficie moins étendue dans ce secteur, se retrouvent près de Saint-Eugène-de-Guigues, Angliers et Belleterre. Au sud, la sous-province du Pontiac est limitée par le Front du Grenville, une zone tectonique protérozoïque majeure qui possède, au Québec, une longueur de près de 1 200 kilomètres.

La Province de Grenville constitue, quant à elle, la dernière province d'âge Précambrienne à s'être ajoutée au noyau du Bouclier canadien (Hocq, 1994). Dans la région, elle constitue l'assise rocheuse de la municipalité de Témiscaming et se compose principalement de gneiss quartzofeldspathique.

Des dykes de diabase d'âge protérozoïque, d'orientation prédominante nord-est – sud-ouest, recoupent, à peu près à angle droit, les roches archéennes des deux sous-provinces précédemment décrites. Outre la faille de Cadillac qui relie les localités de Val-d'Or et Cadillac et se prolonge vers l'ouest jusqu'à Kirkland Lake en Ontario, quelques grands systèmes de failles recoupent la sous-province de l'Abitibi d'est en ouest, telles que les failles de Lyndhurst, Macamic, Parfouru et Porcine-Destor. D'autres failles perpendiculaires, plus petites, d'orientation nord-sud les croisent.

2.10 Conditions climatiques

Deux échelles temporelles distinctes sont retenues ici afin de discuter des conditions climatiques du territoire à l'étude. Les données historiques disponibles (1900 – 2010) sont d'abord traitées afin de présenter des statistiques régionales et d'illustrer les tendances dans l'évolution des conditions du climat sur l'ensemble de la plage de données disponibles. Les données issues de la période 1981 – 2010 sont subséquentement traitées de façon distincte (Section 2.10.2) afin de proposer une interprétation des conditions climatiques ayant prévalu sur la dernière tranche de 30 ans disponible au niveau de l'historique des données.

2.10.1 Période de 1900 à 2010

Des calculs statistiques ont été réalisés sur les données météorologiques (températures journalières minimales et maximales) et les apports verticaux (quantités d'eau provenant de la fonte des neiges ainsi que de la pluie). Ces données constituent des intrants significatifs pour l'étude de la dynamique hydrogéologique de la région, notamment pour la réalisation de bilans hydrologiques. Les moyennes présentées au tableau 2.10.1.1 ainsi qu'aux figures 2.10.1.1, 2.10.1.2 et 2.10.2.1 sont basées sur la version « juin 2012 » des données interpolées par le *Centre d'Expertise Hydrique du Québec* (CEHQ). Des valeurs quotidiennes pour l'historique 1900-2010 sur un maillage de 0,1° (lat., long.) sont disponibles pour la zone d'étude. Le maillage défini par les 132 points de grille qui couvrent la région d'étude est présenté à la figure 2.10.1.2. Les données associées à chacun des points de grille ont été obtenues par une interpolation de type krigeage simple isotropique. Des semi-variogrammes mensuels distincts ont été réalisés pour chaque type de données. Pour de plus amples informations sur la méthodologie employée par la CEHQ ainsi que sur les sources de données prises en compte, le lecteur est référé à Poirier et al., (2012). Le Tableau 2.10.1.1 présente les statistiques réalisées sur les données issues de six points de grille ainsi que les moyennes régionales (moyenne sur 132 points de grille). Les points de maillage sélectionnés correspondent approximativement aux extrémités septentrionale et méridionale ainsi qu'au centre de la région d'étude. Ils sont identifiables sur la figure 2.10.1.2 par un carré noir ou blanc et estampillé par une lettre noire ou blanche (« N » pour nord, « C » pour centre, « S » pour sud, « e » pour est, « c » pour centre et « o » pour ouest). Ce choix est motivé par l'objectif de vérifier l'existence de gradients dans les données de température et d'apports verticaux. La figure 2.10.1.1 présente les fluctuations temporelles des moyennes-mobiles régionales (calculées sur 12 mois) pour l'ensemble de l'historique considéré (1900-2010).

Les moyennes mensuelles des températures (Tableau 2.10.1.1) suggèrent l'existence d'un gradient thermique selon la latitude (2,5 °C d'écart pour T_{\max} entre les stations du nord et du sud). Le mois le plus chaud (juillet) ainsi que le plus froid (janvier) sont communs pour la moyenne régionale et les six points de grille retenus. Les moyennes calculées pour les apports verticaux tendent, quant à elles, à indiquer un léger accroissement du nord vers le sud (21 mm entre les stations du nord et du sud quant aux moyennes annuelles). Cet accroissement est plus marqué le long du profil est – ouest, avec une différence de 66 mm entre les points de grille situés aux deux extrémités. Janvier est le mois ayant le moins d'apports pour tous les points de grille. Les apports verticaux les plus importants sont observés en avril pour l'est, le sud, l'ouest ainsi que le centre de la région d'étude, alors que l'on observe plutôt des apports verticaux maximum en mai dans le secteur nord, sans doute en raison d'un dégel plus tardif.

Tableau 2.10.1.1 Moyennes mensuelles des températures minimales et maximales journalières et des apports verticaux pour la période 1900-2010

| Profil | Station | | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre | Annuel |
|----------------------|---------------------|-------------------------------|---------|---------|-------|-------|-------|------|---------|------|-----------|---------|----------|----------|--------|
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| nord - sud | 792_490 (nord) | T _{Max} ¹ | -11,8 | -9,5 | -2,5 | 5,9 | 14,6 | 20,7 | 22,9 | 21,2 | 15,8 | 8,4 | -0,4 | -8,5 | 6,4 |
| | | T _{Min} ¹ | -25,0 | -23,8 | -16,9 | -6,4 | 1,2 | 7,2 | 10,3 | 9,1 | 5,2 | -0,3 | -8,0 | -18,9 | -5,5 |
| | | AVM | 1,6 | 3,6 | 24,5 | 140,4 | 145,3 | 85,8 | 94,5 | 89,4 | 98,8 | 74,1 | 33,6 | 4,4 | 795,9 |
| | 792_482 (centre) | T _{Max} ¹ | -10,5 | -8,4 | -1,6 | 6,8 | 15,5 | 21,4 | 23,7 | 22,0 | 16,6 | 9,3 | 0,6 | -7,4 | 7,3 |
| | | T _{Min} ¹ | -23,6 | -22,4 | -15,4 | -5,2 | 2,3 | 8,1 | 11,0 | 9,8 | 5,7 | 0,4 | -7,0 | -17,8 | -4,5 |
| | | AVM | 2,1 | 4,5 | 27,1 | 153,8 | 142,1 | 87,0 | 90,7 | 88,8 | 95,2 | 72,3 | 35,8 | 5,0 | 804,5 |
| | 791_468 (sud) | T _{Max} ¹ | -8,2 | -6,6 | 0,1 | 8,4 | 16,7 | 22,3 | 24,7 | 23,2 | 18,0 | 10,8 | 2,3 | -5,3 | 8,9 |
| | | T _{Min} ¹ | -21,0 | -20,1 | -13,3 | -3,6 | 3,3 | 9,3 | 12,2 | 11,0 | 6,9 | 1,5 | -5,4 | -15,4 | -2,9 |
| | | AVM | 2,7 | 5,2 | 32,6 | 167,7 | 137,7 | 85,3 | 87,3 | 83,9 | 90,1 | 74,3 | 42,5 | 7,9 | 817,0 |
| est - ouest | 786_475 (est) | T _{Max} ¹ | -9,1 | -7,2 | -0,4 | 7,8 | 16,3 | 22 | 24,2 | 22,6 | 17,3 | 10,1 | 1,5 | -6,2 | 8,2 |
| | | T _{Min} ¹ | -22,3 | -21,4 | -14,5 | -4,4 | 2,8 | 8,6 | 11,5 | 10,3 | 6,2 | 0,9 | -6,4 | -16,8 | -3,8 |
| | | AVM | 3,5 | 6,5 | 40,5 | 178,6 | 119,5 | 88,4 | 97,7 | 90,7 | 98,1 | 78,6 | 45,4 | 9,0 | 856,5 |
| | 790_475 (centre) | T _{Max} ¹ | -9,1 | -7,4 | -0,6 | 7,7 | 16,2 | 21,9 | 24,2 | 22,6 | 17,4 | 10,1 | 1,5 | -6,2 | 8,2 |
| | | T _{Min} ¹ | -22,3 | -21,4 | -14,4 | -4,3 | 2,9 | 8,7 | 11,6 | 10,3 | 6,3 | 1,0 | -6,2 | -16,7 | -3,7 |
| | | AVM | 3,2 | 5,1 | 35,7 | 169,9 | 119,9 | 86,8 | 93,4 | 88,1 | 96,0 | 76,6 | 42,9 | 8,1 | 825,7 |
| | 795_475 (ouest) | T _{Max} ¹ | -8,8 | -7,1 | -0,4 | 8,1 | 16,5 | 22,3 | 24,6 | 23 | 17,9 | 10,6 | 2,1 | -5,7 | 8,6 |
| | | T _{Min} ¹ | -21,6 | -20,5 | -13,7 | -3,7 | 3,5 | 9,4 | 12,3 | 11,1 | 7,1 | 1,7 | -5,5 | -15,8 | -3,0 |
| | | AVM | 4,8 | 8,8 | 53,6 | 159,9 | 83,0 | 84,1 | 87,1 | 82,6 | 91,3 | 75,5 | 46,5 | 13,4 | 790,5 |
| Moyenne ² | T _{Max} | -10,3 | -8,3 | -1,4 | 7,0 | 15,6 | 21,4 | 23,7 | 22,1 | 16,7 | 9,4 | 0,8 | -7,1 | 7,6 | |
| | T _{Min} | -23,3 | -22,2 | -15,3 | -5,1 | 2,3 | 8,2 | 11,2 | 10,0 | 5,9 | 0,5 | -6,9 | -17,5 | -4,3 | |
| | AVM | 2,4 | 4,9 | 31,3 | 156,6 | 132,5 | 87,2 | 92,7 | 88,7 | 96,0 | 74,4 | 38,4 | 6,6 | 811,7 | |

T_{Max} et T_{Min} : Températures maximales et minimales moyennes en degrés Celsius. AVM : Apports verticaux moyens en mm.

¹ Les minimum et maximum journaliers moyens sur l'historique concerné (1900-2010) sont rapportés pour chaque mois.

² Moyenne régionale calculée sur les 132 points de grille du territoire à l'étude.

Figure 2.10.1.1 Moyennes mobiles sur douze mois pour la période 1900-2010

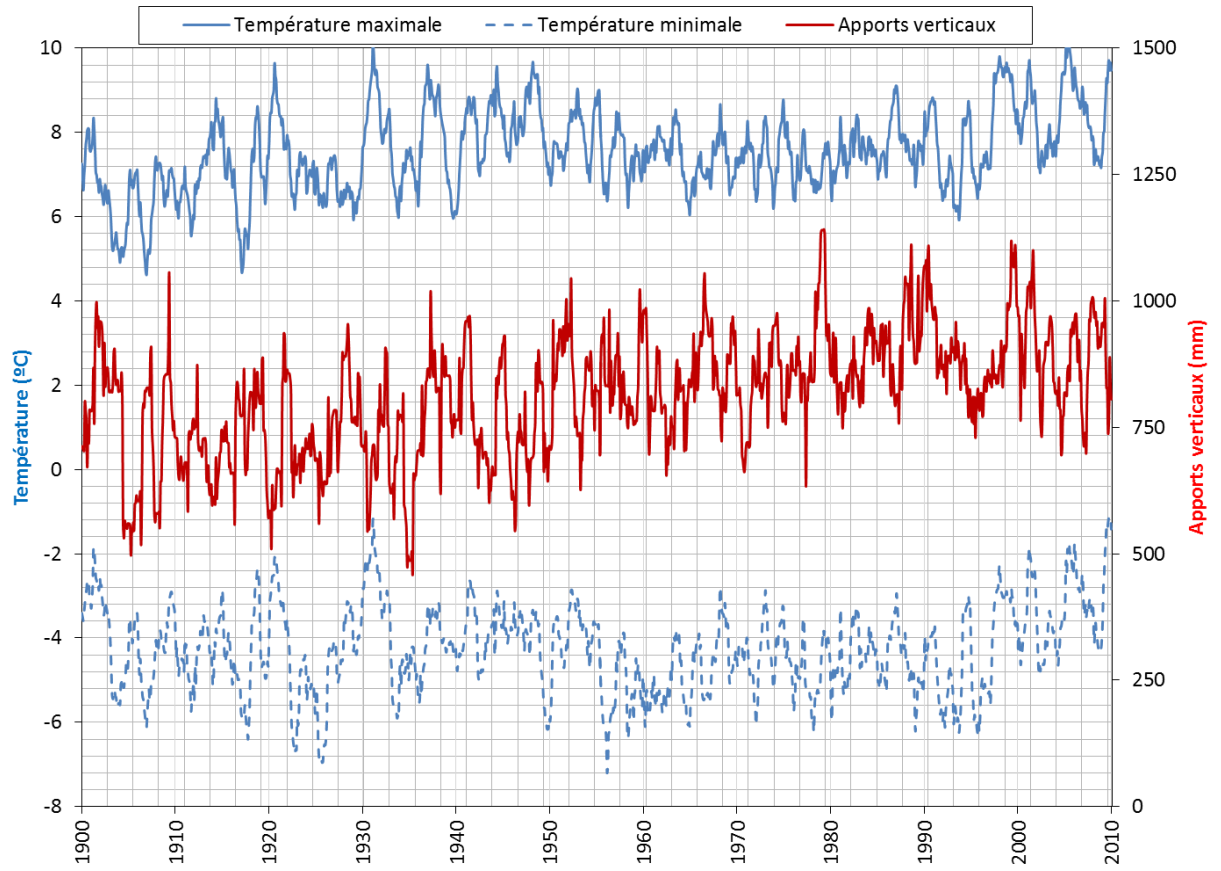
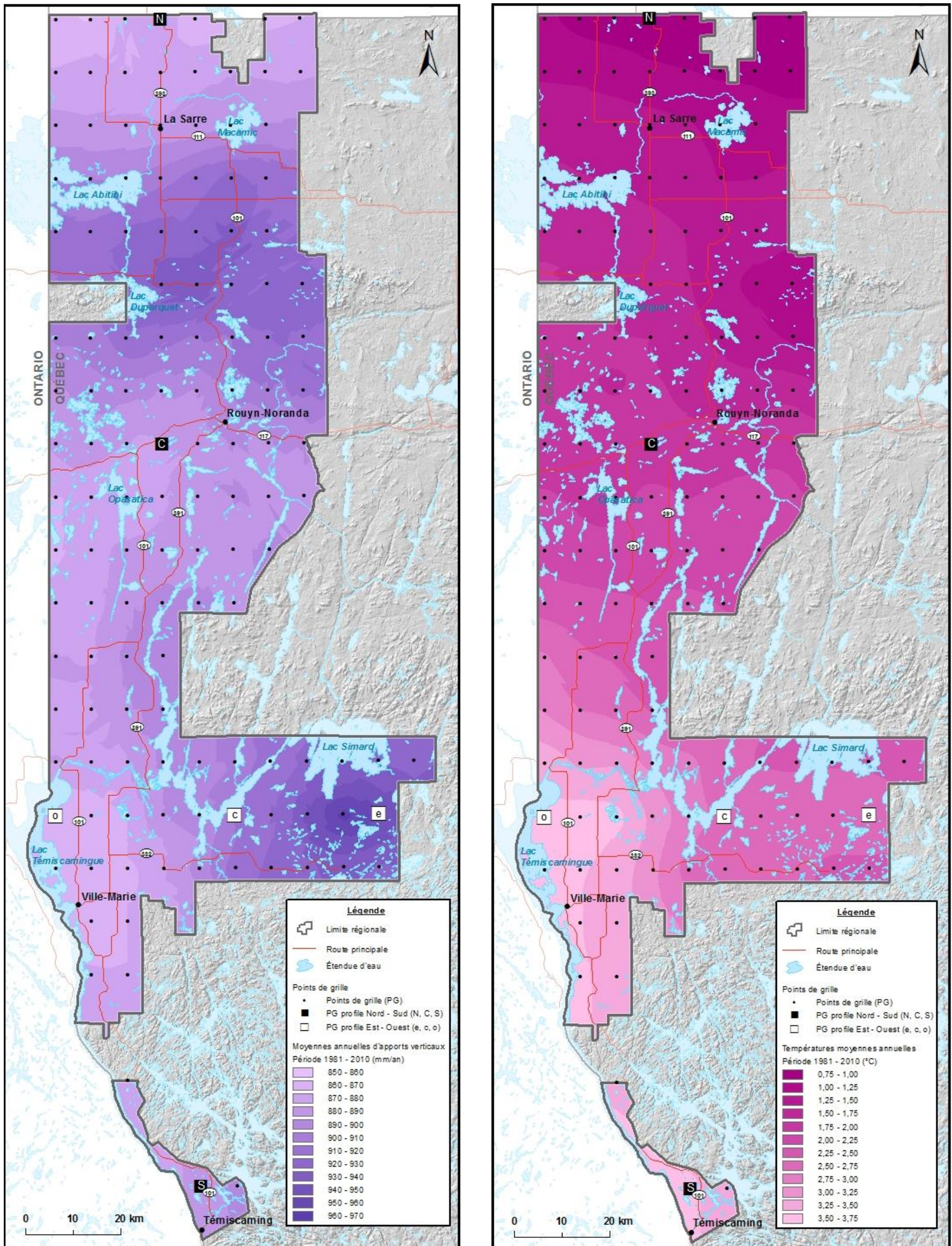


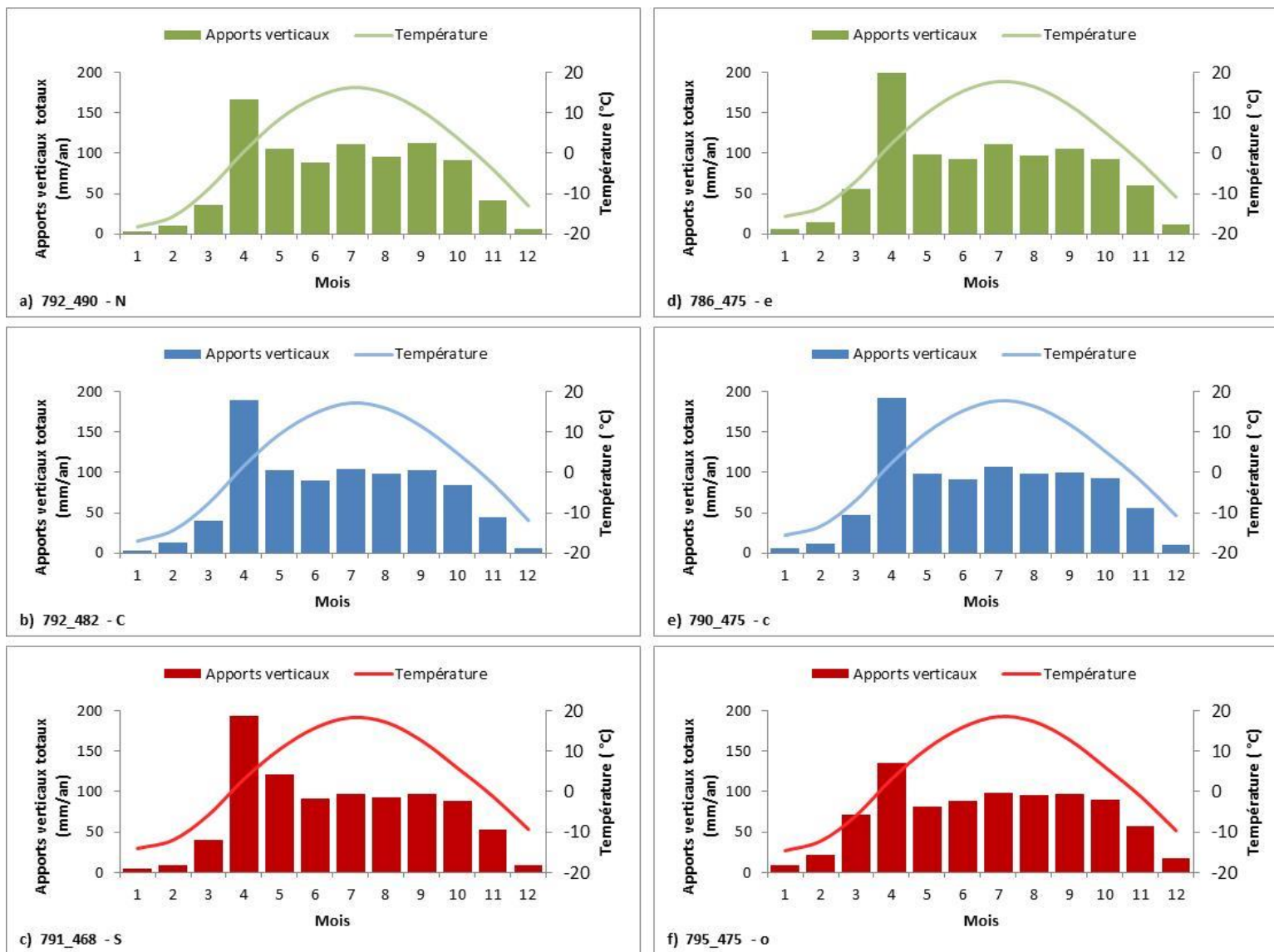
Figure 2.10.1.2 Distribution spatiale des moyennes annuelles des apports verticaux totaux et des températures moyennes annuelles



2.10.2 Période de 1981 à 2010

Les 30 dernières années disponibles (période 1981 - 2010) au sein du jeu de données historiques ont été retenues afin de discuter des conditions climatiques de la région d'étude. Il est proposé ici que la plage temporelle retenue (1) est suffisante pour l'évaluation des moyennes représentatives et (2) permet de donner plus de poids aux données récentes pour l'évaluation des conditions climatiques. Pour chacun des points de grille, une température intermédiaire quotidienne a été calculée en évaluant la valeur correspondante au centre de la plage de valeurs définies par les températures minimales et maximales journalières. Les données intermédiaires quotidiennes ont subséquemment été utilisées afin d'évaluer des moyennes mensuelles sur la plage temporelle considérée. Les moyennes mensuelles des apports verticaux totaux ont également été calculées. Les moyennes de température et d'apports verticaux calculées ont été associées aux 132 points de grille et interpolées par krigeage ordinaire suivant un modèle linéaire. Les valeurs interpolées ont été distribuées spatialement suivant un maillage constitué de cellules de 100 m x 100 m, les résultats sont présentés à la figure 2.10.1.2. Les figures 2.10.2.1a, b et c sont associées aux points de grille 792_490 (N-nord), 792_482 (C-centre) et 791_468 (S-sud), lesquels composent un profil orienté nord – sud. Les Figures 2.10.2.1d, e et f sont associées aux points de grille 786_475 (e-est), 790_475 (c-centre) et 795_475 (o-ouest) qui composent un profil orienté est - ouest. Ces données interpolées suggèrent l'existence d'un gradient thermique latitudinal, avec des températures moyennes annuelles se situant entre 0,75 °C et 3,75 °C. Les moyennes annuelles d'apports verticaux totaux interpolées à l'ensemble de la région d'étude varient de 850 mm/an à 970 mm/an. Les données interpolées ne permettent pas de mettre en évidence un gradient régional en ce qui a trait aux apports verticaux mais suggèrent plutôt l'existence de variations locales (p. ex. secteurs des lacs Duparquet et Témiscamingue).

Figure 2.10.2.1 Présentation des moyennes mensuelles des températures moyennes et des moyennes annuelles des apports verticaux totaux mensuels pour la période 1981 à 2010 pour six points de grille, profil nord-sud (a, b et c), profil est-ouest (d, e, et f)



2.11 Occupation du sol (Carte 10)

La carte 10 illustre la distribution spatiale de six classes d'occupation du sol (agricole, anthropique, eau, forêt, milieux humides, autres) au niveau du territoire à l'étude. Cette carte permet notamment une appréciation des empreintes anthropiques sur le territoire (p. ex. classes agricole et anthropique). Le Quatrième inventaire écoforestier produit par le Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune (MRNF) a été utilisé afin de réaliser la carte 10 (Tableau 2.1.1). Le tableau 2.11.1 présente les six classes retenues, les superficies qu'elles représentent, ainsi que les sous-classes regroupées.

Tableau 2.11.1 Classes d'occupation du sol du territoire

| Classe | Sous-classes regroupées | Superficie (km ²) | Superficie (%) |
|-----------------|--|-------------------------------|----------------|
| Agricole | Terre agricole | 1 049,0 | 10,1 |
| | Terrain agricole localisé dans les secteurs agroforestiers | | |
| | Verger fruitier | | |
| Anthropique | Aire d'empilement et d'ébranchage | 119,0 | 1,1 |
| | Anthropique | | |
| | Défriché | | |
| | Gravière | | |
| | Ligne de transport d'énergie | | |
| | Milieu faiblement perturbé par l'activité humaine | | |
| | Route | | |
| Villégiature | | | |
| Eau | Étendue d'eau, cours d'eau | 1 088,1 | 10,5 |
| Forêt | Île boisée de 1 ha et moins | 6 316,5 | 61,0 |
| | Forêt | | |
| Milieux humides | Aulnaie | 1 673,4 | 16,2 |
| | Dénudé humide | | |
| | Site inondé | | |
| Autres | Dénudé sec | 115,6 | 1,1 |
| | Non interprété | | |
| Total | | 10 361,6 | 100,0 |

Les zones forestières et de milieux humides occupent ensemble 77,2 % du territoire PACES-AT2. La couverture de terres humides est plus importante dans la partie septentrionale de la zone d'étude. La classe anthropique couvre 1,1 % de la région et cette dernière est principalement représentée au niveau des municipalités de La Sarre, Rouyn-Noranda, Ville-Marie et Témiscaming. Les zones hydriques couvrent 10,5 % de la zone d'étude. Parmi les plans d'eau d'importance, on retrouve notamment les lacs Abitibi, Duparquet, Macamic, Opasatica, et Témiscamingue. Les zones agricoles (10,1 %) occupent surtout les terres argileuses de la plaine abitibienne. Les activités agraires se concentrent dans deux aires du secteur, soit au nord de Sainte-Germaine-Boulé ainsi qu'au sud-ouest, près de la municipalité de Saint-Bruno-de-Guigues.

2.12 Affectation du territoire (Carte 11)

L'affectation du territoire concerne l'aménagement et l'urbanisme, tout en consistant en 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 comment elles entendent utiliser leurs territoires.

L'attribution d'affectations spécifiques au territoire s'intègre dans la démarche de production des schémas d'aménagement et de développement. La carte 11 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 de la Ville de Rouyn-Noranda et des MRC d'Abitibi-Ouest et de Témiscamingue. Les données ayant servi à la production de la carte 11 sont rapportées au tableau 2.1.1. Dans un souci d'homogénéisation, une nomenclature et une classification unique ont été ici adoptées. Le tableau 2.12.1 présente les définitions des regroupements retenus ainsi que les superficies du territoire occupées pour chaque type d'affectation. L'affectation forestière représente une couverture spatiale de plus de 50 % au niveau du territoire à l'étude. L'agriculture s'observe sur 15,95 % du territoire et se concentre principalement aux extrémités nord et sud du secteur cartographié. L'agroforesterie couvre 14,95 % du territoire, particulièrement au sud de la Ville de Rouyn-Noranda. Les autres affectations anthropiques (récréative, communauté autochtone, rurale, urbaine ou villégiature) sont moins répandues au niveau de la région.

Tableau 2.12.1 Définitions des classes d'affectation du territoire

| Affectation | Définition ¹ | Superficie (%) |
|-----------------------|---|----------------|
| 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 | 15,95 |
| Agroforestière | Secteurs inclus dans la zone agricole provinciale ou présentant un bon potentiel agricole, mais où l'utilisation du sol est à prédominance forestière | 14,95 |
| Conservation | Tout territoire naturel comprenant des espèces ou des écosystèmes présentant un intérêt local ou régional | 5,34 |
| 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 | 58,55 |
| Récréative | Territoires dont l'utilisation prédominante est récréative | 0,11 |
| Communauté autochtone | Territoires dédiés à l'établissement d'une communauté autochtone | 0,19 |
| Rurale | Secteurs résidentiels concentrés hors des périmètres urbains | 2,43 |
| Urbaine | Secteurs caractérisés par la diversité des fonctions à caractère urbain (résidences, commerces, industries et autres) | 1,63 |
| Villégiature | Territoires, localisés en bordure des plans d'eau, où l'on retrouve des habitations, des sites récréatifs et autres | 0,84 |
| Non défini | Territoires pour lesquels aucune affectation n'a été déterminée | < 0,10 |

¹ Ville de Rouyn-Noranda, 2010.

3. Acquisition de données complémentaires

Les travaux de terrain et de laboratoire discutés ci-après ont été réalisés dans une optique d'acquisition de données pertinentes à l'étude des cinq thèmes prioritaires ciblés dans le cadre de la première phase de l'étude (Tableau 3.1) (Cloutier et al., 2013b). Quatorze approches méthodologiques ont été retenues à cette fin, lesquelles sont abordées dans les sous-sections 3.1 à 3.14. Dans tous les cas, le choix des sites d'investigation a été réalisé afin (1) d'assurer une représentativité des données à l'échelle régionale et (2) d'optimiser les aspects relatifs à la logistique (p. ex. accès aux sites).

Tableau 3.1 Répartition des travaux réalisés en fonction des thèmes ciblés

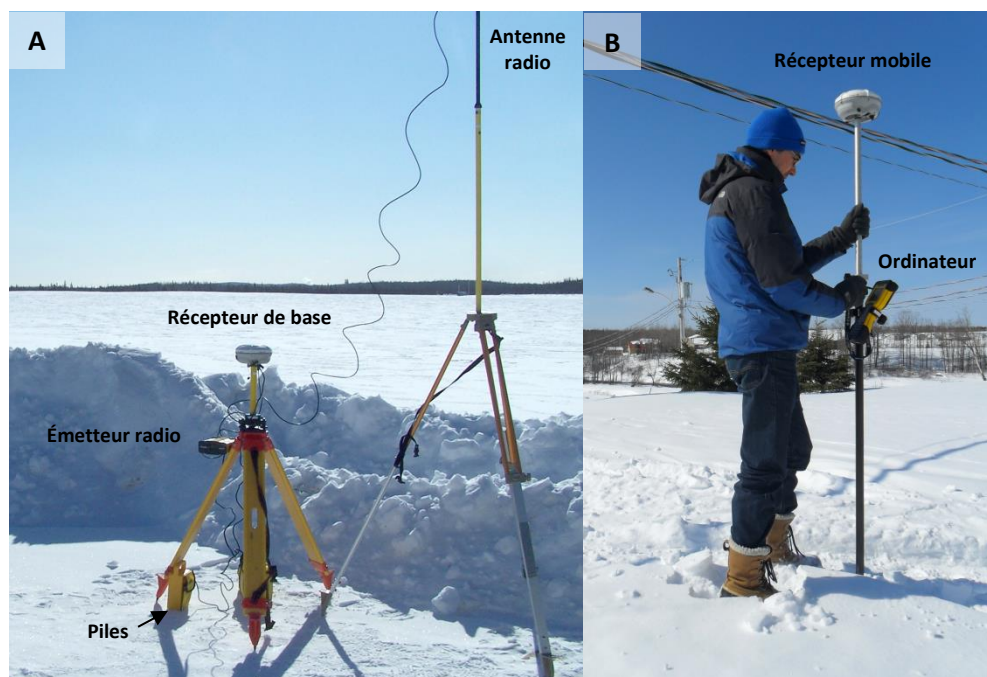
| Thèmes/objectifs ciblés | Réalisations |
|--|--|
| Évaluation des propriétés hydrogéologiques (propriétés physiques et paramètres hydrauliques) des différentes unités géologiques du territoire | Acquisition de données de résistivité électrique (section 3.4) Forages et échantillonnage des matériaux granulaires (section 3.5) Installation de piézomètres (section 3.6) Essais au perméamètre de Guelph (section 3.8) Essais à l'infiltromètre à double anneau (section 3.9) Essais <i>in situ</i> de perméabilité à charge variable (section 3.10) Essais en colonnes (section 3.11) Analyses granulométriques (section 3.12) |
| Évaluation des liens hydrauliques entre les différents aquifères régionaux et les plans d'eau de surface | Acquisition de données topographiques (section 3.1) Installation de piézomètres (section 3.6) Suivis piézométriques et thermiques (section 3.7) Échantillonnages géochimiques (section 3.13) |
| Évaluation de la piézométrie en flanc d'eskers et moraines et des liens hydrogéologiques entre ces aquifères à nappe libre et les aquifères à nappe confinée situés dans la plaine argileuse | Acquisition de données topographiques (section 3.1) Acquisition de données de résistivité électrique (section 3.4) Installation de piézomètres (section 3.6) Suivis piézométriques et thermiques (section 3.7) Analyses géochimiques (section 3.13) |
| Évaluation du rôle hydrogéologique et hydrologique des tourbières à l'échelle régionale | Acquisition de données topographiques (section 3.1) Acquisition de données géoradar (section 3.2) Mesures manuelles d'épaisseur de tourbe (section 3.3) Suivis piézométriques et thermiques (section 3.7) |
| Évaluation de l'impact des activités anthropiques sur l'eau souterraine des eskers et moraines | Acquisition de données topographiques (section 3.1) Acquisition de données géoradar (section 3.2) Acquisition de données de résistivité électrique (section 3.4) Forages et échantillonnage des matériaux granulaires (section 3.5) Installation de piézomètres (section 3.6) Suivis piézométriques et thermiques (section 3.7) Échantillonnages géochimiques (section 3.13) Recensement des impacts anthropiques potentiels (section 3.14) |

3.1 Acquisition de données topographiques

Un total de 22 937 données topographiques a été acquis à l'aide d'un système de navigation global par satellite GNSS R8 de Trimble doté d'un récepteur de base, d'un récepteur mobile et d'une radio (Figure 3.1.1). Le récepteur de base est positionné de façon permanente durant la collecte de données, sa position est déterminée par triangulation grâce au réseau satellitaire disponible. Le récepteur mobile est déplacé aux points d'intérêts et les coordonnées sont déterminées par le système qui calcule la différence entre sa position et celle du récepteur de base en communiquant via l'émetteur radio. Les

données sont acquises en mode cinématique temps réel (real time kinematic (RTK)), permettant une correction en temps réel basée sur les mesures de phase des ondes satellitaires. La portée du système de communication par radio atteint environ 5 km et dépend notamment des fluctuations topographiques du terrain, du couvert forestier et des conditions atmosphériques. Afin d'obtenir une couverture spatiale adéquate et de répondre aux objectifs préétablis (Tableau 3.1), le récepteur de base a été déplacé aux endroits jugés stratégiques. La base peut être calibrée à une borne du réseau géodésique québécois afin d'améliorer la précision des données et de rendre possible la comparaison des valeurs entre les différents secteurs d'acquisition. L'erreur relative d'élévation est inférieure à 0,05 m pour chaque ensemble de données collectées avec le récepteur de base en position fixe.

Figure 3.1.1 Composantes du système de navigation global par satellite GNSS R8 de Trimble



3.2 Acquisition de données radar

Un total de 46 profils géoradar totalisant plus de 22 km d'investigation ont été acquis lors de campagnes de terrain réalisées en 2013 (juin – juillet) et en 2014 (janvier – février). La campagne de 2013 a ciblé l'acquisition de profils au niveau de segments d'eskers alors que les complexes tourbeux ont constitué le principal objet d'étude pour la campagne de 2014.

3.2.1 Principe de la méthode

Le géoradar est un appareil de prospection géophysique utilisé pour sonder les premiers mètres sous la surface du sol. Son fonctionnement s'appuie sur l'émission, la propagation, la réflexion et la réception d'ondes électromagnétiques (Neal, 2004). Les propriétés du terrain sondé et la fréquence d'émission utilisée dicteront la profondeur de pénétration de l'onde, laquelle peut varier de quelques centimètres à quelques mètres. Lorsque l'onde rencontre une interface entre des matériaux possédant des propriétés différentes (p. ex. conductivité électrique (σ), permittivité diélectrique (ϵ), perméabilité magnétique (μ)),

une portion de son énergie est réfléchiée et captée par l'antenne réceptrice qui en mesure l'intensité, laquelle témoigne du contraste de l'impédance électrique qui forme ce que l'on nomme un réflecteur.

3.2.2 Acquisition des données de terrain

Un géoradar de type Pulse EKKO Pro de Sensors & Software a été employé dans le cadre de cette étude. La motricité de l'appareil ainsi que l'homogénéité de la collecte des données ont été assurées par l'emploi de bolides construits à cette fin (Figures 3.2.2.1 et 3.2.2.2). Les positions des relevés ont été obtenues sur la base de mesures réalisées à intervalle de 1 m à l'aide d'un GNSS R8 (Section 3.1). La configuration des paramètres de l'appareil et de la collecte sont présentées au tableau 3.2.2.1.

Figure 3.2.2.1 Assemblage du géoradar (bolide sur roues, acquisition de données sur eskers)

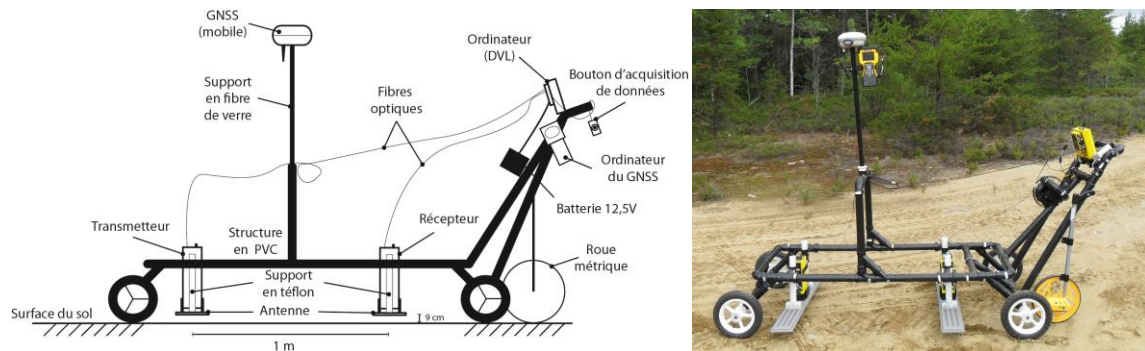


Figure 3.2.2.2 Assemblage du géoradar (bolide sur luge, acquisition de données sur complexes tourbeux)

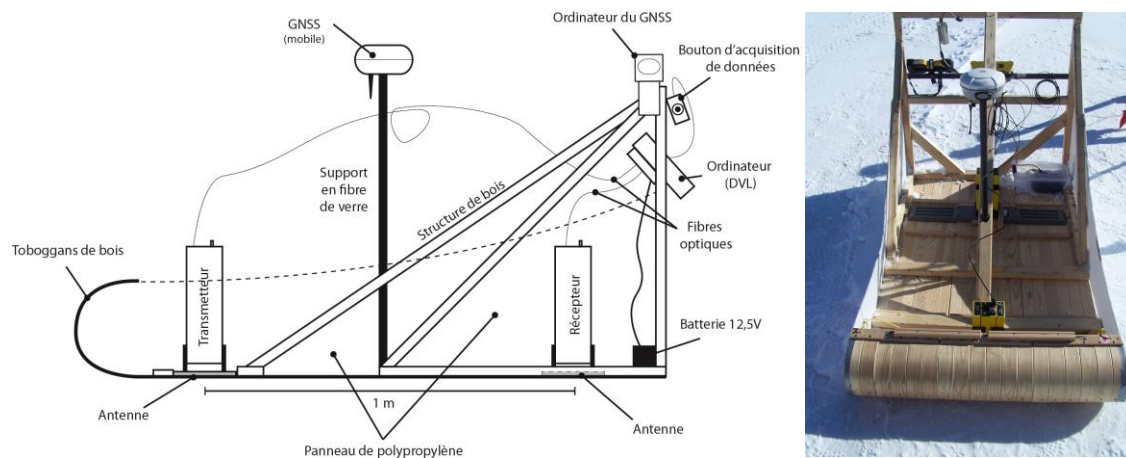


Tableau 3.2.2.1 Paramétrages utilisés

| Paramètres | Campagne 2013 | Campagne 2014 |
|-------------------------------|--|--------------------------|
| Fréquence (antennes) | 50 MHz | 100 MHz |
| Espacement entre les antennes | 1 m | 1 m |
| Mode d'échantillonnage | Continu (free run) et constant (common offset) | Constant (common offset) |
| Pas d'échantillonnage | ~ 0,3 (mode continu) et 1 m (mode constant) | 1 m |
| Fenêtre d'acquisition | 880 ns | 640 ns |
| Empilage (stacking) | 32 | 32 |
| Type de relevé | Réflexion | Réflexion |

3.2.3 Traitement des données

Le traitement des données acquises par l'appareil permet une représentation des résultats sous forme de profils où sont rapportés en abscisse les positions des points de mesure et en ordonnée les temps d'aller-retour des ondes électromagnétiques. Une conversion basée sur l'estimation de la vitesse de propagation de l'onde (v) (Tableau 3.2.3.1) au sein des milieux investigués permet d'évaluer la profondeur des réflecteurs.

Tableau 3.2.3.1 Vitesses de propagation des ondes électromagnétiques au sein des matériaux investigués

| Matériaux | Vitesse de propagation de l'onde en zone saturée ($m\ ns^{-1}$) | Vitesse de propagation de l'onde en zone non saturée ($m\ ns^{-1}$) |
|-------------------------------|---|---|
| Argile ¹ | 0,05 à 0,07 | 0,09 à 0,12 |
| Eau ¹ | 0,03 | ----- |
| Glace ² | 0,16 | ----- |
| Limon ¹ | 0,05 à 0,07 | 0,09 à 0,12 |
| Roc ¹ | 0,12 à 0,13 | ----- |
| Sable ¹ | 0,05 à 0,08 | 0,1 à 0,2 |
| Sable et gravier ¹ | 0,06 | 0,09 à 0,13 |
| Tourbe ¹ | 0,03 à 0,06 | ----- |

¹Neal (2004); ²Annan (2005).

Les données ont été traitées afin de rehausser le ratio signal sur bruit en employant le logiciel Reflex-Win 5.0.8 (Sandmeier, 2008). La séquence de traitement retenue est basée sur la réalisation d'essais itératifs fondés sur des stratégies établies dans la littérature scientifique (Woodward et al., 2003; Burke, 2008; Cloutier et al., 2013a). Le tableau 3.2.3.2 présente les traitements compris dans la séquence retenue ainsi que leurs paramètres respectifs alors que la figure 3.2.3.1 illustre l'apport de chacun des traitements modifiant l'image originale (Figure 3.2.3.1a). Individuellement, les différents traitements permettent :

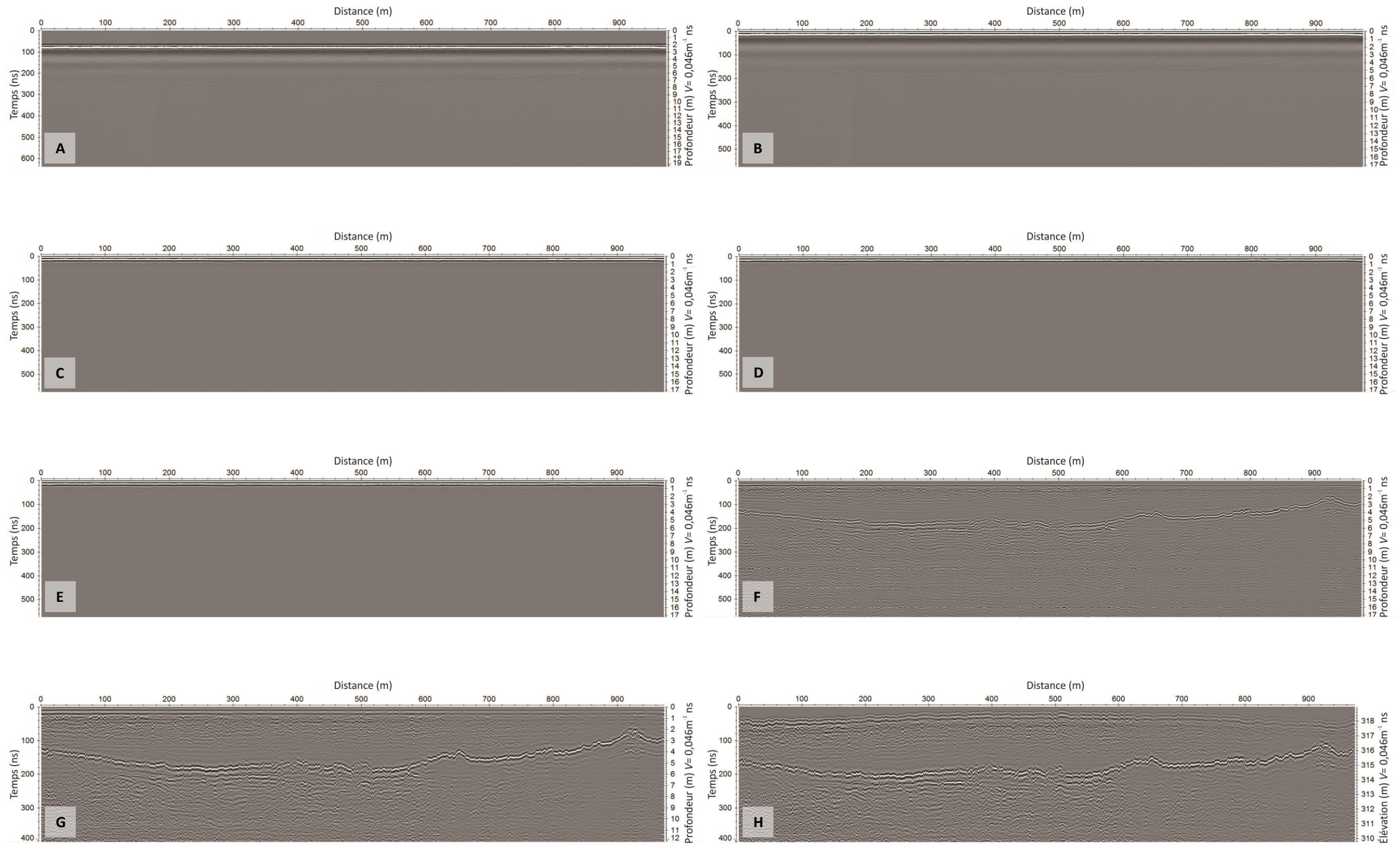
- l'élimination du signal provenant de l'onde aérienne par un repositionnement du « temps zéro » à la surface du sol (move starttime) (Figure 3.2.3.1b);
- l'élimination du bruit de basse fréquence (wow) par l'application d'un filtre temporel subtract-mean (dewow) (Figure 3.2.3.1c);
- l'élimination des bruits d'extrêmes amplitudes (basses et hautes) par l'utilisation du filtre «bandpass frequency» (Figure 3.2.3.1d);
- l'élimination du bruit induit par les antennes (ringing noise) par l'utilisation du filtre background removal (Figure 3.2.3.1e);

- le rehaussement des signaux de faibles amplitudes par l'application d'un gain (AGC-Gain ou energy decay) (Figure 3.2.3.1f);
- l'ajustement de la fenêtre temporelle de représentation des données à l'aide de l'outil « time cut » (Figure 3.2.3.1g);
- la correction des variations induites par la topographie en employant les données géographiques acquises à l'aide du GNSS (Figure 3.2.3.1h).

Tableau 3.2.3.2 Séquence de traitements utilisés

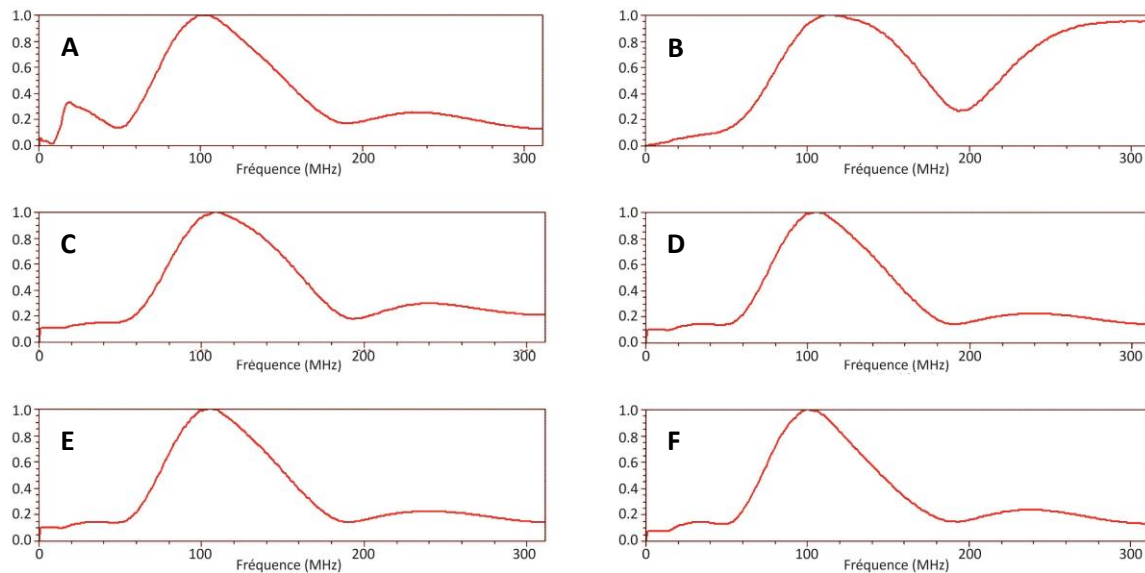
| Traitement | Paramètre (campagne estivale) | Paramètre (campagne hivernale) |
|----------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Move starttime | Variable | Variable |
| Subtract-mean (dewow) (ns) | 17,5 | 9 |
| Bandpass frequency (MHz) | 5-10-70-140 | 35-70-135-270 |
| Background removal (ns) | 100 | 50 |
| Gain | AGC-Gain 50 ns (scaling value 0,75) | Energy decay 0,005 (scaling value) |
| Time cut | Variable | Variable |
| Correction topographique | Coordonnées géographiques (GNSS) | Coordonnées géographiques (GNSS) |

Figure 3.2.3.1 Application de la séquence de traitement (exemple du profil GPR_h_39)



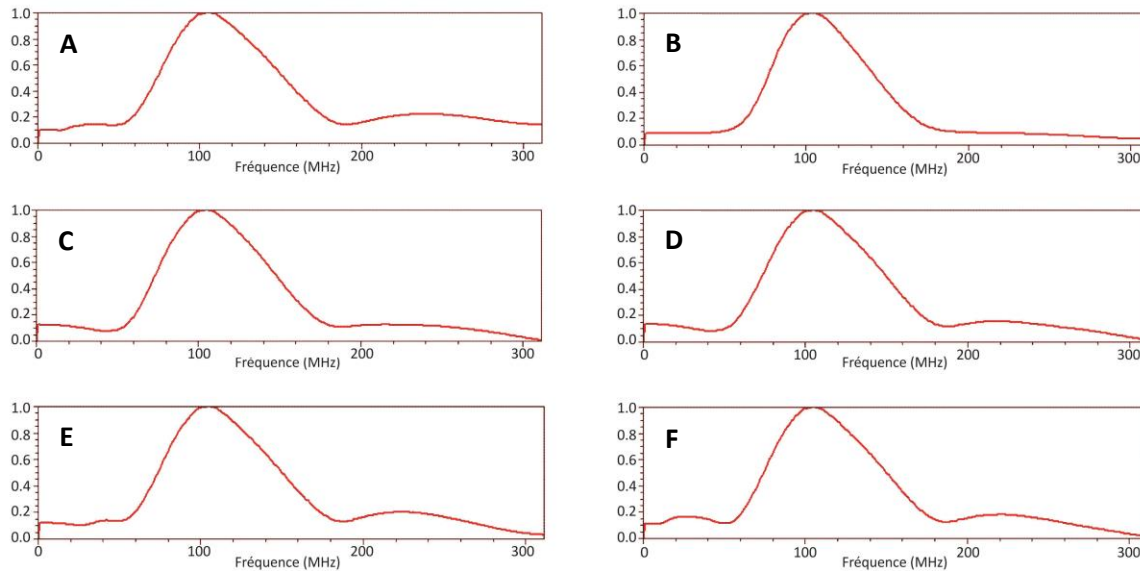
Pour chaque campagne d'acquisition, des profils ont aléatoirement été choisis afin de déterminer les paramètres optimaux de certains des traitements (« subtract-mean dewow », « bandpass frequency », « background removal »). Ces derniers permettent d'éliminer les bruits de hautes et basses fréquences sans toutefois modifier l'amplitude spectrale principale (fréquence utilisée). Pour chacun des paramètres testés, l'effet sur l'amplitude spectrale (« spectral plot ») a été observé et les paramètres offrant les meilleurs résultats ont été retenus. Les figures 3.2.3.2 à 3.2.3.4 constituent des spectres d'amplitudes relatives illustrant l'effet des traitements appliqués selon différents paramètres.

Figure 3.2.3.2 Effet de l'élimination des bruits de basses fréquences sur l'amplitude spectrale (exemple du profil GPR_h_39)



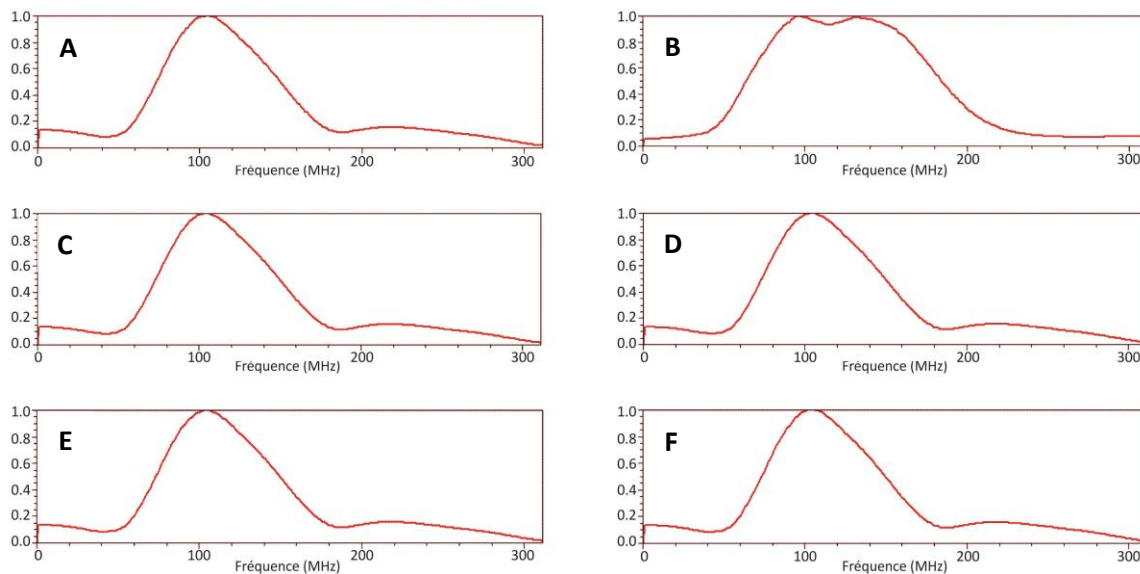
(A) Données brutes; (B) Subtract-mean (fenêtre de 5 ns); (C) Subtract-mean (fenêtre de 8 ns); (D) Subtract-mean (fenêtre de 9 ns); (E) Subtract-mean (fenêtre de 10 ns); (F) Subtract-mean (fenêtre de 15 ns).

Figure 3.2.3.3 Effet de l'élimination des bruits d'extrêmes amplitudes sur l'amplitude spectrale
(exemple du profil GPR_h_39)



(A) Données suite au subtract-mean (Figure 3.2.4D); (B) Bandpass frequency (48-96-104-208 MHz); (C) Bandpass frequency (40-80-120-240 MHz); (D) Bandpass frequency (35-70-135-270 MHz); (E) Bandpass frequency (25-50-175-350 MHz); (F) Bandpass frequency (10-20-145-290 MHz).

Figure 3.2.3.4 Effet de l'élimination du bruit induit par les antennes sur l'amplitude spectrale
(exemple sur le profil GPR_h_39)

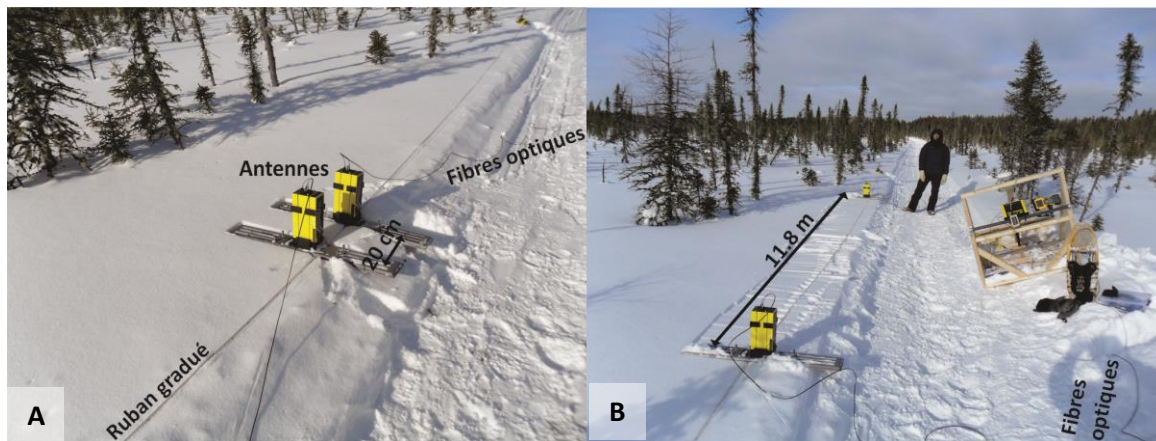


(A) Données suite au subtract-mean et au bandpass frequency (Figure 3.2.5D); (B) Background removal débutant à 0 ns; (C) Background removal débutant à 40 ns; (D) Background removal débutant à 50 ns; (E) Background removal débutant à 60 ns; (F) Background removal débutant à 100 ns.

3.2.4 Essais de type CMP

Des essais de type « *common mid-point* » (CMP) ont été réalisés dans le but d'estimer la vitesse moyenne de propagation des ondes au sein des matériaux sondés. Pour la réalisation de ces mesures, les antennes sont déplacées de façon à augmenter la distance qui les sépare à intervalles réguliers de 20 cm en maintenant la symétrie par rapport à un point central (Figure 3.2.4.1). La variation du temps d'aller-retour des ondes en fonction de la distance entre les antennes permet de calculer la vitesse moyenne de la propagation des ondes (Neal, 2004). L'analyse de la vitesse a été effectuée avec l'outil CMP du logiciel Reflex W. Deux analyses de ce type ont été réalisées lors de la période estivale et six lors de la période hivernale.

Figure 3.2.4.1 Acquisition des données de type CMP



(A) Position des antennes réceptrice et émettrice à la 1^{re} trace (0,2m); (B) Position des antennes réceptrice et émettrice à la soixantième et dernière trace (distance de 11,8m).

3.2.5 Mesures d'épaisseur de neige au sol

Des mesures d'épaisseur de neige au sol ont été réalisées à l'aide d'une tige graduée enfoncée à la surface de la neige jusqu'à l'atteinte de la tourbe gelée. Les mesures ont été prises au départ de chaque profil et à intervalles d'environ 100 m.

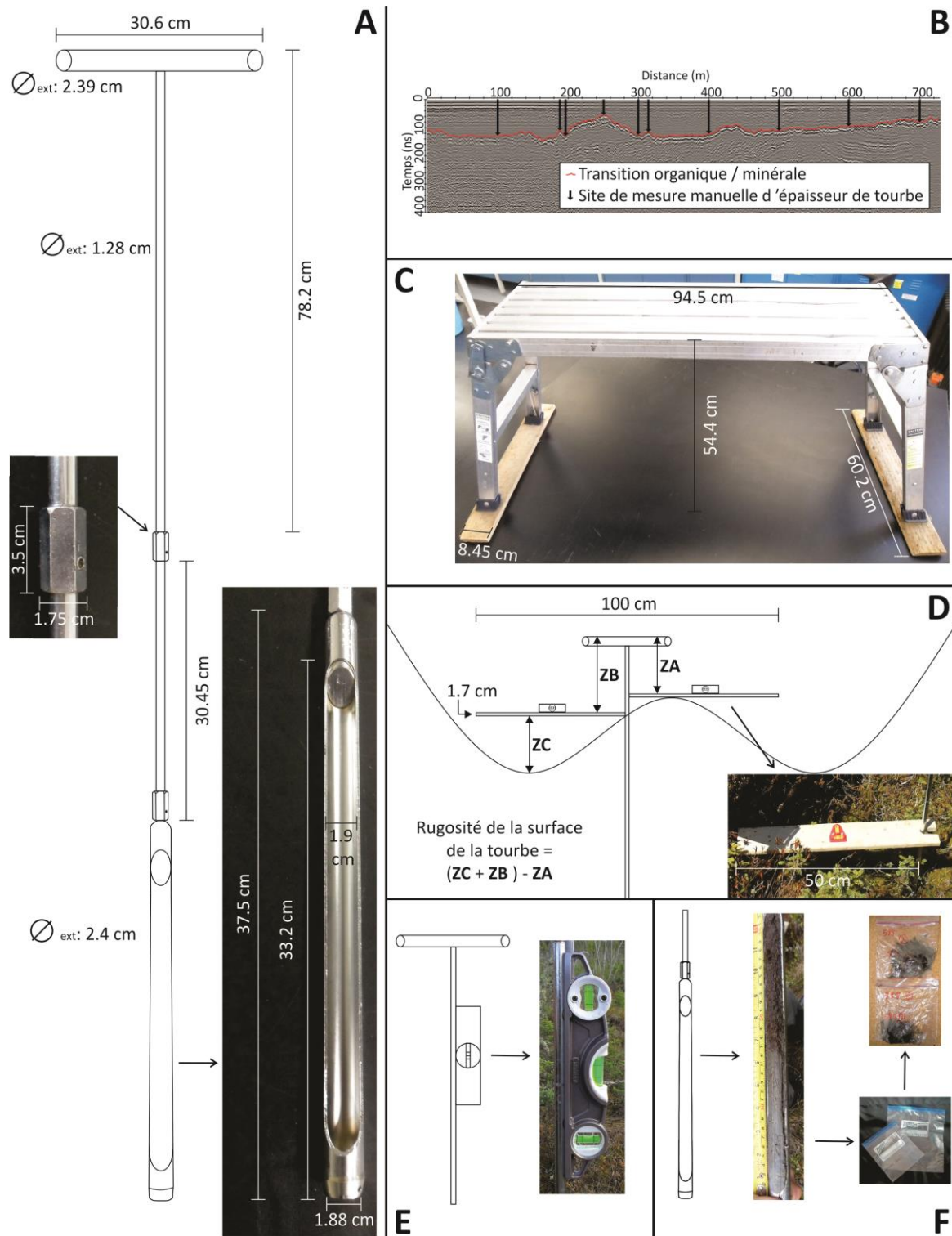
3.3 Mesures manuelles d'épaisseurs de tourbe

Une campagne de terrain visant la réalisation de mesures manuelles d'épaisseur de tourbe a été réalisée entre le 7 mai et le 25 juillet 2014. Au total, 482 mesures manuelles (dont 241 duplicatas) ont été réalisées. L'approche retenue pour la réalisation des mesures consiste en une démarche en 10 étapes présentée au tableau 3.3.1 et à la figure 3.3.1.

Tableau 3.3.1 Sommaire des démarches relatives à la réalisation de mesures manuelles d'épaisseur de tourbe

| Étapes | | Description |
|--------|---|--|
| 1 | Sélection des sites | À chaque tourbière retenue pour la réalisation de mesures radar (Section 3.2), un minimum de 30 sites ont été sélectionnés pour la réalisation de mesures manuelles d'épaisseur de tourbe à l'aide d'une sonde de type Oakfield (Figure 3.3.1a). Le choix des sites a reposé sur l'interprétation préliminaire des profils radar, dans l'optique de vérifier la validité des variations topographiques du substrat minéral observées sur ces derniers. Une distance maximale de 100 m sépare les sites de mesures. À titre d'exemple, la figure 3.3.1.b présente la distribution des sites de mesures manuelles retenus pour le profil GPR_H_42 acquis dans le secteur de Belleterre. |
| 2 | Localisation terrain des points de mesure | La concordance de positionnement géographique entre les sites de mesures manuelles et les traces radar a été assurée par l'emploi d'un GNSS (Section 3.1). Sur le terrain, les sites ont été approchés avec précaution afin d'éviter le piétinement de la surface tourbeuse à l'endroit désigné pour la réalisation des mesures. L'identification des points de mesure a été réalisée de façon à ce que l'erreur de localisation soit inférieure à 0,50 m selon le plan horizontal. |
| 3 | Installation d'un dispositif permettant de limiter le piétinement | Le piétinement est susceptible de modifier la morphologie de la surface tourbeuse. Afin d'en limiter l'impact, une plateforme offrant une surface de travail surélevée a été utilisée de façon systématique. Des planches transversales (60,2 x 8,5 x 1,8 cm) visant à limiter l'enfoncement dans le sol ont été ajoutées (Figure 3.3.1.c) à la base des pattes de support de la plateforme. |
| 4 | Enfoncement de la sonde de mesure | Les mesures d'épaisseur reposent sur l'enfoncement d'une sonde de type Oakfield (Figure 3.3.1a), à partir de la surface de travail décrite à l'étape 3. La partie supérieure de la sonde consiste en un assemblage de tiges métalliques de 78,2 cm de longueur et de 12,8 mm de diamètre externe dont les extrémités filetées sont reliées par des écrous hexagonaux de 35 mm de longueur et de 17,5 mm de largeur, la tige supérieure étant équipée d'un manche horizontal de 30,6 cm de longueur afin de faciliter l'enfoncement. La base de la sonde consiste en une cuillère fendue de 24 mm de diamètre externe (19 mm de diamètre interne) ayant une longueur totale de 37,5 cm (Figure 3.3.1.a). À cette étape, la sonde est enfoncée jusqu'à ce que l'opérateur suspecte l'atteinte du contact avec le substrat inorganique, l'objectif étant que l'interface organique/inorganique puisse être prélevé par la cuillère fendue. |
| 5 | Évaluation de la rugosité de surface | Les tourbières présentent une rugosité de surface significative devant être prise en compte dans l'évaluation des épaisseurs de tourbe. À titre d'exemple, Dallaire (2010) a rapporté des fluctuations topographiques de l'ordre de 50 cm sur des distances horizontales d'un mètre. Ici, la rugosité de surface a été évaluée pour chaque point de mesure grâce à l'utilisation d'une planche de 50 cm de longueur dotée d'une ouverture concave permettant de l'appuyer fermement aux tiges de la sonde Oakfield (étape 4). L'horizontalité de la planche lors des mesures a été assurée par un niveau double (selon deux axes perpendiculaires) apposé au centre de cette dernière. La figure 3.3.1.d. schématise l'approche retenue. Jusqu'à 3 mesures peuvent être prises lors de cette étape, soit les longueurs ZA, ZB et ZC (dans certains cas la mesure C s'avère inexistante). Au besoin, un niveau aimanté est utilisé afin d'assurer la verticalité de la sonde (Figure 3.3.1.e) (s'applique également à l'étape 4). |
| 6 | Prélèvement d'échantillon | Suivant la réalisation des étapes 4 et 5, la sonde est remontée par l'opérateur posté sur la surface de travail (étape 3). Pour que les mesures de l'étape 4 soient jugées valides, l'interface correspondant au contact entre les dépôts organique et le substrat minéral doit être identifiable dans la cuillère fendue de la sonde (à l'exception des sites où la matière organique repose directement sur le roc, dans ces cas un bruit audible assure la confirmation). La position de l'interface identifiée visuellement est mesurée par rapport au sommet de la tige (Figure 3.3.1.f). Le matériel minéral présent au sein de la cuillère fendue est prélevé et conservé tel quel dans d'un sac de plastique imperméable préalablement identifié (Figure 3.3.1.f). |
| 7 | Duplicata de mesure | Les étapes 4, 5 et 6 sont systématiquement répétées afin de produire un duplicata. Un soin particulier est pris afin de minimiser la distance entre les deux enfoncements (étape 4). |
| 8 | Stockage d'échantillon | Les échantillons prélevés (étapes 6 et 7) sont temporairement conservés à température ambiante sur le terrain. Au laboratoire, ceux-ci sont regroupés par tourbière, classés par ordre alphanumérique et entreposés à l'intérieur de la chambre froide (à l'obscurité et à 4°C). Ces derniers constituent des archives physiques des travaux réalisés. |
| 9 | Compilation des résultats | Les résultats de mesures des étapes 4 à 7 ont été compilés au sein d'un tableur. Des calculs de validation sont réalisés afin d'identifier les impossibilités physiques (p. ex. une rugosité négative) résultant d'erreurs de mesure. Par mesure de précaution, ces données ont été supprimées définitivement. Dans le cas présent, 3 des 592 mesures réalisées (soit 0,5 %) ont ainsi été supprimées. |
| 10 | Évaluation de l'épaisseur de tourbe | Pour chaque point de mesure, l'épaisseur de tourbe est évaluée. Trois causes ont pu justifier l'élimination d'un site de mesure de la base de données, soit (1) l'impossibilité de réaliser un duplicata, (2) l'évaluation d'une épaisseur de tourbe <50 cm (seuil défini par Krankina et al. (2008) pour la définition d'une tourbière), et (3) l'impossibilité d'identifier la transition entre les dépôts organique et minéral sur les profils radar. |

Figure 3.3.1 Approche méthodologique des mesures manuelles de l'épaisseur de tourbe

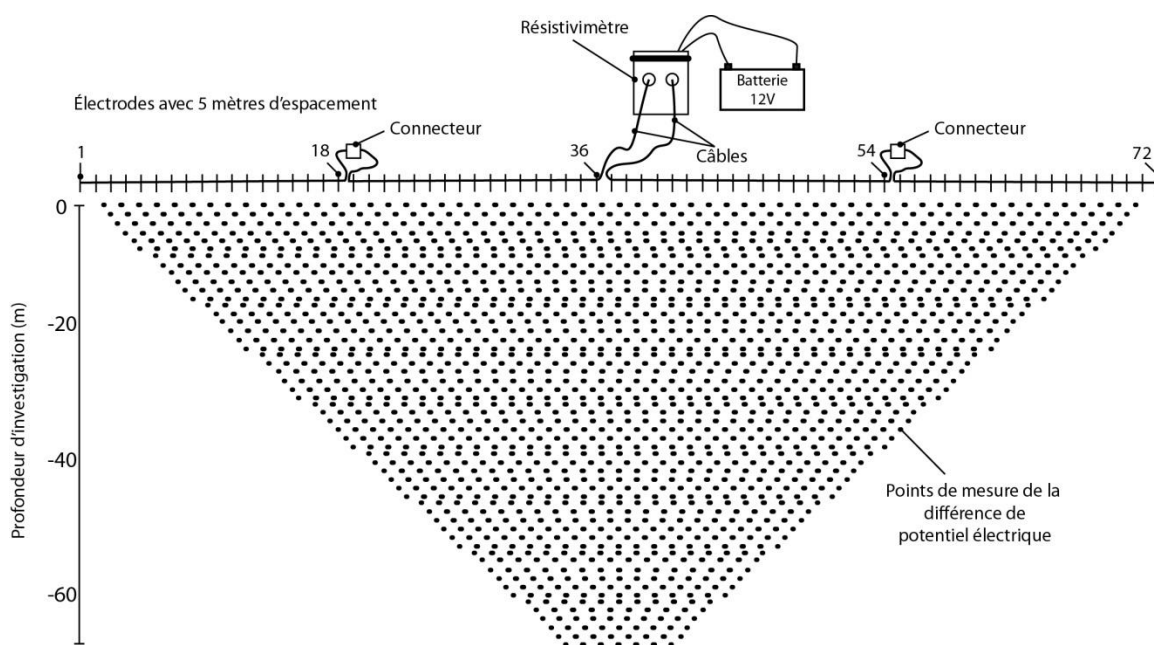


3.4. Acquisition de données de résistivité électrique

3.4.1 Principe de la méthode

Le résistivimètre permet de mesurer la résistance électrique des matériaux présents en sous-surface. La méthode consiste à faire circuler un courant électrique entre deux électrodes et à mesurer la différence de potentiel engendrée en différents points de l'espace. Plusieurs configurations d'acquisition sont possibles. Dans le cadre de la présente étude, les configurations dipôle-dipôle, Wenner et Wenner-Schlumberger ont été utilisées. Le lecteur désirant en connaître davantage sur les fondements théoriques relatifs à ces configurations est invité à consulter les travaux de Loke (2011). À titre d'exemple, la figure 3.4.1.1 illustre de façon schématique une séquence de mesures réalisée en mode dipôle-dipôle. La profondeur d'investigation est essentiellement déterminée par la distance entre les électrodes, mais dépend aussi de l'intensité du courant injecté et ultimement de la résistance effective du milieu sondé. Pour un milieu relativement résistif (500 - 1000 Ohm m) et pour un voltage près de 600 volts, une profondeur d'environ 45 m peut être sondée. La précision des données acquises diminue avec la profondeur investiguée.

Figure 3.4.1.1 Diagramme schématique d'un système multi-électrodes utilisé pour l'acquisition d'une pseudo-section électrique 2D en employant la configuration dipôle-dipôle



3.4.2 Acquisition des données terrain

Un résistivimètre de type SYSCAL Pro SWITCH 72 conçu par IRIS Instruments a été employé dans le cadre de cette étude. Les électrodes ($n = 36$ ou 72) étaient enfoncées dans le sol à intervalles réguliers de 5 m (Figure 3.4.2.1). En terrain résistif, de l'eau a été utilisée afin d'accroître la propagation du courant électrique injecté. Les séquences utilisées ont été configurées avec le logiciel ELECTRE PRO d'IRIS Instruments. En général, les pseudo-sections ont été acquises plus d'une fois, en employant sur les mêmes sites différentes configurations et paramétrages.

Figure 3.4.2.1 Résistivimètre SYSCAL Pro SWITCH 72 d'IRIS Instruments



(A) Câbles déployés (360 m) et reliés à l'appareil localisé en position centrale; (B) Appareil alimenté par une pile externe; (C) Électrodes enfoncées dans le sol et reliées au câble central.

3.4.3 Traitement des données

L'inversion des pseudo-sections a été effectuée en utilisant le logiciel RES2DINV 3.59.106 de GEOTOMO SOFTWARE. La méthodologie employée afin d'inverser les données diffère d'une pseudo-section à l'autre. Des essais ont été réalisés et des filtres ont été expérimentés afin d'obtenir les pseudo-sections rapportées dans le présent rapport. Les tests méthodologiques réalisés sont basés sur le guide accompagnant le logiciel d'inversion (Loke, 2011) et sur des expérimentations réalisées antérieurement par le groupe de recherche (p. ex. voir Cloutier et al., 2013a).

À titre indicatif, le tableau 3.4.3.1 présente une compilation de plages de valeurs de résistivité possibles pour la plupart des matériaux jugés représentatifs des conditions où les pseudo-sections de résistivité électrique ont été collectées. Notons que la teneur en eau contribue significativement aux variations de résistivité intra-matériaux.

Tableau 3.4.3.1 Plage de résistivité des matériaux et types de roches rencontrés pour le présent projet

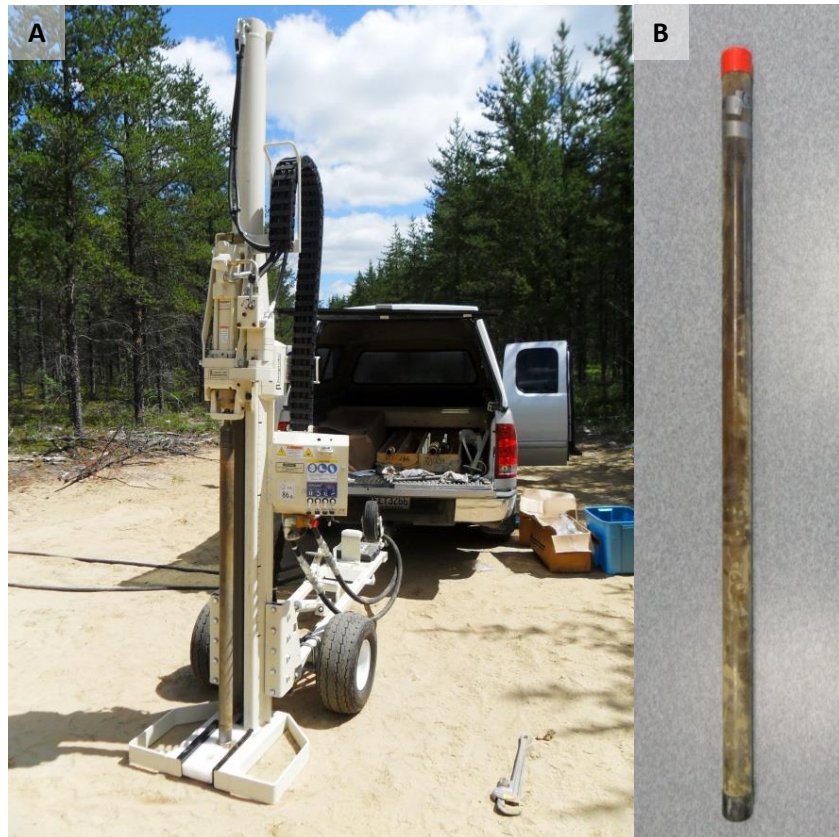
| Matériaux / type de roche | Résistivité en ohm m | | | | | | | |
|---------------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | 0 | 10 ¹ | 10 ² | 10 ³ | 10 ⁴ | 10 ⁵ | 10 ⁶ | 10 ⁷ |
| Amphibolite ¹ | | | | | | | | |
| Diorite ² | | | | | | | | |
| Andésite ² | | | | | | | | |
| Basalte ² | | | | | | | | |
| Gabbro ² | | | | | | | | |
| Argile ³ | | | | | | | | |
| Till ³ | | | | | | | | |
| Sable ³ | | | | | | | | |

¹ Olayinka et Sogbetum (2002); ² Loke (2011); ³ Knight et Enders (2005).

3.5. Forages et échantillonnage de matériaux granulaires

Quinze forages ont été réalisés en utilisant une foreuse de type Géoprobe 540MT (Figure 3.5.1). Les tubages d'acier de 5,72 cm de diamètre externe ont été enfoncés par percussion et le matériel granulaire a été échantillonné sur toute la profondeur en utilisant un carottier battu (gaine de polyéthylène haute densité (HDPE) de 4,2 cm de diamètre interne insérée dans les tubages d'acier). Suivant l'extraction, les extrémités des gaines sont obstruées à l'aide de bouchons souples permettant l'identification de la polarité de l'échantillon. Chaque échantillon est identifié à l'aide d'un marqueur indélébile et stocké à 4 °C à l'obscurité jusqu'à la réalisation d'analyses subséquentes.

Figure 3.5.1 Forage réalisé à l'aide d'une foreuse de type Geoprobe 540MT



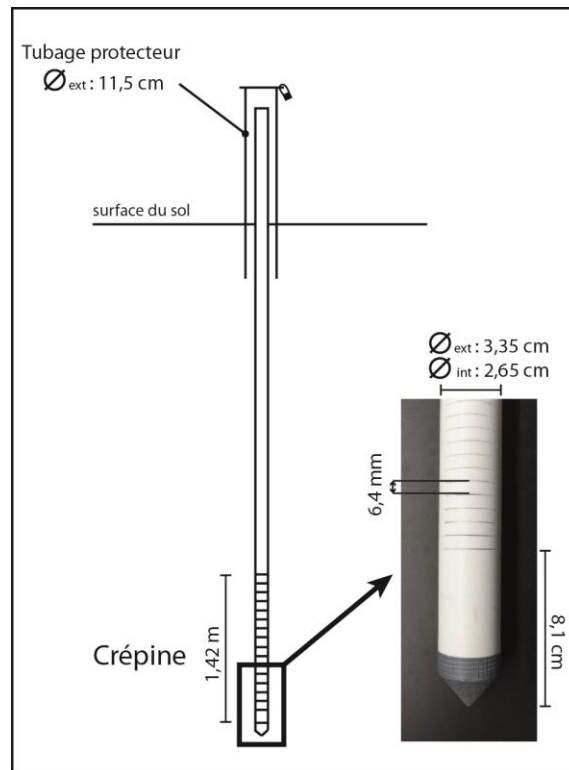
(A) Foreuse Geoprobe 540MT; (B) Échantillon de matériel granulaire prélevé.

3.6 Installation de piézomètres

Deux types de piézomètres ont été installés au cours du présent projet. Le premier type consiste en un tube de polychlorure de vinyle (PVC) de 3,35 cm de diamètre externe pourvu à sa base d'une crépine de 1,42 m de longueur formée de fentes horizontales de 0,254 mm d'ouvertures espacées de 6,4 mm terminée par un bouchon conique hermétique (Figure 3.6.1). Ce type de piézomètre est installé par enfoncement manuel au sein d'un pré-trou réalisé à l'aide des tubages d'acier de la Geoprobe 540MT (Section 3.5). L'espace libre séparant le piézomètre de la paroi de forage a été comblé par l'effondrement naturel de matériel en place et/ou par l'ajout manuel de matériel issu du site. Suivant

leur installation, les piézomètres de PVC ont été développés par pompage à l'aide de clapets à bille (D25 standard flow system de Waterra) actionnés par une pompe à inertie Waterra Hydrolift-2. La pompe à inertie engendre un battement vertical sur une hauteur de l'ordre de 10 cm. Les crépines sont donc développées par paliers de 10 cm, du sommet vers la base.

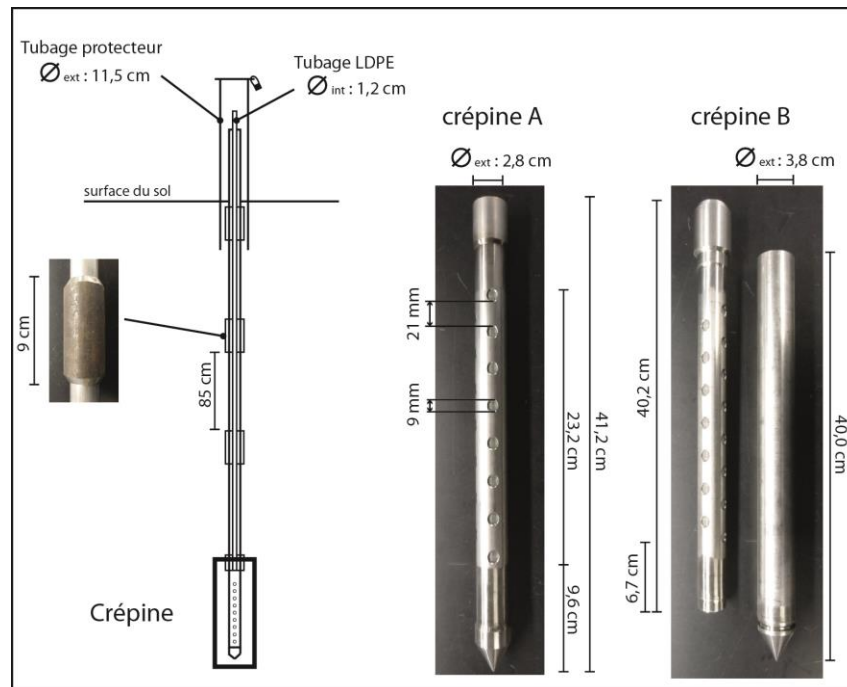
Figure 3.6.1 Représentation schématisée d'un piézomètre en PVC



Le second type de piézomètre installé dans le cadre de cette étude consiste en un assemblage de tubes d'acier inoxydable de 2,8 cm de diamètre externe pourvu à sa base d'une crépine constituée d'orifices circulaires de 9 mm de diamètre espacés de 2,1 cm sur une longueur totale de 23,2 cm et munis d'un grillage de 0,5 mm d'ouverture (Figure 3.6.2). Dans le cas des installations réalisées au niveau d'unités constituées de sable et/ou de gravier, un pré-trou est d'abord réalisé à l'aide des tubages de la Geoprobe 540MT (Section 3.5). Un tubage pourvu à sa base d'une crépine de type A (Solinst, Modèle 615 Drive-Point Piezometer, barbed fitting) (Figure 3.6.2) est subséquemment descendu par enfouissement à la profondeur voulue au sein du pré-trou en utilisant la Géoprobe 540MT, réduisant ainsi les risques de bris du piézomètre. Dans le cas des installations réalisées au niveau d'unités constituées d'argile et de silt, un tubage pourvu à sa base d'une crépine de type B (Solinst, Modèle 615 Shielded Drive-Point Piezometer, barbed fitting) (Figure 3.6.2) munie d'une gaine de protection est enfoncé directement dans le sol en utilisant la Géoprobe 540MT, sans la réalisation d'un pré-trou. La crépine est libérée de la gaine de protection lorsque le piézomètre est remonté sur une hauteur minimale de 30 cm, une fois l'atteinte de la profondeur désirée. La gaine de protection permet de limiter le colmatage de la crépine lors de l'installation du piézomètre. Pour les deux types d'installation, un tubage de polyéthylène de basse densité (LDPE) de 1,2 cm de diamètre interne relie la crépine à l'extrémité supérieure du piézomètre, permettant ainsi de limiter le contact entre l'eau souterraine et les tubages

d'acier (Figure 3.6.2). Un adaptateur perforé permet l'enfoncement des tubages d'acier par percussion malgré la présence du tubage de LDPE décrit ci-dessus.

Figure 3.6.2. Représentation schématisée des piézomètres en acier inoxydable



La crépine de type A est appropriée pour les unités sableuses et/ou graveleuses alors que la crépine de type B, munie d'une gaine de protection, est appropriée pour les unités à granulométrie plus fine.

3.7 Suivis piézométriques et thermiques

Six piézomètres installés dans le cadre de la présente étude ont été instrumentés pour la réalisation de suivis temporels des niveaux d'eau et de la température de l'eau souterraine à l'aide de sondes automatisées de type Levellogger gold LT F30/M10 Model 3001 de Solinst mesurant la pression et la température de l'eau avec des précisions respectives de $\pm 0,5$ cm (eau) et $\pm 0,05$ °C. Les sondes ont été descendues au sein de la tranche d'eau des piézomètres à l'aide d'un câble d'acier de 0,04 cm de diamètre dont l'extrémité supérieure est rattachée au tubage protecteur. Des sondes à pression de type Barologger LT F5/M15 Model 3001 de Solinst ont également été installées au sein des tubages protecteurs de trois piézomètres afin de corriger les données de pression d'eau des fluctuations de pression atmosphérique. Les sondes barométriques utilisées permettent l'acquisition de données avec des précisions de $\pm 0,075$ cm (eau) et $\pm 0,05$ °C pour la pression atmosphérique et la température, respectivement. Les données (pression et température) sont collectées à intervalles réguliers de six heures (soit à :1 h; 7 h; 13 h; 19 h), permettant un suivi synchrone à celui du réseau de suivi des eaux souterraines du MDDELCC (MDDELCC, s.d.a). Il est prévu de maintenir ces suivis temporels au-delà de la durée de la présente étude dans la perspective de doter la région d'un réseau de suivi de l'eau souterraine.

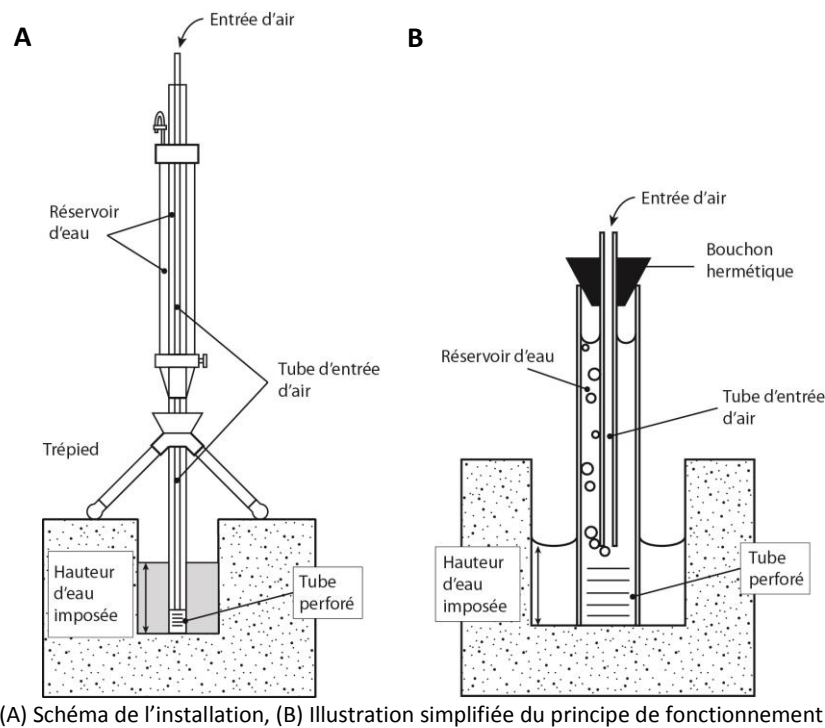
3.8. Essais au perméamètre de Guelph

Au total, 387 essais (dont 139 duplicatas) ont été réalisés à l'aide d'un perméamètre de Guelph de type 2800K1 de Soilmoisture Equipment Corp. Les secteurs correspondant aux eskers/moraines et aux sédiments sublittoraux leurs étant associés ont été ciblés pour la réalisation de ces essais.

3.8.1 Principe de la méthode

Les essais au perméamètre de Guelph permettent l'évaluation de la conductivité hydraulique au sein des horizons granulaires localisés en zone non saturée. La figure 3.8.1.1 illustre le principe de la méthode, laquelle consiste essentiellement à imposer un niveau d'eau au sein d'un trou d'essai aménagé en zone non saturée en ajustant la position d'un tube d'entrée d'air relié à un réservoir d'eau et à mesurer le débit nécessaire pour maintenir constant le niveau d'eau imposé alors qu'une zone partiellement saturée se forme graduellement en périphérie du trou d'essai. La méthode vise donc l'estimation de la conductivité hydraulique d'un horizon de matériel granulaire en zone non saturée. De par sa nature, la méthode permet uniquement une estimation de la conductivité hydraulique à un niveau de saturation partielle (K_{SP}) et les résultats ne peuvent être comparés de façon directe à des valeurs de conductivité hydraulique mesurées en zone saturée. Néanmoins, considérant (1) que le cadre expérimental lié aux essais est reproductible, (2) que l'approche permet la réalisation de mesures *in situ* et (3) que les processus naturels d'infiltration se produisent selon toute vraisemblance en conditions de saturation partielle, il est jugé ici que l'acquisition de données au perméamètre de Guelph s'avère pertinente à la caractérisation des unités granulaires superficielles.

Figure 3.8.1.1 Principe de fonctionnement du perméamètre de Guelph



3.8.2 Réalisation des essais

Sur le terrain, des sites où la surface du sol était jugée représentative des conditions environnantes ont été identifiés. L'excavation des trous d'essais de 6 cm de diamètre a d'abord été réalisée à l'aide de la tarière de creusage, puis complétée à l'aide de la tarière de finition (Figure 3.8.2.1A), suivant les recommandations du fournisseur (Soilmoisture Equipment Corporation, 2010). Lorsque nécessaire (p. ex. lorsque la présence de racines en surface créait une hétérogénéité marquée de l'unité ciblée pour l'essai), le matériel de surface a été préalablement excavé à l'aide d'une pelle afin de faciliter l'installation de l'appareil (p. ex. Figure 3.8.2.1B). Dans tous les cas, l'excavation s'est poursuivie jusqu'à l'atteinte d'un horizon exempt de racines susceptibles de créer des chemins d'écoulement préférentiel. Pour chaque point de mesure, la dernière tranche de 10 cm de matériel excavé a été récupérée dans un sac d'échantillonnage et conservée pour la réalisation d'analyses subséquentes. Suivant l'excavation, les parois des trous d'essai ont systématiquement été nettoyées à l'aide de la brosse de finition (Figure 3.8.2.1A) afin de retirer les particules fines susceptibles de s'y être accumulées lors du creusage. La brosse de finition était descendue au fond du trou d'essai, tournée de 360 degrés en maintenant la verticalité et sans ajouter de pression sur le fond de l'excavation, retirée et secouée, en prenant soin de s'assurer que le trou d'essai avait maintenu son diamètre et sa forme. Lorsque ces démarches ne permettaient pas l'obtention d'un trou d'essai vertical, uniforme en termes de diamètre et exempt de débris, la procédure complète était recommencée à un site proximal. Suivant la préparation des trous d'essais, le perméamètre était assemblé selon la procédure recommandée par le fournisseur de l'équipement (Soilmoisture Equipment corporation, 2010). De l'eau à température ambiante (≈ 20 °C) et exempte de débris était utilisée pour les essais. Lors des essais, le taux de descente du niveau d'eau au sein du perméamètre était suivi grâce à des observations visuelles du tube gradué à pas de temps chronométrés. Il est à noter que les réservoirs du perméamètre devaient être remplis entre les essais réalisés avec des hauteurs d'eau de 5 et 10 cm pour s'assurer que suffisamment d'eau était disponible afin de parvenir à l'achèvement de l'essai. Cette procédure était réalisée le plus rapidement possible sur le terrain.

Figure 3.8.2.1 Composantes et installation du perméamètre de Guelph



(A) 1-2 : Manche de tarière; 3 : Tarière de creusage; 4 : Tarière de finition; 5 : Brosse de finition; 6 : Tube de support; 7 : Tube d'air intérieur; 8 : Réservoir et tube d'air intermédiaire; 9-10-11 : Composantes d'assemblage du trépied; 12 : Réservoir flexible; 13 : Tubages de raccord et bouchons; 14 : Pompe; 15 : Brosse de nettoyage des équipements.
 (B) Exemple d'une installation de terrain.

3.8.3 Stratégie de calcul

La stratégie de calcul employée pour l'évaluation des résultats de conductivité hydraulique à saturation partielle (K_{SP}) à partir des données acquises lors de la réalisation d'essais au perméamètre de Guelph est basée sur les recommandations du fournisseur de l'appareil (Soilmoisture Equipment corporation, 2010), selon les équations suivantes :

$$K_{SP(DN)} = G_2 Q_2 - G_1 Q_1 \quad \text{Équation 3.8.3.1}$$

$$K_{SP(SN)} = \frac{C_1 Q_1}{2\pi H_1^2 + \pi a^2 C_1 + 2\pi \frac{H_1}{\alpha^*}} \quad \text{Équation 3.8.3.2}$$

$$\Phi_m(SN) = \frac{C_1 Q_1}{(2\pi H_1^2 + \pi a^2 C_1) \alpha^* + 2\pi H_1} \quad \text{Équation 3.8.3.3}$$

$$G_1 = \frac{H_2 C_1}{\pi [2H_1 H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1)]} \quad \text{Équation 3.8.3.4}$$

$$G_2 = \frac{H_1 C_2}{\pi [2H_1 H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1)]} \quad \text{Équation 3.8.3.5}$$

$$\Phi_m(DN) = G_3 Q_1 - G_4 Q_2 \quad \text{Équation 3.8.3.6}$$

$$G_3 = \frac{(2H_2^2 + a^2 C_2) C_1}{2\pi [2H_1 H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1)]} \quad \text{Équation 3.8.3.7}$$

$$G_4 = \frac{(2H_1^2 + a^2 C_1) C_2}{2\pi [2H_1 H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1)]} \quad \text{Équation 3.8.3.8}$$

$$Q_1 = XR_1 \quad \text{Équation 3.8.3.9}$$

$$Q_2 = XR_2 \quad \text{Équation 3.8.3.10}$$

$$\alpha = \frac{K_{SP}}{\Phi_m} \quad \text{Équation 3.8.3.11}$$

Où les indices (SN) et (DN) indiquent l'utilisation de stratégies de calculs à simple et double niveau (niveaux d'eau imposés dans les trous d'essai), respectivement K_{SP} représente la conductivité hydraulique à saturation partielle (cm/s), a représente le rayon du trou d'essai (cm), C représente un facteur de forme, H_1 et H_2 représentent les niveaux d'eau imposés dans le trou d'essai (cm), R_1 et R_2 représentent les taux de décroissance du niveau d'eau dans le réservoir du perméamètre (cm/s), Φ_m représente le potentiel matriciel (cm²/s) et X est une constante représentant la surface (perpendiculaire à l'axe long du perméamètre) des réservoirs combinés ($X = 35,22 \text{ cm}^2$).

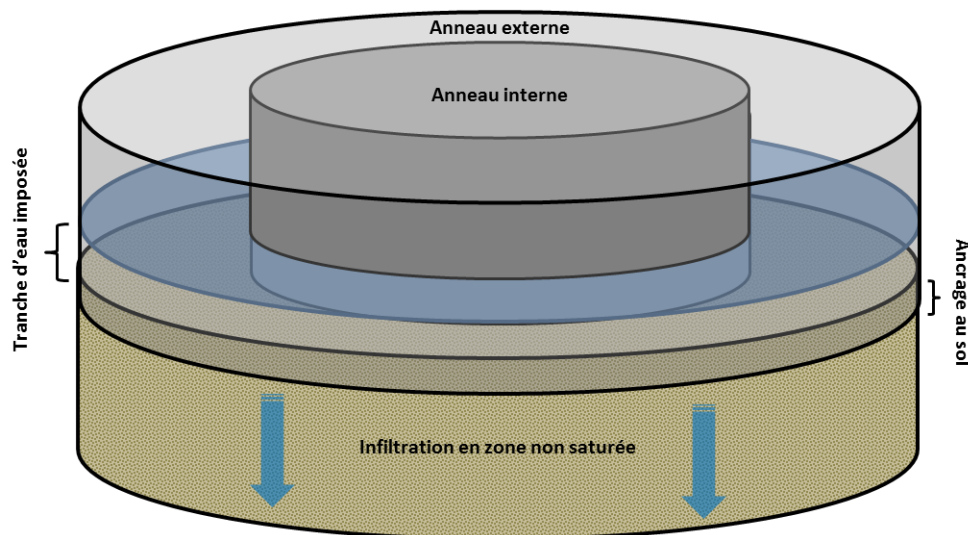
3.9 Essais à l'infiltromètre à double anneau

Au total, 173 essais (dont 11 duplicatas) ont été réalisés à l'aide d'un infiltromètre à double anneau de Eijkelkamp Agrisearch Equipment. Les secteurs correspondant aux eskers/moraines et aux sédiments sublittoraux leur étant associés ont été ciblés pour la réalisation de ces essais.

3.9.1 Principe de la méthode

Les essais à l'infiltromètre à double anneau permettent l'évaluation de la capacité d'infiltration [LT^{-1}] au sein de la zone non saturée. L'infiltration est définie ici comme le processus résultant de la migration de l'eau depuis la surface du terrain vers la zone non saturée de(s) l'unité(s) hydrogéologique(s) présente(s) en surface. La figure 3.9.1.1 illustre le principe de la méthode de l'infiltromètre à double anneau, laquelle consiste essentiellement à imposer une tranche d'eau (5 – 10 cm) au sein d'un couple d'anneaux d'essai ancrés dans les sédiments constituant la zone non saturée et à mesurer la décroissance du niveau d'eau dans l'anneau central alors qu'une zone partiellement saturée se forme graduellement en périphérie du site d'essai. L'anneau externe, au sein duquel une tranche d'eau (5 - 10 cm) est également imposée, a pour fonction de générer un front d'infiltration en périphérie de l'anneau central, limitant ainsi les effets induits par la migration latérale d'eau (dans la portion sous-jacente à l'anneau central) lors des essais. De par sa nature, la méthode permet uniquement une estimation de la capacité d'infiltration de l'eau pour un niveau de saturation partielle de l'unité testée. Bien que des équations permettent de lier la capacité d'infiltration à la conductivité hydraulique (K), les résultats issus des essais réalisés dans le cadre de la présente étude ne peuvent être comparés de façon directe à des valeurs de K. Néanmoins, considérant (1) que le cadre expérimental lié aux essais est reproductible, (2) que l'approche permet la réalisation de mesures *in situ* et (3) que les processus naturels d'infiltration se produisent selon toute vraisemblance en conditions de saturation partielle, il est jugé ici que l'acquisition de données à l'infiltromètre à double anneau s'avère pertinente à la caractérisation des unités granulaires superficielles.

Figure 3.9.1.1 Principe de fonctionnement de l'infiltromètre à double anneau



3.9.2 Réalisation des essais

Sur le terrain, des sites où la surface du sol était jugée représentative des conditions environnantes ont été identifiés. L'horizon de surface du sol a d'abord été excavé à l'aide d'une pelle, jusqu'à une profondeur d'environ 15 à 30 cm afin de faciliter l'installation de l'appareil. Dans tous les cas, l'excavation s'est poursuivie jusqu'à l'atteinte d'un horizon exempt de racines susceptibles de créer des chemins d'écoulement préférentiel. Pour chaque point de mesure, un échantillon de sédiment a été prélevé au sein de la dernière tranche de 10 cm de matériel excavé. Les échantillons ainsi récupérés ont été stockés au sein de sacs d'échantillonnage et conservés pour la réalisation d'analyses subséquentes. Les parois inférieures des trous d'essai ont systématiquement été nettoyées à l'aide d'une pelle jusqu'à l'obtention d'une surface plane, horizontale, exempte de racines et de débris susceptibles de modifier les conditions d'écoulement et présentant un niveau de compaction jugé représentatif des conditions naturelles. Suivant la préparation des trous d'essai, les deux anneaux de l'infiltromètre, dotés d'une extrémité biseautée visant à faciliter l'enfoncement, étaient descendus d'environ 5 cm à la verticale dans le sol à l'aide de la croix d'enfoncement et d'un marteau conçu à cet effet (Figure 3.9.2.1A). Trois couples d'anneaux d'acier inoxydable distincts (diamètres 28/53 cm; 30/55 cm; 32/57 cm, hauteur de 25 cm) ont été utilisés pour la réalisation des essais. Le support horizontal et la tige graduée munie d'une flotte étaient installés au sein de l'anneau interne (Figure 3.9.2.1B). De l'eau à température ambiante ($\approx 15 - 20$ °C) et exempte de débris était subséquemment déversée sur des chiffons de tissus placés au fond des anneaux, de façon à limiter l'érosion de la surface plane lors de l'incorporation de l'eau. Une tranche d'eau de l'ordre de 5 à 10 cm était ainsi imposée au sein du couple d'anneaux. Lors des essais, le taux de descente du niveau d'eau au sein de l'anneau interne était suivi grâce à des observations visuelles de la tige graduée à pas de temps chronométrés. Le taux de descente était ainsi mesuré jusqu'à ce que la tranche d'eau soit entièrement infiltrée.

Figure 3.9.2.1 Composantes et installation de l'infiltromètre à double anneau

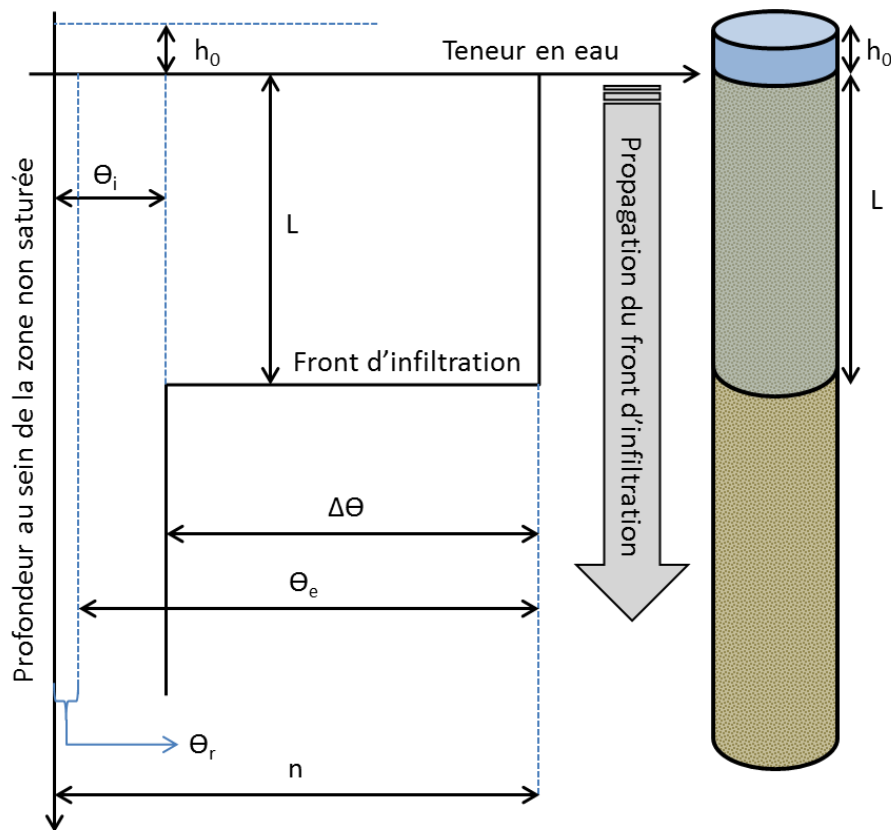


(A) Illustration des anneaux métalliques ainsi que de la croix d'enfoncement utilisée pour la préparation des essais;
(B) Illustration de cadre expérimental incluant les deux anneaux métalliques ainsi qu'un support horizontal et une tige graduée munie d'une flotte.

3.9.3 Stratégie de calcul

La stratégie de calcul employée pour l'évaluation de la capacité d'infiltration à partir des données acquises lors de la réalisation d'essais à l'infiltromètre à double anneau est basée sur les recommandations du fournisseur de l'appareil (Eijkelkamp Agrisearch Equipment, 2012) et selon des équations adaptées de la théorie de Green et Ampt (1911). La figure 3.9.3.1 illustre de façon schématisée le concept retenu par Green et Ampt (1911) afin de proposer une représentation simplifiée du processus d'infiltration pour une portion homogène de zone non saturée.

Figure 3.9.3.1 Représentation schématisée du processus d'infiltration tel que décrit par Green et Ampt (1911) (Modifiée de Todd et Mays, 2005)



h_0 : charge imposée par une tranche d'eau en surface. L : profondeur du front d'infiltration sous la surface. θ_i : teneur en eau initiale. θ_e : porosité effective. θ_r : teneur en eau résiduelle. n : porosité. $\Delta\theta$: changement de teneur en eau résultant de l'infiltration.

Les équations 3.9.3.1 à 3.9.3.4, adaptées de la description des travaux de Green et Ampt (1911) telle que proposée par Todd et Mays (2005), servent à décrire le processus d'infiltration sur la base du schéma conceptuel préalablement présenté. L'infiltration cumulative ($F(t)$) représente la hauteur d'eau s'étant infiltrée [L] sur une période de temps (t ; [T]), alors que le taux d'infiltration potentiel ($f(t)$; [LT^{-1}]) représente la dérivée temporelle de $F(t)$:

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \quad \text{Équation 3.9.3.1}$$

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad \text{Équation 3.9.3.2}$$

Sur la base des termes décrits à la figure 3.9.3 et de l'équation de Darcy, f peut être approximé par l'expression :

$$f \approx K \left(\frac{h_0 - h_x}{L} \right) \quad \text{Équation 3.9.3.3}$$

où K représente la conductivité hydraulique [LT^{-1}] de la zone infiltrée (laquelle peut présenter un niveau de saturation partiel), h_0 ([L]) représente la charge imposée par la tranche d'eau en surface, h_x ([L]) représente la charge hydraulique d'un point situé immédiatement sous le front d'infiltration et L représente la position du front d'infiltration ([L]). L'équation 3.9.3 peut être réorganisée afin de représenter le lien entre h_x , la position du front d'infiltration (L) et le potentiel matriciel (ψ) ([L]):

$$f = K \left(\frac{h_0 - (-\psi - L)}{L} \right) \quad \text{Équation 3.9.3.4}$$

Les mesures réalisées sur le terrain à l'aide de l'infiltromètre à double anneau permettent d'évaluer le taux d'infiltration potentiel de la zone non saturée, pour une tranche de matériel située immédiatement sous l'anneau interne (terme f), alors que les équations 3.9.2.1 à 3.9.3.4 permettent de lier cette mesure aux caractéristiques de l'unité constituant la zone non saturée. Dans le cadre de la présente étude, seul le terme f est calculé. Les termes ψ et L n'ayant pas été mesurés, les données issues des essais à l'infiltromètre à double anneau ne seront pas considérées pour l'évaluation de K .

3.10 Essais *in situ* de perméabilité à charge variable

Des essais *in situ* de perméabilité à charge variable ont été réalisés à l'aide d'un système à air comprimé. Les piézomètres installés dans le cadre de la présente étude de même que des puits du réseau de suivi des eaux souterraines du MDDELCC (MDDELCC, s.d.a) ont été ciblés pour la réalisation de ces essais. Les sous-sections 3.10.1, 3.10.2 et 3.10.3 présentent l'ensemble de la méthodologie suivie.

3.10.1 Principe de la méthode

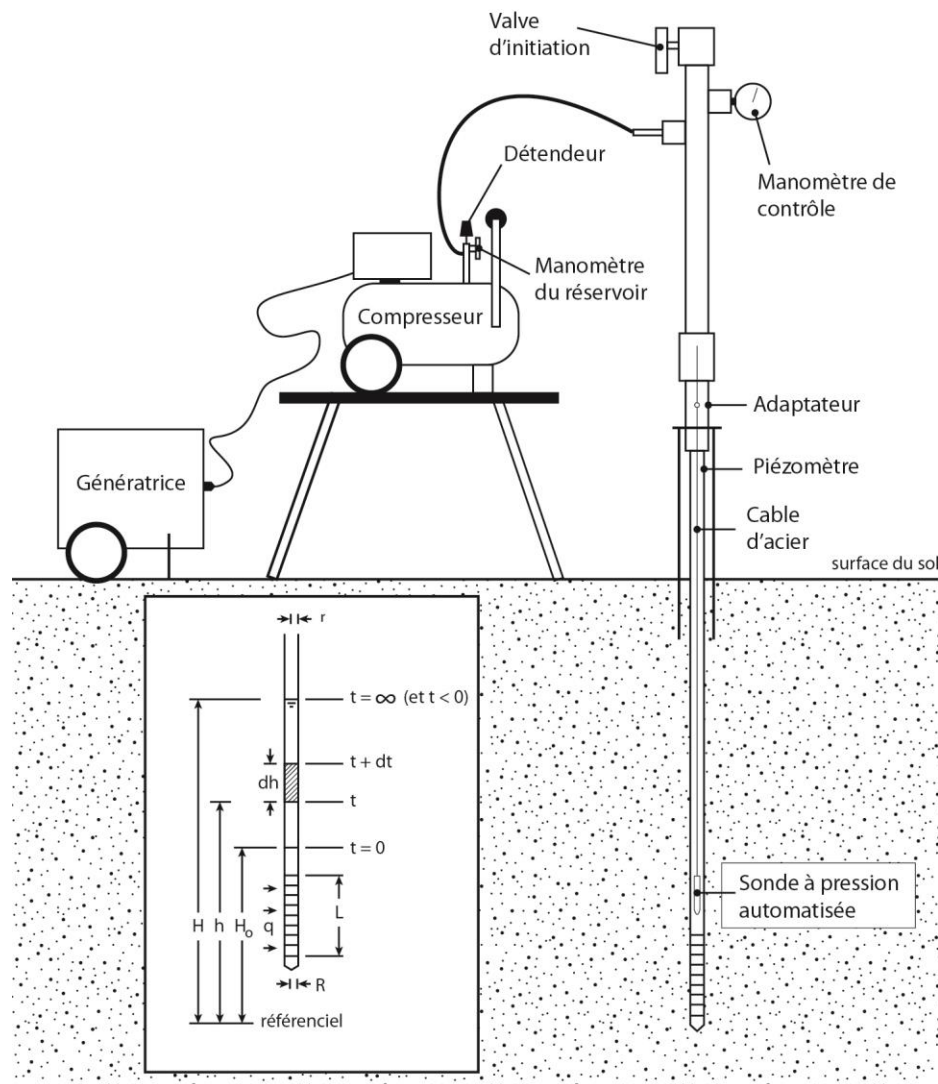
L'approche privilégiée pour la réalisation des essais *in situ* de perméabilité à charge variable consiste (1) à engendrer de façon quasi instantanée une variation du niveau d'eau au sein d'un piézomètre et (2) à mesurer dans le temps le retour à la condition statique. Il est prévu ici que le taux de récupération sera fonction (1) des caractéristiques géométriques du piézomètre et (2) de la conductivité hydraulique de l'unité hydrogéologique périphérique à la crépine.

3.10.2 Réalisation des essais

Sur le terrain, un dispositif à air comprimé est utilisé afin d'engendrer les variations de niveau d'eau au sein des piézomètres (Figure 3.10.2.1). Le dispositif consiste en un assemblage de tubes d'ABS (acrylonitrile butadiène styrène) de 4,44 cm de diamètre externe (3,81 cm de diamètre interne) alimenté par un compresseur. Le dispositif est équipé à sa base d'adaptateurs permettant un raccord étanche à des puits de diamètres externes de 2,54 cm, 5,08 cm et 15,2 cm et pourvu à son sommet

d'une valve d'initiation d'un diamètre interne de 8,41 cm (type *ball valve*). Une fois l'équipement raccordé au piézomètre d'essai, la valve d'initiation sommitale est maintenue fermée et une pression d'air est induite au sein des tubages. La pression peut être suivie grâce au manomètre de contrôle (Figure 3.10.2.1). Suite à l'atteinte d'une pression correspondant à un rabattement du niveau d'eau sur une hauteur prédéfinie, l'ouverture rapide de la valve d'initiation sommitale permet l'exposition de la colonne d'eau du piézomètre à la pression atmosphérique. La remontée du niveau d'eau au sein du tubage est subséquemment mesurée à l'aide d'une sonde à pression automatisée (Levellogger gold LT F30/M10 Model 3001 de Solinst) réalisant des lectures sur un pas de temps de 0,5 seconde avec une précision de $\pm 0,5$ cm (eau). L'expérience est systématiquement répétée en induisant différentes pressions (25,4 cm, 50,8 cm, 76,2 cm, 101,6 cm, 127 cm et 152,4 cm d'eau). Suivant ces démarches, les données enregistrées par la sonde automatisée sont téléchargées et vérifiées sur le terrain afin de confirmer la validité des essais réalisés et d'identifier, le cas échéant, les essais à reprendre.

Figure 3.10.2.1 Représentation schématisée de la méthode utilisée pour la réalisation des essais *in situ* de perméabilité à charge variable



3.10.3 Stratégie de calcul

La stratégie de calcul retenue pour l'évaluation de la conductivité hydraulique (K) à partir des données issues des essais *in situ* de perméabilité à charge variable consiste en une application de la méthode de Hvorslev telle que décrite par Freeze et Cherry (1979) et Schwartz et Zhang (2003) :

$$q(t) = \pi r^2 \frac{dh}{dt} = FK(H - h) \quad \text{Équation 3.10.3.1}$$

$$F = \frac{2\pi L}{\ln\left(\frac{L}{R}\right)} \quad \text{Équation 3.10.3.2}$$

$$T_0 = \frac{\pi r^2}{FK} \quad \text{Équation 3.10.3.3}$$

$$\frac{H-h}{H-H_0} = e^{-t/T_0} \quad \text{Équation 3.10.3.4}$$

Les principaux paramètres inclus aux équations 3.10.3.1 à 3.10.3.4 sont illustrés à la figure 3.10.2.1. L'équation 3.10.3.4 représente la solution de l'équation différentielle obtenue en substituant les équations 3.10.3.2 et 3.10.3.3 dans l'équation 3.10.3.1. Le terme $q(t)$ représente le débit d'entrée d'eau (m^3/s) à l'intérieur du piézomètre de rayon r (m) par la crépine de longueur L (m) et de rayon R (m). H_0 représente la charge hydraulique (m) résultant de la pression induite, h représente la charge hydraulique (m) mesurée au sein du piézomètre et H représente la charge hydraulique (m) lors du retour à la condition statique. t représente le temps (s), F représente un facteur de forme (m), K représente la conductivité hydraulique (m/s) et T_0 représente le décalage temporel de base (basic time lag) tel que défini dans la méthode de Hvorslev.

Afin de faciliter la réalisation des calculs, les données acquises dans le cadre de la réalisation des essais sont rapportées au sein de graphiques semi-log ayant en abscisse le temps (s) et le logarithme naturel du terme $\frac{H-h}{H-H_0}$ en ordonnée. Le terme T_0 est calculé à partir de cette équation, lequel permet l'estimation de K à partir de l'équation 3.10.3.3.

3.11 Essais en colonnes

Au total, 43 échantillons ont été soumis à des essais de perméabilité réalisés en laboratoire à l'aide d'une approche conçue et développée dans le cadre de la présente étude. Les échantillons récupérés lors des forages (Section 3.5) ont été privilégiés pour la réalisation de ces essais.

3.11.1 Principe de la méthode

L'approche privilégiée pour la réalisation des essais de perméabilité en laboratoire consiste à faire circuler de l'eau sous un gradient hydraulique connu au sein d'un échantillon de matériel granulaire préalablement saturé. Il est considéré ici que dans le cadre de l'application de conditions contrôlées, le débit d'eau circulant au sein de l'échantillon saturé sera fonction (1) de ses caractéristiques géométriques, (2) du gradient hydraulique imposé et (3) de sa conductivité hydraulique. Il s'agit essentiellement d'une application de la loi de Darcy dans un contexte expérimental adapté aux besoins de la présente étude.

3.11.2 Types de perméamètres développés

Deux types de perméamètres de laboratoire ont été développés. Le premier, ci-après appelé «perméamètre de type A» (Figure 3.11.2.1A), d'une hauteur avoisinant les trois mètres, permet la réalisation d'essais sur les échantillons d'une longueur maximale de 1,16 m récupérés lors des travaux de forage. Le second modèle, ci-après appelé «perméamètre de type B» (Figure 3.11.2.1B), lequel consiste en un modèle réduit du premier, est d'une hauteur approximative de 1,3 m et peut accepter des échantillons d'une longueur maximale de 30 cm. Les échantillons testés sur le modèle réduit consistent en des sous-sections des échantillons récupérés lors des forages. Tous les échantillons utilisés sont conservés au sein de gaines de HDPE (matériel transparent) de 4,2 cm de diamètre interne utilisés lors des travaux de forage (Section 3.5). Les deux modèles de perméamètre consistent en des assemblages de tubes d'ABS (acrylonitrile butadiène styrène) de 4,0 cm de diamètre interne et de tubes de HDPE de 4,2 cm de diamètre interne. Les caractéristiques des composantes des montages sont schématisées aux figures 3.11.3.1 et 3.11.3.2.

Figure 3.11.2.1 Modèles de perméamètres utilisés dans le cadre du PACES-AT2



(A) Perméamètre de type A; (B) Perméamètre de type B.

3.11.3 Essais sur les perméamètres de type A

Le perméamètre de type A (utilisé pour tester 11 échantillons) est pourvu de cinq déversoirs permettant le contrôle des gradients hydrauliques imposés sur l'échantillon et d'une valve située en position basale permettant l'initiation des essais (Figure 3.11.3.1). L'échantillon soumis à l'essai (maintenu au sein de la gaine de HDPE de 4,2 cm de diamètre interne utilisée lors des forages (Section 3.5)) est muni à sa base d'un support poreux consistant en un tube d'ABS de 7,5 cm de longueur par 4,0 cm de diamètre interne rempli de grains de silice (1 à 2 mm de diamètre) retenus par un agencement de filets de plastique et de métal. Les deux côtés du perméamètre sont pourvus de sondes automatisées permettant le suivi de la température et de la pression d'eau avec des précisions respectives de $\pm 0,05$ °C et $\pm 0,5$ cm (eau) (Levelogger gold LT F30/M10 Model 3001 de Solinst). Ces sondes sont maintenues en place par des câbles d'acier de 0,04 cm de diamètre.

L'approvisionnement en eau est assuré par un système de recirculation constitué de tubages de LDPE alimentés par une pompe de type Tornado de Waterra (Pompe submersible en PVC modèle WSP-12V-5) installée au sein d'un réservoir d'une capacité de 20 litres (Figure 3.11.3.1). Les déversoirs 1 et 2 sont reliés à un tube de suivi du débit sortant, lequel consiste en un tube de HDPE de 4,2 cm de diamètre interne pourvu d'une sonde automatisée permettant le suivi de la température et de la pression avec des précisions respectives de $\pm 0,05$ °C et $\pm 0,5$ cm (eau) (Levelogger gold LT F30/M10 Model 3001 de Solinst). La sonde est maintenue en place par un câble d'acier de 0,04 cm de diamètre.

L'évaporation est suivie lors des essais grâce à un échantillon témoin conservé au sein d'un tube de HDPE de 4,2 cm de diamètre interne exposé à l'atmosphère. L'évolution de la masse de ce dernier dans le temps permet d'estimer le taux d'évaporation. La pression atmosphérique est mesurée à pas de temps de 60 secondes avec une précision de $\pm 0,075$ cm (eau) à l'aide d'une sonde barométrique automatisée (Barologger LT F5/M15 Model 3001 de Solinst). Ces données permettent de corriger les pressions d'eau mesurées des effets de fluctuation de la pression atmosphérique au sein du laboratoire. Le montage de laboratoire est adapté pour le suivi par une caméra reliée à un ordinateur. Les images acquises lors des essais permettent d'identifier l'heure précise de la fin des essais, lesquels se terminent parfois en soirée ou durant la nuit.

Les échantillons sont inspectés visuellement afin d'identifier la présence d'indices d'altération de leur structure (p. ex. présence de bulles d'air le long des parois de la gaine). Les échantillons jugés minimalement altérés sont retenus pour la réalisation des essais de perméabilité. Ces derniers sont coupés à leurs deux extrémités, à l'aide d'une scie à onglet manuelle, afin d'éliminer le matériel remanié généralement localisé dans les premiers centimètres de la gaine. Suivant la sélection et la préparation d'un échantillon, ce dernier est équipé à sa base d'un support poreux et incorporé au perméamètre de laboratoire en prenant soin de conserver sa polarité.

Une fois le montage réalisé, la **première étape** consiste en une saturation de l'échantillon par l'imposition d'une circulation inverse (du bas vers le haut) (Figure 3.11.3.2 – Étape 1). Lors de cette étape, le déversoir 1 est maintenu fermé et le tubage arrière du perméamètre est rempli jusqu'à la hauteur du déversoir 3. La valve d'initiation est subséquemment ouverte, permettant ainsi une circulation d'eau au sein de l'échantillon, jusqu'au déversoir 2 à partir duquel l'eau est acheminée au tube de suivi du débit sortant. Il est considéré ici qu'une saturation du bas vers le haut favorisera l'expulsion de l'air se trouvant dans l'échantillon étant partiellement saturé au moment de l'amorce de l'expérience. L'expérience est réalisée en s'assurant que le volume d'eau circulant au sein de l'échantillon est égal ou supérieur à trois fois son volume poral, en assumant une porosité totale de

30 %. Lors de l'expérience, la migration du front de saturation est suivie. L'observation d'un front de saturation homogène (surface subhorizontale) est interprétée ici comme indicatrice de l'absence de chemins d'écoulement préférentiels majeurs le long des parois du perméamètre.

La **seconde étape** consiste en la réalisation d'une expérience visant à évaluer le niveau de saturation de l'échantillon (Figure 3.11.3.2 – Étape 2). Pour ce faire, le tubage arrière du perméamètre est rempli jusqu'à la hauteur du déversoir 3 alors que le niveau d'eau se trouve à une hauteur légèrement supérieure au déversoir 2 dans le tube frontal du perméamètre. La valve d'initiation est subséquentement ouverte et les niveaux d'eau sont mesurés par les sondes automatisées dans les deux tubes du perméamètre. Pour que la saturation de l'échantillon soit jugée satisfaisante, le taux de descente de l'eau dans le tube arrière doit être égal au taux de remontée de l'eau dans le tube frontal. Si les taux ne sont pas égaux, il est envisagé que l'échantillon subit une différence d'emménagement en eau lors de la percolation et l'étape de saturation est recommencée.

La **troisième étape** consiste en la réalisation d'un essai de perméabilité à gradient hydraulique constant (Figure 3.11.3.2 – Étape 3). Pour ce faire, le tube frontal du perméamètre est approvisionné de façon continue par le système d'alimentation afin de maintenir un écoulement permanent au niveau du déversoir 4. Suivant l'ouverture de la valve d'initiation, l'eau percole au sein de l'échantillon (depuis son sommet vers sa base) puis s'écoule par le déversoir 1, ce dernier étant relié au tube de suivi du débit sortant. La différence de hauteur des déversoirs 4 et 1 normalisée à la longueur de l'échantillon permet l'évaluation du gradient hydraulique. Le taux de remontée de l'eau dans le tube de suivi du débit sortant est mesuré lors de cette étape, laquelle peut durer plusieurs heures.

La **quatrième et dernière étape** consiste en la réalisation d'un essai à gradient hydraulique variable (Figure 3.11.3.2 – Étape 4). Pour ce faire, le tube frontal du perméamètre est rempli jusqu'à la hauteur du déversoir 4. La valve d'initiation est subséquentement ouverte, laissant l'eau percoler au sein de l'échantillon puis s'écouler par le déversoir 1. Le taux de descente de l'eau dans le tube frontal est mesuré par une sonde automatisée et utilisé afin d'évaluer le débit percolant au sein de l'échantillon. La différence entre la hauteur d'eau mesurée dans le tube frontal et la hauteur du déversoir 1, normalisée à la longueur de l'échantillon, permet d'évaluer le gradient hydraulique (ce dernier fluctuant dans le temps).

Figure 3.11.3.1 Représentation schématique du perméamètre de type A

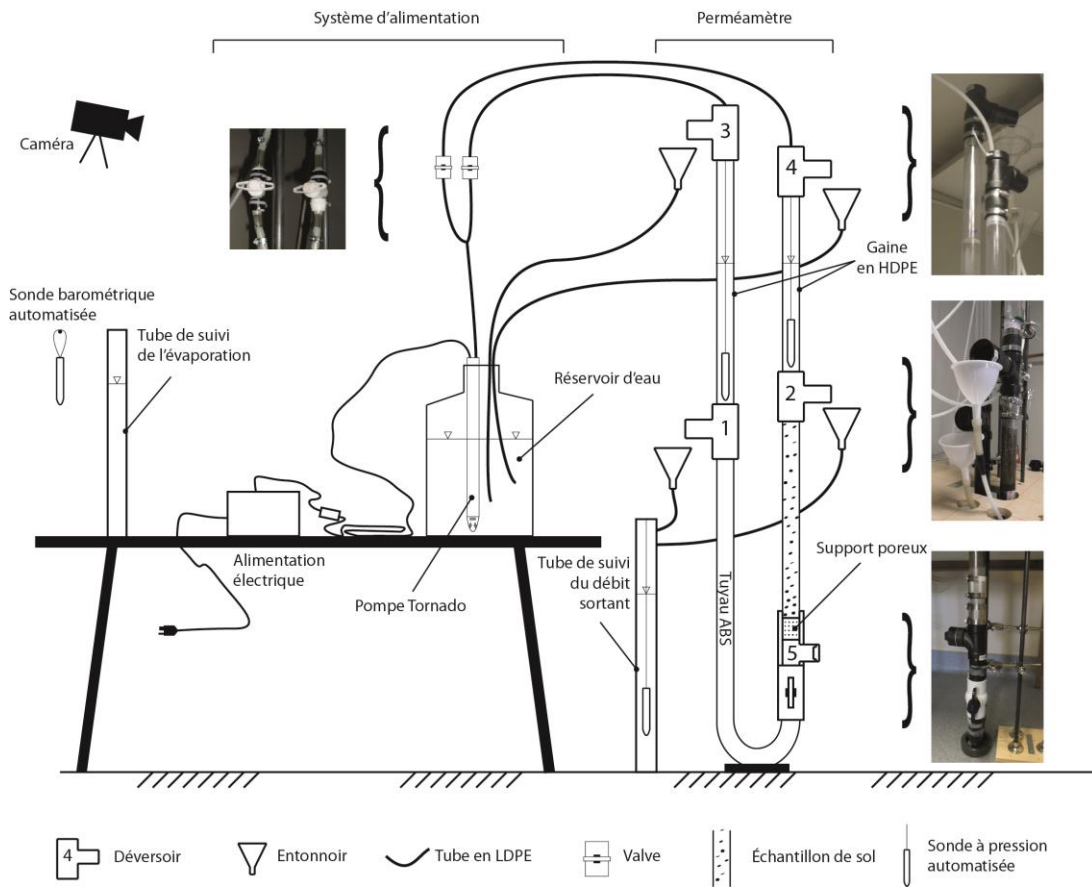
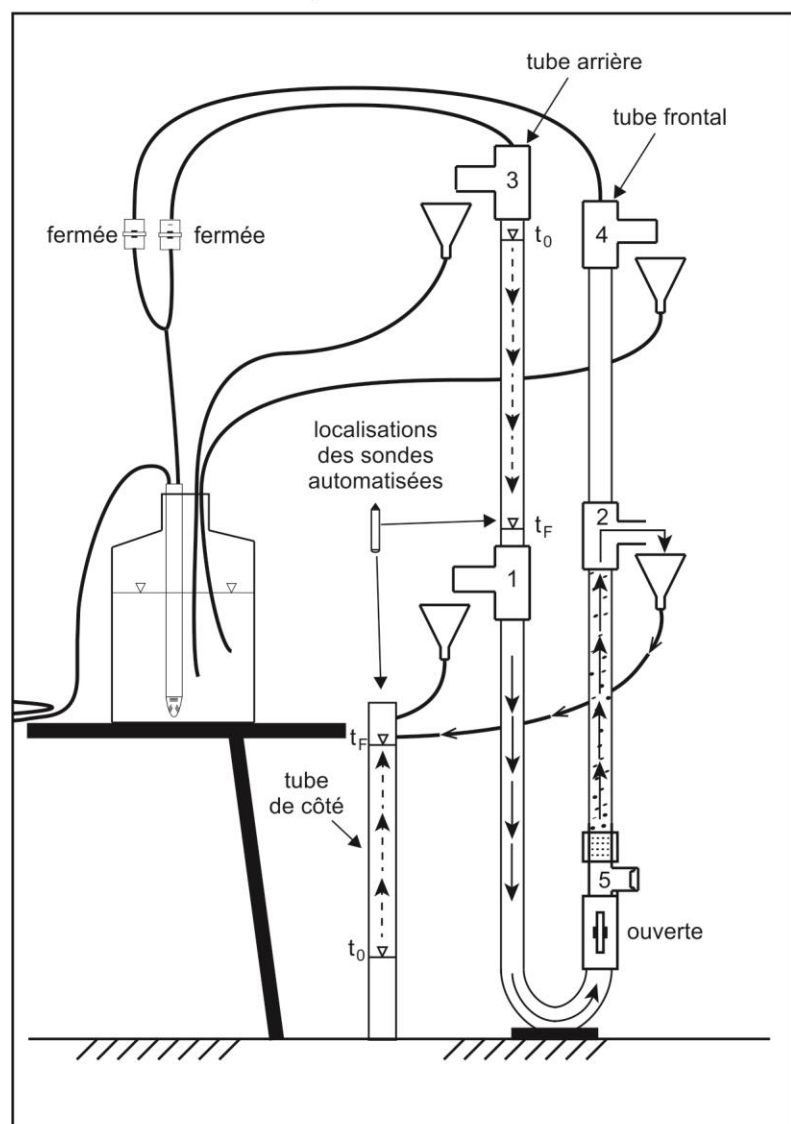
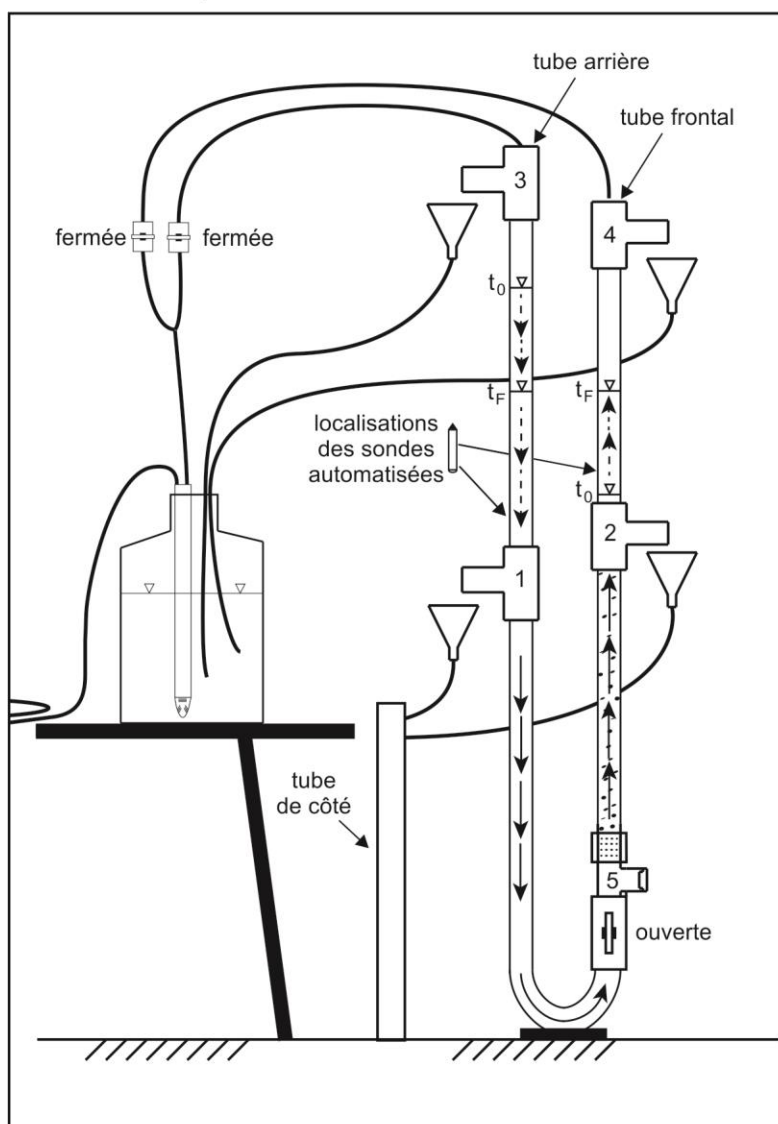


Figure 3.11.3.2 Représentation schématisée des essais réalisés à l'aide du perméamètre de base (modèle de base)

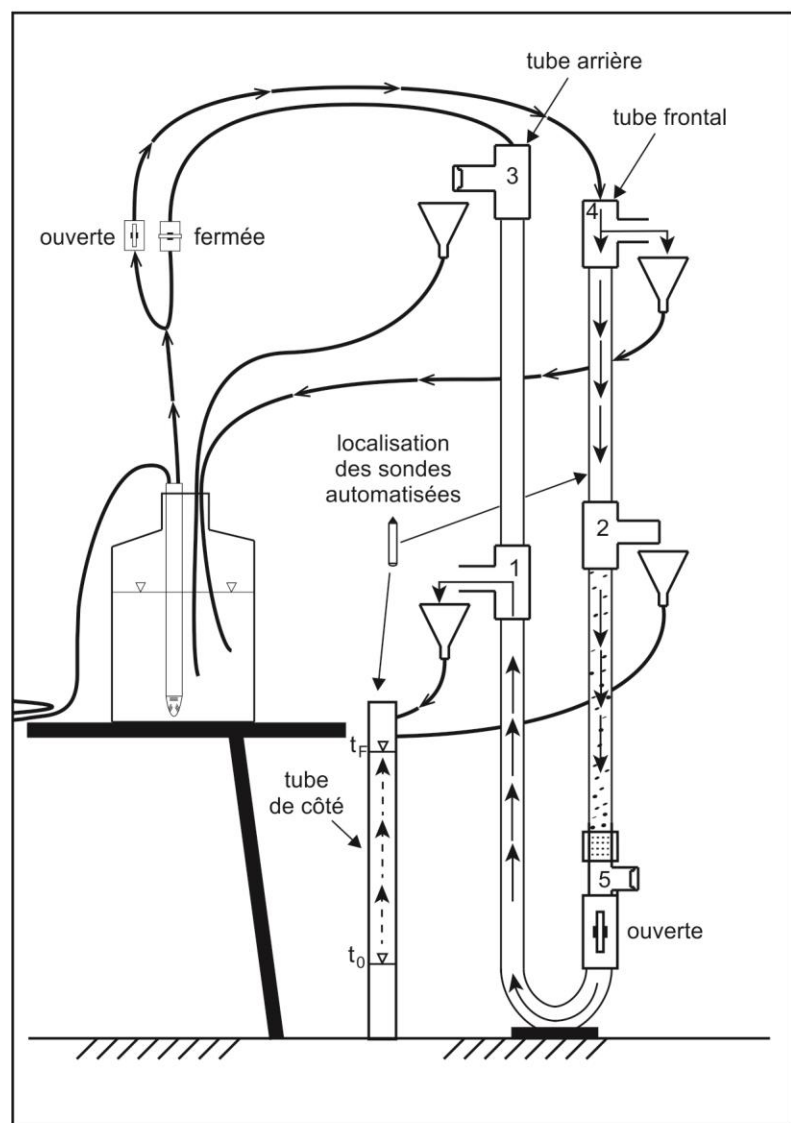
Étape 1 : Saturation



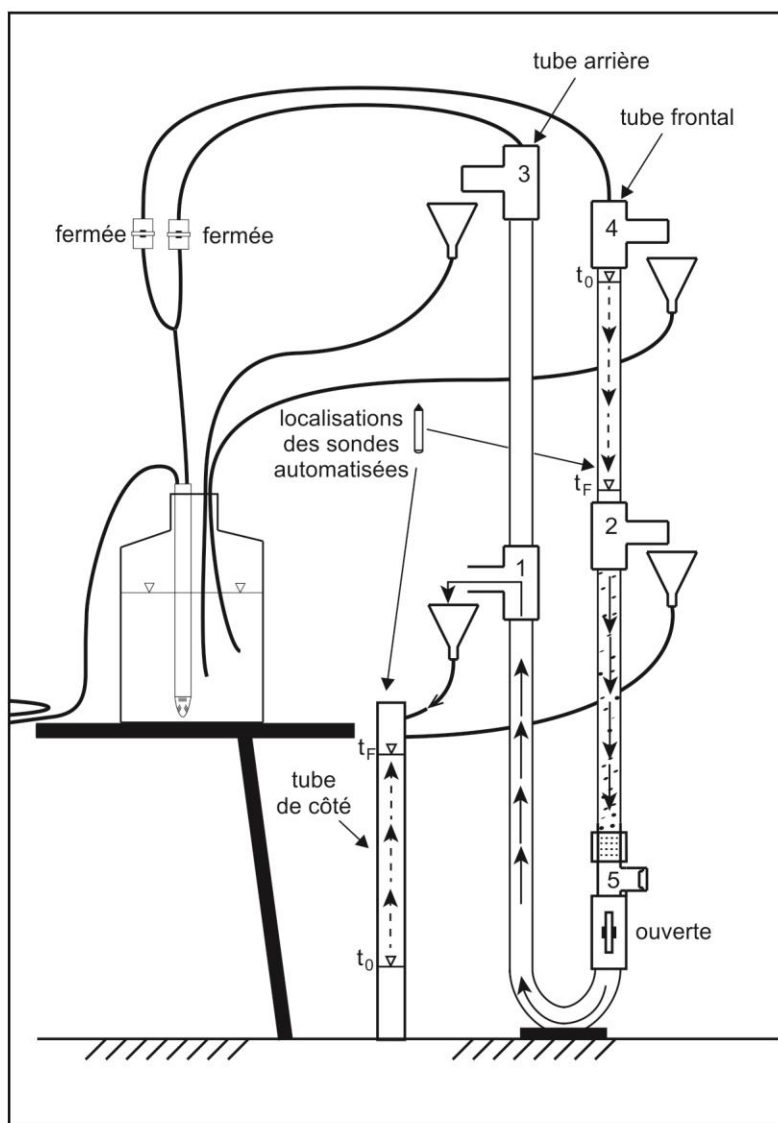
Étape 2 : Validation de la saturation



Étape 3 : Essai à gradient hydraulique constant



Étape 4 : Essai à gradient hydraulique variable



t_0 : Début de l'étape

t_F : Fin de l'étape

∇ : Niveau d'eau

\uparrow : Direction de l'écoulement

3.11.4 Essais sur les perméamètres de type B

Le perméamètre de type B (utilisé pour tester 32 échantillons) est pourvu de deux déversoirs permettant le contrôle des gradients hydrauliques imposés sur l'échantillon (Figure 3.11.4.1). L'échantillon soumis à l'essai (maintenu au sein de la gaine de HDPE de 4,2 cm de diamètre interne utilisée lors des forages (Section 3.5)) est muni à sa base d'un support poreux consistant en un tube d'ABS de 7,5 cm de longueur par 4,0 cm de diamètre interne rempli de grains de silice (1 à 2 mm de diamètre) retenus par un agencement de filets de plastique et de métal. L'approvisionnement en eau se fait manuellement. Les déversoirs 1 et 2 sont reliés au tube de suivi du débit sortant, lequel consiste en un tube de HDPE de 4,2 cm de diamètre interne. Le tube frontal et le tube de suivi du débit sortant du perméamètre sont pourvus de sondes automatisées permettant le suivi de la température et de la pression d'eau avec des précisions respectives de $\pm 0,05$ °C et $\pm 0,5$ cm (eau) (Levelogger gold LT F30/M10 Model 3001 de Solinst). Ces sondes sont maintenues en place par des câbles d'acier de 0,04 cm diamètre. L'évaporation est suivie lors des essais grâce à un échantillon témoin conservé au sein d'un tube de HDPE de 4,2 cm de diamètre interne exposé à l'atmosphère. L'évolution de la masse de ce dernier dans le temps permet d'estimer le taux d'évaporation. La pression atmosphérique est mesurée à pas de temps de 60 secondes avec une précision de $\pm 0,075$ cm (eau) à l'aide d'une sonde barométrique automatisée (Barologger LT F5/M15 Model 3001 de Solinst). Ces données permettent de corriger les pressions d'eau mesurées des effets de fluctuation de la pression atmosphérique au sein du laboratoire. Au laboratoire, les échantillons sont inspectés visuellement afin d'identifier la présence d'indices d'altération de leur structure (p. ex. présence de bulles d'air le long des parois de la gaine). Les échantillons jugés minimalement altérés sont retenus pour la réalisation des essais de perméabilité. Ces derniers, de longueurs initiales variant entre $\approx 0,40$ et $\approx 1,20$ m, sont coupés en sous-échantillons de tailles similaires à l'aide d'une scie à onglet manuelle. Suivant la sélection et la préparation d'un échantillon, ce dernier est équipé à sa base d'un support poreux et incorporé au perméamètre de laboratoire en prenant soin de conserver sa polarité.

Une fois le montage réalisé, la **première étape** consiste en une saturation de l'échantillon par l'imposition d'une circulation inverse (du bas vers le haut) (Figure 3.11.4.2 – Étape 1). Lors de cette étape, le tube arrière du perméamètre est rempli jusqu'à la hauteur du déversoir 1, permettant ainsi une circulation d'eau au sein de l'échantillon, jusqu'au déversoir 2 à partir duquel l'eau est acheminée au tube de suivi du débit sortant. Il est considéré ici qu'une saturation du bas vers le haut favorisera l'expulsion de l'air se trouvant dans l'échantillon étant partiellement saturé au moment de l'amorce de l'expérience. L'expérience est réalisée en s'assurant que le volume d'eau circulant au sein de l'échantillon est égal ou supérieur à trois fois son volume poral, en assumant une porosité totale de 30 %. Lors de l'expérience, la migration du front de saturation est suivie visuellement. L'observation d'un front de saturation homogène (surface subhorizontale) est interprétée ici comme indicatrice de l'absence de chemins d'écoulement préférentiels majeurs le long des parois du perméamètre.

La **seconde étape** consiste en la réalisation d'un essai à gradient hydraulique variable (Figure 3.11.4.2 – Étape 2). Pour ce faire, le tube frontal du perméamètre est rempli jusqu'à la hauteur désirée alors que le déversoir 2 est fermé, laissant ainsi l'eau percoler au sein de l'échantillon puis s'écouler par le déversoir 1. Le taux de descente de l'eau dans le tube frontal est mesuré par une sonde automatisée et utilisé afin d'évaluer le débit percolant au sein de l'échantillon. La différence entre la hauteur d'eau mesurée dans le tube frontal et la hauteur du déversoir 1, normalisée à la longueur de l'échantillon, permet d'évaluer le gradient hydraulique (ce dernier fluctuant dans le temps). Cette seconde étape est systématiquement répétée trois fois afin de vérifier la reproductibilité des essais.

Figure 3.11.4.1 Représentation schématique du perméamètre de type B

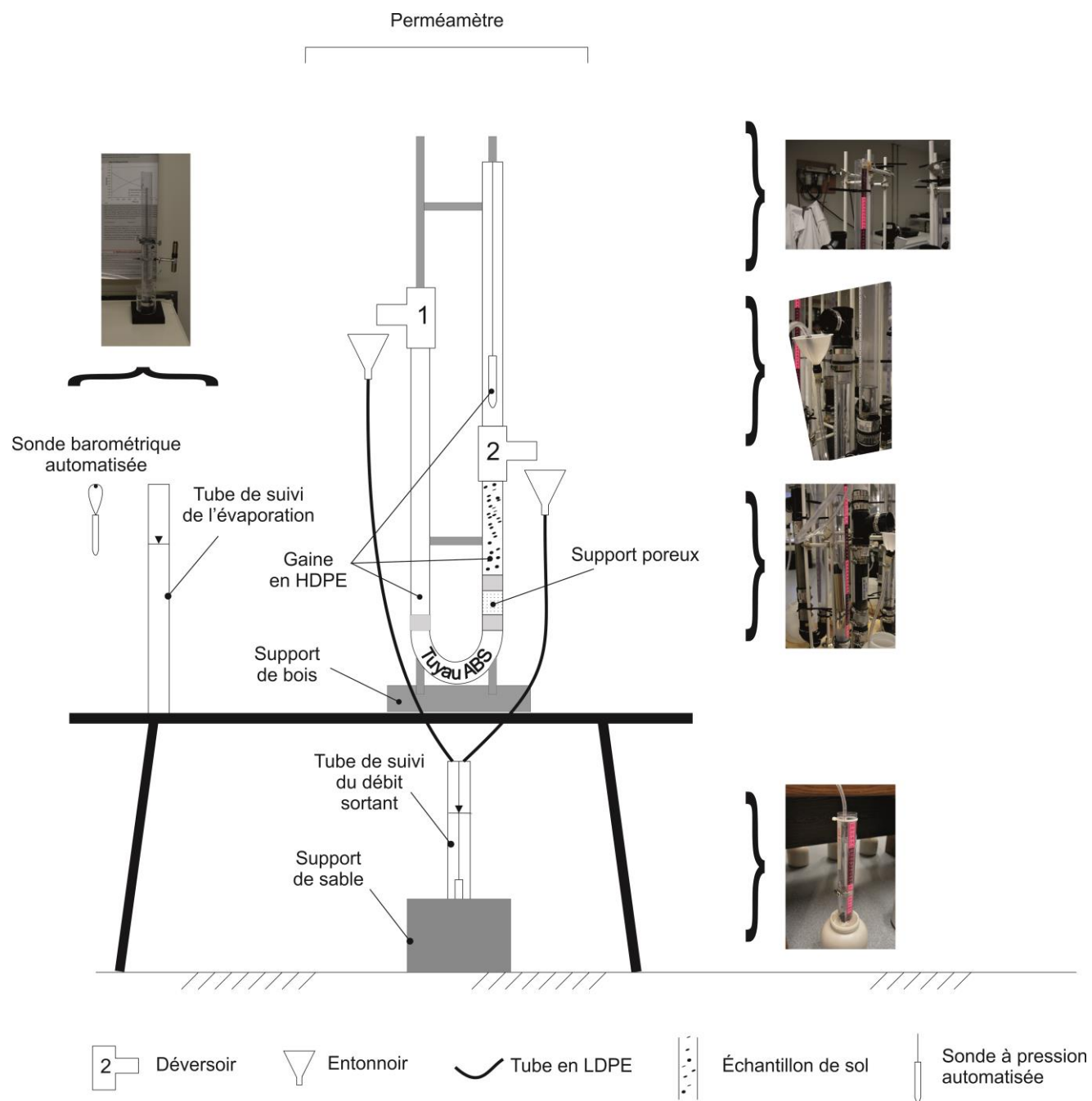
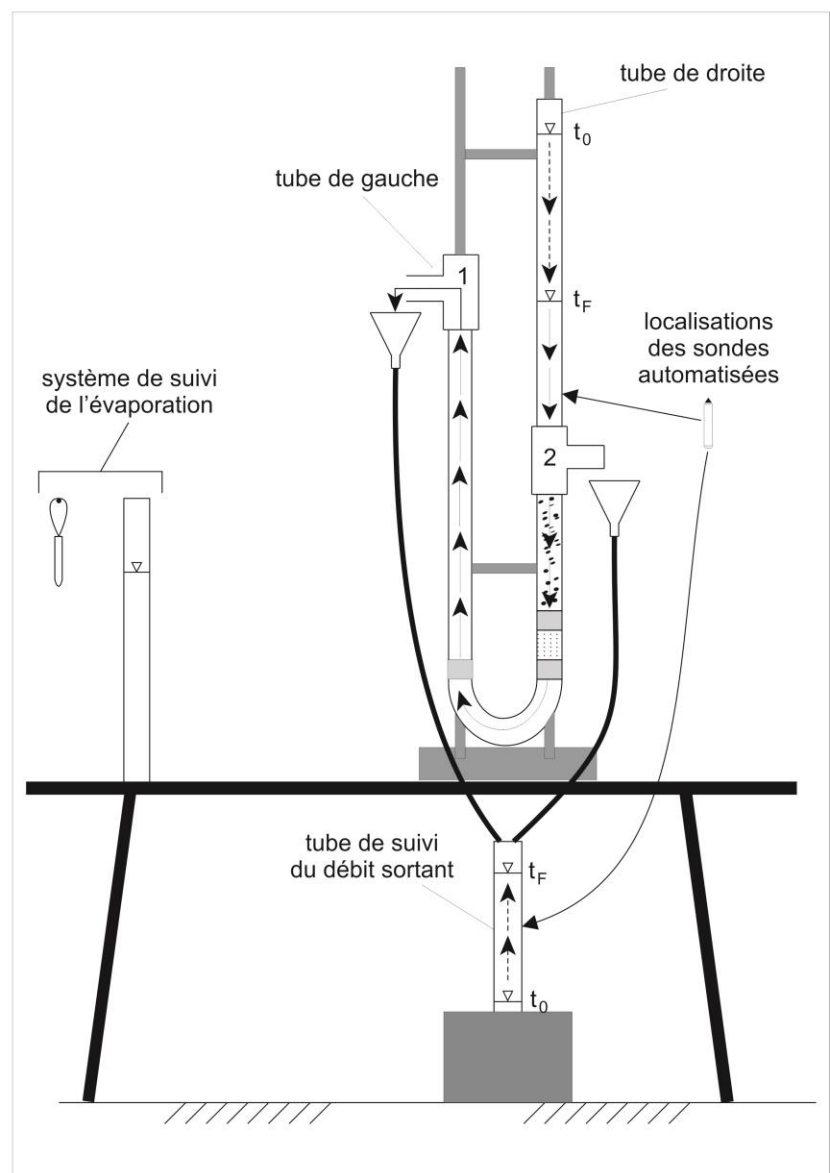
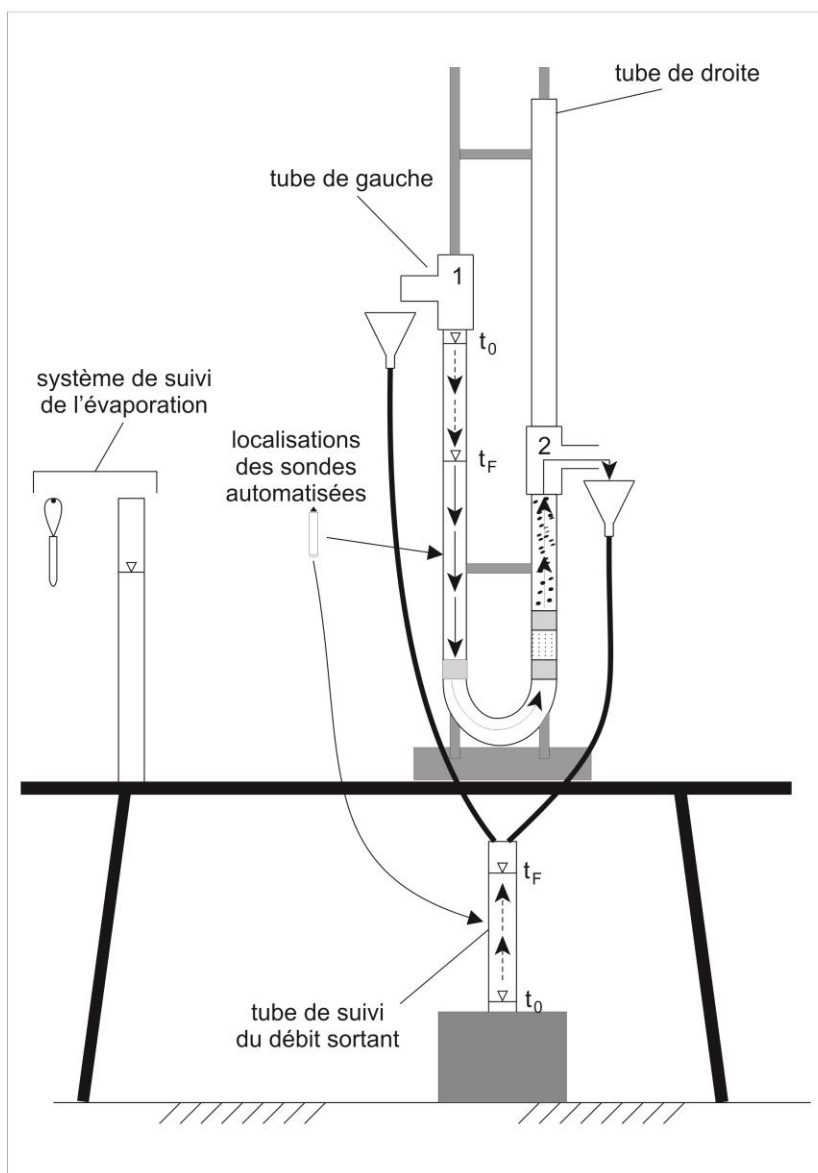


Figure 3.11.4.2 Représentation schématisée des essais réalisés à l'aide du perméamètre réduit (modèle réduit)

Étape 1 : Saturation

Étape 2 : Essai à gradient hydraulique variable



t_0 : Début de l'étape

t_F : Fin de l'étape

∇ : Niveau d'eau

\uparrow : Direction de l'écoulement

3.11.5 Stratégie de calcul

La conductivité hydraulique (K) des échantillons est évaluée par l'application de la méthode de Darcy dans une formulation telle que présentée par Freeze et Cherry (1979) :

$$K_{(gc)} = \frac{QL}{AH} \quad \text{Équation 3.11.5.1}$$

$$K_{(gv)} = \frac{L}{t} \ln \left(\frac{H_0}{H_1} \right) \quad \text{Équation 3.11.5.2}$$

où $K_{(gc)}$ et $K_{(gv)}$ représentent les valeurs de conductivité hydraulique obtenues par l'expérience à gradient hydraulique constant (gc) et à gradient hydraulique variable (gv), respectivement. Le terme Q représente le débit d'eau percolant au sein de l'échantillon ($[L^3T^{-1}]$), L représente la longueur de l'échantillon ($[L]$), A représente la surface de l'échantillon sur une coupe transversale à son axe long ($[L^2]$), t représente le temps ($[T]$) et H_0 et H_1 ($[L]$) représentent respectivement la hauteur d'eau à l'amorce et au temps t_1 d'un essai à gradient variable.

3.12 Analyses granulométriques

Au total, 153 échantillons ont été analysés afin d'évaluer les caractéristiques granulométriques. Les analyses granulométriques ont été effectuées par tamisage à l'aide d'une tamiseuse à vibration de type Retsch AS200. Les échantillons retenus pour les analyses granulométriques correspondent à des prélèvements obtenus dans le cadre de la réalisation (1) des essais au perméamètre de Guelph (Section 3.8), (2) des essais à l'infiltromètre à double anneau (Section 3.9) et (3) des essais en colonnes (Section 3.11). Les échantillons sélectionnés ont initialement été placés au sein d'assiettes d'aluminium puis séchés pendant une période ≥ 24 heures à température ambiante (≈ 22 °C). Suivant cette étape initiale, les échantillons ont été placés dans une étuve réglée à une température de 80 °C pour une période ≥ 4 heures. Les échantillons chauffés ont été refroidis à température ambiante pour une période ≥ 15 minutes et ont été pesés à l'aide d'une balance numérique de type Mettler Toledo, avec une précision de $\pm 0,1$ g.

3.12.1 Tamisage des échantillons

Suivant le séchage, l'analyse des échantillons a été réalisée à l'aide d'une tamiseuse à vibration de type Retsch AS200 (Figure 3.12.1.1; Tableau 3.12.1.1). Les analyses ont été réalisées suivant les procédures définies par les normes ASTM et décrites dans le document D6913-04 (*Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis*). Les tamis utilisés ont été sélectionnés en fonction des classes granulométriques proposées par Blott et Pye (2001) (Tableau 3.12.1.1). Les quantités massiques retenues sur chaque tamis sont normalisées à la masse initiale de l'échantillon afin de définir des courbes de distribution granulométrique.

Figure 3.12.1.1 Tamiseuse à vibration Retsch AS200



Tableau 3.12.1.1 Série de tamis utilisée pour l'analyse granulométrique

| # Tamis | Taille des mailles (mm) | Classe granulométrique passante (Blott et Pye, 2001) |
|---------|-------------------------|---|
| 5/16 in | 8 | Gravier fin |
| 5 | 4 | Gravier très fin |
| 10 | 2 | Sable très grossier |
| 14 | 1,4 | Sable très grossier |
| 18 | 1 | Sable grossier |
| 35 | 0,5 | Sable moyen |
| 60 | 0,250 | Sable fin |
| 120 | 0,125 | Sable très fin |
| 230 | 0,063 | Limon très grossier |

3.12.2 Traitement des données

Suivant la réalisation des essais en laboratoire, les données correspondant aux proportions massiques retenues sur les différents tamis ont été traitées en utilisant les tableurs Microsoft Excel rendus disponibles par Blott et Pye (2001). Des résultats issus de bases de données confidentielles ainsi que les données de Brazeau et al., (2001a; 2001b; 2001c; 2001d) ont également été incluses aux analyses. Les paramètres retenus afin de décrire les caractéristiques granulométriques sont présentés au tableau 3.12.2.1.

Tableau 3.12.2.1 Paramètres retenus afin de décrire les caractéristiques granulométriques

| Paramètres | Unités | Définitions retenues |
|---|------------------------------------|--|
| Diamètre effectif d_{10} | [L] | Diamètre des grains (mm) correspondant à 10 % de passant (massique) ^A |
| Diamètre effectif d_{50} | [L] | Diamètre des grains (mm) correspondant à 50 % de passant (massique) ^A |
| Diamètre effectif d_{60} | [L] | Diamètre des grains (mm) correspondant à 60 % de passant (massique) ^B |
| Diamètre effectif d_{90} | [L] | Diamètre des grains (mm) correspondant à 90 % de passant (massique) ^A |
| Coefficient d'uniformité ¹ (C_u) | [] | $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$ |
| Porosité ² (n) | [L ³ /L ³] | $n = 0,255(1 + 0,83^{C_u})$ |
| Indice des vides (e) | [] | $e = \frac{n}{1 - n}$ |

A : Estimé à partir de la feuille de calcul de Blott et Pye, (2001). B : Estimation indépendante de la feuille de calcul de Blott et Pye, (2001). ¹ Source : Chapuis, (2012). ² Source : équation tirée de Chapuis, (2012) mais provenant de source antérieure.

3.13 Échantillonnages géochimiques

Les échantillonnages géochimiques réalisés dans le cadre de la présente étude ont ciblé les précipitations sous forme de pluie et de neige (n = 47), la neige au sol (n = 31), les eaux de surface (n = 100) ainsi que les eaux souterraines (n = 170). Le tableau 3.13.1 dresse un sommaire des conditions de stockage et de préservation relatives aux paramètres analytiques retenus pour ces échantillons, alors que les détails des stratégies d'échantillonnage sont discutés dans les sections 3.13.1 à 3.13.5. La section 3.13.6 dresse un sommaire des informations relatives aux suivis effectués auprès des laboratoires d'analyses et à l'approche retenue pour l'archivage des données.

Tableau 3.13.1 Sommaire des échantillonnages géochimiques réalisés

| Catégorie d'analyse (Contenant) | Paramètres | Agent de conservation | Filtration Terrain (0,45 µm) | Délai de préservation | Délai maximum observé pour l'acheminement au laboratoire | Méthode analytique de base | Limite de détection de base ou précision | Précipitations (nb) | Neige au sol (nb) | Eaux de surface (nb) ^{1,2} | Eaux souterraines (nb) ^{1,2} |
|--|--|---|---|--|--|--------------------------------------|--|---------------------|-------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Paramètres <i>in situ</i> | Température | Aucun | Aucune | Non applicable (mesures <i>in situ</i>) | Non applicable (mesure <i>in situ</i>) | Sonde multi-paramètres (YSI 556 MPS) | ± 0,15 °C | 20 | 31 | 202 (102) | 169 (1) |
| | pH | | | | | | ± 0,2 | | | 202(102) | 170 (1) |
| | Conductivité électrique spécifique | | | | | | ± 1 % | | | 202 (102) | 169 (1) |
| | Oxygène dissous | | | | | | ± 0,2 mg/L | | | 202 (102) | 167 (1) |
| | Potentiel d'oxydo-réduction | | | | | | ± 20 mV | | | 201 (101) | 169 (1) |
| Anions (Polyéthylène haute densité (HDPE), 125 ml) | Alcalinité totale | Aucun | Neige au sol et eaux de surface | 14 jours | 7 jours | S.M. 2320B | 1 mg CaCO ₃ /L | | 31 | 100 (2) | 169 (2) |
| | Bromures (Br) | | | 28 jours | | MA.300-IONS 1.3 | 0,1 mg/L | | | | |
| | Chlorures (Cl) | | | | | | 0,05 mg/L | | | | |
| | Nitrites+Nitrates (NO ₂ +NO ₃) | | | | | | 0,02 mg N/L | | | | |
| | Sulfates (SO ₄) | | | | | | 0,5 mg/L | | | | |
| Fluorures (F) | S.M.4500-F C | 0,1 mg/L | | | | | | | | | |
| Isotopes de la molécule d'eau (HDPE, 60 ml) | δ ² H | Aucun | Neige au sol et eaux de surface | ND | ND | ND | ± 1 ‰ | 42 | 31 | 85 (2) | 159 |
| | δ ¹⁸ O | | | | | | ± 0,05 ‰ | | | | |
| Datation-Tritium (HDPE, 1L) | Tritium (³ H) | Aucun | Aucune | ND | ND | ND | ND | | | | |
| Nutriments (HDPE, 125 ml) | Azoteammoniacale (NH ₃) | Acide sulfurique (H ₂ SO ₄) | Neige au sol, eaux souterraines et de surface | 28 jours | 7 jours | MA.300-N 1.1 | 0,02 mg N/L | | 31 | 99 (2) | 167 (2) |
| | P total inorganique (P) | | | | | | MA.300-P.Ino 2.0 | | | | |
| Carbone organique dissous (HDPE, 125 ml) | Carbone organique dissous | Acide sulfurique (H ₂ SO ₄) | Eaux de surface | 28 jours | 7 jours | SM 5310B | 0,2 mg/L | | | 98 | |
| Métaux (HDPE, 125 ml) | Aluminium (Al) | Acide nitrique (HNO ₃) | Neige au sol, eaux souterraines et de surface | 6 mois | 7 jours | MA.200-Met 1.2 (ICP-MS) | 0,01 mg/L | | 31 | 100 (2) | 169 (3) |
| | Antimoine (Sb) | | | | | | 0,001 mg/L | | | | |
| | Argent (Ag) | | | | | | 0,0001 mg/L | | | | |
| | Arsenic (As) | | | | | | 0,001 mg/L | | | | |
| | Baryum (Ba) | | | | | | 0,002 mg/L | | | | |
| | Béryllium (Be) | | | | | | 0,0005 mg/L | | | | |
| | Bismuth (Bi) | | | | | | 0,00025 mg/L | | | | |
| | Bore (B) | | | | | | 0,02 mg/L | | | | |
| | Cadmium (Cd) | | | | | | 0,0002 mg/L | | | | |
| | Calcium (Ca) | | | | | | 0,3 mg/L | | | | |
| | Chrome (Cr) | | | | | | 0,0005 mg/L | | | | |
| | Cobalt (Co) | | | | | | 0,0005 mg/L | | | | |
| | Cuivre (Cu) | | | | | | 0,0005 mg/L | | | | |
| | Étain (Sn) | | | | | | 0,001 mg/L | | | | |
| | Fer (Fe) | | | | | | 0,1 mg/L | | | | |
| | Lithium (Li) | | | | | | 0,01 mg/L | | | | |
| | Magnésium (Mg) | | | | | | 0,1 mg/L | | | | |
| | Manganèse (Mn) | | | | | | 0,0004 mg/L | | | | |
| | Molybdène (Mo) | | | | | | 0,0005 mg/L | | | | |
| | Nickel (Ni) | | | | | | 0,001 mg/L | | | | |
| | Plomb (Pb) | | | | | | 0,0001 mg/L | | | | |
| | Potassium (Pb) | | | | | | 0,1 mg/L | | | | |
| | Sélénium (Se) | | | | | | 0,001 mg/L | | | | |
| Silicium (Si) | 0,1 mg/L | | | | | | | | | | |
| Sodium (Na) | 0,1 mg/L | | | | | | | | | | |
| Strontium (Sr) | 0,002 mg/L | | | | | | | | | | |
| Titane (Ti) | 0,01 mg/L | | | | | | | | | | |
| Uranium (U) | 0,001 mg/L | | | | | | | | | | |
| Vanadium (V) | 0,002 mg/L | | | | | | | | | | |
| Zinc (Zn) | 0,005 mg/L | | | | | | | | | | |
| Mercuré (HDPE, 125 ml) | Mercuré (Hg) | Acide nitrique (HNO ₃) | Eaux souterraines et de surface | 28 jours | 7 jours | MA.200-Met 1.2 (ICP-MS) | 0,0001 mg/L | | | 3 (2) | 3 |
| Sulfures (HDPE, 125 ml) | Sulfures totaux (S) | Acétate de zinc dihydraté (ZN(CH ₃ COO) ₂ •2H ₂ O) et hydroxyde de sodium (NaOH) | Neige au sol et eaux de surface | 28 jours | 7 jours | MA.300-S 1.1 | 0,02 mg S/L | | 31 | 100 (2) | 167 (2) |
| Isotopes du carbone (HDPE, 1L) | Carbone 13 (¹³ C) Carbone 14 (¹⁴ C) | Azote de sodium (NaN ₃) | Aucune | ND | ND | ND | ND | | | | |

¹ Pour les paramètres *in situ*, les nombres entre parenthèses indiquent le nombre de mesures n'étant pas associées à un prélèvement. ² À l'exception des paramètres *in situ*, les nombres entre parenthèses indiquent le nombre d'échantillons prélevés à la même station.

3.13.1 Échantillonnage des précipitations (pluie et neige)

L'échantillonnage des précipitations est réalisé aux stations météorologiques de Béarn, Montbeillard et Sainte-Hélène-de-Mancebourg, trois sites figurant au réseau de surveillance du climat du MDDELCC (MDDELCC, s.d.b). Des échantillons composites mensuels y sont prélevés. Les précipitations tombant sous forme de pluie sont collectées à l'aide de pluviomètres standards de 10,1 cm de diamètre interne (type All Weather P-2000 de Productive Alternatives) (Figure 3.13.1.1). Une couche d'environ 1 cm d'huile de paraffine légère (moins dense que l'eau) (*Mineral Oil, Light* (NF/FCC), Fisher Chemical) est préalablement incorporée aux pluviomètres afin de limiter l'évaporation de l'eau interceptée. À la base de l'entonnoir situé au sommet du pluviomètre, un grillage est installé pour bloquer le passage des insectes. La collecte des échantillons tombant sous forme de neige nécessite la participation des observateurs associés au réseau de surveillance du MDDELCC, lesquels sont mandatés par le MDDELCC pour la réalisation de mesures d'équivalent en eau de la neige interceptée par un nivomètre à écran de Nipher (Figure 3.13.1.2). Le GRES-UQAT fournit aux observateurs des contenants d'un litre en polyéthylène haute densité (HDPE) afin qu'ils puissent récupérer l'eau de fonte associée à chaque événement de précipitation et produire un échantillon composite mensuel. De l'huile de paraffine est intégrée aux contenants d'un litre afin de limiter l'évaporation. Une tournée des sites est réalisée mensuellement afin de récupérer les échantillons composites. Un sous-échantillon destiné à la réalisation d'analyses isotopiques de la molécule d'eau ($\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$) est subséquemment transvidé dans un contenant de HDPE de 60 ml et conservé à 4 °C. Lorsque le volume d'eau le permet, le pH et la conductivité électrique spécifique (à 25 °C) sont mesurés au laboratoire du GRES en utilisant une sonde multi-paramètres de type YSI 556 MPS.

Figure 3.13.1.1 Matériel utilisé pour le suivi des précipitations liquides

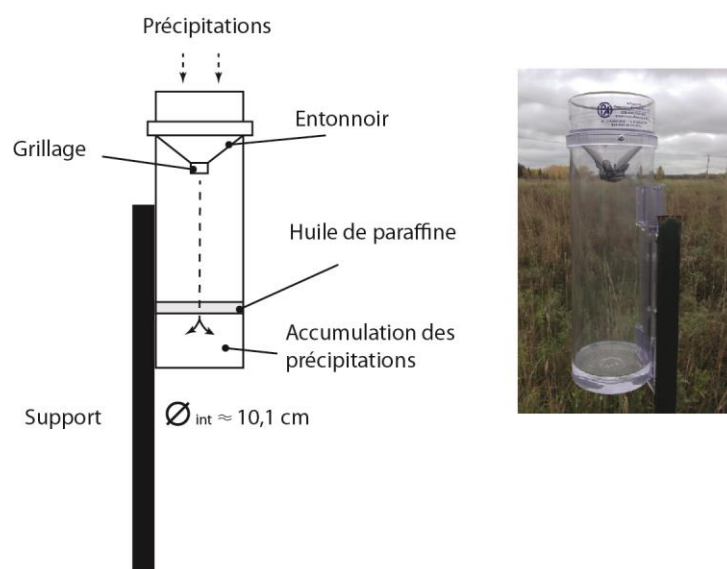
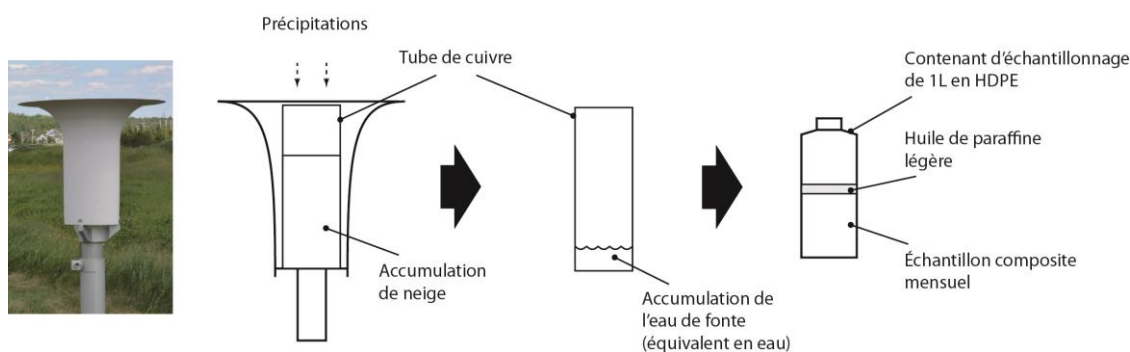


Figure 3.13.1.2 Matériel utilisé pour le suivi des précipitations solides

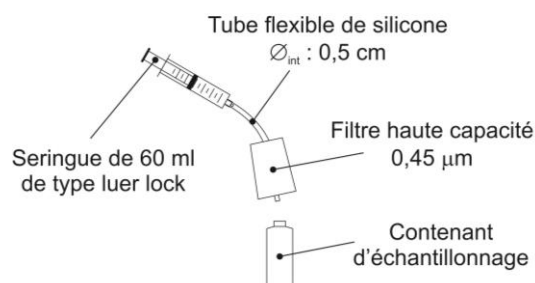


3.13.2 Échantillonnage et mesure de l'épaisseur de la neige au sol

Une campagne de mesures et d'échantillonnage de la neige au sol a été réalisée en mars 2014. La sélection des sites d'échantillonnage a été réalisée de façon à privilégier l'acquisition de données à proximité de points de grille utilisés par le CEHQ pour le calcul des apports verticaux (Poirier et al., 2012). La stratégie d'échantillonnage appliquée à tous les sites incluait l'excavation d'une tranchée rectiligne d'une longueur variant entre 5 m et 6 m orientée perpendiculairement à la direction du vent. Par la suite, la neige a été sous-échantillonnée à des intervalles inférieurs ou égaux à 1 m du côté amont de la tranchée par rapport à la direction du vent, à l'aide d'un tube de HDPE de 4,2 cm de diamètre interne et d'une longueur de 1,16 m. Chacun des sous-échantillons ainsi prélevés a été pesé à l'aide d'une balance numérique de type Mettler Toledo d'une capacité maximale de 12 kg et d'une précision de 0,0001 kg, puis transvidé au sein d'une même bouteille de 2 L en HDPE à goulot large afin de constituer un échantillon composite (≥ 800 g). Les échantillons ont été maintenus congelés et entreposés au laboratoire du GRES jusqu'à leur traitement. Lors de l'échantillonnage, la différence entre la longueur totale du tube de prélèvement (1,16 m) et sa longueur excédent la couverture de neige indiquait l'épaisseur de la couche échantillonnée. Un minimum de cinq mesures d'épaisseur de neige a été réalisé à chaque tranchée.

Placés à l'intérieur du laboratoire du GRES, les échantillons de neige ont été fondus à température pièce (≈ 22 °C) pour une nuit entière. La présence de particules de sol intégrées à la neige lors du prélèvement des échantillons a forcé la filtration de l'eau de fonte. La filtration a été réalisée à l'aide d'une seringue de 60 mL en polyéthylène (de type luer lock) reliée à une cartouche de type Waterra FHT-45 par un tubage flexible de silicone (Figure 3.13.2.1). L'eau ainsi filtrée a été transvidée dans les contenants pour les analyses chimiques. Le pH et la conductivité électrique spécifique ont été mesurés par le laboratoire où les échantillons ont été expédiés.

Figure 3.13.2.1 Configurations de filtration avec seringue de 60 ml



3.13.3 Échantillonnage des ruisseaux et rivières

L'approche retenue dans le cadre de la présente étude visait l'échantillonnage des ruisseaux et rivières dans leurs parties centrales, à des profondeurs allant de 0,5 à 1,5 m. Dans tous les cas, les paramètres *in situ* (température, pH, conductivité électrique spécifique, oxygène dissous, potentiel d'oxydoréduction) ont été mesurés en plaçant une sonde multi-paramètres de type YSI 556 MPS à proximité du point d'échantillonnage. Lorsque possible, la cible d'échantillonnage était atteinte en utilisant une perche d'échantillonnage télescopique de 7,32 m (Modèle Swing Sampler de NASCO) munie à son extrémité d'une bouteille de HDPE d'un litre (Figure 3.13.3.1). La première étape consistait en un rinçage de la perche et du contenant d'un litre au sein du cours d'eau, en aval du site ciblé pour l'échantillonnage. Suivant ce rinçage, l'échantillon prélevé était immédiatement filtré à $0,45 \mu\text{m}$ à l'aide d'une cartouche de type Waterra FHT-45 et transvidé au sein des contenants d'échantillonnage suivant la procédure illustrée à la figure 3.13.3.2. Lorsque les conditions de terrain empêchaient l'atteinte de la cible d'échantillonnage via l'utilisation de la perche télescopique, mais qu'un pont était accessible à proximité, les échantillons étaient prélevés à l'aide d'une écope à bille de type Waterra (ecobailer) d'une capacité d'un litre attachée au bout d'un fil de nylon incolore muni d'un flotteur indiquant la profondeur du prélèvement (Figure 3.13.3.1). Après rinçage au sein du cours d'eau à échantillonner, l'écope à bille était descendue à la profondeur souhaitée, remontée puis transvidée au sein des bouteilles de HDPE d'un litre jusqu'à l'atteinte d'un volume total de deux litres. L'échantillon ainsi prélevé était traité selon la procédure présentée à la figure 3.13.3.2.

Immédiatement après le prélèvement, tous les échantillons ont été stockés au sein de glacières pourvues d'agents réfrigérants afin de les conserver à une température avoisinant $4 \text{ }^\circ\text{C}$. Si les échantillons devaient être conservés plus d'une journée, ils étaient stockés dans une chambre froide ou un réfrigérateur, à $4 \text{ }^\circ\text{C}$ et à l'obscurité, à compter du jour même de l'échantillonnage et jusqu'au moment de l'expédition au laboratoire.

Figure 3.13.3.1 Échantillonnage des ruisseaux et rivières (prélèvement)

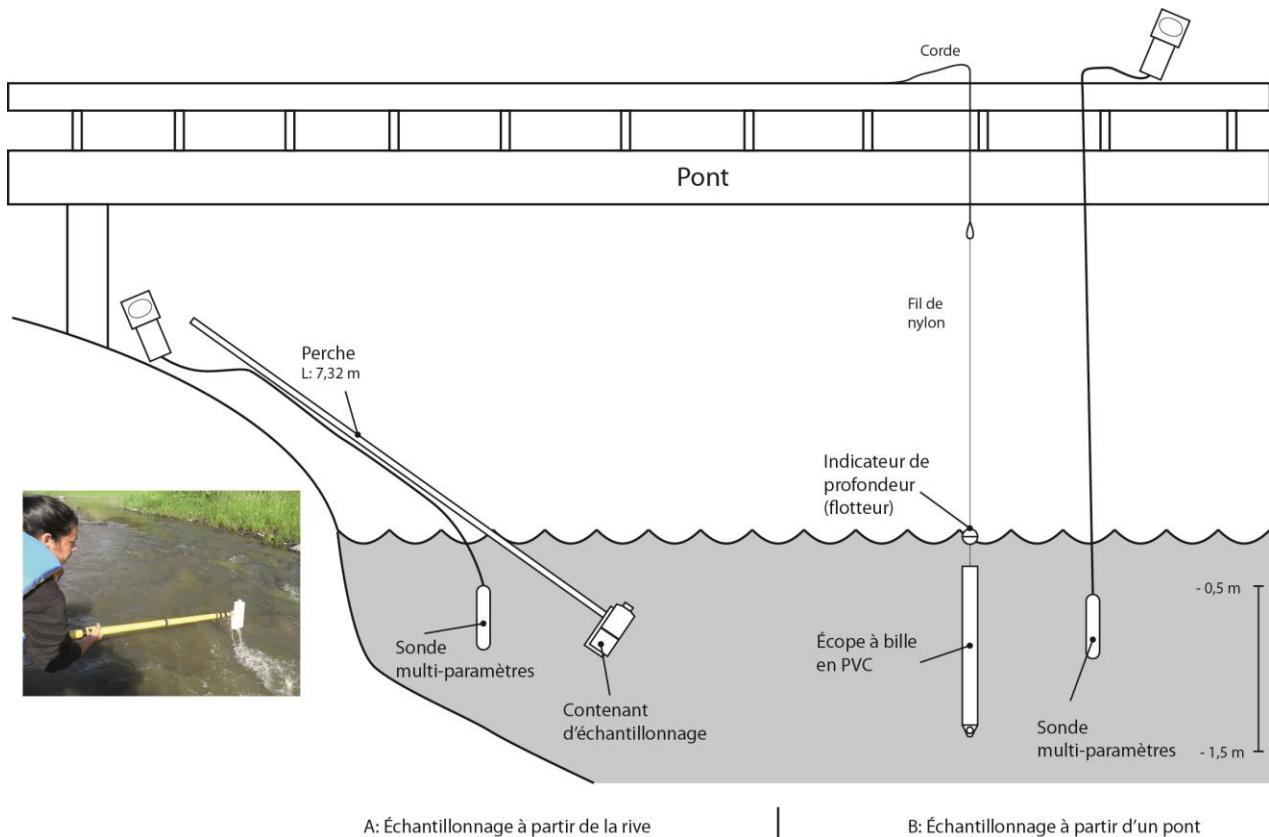
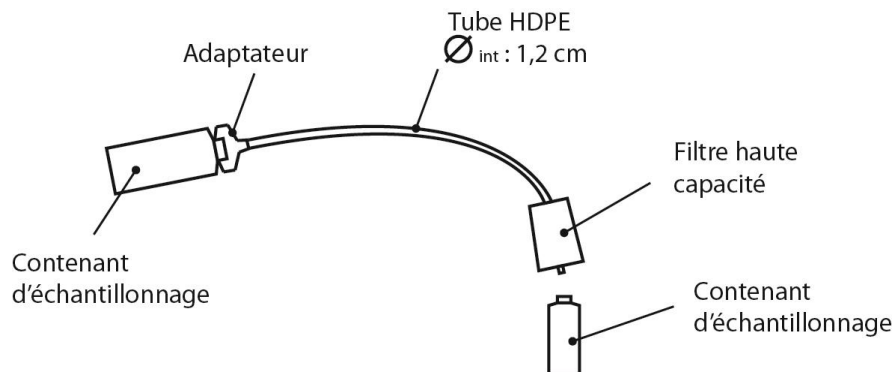


Figure 3.13.3.2 Échantillonnage des ruisseaux et rivières (filtration et remplissage des bouteilles)



Il est à noter que le raccord, le tubage et le filtre haute capacité illustrés ci-dessus étaient rincés avec de l'eau d'échantillonnage avant le remplissage des contenants destinés à la réalisation d'analyses chimiques.

3.13.4 Échantillonnage des lacs

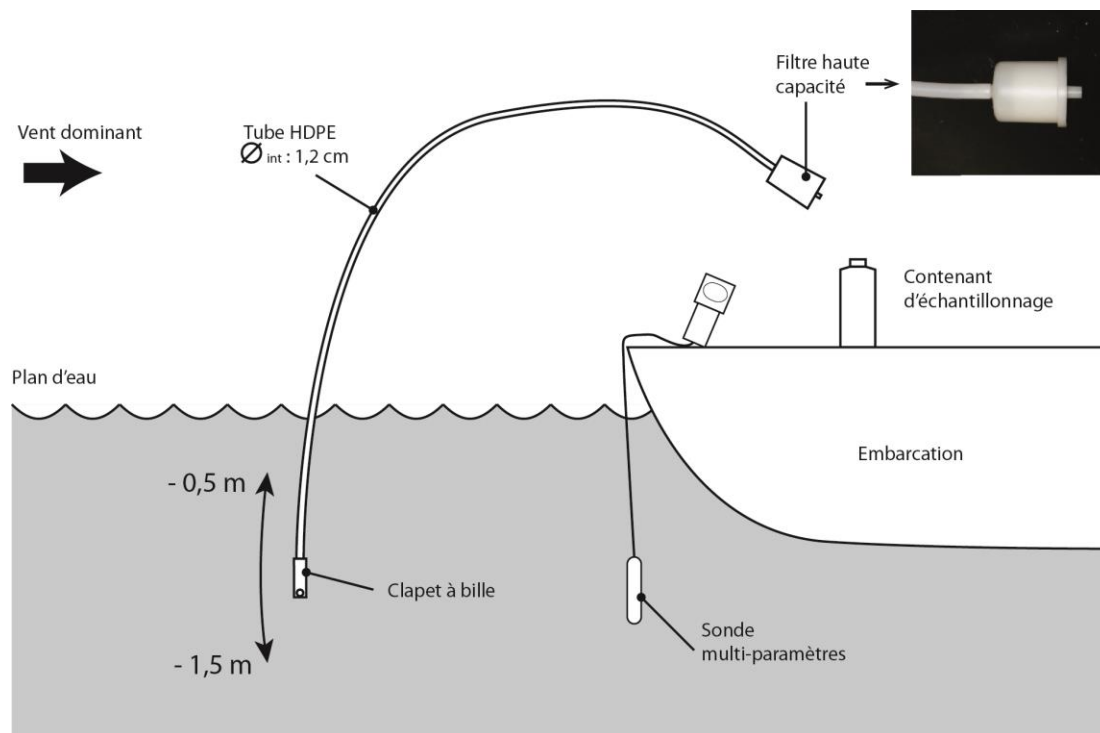
L'échantillonnage du lac Témiscamingue a été rendu possible grâce à une collaboration avec l'OBVT. La campagne d'échantillonnage a été réalisée à l'aide d'un bateau à moteur fourni par le MRN et piloté par un agent de la faune. Les échantillons y ont été prélevés depuis l'embarcation, environ 1 m sous la surface, à l'aide de la perche d'échantillonnage télescopique de 7,32 m (Modèle Swing Sampler de NASCO) munie à son extrémité d'une bouteille de HDPE d'un litre. Le point d'échantillonnage et le point

de mesure des paramètres *in situ* étaient situés à plus d'un mètre de la coque du bateau, en amont de ce dernier par rapport à la direction des vagues et du vent. Une fois la bouteille d'un litre récupérée, la filtration des échantillons a été réalisée selon la procédure illustrée à la figure 3.13.3.2.

L'échantillonnage du lac Tee a été rendu possible grâce à une collaboration avec l'Association des riverains du lac Tee. L'échantillonnage y a été réalisé à l'aide d'un bateau à moteur fourni et conduit par M. Raymond Moreau, président de l'association précitée. Le prélèvement de l'eau du lac a été effectué à l'aide d'une tubulure semi-rigide en HDPE de 2 m de longueur pourvue d'un clapet à bille (modèle D-25 de Waterra) et d'une cartouche de type Waterra FHT-45 (Figure 3.13.4.1). Le point d'échantillonnage et le point de mesure des paramètres *in situ* étaient situés à environ un mètre de la coque du bateau, en amont de ce dernier par rapport à la direction des vagues et du vent.

Immédiatement après le prélèvement, tous les échantillons ont été stockés au sein de glacières pourvues d'agents réfrigérants afin de les conserver à une température avoisinant 4 °C. Si les échantillons devaient être conservés plus d'une journée, ils étaient stockés dans une chambre froide ou un réfrigérateur, à 4 °C et à l'obscurité, à compter du jour même de l'échantillonnage et jusqu'au moment de l'expédition au laboratoire.

Figure 3.13.4.1 Illustration schématisée du système d'échantillonnage utilisé pour le prélèvement d'eau au lac Tee



3.13.5 Échantillonnage des eaux souterraines

La purge de l'eau issue d'un piézomètre ou d'un puits constitue la première étape relative à l'échantillonnage de l'eau souterraine. Cette démarche permet (1) de rincer la tubulure utilisée pour le pompage et l'échantillonnage et (2) de vidanger l'eau stagnante présente dans l'infrastructure afin d'obtenir un échantillon d'eau représentatif du milieu aquifère. Lorsque l'eau d'un puits est rarement ou jamais pompée, il est recommandé de purger un volume équivalent de trois à cinq fois son volume. Le

volume total à purger est déterminé à partir des caractéristiques de l'infrastructure et de la profondeur de l'eau souterraine y étant mesurée avant le pompage :

$$V(I) = \left[\left(\left(\frac{DT}{2} \right)^2 \times \pi \times (PT - PE - IMF) \right) + \left(\left(\frac{DF}{2} \right)^2 \times \pi \times IMF \right) \right] \times 1000 \times 3 \quad \text{Équation 3.13.5.1}$$

où :

- DT : Diamètre du tubage intérieur (m);
- π : Pi (3,1416);
- PT : Profondeur totale du puits (m);
- PE : Profondeur de l'eau souterraine (m);
- IMF : Intervalle du massif filtrant (m), lorsque présent autour de la crépine;
- DF : Diamètre du forage (m), lorsque du massif filtrant est présent.

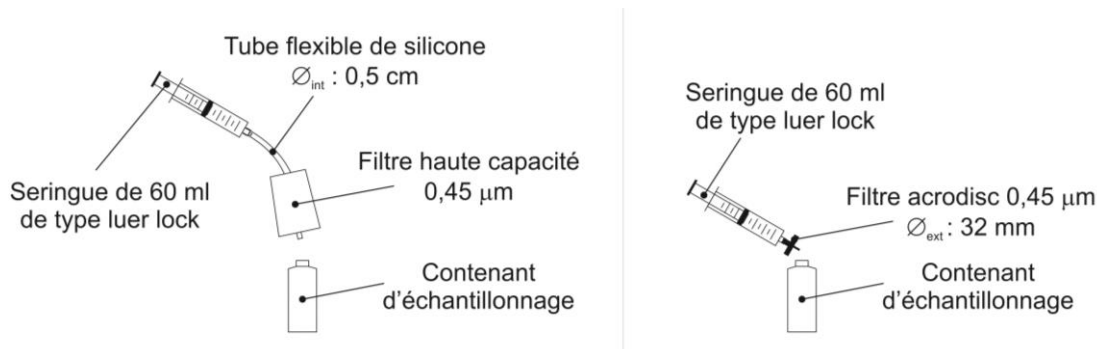
Suivant la purge minimale, le suivi des paramètres *in situ* (température, pH, conductivité électrique spécifique, oxygène dissous, potentiel d'oxydoréduction et turbidité) permet de guider les démarches d'échantillonnage. Ces paramètres doivent atteindre la stabilité avant le prélèvement d'un échantillon. La stabilité est considérée comme atteinte lorsqu'un ensemble de trois valeurs séparées par des intervalles de cinq minutes répond aux critères de stabilité rapportés au tableau 3.13.5.1. Il est à noter qu'un échantillon d'eau a été prélevé à la sortie d'une source aménagée. La méthodologie suivie pour l'échantillonnage de l'eau de source est la même que celle appliquée pour les piézomètres à l'exception de l'étape de purge (étant donné l'écoulement continu de la source).

Tableau 3.13.5.1 Paramètres *in situ* mesurés sur le terrain et critères de stabilité

| Paramètres <i>in situ</i> | Instruments | Critères de stabilité |
|--|----------------------|------------------------------|
| Température (°C) | Sonde YSI 556 MPS | ± 0,1 |
| pH (unité de pH) | Sonde YSI 556 MPS | ± 0,1 |
| Conductivité électrique spécifique (µS/cm) | Sonde YSI 556 MPS | ± 2 % |
| Oxygène dissous (mg/L) | Sonde YSI 556 MPS | ± 0,2 |
| Potentiel d'oxydoréduction (mV) | Sonde YSI 556 MPS | ± 10 |
| Turbidité | Observation visuelle | Couleur et opacité homogènes |

La seconde étape relative à l'échantillonnage de l'eau souterraine concerne le remplissage des contenants à la sortie de la tubulure de pompage (ou au point d'émergence de la source). La filtration des échantillons est effectuée immédiatement après le prélèvement. L'eau issue de puits a été filtrée à l'aide de seringues de 60 ml (de type luer lock) pourvues de cartouches de type Acrodisc (0,45 µm) contenant une membrane de polyéthersulfone de 32 mm de diamètre (Figure 3.13.7). En raison de la présence de matières en suspension, les échantillons prélevés au sein des piézomètres installés dans le cadre de la présente étude (Section 3.6) ont été filtrés à l'aide de cartouches haute capacité de type Waterra FHT (0,45 µm) (Figure 3.13.5.1).

Figure 3.13.5.1 Illustration des procédures de filtration des échantillons d'eau souterraine



Immédiatement après le prélèvement, tous les échantillons ont été stockés au sein de glacières pourvues d'agents réfrigérants afin de les conserver à une température avoisinant 4 °C. Si les échantillons devaient être conservés plus d'une journée, ils étaient stockés dans une chambre froide ou un réfrigérateur, à 4 °C et à l'obscurité, à compter du jour même de l'échantillonnage et jusqu'au moment de l'expédition au laboratoire.

3.13.6 Échanges et suivis auprès des laboratoires

À l'exception des échantillons destinés à la réalisation d'analyses isotopiques, les contenants d'échantillonnage stockés au sein de glacières ont été expédiés à un laboratoire accrédité par le MDDELCC. Les échantillons ont été acheminés au laboratoire par un service de livraison dans un délai inférieur à celui spécifié au tableau 3.13.1. Sur réception, le laboratoire fournit une confirmation par voie électronique indiquant les échantillons reçus, les analyses demandées ainsi qu'une estimation de la date d'émission de résultats. Les résultats (fournis sous forme de classeurs Microsoft Excel) et les certificats analytiques sont subséquemment transmis au GRES-UQAT par voie électronique. Les données sont vérifiées afin de confirmer la validité des analyses réalisées.

Les échantillons destinés à la réalisation d'analyses isotopiques de la molécule d'eau ($\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$) ont quant à eux été placés dans des glacières avec agent réfrigérant et envoyés au laboratoire Geotop de l'Université du Québec à Montréal. Les résultats, fournis sous forme de classeurs Microsoft Excel, ont subséquemment été transmis au GRES-UQAT par voie électronique.

En date de rédaction du présent rapport, les échantillons prélevés pour l'analyse du tritium (^3H) et les analyses isotopiques du carbone (^{13}C et ^{14}C) n'ont toujours pas été utilisés. Ces derniers sont conservés à l'obscurité et à 4 °C au laboratoire du GRES-UQAT dans l'attente d'éventuelles analyses.

3.14 Recensement des impacts anthropiques potentiels : cas des DET

Cloutier et al., (2013c) (Rapport de recherche P004.R2, fourni à l'annexe 3.14.1) ont proposé un recensement des activités anthropiques potentiellement polluantes au niveau des eskers et moraines de l'Abitibi-Témiscamingue, dans le cadre d'un projet de recherche mené de concert avec la réalisation de la présente étude. Les thèmes ayant été ciblés par Cloutier et al., (2013c) incluent (1) les aires d'accumulation de résidus miniers, (2) l'exploitation forestière, (3) les sablières/gravières et (4) les dépôts en tranchée (DET). Les eskers et moraines ont été ciblés puisqu'il s'agit des secteurs où la ressource en eau souterraine est jugée comme étant la plus vulnérable (voir section 6.9). Dans le cadre

de ces travaux, les bases de données et les produits cartographiques permettant de caractériser les activités ciblées ont été regroupées, homogénéisées et inclus au sein de bases de données géoréférencées. Des travaux de photo-interprétation et d'acquisition de données de terrain (profils géoradar, résistivité électrique, acquisition de données topographiques et échantillonnages géochimiques) ont été réalisés afin de compléter l'information disponible. Ces démarches ont permis de dresser un portrait régional des pressions anthropiques liées aux thèmes ciblés. Les résultats de l'étude suggèrent qu'au niveau de l'Abitibi-Témiscamingue en entier (et non uniquement au niveau du territoire PACES-AT2), les sablières/gravières et les coupes forestières occupent respectivement 1,9% et 12,7% de la superficie des eskers/moraines alors que 18 aires d'accumulation associées à des sites miniers abandonnés et 44 DET sont localisés à moins d'un kilomètre de ces formations géologiques de surface. Les résultats relatifs aux travaux de terrain tendent à démontrer que l'acquisition couplée de données topographiques et géophysiques est pertinente à l'évaluation du contexte hydrogéologique des sites de sablières/gravières et DET. Les résultats issus de ces travaux ont également permis l'élaboration d'indices permettant (1) de dresser un portrait de la précarité de la ressource et (2) d'évaluer indirectement les impacts potentiels liés aux sablières/gravières et aux DET. L'ensemble de ces informations est disponible à l'annexe 3.14.1.

Des travaux complémentaires ont été réalisés suite à la publication de l'étude préalablement présentée. Au total, 30 sites identifiés dans la base de données sur les dépôts en tranchée (DET) proposée par Cloutier et al., (2013c) ont été retenus pour la réalisation de visites de terrain. Ces visites de terrain avaient pour principal objectif la redéfinition des polygones cartographiques correspondant aux limites des DET, lesquelles avaient initialement été évaluées sur la base d'analyse d'images aériennes. Sur le terrain, les travaux consistaient en l'identification d'indices visuels permettant de délimiter les secteurs correspondant aux dépôts en tranchée. Outre les éléments identifiés par l'analyse des images aériennes, la topographie de surface, la pente du sol, les changements observés dans la végétation de surface et la présence de chemins et d'infrastructures ont constitué les principales observations retenues pour la définition des polygones correspondant aux DET. Suite à l'identification des indices visuels, les secteurs correspondant aux DET étaient délimités par un opérateur se déplaçant avec un GPS portatif de type Garmin, en procédant à un enregistrement en continu de sa position. Les données étaient subséquemment téléchargées puis traitées à l'aide du logiciel ArcGIS. Finalement, une mise à jour des données relatives à la distribution spatiale des aires d'accumulation de résidus miniers a été réalisée et les statistiques spatiales liées aux pressions anthropiques ont été réévaluées pour le territoire PACES-AT2 sur la base de travaux géomatiques.

4. Résultats des travaux de terrain

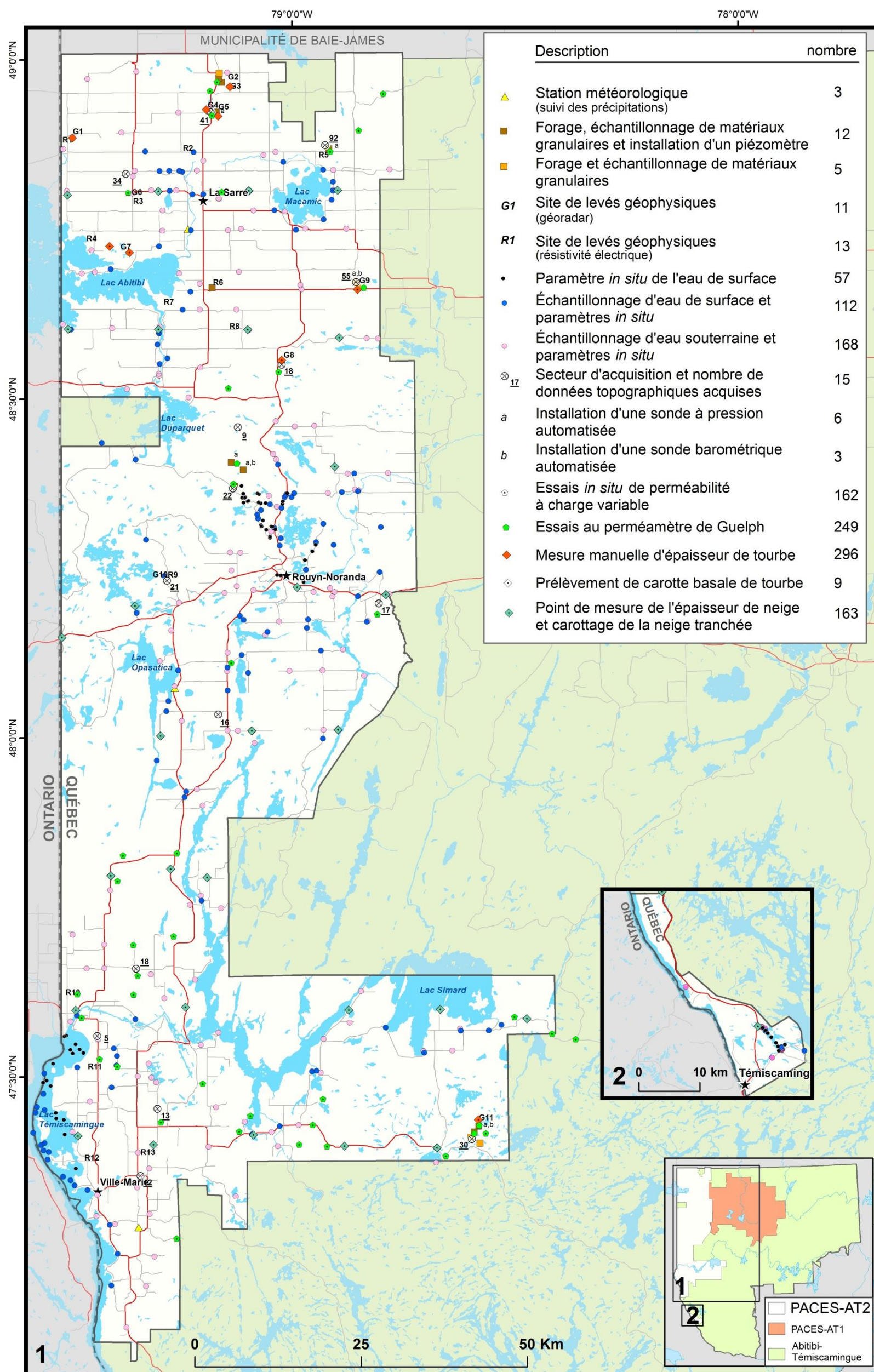
Le tableau 4.1 dresse un sommaire des principales informations issues des travaux réalisés. La figure 4.1 illustre la distribution spatiale des données acquises dans le cadre de la présente étude. Les données de terrain acquises ont systématiquement été incluses à la base de données géoréférencées créée lors de la réalisation de la première phase de l'étude (Cloutier et al., 2013b). Chaque point de mesure dans l'espace se voit attribuer un identifiant unique constitué d'un code alphanumérique amorcé par le code « 2ABTE » et terminé par un nombre compris entre « 000001 » et « 999999 ».

Tableau 4.1 Sommaire descriptif de la stratégie de compilation des données de terrain

| Type de données (observations) | Référence au présent rapport (sections) | Mode d'entrée | Thèmes ciblés ^{1,2,3,4,5} | | | | |
|---|---|--|------------------------------------|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Données topographiques | 3.1 (Méthodes) 4.1 (Résultats) | Une entité « 2ABTE » créée pour chaque mesure réalisée | | x | x | x | x |
| Profils géoradar | 3.2 (Méthodes) 4.2 (Résultats) | Une entité « 2ABTE » créée pour chaque trace | | | | x | x |
| Mesures manuelles d'épaisseur de tourbe | 3.3 (Méthodes) 4.3 (Résultats) | Une entité « 2ABTE » créée pour chaque mesure réalisée | | | | x | |
| Profils de résistivité électrique | 3.4 (Méthodes) 4.4 (Résultats) | Une entité « 2ABTE » créée pour les électrodes #1, 18, 36, 54, 72 <u>ou</u> #1 à 72 | | | x | | x |
| Forage et échantillonnage des matériaux granulaires | 3.5 (Méthodes) 4.5 (Résultats) | Une entité « 2ABTE » créée pour chaque mesure réalisée | x | | | | x |
| Installation de piézomètres | 3.6 (Méthodes) 4.6 (Résultats) | Les données ont été associées aux entités « 2ABTE » correspondantes | x | x | x | | x |
| Suivis piézométriques et thermiques | 3.7 (Méthodes) 4.7 (Résultats) | Les données ont été associées aux entités « 2ABTE » correspondantes | | x | x | x | x |
| Essais au perméamètre de Guelph | 3.8 (Méthodes) 4.8 (Résultats) | Une entité « 2ABTE » créée pour chaque mesure réalisée | x | | | | |
| Essais à l'infiltromètre à double anneau | 3.9 (Méthodes) 4.9 (Résultats) | Une entité « 2ABTE » créée pour chaque mesure réalisée | x | | | | |
| Essais <i>in situ</i> de perméabilité à charge variable | 3.10 (Méthodes) 4.10 (Résultats) | Les données ont été associées aux entités « 2ABTE » correspondantes | x | | | | |
| Essais en colonnes | 3.11 (Méthodes) 4.11 (Résultats) | Les données ont été associées aux entités « 2ABTE » correspondantes | x | | | | |
| Analyses granulométriques | 3.12 (Méthodes) 4.12 (Résultats) | Les données ont été associées aux entités « 2ABTE » correspondantes | x | | | | |
| Analyses géochimiques | 3.13 (Méthodes) 4.13 (Résultats) | Une entité « 2ABTE » créée pour la mesure réalisée <u>ou</u> les données ont été associées aux entités « 2ABTE » correspondantes | | x | x | | x |
| Recensement des impacts anthropiques potentiels | 3.14 (Méthodes) 3.14 (Résultats) | Une classe d'entité polygone a été créée | | | | | x |

¹ Évaluation des propriétés hydrogéologiques (propriétés physiques et paramètres hydrauliques) des différentes unités géologiques du territoire. ² Évaluation des liens hydrauliques entre les différents aquifères régionaux et les plans d'eau de surface. ³ Évaluation de la piézométrie en flanc d'eskers et moraines et des liens hydrogéologiques entre ces aquifères à nappe libre et les aquifères à nappe captive situés dans la plaine argileuse. ⁴ Évaluation du rôle hydrogéologique et hydrologique des tourbières à l'échelle régionale. ⁵ Évaluation de l'impact des activités anthropiques sur l'eau souterraine des eskers et moraines.

Figure 4.1 Représentation cartographique simplifiée des travaux de terrain réalisés dans le cadre de la présente étude



4.1 Acquisition de données topographiques

Les aspects méthodologiques relatifs à l'acquisition de données topographiques sont rapportés à la section 3.1 du présent rapport. Au total, 22 937 points de contrôle ont été collectés sur le terrain. Le tableau 4.1.1 dresse un sommaire des différentes catégories de points d'intérêts retenus pour l'acquisition de données topographiques.

Tableau 4.1.1 Sommaire des données topographiques acquises

| Points d'intérêts | Nombre de points de mesure acquis |
|---|-----------------------------------|
| Eskers | 86 |
| Plaine argileuse | 19 |
| Affleurements rocheux | 59 |
| Zones humides et/ou étangs | 59 |
| Bordures forestières | 27 |
| Résurgences | 7 |
| Accumulations d'eau au fond d'excavations | 36 |
| Fonds de gravière secs | 19 |
| Piézomètres (altitude du sol) | 12 |
| Barrages de castor | 2 |
| Dépôts en tranchée | 13 |
| Plans d'eau | 50 |
| Profils géoradar | 22 400 |
| Profils de résistivité électrique | 148 |
| Total | 22 937 |

4.2 Acquisition de données radar

Les aspects méthodologiques relatifs à l'acquisition et aux traitements des données géoradar sont rapportés à la section 3.2 du présent rapport. Les figures 4.2.1 à 4.2.3 présentent la localisation des profils acquis au niveau des 11 secteurs distincts rapportés à la figure 4.1. Le tableau 4.2.1 dresse un sommaire des profils réalisés, lesquels sont présentés aux figures 4.2.4 à 4.2.49. Les analyses CMP effectuées lors de la campagne estivale ont permis d'estimer la vitesse moyenne de propagation des ondes au sein des matériaux granulaires sondés à $0,06 \text{ m ns}^{-1}$. Des analyses similaires menées au niveau de dépôts tourbeux lors de la campagne hivernale n'ont pas permis l'obtention de résultats concluants. Une vitesse moyenne de propagation des ondes au sein de la tourbe de $0,046 \text{ m ns}^{-1}$ est donc utilisée, à titre indicatif, afin de proposer un axe d'élévation sur les profils radar réalisés au niveau des tourbières. Cette valeur est retenue sur la base des travaux de Dallaire (2010), lequel a effectué des levés géoradar sur des tourbières de la Jamésie à l'hiver 2007. Pour les profils acquis au niveau des tourbières, le réflecteur interprété comme représentatif de la position de l'interface entre les dépôts organiques et le substrat minéral est mis en évidence par un trait de couleur rouge. En complément, les données relatives aux mesures manuelles d'épaisseur de neige (voir section 3.2.5) sont rapportées à l'annexe 4.2.1.

Tableau 4.2.1 Sommaire descriptif des profils géoradar acquis

| Profil | Campagne | Secteur d'acquisition | Identifiant début ¹ | Identifiant fin ¹ | Objectif |
|----------|-----------|-----------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Profil_1 | estivale | G9 | 2ABTE89669 | 2ABTE91070 | Positionner N.P. et roc |
| Profil_3 | estivale | G9 | 2ABTE91127 | 2ABTE91619 | Positionner N.P. et roc |
| Profil_4 | estivale | G10 | 2ABTE91620 | 2ABTE91969 | Délimiter le site d'enfouissement |
| Profil_5 | estivale | G10 | 2ABTE91970 | 2ABTE92311 | Délimiter le site d'enfouissement |
| Profil_6 | estivale | G6 | 2ABTE92312 | 2ABTE92443 | Délimiter le site d'enfouissement |
| GPR_h_01 | hivernale | G2 | 2ABTE70000 | 2ABTE70931 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_02 | hivernale | G2 | 2ABTE70932 | 2ABTE71153 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_04 | hivernale | G3 | 2ABTE71154 | 2ABTE71953 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_05 | hivernale | G3 | 2ABTE71954 | 2ABTE72387 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_06 | hivernale | G3 | 2ABTE72388 | 2ABTE73106 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_07 | hivernale | G3 | 2ABTE73107 | 2ABTE73393 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_08 | hivernale | G3 | 2ABTE73394 | 2ABTE73543 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_09 | hivernale | G5 | 2ABTE73544 | 2ABTE74396 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_10 | hivernale | G5 | 2ABTE74397 | 2ABTE74675 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_11 | hivernale | G5 | 2ABTE74676 | 2ABTE75078 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_12 | hivernale | G5 | 2ABTE75079 | 2ABTE75306 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_13 | hivernale | G1 | 2ABTE75307 | 2ABTE75831 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_14 | hivernale | G1 | 2ABTE75832 | 2ABTE76256 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_15 | hivernale | G1 | 2ABTE76257 | 2ABTE76487 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_16 | hivernale | G1 | 2ABTE76488 | 2ABTE76730 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_17 | hivernale | G4 | 2ABTE76731 | 2ABTE77201 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_18 | hivernale | G4 | 2ABTE77202 | 2ABTE77548 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_20 | hivernale | G4 | 2ABTE77549 | 2ABTE78143 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_21 | hivernale | G9 | 2ABTE78144 | 2ABTE78577 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_22 | hivernale | G9 | 2ABTE78578 | 2ABTE78725 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_23 | hivernale | G9 | 2ABTE78726 | 2ABTE78954 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_24 | hivernale | G9 | 2ABTE78955 | 2ABTE79222 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_25 | hivernale | G9 | 2ABTE79223 | 2ABTE79514 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_26 | hivernale | G9 | 2ABTE79515 | 2ABTE79951 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_27 | hivernale | G7 | 2ABTE79952 | 2ABTE80682 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_28 | hivernale | G7 | 2ABTE80683 | 2ABTE81043 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_29 | hivernale | G7 | 2ABTE81044 | 2ABTE81535 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_30 | hivernale | G7 | 2ABTE81536 | 2ABTE82099 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_37 | hivernale | G11 | 2ABTE82100 | 2ABTE82672 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_38 | hivernale | G11 | 2ABTE82673 | 2ABTE83103 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_39 | hivernale | G11 | 2ABTE83104 | 2ABTE84077 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_40 | hivernale | G11 | 2ABTE84078 | 2ABTE84855 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_41 | hivernale | G11 | 2ABTE84856 | 2ABTE85357 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_42 | hivernale | G11 | 2ABTE85358 | 2ABTE86086 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_43 | hivernale | G11 | 2ABTE86087 | 2ABTE86437 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_44 | hivernale | G11 | 2ABTE86438 | 2ABTE87180 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_45 | hivernale | G8 | 2ABTE87181 | 2ABTE87880 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_46 | hivernale | G8 | 2ABTE87881 | 2ABTE88470 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_47 | hivernale | G8 | 2ABTE88471 | 2ABTE88792 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_48 | hivernale | G8 | 2ABTE88793 | 2ABTE89426 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |
| GPR_h_49 | hivernale | G8 | 2ABTE89427 | 2ABTE89639 | Évaluer l'épaisseur de tourbe |

¹ Identifiants uniques attribués dans la base de données PACES-AT2.

N.P. : niveau piézométrique.

Figure 4.2.1 Localisation des profils GPR des secteurs G1 à G4

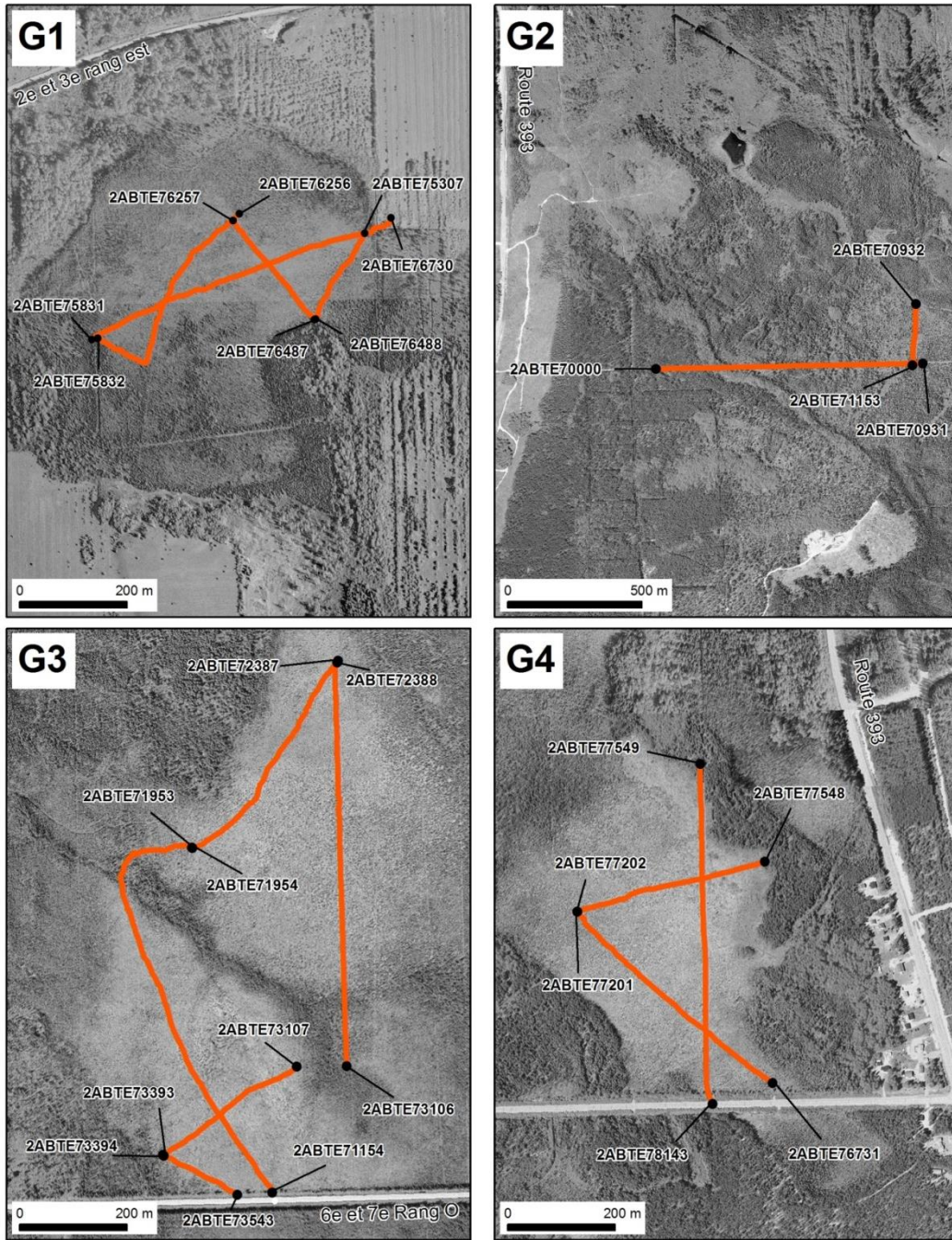


Figure 4.2.2 Localisation des profils GPR des secteurs G5 à G7

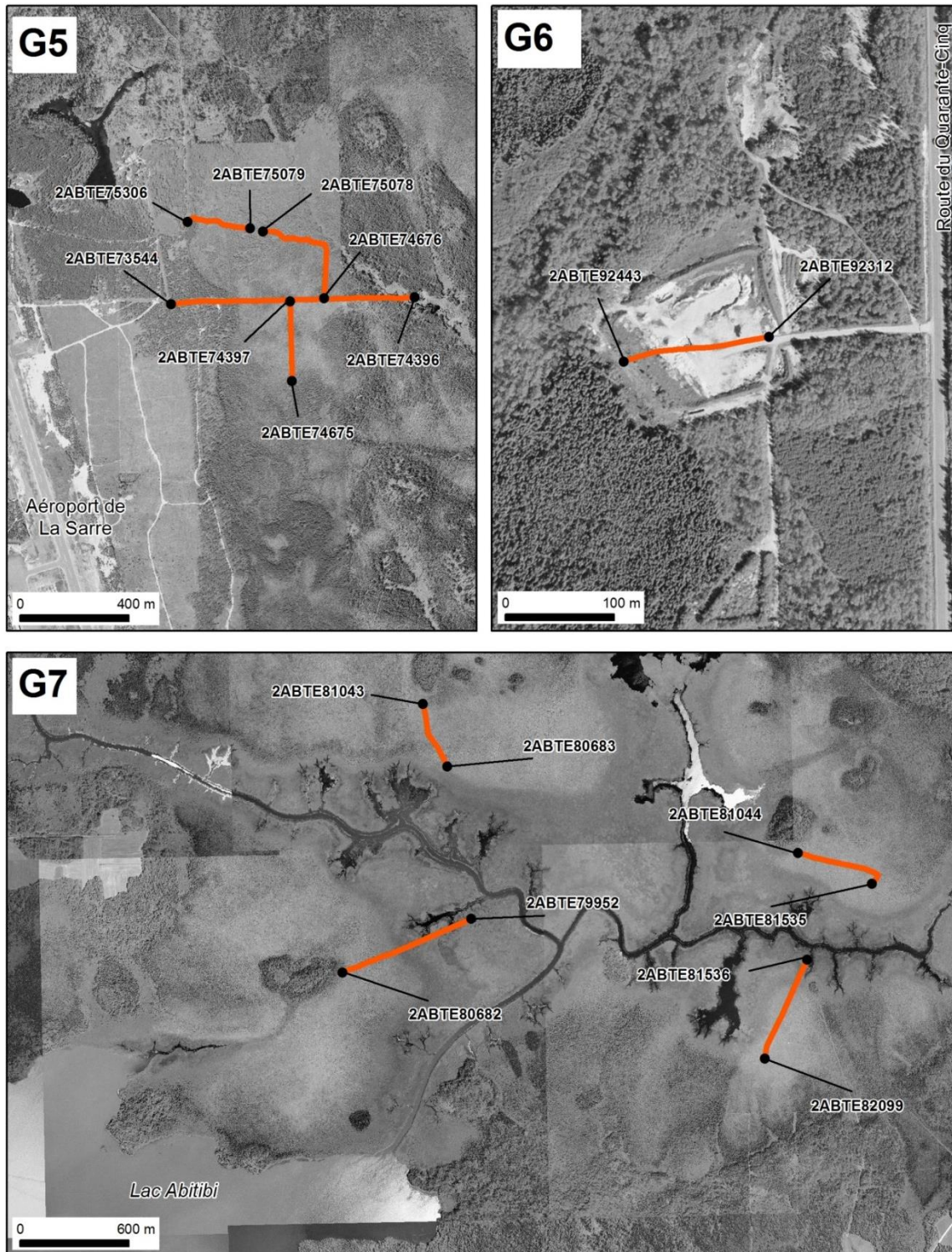


Figure 4.2.3 Localisation des profils GPR des secteurs G8 à G11

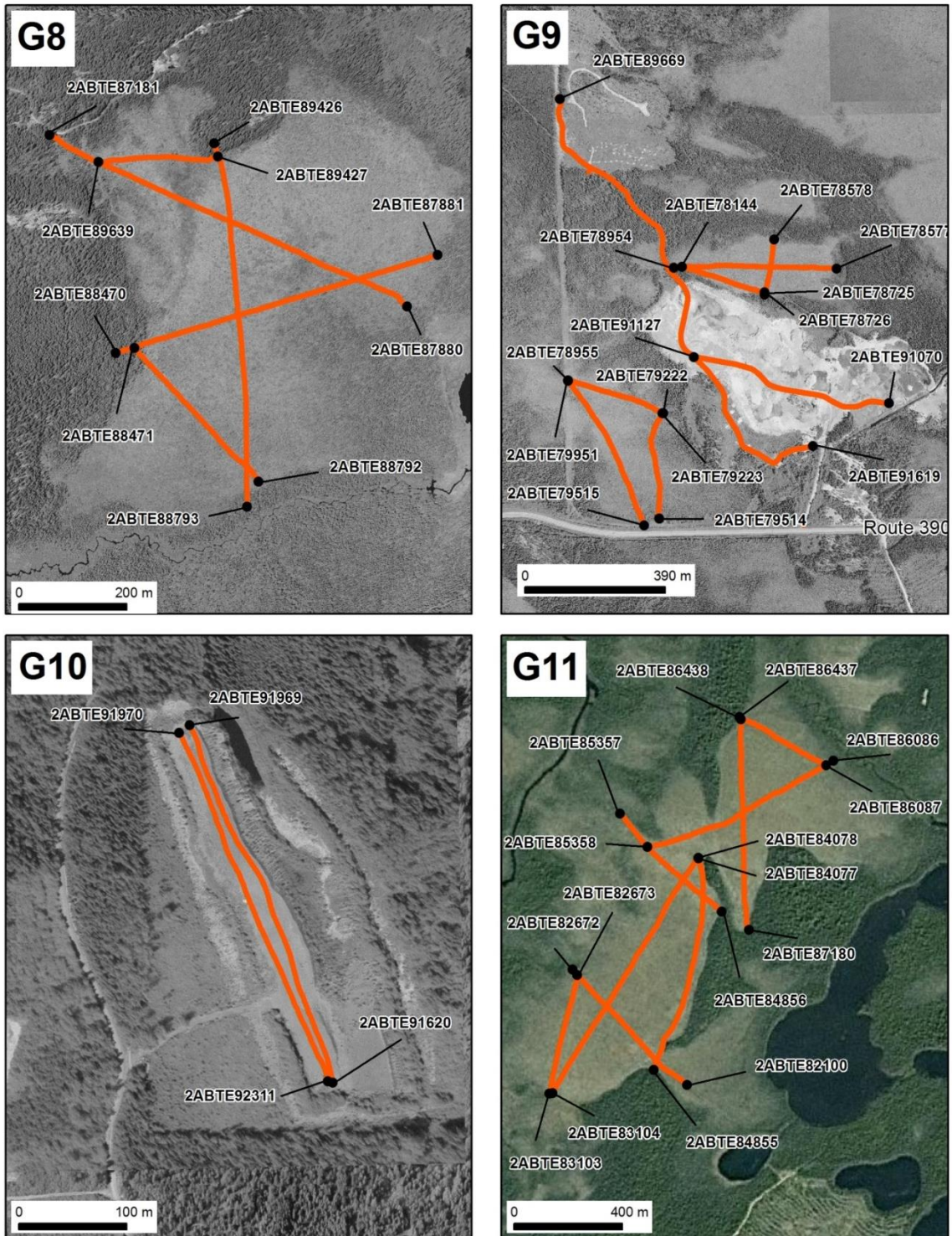


Figure 4.2.4 Profil GPR_h_13 (secteur G1)

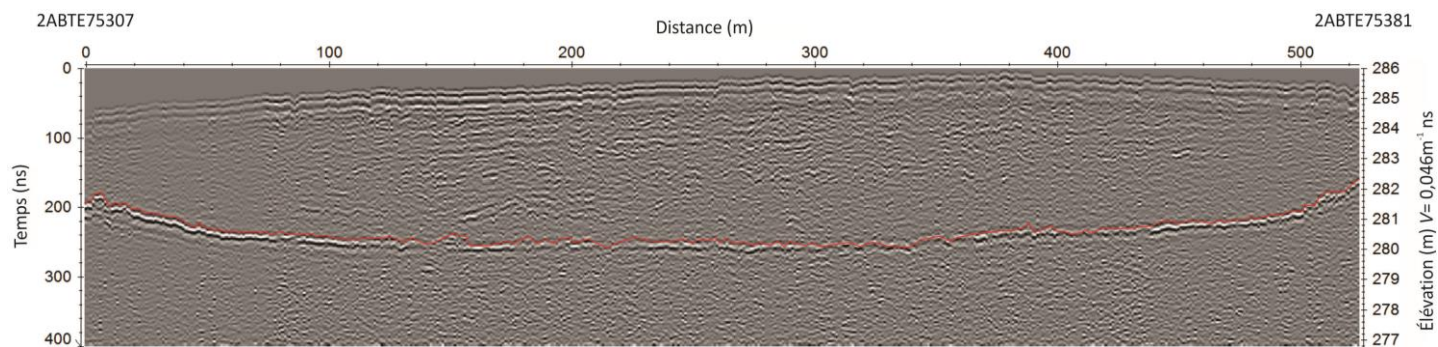


Figure 4.2.5 Profil GPR_h_14 (secteur G1)

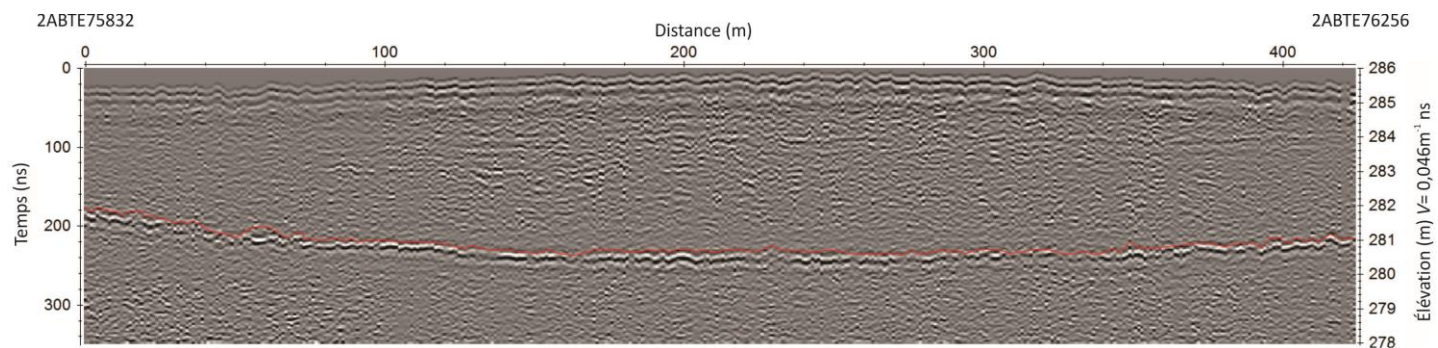


Figure 4.2.6 Profil GPR_h_15 (secteur G1)

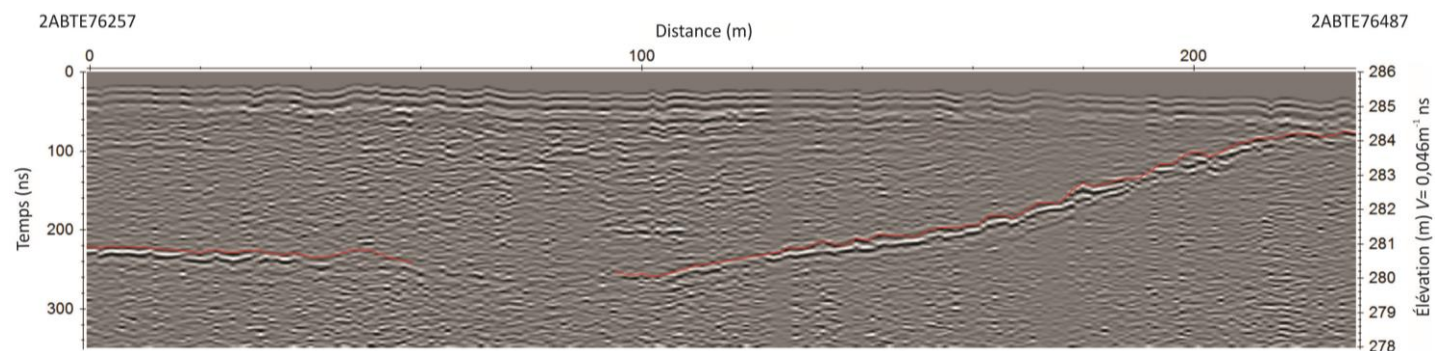


Figure 4.2.7 Profil GPR_h_16 (secteur G1)

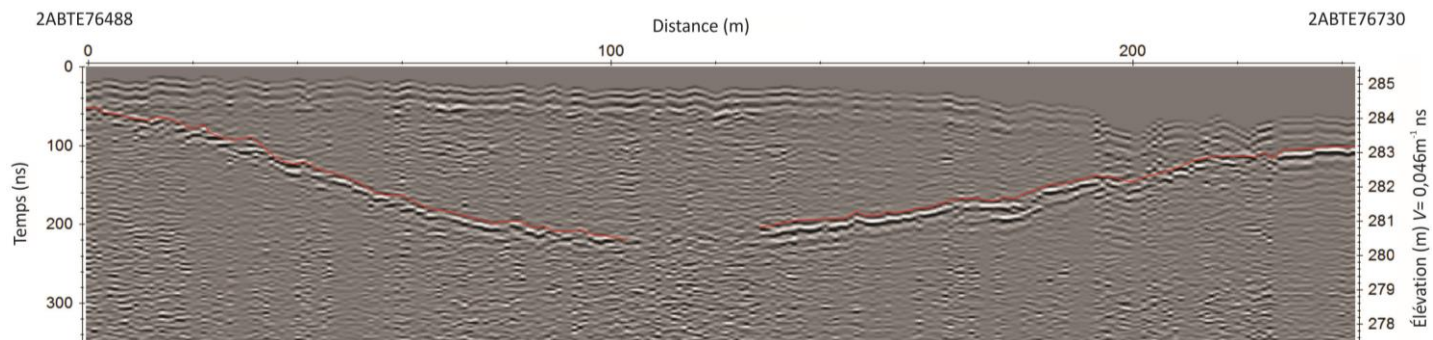


Figure 4.2.8 Profil GPR_h_01 (secteur G2)

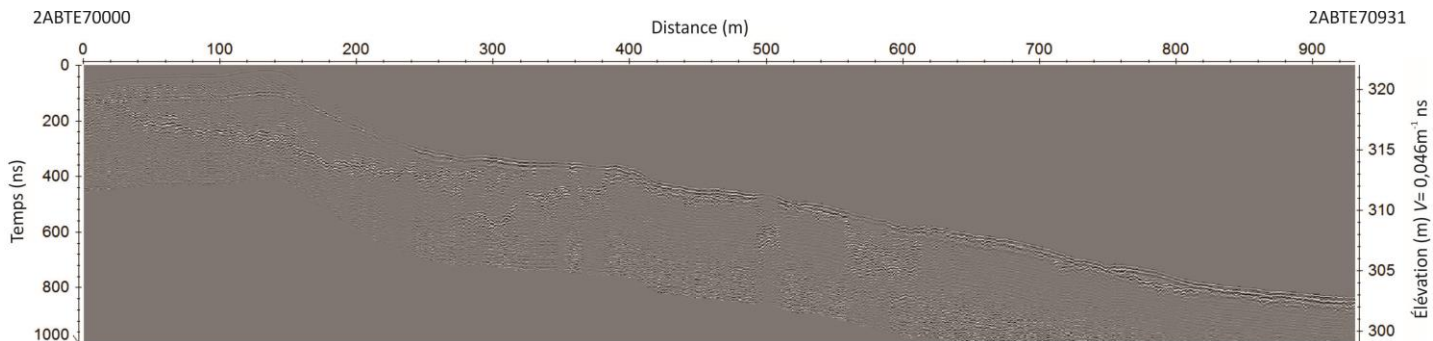


Figure 4.2.9 Profil GPR_h_02 (secteur G2)

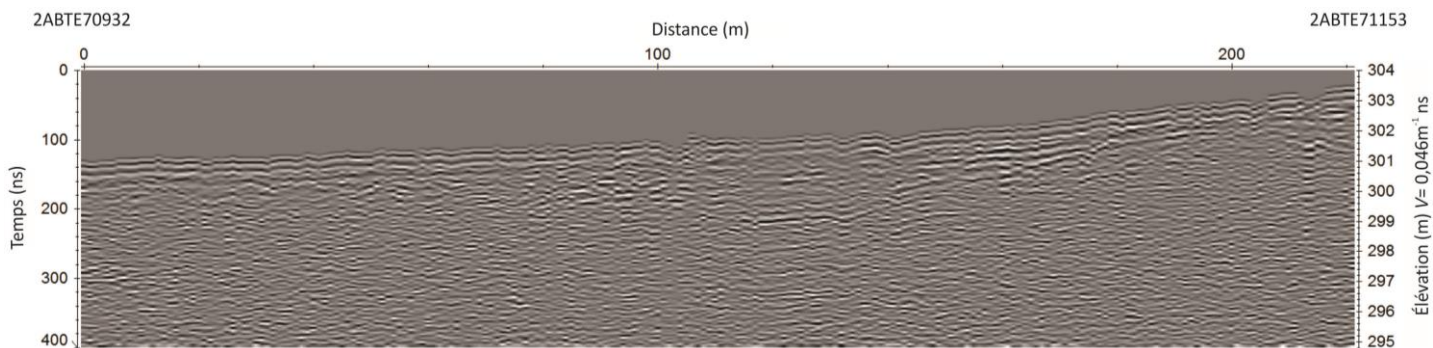


Figure 4.2.10 Profil GPR_h_04 (secteur G3)

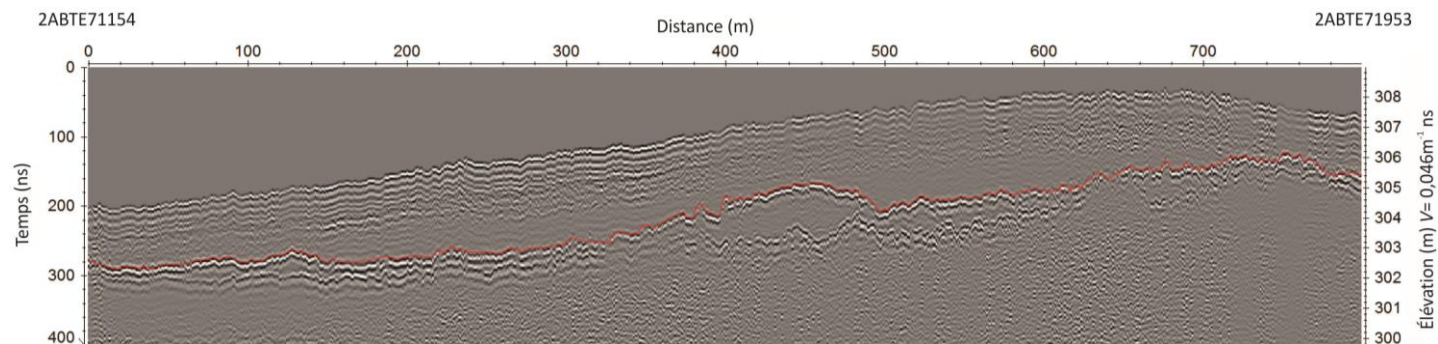


Figure 4.2.11 Profil GPR_h_05 (secteur G3)

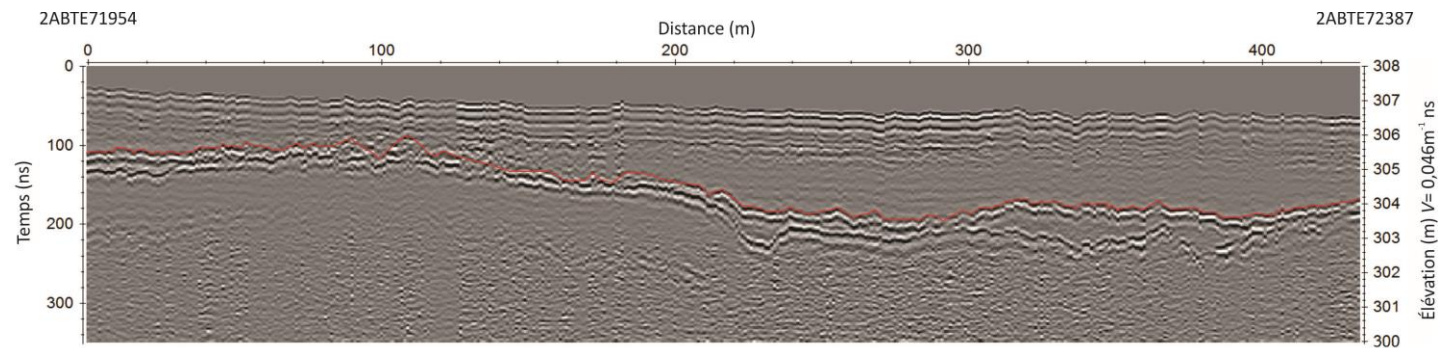


Figure 4.2.12 Profil GPR_h_06 (secteur G3)

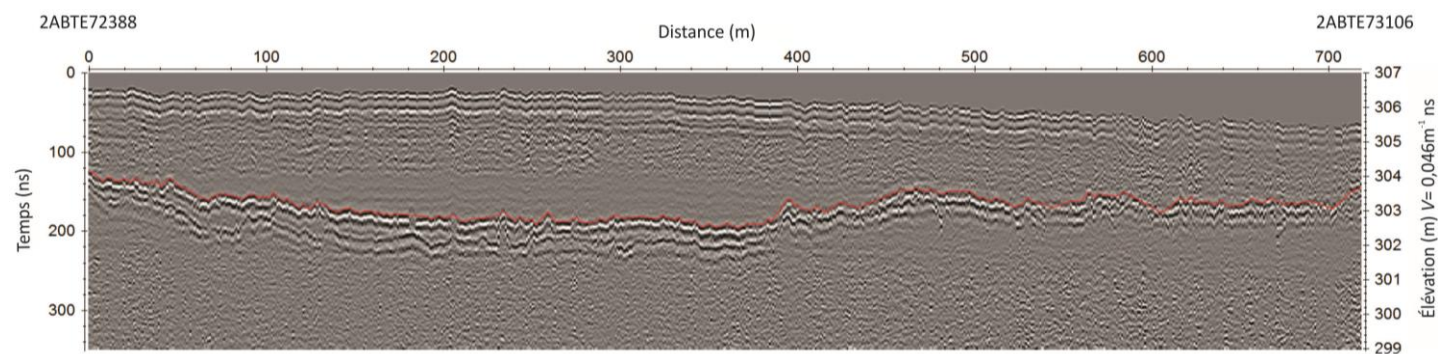


Figure 4.2.13 Profil GPR_h_07 (secteur G3)

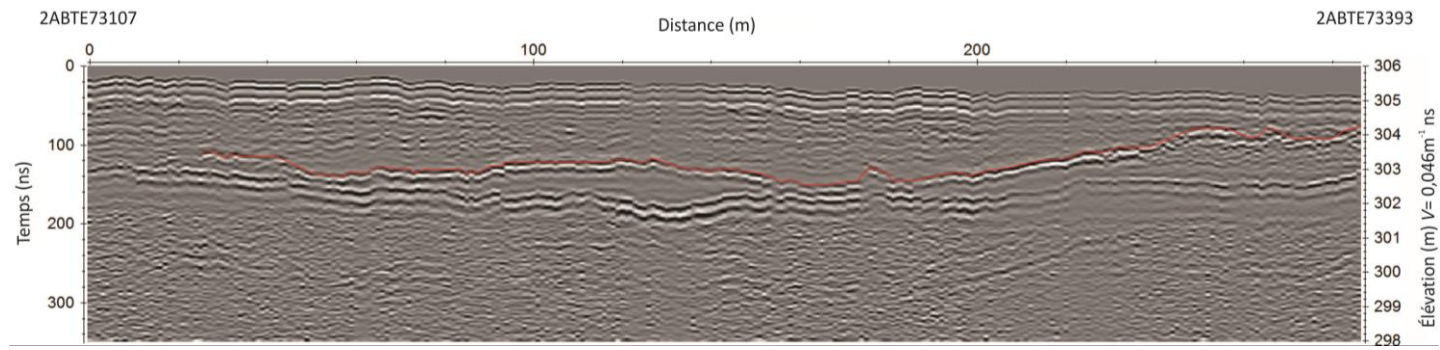


Figure 4.2.14 Profil GPR_h_08 (secteur G3)

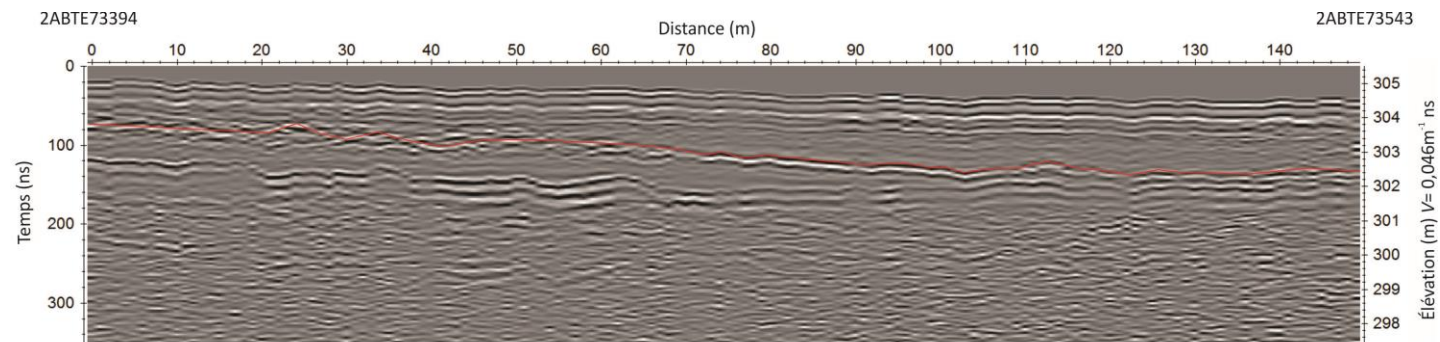


Figure 4.2.15 Profil GPR_h_17 (secteur G4)

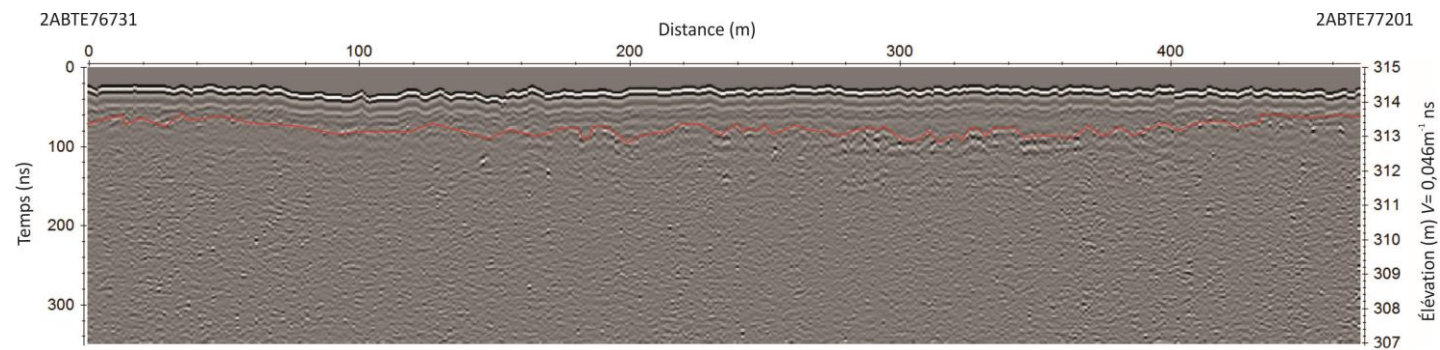


Figure 4.2.16 Profil GPR_h_18 (secteur G4)

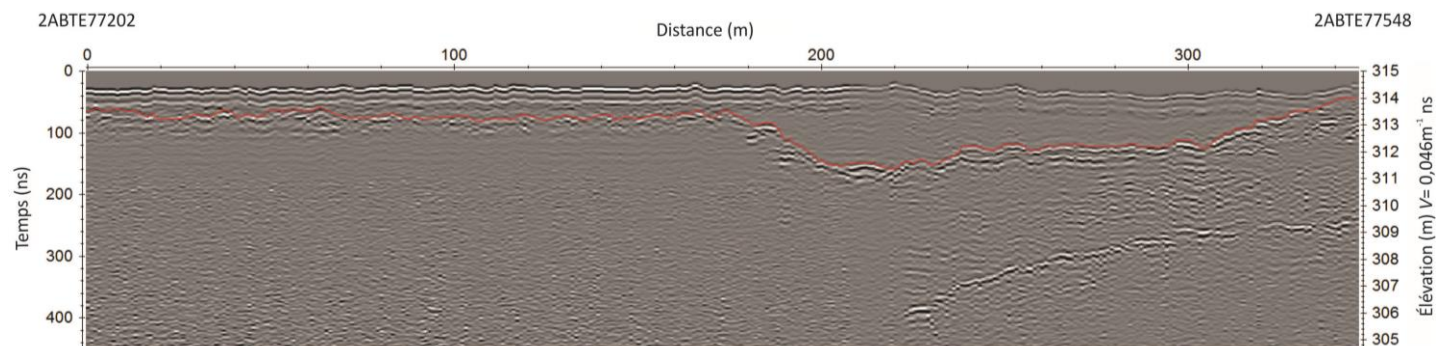


Figure 4.2.17 Profil GPR_h_20 (secteur G4)

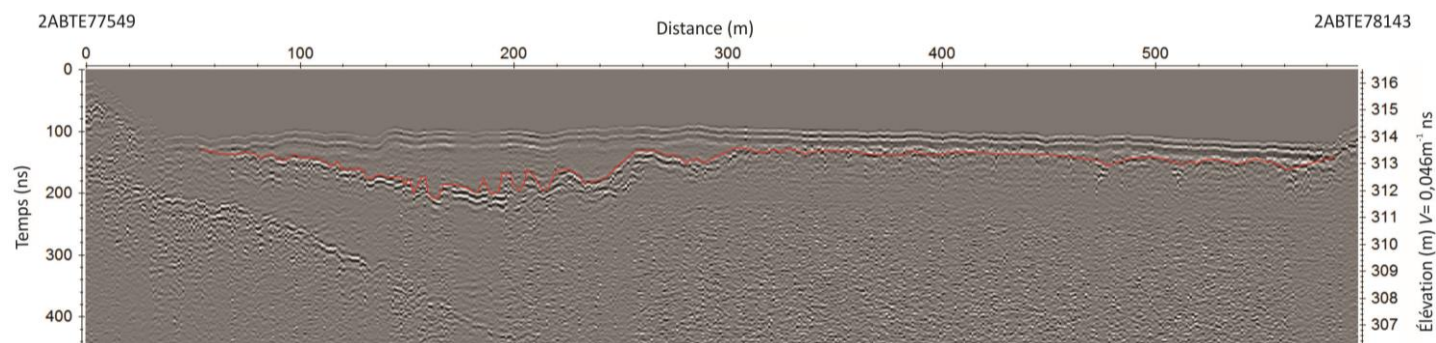


Figure 4.2.18 Profil GPR_h_09 (secteur G5)

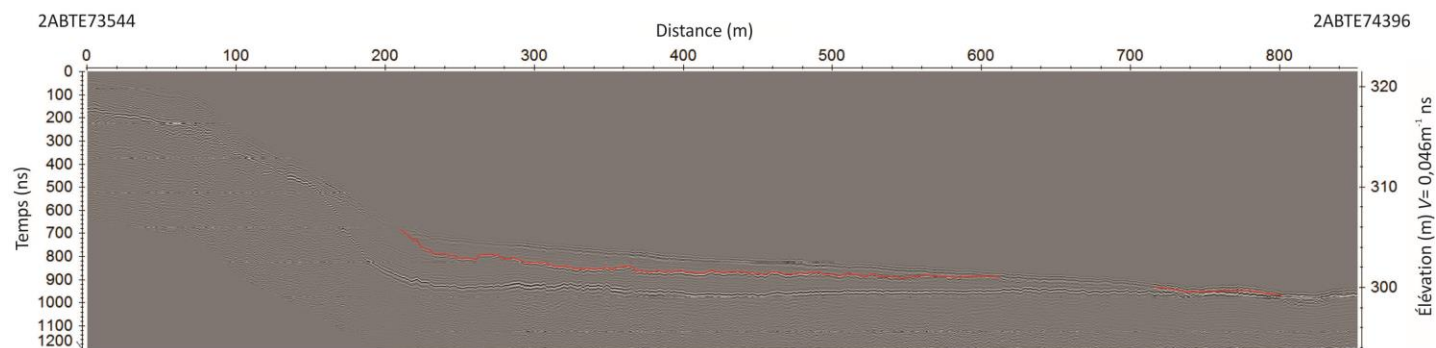


Figure 4.2.19 Profil GPR_h_10 (secteur G5)

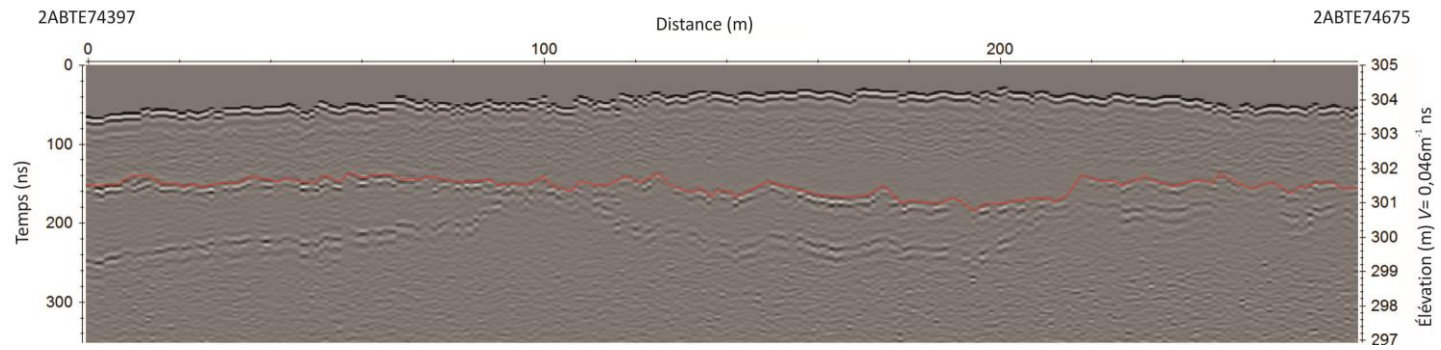


Figure 4.2.20 Profil GPR_h_11 (secteur G5)

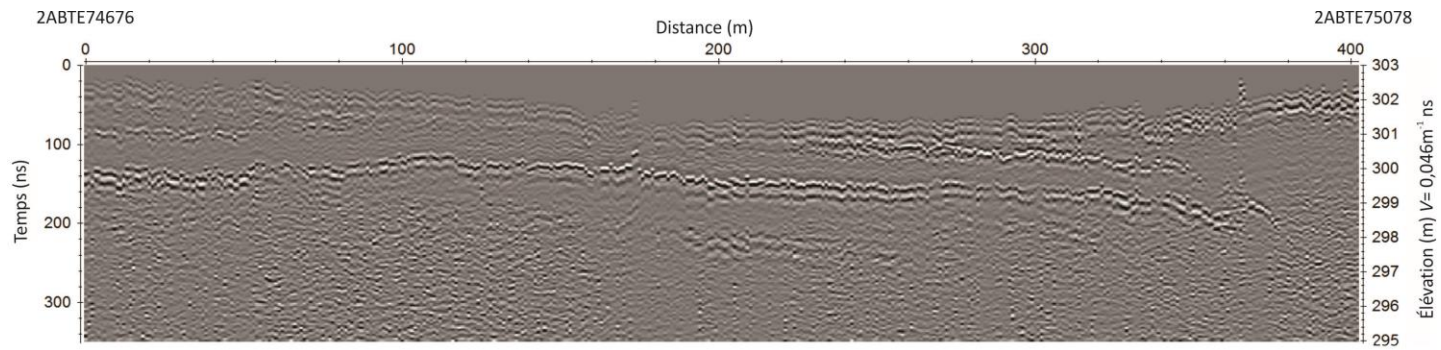


Figure 4.2.21 Profil GPR_h_12 (secteur G5)

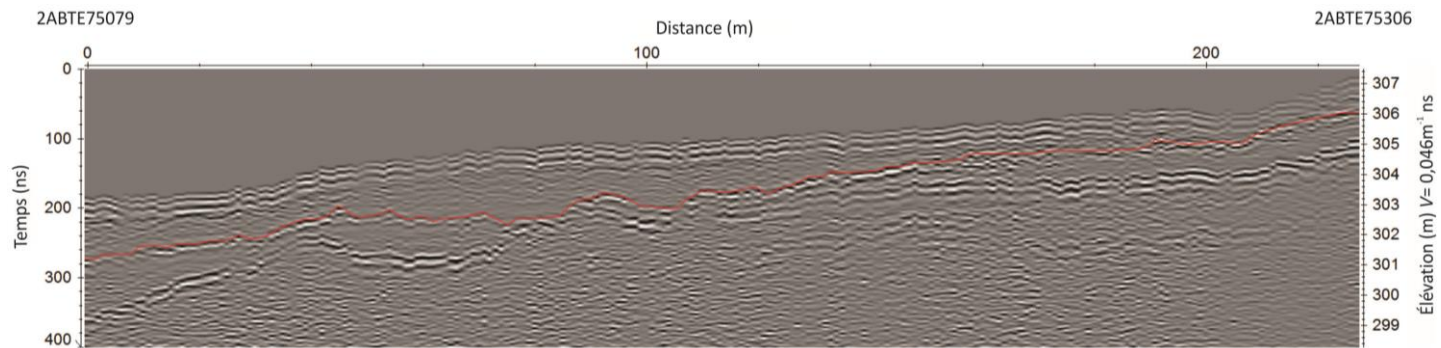


Figure 4.2.22 Profil_6 (secteur G6)

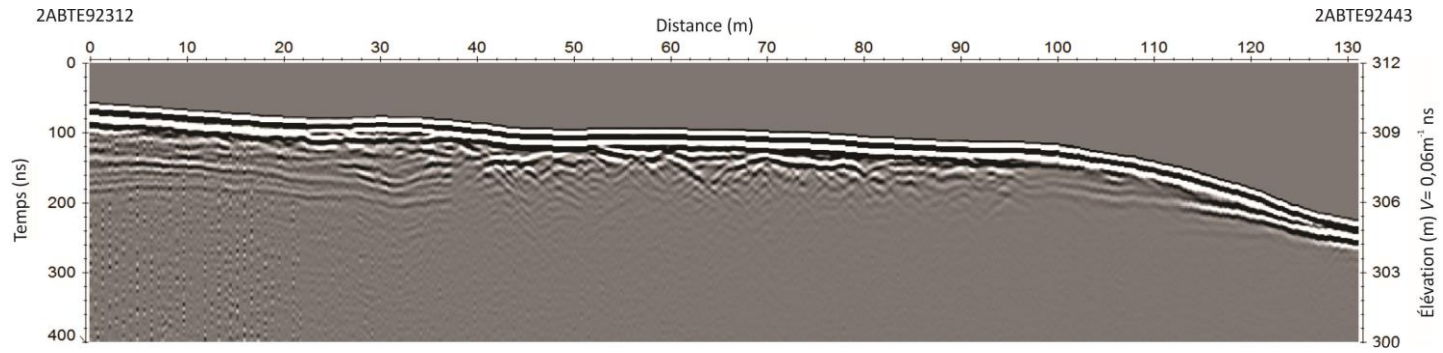


Figure 4.2.23 Profil GPR_h_27 (secteur G7)

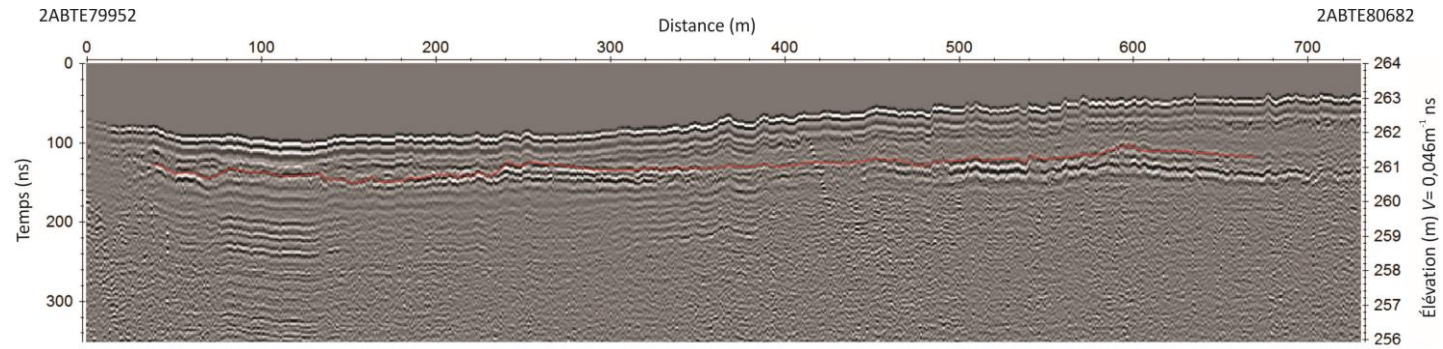


Figure 4.2.24 Profil GPR_h_28 (secteur G7)

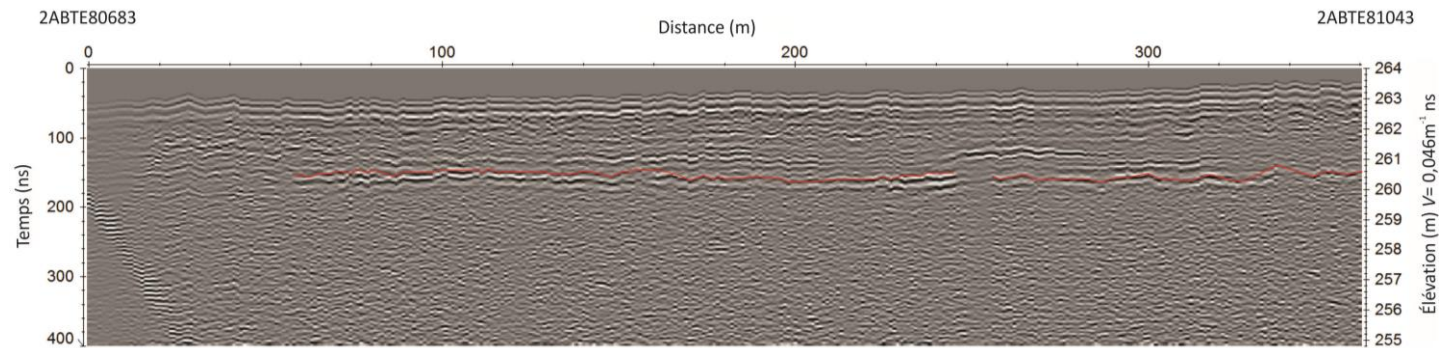


Figure 4.2.25 Profil GPR_h_29 (secteur G7)

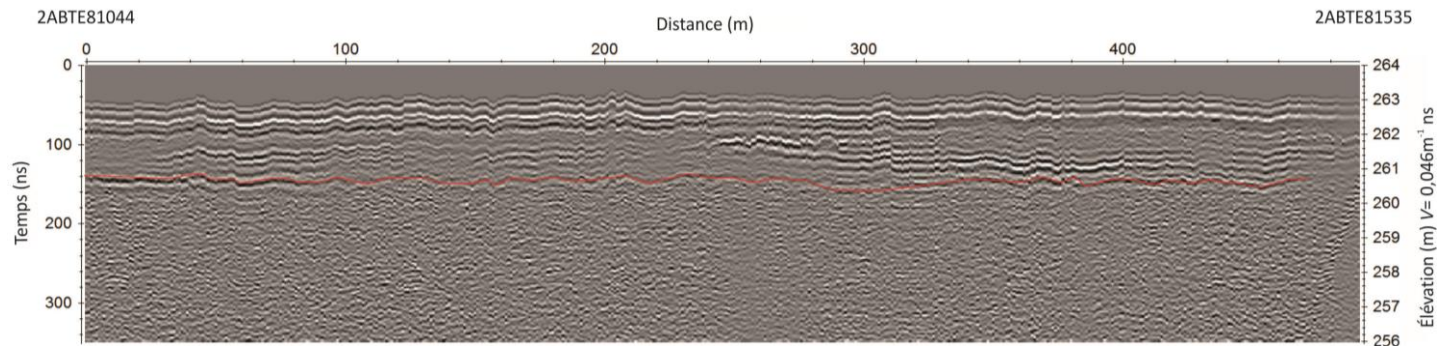


Figure 4.2.26 Profil GPR_h_30 (secteur G7)

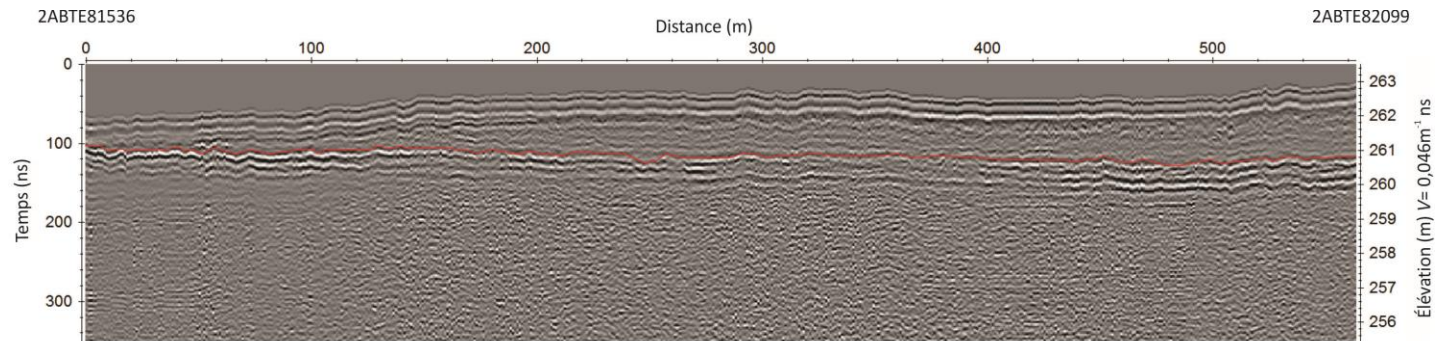


Figure 4.2.27 Profil GPR_h_45 (secteur G8)

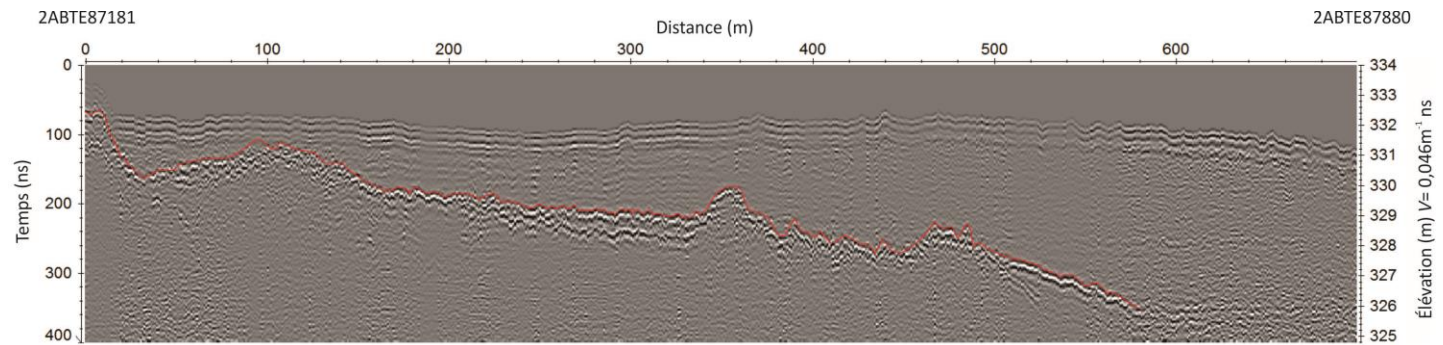


Figure 4.2.28 Profil GPR_h_46 (secteur G8)

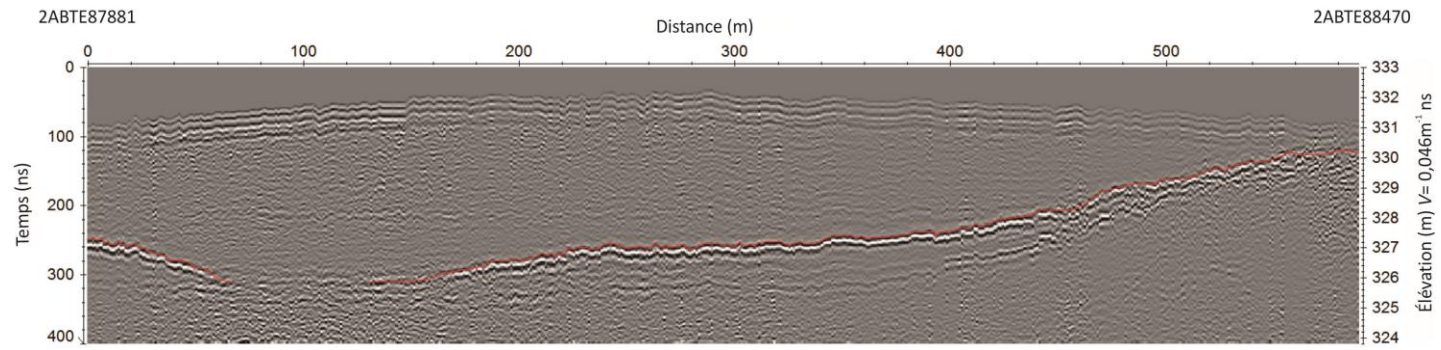


Figure 4.2.29 Profil GPR_h_47 (secteur G8)

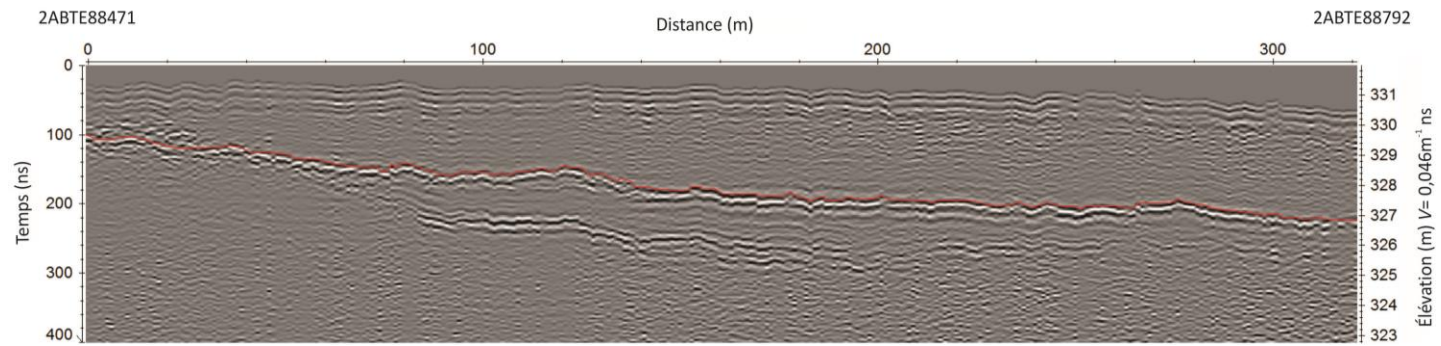


Figure 4.2.30 Profil GPR_h_48 (secteur G8)

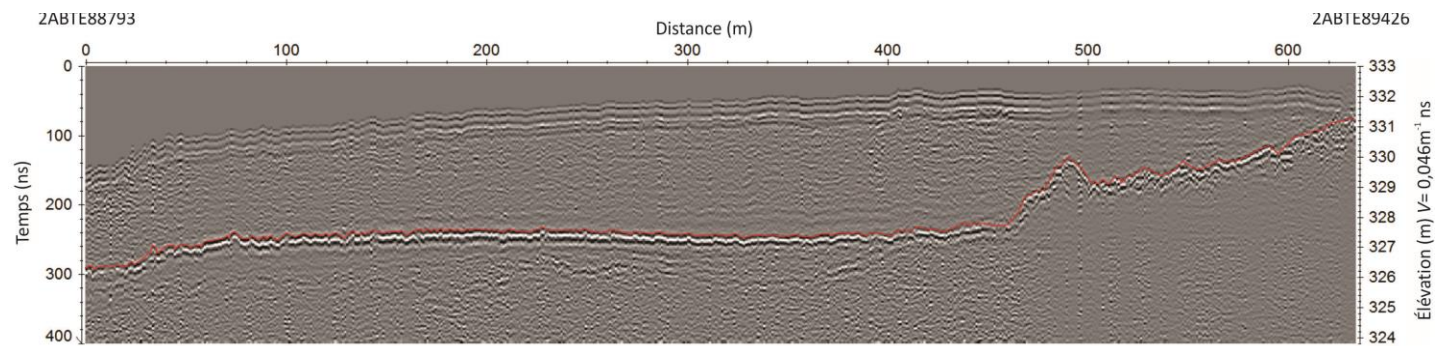


Figure 4.2.31 Profil GPR_h_49 (secteur G8)

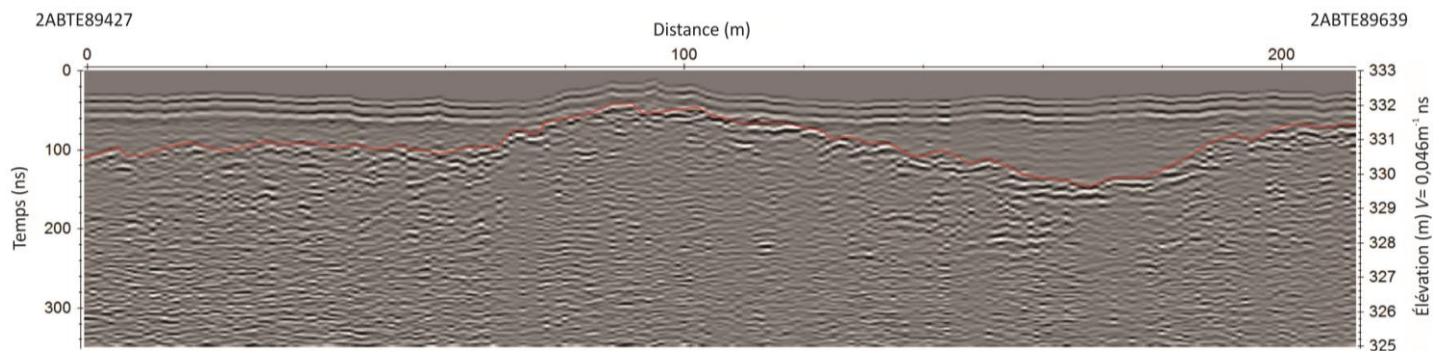


Figure 4.2.32 Profil GPR_h_21 (secteur G9)

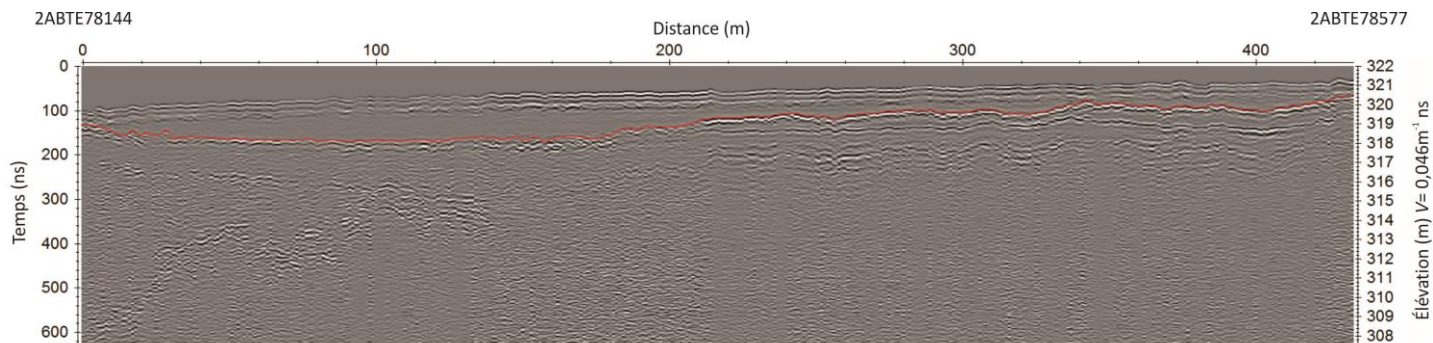


Figure 4.2.33 Profil GPR_h_22 (secteur G9)

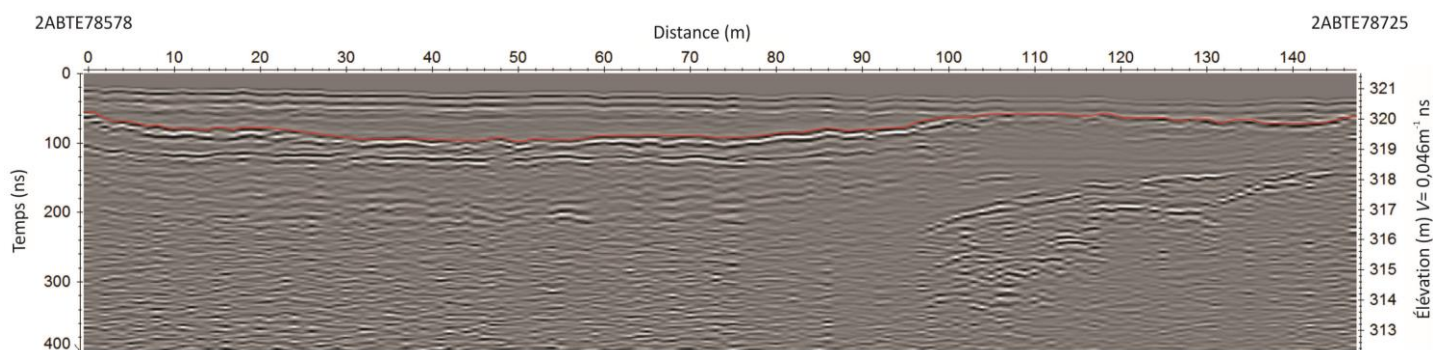


Figure 4.2.34 Profil GPR_h_23 (secteur G9)

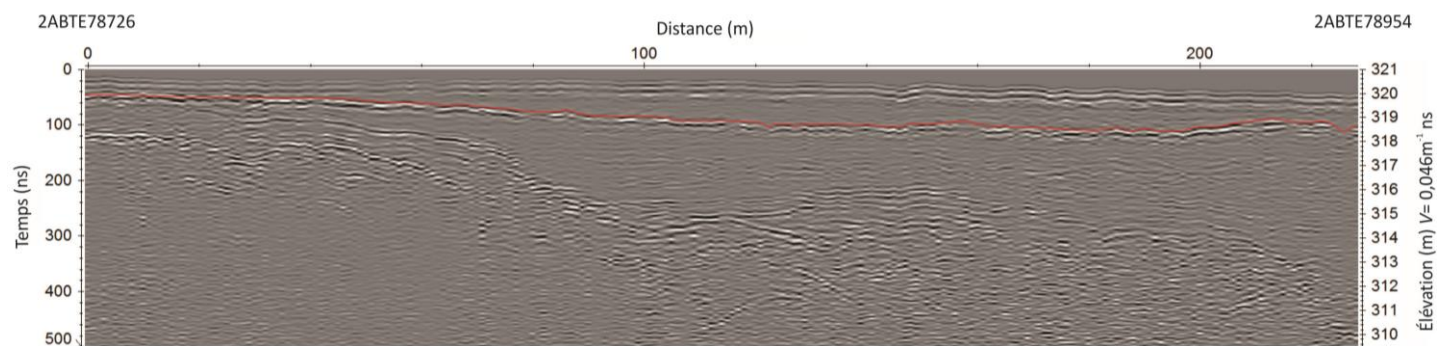


Figure 4.2.35 Profil GPR_h_24 (secteur G9)

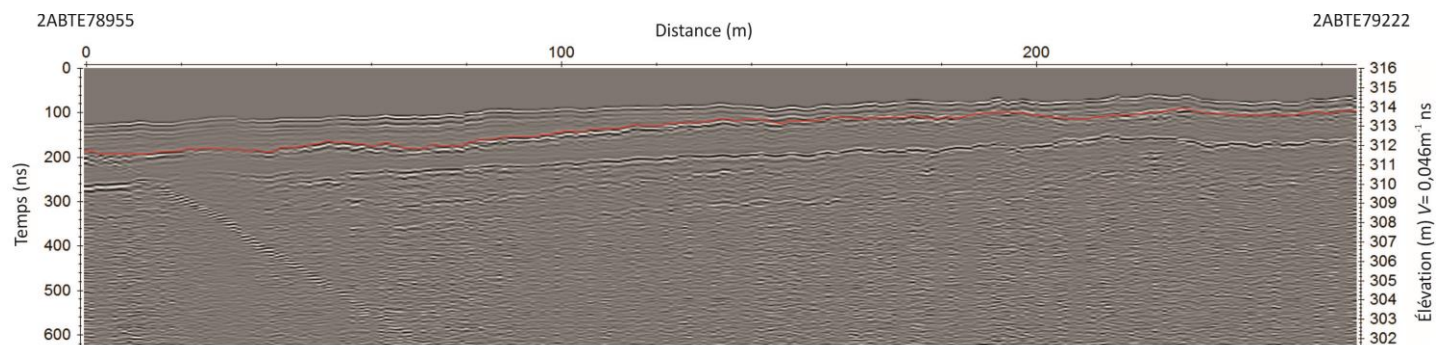


Figure 4.2.36 Profil GPR_h_25 (secteur G9)

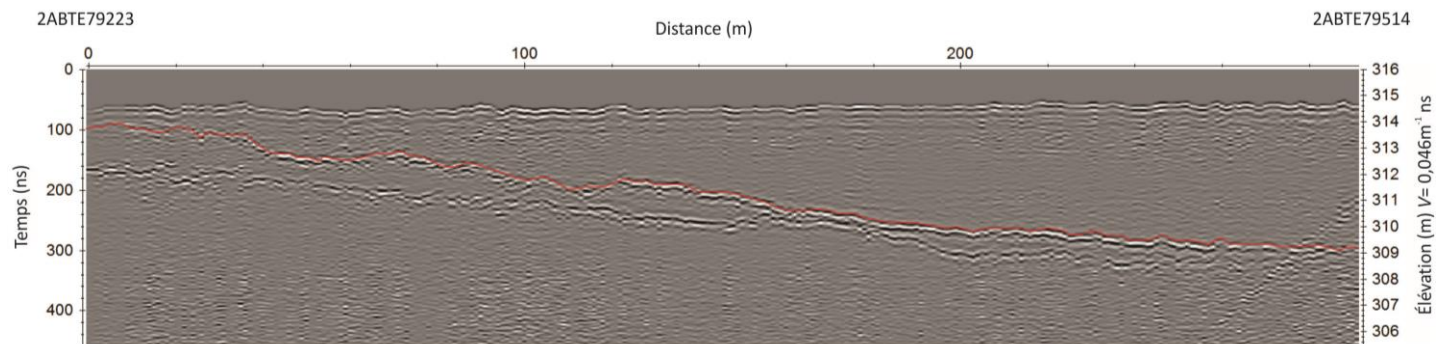


Figure 4.2.37 Profil GPR_h_26 (secteur G9)

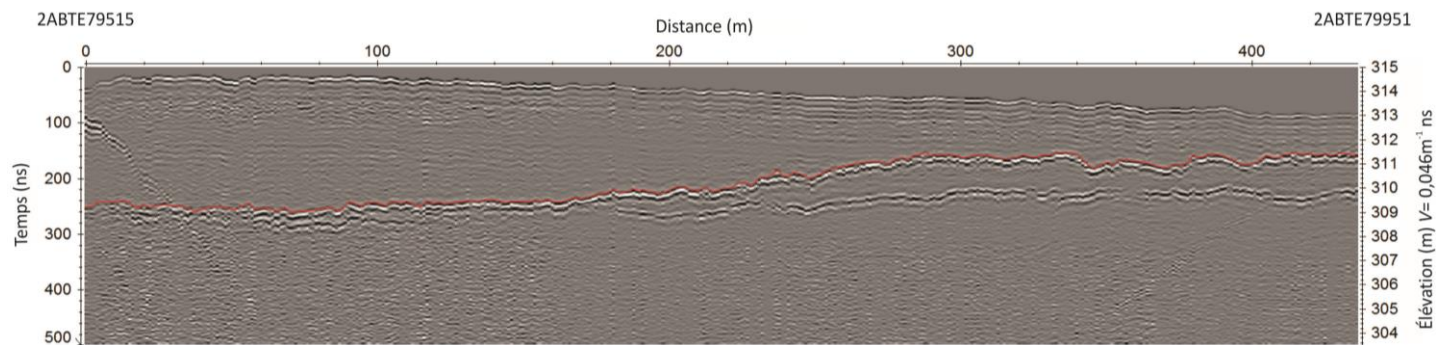


Figure 4.2.38 Profil_1 (secteur G9)

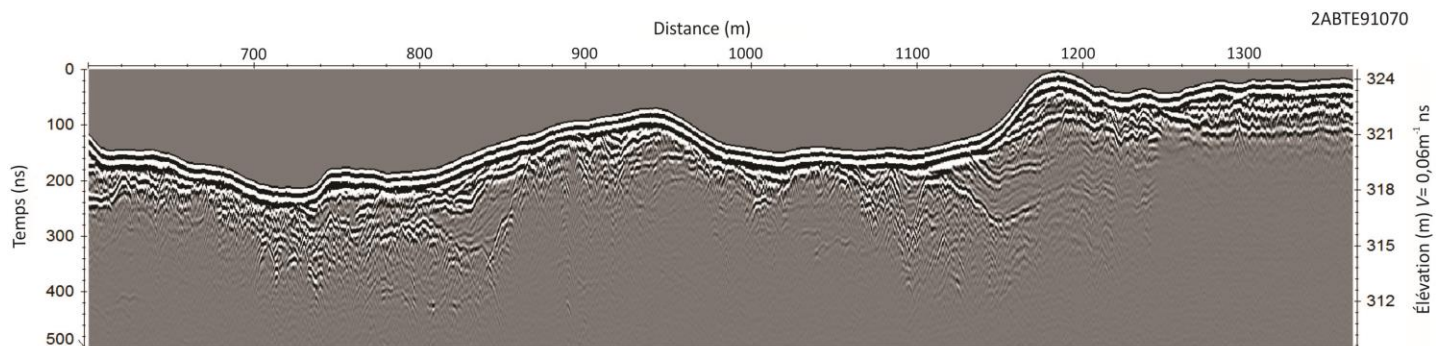
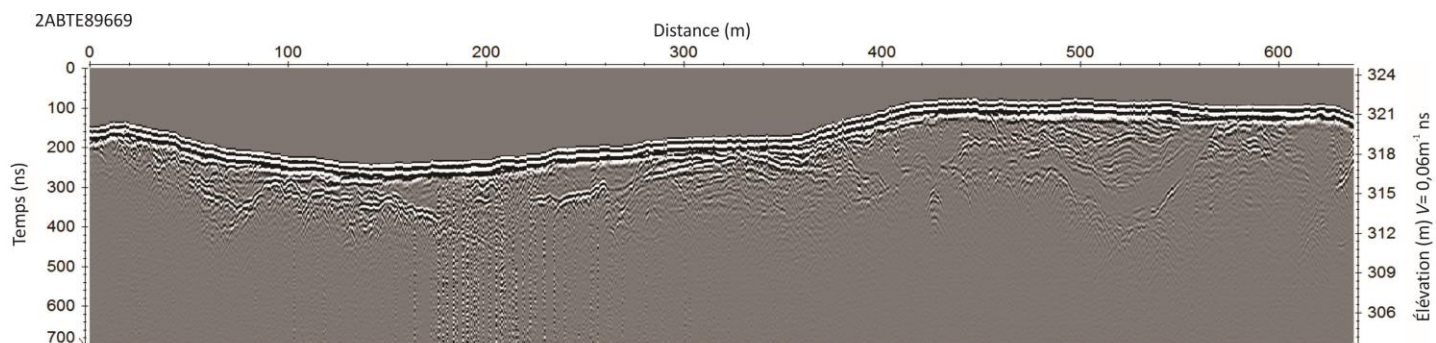


Figure 4.2.39 Profil_3 (secteur G9)

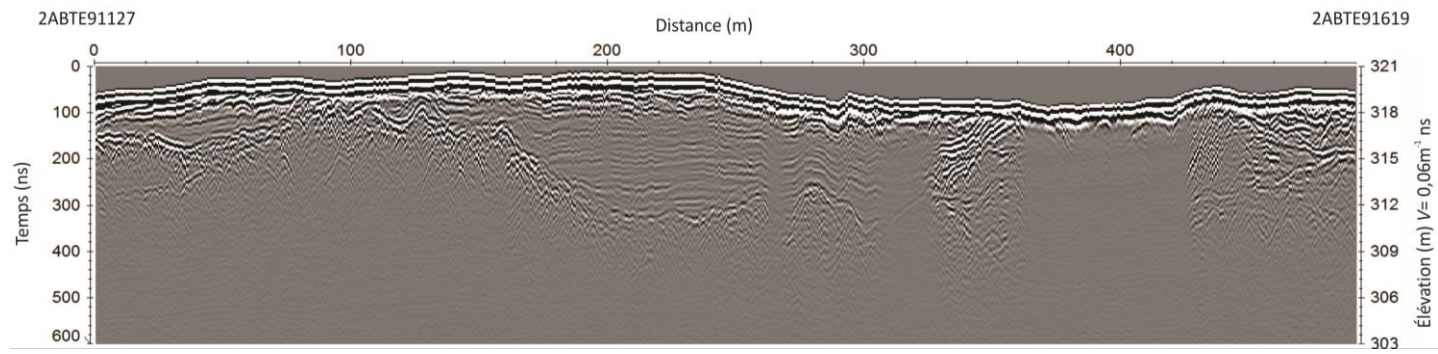


Figure 4.2.40 Profil_4 (secteur G10)

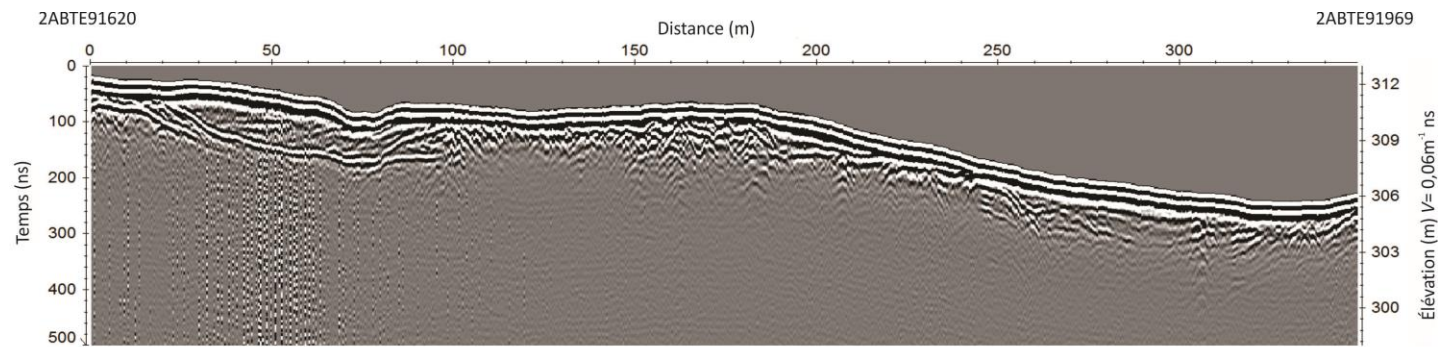


Figure 4.2.41 Profil_5 (secteur G10)

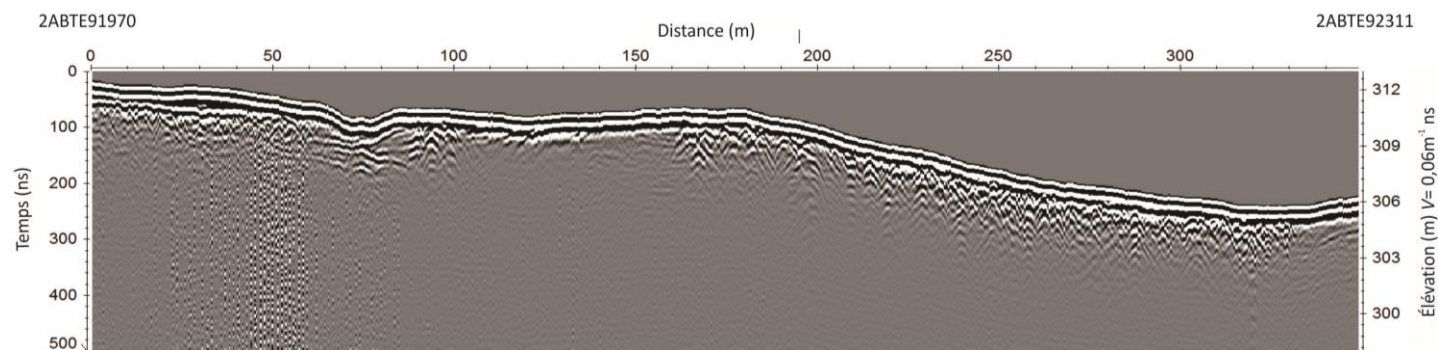


Figure 4.2.42 Profil GPR_h_37 (secteur G11)

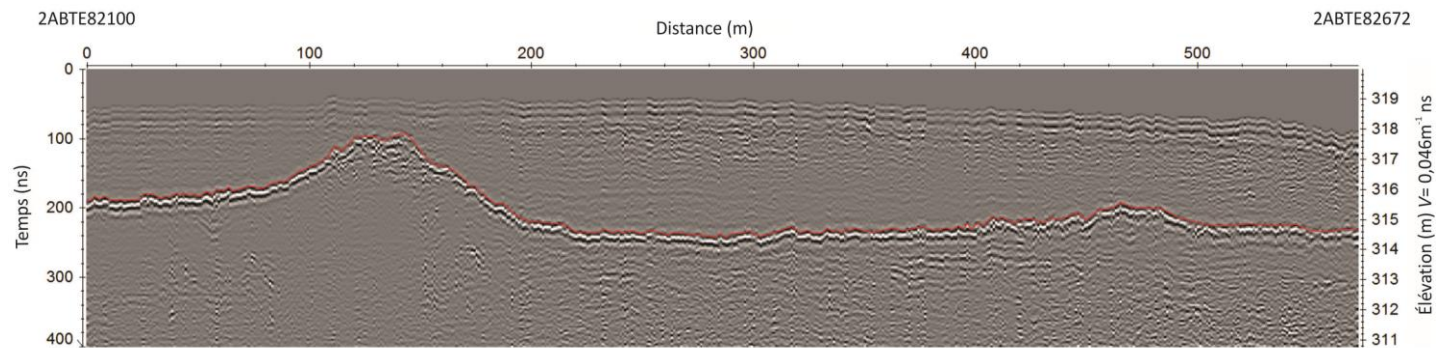


Figure 4.2.43 Profil GPR_h_38 (secteur G11)

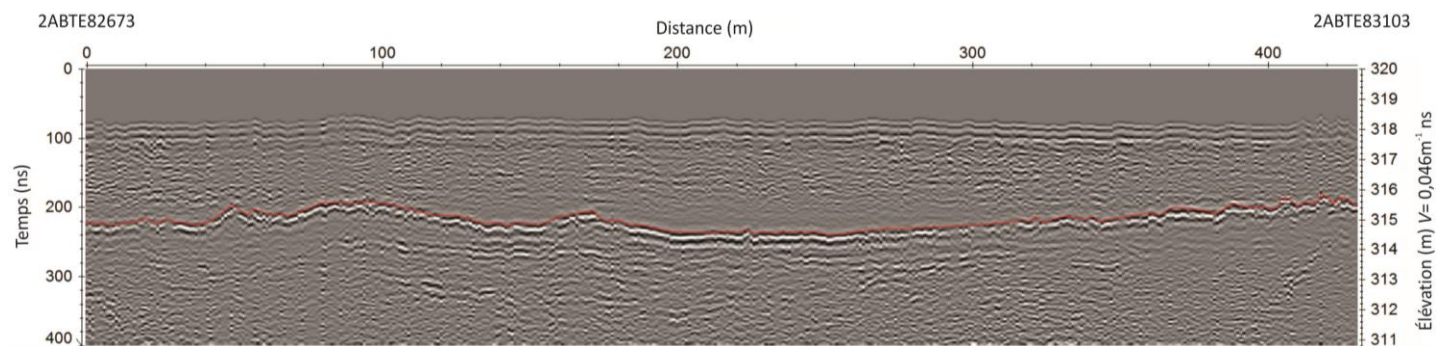


Figure 4.2.44 Profil GPR_h_39 (secteur G11)

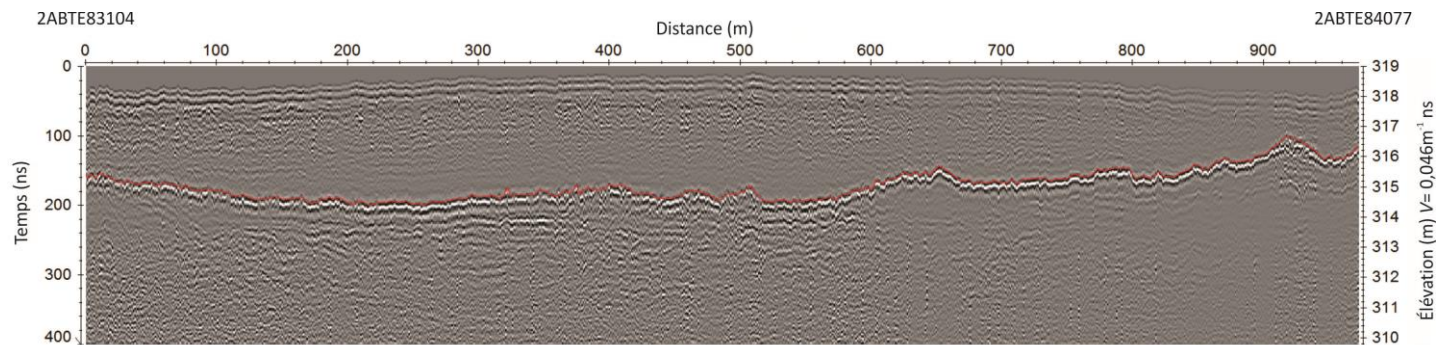


Figure 4.2.45 Profil GPR_h_40 (secteur G11)

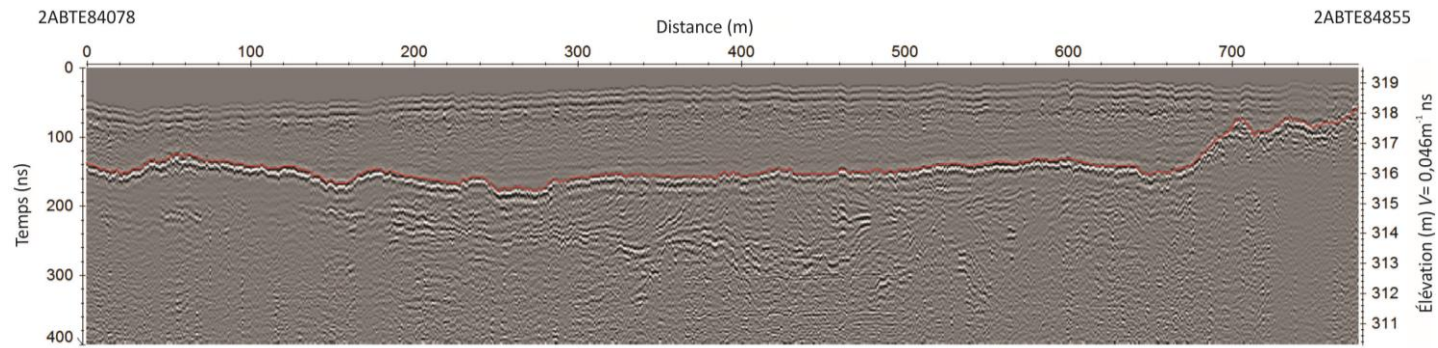


Figure 4.2.46 Profil GPR_h_41 (secteur G11)

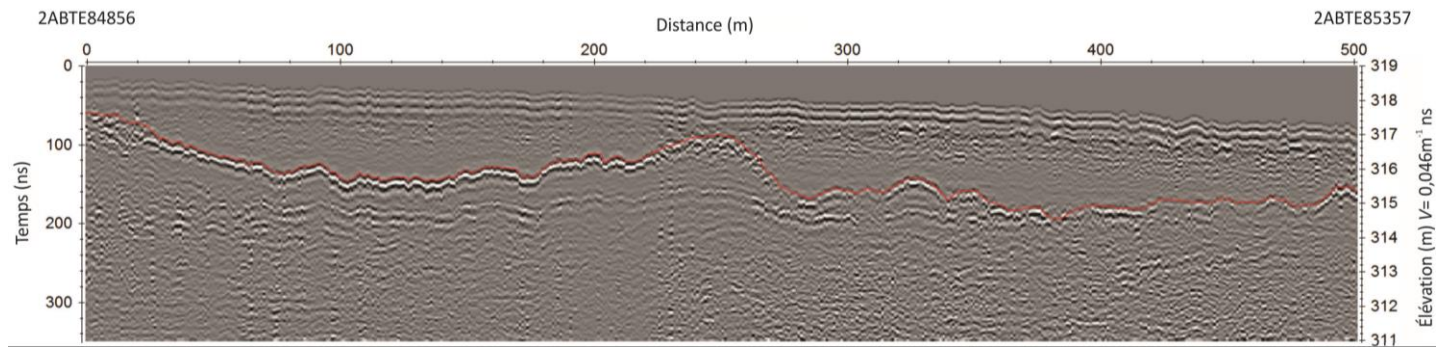


Figure 4.2.47 Profil GPR_h_42 (secteur G11)

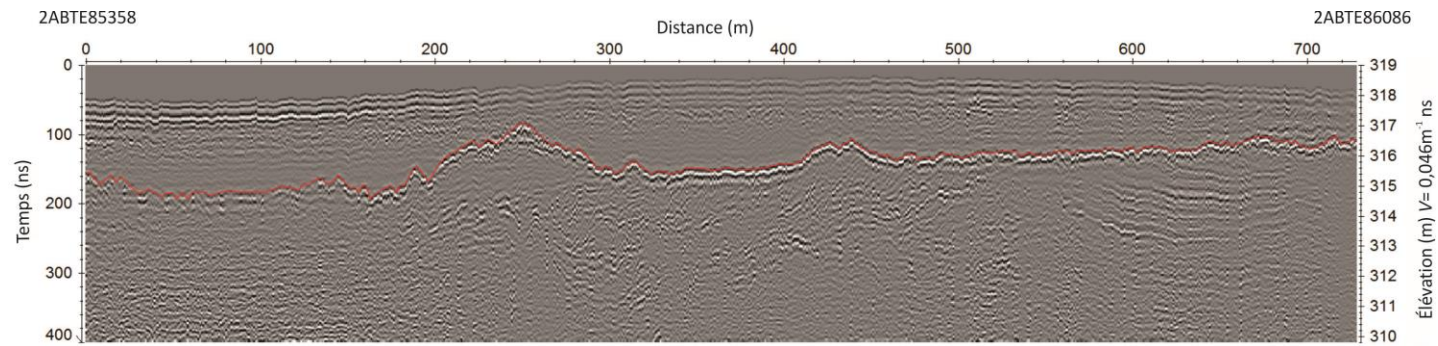


Figure 4.2.48 Profil GPR_h_43 (secteur G11)

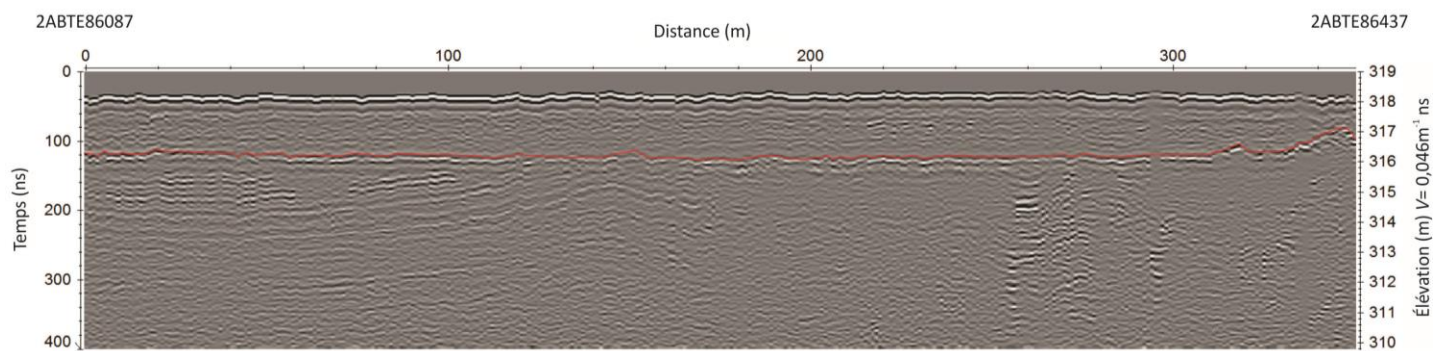
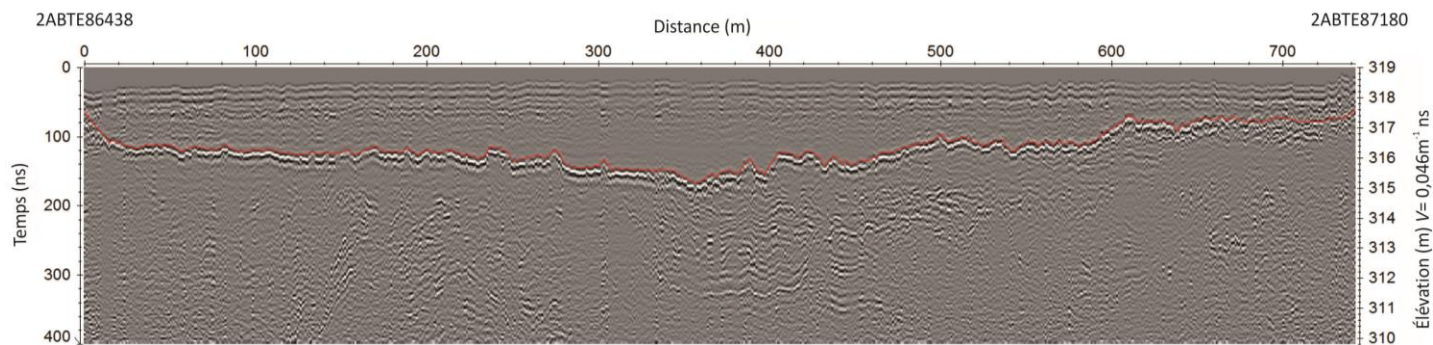


Figure 4.2.49 Profil GPR_h_44 (secteur G11)



4.3 Mesures manuelles d'épaisseur de tourbe

Les aspects méthodologiques relatifs à la réalisation des mesures manuelles d'épaisseur de tourbe et aux calculs associés sont rapportés à la section 3.3 du présent rapport. La figure 4.1 illustre la localisation des essais réalisés (site de levés géophysiques – géoradar) alors que le tableau 4.3.1 dresse un sommaire des résultats calculés. L'annexe 4.3.1 comprend les données terrain et des calculs associés. Au total, 241 sites de mesures (avec duplicatas) ont été retenus suite au prétraitement (section 3.3), pour un total de 482 mesures. La moyenne d'épaisseur de tourbe pour l'ensemble des tourbières se situe à 2,6 m. L'analyse des duplicatas révèle une différence moyenne de 7,8 cm. La rugosité moyenne est de 20,2 cm.

Le tableau 4.3.1 synthétise les mesures manuelles d'épaisseur de tourbe effectuées. Ce dernier permet d'apprécier le nombre de mesures par secteur d'acquisition, par type de mise en contexte ainsi que le nombre de mesures rejetées.

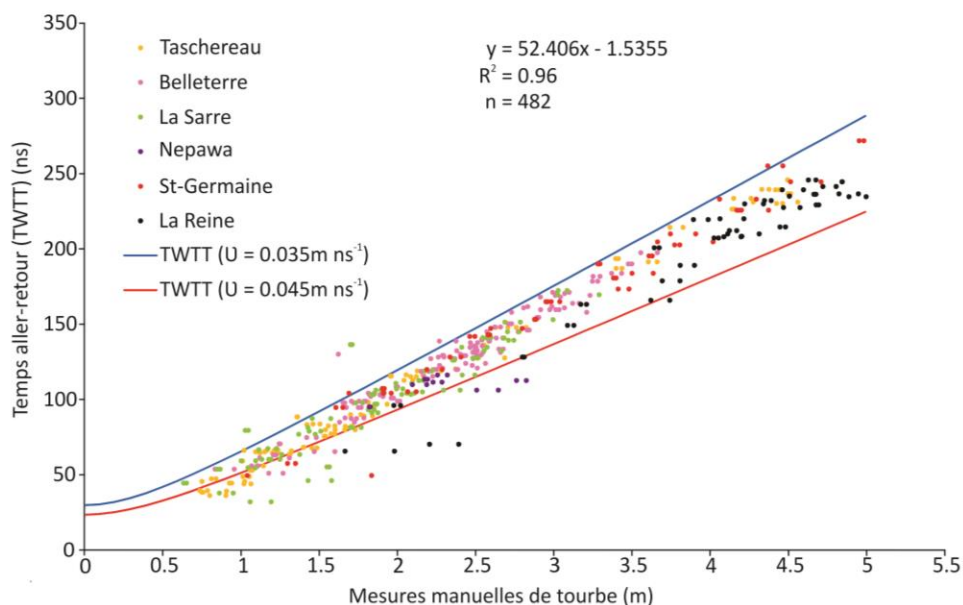
Tableau 4.3.1 Différentes moyennes des mesures manuelles de tourbe

| Regroupement de tourbières ¹ | Profil géoradar (km) | Nombre de mesures (après filtre) | Moyenne rugosité (cm) | Moyenne de différence des duplicatas (cm) | Moyenne épaisseur de tourbe (cm) |
|--|----------------------|----------------------------------|-----------------------|---|----------------------------------|
| Tourbières secteur d'acquisition de La Reine (G1) | 1,4 | 30 (30) | 23,7 | 8,2 | 397,9 |
| Tourbières secteur d'acquisition de La Sarre (G2 à G5) | 6,7 | 66 (47) | 15,9 | 7,6 | 188,4 |
| Tourbières secteur d'acquisition de l'île Nepawa (G7) | 2,2 | 8 (7) | 20,3 | 6,2 | 230,4 |
| Tourbières secteur d'acquisition de Sainte-Germaine-Boulé (G8) | 2,5 | 31 (29) | 19,6 | 11,4 | 307,0 |
| Tourbières secteur d'acquisition de Taschereau (G9) | 1,8 | 62 (59) | 19,3 | 5,1 | 205,4 |
| Tourbières secteur d'acquisition de Belleterre (G11) | 5,1 | 69 (69) | 22,8 | 8,6 | 233,8 |
| Totalité des tourbières sondées | 19,7 | 266 (241) | 20,2 | 7,8 | 255,8 |

¹ Les secteurs d'acquisition sont présentés à la figure 4.1.

En complément, la figure 4.3.1 illustre la relation entre les mesures manuelles de tourbe et les temps d'aller-retour de l'onde électromagnétique du géoradar, pour chaque site de mesure. Le coefficient de corrélation est évalué à 0,96 suggérant une relation significative entre les deux variables. Cette relation tend à supporter l'interprétation du réflecteur associé à la transition minérale / organique sur les profils radar (section 4.2). Les courbes de vitesse théoriques, représentant des vitesses de propagation d'onde de 0,035 m ns⁻¹ (bleu) et 0,045 m ns⁻¹ (rouge), contiennent la majorité des points, suggérant que la vitesse moyenne du médium sondé se situe quelque part entre ces deux vitesses.

Figure 4.3.1 Relation entre les mesures manuelles d'épaisseur de tourbe et les temps d'aller-retour de l'onde géoradar pour chacun des sites sondés



4.4 Acquisition de données de résistivité électrique

Les aspects méthodologiques relatifs à l'acquisition de données de résistivité électrique sont rapportés à la section 3.4 du présent rapport. Le tableau 4.4.1 dresse un sommaire récapitulatif des pseudos-sections acquises à l'aide du résistivimètre. La figure 4.1 illustre la localisation des secteurs d'acquisition des données (secteurs R1 à R13) alors que les figures 4.4.1 à 4.4.4 présentent les localisations précises des pseudos-sections, lesquelles sont présentées aux figures 4.4.5 à 4.4.18. Dans la majeure partie des cas, plus d'une configuration a été utilisée pour la réalisation des pseudo-sections. Celles-ci offrent diverses particularités; une meilleure résolution près de la surface pour la configuration Wenner, plus d'emphase sur les structures horizontales avec la configuration Wenner-Schlumberger et un nombre accru de données en employant la configuration dipôle-dipôle.

L'interprétation des pseudos-sections de résistivité électrique, basée sur les valeurs du tableau 3.4.1, a permis l'évaluation de la morphologie du roc enfouie (secteurs d'acquisition R3 et R9) et l'estimation de l'épaisseur d'argile déposée (secteurs d'acquisition R1, R2, R4 à R7 et R10 à R13).

Tableau 4.4.1 Récapitulatif des pseudo-sections de résistivité électrique acquises

| Pseudo-section | Secteur d'acquisition | Identifiant début ¹ | Identifiant fin ¹ | Objectif ² |
|----------------|-----------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| arnt-elctro | R9 | 2ABTE92444 | 2ABTE92478 | Évaluer morphologie roc |
| arnt-elctrob | R9 | 2ABTE92479 | 2ABTE92514 | Évaluer morphologie roc |
| res-dupuy | R3 | 2ABTE92515 | 2ABTE92586 | Évaluer morphologie roc |
| res-authiern | R5 | 2ABTE92587 | 2ABTE92591 | Évaluer l'épaisseur d'argile |
| res-clerval | R4 | 2ABTE92592 | 2ABTE92596 | Évaluer l'épaisseur d'argile |
| res-gali | R7 | 2ABTE92597 | 2ABTE92601 | Évaluer l'épaisseur d'argile |
| res-lorrain | R13 | 2ABTE92602 | 2ABTE92606 | Évaluer l'épaisseur d'argile |
| res-nddn | R10 | 2ABTE92607 | 2ABTE92611 | Évaluer l'épaisseur d'argile |
| res-palma | R6 | 2ABTE92612 | 2ABTE92616 | Évaluer l'épaisseur d'argile |
| res-rein | R1 | 2ABTE92617 | 2ABTE92621 | Évaluer l'épaisseur d'argile |
| res-st-brun | R11 | 2ABTE92622 | 2ABTE92626 | Évaluer l'épaisseur d'argile |
| res-st-germ | R8 | 2ABTE92627 | 2ABTE92634 | Transition roc affleurant / argile |
| res-st-vita | R2 | 2ABTE92635 | 2ABTE92639 | Évaluer l'épaisseur d'argile |
| res-vm | R12 | 2ABTE92640 | 2ABTE92645 | Évaluer l'épaisseur d'argile |

¹ Identifiants uniques attribués dans la base de données PACES-AT2.

² Il est à noter que les pseudo-sections réalisées dans l'objectif d'évaluer l'épaisseur de l'unité d'argile n'ont pas été corrigées des variations d'élévation puisque ces secteurs d'investigation sont considérés uniformes et subhorizontaux.

Figure 4.4.1 Localisation des profils de résistivité électrique des secteurs R1 à R4

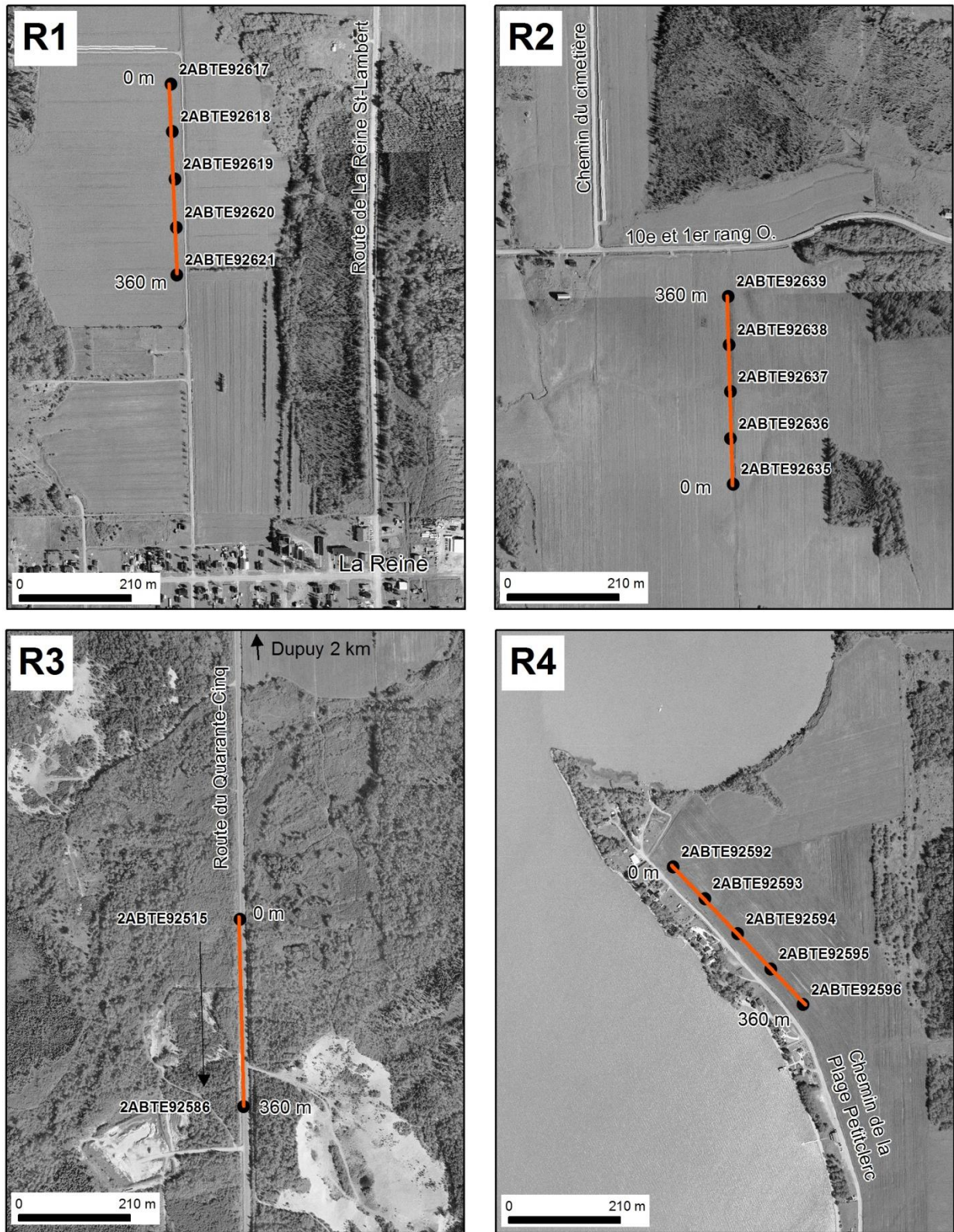


Figure 4.4.2 Localisation des profils de résistivité électrique des secteurs R5 à R8

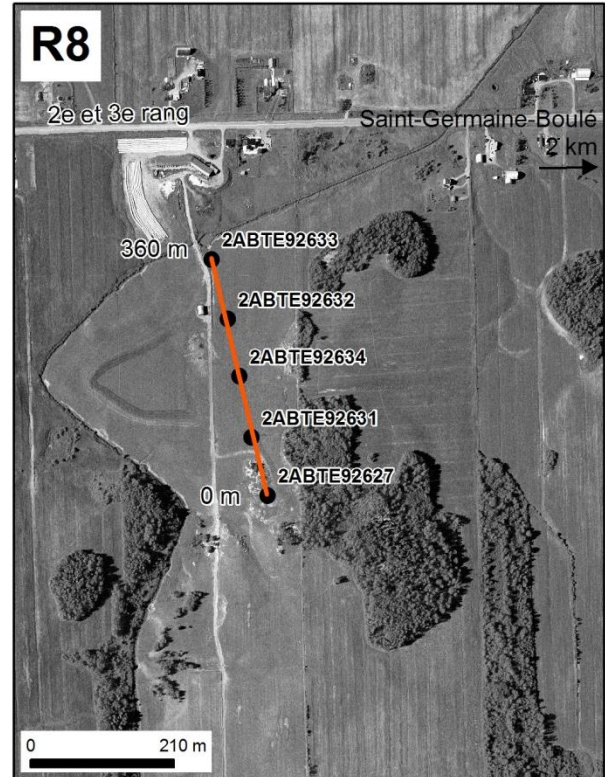
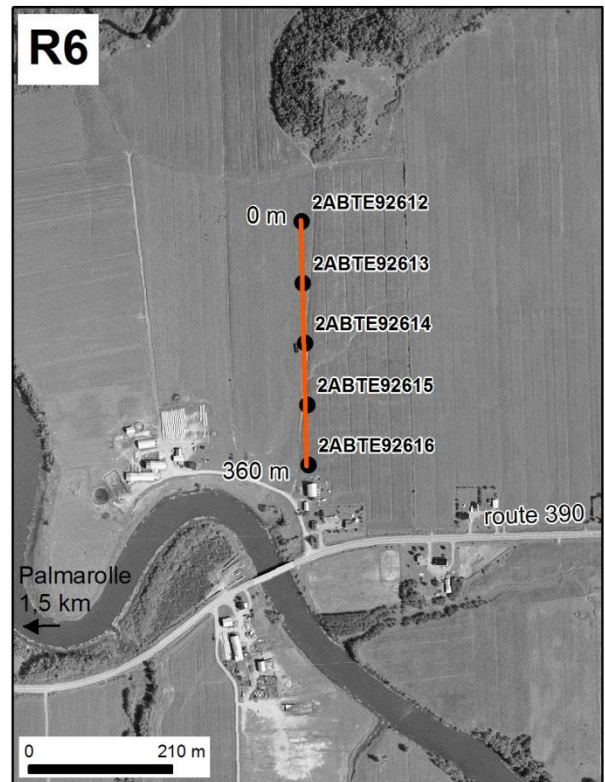
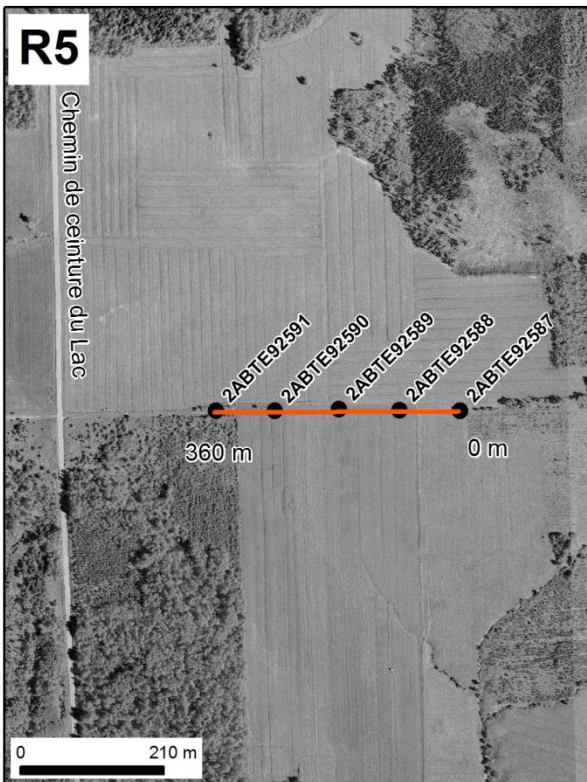


Figure 4.4.3 Localisation des profils de résistivité électrique des secteurs R9 à R12

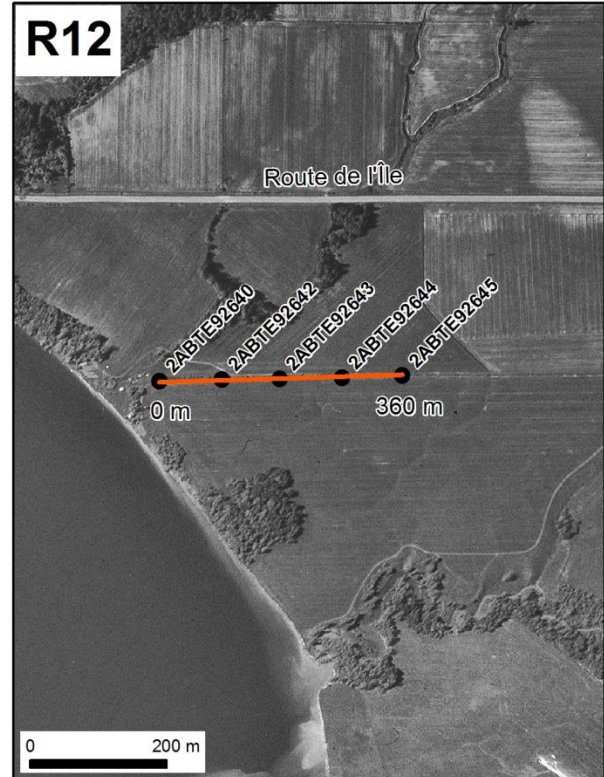


Figure 4.4.4 Localisation des profils de résistivité électrique du secteur R13

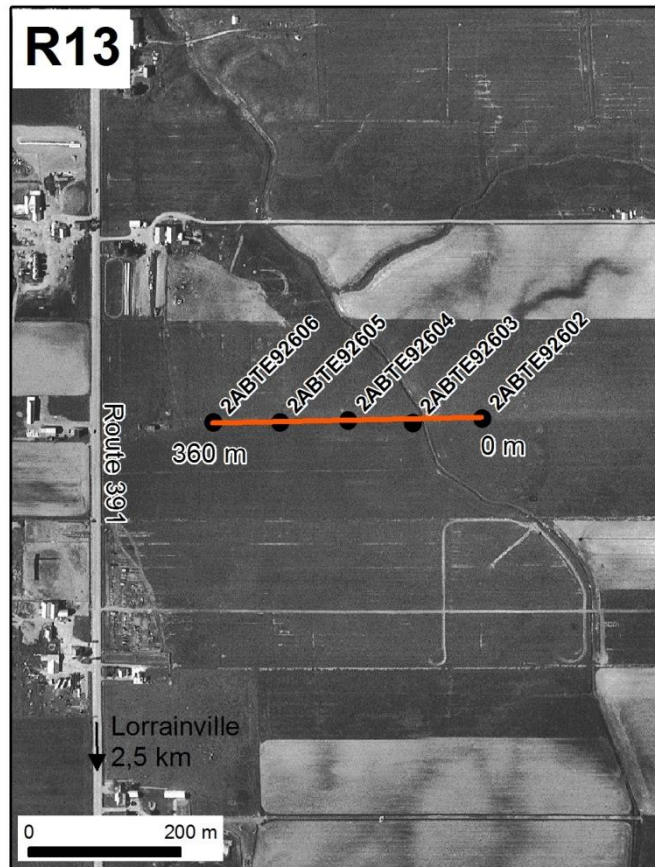


Figure 4.4.5 Pseudo-sections de résistivité électrique (« res-rein » - La Reine, secteur R1)

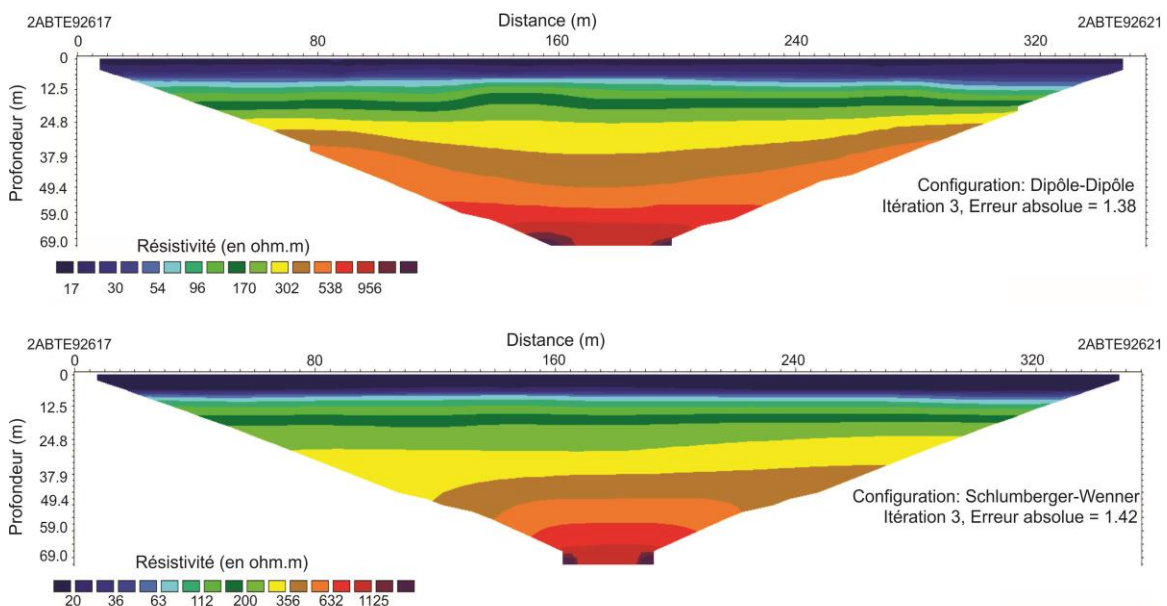


Figure 4.4.6 Pseudo-sections de résistivité électrique (« res-st-vital » - Saint-Vital-de-Clermont, secteur R2)

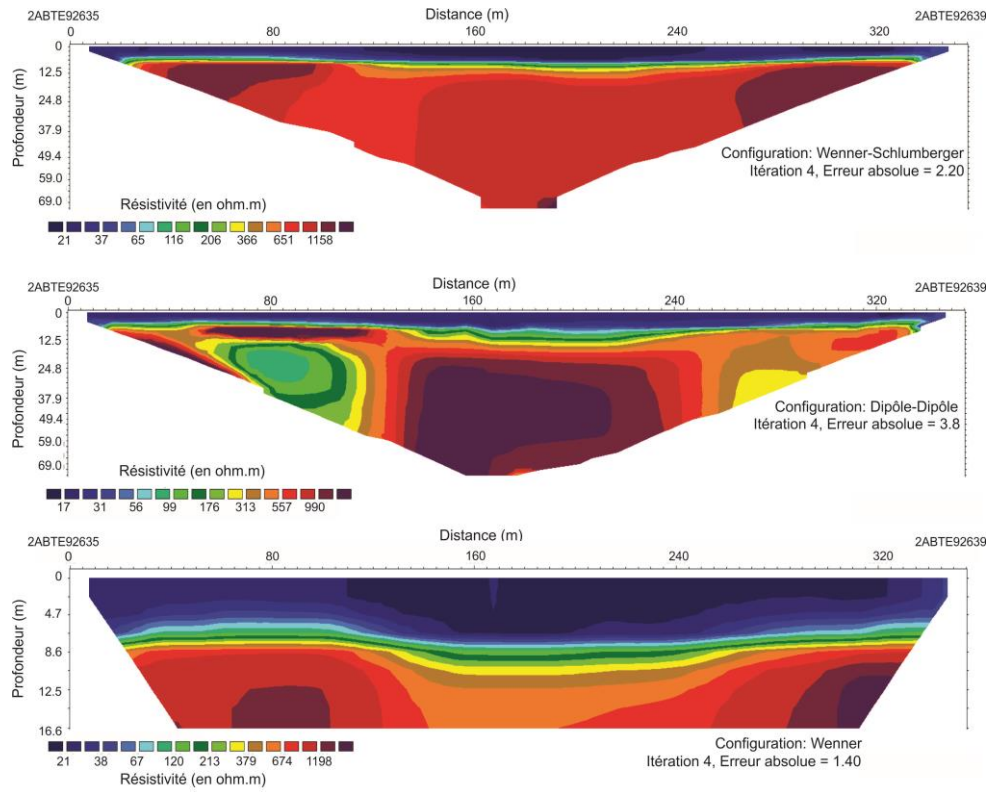


Figure 4.4.7 Pseudo-sections de résistivité électrique (« res-dupuy » - Dupuy, secteur R3)

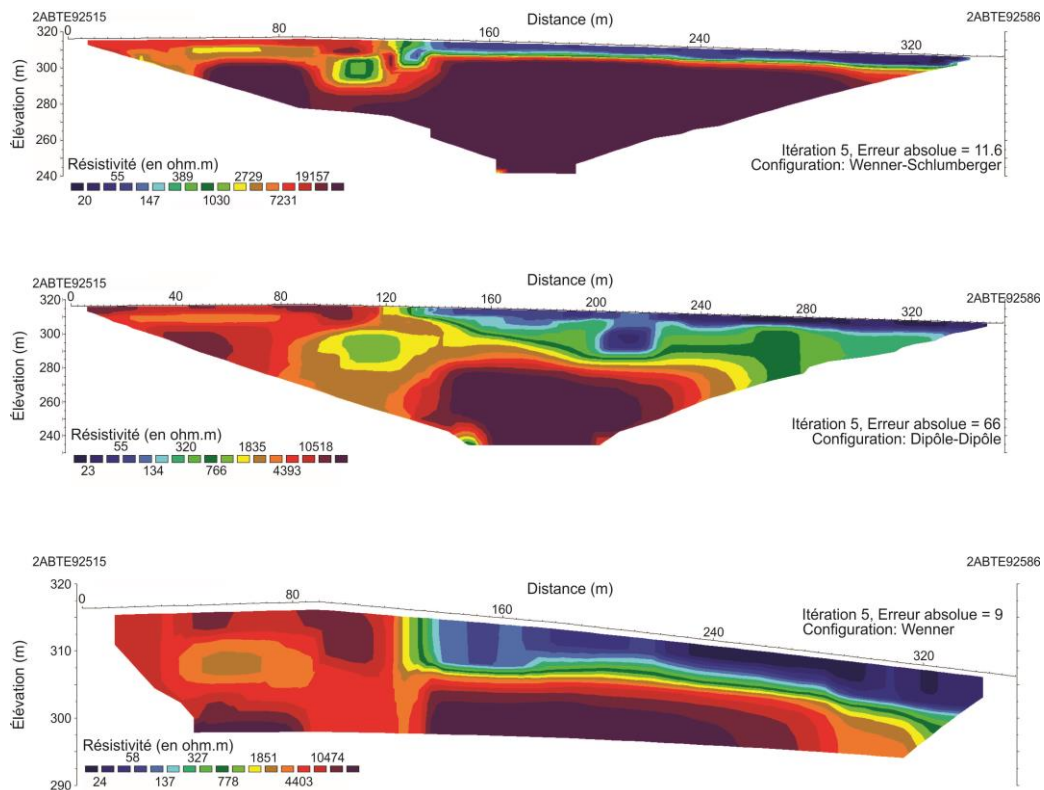


Figure 4.4.8 Pseudo-sections de résistivité électrique (« res-clerval » - Clerval, secteur R4)

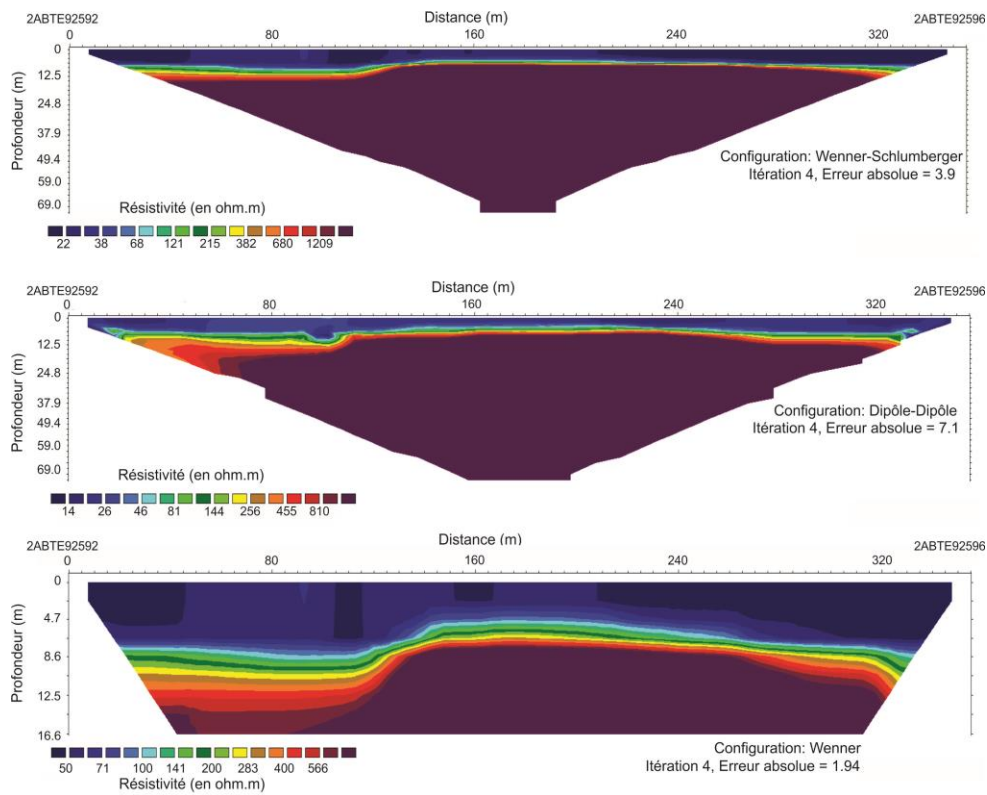


Figure 4.4.9 Pseudo-sections de résistivité électrique (« res-authiern » - Authier-Nord, secteur R5)

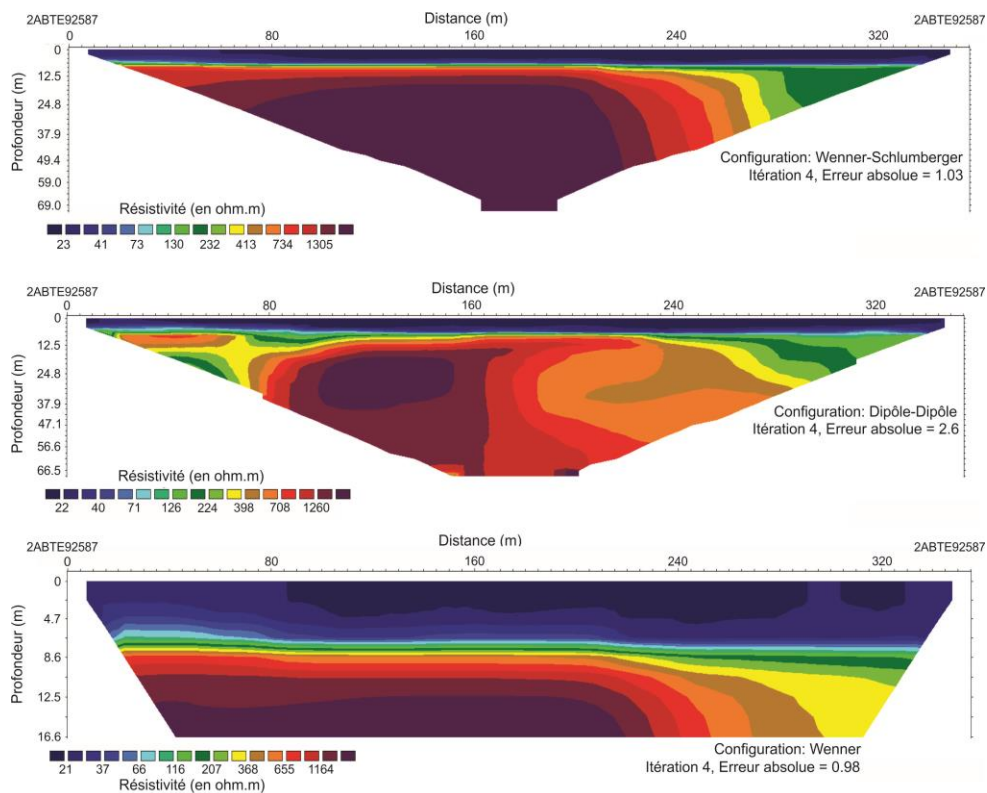


Figure 4.4.10 Pseudo-sections de résistivité électrique (« res-palma » - Palmarolle, secteur R6)

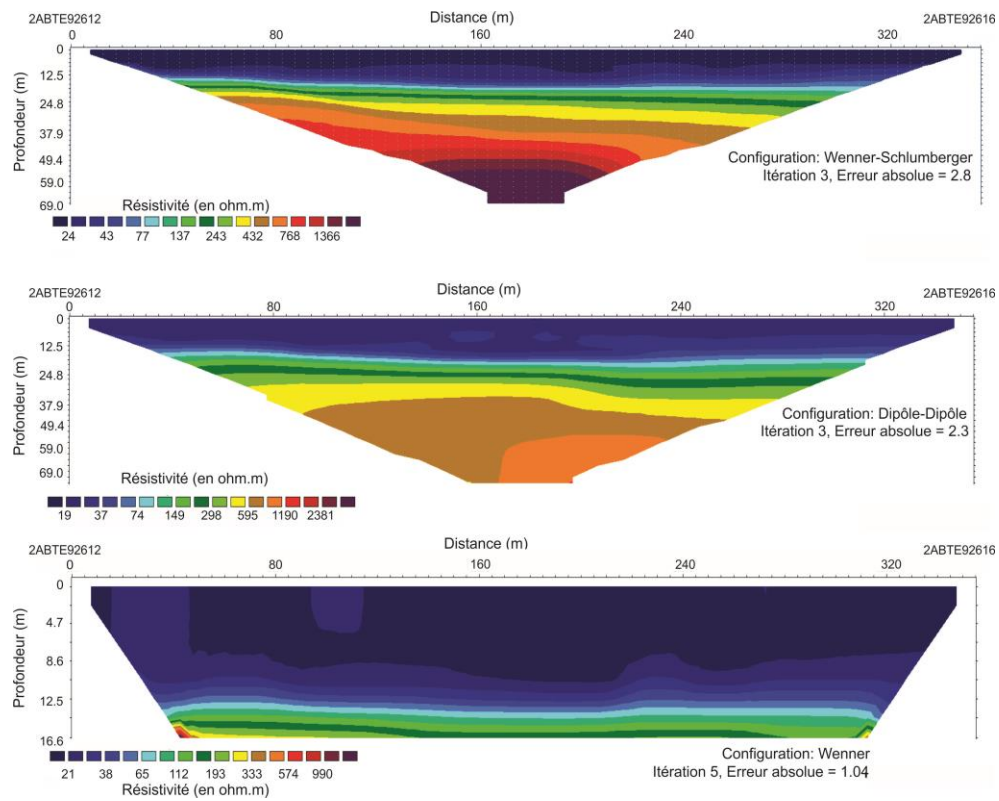


Figure 4.4.11 Pseudo-sections de résistivité électrique (« res-gali » - Gallichan, secteur R7)

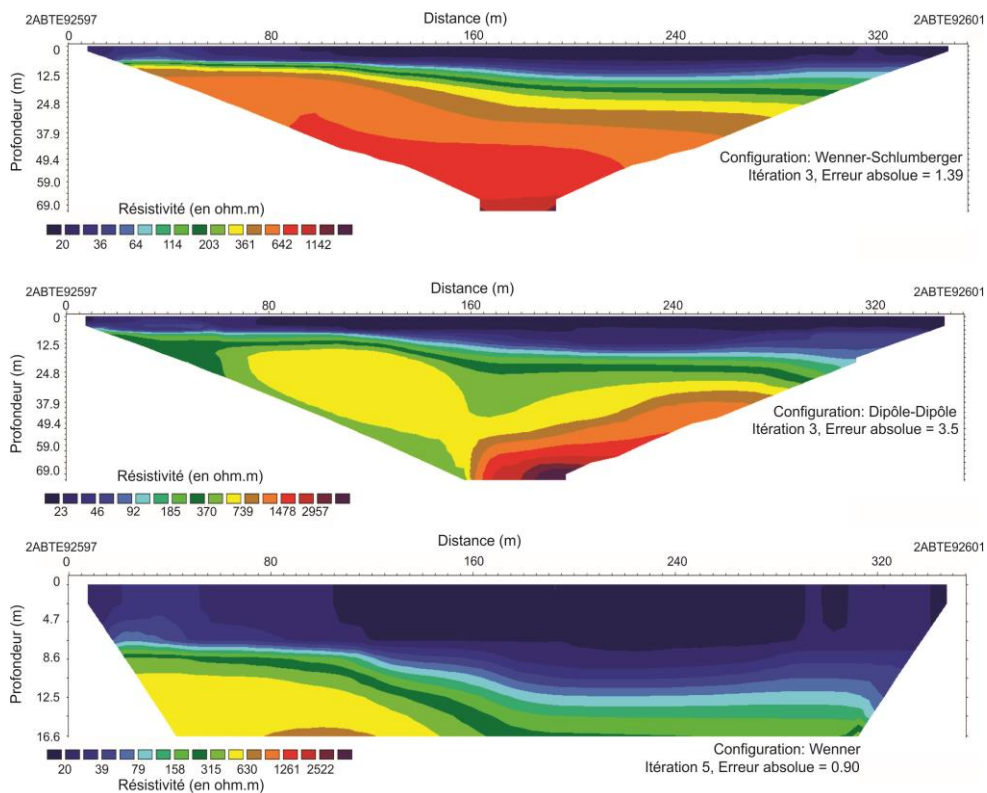


Figure 4.4.12 Pseudo-section de résistivité électrique (« res-st-germ » - Sainte-Germaine-Boulé, secteur R8)

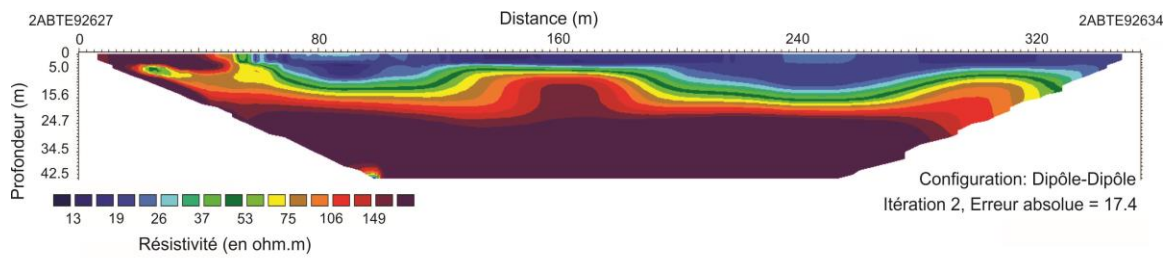


Figure 4.4.13 Pseudo-sections de résistivité électrique (« arnt-electro » - Arntfield, secteur R9)

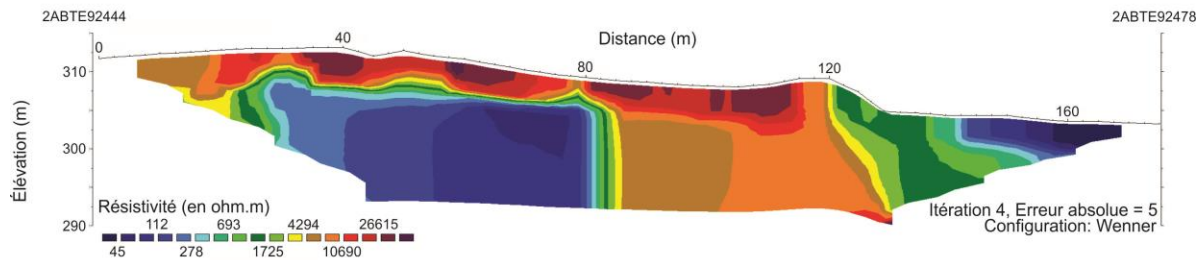
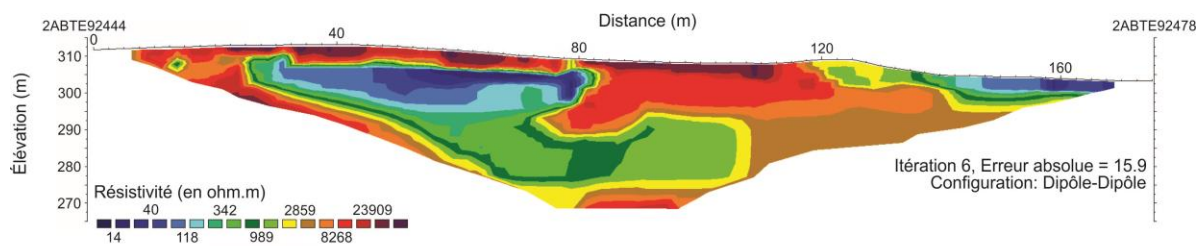
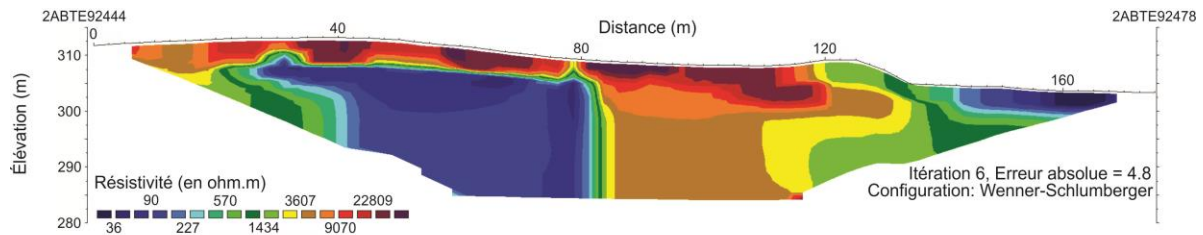


Figure 4.4.14 Pseudo-sections de résistivité électrique (« arnt-electrob » - Arntfield, secteur R9)

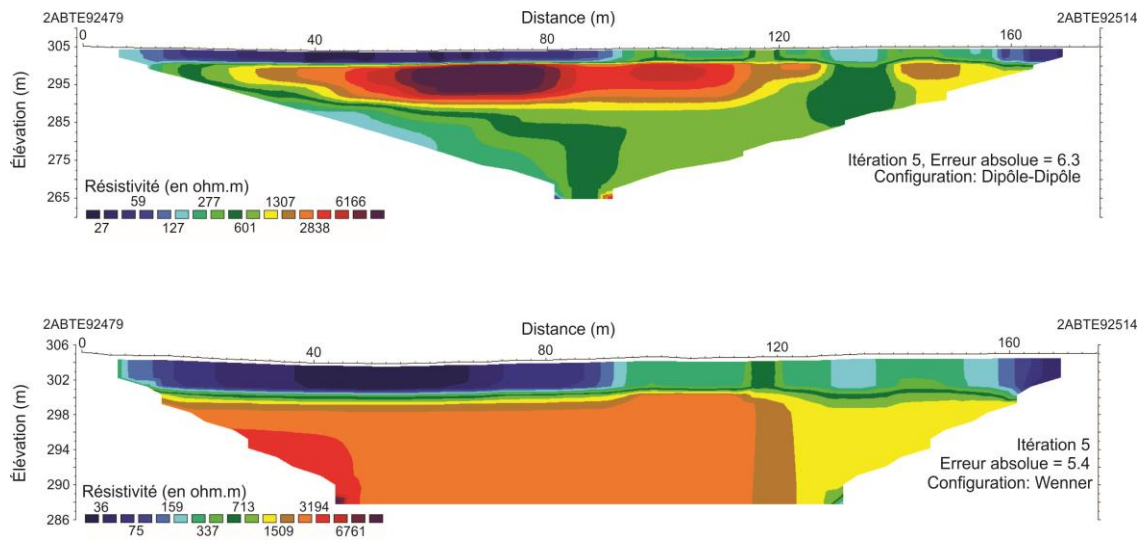


Figure 4.4.15 Pseudo-sections de résistivité électrique (« res-nddn » - Notre-Dame-du-Nord, secteur R10)

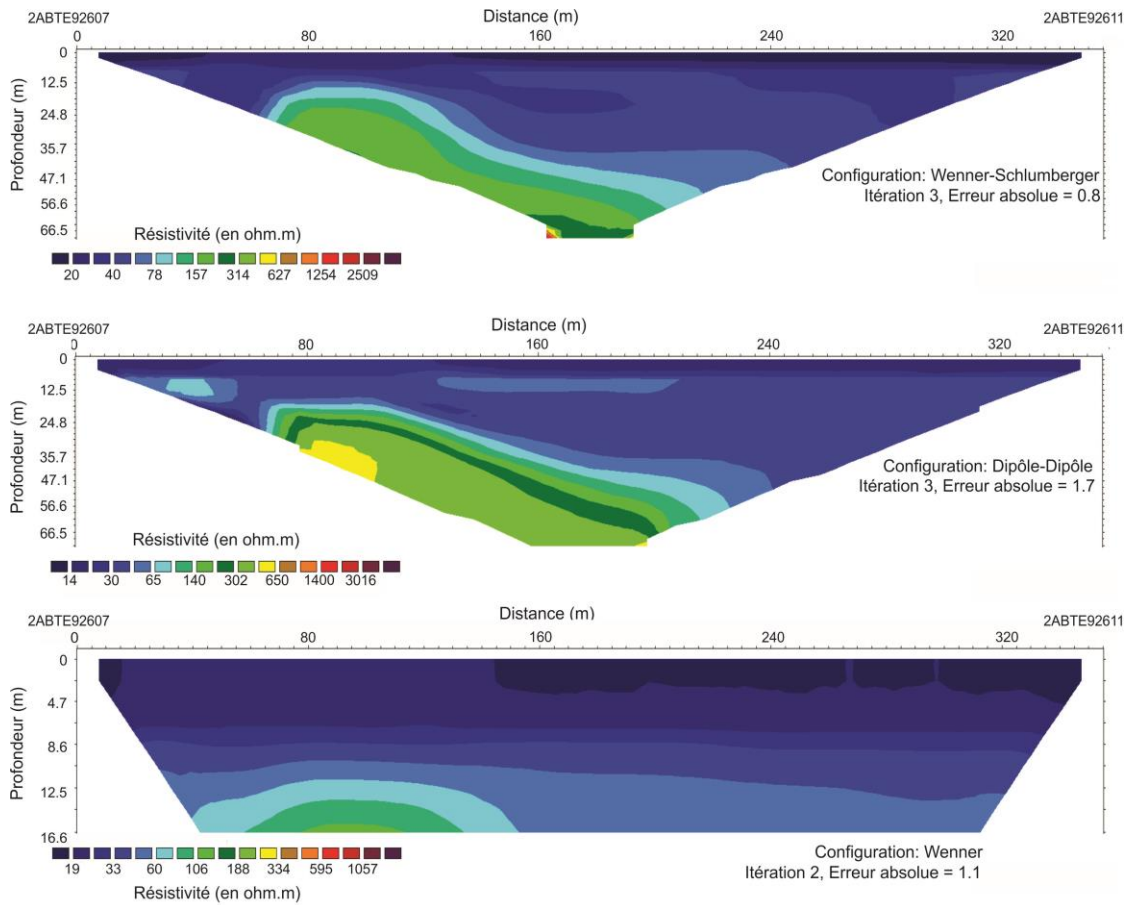


Figure 4.4.16 Pseudo-sections de résistivité électrique (« res-st-brun » - Saint-Bruno-de-Guigues, secteur R11)

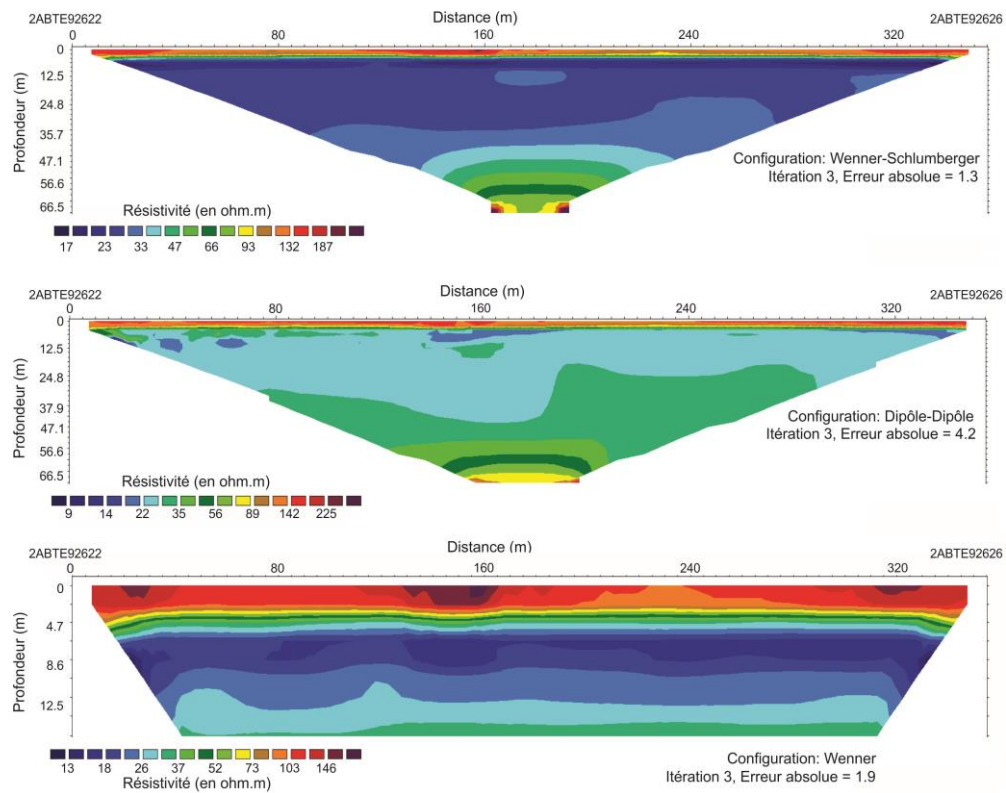


Figure 4.4.17 Pseudo-sections de résistivité électrique (« res-vm » - Ville-Marie, secteur R12)

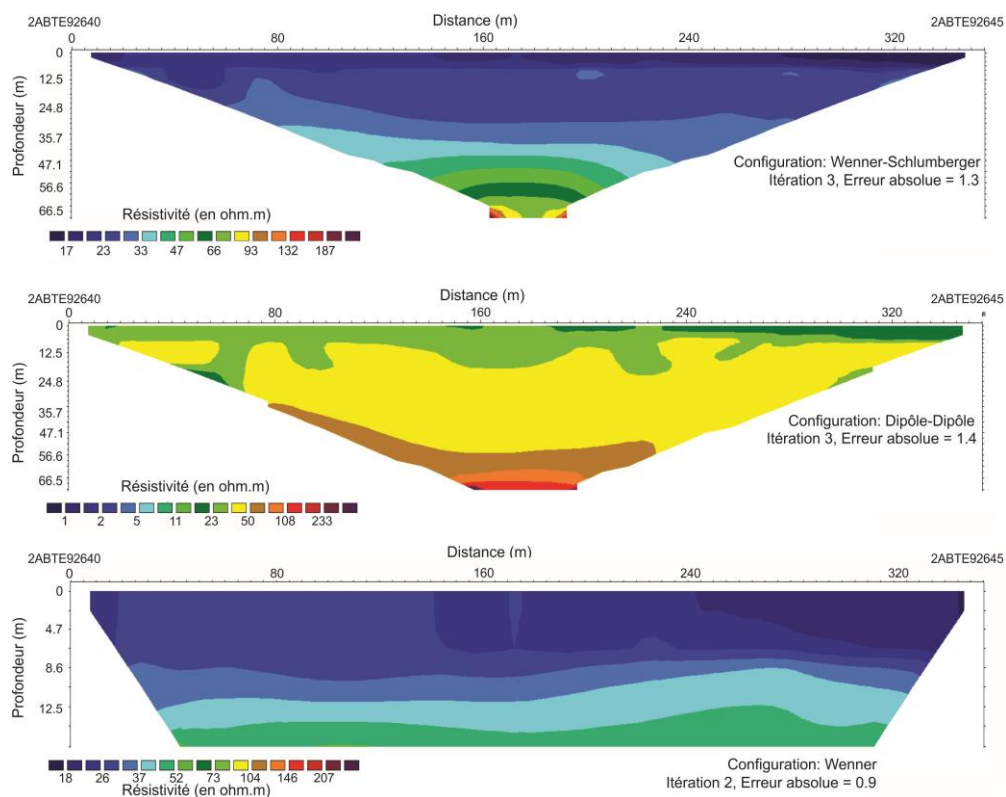
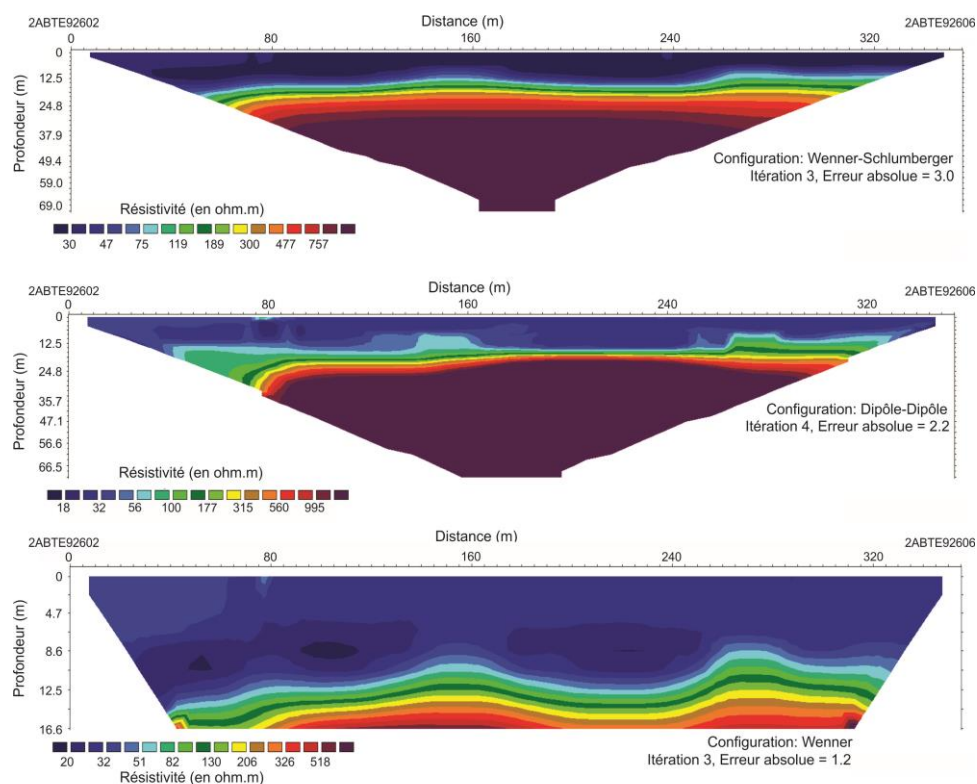


Figure 4.4.18 Pseudo-sections de résistivité électrique (« res-lorrain » - Lorrainville, secteur R13)



4.5 Forages et échantillonnage de matériaux granulaires

Les aspects méthodologiques relatifs à la réalisation de forages et à l'échantillonnage des matériaux granulaires sont rapportés à la section 3.5 du présent rapport. La figure 4.1 illustre la localisation des 15 forages réalisés dans le cadre de l'étude. Le tableau 4.5.1 fournit un sommaire des caractéristiques de ces forages et précise le nombre d'échantillons y ayant été récupérés.

Tableau 4.5.1 Profondeur des forages réalisés et nombre d'échantillons prélevés

| Numéro d'identification ¹ | Longitude ² | Latitude ² | Profondeur atteinte (m) | Nombre d'échantillons prélevés |
|--------------------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------------|
| 2ABTE10015 | 657 489 | 5 393 059 | 6,15 | 6 |
| 2ABTE10016 | 657 491 | 5 393 057 | 5,62 | 4 |
| 2ABTE10017 | 657 797 | 5 392 506 | 3,80 | 3 |
| 2ABTE10018 | 634 060 | 5 420 512 | 8,40 | 6 |
| 2ABTE10019 | 652 610 | 5 414 844 | 8,40 | 7 |
| 2ABTE10020 | 634 394 | 5 426 893 | 8,40 | 5 |
| 2ABTE10021 | 634 365 | 5 426 013 | 4,80 | 4 |
| 2ABTE10022 | 634 804 | 5 425 417 | 9,60 | 7 |
| 2ABTE10023 | 639 636 | 5 361 922 | 9,60 | 7 |
| 2ABTE10024 | 637 616 | 5 363 121 | 9,60 | 7 |
| 2ABTE10025 | 638 273 | 5 359 231 | 9,60 | 8 |
| 2ABTE10026 | 679 083 | 5 253 233 | 3,30 | 2 |
| 2ABTE10027 | 680 329 | 5 255 095 | 6,00 | 5 |

Tableau 4.5.1 Profondeur des forages réalisés et nombre d'échantillons prélevés (Suite)

| Numéro d'identification ¹ | Longitude ² | Latitude ² | Profondeur atteinte (m) | Nombre d'échantillons prélevés |
|--------------------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------------|
| 2ABTE10028 | 680 589 | 5 252 265 | 0,30 | - |
| 2ABTE10029 | 679 614 | 5 254 082 | 4,80 | 4 |
| Total | | | 98,4 | 75 |

¹ Identifiants uniques attribués dans la base de données. ² UTM NAD83 Zone 17N.

4.6 Installation de piézomètres

Les aspects méthodologiques relatifs à l'installation des piézomètres sont rapportés à la section 3.6 du présent rapport alors que la figure 4.1 illustre la localisation des piézomètres installés. Au total, 12 piézomètres dont 9 en PVC et 3 en acier inoxydable ont été implantés dans le cadre des travaux de terrain. Le tableau 4.6.1 présente les principales caractéristiques de ces infrastructures. Les sections de forages sont rapportées à l'annexe 4.6.1.

Tableau 4.6.1 Sommaire descriptif des piézomètres installés

| Numéro d'identification ¹ | Type ² | Type d'unité | Longueur totale (m) | Longueur au-dessus du sol (m) | Longueur crépine (m) | Profondeur du sommet de la crépine (m) |
|--------------------------------------|-------------------|--------------|---------------------|-------------------------------|----------------------|--|
| 2ABTE10016 | PVC | Sable | 5,792 | 0,214 | 1,420 | 4,138 |
| 2ABTE10018 | PVC | Sable | 6,515 | 0,232 | 1,420 | 4,843 |
| 2ABTE10019 | PVC | Sable | 6,042 | 0,966 | 1,420 | 3,636 |
| 2ABTE10021 | PVC | Sable | 3,042 | 0,672 | 1,420 | 0,930 |
| 2ABTE10022 | INOX (crépine A) | Sable | 9,346 | 0,705 | 0,232 | 8,367 |
| 2ABTE10023 | PVC | Sable | 9,109 | 0,658 | 1,420 | 7,011 |
| 2ABTE10024 | PVC | Sable | 9,570 | 0,500 | 1,420 | 7,630 |
| 2ABTE10025 | PVC | Sable | 10,583 | 0,773 | 1,420 | 8,37 |
| 2ABTE10027 | PVC | Sable | 6,642 | 0,695 | 1,420 | 4,507 |
| 2ABTE10029 | PVC | Sable | 5,000 | 0,527 | 1,420 | 3,033 |
| 2ABTE10030 | INOX (crépine B) | Argile | 5,929 | 0,776 | 0,232 | 4,875 |
| 2ABTE10031 | INOX (crépine B) | Argile | 11,569 | 0,7610 | 0,232 | 10,530 |

¹ Identifiants uniques attribués dans la base de données. ² Voir la section 3.6 pour les aspects méthodologiques.
PVC : chlorure de polyvinyle, INOX : acier inoxydable.

4.7 Suivis piézométriques et thermiques

Les aspects méthodologiques relatifs à l'instrumentation des piézomètres pour la réalisation de suivis temporels sont rapportés à la section 3.7 du présent rapport. Les tableaux 4.7.1 et 4.7.2 ainsi que les figures 4.7.1 et 4.7.2 décrivent et illustrent les suivis de niveau et de température de l'eau souterraine réalisés aux piézomètres instrumentés dans les secteurs d'Authier-Nord, D'Alembert, La Sarre, Taschereau et Belleterre (Figure 4.1). Les niveaux d'eau sont corrigés des fluctuations de la pression atmosphérique sur la base des données enregistrées par les sondes barométriques automatisées (Barologger). Il est à noter que les piézomètres instrumentés dans le cadre de la présente étude sont complémentaires à ceux du réseau de suivi des eaux souterraines du MDDELCC (MDDELCC, s.d.a). Au niveau du territoire à l'étude, ce réseau inclut des stations de suivi dans les secteurs de Dupuy, La Sarre,

Rouyn-Noranda ainsi que Nédelec et Laniel dans le Témiscamingue. La compilation des données issues des sondes automatisées ainsi que les corrections apportées sont fournies à l'annexe 4.7.1.

Tableau 4.7.1 Sommaire descriptif des suivis temporels réalisés

| Numéro d'identification ¹ | Secteur | Date de l'amorce du suivi | Présence d'un Barologger | Date du premier relevé officiel | Date du dernier relevé |
|--------------------------------------|--------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------------|------------------------|
| 2ABTE10016 | Taschereau | 2013/07/25 | Oui | 2013/10/31 | 2014/10/20 |
| 2ABTE10018 | La Sarre | 2013/07/25 | Non | 2013/11/05 | 2014/10/18 |
| 2ABTE10019 | Authier-Nord | 2013/07/25 | Non | 2013/10/31 | 2014/10/20 |
| 2ABTE10023 | D'Alembert | 2013/09/09 | Oui | 2013/11/08 | 2014/10/21 |
| 2ABTE10024 | D'Alembert | 2013/09/10 | Non | 2013/11/08 | 2014/10/21 |
| 2ABTE10027 | Belleterre | 2013/09/11 | Oui | 2014/05/15 | 2014/10/18 |

¹ Identifiants uniques attribués dans la base de données.

Tableau 4.7.2 Statistiques descriptives des paramètres de suivi

| Numéro d'identification ¹ | Paramètres | Nombre de mesures | Min. ² | Méd. ³ | Max. ⁴ | Moy. ⁵ |
|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 2ABTE10016 | Température (°C) | 1623 | 1,655 | 4,179 | 6,426 | 4,105 |
| | Profondeur ^{6,7} (m) | | -0,216 | 0,359 | 0,787 | 0,361 |
| 2ABTE10018 | Température (°C) | 1615 | 4,332 | 5,243 | 5,942 | 5,188 |
| | Profondeur ⁶ (m) | | 3,994 | 4,156 | 4,378 | 4,180 |
| 2ABTE10019 | Température (°C) | 1623 | 4,004 | 5,103 | 5,621 | 5,026 |
| | Profondeur ⁶ (m) | | 2,257 | 2,452 | 2,706 | 2,468 |
| 2ABTE10023 | Température (°C) | 1626 | 3,500 | 5,710 | 7,591 | 5,657 |
| | Profondeur ⁶ (m) | | 0,663 | 1,039 | 1,363 | 1,046 |
| 2ABTE10024 | Température (°C) | 1623 | 3,379 | 5,120 | 7,247 | 5,363 |
| | Profondeur ⁶ (m) | | 1,009 | 1,390 | 1,590 | 1,409 |
| 2ABTE10027 | Température (°C) | 1607 | 4,822 | 5,981 | 6,869 | 5,927 |
| | Profondeur ⁶ (m) | | 3,476 | 4,047 | 4,211 | 3,981 |

¹ Identifiants uniques attribués dans la base de données. ² Valeur minimale. ³ Valeur médiane (centrale). ⁴ Valeur maximale. ⁵ Moyenne arithmétique des mesures. ⁶ Profondeur de la surface de la nappe phréatique par rapport à la surface du sol. ⁷ Une valeur négative signifie que la surface de la nappe est au-dessus de la surface du sol.

Figure 4.7.1 Suivis temporels des niveaux d'eau

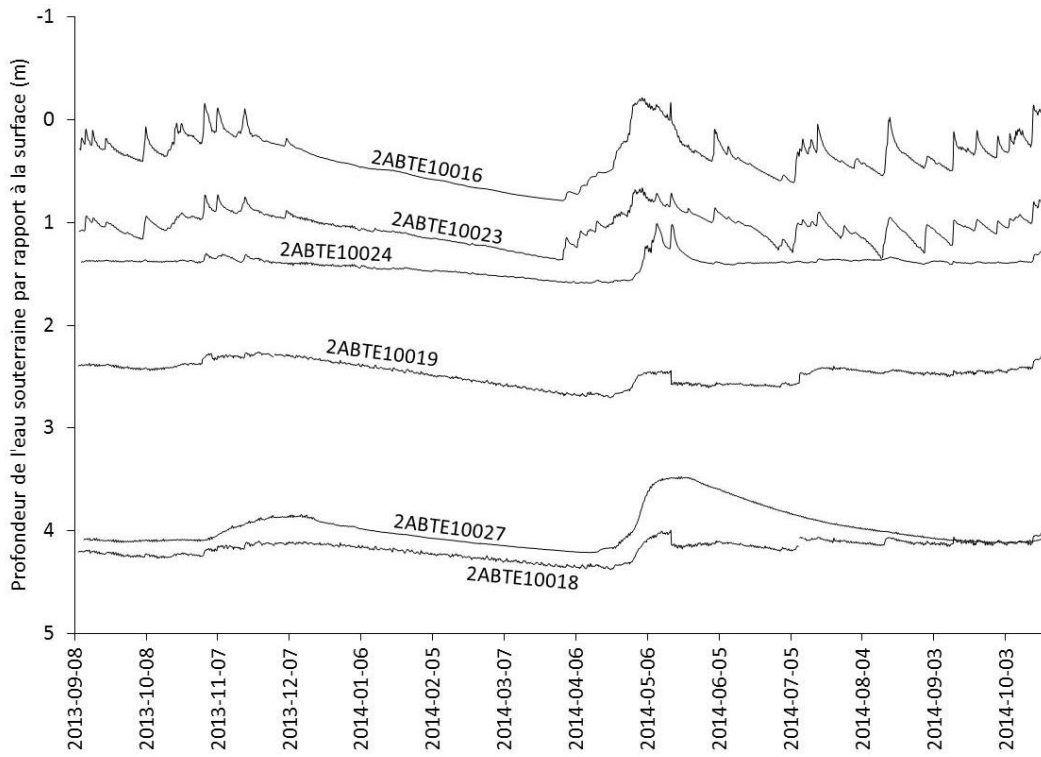
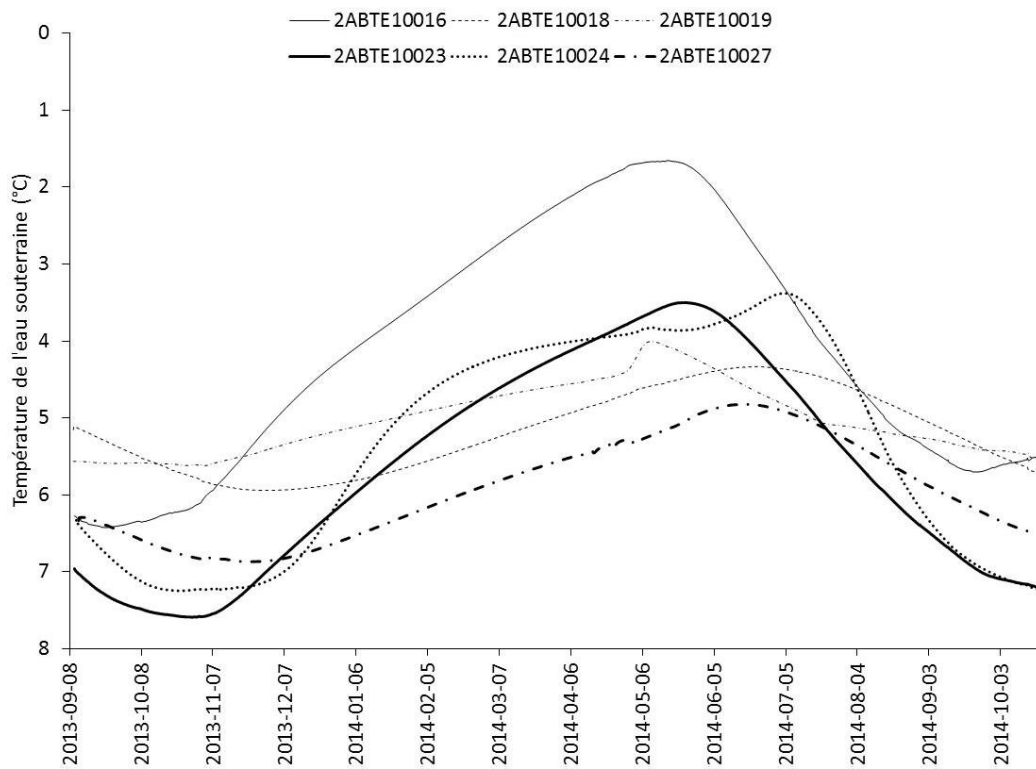


Figure 4.7.2 Suivis temporels de la température de l'eau



4.8 Essais au perméamètre de Guelph

Les aspects méthodologiques relatifs à la réalisation d'essais au perméamètre de Guelph et aux calculs associés sont rapportés à la section 3.8 du présent rapport. La figure 4.1 illustre la localisation des essais réalisés alors que le tableau 4.8.1 dresse un sommaire des valeurs de conductivité hydraulique à saturation partielle (K_{SP}) calculées au niveau des différentes unités géologiques testées. L'annexe 4.8.1 comprend les données terrain et les calculs associés. Une stratégie de calcul à double niveau (équation 3.8.1) a été retenue pour le calcul de la conductivité hydraulique à saturation partielle (K_{SP}), chaque essai ayant été réalisé pour deux charges ($H_1=5$ cm; $H_2=10$ cm). Seules les valeurs de K_{SP} permettant l'obtention de valeurs α comprises entre 0,01 et 0,5 cm^{-1} (équation 3.8.11) ont été retenues pour l'analyse des résultats. Les valeurs de K_{SP} ainsi exclues sont vraisemblablement attribuables à une trop grande hétérogénéité du milieu pour permettre une utilisation adéquate de l'équation 3.8.1. Les valeurs de K_{SP} évaluées sur la base de l'équation 3.8.2 (stratégie de calcul à simple niveau) sont quant à elles présentées uniquement à l'annexe 4.8.1.

Tableau 4.8.1 Sommaire des résultats issus des essais au perméamètre de Guelph

| Environnement géologique | Nombre d'essais retenus | Moyenne | Écart type | Minimum | 25 ^e rang centile | Médiane | 75 ^e rang centile | Maximum |
|--------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|
| Gx | 59 | $8,585 \times 10^{-5}$ | $5,482 \times 10^{-5}$ | $8,899 \times 10^{-6}$ | $4,267 \times 10^{-5}$ | $7,353 \times 10^{-5}$ | $1,183 \times 10^{-4}$ | $2,180 \times 10^{-4}$ |
| Gxi | 24 | $8,106 \times 10^{-5}$ | $7,894 \times 10^{-5}$ | $3,075 \times 10^{-6}$ | $3,055 \times 10^{-5}$ | $4,201 \times 10^{-5}$ | $1,142 \times 10^{-4}$ | $3,102 \times 10^{-4}$ |
| LGb | 54 | $5,539 \times 10^{-5}$ | $6,578 \times 10^{-5}$ | $2,975 \times 10^{-6}$ | $1,430 \times 10^{-5}$ | $2,862 \times 10^{-5}$ | $6,184 \times 10^{-5}$ | $2,987 \times 10^{-4}$ |
| Tc | 2 | $7,189 \times 10^{-5}$ | $3,431 \times 10^{-5}$ | $4,762 \times 10^{-5}$ | $5,976 \times 10^{-5}$ | $7,189 \times 10^{-5}$ | $8,402 \times 10^{-5}$ | $9,615 \times 10^{-5}$ |
| Tm | 6 | $1,562 \times 10^{-4}$ | $1,270 \times 10^{-4}$ | $3,850 \times 10^{-5}$ | $5,994 \times 10^{-5}$ | $1,318 \times 10^{-4}$ | $2,018 \times 10^{-4}$ | $3,738 \times 10^{-4}$ |

Gx : Sédiments juxtaglaciaires ou complexes de sédiments juxtaglaciaires et d'épandage proglaciaire en milieu subaquatique;

Gxi : Sédiments juxtaglaciaires; LGb : Sédiments sublittoraux et sédiments de plage; Tc : Till continu; Tm : Till discontinu.

4.9 Essais à l'infiltromètre à double anneau

Les aspects méthodologiques relatifs à la réalisation d'essais à l'infiltromètre à double anneau et aux calculs associés sont rapportés à la section 3.9 du présent rapport. La figure 4.1 illustre la localisation des essais réalisés alors que le tableau 4.9.1 dresse un sommaire des valeurs de taux d'infiltration potentiel (f) calculées au niveau des différentes unités géologiques testées. L'annexe 4.9.1 comprend les données terrain et des calculs associés.

Tableau 4.9.1 Sommaire des résultats issus des essais à l'infiltromètre à double anneau

| Environnement géologique | nb | Taux d'infiltration potentiel (<i>f</i>) | | | | | | |
|--------------------------|----|--|--------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|
| | | Moyenne | Écart type | Minimum | 25 ^e rang centile | Médiane | 75 ^e rang centile | Maximum |
| Gx | 58 | 2,070 X 10 ⁻⁴ | 1,802 X 10 ⁻⁴ | 4,688 X 10 ⁻⁵ | 1,063 X 10 ⁻⁴ | 1,630 X 10 ⁻⁴ | 2,248 X 10 ⁻⁴ | 9,333 X 10 ⁻⁴ |
| Gxi | 27 | 1,019 X 10 ⁻⁴ | 1,064 X 10 ⁻⁴ | 4,271 X 10 ⁻⁶ | 2,444 X 10 ⁻⁵ | 5,244 X 10 ⁻⁵ | 1,291 X 10 ⁻⁴ | 4,111 X 10 ⁻⁴ |
| LGb | 68 | 1,510 X 10 ⁻⁴ | 1,541 X 10 ⁻⁴ | 5,000 X 10 ⁻⁶ | 4,150 X 10 ⁻⁵ | 1,099 X 10 ⁻⁴ | 1,945 X 10 ⁻⁴ | 7,667 X 10 ⁻⁴ |
| Tc | 3 | 1,332 X 10 ⁻⁴ | 1,360 X 10 ⁻⁵ | 1,176 X 10 ⁻⁴ | 1,283 X 10 ⁻⁴ | 1,389 X 10 ⁻⁴ | 1,409 X 10 ⁻⁴ | 1,430 X 10 ⁻⁴ |
| Tm | 6 | 2,872 X 10 ⁻⁴ | 1,553 X 10 ⁻⁴ | 1,506 X 10 ⁻⁴ | 1,907 X 10 ⁻⁴ | 2,225 X 10 ⁻⁴ | 3,474 X 10 ⁻⁴ | 5,583 X 10 ⁻⁴ |

Nb : Nombre d'échantillons retenus. Gx : Sédiments juxtaglaciaires ou complexes de sédiments juxtaglaciaires et d'épandage proglaciaire en milieu subaquatique; Gxi : Sédiments juxtaglaciaires; LGb : Sédiments sublittoraux et sédiments de plage; Tc : Till continu; Tm : Till discontinu.

4.10 Essais in situ de perméabilité à charge variable

Les aspects méthodologiques relatifs à la réalisation d'essais *in situ* de perméabilité à charge variable et aux calculs associés sont rapportés à la section 3.10 du présent rapport. La figure 4.1 illustre la position des essais réalisés. Les résultats obtenus dans le cadre de ces essais sont résumés au tableau 4.10.1. À titre d'exemple, la figure 4.10.1 illustre les résultats obtenus pour les essais réalisés au piézomètre 2ABTE00353. L'ensemble des données acquises ainsi que les calculs afférents sont rapportés à l'annexe 4.10.1.

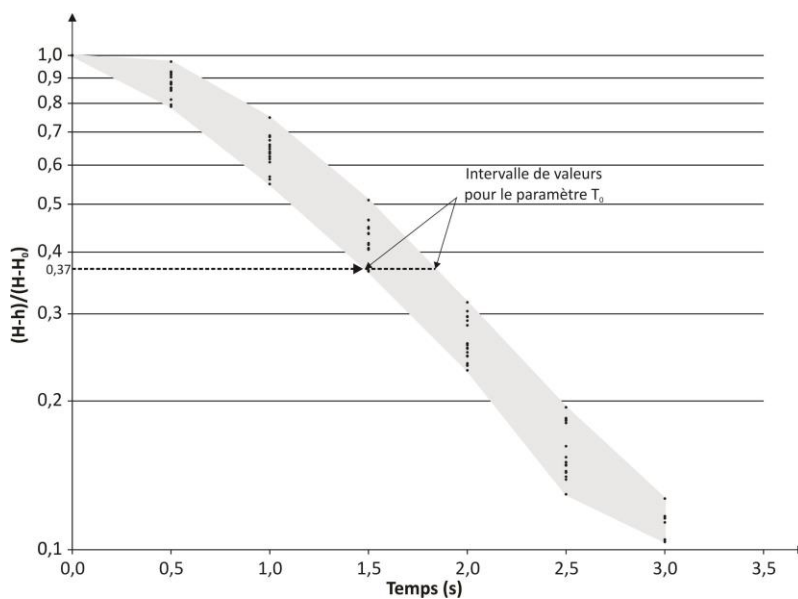
Tableau 4.10.1 Sommaire des résultats issus des essais de perméabilité à charge variable

| Numéro d'identification ¹ | Date de l'essai | Crépine | | | Pression (cm d'eau) | Nombre d'essais | K ⁵ moyen par pression appliquée (m/s) | K ⁵ moyen de l'ensemble des pressions appliquées (m/s) |
|--------------------------------------|-----------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|-----------------|---|---|
| | | L ² (m) | D ³ (m) | Z ⁴ (m) | | | | |
| 2ABTE00351 | 2013/06/11 | 3,00 | 0,051 ^A | 21,20 | 25,4 | 6 | 1,70 x 10 ⁻⁵ | 1,71 x 10 ⁻⁵ |
| | | | | | 50,8 | 4 | 1,65 x 10 ⁻⁵ | |
| | | | | | 76,2 | 4 | 1,69 x 10 ⁻⁵ | |
| | | | | | 101,6 | 3 | 1,84 x 10 ⁻⁵ | |
| | | | | | 127 | 3 | 1,57 x 10 ⁻⁵ | |
| | | | | | 152,4 | 3 | 1,84 x 10 ⁻⁵ | |
| 2ABTE00353 | 2013/06/11 | 1,52 | 0,064 ^A | 13,72 | 25,4 | 3 | 1,36 x 10 ⁻⁴ | 1,34 x 10 ⁻⁴ |
| | | | | | 50,8 | 3 | 1,32 x 10 ⁻⁴ | |
| | | | | | 76,2 | 3 | 1,37 x 10 ⁻⁴ | |
| | | | | | 101,6 | 3 | 1,33 x 10 ⁻⁴ | |
| | | | | | 127 | 3 | 1,36 x 10 ⁻⁴ | |
| | | | | | 152,4 | 3 | 1,32 x 10 ⁻⁴ | |
| 2ABTE10018 | 2013/11/05 | 1,42 | 0,0265 ^B | 4,88 | 25,4 | 7 | 1,17 x 10 ⁻⁴ | 1,06 x 10 ⁻⁴ |
| | | | | | 50,8 | 5 | 1,17 x 10 ⁻⁴ | |
| | | | | | 76,2 | 5 | 1,12 x 10 ⁻⁴ | |
| | | | | | 101,6 | 5 | 1,05 x 10 ⁻⁴ | |
| | | | | | 127 | 5 | 1,01 x 10 ⁻⁴ | |
| | | | | | 152,4 | 5 | 8,49 x 10 ⁻⁵ | |
| 2ABTE10024 | 2013/11/08 | 1,42 | 0,0265 ^B | 7,63 | 76,2 | 1 | 1,17 x 10 ⁻⁶ | 2,08 x 10 ⁻⁶ |
| | | | | | 152,4 | 1 | 2,99 x 10 ⁻⁶ | |

¹ Identifiants uniques attribués dans la base de données. ² L : Longueur. ³ D : Diamètre. ⁴ Z : Profondeur de l'extrémité supérieure.

⁵ K : Conductivité hydraulique. ^A Diamètre externe. ^B Diamètre interne.

Figure 4.10.1 Exemple des données acquises au site 2ABTE00353



4.11 Essais en colonnes

Les aspects méthodologiques relatifs à la réalisation des essais en colonnes et aux calculs associés sont rapportés à la section 3.11 du présent rapport. Les résultats obtenus dans le cadre de la réalisation de ces essais sont résumés au tableau 4.11.1 alors que les données acquises et les calculs afférents sont rapportés à l'annexe 4.11.1. À titre d'exemple, les figures 4.11.1a à 4.11.1d illustrent, pour chacune des étapes d'un essai conduit sur le perméamètre de type A (Section 3.11.3), l'évolution des mesures de pressions d'eau recueillies par les sondes automatisées (données corrigées pour les effets de la pression barométrique et de l'évaporation). À l'exception du sous-échantillon 2ABTE10019-4A (issu de l'échantillon 2ABTE10019-4), tous les échantillons qui ont été analysés sur le perméamètre de type B correspondent à un sous-segment d'échantillon analysé sur le perméamètre de type A. Des détails additionnels relatifs aux statistiques et aux calculs d'erreur sont fournis à l'annexe 4.11.1. En complément, les figures 4.11.2 et 4.11.3 illustrent le traitement par approche graphique des données issues des essais à charge constante et variable, respectivement.

Tableau 4.11.1 Sommaire des essais en colonne réalisés sur les perméamètres du type A et du type B

| Numéro Identification ¹ | Échantillon parent | Essais au perméamètre de type A | | | | | | | | | Essais au perméamètre de type B | | | | | | |
|------------------------------------|--------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---|----------------------------------|---|---|--------------|--------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|--|---|--------------|--------------------|
| | | Intervalle de profondeur (m) | Longueur de l'échantillon (m) | Nombre d'essai à charge constante | Gradient(s) hydraulique(s) ² | Nombre d'essai à charge variable | Gradient(s) hydraulique(s) ³ | Conductivité hydraulique – K (x 10 ⁻⁷ m/s) | | | Échantillon fils | Longueur de l'échantillon (m) | Nombre d'essai à charge variable | Intervalle des gradients hydrauliques ⁵ | Conductivité hydraulique – K (x 10 ⁻⁷ m/s) | | |
| | | | | | | | | Min. ⁴ | Médian moyen | Maxi. ⁴ | | | | | Min. ⁴ | Médian moyen | Maxi. ⁴ |
| 2ABTE10015 | 2ABTE10015-1 | 0 – 1,20 | 1,106 | 1 | 0,87 | 1 | 0,86 | 840 | 890 | 918 | na | na | na | na | na | na | na |
| | 2ABTE10015-3 | 2,40 – 3,60 | 0,372 | 1 | 1,00 | 1 | 0,97 | 235 | 421 | 684 | 3A | 0,180 | 12 | 0,22 – 0,97 | 173 | 724 | 2443 |
| | 2ABTE10015-4 | 3,60 – 4,80 | 1,087 | 1 | 0,85 | 1 | 0,84 | 378 | 400 | 413 | 3B | 0,192 | 3 | 0,49 – 0,59 | 896 | 2398 | 4776 |
| 2ABTE10016 | 2ABTE10016-1 | 0 – 1,20 | 1,006 | 1 | 0,96 | 1 | 0,95 | 111 | 115 | 122 | na | na | na | na | na | na | na |
| | | | | | | | | | | | 1A | 0,196 | 12 | 0,17 – 0,91 | 350 | 1582 | 6815 |
| | | | | | | | | | | | 1B | 0,200 | 12 | 0,25 – 1,02 | 375 | 849 | 2268 |
| | | | | | | | | | | | 1C | 0,197 | 3 | 0,41 – 0,63 | 515 | 1881 | 4202 |
| | | | | | | | | | | | 1D | 0,202 | 3 | 0,50 – 0,56 | 43 | 114 | 214 |
| | 1E | 0,207 | 6 | pt | pt | pt | pt | | | | | | | | | | |
| | 2ABTE10016-3 | 2,40 – 3,60 | 1,022 | 1 | 0,94 | 1 | 0,94 | 76 | 80 | 83 | 3A | 0,251 | 3 | 0,23 – 0,78 | 2265 | 4076 | 11879 |
| | | | | | | | | | | | 3B | 0,254 | 3 | 0,17 – 0,71 | 130 | 328 | 1765 |
| | | | | | | | | | | | 3C | 0,251 | 3 | 0,60 – 1,10 | 10 | 38 | 84 |
| 3D | | | | | | | | | | | 0,260 | 3 | 0,24 – 0,78 | 36 | 63 | 196 | |
| 2ABTE10018 | 2ABTE10018-1 | 0 – 1,20 | 0,983 | 2 | 1,28 | 2 | 0,95 – 1,26 | 1241 | 1507 | 1733 | na | na | na | na | na | na | na |
| | 2ABTE10018-2 | 1,20 – 2,40 | 0,980 | 1 | 0,95 | 1 | 0,94 | 701 | 756 | 793 | 2A | 0,241 | 3 | 0,24 – 0,76 | 828 | 1501 | 4155 |
| | | | | | | | | | | | 2B | 0,250 | 3 | 0,27 – 0,77 | 578 | 1121 | 2676 |
| | | | | | | | | | | | 2C | 0,244 | 3 | 0,28 – 0,77 | 171 | 323 | 829 |
| | | | | | | | | | | | 2D | 0,247 | 3 | 0,28 – 0,79 | 2 | 469 | 1071 |
| | 2ABTE10018-3 | 2,40 – 3,60 | 0,841 | 1 | 1,06 | 1 | 1,00 | 2063 | 2188 | 2271 | 3A | 0,208 | 3 | 0,27 – 0,70 | 1431 | 3177 | 8844 |
| | | | | | | | | | | | 3B | 0,208 | 3 | 0,30 – 0,79 | 967 | 2213 | 5682 |
| 3C | | | | | | | | | | | 0,205 | 3 | 0,31 – 0,84 | 1113 | 2410 | 5940 | |
| 2ABTE10019 | 2ABTE10019-4 | 3,60 – 4,80 | 0,750 | na | na | na | na | na | na | na | na | na | na | na | na | na | na |
| 2ABTE10023 | 2ABTE10023-1 | 0 – 1,20 | 0,949 | 1 | 0,98 | 1 | 0,97 | 87 | 91 | 96 | 4A | 0,151 | 3 | 0,28 – 0,63 | 911 | 4720 | 18253 |
| | | | | | | | | | | | 1A | 0,233 | 3 | 0,26 – 0,80 | 471 | 875 | 2284 |
| | | | | | | | | | | | 1B | 0,235 | 3 | 0,25 – 0,76 | 196 | 387 | 1035 |
| | | | | | | | | | | | 1C | 0,239 | 3 | 0,29 – 0,85 | 2 | 185 | 429 |
| 2ABTE10029 | 2ABTE10029-1 | 0 – 1,20 | 0,985 | 1 | 0,94 | 1 | 0,93 | 1541 | 1614 | 1691 | 1D | 0,240 | 3 | 0,40 – 0,74 | 12 | 45 | 98 |
| | | | | | | | | | | | 1A | 0,245 | 3 | 0,30 – 0,74 | 88 | 1226 | 2751 |
| | | | | | | | | | | | 1B | 0,245 | 3 | 0,25 – 0,68 | 589 | 1110 | 2742 |
| | | | | | | | | | | | 1C | 0,244 | 3 | 0,21 – 0,67 | 450 | 813 | 2478 |
| | 2ABTE10029-2 | 1,20 – 2,40 | 1,021 | 2 | 0,55 – 1,09 | 2 | 0,50 – 1,05 | 67 | 76 | 99 | 1D | 0,248 | 3 | 0,27 – 0,75 | 473 | 857 | 2017 |
| | | | | | | | | | | | 2A | 0,251 | 3 | 0,25 – 0,83 | 82 | 171 | 420 |
| | | | | | | | | | | | 2B | 0,254 | 3 | 0,33 – 0,78 | 51 | 248 | 498 |
| | | | | | | | | | | | 2C | 0,252 | 3 | 0,30 – 0,87 | 5 | 52 | 113 |
| 2D | 0,161 | 3 | 0,25 – 0,70 | 11 | 36 | 154 | | | | | | | | | | | |

¹ Identifiants uniques attribués dans la base de données, voir le tableau 4.5.1 pour les correspondances. ² Gradient(s) hydraulique(s) imposé(s) pour les essais à charge constante. ³ Gradient(s) hydraulique(s) imposé(s) pour les essais à charge variable. ⁴ Valeurs minimale (Min.) et maximale (Max.) de la conductivité hydraulique (K) estimées par la méthode des extrêmes (Boisclair et Pagé, 1998). ⁵ Gradient(s) hydraulique(s) minimum et maximum imposé(s) pour les séries d'essais à charge variable.

na : Aucun n'essai réalisé.

pt : Problème technique.

Figure 4.11.1 Évolution des hauteurs lors de l'essai en colonne de l'échantillon 2ABTE10029-1 sur le perméamètre de type A

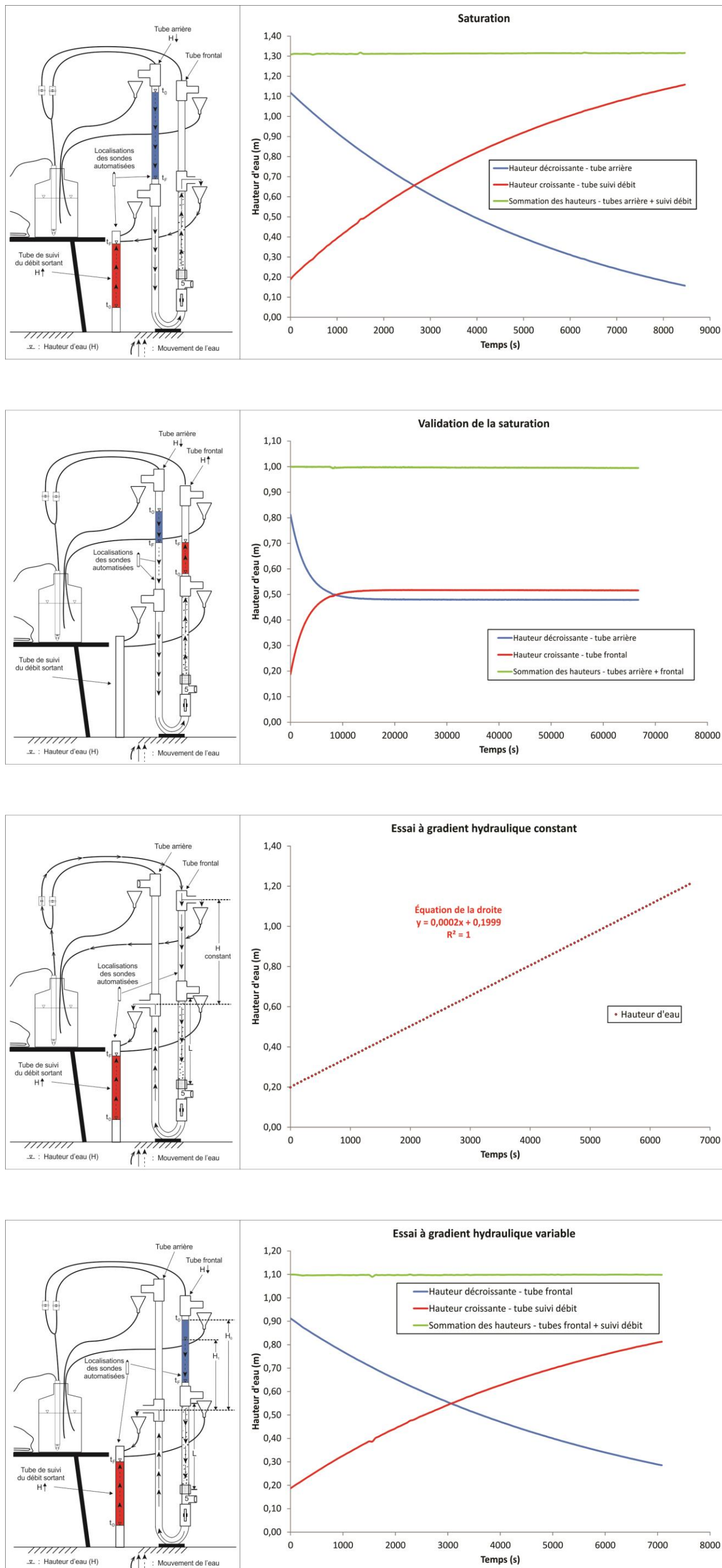


Figure 4.11.2 Détermination par graphique du débit (Q) médian pour l'essai à charge constante

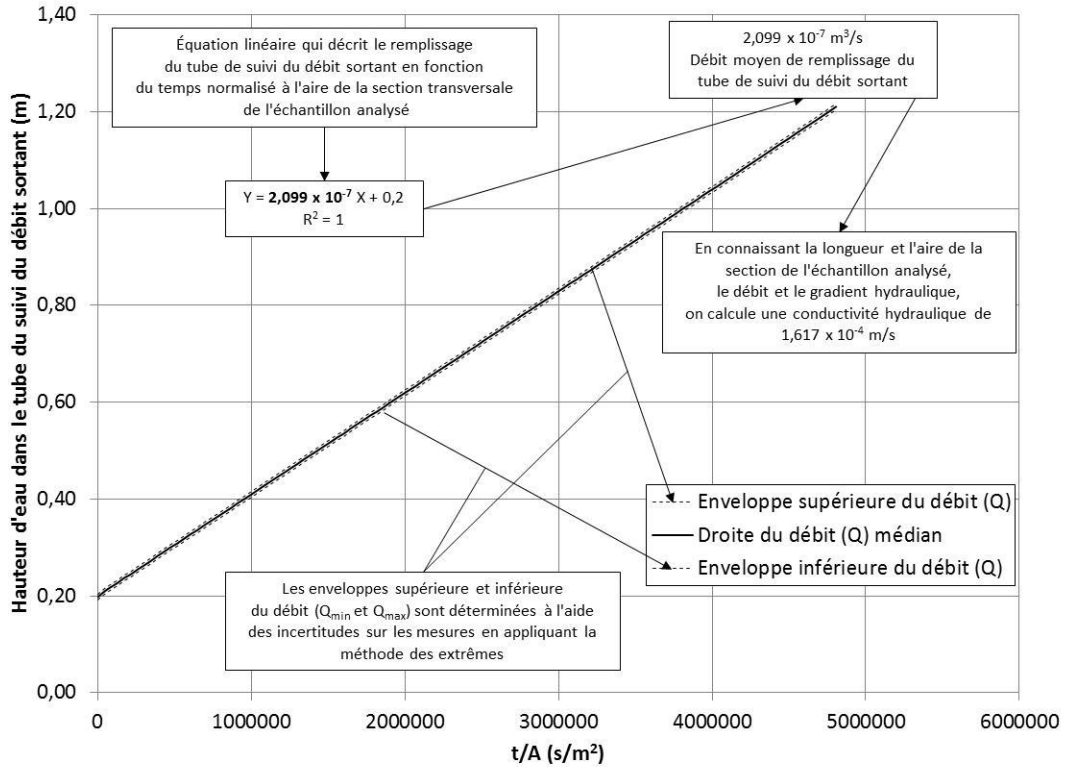
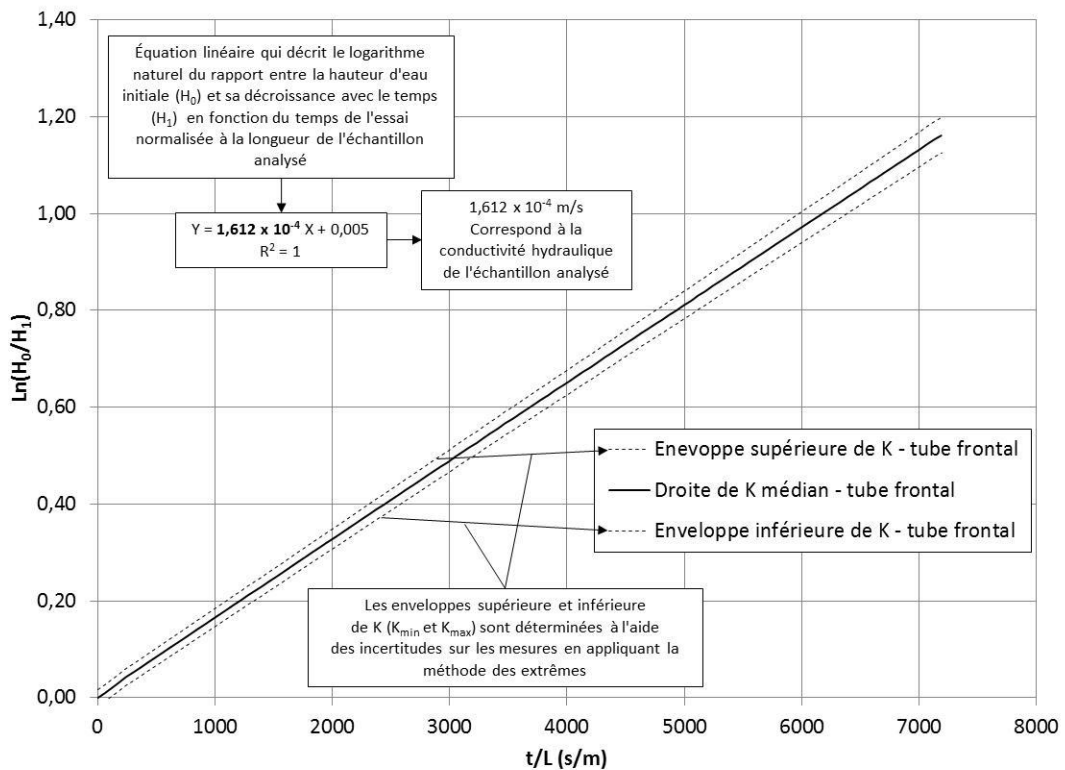


Figure 4.11.3 Détermination graphique de la conductivité hydraulique (K médian) pour l'essai à charge variable



4.12 Analyses granulométriques

Les aspects méthodologiques relatifs à la réalisation des analyses granulométriques et aux calculs associés sont rapportés à la section 3.12 du présent rapport. Le tableau 4.12.1 dresse un sommaire des caractéristiques liées à la distribution granulométrique des échantillons testés. L'annexe 4.12.1 comprend les données terrain et les calculs associés.

Tableau 4.12.1 Statistiques descriptives des paramètres déduits des analyses granulométriques

| Paramètre ¹ | Origine des échantillons ² | Prélevés par | Nombre d'échantillons retenus | Moyenne | Écart type | Minimum | 25 ^e rang centile | Médiane | 75 ^e rang centile | Maximum |
|--|---------------------------------------|--------------|-------------------------------|----------|------------|---------|------------------------------|----------|------------------------------|-----------|
| d₁₀ (μm) | FOR | GRES | 28 | 142,2 | 49,5 | 64,7 | 103,0 | 146,2 | 165,6 | 272,4 |
| | I | GRES | 33 | 114,0 | 53,0 | 65,9 | 78,2 | 96,9 | 133,1 | 289,3 |
| | PG | GRES | 51 | 126,8 | 55,9 | 65,0 | 75,1 | 126,4 | 149,0 | 280,7 |
| | SG | MRNF-MTQ | 271 | 602,4 | 408,9 | 86,8 | 315,0 | 477,6 | 839,3 | 3 011,0 |
| d₅₀ (μm) | FOR | GRES | 28 | 427,3 | 279,7 | 140,5 | 256,3 | 320,1 | 602,2 | 1 141,7 |
| | I | GRES | 33 | 351,9 | 229,7 | 167,9 | 212,2 | 276,4 | 398,0 | 1 249,7 |
| | PG | GRES | 51 | 358,6 | 236,1 | 136,5 | 202,8 | 279,4 | 405,3 | 1 201,5 |
| | SG | MRNF-MTQ | 271 | 10 142,4 | 9 678,7 | 212,7 | 1 495,2 | 8 203,4 | 15 170,4 | 49 202,3 |
| d₆₀ (μm) | FOR | GRES | 28 | 560,5 | 460,9 | 160,3 | 305,1 | 359,8 | 778,7 | 1 812,3 |
| | I | GRES | 33 | 432,7 | 317,2 | 195,4 | 245,2 | 324,4 | 480,6 | 1 730,2 |
| | PG | GRES | 51 | 446,8 | 337,5 | 161,6 | 229,1 | 320,7 | 528,8 | 1 526,8 |
| | SG | MRNF-MTQ | 271 | 15 791,1 | 14 032,8 | 243,5 | 2 357,3 | 14 000,0 | 23 846,7 | 80 000,0 |
| d₉₀ (μm) | FOR | GRES | 28 | 1 953,9 | 2 566,5 | 238,0 | 491,3 | 648,8 | 1842,4 | 8 479,2 |
| | I | GRES | 33 | 1 429,5 | 2 191,2 | 371,2 | 452,6 | 674,5 | 1145,4 | 9 655,3 |
| | PG | GRES | 51 | 1 306,2 | 1 668,7 | 240,6 | 450,4 | 714,6 | 1152,2 | 7 815,6 |
| | SG | MRNF-MTQ | 271 | 45 087,1 | 33 998,2 | 503,4 | 16 892,8 | 46 452,2 | 66 932,8 | 231 054,0 |
| Cu | FOR | GRES | 28 | 3,7 | 2,0 | 2,1 | 2,4 | 2,7 | 4,1 | 8,6 |
| | I | GRES | 33 | 4,2 | 4,2 | 2,1 | 2,6 | 2,9 | 3,7 | 26,3 |
| | PG | GRES | 51 | 3,5 | 2,1 | 1,8 | 2,5 | 2,7 | 3,6 | 11,0 |
| | SG | MRNF-MTQ | 271 | 27,7 | 29,2 | 2,2 | 6,9 | 19,0 | 35,4 | 184,5 |
| n_e | FOR | GRES | 28 | 0,39 | 0,04 | 0,31 | 0,38 | 0,41 | 0,42 | 0,43 |
| | I | GRES | 33 | 0,39 | 0,04 | 0,26 | 0,38 | 0,40 | 0,41 | 0,43 |
| | PG | GRES | 51 | 0,39 | 0,04 | 0,29 | 0,39 | 0,41 | 0,42 | 0,44 |
| | SG | MRNF-MTQ | 271 | 0,30 | 0,05 | 0,26 | 0,26 | 0,26 | 0,33 | 0,43 |
| e | FOR | GRES | 28 | 0,65 | 0,09 | 0,45 | 0,60 | 0,69 | 0,72 | 0,75 |
| | I | GRES | 33 | 0,64 | 0,09 | 0,35 | 0,61 | 0,67 | 0,69 | 0,75 |
| | PG | GRES | 51 | 0,66 | 0,09 | 0,41 | 0,63 | 0,69 | 0,72 | 0,79 |
| | SG | MRNF-MTQ | 271 | 0,43 | 0,12 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,48 | 0,75 |

¹ d₁₀, d₅₀, d₆₀ et d₉₀ : Diamètres effectifs des grains (μm) à 10 %, 50 %, 60 % et 90 % de la courbe granulométrique; Cu : Coefficient d'uniformité; n_e : Porosité effective; e : Indice des vides. ² FOR : Forages à la géoprobe; I : Essais à l'infiltrimètre à double anneaux; PG : Essais au perméamètre de Guelph; SG : Sablière – gravière.

4.13 Analyses géochimiques

Les aspects méthodologiques relatifs à la collecte d'échantillons destinés à la réalisation d'analyses géochimiques sont rapportés à la section 3.13 du présent rapport. La figure 4.1 illustre la localisation des différents types d'échantillons prélevés. Au total, 370 échantillons regroupés selon quatre provenances ((1) précipitations, (2) neige au sol, (3) eau de surface et (4) eau souterraine) ont été soumis à des analyses géochimiques. Les sections 4.13.1 à 4.13.4 présentent les résultats sous la forme de tableaux sommaires rapportant les statistiques descriptives pour chacun des paramètres analysés. Les résultats rapportés sous les limites de détection des méthodes (<LD) se sont vus attribuer une valeur de concentration correspondant à LD/2 pour la réalisation des calculs statistiques. Les certificats analytiques sont rapportés à l'annexe 4.13.1.

Sauf si spécifié autrement, les concentrations rapportées dans les tableaux sommaires pour les différents paramètres analytiques sont en milligrammes par litre (mg/l).

Les données relatives aux isotopes de la molécule d'eau sont rapportées en notation delta ($\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$) et exprimées en pourmille (‰) par rapport au standard de référence VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water) :

$$\delta^2\text{H}(\text{échantillon}) = \left[\frac{R(\text{échantillon})}{R(\text{VSMOW})} - 1 \right] \times 1000 \quad \text{Équation 4.13.1}$$

$$\delta^{18}\text{O}(\text{échantillon}) = \left[\frac{R(\text{échantillon})}{R(\text{VSMOW})} - 1 \right] \times 1000 \quad \text{Équation 4.13.2}$$

Où R représente les ratios ($^2\text{H}/^1\text{H}$) et ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) dans les équations 4.13.1 et 4.13.2, respectivement. Les signatures isotopiques ainsi calculées sont rapportées selon l'échelle VSMOW-SLAP.

4.13.1 Précipitations (pluie et neige)

Depuis juillet 2013, le suivi mensuel des précipitations a permis la récolte de 47 échantillons aux trois sites du réseau de surveillance du climat du MDDELCC (MDDELCC, s.d.b). Dix-huit échantillons ont été récupérés à chacun des sites de Béarn et de Sainte-Hélène-de-Mancebourg et onze au site de Montbeillard. Le nombre inférieur d'échantillons collectés à Montbeillard s'explique par l'absence d'un nivomètre à écran de Nipher. Le tableau 4.13.1.1 présente les statistiques descriptives relatives aux analyses isotopiques ($\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$) réalisées sur les échantillons composites mensuels prélevés aux trois stations. Il est à noter que les échantillons de précipitations collectés aux sites de Béarn et de Sainte-Hélène-de Mancebourg en novembre 2013 ont été prélevés en double en utilisant chacune des deux techniques illustrées aux figures 3.13.1 et 3.13.2 de la section 3.13.1. Des problèmes techniques sont survenus avec la méthode du nivomètre à Nipher. Il a donc été décidé de conserver les résultats des échantillons de novembre 2013 collectés au pluviomètre. Par ailleurs, les échantillons d'octobre 2014 (Béarn, Sainte-Hélène-de-Mancebourg, Montbeillard) et de novembre 2014 (Béarn et Sainte-Hélène-de-Mancebourg) n'ont pas encore été soumis aux analyses. En conséquence, le tableau sommaire 4.13.1.1 recense les données issues d'un total de 40 échantillons.

Tableau 4.13.1.1 Sommaire des résultats d'analyses isotopiques sur les précipitations

| Site | Paramètres | Nombre de données | Moyenne | Écart-Type | Minimum | 25 % | Médiane | 75 % | Maximum |
|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------|---------|------------|---------|---------|---------|--------|---------|
| Béarn | $\delta^2\text{H}$ (‰ VS VSMOW) | 15 | -92,72 | 40,97 | -171,40 | -114,25 | -82,70 | -61,71 | -46,38 |
| | $\delta^{18}\text{O}$ (‰ VS VSMOW) | | -13,01 | 5,28 | -23,28 | -15,94 | -11,93 | -9,23 | -6,64 |
| Sainte-Hélène-de-Mancebourg | $\delta^2\text{H}$ (‰ VS VSMOW) | 15 | -106,10 | 47,55 | -217,90 | -123,20 | -92,70 | -78,39 | -51,95 |
| | $\delta^{18}\text{O}$ (‰ VS VSMOW) | | -14,59 | 5,97 | -28,38 | -16,88 | -13,50 | -11,03 | -7,28 |
| Montbeillard | $\delta^2\text{H}$ (‰ VS VSMOW) | 10 | -77,00 | 22,25 | -114,00 | -87,04 | -79,31 | -60,48 | -45,46 |
| | $\delta^{18}\text{O}$ (‰ VS VSMOW) | | -10,99 | 3,01 | -15,94 | -12,19 | -11,46 | -8,70 | -6,34 |
| Régional | $\delta^2\text{H}$ (‰ VS VSMOW) | 40 | -93,81 | 40,73 | -217,90 | -114,65 | -83,74 | -62,42 | -45,46 |
| | $\delta^{18}\text{O}$ (‰ VS VSMOW) | | -13,10 | 5,19 | -28,38 | -15,92 | -11,75 | -9,32 | -6,34 |

4.13.2 Échantillonnage et mesure de l'épaisseur de la neige au sol

Au total, 31 échantillons composites, formés en moyenne par cinq carottes de neige, ont été prélevés et analysés pour 41 paramètres. Le tableau 4.13.2.1 dresse un sommaire des résultats géochimiques obtenus alors que le tableau 4.13.2.2 présente un sommaire des paramètres intégrateurs. Le tableau 4.13.2.3 résume les épaisseurs de neige mesurées.

Tableau 4.13.2.1 Sommaire des résultats analytiques pour la neige au sol

| Paramètres | Nombre de données | Moyenne (mg/L) | Écart-Type (mg/L) | Minimum (mg/L) ¹ | 25 % (mg/L) ¹ | Médiane (mg/L) ¹ | 75 % (mg/L) ¹ | Maximum (mg/L) ¹ |
|--|-------------------|----------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Alcalinité totale (CaCO ₃) | 31 | 1,1 | 0,9 | <u>0,5</u> | <u>0,5</u> | <u>0,5</u> | 1,5 | 4 |
| Aluminium (Al) | 31 | 0,033 | 0,063 | <u>0,005</u> | <u>0,005</u> | <u>0,005</u> | 0,022 | 0,26 |
| Antimoine (Sb) | 31 | 0,0005 | 0 | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> |
| Argent (Ag) | 31 | 0,00005 | 0,00001 | <u>0,00005</u> | <u>0,00005</u> | <u>0,00005</u> | <u>0,00005</u> | 0,00013 |
| Arsenic (As) | 31 | 0,0009 | 0,0021 | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | 0,012 |
| Azote ammoniacal (N-NH ₃) ² | 31 | 0,22 | 0,11 | 0,1 | 0,18 | 0,19 | 0,25 | 0,54 |
| Baryum (Ba) | 31 | 0,002 | 0,002 | <u>0,001</u> | <u>0,001</u> | <u>0,001</u> | 0,003 | 0,007 |
| Béryllium (Be) | 31 | 0,0003 | 0 | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> |
| Bismuth (Bi) | 31 | 0,00013 | 0 | <u>0,00013</u> | <u>0,00013</u> | <u>0,00013</u> | <u>0,00013</u> | <u>0,00013</u> |
| Bore (B) | 31 | 0,01 | 0 | <u>0,01</u> | <u>0,01</u> | <u>0,01</u> | <u>0,01</u> | <u>0,01</u> |
| Bromure (Br ⁻) | 31 | 0,05 | 0 | <u>0,05</u> | <u>0,05</u> | <u>0,05</u> | <u>0,05</u> | <u>0,05</u> |
| Cadmium (Cd) | 31 | 0,0001 | 0,0001 | <u>0,0001</u> | <u>0,0001</u> | <u>0,0001</u> | <u>0,0001</u> | 0,0005 |
| Calcium (Ca) | 31 | 0,3 | 0,3 | <u>0,2</u> | <u>0,2</u> | <u>0,2</u> | 0,3 | 1,1 |
| Chlorures (Cl) | 31 | 0,93 | 1,88 | 0,09 | 0,14 | 0,29 | 0,71 | 10 |
| Chrome (Cr) | 31 | 0,0003 | 0,0001 | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | 0,0007 |
| Cobalt (Co) | 31 | 0,0003 | 0 | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> |
| Cuivre (Cu) | 31 | 0,0025 | 0,0091 | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | 0,0011 | 0,051 |
| Étain (Sn) | 31 | 0,0005 | 0 | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> |
| Fer (Fe) | 31 | 0,06 | 0,03 | <u>0,05</u> | <u>0,05</u> | <u>0,05</u> | <u>0,05</u> | 0,16 |
| Fluorure (F) | 31 | 0,05 | 0,01 | <u>0,05</u> | <u>0,05</u> | <u>0,05</u> | <u>0,05</u> | 0,1 |
| Lithium (Li) | 31 | 0,005 | 0 | <u>0,005</u> | <u>0,005</u> | <u>0,005</u> | <u>0,005</u> | <u>0,005</u> |

Tableau 4.13.2.1 Sommaire des résultats analytiques pour la neige au sol (Suite)

| Paramètres | Nombre de données | Moyenne (mg/L) | Écart-Type (mg/L) | Minimum (mg/L) ¹ | 25 % (mg/L) ¹ | Médiane (mg/L) ¹ | 75 % (mg/L) ¹ | Maximum (mg/L) ¹ |
|--|-------------------|----------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Magnésium (Mg) | 31 | 0,17 | 0,14 | 0,05 | 0,05 | 0,14 | 0,25 | 0,62 |
| Manganèse (Mn) | 31 | 0,011 | 0,0137 | 0,0012 | 0,0029 | 0,0058 | 0,0135 | 0,062 |
| Molybdène (Mo) | 31 | 0,0003 | 0 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 |
| Nickel (Ni) | 31 | 0,0008 | 0,0007 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0038 |
| Nitrate (N-NO ₃) ² et Nitrite (N-NO ₂) ² | 31 | 0,29 | 0,04 | 0,21 | 0,26 | 0,28 | 0,31 | 0,37 |
| Phosphore inorganique | 31 | 0,06 | 0,07 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,08 | 0,28 |
| Plomb (Pb) | 31 | 0,00059 | 0,00196 | 0,00005 | 0,00012 | 0,00016 | 0,00024 | 0,011 |
| Potassium (K) | 31 | 0,93 | 0,91 | 0,12 | 0,3 | 0,65 | 1,25 | 4,1 |
| Sélénium (Se) | 31 | 0,0005 | 0,0002 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0018 |
| Silicium (Si) | 31 | 0,12 | 0,19 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,83 |
| Sodium (Na) | 31 | 0,56 | 1,25 | 0,05 | 0,05 | 0,16 | 0,32 | 6,7 |
| Strontium (Sr) | 31 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,003 | 0,009 |
| Sulfates (SO ₄) | 31 | 0,3 | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,6 |
| Sulfures (S ²⁻) | 31 | 0,01 | 0 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Titane (Ti) | 31 | 0,005 | 0 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 |
| Uranium (U) | 31 | 0,0005 | 0 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 |
| Vanadium (V) | 31 | 0,001 | 0 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| Zinc (Zn) | 31 | 0,003 | 0,001 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,006 |
| δ ¹⁸ O (‰ VS VSMOW) | 31 | -22,39 | 0,95 | -24,53 | -23,15 | -22,28 | -21,57 | -20,62 |
| δ ² H (‰ VS VSMOW) | 31 | -165,4 | 7,9 | -184,4 | -171,4 | -164,7 | -159,8 | -151,6 |

¹ Les valeurs soulignées sont sous les limites de détection de base présentées au tableau 3.13.1 de la section 3.13.

² Concentrations en mg N/L.

Tableau 4.13.2.2 Sommaire des paramètres intégrateurs pour la neige au sol

| Paramètres | Nombre de données | Moyenne | Écart-Type | Minimum | 25 % | Médiane | 75 % | Maximum |
|--|-------------------|---------|------------|---------|-------|---------|-------|---------|
| pH ¹ | 31 | 5,93 | 0,30 | 5,53 | 5,69 | 5,90 | 6,10 | 6,53 |
| Conductivité électrique à 25 °C (mS/cm) ¹ | 31 | 0,012 | 0,008 | 0,005 | 0,008 | 0,010 | 0,014 | 0,042 |
| Matière dissoute totale calculée (mg/L) | 31 | 4,7 | 3,6 | 1,6 | 2,3 | 3,4 | 5,9 | 15,5 |
| Dureté totale calculée (mg CaCO ₃ /L) | 31 | 1,4 | 1,2 | 0,6 | 0,6 | 1,0 | 1,7 | 5,3 |

¹ Mesuré en laboratoire

La campagne d'échantillonnage de neige au sol a permis de cumuler 163 mesures d'épaisseur de neige (Tableau 4.13.4) au niveau du territoire d'étude. La localisation des sites de mesure sont présentés à la figure 4.1.

Tableau 4.13.2.3 Sommaire des mesures d'épaisseur de la couverture de neige

| Campagnes | Nombre de mesures | Moyenne (cm) | Écart-Type (cm) | Minimum (cm) | 25 % (cm) | Médiane (cm) | 75 % (cm) | Maximum (cm) |
|-----------------|-------------------|--------------|-----------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| Échantillonnage | 163 | 92,0 | 14,4 | 57 | 83 | 93 | 102 | 128 |

4.13.3 Échantillonnage des eaux de surface

Les campagnes d'échantillonnage des eaux de surface ont permis la collecte de 100 échantillons. En 2013, quatre échantillons ont été prélevés au lac Témiscamingue et deux au lac Tee, dans le secteur de Kipawa à l'extrémité sud du territoire. L'échantillonnage des rivières et ruisseaux a permis la collecte de 79 échantillons en 2013 et de 15 échantillons à l'été 2014. En 2013, deux échantillons ont été prélevés d'un même site à trois mois d'intervalle (juillet et octobre 2013). Pour les besoins de l'étude, ce sont les résultats associés à l'échantillon de juillet 2013 qui sont utilisés dans les tableaux sommaires 4.13.3.1 et 4.13.3.2 (lesquels s'appuient donc sur les résultats issus de 99 échantillons d'eau de surface).

Tableau 4.13.3.1 Sommaire des paramètres intégrateurs pour les eaux de surfaces

| Paramètres | Nombre de données | Moyenne | Écart-Type | Minimum | 25 % | Médiane | 75 % | Maximum |
|--|-------------------|---------|------------|---------|-------|---------|-------|---------|
| Température (°C) | 99 | 18,0 | 2,8 | 4,5 | 16,8 | 18,2 | 19,7 | 23,1 |
| pH | 99 | 6,76 | 0,78 | 2,46 | 6,45 | 6,85 | 7,29 | 8,47 |
| Conductivité électrique à 25 °C (mS/cm) | 99 | 0,218 | 0,316 | 0,020 | 0,067 | 0,135 | 0,229 | 1,750 |
| Oxygène dissous (mg/L) | 99 | 6,17 | 2,22 | 0,32 | 4,89 | 6,41 | 7,90 | 9,77 |
| Potentiel d'oxydoréduction (mV) | 99 | 41,5 | 73,5 | -210,9 | 30,8 | 41,1 | 57,0 | 487,9 |
| Matière dissoute totale calculée (mg/L) | 85 | 165,6 | 181,3 | 16,2 | 65,6 | 119,3 | 193,6 | 1 397,9 |
| Dureté totale calculée (mg CaCO ₃ /L) | 85 | 91,6 | 119,8 | 6,5 | 37,8 | 63,1 | 101,2 | 1 039,0 |

Tableau 4.13.3.2 Sommaire des résultats analytiques des eaux de surface

| Paramètres | Nombre de données | Moyenne (mg/L) | Écart-Type (mg/L) | Minimum (mg/L) ¹ | 25 % (mg/L) ¹ | Médiane (mg/L) ¹ | 75 % (mg/L) ¹ | Maximum (mg/L) ¹ |
|--|-------------------|----------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Alcalinité totale (CaCO ₃) | 99 | 56 | 48,3 | <u>0,5</u> | 24 | 39 | 75 | 230 |
| Aluminium (Al) | 99 | 0,255 | 1,803 | <u>0,005</u> | 0,025 | 0,05 | 0,096 | 18 |
| Antimoine (Sb) | 99 | 0,0006 | 0,0008 | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | 0,0087 |
| Argent (Ag) | 99 | 0,00005 | 0 | <u>0,00005</u> | <u>0,00005</u> | <u>0,00005</u> | <u>0,00005</u> | <u>0,00005</u> |
| Arsenic (As) | 99 | 0,0022 | 0,0075 | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | 0,001 | 0,0015 | 0,072 |
| Azote ammoniacal (N-NH ₃) ² | 98 | 0,09 | 0,22 | 0,02 | 0,04 | 0,06 | 0,07 | 2,1 |
| Baryum (Ba) | 99 | 0,014 | 0,014 | <u>0,001</u> | 0,008 | 0,01 | 0,015 | 0,13 |
| Béryllium (Be) | 99 | 0,0003 | 0 | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | 0,0005 |
| Bismuth (Bi) | 99 | 0,00013 | 0 | <u>0,00013</u> | <u>0,00013</u> | <u>0,00013</u> | <u>0,00013</u> | <u>0,00013</u> |
| Bore (B) | 99 | 0,01 | 0,03 | <u>0,01</u> | <u>0,01</u> | <u>0,01</u> | <u>0,01</u> | 0,32 |
| Bromure (Br-) | 99 | 0,1 | 0,47 | <u>0,05</u> | <u>0,05</u> | <u>0,05</u> | <u>0,05</u> | 4,7 |
| Cadmium (Cd) | 99 | 0,0001 | 0,0001 | <u>0,0001</u> | <u>0,0001</u> | <u>0,0001</u> | <u>0,0001</u> | 0,0013 |
| Calcium (Ca) | 99 | 28,5 | 58,2 | 1,6 | 8,6 | 17 | 26 | 460 |
| Carbone organique dissous (COD) | 98 | 12,1 | 5,4 | 1,6 | 8,5 | 11 | 15 | 35,7 |
| Chlorures (Cl) | 99 | 11,19 | 29,2 | <u>0,03</u> | 0,92 | 2,5 | 7,8 | 230 |
| Chrome (Cr) | 99 | 0,001 | 0,0022 | <u>0,0003</u> | 0,0005 | 0,0007 | 0,001 | 0,022 |
| Cobalt (Co) | 99 | 0,0008 | 0,0028 | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | 0,025 |
| Cuivre (Cu) | 99 | 0,0065 | 0,0264 | <u>0,0003</u> | 0,0015 | 0,0022 | 0,0032 | 0,26 |
| Etain (Sn) | 99 | 0,0005 | 0 | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> |
| Fer (Fe) | 99 | 4,63 | 41,17 | <u>0,05</u> | 0,13 | 0,26 | 0,49 | 410 |
| Fluorure (F) | 99 | 0,08 | 0,23 | <u>0,05</u> | <u>0,05</u> | <u>0,05</u> | <u>0,05</u> | 2,3 |
| Lithium (Li) | 99 | 0,006 | 0,007 | <u>0,005</u> | <u>0,005</u> | <u>0,005</u> | <u>0,005</u> | 0,07 |
| Magnésium (Mg) | 99 | 6,71 | 13,47 | 0,5 | 2,4 | 4,1 | 7,2 | 130 |
| Manganèse (Mn) | 99 | 0,2237 | 0,7588 | 0,001 | 0,018 | 0,049 | 0,13 | 6,9 |
| Mercure (Hg) | 2 | 0,00005 | 0 | <u>0,00005</u> | <u>0,00005</u> | <u>0,00005</u> | <u>0,00005</u> | <u>0,00005</u> |
| Molybdène (Mo) | 99 | 0,0005 | 0,0014 | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | 0,014 |
| Nickel (Ni) | 99 | 0,0017 | 0,005 | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | 0,0011 | 0,0015 | 0,05 |
| Nitrate (N-NO ₃) ² et Nitrite (N-NO ₂) ² | 99 | 0,07 | 0,19 | <u>0,01</u> | <u>0,01</u> | <u>0,01</u> | 0,06 | 1,6 |
| Phosphore inorganique | 98 | 0,02 | 0,02 | <u>0,02</u> | <u>0,02</u> | <u>0,02</u> | <u>0,02</u> | 0,21 |
| Plomb (Pb) | 99 | 0,00034 | 0,00092 | <u>0,00005</u> | <u>0,00005</u> | 0,00019 | 0,0003 | 0,0091 |
| Potassium (K) | 99 | 1,54 | 2,64 | <u>0,05</u> | 0,62 | 0,93 | 1,5 | 23 |
| Sélénium (Se) | 99 | 0,0006 | 0,0004 | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | 0,0028 |
| Silicium (Si) | 99 | 3,16 | 4,56 | 0,32 | 1,8 | 2,3 | 3,5 | 45 |
| Sodium (Na) | 99 | 9,06 | 18,35 | 0,8 | 2 | 3,7 | 7,7 | 160 |
| Strontium (Sr) | 99 | 0,075 | 0,078 | 0,016 | 0,029 | 0,052 | 0,086 | 0,51 |
| Sulfates (SO ₄) | 99 | 53,3 | 305,2 | <u>0,3</u> | 2,6 | 4 | 7,9 | 2900 |
| Sulfures (S ²⁻) | 99 | 0,01 | 0,01 | <u>0,01</u> | <u>0,01</u> | <u>0,01</u> | <u>0,01</u> | 0,1 |
| Titane (Ti) | 99 | 0,005 | 0,002 | <u>0,005</u> | <u>0,005</u> | <u>0,005</u> | <u>0,005</u> | 0,025 |
| Uranium (U) | 99 | 0,0005 | 0,0002 | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | 0,0018 |
| Vanadium (V) | 99 | 0,001 | 0 | <u>0,001</u> | <u>0,001</u> | <u>0,001</u> | <u>0,001</u> | 0,003 |
| Zinc (Zn) | 99 | 0,023 | 0,1 | <u>0,003</u> | <u>0,003</u> | 0,006 | 0,013 | 0,95 |
| δ18O (‰ VS VSMOW) | 84 | -10,83 | 1,03 | -13,56 | -11,47 | -11,01 | -10,28 | -7,64 |
| δ2H (‰ VS VSMOW) | 84 | -80,7 | 5,1 | -95,8 | -84,2 | -81,4 | -77,0 | -68,9 |

¹ Les valeurs soulignées sont sous les limites de détection de base présentées au tableau 3.13.1 à la section 3.13.

² Concentrations en mg N/L.

4.13.4 Échantillonnage des eaux souterraines

Au total, 170 échantillons d'eau souterraine ont été prélevés, dont plus de 96 % à l'été et à l'automne 2013. De ce nombre, trois ont été collectés à un même site à l'intérieur d'un mois d'intervalle (juillet et août 2013) pour des fins de validation. Ce sont les résultats de l'échantillon de juillet 2013 qui sont utilisés dans le sommaire présenté aux tableaux 4.13.4.1 et 4.13.4.2. De plus, la chimie générale (à l'exception de $\delta^{18}\text{O}$ et de $\delta^2\text{H}$) de quatre échantillons a été rejetée car l'information suggère l'influence d'un système de traitement d'eau. Au total, ce sont donc les résultats issus de 168 échantillons d'eau souterraine qui sont résumés dans les tableaux 4.13.4.1 et 4.13.4.2.

Tableau 4.13.4.1 Sommaire des paramètres intégrateurs pour les eaux souterraines

| Paramètres | Nombre de données | Moyenne | Écart-Type | Minimum | 25 % | Médiane | 75 % | Maximum |
|--|-------------------|---------|------------|---------|-------|---------|-------|---------|
| Température (°C) | 163 | 8,0 | 1,8 | 4,6 | 6,8 | 7,5 | 8,7 | 14,20 |
| pH | 164 | 7,29 | 0,72 | 4,74 | 6,94 | 7,38 | 7,76 | 8,76 |
| Conductivité électrique à 25 °C (mS/cm) | 163 | 0,475 | 0,368 | 0,014 | 0,245 | 0,406 | 0,646 | 2,954 |
| Oxygène dissous (mg/L) | 161 | 2,60 | 2,88 | 0,06 | 0,42 | 1,58 | 3,87 | 12,00 |
| Potentiel d'oxydoréduction (mV) | 163 | 5,3 | 92,5 | -367,7 | -56,9 | 18,0 | 59,4 | 226,00 |
| Matière dissoute totale calculée (mg/L) | 159 | 395,2 | 249,2 | 18,6 | 218,8 | 354,5 | 531,4 | 1 838,0 |
| Dureté totale calculée (mg CaCO ₃ /L) | 159 | 205,6 | 151,6 | 0,6 | 94,2 | 189,3 | 294,1 | 1 243,9 |

Tableau 4.13.4.2 Sommaire des résultats analytiques des eaux souterraines

| Paramètres | Nombre de données | Moyenne (mg/L) | Écart-Type (mg/L) | Minimum (mg/L) ¹ | 25 % (mg/L) ¹ | Médiane (mg/L) ¹ | 75 % (mg/L) ¹ | Maximum (mg/L) ¹ |
|--|-------------------|----------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Alcalinité totale (CaCO ₃) | 164 | 195,2 | 123 | 5 | 92 | 180 | 272,5 | 490 |
| Aluminium (Al) | 163 | 0,018 | 0,05 | 0,003 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,37 |
| Antimoine (Sb) | 163 | 0,0005 | 0,0001 | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | 0,0016 |
| Argent (Ag) | 163 | 0,00007 | 0,00007 | <u>0,00005</u> | <u>0,00005</u> | <u>0,00005</u> | <u>0,00005</u> | 0,00064 |
| Arsenic (As) | 163 | 0,0015 | 0,0062 | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | 0,052 |
| Azote ammoniacal (N-NH ₃) ² | 162 | 0,1 | 0,18 | <u>0,01</u> | <u>0,01</u> | 0,03 | 0,08 | 1,1 |
| Baryum (Ba) | 163 | 0,06 | 0,087 | <u>0,001</u> | 0,014 | 0,031 | 0,072 | 0,68 |
| Béryllium (Be) | 163 | 0,0003 | 0 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 |
| Bismuth (Bi) | 163 | 0,00013 | 0 | <u>0,00013</u> | <u>0,00013</u> | <u>0,00013</u> | <u>0,00013</u> | <u>0,00013</u> |
| Bore (B) | 163 | 0,03 | 0,03 | <u>0,01</u> | <u>0,01</u> | <u>0,01</u> | 0,03 | 0,21 |
| Bromure (Br-) | 164 | 0,06 | 0,05 | <u>0,05</u> | <u>0,05</u> | <u>0,05</u> | <u>0,05</u> | 0,5 |
| Cadmium (Cd) | 163 | 0,0001 | 0 | <u>0,0001</u> | <u>0,0001</u> | <u>0,0001</u> | <u>0,0001</u> | 0,0005 |
| Calcium (Ca) | 163 | 58,8 | 59,4 | <u>0,2</u> | 23,5 | 53,0 | 77,5 | 520 |
| Chlorures (Cl) | 164 | 18,33 | 49,18 | 0,13 | 0,95 | 3,9 | 13,5 | 400 |
| Chrome (Cr) | 163 | 0,0005 | 0,0005 | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | 0,0006 | 0,0045 |
| Cobalt (Co) | 163 | 0,0004 | 0,0008 | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | 0,008 |
| Cuivre (Cu) | 163 | 0,0065 | 0,0186 | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | 0,0005 | 0,0041 | 0,18 |
| Etain (Sn) | 163 | 0,0005 | 0 | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> |
| Fer (Fe) | 163 | 4,04 | 38,26 | <u>0,03</u> | <u>0,05</u> | <u>0,05</u> | 0,49 | 480 |
| Fluorure (F) | 164 | 0,13 | 0,11 | <u>0,05</u> | <u>0,05</u> | 0,1 | 0,2 | 0,9 |
| Lithium (Li) | 163 | 0,006 | 0,004 | <u>0,005</u> | <u>0,005</u> | <u>0,005</u> | <u>0,005</u> | 0,041 |
| Magnésium (Mg) | 163 | 16,11 | 14,17 | <u>0,05</u> | 6,2 | 13 | 23 | 110 |
| Manganèse (Mn) | 163 | 0,2057 | 0,7168 | <u>0,0002</u> | 0,0039 | 0,042 | 0,205 | 8,8 |
| Mercuré (Hg) | 3 | 0,00005 | 0 | <u>0,00005</u> | <u>0,00005</u> | <u>0,00005</u> | <u>0,00005</u> | <u>0,00005</u> |
| Molybdène (Mo) | 163 | 0,0014 | 0,0018 | <u>0,0003</u> | <u>0,0003</u> | 0,0008 | 0,0015 | 0,012 |
| Nickel (Ni) | 163 | 0,0016 | 0,0038 | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | 0,0013 | 0,039 |
| Nitrate (N-NO ₃) ² et Nitrite (N-NO ₂) ² | 164 | 0,38 | 0,99 | <u>0,01</u> | <u>0,01</u> | 0,02 | 0,24 | 6,2 |
| Phosphore inorganique | 162 | 0,02 | <u>0,02</u> | <u>0,02</u> | <u>0,02</u> | <u>0,02</u> | <u>0,02</u> | 0,18 |
| Plomb (Pb) | 163 | 0,00022 | 0,00039 | <u>0,00005</u> | <u>0,00005</u> | <u>0,00005</u> | 0,00019 | 0,0023 |
| Potassium (K) | 163 | 2,67 | 2,31 | <u>0,05</u> | 1,3 | 2,3 | 3,3 | 15 |
| Sélénium (Se) | 163 | 0,0006 | <u>0,0003</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | 0,0035 |
| Silicium (Si) | 163 | 8,69 | 2,85 | 3,5 | 6,5 | 8,2 | 10 | 17 |
| Sodium (Na) | 163 | 20,84 | 38,09 | 0,6 | 5,4 | 11 | 19,5 | 300 |
| Strontium (Sr) | 163 | 0,587 | 1,998 | <u>0,001</u> | 0,11 | 0,21 | 0,465 | 24 |
| Sulfates (SO ₄) | 164 | 36,6 | 209,3 | <u>0,3</u> | 7,2 | 12 | 19 | 2500 |
| Sulfures (S ²⁻) | 162 | 0,01 | 0,02 | <u>0,01</u> | <u>0,01</u> | <u>0,01</u> | <u>0,01</u> | 0,27 |
| Titane (Ti) | 163 | 0,005 | 0,001 | <u>0,005</u> | <u>0,005</u> | <u>0,005</u> | <u>0,005</u> | 0,014 |
| Uranium (U) | 163 | 0,0033 | 0,0174 | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | <u>0,0005</u> | 0,0021 | 0,22 |
| Vanadium (V) | 163 | 0,001 | 0 | <u>0,001</u> | <u>0,001</u> | <u>0,001</u> | <u>0,001</u> | <u>0,001</u> |
| Zinc (Zn) | 163 | 0,032 | 0,125 | <u>0,003</u> | <u>0,003</u> | 0,01 | 0,02 | 1,4 |
| δ18O (‰ VS VSMOW) | 159 | -13,14 | 0,76 | -15,2 | -13,52 | -13,08 | -12,7 | -9,4 |
| δ2H (‰ VS VSMOW) | 159 | -92,0 | 5,7 | -107,8 | -95,2 | -91,4 | -88,5 | -71,9 |

¹ Les valeurs soulignées sont sous les limites de détection de base présentées au tableau 3.13.1 à la section 3.13.

² Concentrations en mg N/L.

4.14 Recensement des activités anthropiques potentiellement polluantes

Les tableaux 4.14.1 à 4.14.4 présentent les sources de données retenues et les statistiques spatiales calculées en lien avec les pressions anthropiques ciblées au niveau du territoire PACES-AT2 (voir section 3.14 pour de plus amples détails). Le rapport P004.R2 (Cloutier et al., 2013c), fourni à l'annexe 3.14.1, présente l'ensemble des informations disponibles à l'échelle de l'Abitibi-Témiscamingue. Les résultats présentés ici consistent essentiellement une mise à jour des données issues des travaux de Cloutier et al., 2013c du territoire couvert par le PACES-AT2.

Tableau 4.14.1 Statistiques régionales relatives aux aires d'accumulation de rejets miniers¹

| | | Aires d'accumulation liée à l'industrie minière |
|-----------|------------------------|---|
| PACES-AT2 | | 52 |
| MRC | Abitibi-Ouest | 6 |
| | Ville de Rouyn-Noranda | 43 |
| | Témiscamingue | 3 |

¹ Les sources de données retenues pour la réalisation de ce recensement incluent : (1) Base de données des sites miniers abandonnés de Bussière s.d.a; (2) Base de données des parcs à résidus miniers de la Ville de de Rouyn-Noranda; (3) Système d'information écoforestière, 4e inventaires écoforestiers 1/20 000 (SIEF) (MRN); (4) Base de données topographiques du Québec (BDTQ) (MRN); Base nationale de données topographiques (BNDT) (RNCAN); (5) Produits numériques des droits miniers du 3 août 2012 (GESTIM) (MRN). Ces sources d'informations ont été homogénéisées au sein d'une base de données exhaustive et exempte de doublons sur la base d'analyse d'images aériennes.

Tableau 4.14.2 Superficies régionales relatives aux coupes forestières

| | | Superficie totale (ha) | Surface des eskers/moraines (%) |
|-----------|------------------------|------------------------|---------------------------------|
| PACES-AT2 | | 3 755 | 14,0 |
| MRC | Abitibi-Ouest | 959 | 21,4 |
| | Ville de Rouyn-Noranda | 551 | 11,9 |
| | Témiscamingue | 2 245 | 12,8 |

Tableau 4.14.3 Caractéristiques des sablières/gravières localisées sur les eskers/moraines du territoire à l'étude¹

| | | Nombre | Superficie totale (ha) | Superficie maximale (ha) | Superficie moyenne (ha) | Surface des eskers/moraines (%) |
|-----------|------------------------|--------|------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| PACES-AT2 | | 267 | 1026 | 57,8 | 3,8 | 3,8 |
| MRC | Abitibi-Ouest | 107 | 388 | 21,7 | 3,6 | 8,7 |
| | Ville de Rouyn-Noranda | 53 | 349 | 57,8 | 6,6 | 7,5 |
| | Témiscamingue | 107 | 289 | 19,2 | 2,7 | 1,6 |

¹ Les sources de données retenues pour la réalisation de ce recensement incluent : (1) Système d'information écoforestière, 3e et 4e inventaires écoforestiers 1/20 000 (SIEF) (MRN); (2) Base de données topographiques du Québec (BDTQ) (MRN); Base nationale de données topographiques (BNDT) (RNCAN); (3) Produits numériques des droits miniers du 3 août 2012 (GESTIM) (MRN); (4) Cartes de dépôts de surface (Carte 8). Ces sources d'informations ont été homogénéisées au sein d'une base de données exhaustive et exempte de doublons sur la base d'analyse d'images aériennes.

Tableau 4.14.4 Statistiques régionales relatives aux DET

| | | Nombre de DET | Nombre de DET sur eskers/moraines |
|-----------|------------------------|---------------|-----------------------------------|
| PACES-AT2 | | 34 | 34 |
| | Abitibi-Ouest | 14 | 14 |
| | Ville de Rouyn-Noranda | 6 | 6 |
| | Témiscamingue | 14 | 14 |

5. Cadre géologique

5.1 Modèle altimétrique numérique (Carte 12)

Un modèle altimétrique numérique (MAN) consiste en une représentation en plan des variations d'altitudes d'un territoire sur une surface continue. En plus de respecter le relief présenté par la carte topographique (Carte 2), 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 notamment plus facilement identifiables.

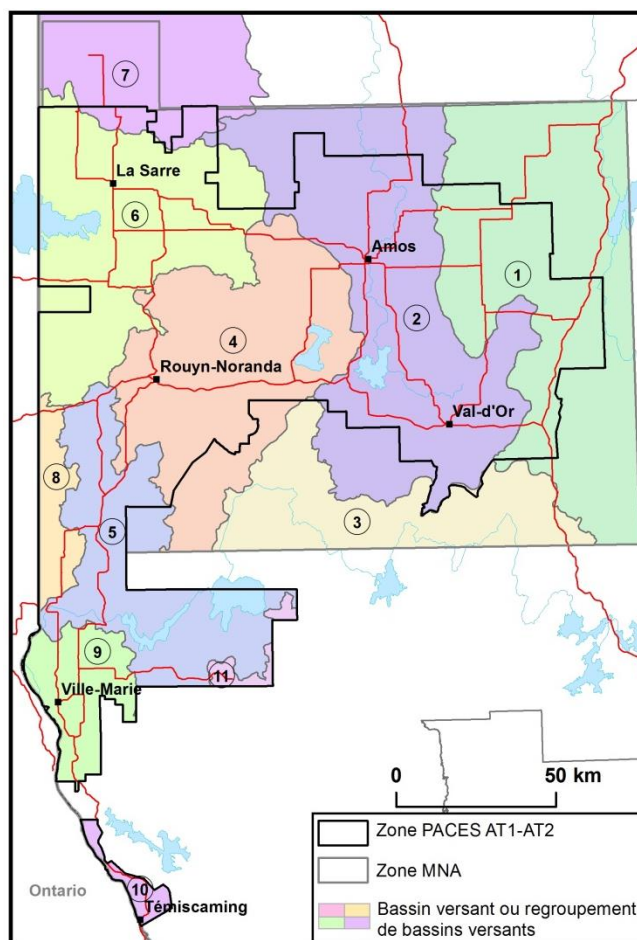
5.1.1 Traitement des données

Le MAN réalisé dans le cadre de la présente étude couvre l'ensemble du territoire municipalisé de l'Abitibi-Témiscamingue. Il est construit à partir d'une interpolation des données à l'échelle 1 : 20 000 de la Banque de données topographiques du Québec (BDTQ) et tient compte de la présence des éléments du réseau hydrographique (Tableau 5.1.1.1). L'algorithme *ANUDEM*, disponible via l'outil « *Topo to raster* » d'ArcGIS version 10.2, a été utilisé afin de générer le MAN (Carte 12). L'approche privilégiée tient compte de l'orientation du réseau hydrographique et fournit une valeur d'altitude sur un maillage de 10 m x 10 m à l'échelle du territoire. Afin de réduire les erreurs engendrées par la juxtaposition de feuillets cartographiques et de respecter les sens d'écoulement du réseau hydrographique, des modèles altimétriques ont été générés pour 11 ensembles de bassins versants du territoire (Figure 5.1.1.1). Les bassins sont systématiquement modélisés avec une zone tampon externe de 500 m, pour ensuite être joints. Lorsqu'il y a superposition de mailles, la moyenne des élévations est utilisée.

Tableau 5.1.1.1 Sources de données et traitements préliminaires

| Catégories de données | Sources de données traitées | Traitements préliminaires |
|---|---|---|
| Données topographiques (Points cotés et courbes de niveau) | Base de données topographiques du Québec (BDTQ) | Correction des courbes de niveau afin d'éviter les discontinuités entre les feuillets cartographiques. Création d'une couche de lacs dont l'élévation maximale (z_{\max}) est fournie par la BDTQ. |
| Données hydrographiques (Cours d'eau, lacs et bassins versants) | Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) | Regroupement des bassins versants en 10 ensembles distincts destinés à la réalisation de modèles altimétriques indépendants. |

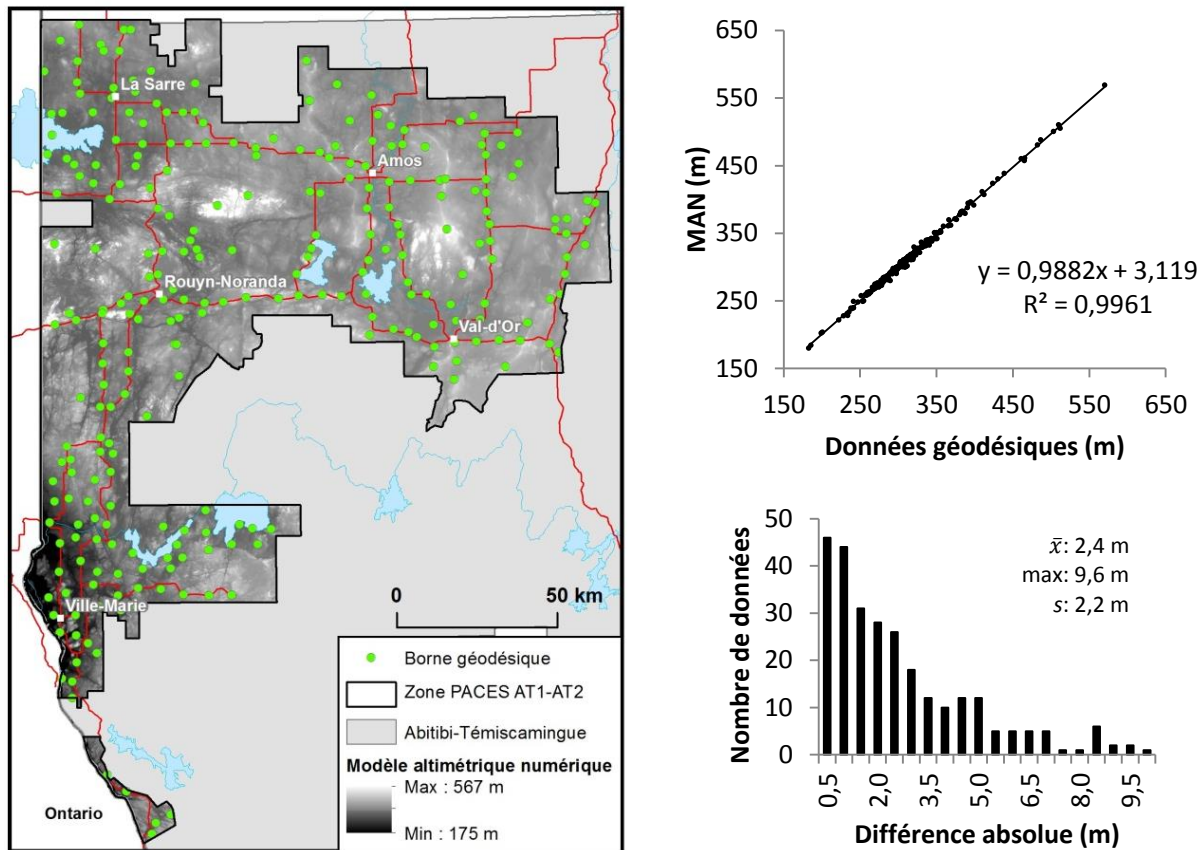
Figure 5.1.1.1 Ensembles de bassins versants retenus pour la réalisation du MAN



5.1.2 Évaluation de la précision du MAN sur un maillage de 10 m x 10 m

Les données provenant de la BDTQ ont une précision de l'ordre de ± 4 m en planimétrie. En hypsométrie, elle est de ± 2 m pour les points cotés et de ± 5 m pour les courbes de niveau (MRNF, 2008b). La démarche d'évaluation de la précision du MAN s'appuie en premier lieu sur une comparaison des altitudes modélisées avec les données fournies par les bornes du réseau géodésique du Québec, 2^e édition. Les bornes localisées aux sommets de collines et au niveau de la plaine argileuse ont été privilégiées, alors que celles implantées sur des infrastructures anthropiques n'ont pas été retenues pour les analyses. La figure 5.1.2.1 présente la répartition des 272 bornes géodésiques utilisées pour valider le modèle ainsi que la distribution des résultats issus de la comparaison avec les données du MAN. Les différences absolues évaluées entre les données terrain et celles extraites du MAN (sur un maillage de 10 m x 10 m) atteignent une valeur maximale de 9,6 m, pour une moyenne de 2,6 m. Il est donc proposé ici que le modèle utilisé présente une précision moyenne de $\pm 2,6$ m (systématiquement $\leq 9,6$ m). Ce niveau de précision est cohérent avec l'équidistance des données (10 m) utilisées pour la construction du modèle. Les variations d'altitudes du terrain formées par l'incision des cours d'eau dans l'argile et les reliefs positifs du socle rocheux sont adéquatement représentées par le modèle. En ce sens, la méthode d'interpolation retenue pour la réalisation du MAN ne semble pas avoir significativement dégradé la précision des données issues de la BDTQ.

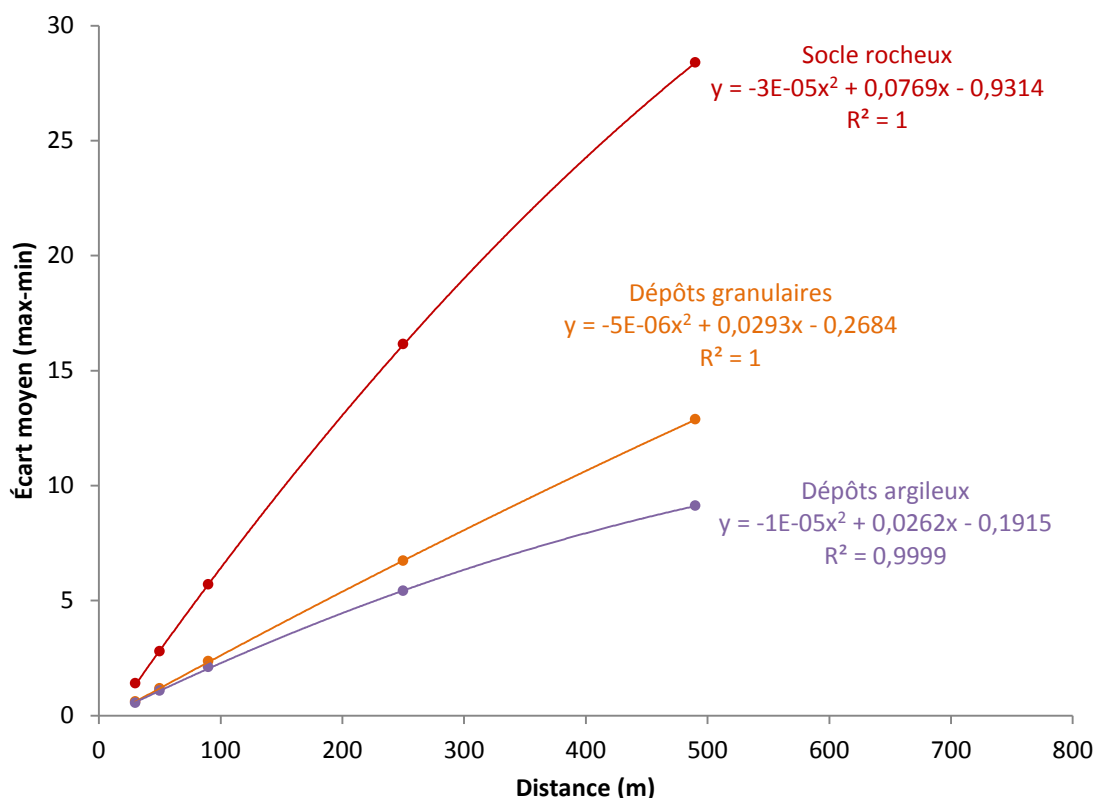
Figure 5.1.2.1 Localisation des 272 bornes géodésiques



5.1.3 Rugosité de la surface

La rugosité d'une surface, calculée à partir des données du MAN sur un maillage de 10 m x 10 m, est définie ici comme l'amplitude absolue des variations d'altitudes mesurées au sein d'une surface circulaire horizontale de rayon connu et intégrant un type de formation superficielle unique. Par mesure de simplification, les formations géologiques superficielles ont été regroupées en trois classes, soit (1) les varves d'argile et de silt (Lga; Carte 8), (2) les affleurements rocheux (R, Tm; Carte 8) et (3) les unités granulaires correspondant aux formations fluvioglaciales (Gx, Gxi, Go, Lgb, Lgd; Carte 8). Des zones circulaires de diamètres de 30 m, 50 m, 90 m, 250 m et 490 m ont été retenues afin d'évaluer la rugosité de surface de la région (Figure 5.1.3.1). Les résultats obtenus suggèrent que les affleurements rocheux constituent les surfaces dont la rugosité est la plus élevée, alors que les dépôts de la plaine argileuse présentent la rugosité la plus faible. Pour les trois classes de formations retenues, les résultats suggèrent une augmentation de la rugosité avec le rayon d'investigation suivant une tendance polynomiale du second degré (Figure 5.1.3.1).

Figure 5.1.3 Rugosité de surface calculée en fonction des unités géologiques retenues



5.1.4 Redimensionnement du MAN sur maillage de 100 m

Les sections précédentes ont traité de la précision et de la rugosité pour un MAN construit sur un maillage de 10 m x 10 m. Or, les cartes produites dans le cadre de la présente étude sont systématiquement construites sur un maillage de 100 m x 100 m. Cette section décrit les démarches effectuées afin d'évaluer l'effet de la conversion d'un maillage de 10 m x 10 m en un maillage de 100 m x 100 m sur la précision des données d'élévation. Cet effet est évalué sur la base d'une quantification de l'irrégularité du MAN sur un maillage de 100 m x 100 m. À titre d'exemple, la figure 5.1.4.1 illustre la conversion d'un MAN de 10 m x 10 m où les valeurs d'altitudes varient de 305 m à 315 m en un MAN de maillage de 100 m x 100 m, lequel se voit attribuer une valeur d'altitude unique (311,35 m) représentative de la moyenne des 100 cellules de 10 m le composant. L'irrégularité d'une maille du MAN de 100 m x 100 m est définie ici comme l'amplitude des variations d'altitude des 100 cellules la composant (valeur de 10 m dans l'exemple de la figure 5.1.4.1). Cette démarche d'évaluation de l'irrégularité a été répétée pour l'ensemble des cellules de 100 m x 100 m du territoire afin de quantifier l'effet induit par le changement de résolution du MAN en fonction des différentes unités géologiques observées en surface (Figures 5.1.4.2 à 5.1.4.6). L'amplitude des variations d'altitude imposées par le redimensionnement des mailles du MAN est en moyenne de 3,9 m avec un écart-type de 5,1 m et atteint au maximum 110 m (Figure 5.1.4.2). Les écarts les plus élevés correspondent aux secteurs où le relief est accidenté, essentiellement où les accidents du socle rocheux engendrent une irrégularité plus marquée sur les surfaces d'affleurement (Figure 5.1.4.7). En contrepartie, la topographie plane, caractéristique de la plaine argileuse engendre une irrégularité plus faible (Figure 5.1.4.7).

Figure 5.1.4.1 Conversion d'un MAN de 10 m x 10 m en un MAN de 100 m x 100 m

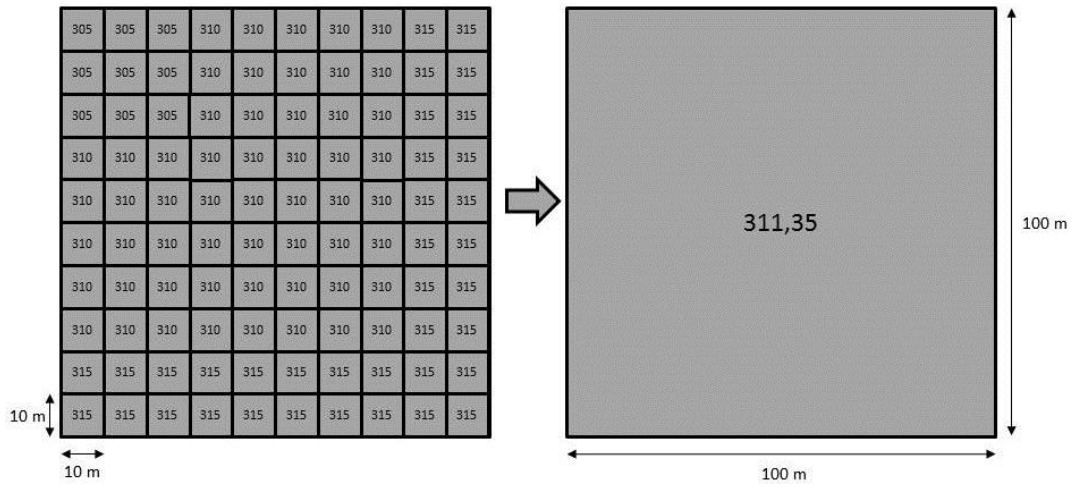


Figure 5.1.4.2 Étalement des valeurs d'irrégularité calculées sur l'ensemble du MAN

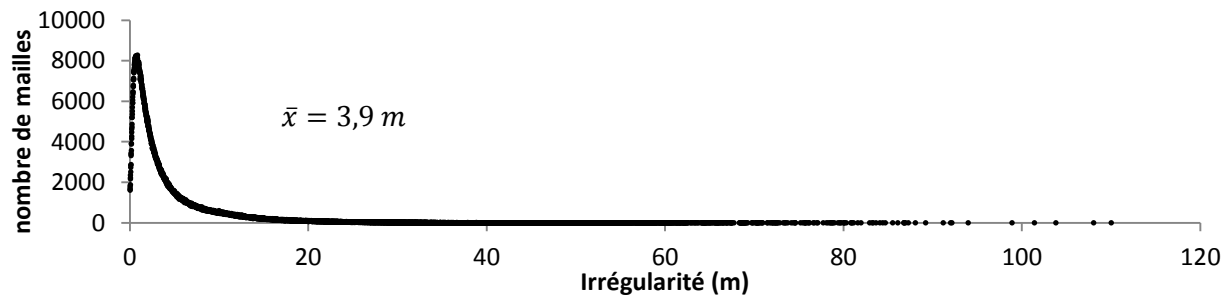


Figure 5.1.4.3 Étalement des valeurs d'irrégularité calculées pour le PACES-AT2

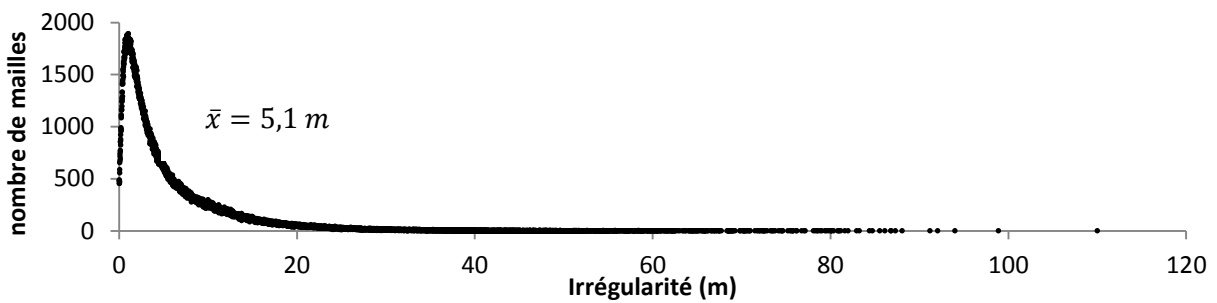


Figure 5.1.4.5 Étalement des valeurs d'irrégularité calculées pour les surfaces d'affleurement rocheux et de till à couverture discontinue du PACES-AT2

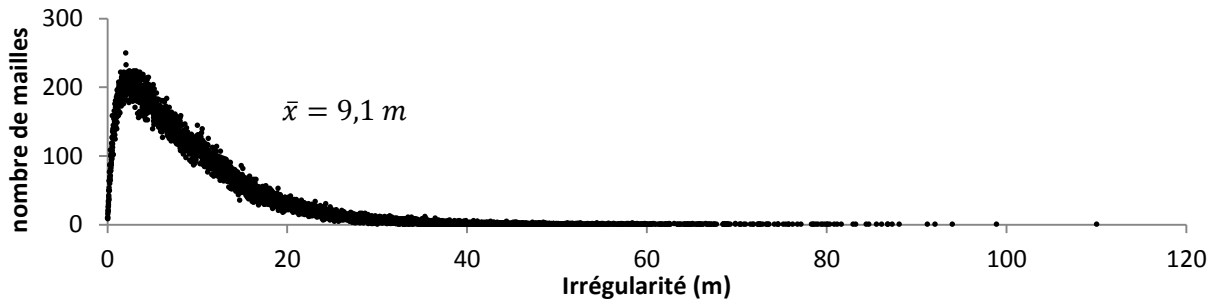


Figure 5.1.4.6 Étalement des valeurs d'irrégularité calculées pour la surface d'argile du PACES-AT2

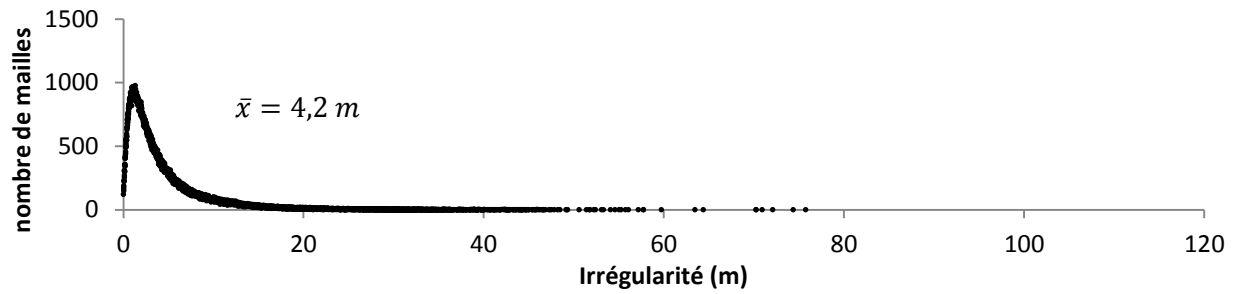
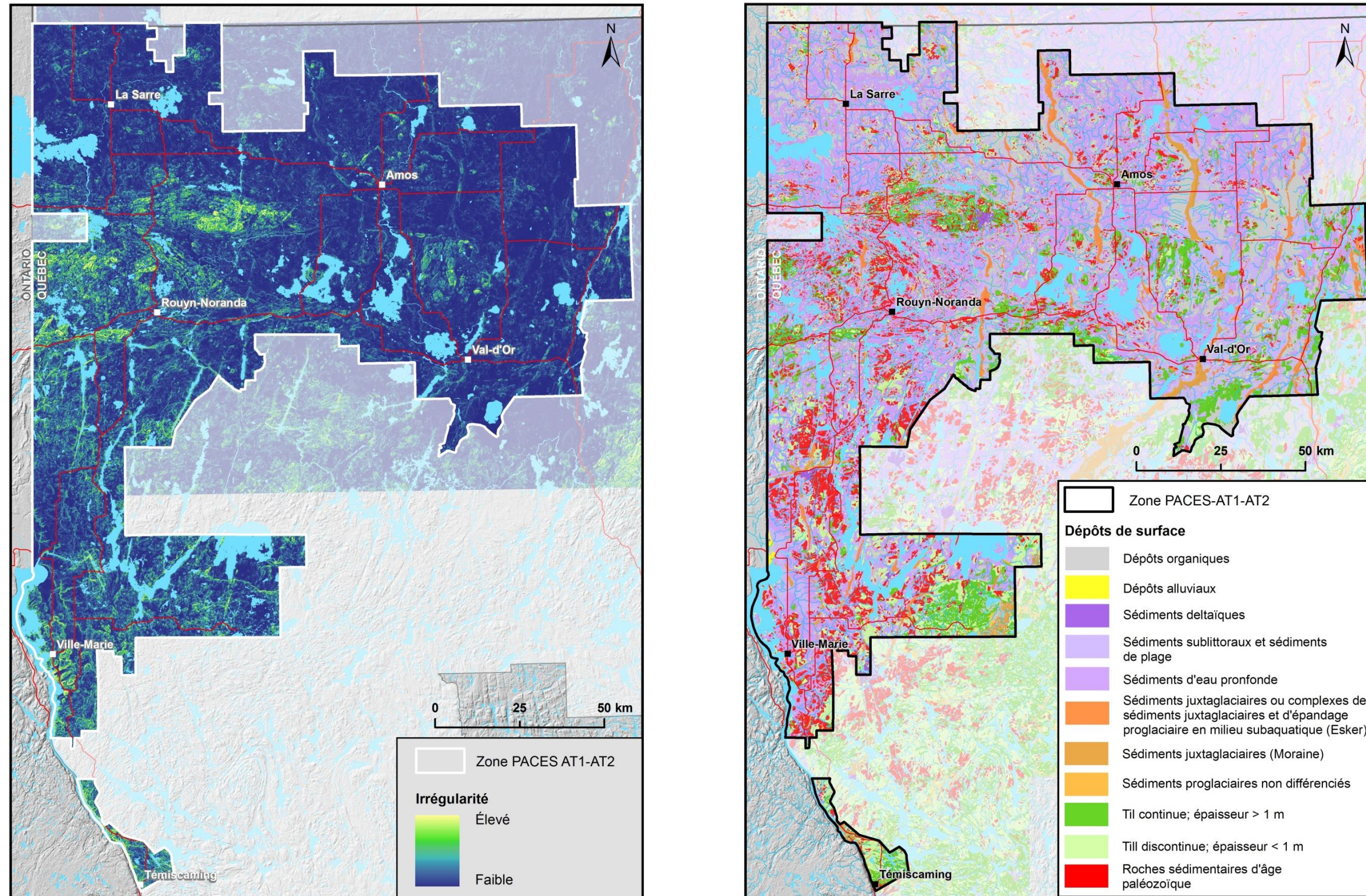


Figure 5.1.9 Comparaison des valeurs d'irrégularité calculées avec la distribution spatiale des formations superficielles



5.1.5 Évaluation de la pente du sol (Carte 13)

La pente du sol correspond à l'intensité de l'inclinaison de surface, en degrés ou en pourcentage par rapport au plan de référence horizontal. Elle est représentée ici en continu par une surface matricielle construite sur la base des données issues du MAN. L'évaluation de la pente s'appuie sur l'utilisation de l'outil d'analyse spatiale « slope » d'ArcGIS version 10.2. Elle est calculée à partir des données du MAN sur des maillages de 10 m x 10 m et de 100 m x 100 m (Tableau 5.1.5.1). La carte 13 illustre la distribution spatiale des pentes calculées à partir du MAN sur maillage de 100 m x 100 m. Au niveau du territoire à l'étude, les secteurs présentant les plus fortes pentes correspondent principalement aux hauts topographiques marqués par la présence d'affleurements rocheux et, dans une moindre mesure, aux flancs d'eskers et moraines. Au niveau de la plaine argileuse, des pentes quasi nulles (< 1°) sont généralement évaluées. Le tableau 5.1.5.1 regroupe les statistiques régionales de la pente pour l'ensemble du MAN et pour le territoire à l'étude.

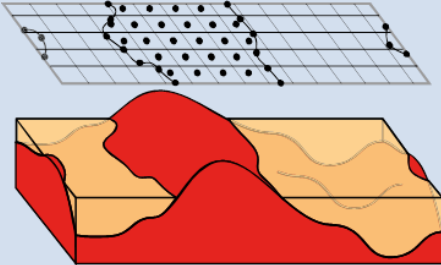
Tableau 5.1.5.1 Évaluation de la pente du sol

| | Pente moyenne | | Écart-type | | Min | | Max | |
|-------------------------|---------------|------|------------|------|------|------|-------|--------|
| | (°) | (%) | (°) | (%) | (°) | (%) | (°) | (%) |
| PACES-AT2 et AT1 (100m) | 1,5 | 2,72 | 1,86 | 3,27 | 0,00 | 0,00 | 33,28 | 65,64 |
| PACES-AT2 (10m) | 2,62 | 4,62 | 3,55 | 6,38 | 0,00 | 0,00 | 53,49 | 135,10 |

5.2 Épaisseur de dépôts meubles (Carte 14) et topographie du socle rocheux (Cartes 15)

Les cartes 14 et 15 consistent respectivement en des représentations matricielles sur un maillage de 100 m x 100 m de l'épaisseur des dépôts meubles et de la topographie du socle rocheux. La carte d'épaisseur des dépôts meubles (Carte 14) illustre les variations spatiales d'épaisseur des dépôts meubles sus-jacents à la surface du socle rocheux, dont l'élévation de surface est illustrée par la carte 15. Ces cartes permettent notamment l'identification (1) de dépressions camouflées par une épaisse couche de dépôts meubles et (2) des secteurs où il n'y a pas d'accumulation significative de dépôts meubles au-dessus du socle rocheux. En soumettant l'hypothèse voulant qu'il existe un contraste significatif entre les propriétés des aquifères rocheux fracturés et celles des aquifères granulaires sus-jacents, il apparaît réaliste de suggérer que les accidents du socle rocheux puissent influencer significativement la dynamique d'écoulement de l'eau souterraine. En ce sens, les cartes 14 et 15, produites à partir des données rapportées au tableau 5.2.1, constituent des éléments pertinents à la compréhension de la dynamique hydrogéologique régionale.

Tableau 5.2.1 Traitements préliminaires effectués pour l'obtention des données traitées

| Catégories de données | Sources de données traitées | n | Traitements préliminaires |
|-----------------------|---|---------|--|
| Affleurements rocheux | Compilation des affleurements ponctuels du MRN (affleurement de compilation et de géofiche disponible via SIGEOM) | 132 651 | <p>Les unités de roc et de till discontinu doivent être transformées en points afin de pouvoir être utilisées au même titre qu'un affleurement rocheux. Un point est créé pour chaque maille de 100 m et les lignes contours sont transformées, tel qu'illustré ci-dessous :</p>  |
| | Affleurements ponctuels des cartes de dépôts de surface de la CGC ¹ | 27 912 | |
| | Unités de roc et de till de couverture discontinue des cartes de dépôts de surface de la CGC ¹ | 367 158 | |
| | Contour des unités de roc et de till de couverture discontinue des cartes de dépôts de surface de la CGC ¹ | 350 187 | |
| Forages au roc | Forages des puits du Système d'information hydrogéologique (SIH) | 3 918 | <p>-Suppression de l'ensemble des doublons²; -Suppression des forages rapportant une épaisseur de dépôts meubles nulle ou > 100 m; -Suppression des forages localisés sur une unité de roc ou de till à couverture discontinue; -Correction des données de localisation (X, Y, Z) selon le pendage et l'azimut des forages³.</p> |
| | Forages miniers au diamant (disponible via SIGEOM) | 30 195 | |
| | Forages stratigraphiques du MRN (Overburden Drilling Management) | 1 282 | |

n : nombre de données incluses aux traitements réalisés au niveau de la région d'étude. ¹ Veillette, 1986a,b, Cartes 1639A, 1642A; Veillette, 1987a,b, Cartes 1640A, 1643A; Veillette et Daigneault, 1987, Carte 1644A; Thibaudeau et Veillette, 2005, Carte 1996A; Veillette, 2004, Carte 2019A. ² Deux données de forage (ou plus) possédant la même localisation (coordonnées géographiques identiques) sont considérées comme des doublons. Les forages identifiés comme des doublons sont systématiquement supprimés du jeu de données. ³ Correction s'appliquant uniquement aux forages miniers au diamant.

5.2.1 Observations et concepts supportant l'approche d'interprétation retenue

Les approches d'analyse et de traitement des données proposées ici ciblent la prise en compte des particularités propres à la région d'étude :

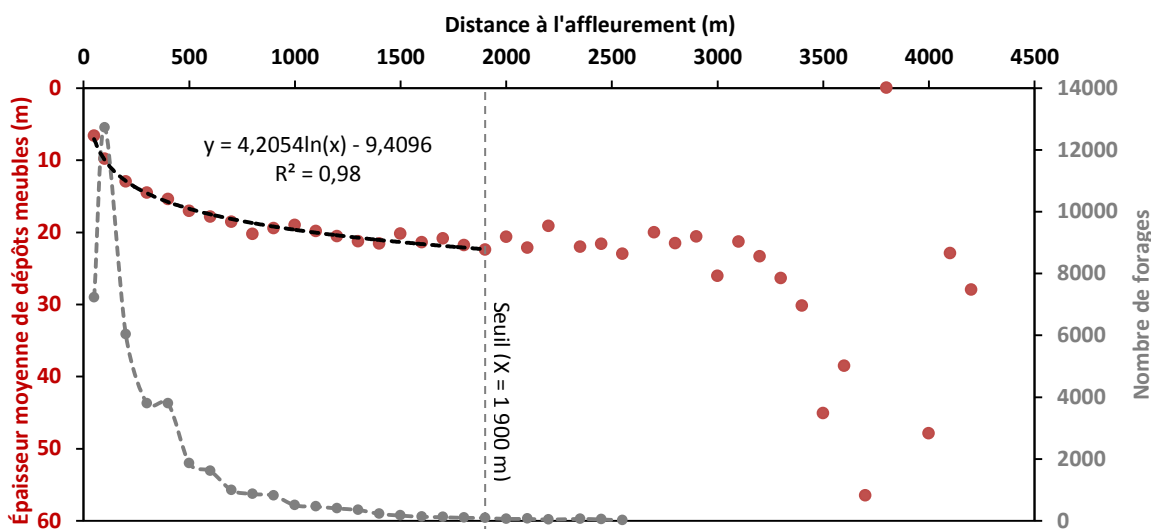
- La morphologie relativement plane de la plaine argileuse masque en partie les irrégularités de la surface du socle rocheux (Section 5.1);
- Les eskers et moraines, ainsi que les failles, influencent à la hausse l'épaisseur de dépôts meubles le long de leurs axes respectifs;
- La région est caractérisée par une densité élevée d'affleurements rocheux (Section 2.8; Tableau 5.2.1);
- La distribution spatiale des données de forage est hétérogène et peu de données sont disponibles au niveau des crêtes d'esker.

Les démarches discutées dans les sections suivantes visent l'exploitation des données disponibles dans l'optique de pallier aux limites imposées par ces contraintes et particularités régionales.

5.2.2 Analyse des données

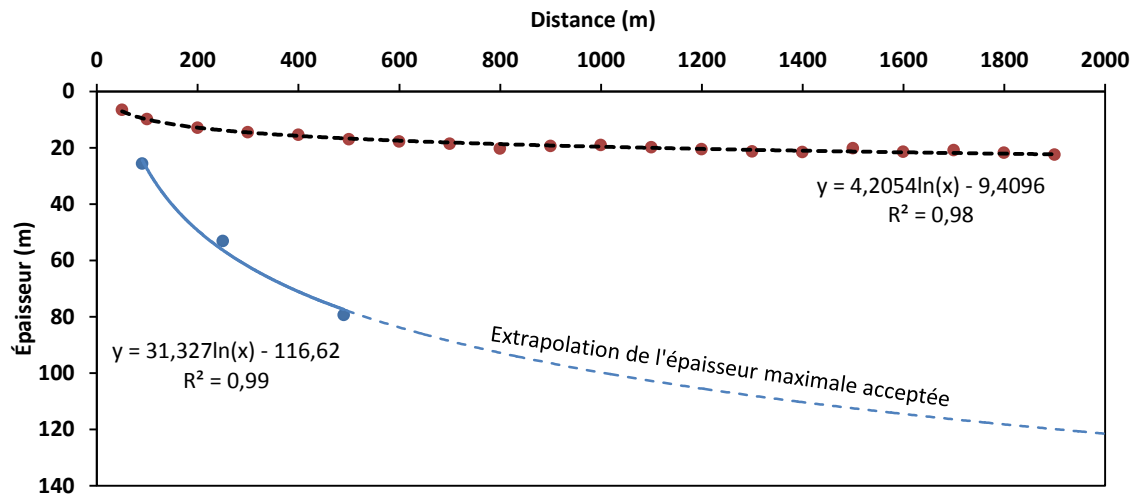
La figure 5.2.2.1 illustre la relation observée entre l'épaisseur moyenne des dépôts meubles mesurés par forage et la distance minimale à un affleurement rocheux, selon des classes de 100 m (en abscisse). Ces données suggèrent un accroissement progressif des épaisseurs moyennes de dépôts meubles en fonction de la distance à l'affleurement rocheux. Une courbe de tendance logarithmique ($y = 4,2054\ln(x) - 9,4096$) permet de représenter cet approfondissement graduel avec un coefficient de corrélation $R^2 > 0,98$ sur les classes de distance ≤ 1900 m. Au-delà de ce seuil, la relation semble se détériorer. Cette observation s'expliquerait vraisemblablement par la disponibilité limitée de données de forage (Figure 5.2.2.1) prévenant l'évaluation de moyennes jugées robustes.

Figure 5.2.2.1 Épaisseur moyenne de dépôts meubles et nombre de forages par rapport à la distance à un affleurement rocheux



Or, malgré la relation établie sur la base de valeurs moyennes, le jeu de données utilisé révèle une variabilité non-négligeable dans la région. Deux forages localisés à la même distance d'un affleurement rocheux peuvent révéler des épaisseurs de dépôts meubles significativement différentes. À titre d'exemple, les forages situés à une distance de 100 m d'un affleurement rocheux présentent en moyenne 9,84 m d'épaisseur de dépôts meubles, mais des valeurs allant de 0 m à 98,79 m sont observées sur le territoire. Il en résulte qu'une utilisation systématique de l'équation établie à la figure 5.2.2.1 afin de modéliser l'épaisseur des dépôts meubles de la région ne permettrait pas une représentation adéquate des données disponibles à l'échelle locale. Une stratégie permettant de pallier à cette limite consiste en l'évaluation de l'épaisseur de dépôts meubles, sur un maillage de 100 m x 100 m, à partir d'un facteur (multiplication) de l'équation logarithmique rapportée à la figure 5.2.1. Suivant cette approche, la figure 5.2.2.2 présente l'augmentation progressive de l'épaisseur des dépôts meubles selon l'équation moyenne définie à la figure 5.2.2.1 (courbe rouge, $y = 4,2054\ln(x) - 9,4096$) et une seconde équation correspondant aux épaisseurs maximales jugées acceptables. Cette seconde courbe s'appuie sur une interprétation reposant sur l'utilisation d'une contrainte fixée par la rugosité du socle rocheux, dont la quantification a été discutée à la section 5.1.3. Il est proposé ici que l'épaisseur maximale modélisée ne peut excéder le seuil défini par l'addition de la courbe d'épaisseur moyenne des dépôts meubles (en rouge sur la figure 5.2.2.2) à la valeur de rugosité critique définie ici comme la rugosité moyenne $+2\sigma$ pour chaque classe de distance (courbe bleue sur la figure 5.2.2.2).

Figure 5.2.2.2 Limites d'épaisseur de dépôts meubles par rapport à la distance à un affleurement rocheux

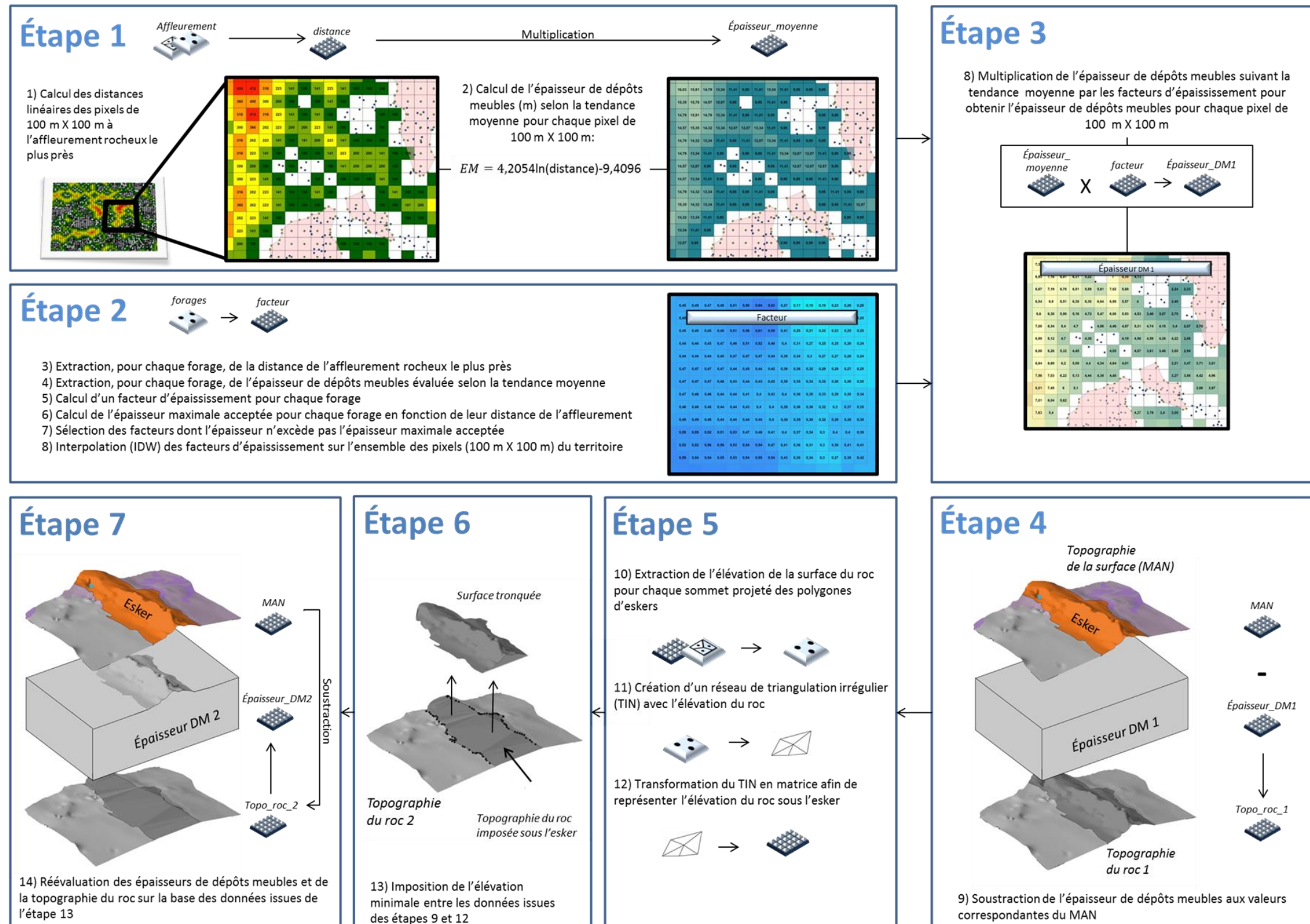


5.2.3 Traitement des données

La figure 5.2.3.1 présente les étapes réalisées (à l'aide des outils de géotraitement d'ArcGIS version 10.2 dans le cadre de cette étude) afin de modéliser l'épaisseur des dépôts meubles de la région, en conformité avec l'analyse proposée à la section 5.2.2. La méthodologie de traitement consiste en l'application de sept principales étapes (identifiées en bleu sur la figure 5.2.3.1) :

1. Évaluation de l'épaisseur moyenne des dépôts meubles, sur un maillage de 100 m x 100 m, selon l'équation de la tendance moyenne définie à la figure 5.2.1 ($y = 4,2054\ln(x) - 9,4096$) à partir de la distance des points d'affleurements rocheux compilés (Tableau 5.2.1);
2. Évaluation d'un facteur de multiplication pour chaque maille de 100 m X 100 m à partir d'une comparaison entre le résultat de l'étape 1 et les données de forage;
3. Calcul de l'épaisseur de dépôts meubles (Épaisseur_DM_1) pour chaque maille de 100 m x 100 m du territoire par la multiplication des extrants issus des étapes 1 et 2;
4. Soustraction des épaisseurs de dépôts (étape 3) aux altitudes correspondantes du MAN. La couche matricielle obtenue par simple soustraction comporte néanmoins des anomalies résultant d'une sous-estimation de l'épaisseur des dépôts meubles au niveau des eskers et moraines;
5. Création d'un réseau de triangles irréguliers (TIN) à partir de la projection des points (*vertices*) définissant les polygones d'eskers sur la surface du roc;
6. Imposition de l'élévation du socle rocheux sous l'esker à l'élévation du TIN généré à l'étape 5;
7. Réévaluation de l'épaisseur de dépôts meubles en soustrayant l'élévation du socle rocheux corrigé aux altitudes correspondantes du MAN.

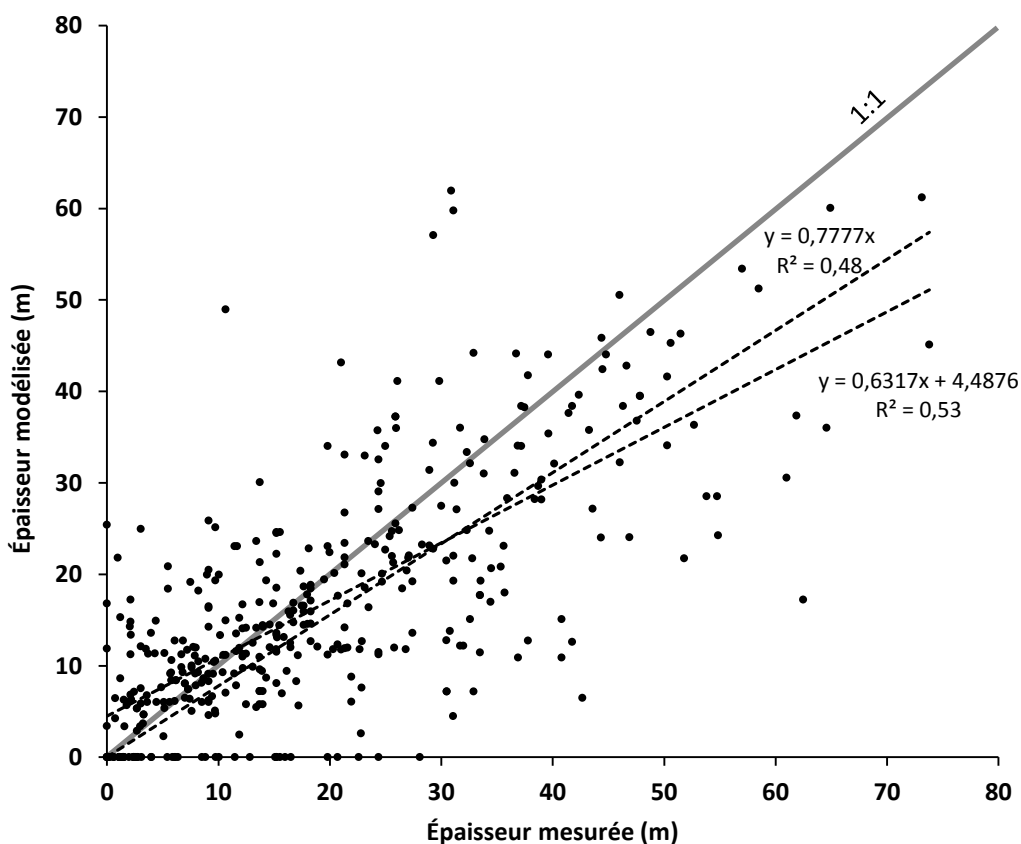
Figure 5.2.3.1 Représentation schématisée des étapes relatives au calcul de l'épaisseur des dépôts meubles et de la topographie du socle rocheux



5.2.4 Évaluation de la précision du modèle

Les données de forages provenant des rapports de consultant (Cloutier et al., 2013b) et des travaux réalisés par le GRES-UQAT (Sections 3.5 et 4.5) ont été utilisées afin d'évaluer la marge d'erreur associée aux épaisseurs de dépôts meubles modélisées (Figure 5.2.4.1). L'erreur moyenne absolue sur les mesures est évaluée à 7,5 m ($\sigma = 7,7$ m). En ce sens, les données rapportées à la carte 14 représentent davantage les tendances régionales et doivent être interprétées avec précaution. Néanmoins, la corrélation positive observable entre les données modélisées et mesurées par forage tend à suggérer que les tendances d'approfondissement générales sont respectées par le modèle. Les forages localisés sur les affleurements rocheux ($n = 9\,318$) servent aussi à l'évaluation de la marge d'erreur, laquelle reflète potentiellement l'imprécision relative à la localisation des données utilisés. Ces forages présentent une épaisseur moyenne de 4,7 m ($\sigma = 9,4$ m), bien qu'ils soient localisés à des endroits où l'épaisseur des dépôts meubles devrait être négligeable selon les cartes de dépôts de surface de la CGC (voir le Tableau 5.2.1 pour les références). Finalement, l'utilisation du MAN pour l'évaluation de la topographie du socle rocheux engendre une erreur additionnelle. La détérioration de la résolution du MAN résultant du changement de maille (10 m x 10 m \rightarrow 100 m x 100 m; section 5.1.4) représente une erreur additionnelle moyenne de 3,94 m ($\sigma = 5,1$ m). L'imprécision sera plus importante pour un relief accidenté et plus faible pour un relief de plaine.

Figure 5.2.4.1 Comparaison des épaisseurs mesurées et des épaisseurs modélisées

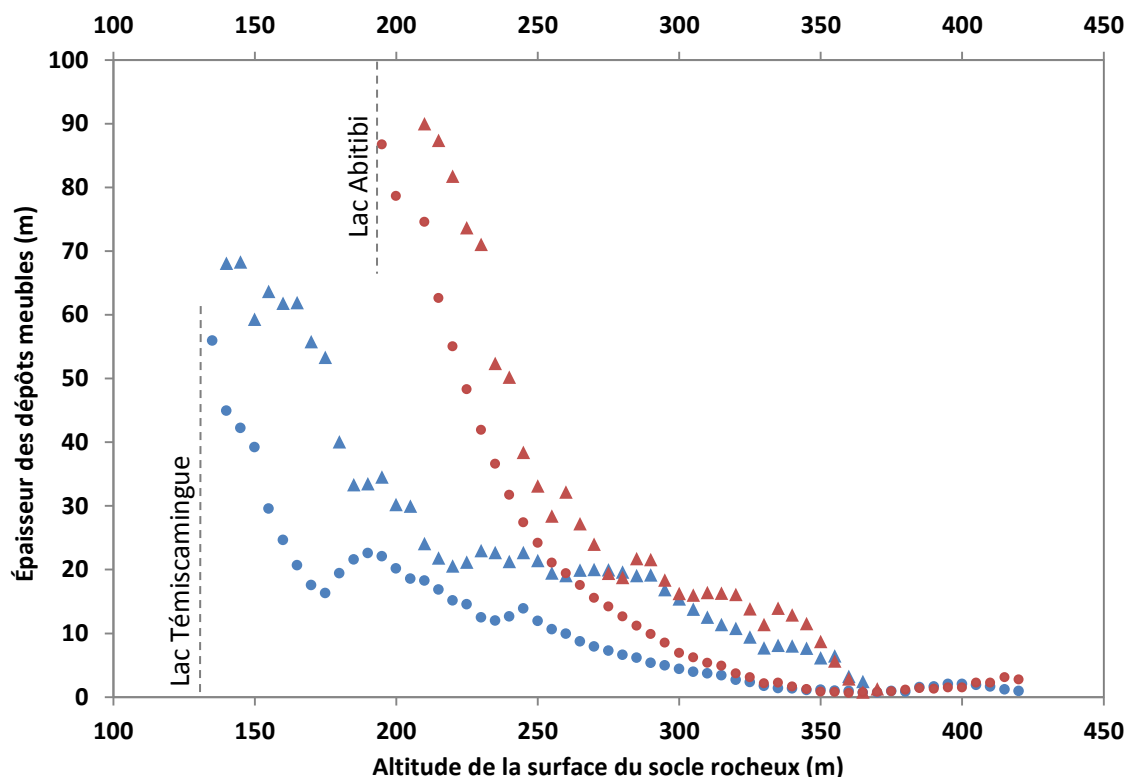


5.2.5 Portrait régional

La carte 14 illustre la distribution spatiale des épaisseurs de dépôts meubles calculées au niveau du territoire à l'étude. Les données suggèrent une épaisseur moyenne de 9,4 m ($\sigma = 9,6$ m), pour un volume régional estimé à 96 km³. Les zones où sont évaluées les épaisseurs maximales (91 m) correspondent aux secteurs périphériques aux municipalités de La Sarre/Chazel/Authier-Nord et de Notre-Dame-du-Nord/Saint-Eugène-de-Guigues. En Abitibi-Ouest, les accumulations sont supérieures à 20 m sur une vaste proportion du territoire. La faible densité d'affleurements rocheux de ce secteur (en comparaison aux secteurs de Rouyn-Noranda et du nord du Témiscamingue) tend à supporter l'hypothèse voulant qu'il s'agisse d'une zone caractérisée par une importante couche de dépôts meubles. Il s'agit également du seul secteur de la région d'étude où des eskers enfouis sont actuellement identifiés (section 2.8). Aux environs de Rouyn-Noranda et au Témiscamingue, dans les secteurs plus haut en altitude, plusieurs zones d'affleurements rocheux et de dépôts de till suggèrent l'absence d'importantes accumulations de dépôts meubles. Le remplissage des vallées et, dans certains cas, la présence d'eskers et de moraines engendrent des augmentations locales de l'épaisseur des dépôts meubles.

La carte 15 illustre les variations topographiques du socle rocheux. L'élévation moyenne est de 281,5 m ($\sigma = 39,5$ m). Les altitudes maximales du socle rocheux (560 m) coïncident avec les plus hauts sommets de la région, dans les environs de Rouyn-Noranda (voir section 2.3). Les élévations les plus faibles se concentrent principalement près du lac et de la municipalité Témiscamingue ainsi qu'en bordures du tracé de la rivière des Outaouais. La figure 5.2.5.1 illustre la relation existante entre les épaisseurs de dépôts meubles et la topographie du socle rocheux. Ces données suggèrent que les secteurs d'accumulation préférentielle des dépôts meubles coïncident avec la position des dépressions du socle rocheux. En d'autres mots, les dépôts meubles se seraient accumulés préférentiellement dans les points bas. La faille de Cadillac, dont la position en termes de latitude correspond globalement à l'emplacement de la ligne de partage des eaux entre les bassins de la Baie-James et du Saint-Laurent, semble marquer une limite en ce qui a trait à la dynamique d'accumulation des dépôts meubles de la région. Au nord de la faille, une augmentation significative de l'épaisseur des dépôts meubles s'observe dans les secteurs où l'altitude du socle rocheux est inférieure à 240 m. Au sud, les accumulations importantes sont principalement localisées dans les basses terres du lac Témiscamingue, où l'altitude de la surface du socle rocheux est inférieure à 200 m. Les épaisseurs de dépôts meubles modélisées au niveau des eskers et moraines suggèrent que ces formations fluvioglaciaires définissent des zones d'accumulation préférentielles. Des épaisseurs de dépôts meubles de l'ordre de 20 à 30 m sont généralement évaluées au niveau de ces formations, indépendamment de l'élévation du socle rocheux. Les processus sédimentaires liés à la genèse des eskers et moraines de la région expliqueraient vraisemblablement ce constat. La pression hydrostatique élevée à l'intérieur des conduits d'eau de fonte transportant le matériel granulaire a apparemment permis la mise en place des formations fluvioglaciaires selon un patron n'étant pas uniquement dicté par la morphologie du socle rocheux. Des formations fluvioglaciaires sont d'ailleurs observées sur certains hauts topographiques, bien que leurs épaisseurs soient généralement plus élevées au niveau de dépressions. Les dykes définissent quant à eux de légers reliefs positifs linéaires d'axe nord-est – sud-ouest observables sur plusieurs dizaines de kilomètres au niveau de la topographie du socle rocheux. Certaines grandes failles de la région, telles que celles de Cadillac, Lyndhurst et Manneville forment, par endroit, des dépressions linéaires pouvant atteindre plusieurs dizaines de kilomètres de long.

Figure 5.2.5.1 Épaisseurs de dépôts meubles modélisées en fonction de l'altitude de la surface du socle rocheux



Points et triangles bleus : épaisseurs moyennes des dépôts meubles et des formations fluvioglaciaires, respectivement, pour le secteur localisé au sud de la Faille de Cadillac. Points et triangles rouges : épaisseurs moyennes des dépôts meubles et des formations fluvioglaciaires, respectivement, pour le secteur localisé au nord de la Faille de Cadillac.

5.3 Épaisseur d'argile

En soumettant l'hypothèse voulant que l'unité argileuse soit caractérisée par une faible perméabilité en comparaison aux autres unités de dépôts meubles de la région (constat généralement reconnu pour les argiles), l'identification de son étendue et de son épaisseur permet de documenter les conditions d'écoulement de l'eau souterraine. En ce sens, l'évaluation de la configuration de la couche d'argile s'avère pertinente à la compréhension de la dynamique hydrogéologique régionale. Le tableau 5.3.1 dresse un sommaire des traitements préliminaires effectués pour l'obtention des données nécessaires à l'évaluation de l'épaisseur et de l'étendue de la couche d'argile.

Tableau 5.3.1 Traitements préliminaires effectués pour l'obtention des données traitées

| Catégories de données | Sources de données traitées | n | Traitements préliminaires |
|--------------------------|--|-------|--|
| Forages stratigraphiques | Forages des puits du Système d'information hydrogéologique (SIH) | 3 061 | Sélection des forages pour lesquels l'unité d'argile (q_F1) est identifiée comme faciès dominant pour au moins un horizon stratigraphique et pour lesquels la profondeur de socle rocheux est connue (contrainte assurant la représentation de la totalité de l'épaisseur d'argile); |
| | Forages stratigraphiques du MRN (Overburden Drilling Management) | 989 | Évaluation de la somme de l'épaisseur de tous les horizons stratigraphiques pour lesquels l'unité d'argile (q_F1) est identifiée comme faciès dominant; |
| | Données issues de rapports de consultants ou des travaux réalisés par le GRES-UQAT | 199 | Identification des doublons ¹ au sein du jeu de données. Pour chaque doublon, suppression de la donnée présentant la plus faible épaisseur d'argile. Cette approche est susceptible d'engendrer une surévaluation locale de l'épaisseur d'argile. |

n : nombre de données incluses aux traitements réalisés au niveau de la région d'étude. ¹ Deux données de forage (ou plus) possédant la même localisation (coordonnées géographiques identiques) sont considérées comme des doublons.

5.3.1 Observations et concepts supportant l'approche d'interprétation retenue

Les approches d'analyse et de traitement des données proposées ici ciblent la prise en compte de contraintes physiques et de particularités propres à la région d'étude :

- La présence d'argile à la surface du sol est identifiable sur la base des cartes de dépôts de surface de la CGC (Section 2.8);
- L'unité d'argile est susceptible d'être masquée par des dépôts plus récents tels que les sables littoraux et les tourbières (Section 2.8), ce qui empêche une évaluation directe de son étendue;
- La morphologie relativement plane de la plaine argileuse (Section 5.1) masque en partie les irrégularités de la surface du socle rocheux et des dépôts antérieurs;
- L'altitude maximale atteinte par les argiles est établie à 320 m pour l'Abitibi centrale (Veillette, 1996) mais à l'échelle de la région, l'élévation de la surface de l'unité d'argile varie sur quelques dizaines de mètres;
- La distribution spatiale des données de forage est hétérogène et peu de forages possèdent une description stratigraphique répondant aux critères établis au tableau 5.3.1;
- L'épaisseur d'argile ne peut pas être supérieure à l'épaisseur de dépôts meubles telle que calculée à la section 5.2.

Les démarches discutées dans les sections qui suivent visent l'exploitation des données dans l'optique de pallier aux limites imposées par ces contraintes.

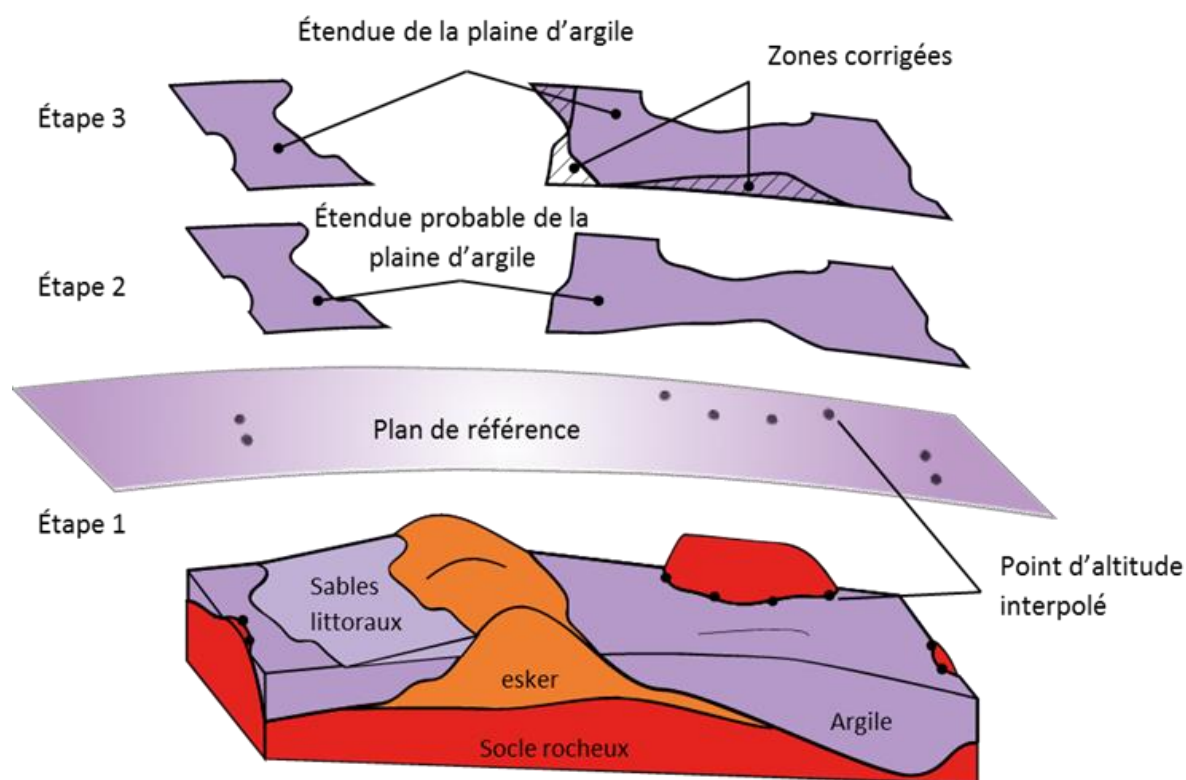
5.3.2 Définition de l'étendue de la plaine d'argile

La stratégie retenue afin de définir un modèle représentatif des particularités propres à la région d'étude et fidèle aux contraintes physiques y étant associées se fonde en premier lieu sur la définition d'une surface de référence permettant de représenter l'altitude maximale atteinte par l'argile sur le territoire à l'étude. Cette altitude permettra de délimiter l'étendue de la plaine d'argile. La méthodologie s'applique en trois principales étapes (Figure 5.3.2.1) :

- 1) Création de la surface de référence par l'interpolation de l'altitude du centroïde correspondant au segment définissant le contact entre l'argile et les unités géologiques exclusivement sous-jacentes telles que le roc et le till (voir section 2.8);
- 2) Identification de l'étendue probable de la plaine d'argile en tronquant la surface définie à l'étape 1 aux endroits où elle est inférieure à l'altitude du MAN (Section 5.1);
- 3) Correction de l'étendue probable de la plaine d'argile en fonction des dépôts de surface cartographiés.

Le résultat découlant des précédentes étapes consiste en une surface (représentant l'étendue de la plaine d'argile) ponctuée d'ouvertures définissant les hauts topographiques de la région.

Figure 5.3.2.1 Stratégies pour délimiter la plaine d'argile



5.3.3 Analyse des données

La figure 5.3.3.1 illustre la relation observée entre l'épaisseur moyenne d'argile identifiée dans les forages, et la distance qui les séparent de la limite de l'étendue de la plaine argileuse telle que préalablement définie (section 5.3.2). Une droite d'équation $y = 0,0082x + 7,4061$ permet de représenter l'épaississement graduel de la couche d'argile avec un coefficient de corrélation $R^2 > 0,94$. Cette droite est définie sur la base des données présentant une distance ≤ 1300 m par rapport à la limite d'étendue de la surface d'argile. Au-delà de ce seuil, la quantité limitée des données de forages prévient l'obtention d'une corrélation jugée robuste. Il est proposé ici que l'épaisseur d'argile, pour chaque unité de surface (100 m x 100 m), se définit par un facteur de l'équation de cette droite. En complément, la figure 5.3.3.2 permet de comparer l'évolution des épaisseurs moyennes d'argile et des épaisseurs moyennes de dépôts meubles calculées à la section 5.2.

Figure 5.3.3.1 Épaisseur moyenne d'argile par rapport à la distance de la limite de l'étendue d'argile

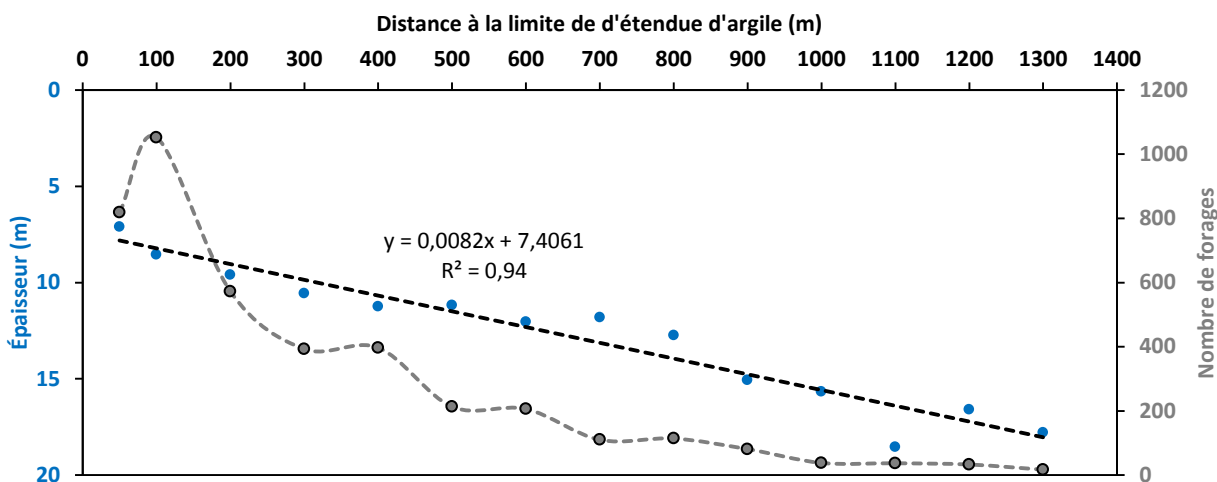
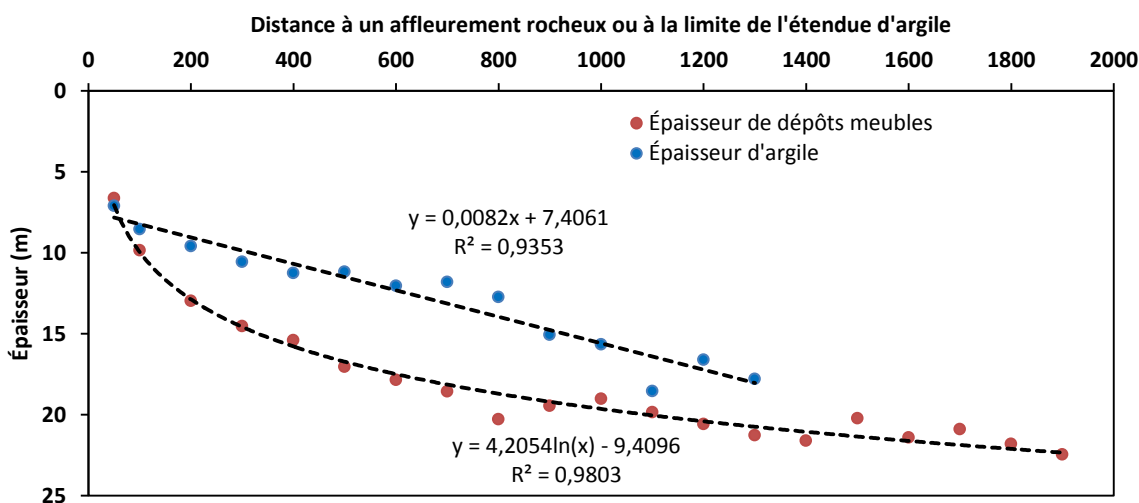


Figure 5.3.3.2 Comparaison des épaisseurs moyennes d'argile et de dépôts meubles



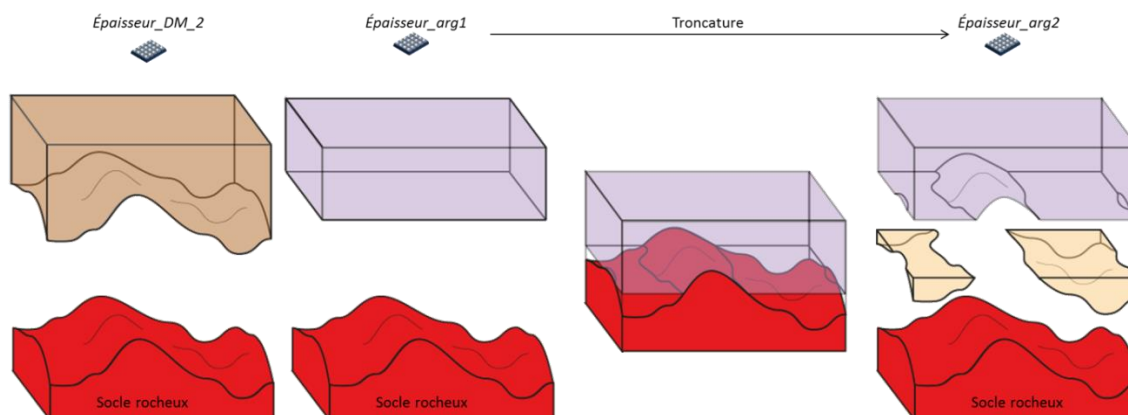
5.3.4 Traitement des données

Les trois premières étapes de traitement des données requises afin d'évaluer l'épaisseur de la couche d'argile sont essentiellement les mêmes que celles retenues pour l'évaluation de l'épaisseur des dépôts meubles (Figure 5.2.3.1) :

1. Évaluation de l'épaisseur moyenne d'argile, sur un maillage de 100 m x 100 m, selon l'équation de la droite de tendance moyenne définie à la figure 5.3.2 ($y = 0,0082 (x) + 7,4061$);
2. Évaluation d'un facteur de multiplication pour chaque maille de 100 m x 100 m à partir d'une comparaison entre le résultat de l'étape 1 et les données de forage (aucune donnée de forage n'est supprimés pour ce qui est de l'évaluation de l'épaisseur d'argile);
3. Évaluation de l'épaisseur d'argile pour chaque maille de 100 m x 100 m du territoire par la multiplication des extrants issus des étapes 1 et 2 (*Épaisseur_arg1*, Figure 5.3.4).

La quatrième étape de traitement consiste en l'application d'une stratégie permettant de tronquer l'unité d'argile aux endroits où son épaisseur modélisée excède celle des dépôts meubles (*Épaisseur_DM_2*, Figure 5.3.4.1). La figure 5.3.4.1 illustre de façon schématisée la stratégie de troncature retenue ici.

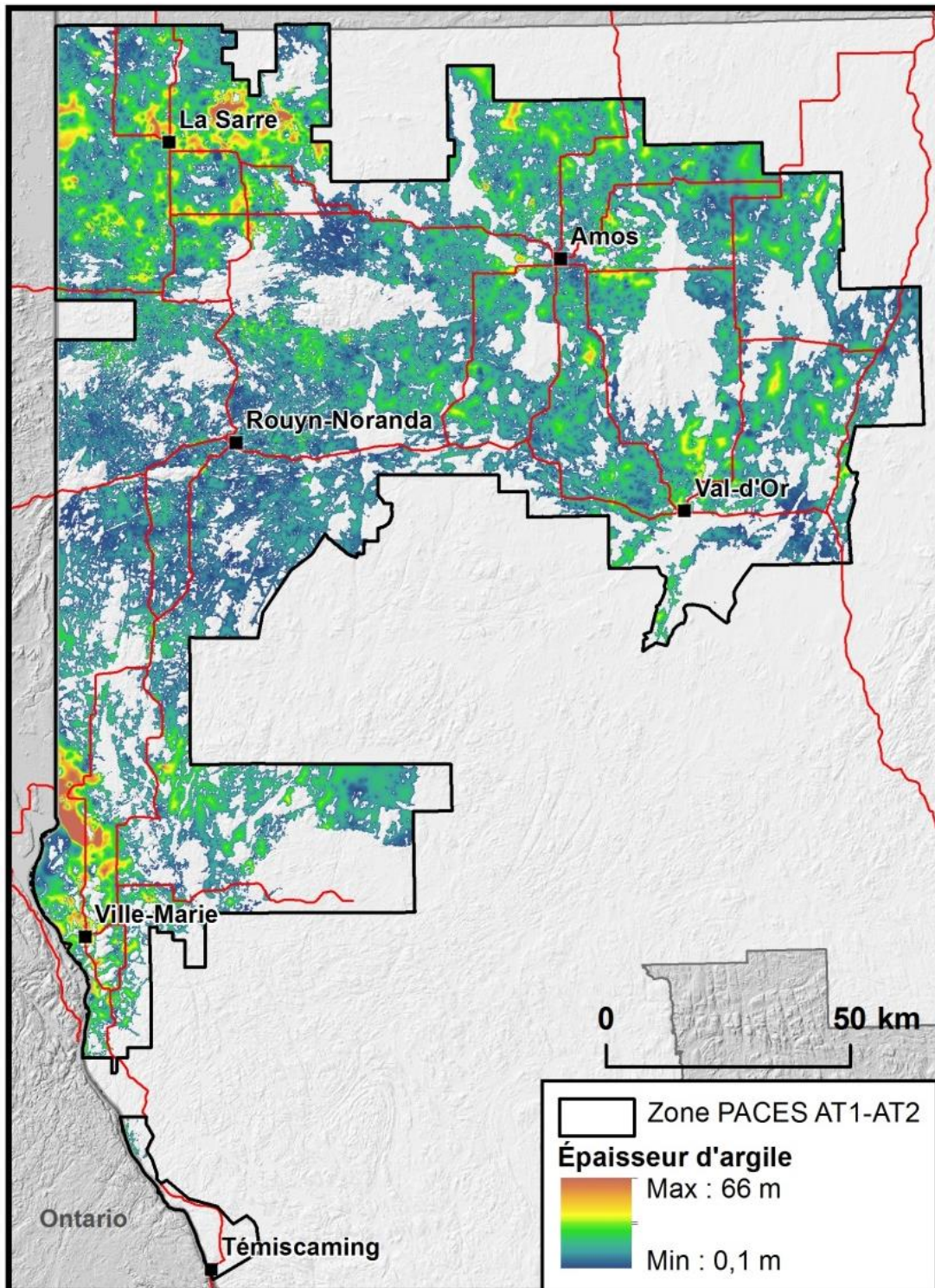
Figure 5.3.4.1 Stratégie de troncature de la couche d'argile sur la base de l'épaisseur totale des dépôts meubles



5.3.5 Portrait régional

La figure 5.3.5.1 illustre l'étendue et la distribution spatiale de l'épaisseur de la couche d'argile pour l'ensemble du territoire municipalisé de l'Abitibi-Témiscamingue. Les données suggèrent une distribution hétérogène de l'unité d'argile dans la région, cette dernière étant ponctuée d'ouvertures engendrées par les affleurements rocheux et les formations fluvioglaciales. Les résultats obtenus ici permettent d'estimer l'épaisseur moyenne de la couche d'argile à 10,8 m, pour un volume régional de près de 52 km³ (pour un volume régional de dépôts meubles estimé à 96 km³). Les secteurs périphériques aux lacs Abitibi et Témiscamingue semblent avoir constitués des zones préférentielles d'accumulation.

Figure 5.3.5.1 Étendue et distribution spatiale de l'épaisseur de la couche d'argile



5.4 Architecture des formations superficielles (Carte 16)

Construite sur un maillage de 100 m x 100 m, la carte de l'architecture des dépôts meubles (Carte 16) illustre la distribution spatiale des principales unités lithostratigraphiques de la région dans l'ordre naturel de leur mise en place, tel que présenté dans la section 2.8. Le tableau 5.4.1 dresse un sommaire des principales sources de données exploitées pour la production de cette carte.

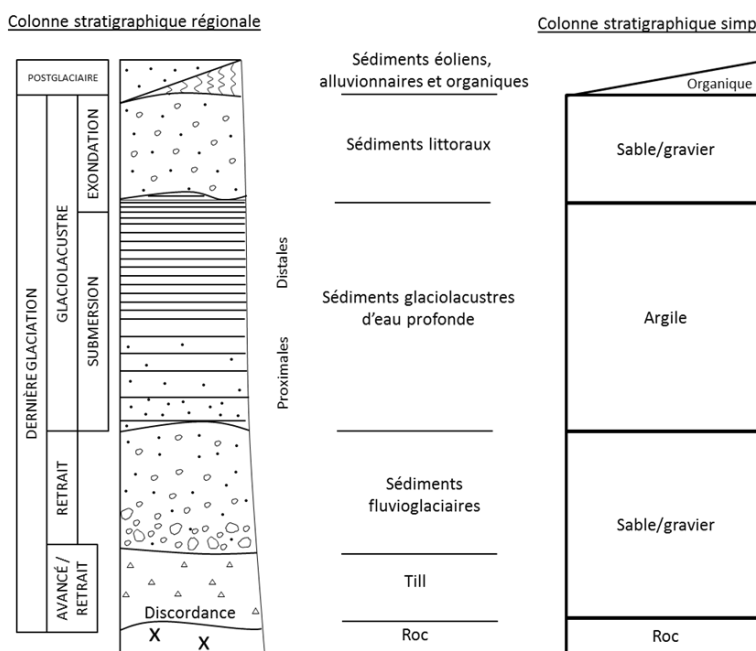
Tableau 5.4.1 Données de base servant à l'attribution d'une séquence stratigraphique à chaque parcelle du territoire

| Données utilisées | Références au présent document | Traitements préliminaires |
|-----------------------------|--------------------------------|---|
| Géologie du Quaternaire | Section 2.8 Carte 8 | L'épaisseur de sédiments granulaires, doit être préalablement calculée en effectuant la différence entre l'épaisseur de dépôts meubles (Épaisseur_DM 2) et l'épaisseur d'argile (Épaisseur_arg2). |
| Épaisseur de dépôts meubles | Section 5.2 | |
| Épaisseur d'argile | Section 5.3 | |

5.4.1 Observations et concepts supportant l'approche d'interprétation retenue

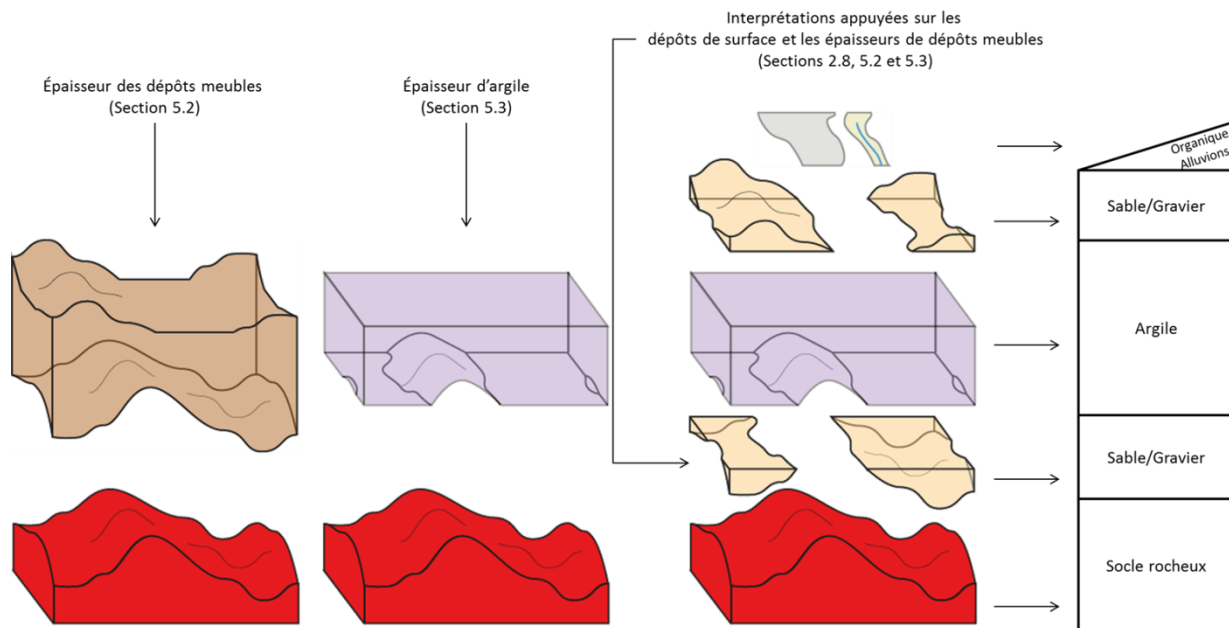
Une simplification est suggérée afin de permettre le regroupement de certaines unités selon leurs caractéristiques granulométriques (Figure 5.4.1.1). En raison du manque de données stratigraphiques fiables, les unités sous-jacentes à l'argile n'ont pas été différenciées. Les dépôts fluvioglaciaires, glaciaires et issus de glaciations anciennes ont tous été regroupés sous la désignation de sédiments granulaires (sable et gravier). Ce regroupement peut toutefois inclure une quantité non négligeable de silt lorsqu'ils sont issus d'épandage sous-aquatique.

Figure 5.4.1.1 Regroupement des unités lithostratigraphiques de la région



En complément à la figure 5.4.1.1, la figure 5.4.1.2 illustre, de façon conceptuelle, comment les différentes unités lithostratigraphiques de la région sont susceptibles d'être agencées.

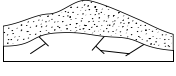

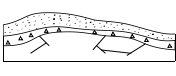
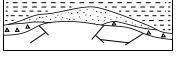
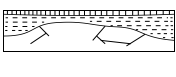

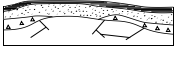
Figure 5.4.1.2 Schéma conceptuel illustrant l'architecture des unités lithostratigraphiques de la région



5.4.2 Traitement des données et portrait régional

À l'aide des couches d'informations rapportées au tableau 5.4.1, une séquence stratigraphique a été attribuée pour chaque parcelle de territoire sur un maillage de 100 m x 100 m. Les requêtes relatives aux manipulations effectuées afin de définir les séquences stratigraphiques sont présentées dans le tableau 5.4.2.1. Les manipulations consistent en des sélections spatiales qui permettent l'extraction des cellules de 100 m x 100 m répondant aux requêtes définies. Un numéro de séquence est attribué pour chacune des configurations possibles ($n = 15$ dans le cas présent). Aucune séquence n'est définie pour les étendues d'eau. La carte 16, dont la légende correspond aux descriptions fournies au tableau 5.4.2.1, illustre la distribution spatiale des différentes séquences au niveau du territoire à l'étude. Le patron de distribution spatiale des séquences suit les descriptions proposées à la section 2.8, en lien avec les unités géologiques observées en surface, lesquelles figurent également au tableau 5.4.2.1.

Tableau 5.4.2.1 Stratégie d'attribution d'une séquence stratigraphique à chaque parcelle du territoire

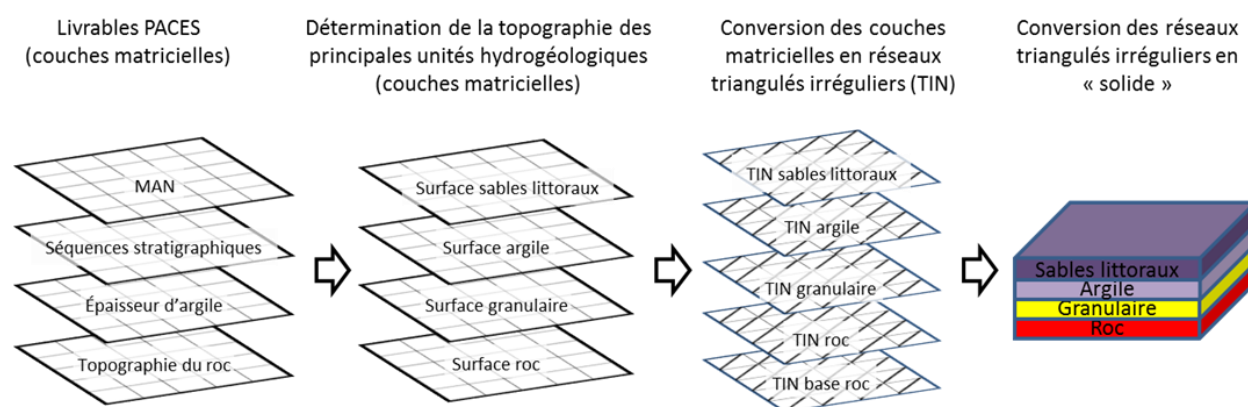
| Séquence | Conditions dictant l'attribution d'un code de séquence | | | | Modèle conceptuel | | Évaluation de la couverture territoriale (%) |
|----------|---|---|---------------------------------------|---|--|---|--|
| | Dépôts observés en surface (Section 2.8; Carte 8) | Épaisseur de dépôts meubles (EDM) (Section 5.2) | Épaisseur d'argile (EA) (Section 5.3) | Épaisseur de sédiments granulaires (EDG = EDM - EA) | Description | Schéma | |
| 1 | Roc (R); Till discontinu (Tm) | A.C. | A.C. | A.C. | Roc affleurant ou recouvert d'une mince couche de till discontinu d'une épaisseur inférieure à 1 m. |  | 26,4 |
| 2 | Till continu (Tc) | A.C. | A.C. | A.C. | Till continu d'une épaisseur moyenne supérieure à 1 m. |  | 6,5 |
| 3 | Esker (Gx); Moraine (Gxi); Granulaire indifférencié (G) | A.C. | A.C. | A.C. | Sable, gravier, caillou et bloc formant des eskers et moraines de cinq à plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur. |  | 3,0 |
| 4 | Argile (LGa) | A.C. | A.C. | > 0 m | Rythmites d'argile et de silt (varves) pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur et recouvrant des sédiments fluvioglaciers (sables, sable silteux et gravier) et/ou une couche de till. |  | 25,8 |
| 5 | Argile (LGa) | A.C. | A.C. | = 0 m | Rythmites d'argile et de silt (varves) pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur. |  | 19,1 |
| 6 | Sables littoraux (LGb); Sables deltaïques (LGd); Sables d'épandage subaérien (Go) | A.C. | > 0 m | ≥ 5 m | Sédiments sublittoraux et de plages, deltaïques 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 fluvioglaciers (sable, sable silteux et gravier) et/ou une couche de till. |  | 0,8 |
| 7 | Sables littoraux (LGb); Sables deltaïques (LGd); Sables d'épandage subaérien (Go) | A.C. | > 0 m | < 5 m | Sédiments sublittoraux et de plages, deltaïques 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. |  | 1,9 |
| 8 | Sables littoraux (LGb); Sables deltaïques (LGd); Sables d'épandage subaérien (Go) | A.C. | = 0 m | > 0 m | Sédiments sublittoraux et de plages, deltaïques ou éoliens (sable, sable silteux et gravier) pouvant atteindre quelques dizaines de mètres d'épaisseur et surmontant une couche de till. |  | 3,4 |
| 9 | Tourbières (O) | > 0 m | > 0 m | > 0 m | 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 fluvioglaciers (sable, sable silteux et gravier) et/ou une couche de till. |  | 5,6 |
| 10 | Tourbières (O) | > 0 m | > 0 m | = 0 m | 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. |  | 2,3 |
| 11 | Tourbières (O) | ≥ 5 m | = 0 m | A.C. | 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/ou une couche de till. |  | 1,7 |
| 12 | Tourbières (O) | < 5 m | = 0 m | A.C. | Tourbe pouvant atteindre 5 m d'épaisseur |  | 1,6 |
| 13 | Alluvions (A) | > 0 m | > 0 m | > 0 m | Alluvions recouvrant des rythmites d'argile et de silt (varves) pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, des sédiments fluvioglaciers (sable, sable silteux et gravier) et/ou une couche de till. |  | 1,0 |
| 14 | Alluvions (A) | > 0 m | > 0 m | = 0 m | Alluvions recouvrant des rythmites d'argile et de silt (varves) pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur. |  | 0,5 |
| 15 | Alluvions (A) | A.C. | = 0 m | A.C. | Alluvions 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. |  | 0,3 |

A.C. : aucune condition applicable.

5.5. Modèle géologique régional

L'approche retenue pour l'établissement d'un modèle géologique régional a consisté en l'incorporation des couches matricielles représentatives des contextes géologiques de la région au sein de l'interface GMS 9.2 (Aquaveo, LLC). Cette approche permet (1) la représentation de l'architecture des formations géologiques au sein d'un environnement tridimensionnel, (2) la création de coupes géologiques sur l'ensemble du territoire modélisé et (3) l'obtention d'un modèle pouvant servir de base en support à la réalisation de modélisations hydrogéologiques. La figure 5.5.1 dresse un sommaire des couches de données matricielles utilisées et de l'approche retenue afin de convertir ces dernières en un modèle géologique régional.

Figure 5.5.1 Sources et traitements des données associées à la production du modèle géologique



5.5.1 Modèles géologiques à l'échelle locale

Le modèle géologique, créé suivant la procédure décrite à la figure 5.5.1, couvre la totalité des territoires correspondant aux PACES-AT1 et PACES-AT2. Ce modèle est fourni à l'annexe 5.5.1 (en version numérique). Néanmoins, afin de privilégier les descriptions spécifiques et des représentations visuelles liées aux particularités géologiques du territoire, six secteurs ont été retenus pour la production de planches illustrant des sous-ensembles propres au modèle géologique régional (Figure 5.5.1.1). Le tableau 5.5.1.1 fournit un sommaire des observations relatives aux six planches.

Figure 5.5.1.1 Plan de localisation des secteurs retenus pour l'illustration du modèle géologique tridimensionnel

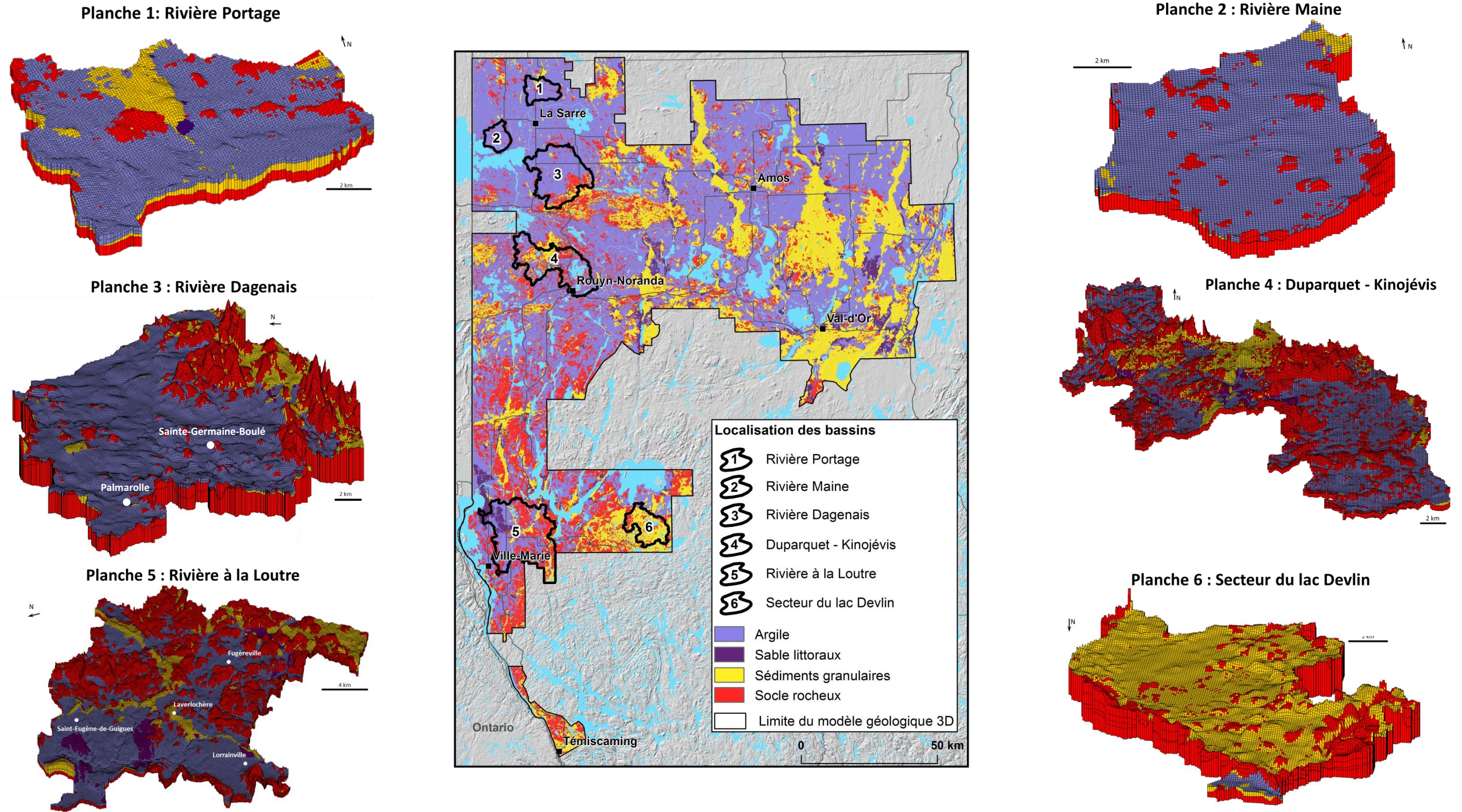


Tableau 5.5.1.1 Description des planches associées au modèle géologique (partie 1 de 2; Planches 1 à 3)

| Appellation | Justification (choix) | Données géologiques de terrain acquises dans le cadre de la présente étude | | Observations relatives au cadre géologique ¹ | | | | | |
|-------------|-----------------------|--|---|--|---|--|---|--|---|
| | | Types de travaux | Référence au rapport | Géologie du socle rocheux et discontinuités structurales (Encadré A-1) | Formations superficielles (Encadré A-2) | Épaisseur des dépôts meubles et de l'argile (Encadré A-3-4) | Modèle altimétrique numérique (Encadré B) | Hydrographie (Encadré B) | |
| Planche 1 | Rivière Portage | Bassin versant incorporant la partie sud du principal segment d'esker de l'Abitibi-Ouest en termes de superficie apparente à la surface. | Acquisition de données topographiques | Sections 3.1 et 4.1 | Une faille d'orientation NO-SE recoupe le bassin en entier ①, séparant des roches volcaniques (au nord) et des roches (méta-) sédimentaires au sud. Des lambeaux de roches intrusives sont observés au nord de la faille, ces derniers correspondant au principal affleurement rocheux identifiable sur le modèle géologique tridimensionnel. | Une formation fluvioglaciale est observée dans la portion nord du bassin ②. Il s'agit d'une partie du plus vaste segment d'esker de l'Abitibi-Ouest. Des complexes tourbeux sont développés de part et d'autre de l'esker et hébergent la portion amont du réseau hydrographique. Une bande d'affleurement rocheux parallèle à la faille est observée dans la portion est du bassin ③. Dans la portion sud du bassin, l'esker serait vraisemblablement enfoui sous une couche d'argile ④. | Les épaisseurs de dépôts meubles dans le bassin modélisé atteignent jusqu'à 50 m. Les plus importantes accumulations correspondent à la zone localisée au sud de la faille. Au nord, l'élévation supérieure du socle rocheux semble limiter l'accumulation de dépôts argileux ⑤. | La topographie de surface varie entre 270 et 320 m d'altitude au niveau du bassin modélisé. Les secteurs les plus élevés correspondent à des affleurements rocheux et aux dépôts fluvioglaciaux localisés dans la portion nord du bassin. | La rivière Portage, principal cours d'eau du bassin modélisé, s'écoule vers la rivière La Sarre et suit un tracé correspondant à celui de la faille qui recoupe le bassin dans l'axe NO-SE ①. Plusieurs tributaires de la rivière Portage semblent se développer depuis les complexes tourbeux localisés sur les flancs de l'esker observée dans la portion nord du bassin. |
| | | | Acquisition de données radar | Sections 3.2 et 4.2; Profils (G1 et G5) | | | | | |
| | | | Forage et échantillonnage des matériaux granulaires | Sections 3.5 et 4.5 | | | | | |
| | | | Analyses granulométriques | Sections 3.12 et 4.12 | | | | | |
| Planche 2 | Rivière Maine | Bassin versant illustrant le patron typique de la plaine argileuse ponctuée d'affleurements rocheux au niveau de l'Abitibi-Ouest. | Acquisition de données topographiques | Sections 3.1 et 4.1 | Le bassin est essentiellement composé de roches intrusives/plutoniques et métamorphiques. Un réseau de dykes est observé dans la portion est du bassin. | La vaste majorité du bassin est occupée par les dépôts argileux ①, ces derniers étant ponctués d'affleurements rocheux. Le principal secteur d'affleurements rocheux correspond au secteur est du bassin ②, alors qu'une formation fluvioglaciale (esker) est observée dans la portion nord de la zone d'étude ③. Ces deux entités correspondent aux limites du bassin modélisé. Un vaste complexe tourbeux occupe la portion aval du bassin ④, probablement en raison de la présence de dépôts argileux favorables au maintien de conditions humides. | Les dépôts meubles atteignent une épaisseur maximale de 25 m au niveau du bassin modélisé. Le secteur le plus profond correspond à une dépression observée dans la portion est du bassin. Les données suggèrent la présence de dépôts granulaires sous-jacents à l'argile dans ce secteur ⑤. | La topographie de surface varie entre 265 et 310 m d'altitude au niveau du bassin modélisé. Les altitudes les plus élevées correspondent aux affleurements rocheux et aux dépôts fluvioglaciaux localisés dans les portions nord et est du bassin. | La rivière Maine, principal cours d'eau du bassin modélisé, suit un parcours d'orientation EO, depuis les affleurements rocheux observés à l'extrémité est du bassin ②, jusqu'au lac Abitibi. |
| | | | Acquisition de données radar | Sections 3.2 et 4.2; Profils (G7) | | | | | |
| | | | Acquisition de données de résistivité électrique | Sections 3.4 et 4.4; Profils (R3) | | | | | |
| Planche 3 | Rivière Dagenais | Bassin versant illustrant la transition entre les secteurs d'affleurements rocheux et la plaine argileuse à l'est du lac Abitibi | Acquisition de données topographiques | Sections 3.1 et 4.1 | Le bassin est dominé par des roches intrusives, alors qu'une bande de roches volcaniques occupe son extrémité SE. | La portion sud du bassin versant (secteur occupé par des roches volcaniques) se caractérise par la présence d'affleurements rocheux ① partiellement recouverts de till et de dépôts fluvioglaciaux ②. Cette zone d'affleurement constitue la limite méridionale du bassin modélisé ③. Les dépôts argileux recouvrent la majeure partie du NO du bassin ④ où les affleurements rocheux sont plus épars. | Les dépôts meubles atteignent une épaisseur maximale de 40 m au niveau du bassin modélisé. Le secteur le plus profond correspond à une dépression suivant le tracé de la rivière Dagenais ④. Les données suggèrent la présence de dépôts granulaires sous-jacents à l'argile au niveau de certaines dépressions du socle rocheux dans ce secteur ⑤. | La topographie de surface varie entre 265 et 410 m d'altitude au niveau du bassin modélisé. Les altitudes les plus élevées correspondent aux affleurements rocheux délimitant la portion SE du bassin. | La rivière Dagenais, principal cours d'eau du bassin modélisé, suit un parcours d'orientation SE-NO, depuis les affleurements rocheux observés à l'extrémité SE du bassin ① ③ ②, jusqu'au lac Abitibi. |
| | | | Acquisition de données radar | Sections 3.2 et 4.2; Profils (G8) | | | | | |
| | | | Acquisition de données de résistivité électrique | Sections 3.4 et 4.4; Profils (R6 et R8) | | | | | |

¹ Les chiffres encadrés (p. ex. : ①; ②; ③; ④; ⑤) correspondent à des secteurs identifiés sur les planches associées à la description.

Tableau 5.5.1.1 (Suite) Description des planches associées au modèle géologique (partie 2 de 2; Planches 4 à 6)

| Appellation | Justification (choix du secteur de modélisation) | Données géologiques de terrain acquises dans le cadre de la présente étude | | Observations relatives au cadre géologique ¹ | | | | | |
|-------------|--|---|---|--|---|--|---|---|---|
| | | Types de travaux | Référence au rapport | Géologie du socle rocheux et discontinuités structurales (Encadré A-1) | Formations superficielles (Encadré A-2) | Épaisseur des dépôts meubles et de l'argile (Encadré A-3-4) | Modèle altimétrique numérique (Encadré B) | Hydrographie (Encadré B) | |
| Planche 4 | Secteur Duparquet-Kinojévis | Secteur illustrant la limite entre les bassins versants de la Baie James (au nord) et du Saint-Laurent (au sud) sur le territoire de la ville de Rouyn-Noranda. | Acquisition de données topographiques | Sections 3.1 et 4.1 | Le secteur modélisé est dominé par une alternance de roches volcaniques et intrusives. Les secteurs correspondant à des roches volcaniques présentent une densité élevée de failles principalement orientées selon un axe NE-SO. Ces failles et l'alternance des unités géologiques pourraient expliquer le profil erratique caractéristique du socle rocheux dans cette portion du territoire ①. | La portion centrale du secteur modélisé est dominée par une alternance d'affleurements rocheux et de dépôts granulaires. L'esker localisé au centre-nord du modèle ② correspond à la position de la ligne de partage des eaux entre les bassins de la Baie-James (vers le NO) et du Saint-Laurent (vers le SE). Les dépôts argileux sont limités aux zones de faible altitude, notamment en périphérie des éléments du réseau hydrographique ③. | Les dépôts meubles atteignent une épaisseur maximale de 55 m au niveau du secteur modélisé. Le secteur associé à ces épaisseurs correspond à la position de l'esker ② situé au niveau de la ligne de partage des eaux. Les données suggèrent la présence de dépôts granulaires sous-jacents à l'argile au niveau de certaines dépressions du socle rocheux, notamment dans la portion est du secteur modélisé ④. | La topographie de surface varie entre 270 et 450 m d'altitude au niveau du secteur modélisé. La crête de l'esker observé au centre-nord du territoire ainsi que les secteurs d'affleurements rocheux localisés plus au sud définissent la ligne de partage des eaux continentale. Les points les plus élevés du secteur sont néanmoins observés au niveau de zones d'affleurements rocheux localisées de part et d'autre de la ligne de partage des eaux ⑤. | Les principaux cours d'eau du secteur modélisé prennent leur source en périphérie de la ligne de partage des eaux continentale et s'écoulent vers les exutoires constitués par le lac Duparquet (au nord, bassin versant de la Baie James) et la rivière Kinojévis (au sud, bassin versant du Saint-Laurent). |
| | | | Forage et échantillonnage des matériaux granulaires | Sections 3.5 et 4.5 | | | | | |
| | | | Analyses granulométriques | Sections 3.12 et 4.12 | | | | | |
| Planche 5 | Rivière à la Loutre | Secteur illustrant la configuration de l'un des principaux bassins versants du Témiscamingue. L'exutoire du bassin modélisé correspond au lac Témiscamingue. | Acquisition de données topographiques | Sections 3.1 et 4.1 | Le bassin modélisé est caractérisé par une alternance de roches sédimentaires, volcaniques et intrusives. | La portion est du bassin modélisé présente une densité élevée d'affleurements rocheux, dont certains correspondent à des roches mafiques ①. De minces dépôts glaciaires ② sont associés aux affleurements rocheux définissant la limite est du bassin. La Moraine de Laverlochère ③ constitue une des principales formations granulaires du secteur. Les dépôts argileux occupent les secteurs de faible altitude ④, notamment en périphérie des principaux éléments du réseau hydrographique. | Les dépôts meubles atteignent une épaisseur maximale de 75 m au niveau du secteur modélisé. L'épaisseur des dépôts augmente de l'amont vers l'aval du bassin. Le secteur associé aux plus importantes accumulations d'argile correspond à la zone aval du bassin ④, où les roches sédimentaires sont observées et où l'argile repose directement sur le roc. Les données suggèrent la présence de dépôts granulaires sous-jacents à l'argile au niveau de certaines dépressions restreintes du socle rocheux. | La topographie de surface varie entre 180 et 330 m d'altitude au niveau du bassin modélisé. Les altitudes les plus élevées correspondent aux affleurements rocheux localisés au SE du bassin. L'altitude de l'exutoire du bassin versant correspond à celle du lac Témiscamingue de 180 m. | La rivière à la Loutre, principal cours d'eau du bassin modélisé, suit un parcours d'orientation SE-NO, depuis les affleurements rocheux observés à l'extrémité est du bassin ① et ②, jusqu'au lac Témiscamingue. |
| | | | Acquisition de données de résistivité électrique | Sections 3.4 et 4.4; Profils (R11 et R13) | | | | | |
| Planche 6 | Secteur du lac Devlin | Secteur illustrant la configuration des dépôts meubles en périphérie de la Moraine d'Harricana, dans la portion SE du territoire d'étude, au Témiscamingue. | Acquisition de données topographiques | Sections 3.1 et 4.1 | Le bassin modélisé est caractérisé par une alternance de roches volcaniques, métamorphiques et intrusives. Une faille traverse la portion ouest du bassin modélisé selon un axe d'orientation approximative NS ①. | La portion SE du bassin modélisé est dominée par les dépôts granulaires associés à la Moraine d'Harricana ②. De vastes complexes tourbeux sont développés sur le flanc de cette formation. La portion NO du bassin est dominée par des dépôts glaciaires ③, alors que les affleurements rocheux y sont épars. La présence d'argile est limitée à la portion aval du bassin ④, à proximité immédiate du lac Simard. | Les dépôts meubles atteignent une épaisseur maximale de 30 m au niveau du secteur modélisé. Le secteur où les accumulations de dépôts sont les plus importantes correspond à la zone occupée par la Moraine d'Harricana. | La topographie de surface varie entre 270 et 330 m d'altitude au niveau du bassin modélisé. Les altitudes les plus élevées correspondent à des dépôts glaciaires (till) localisés au SO du bassin. L'altitude de l'exutoire du bassin versant correspond à celle du lac Simard. La faille d'orientation NS observée dans la portion ouest du bassin correspond à une incision prononcée identifiable sur le MAN ①. | Les principaux cours d'eau du secteur modélisé prennent leur source en périphérie de la Moraine d'Harricana et s'écoulent vers l'exutoire constitué par le lac Simard. |
| | | | Acquisition de données radar | Sections 3.2 et 4.2; Profils (G11) | | | | | |
| | | | Forage et échantillonnage des matériaux granulaires | Sections 3.5 et 4.5 | | | | | |
| | | | Analyses granulométriques | Sections 3.12 et 4.12 | | | | | |

¹ Les chiffres encadrés (p. ex. : ①; ②; ③; ④; ⑤) correspondent à des secteurs identifiés sur les planches associées à la description.

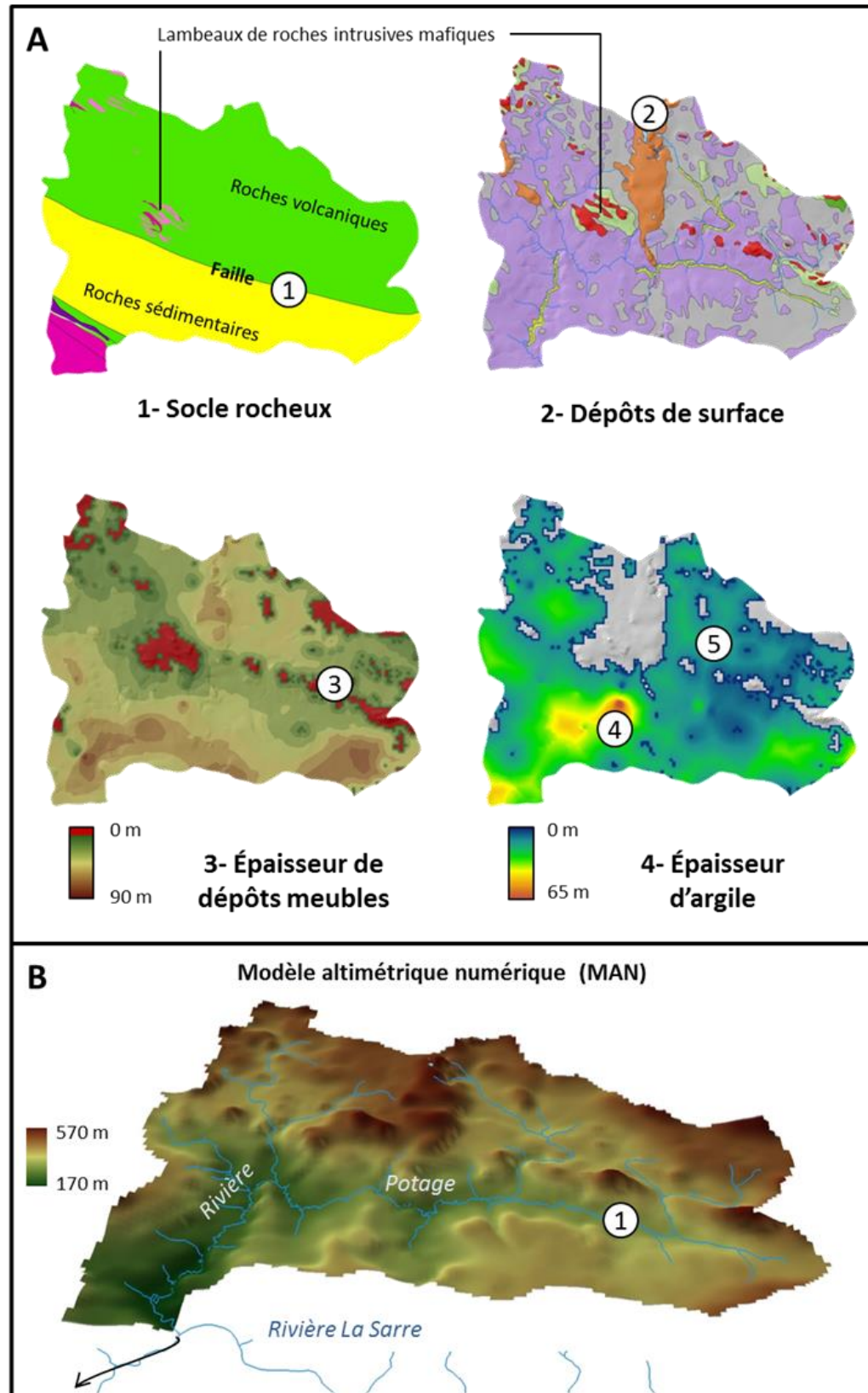
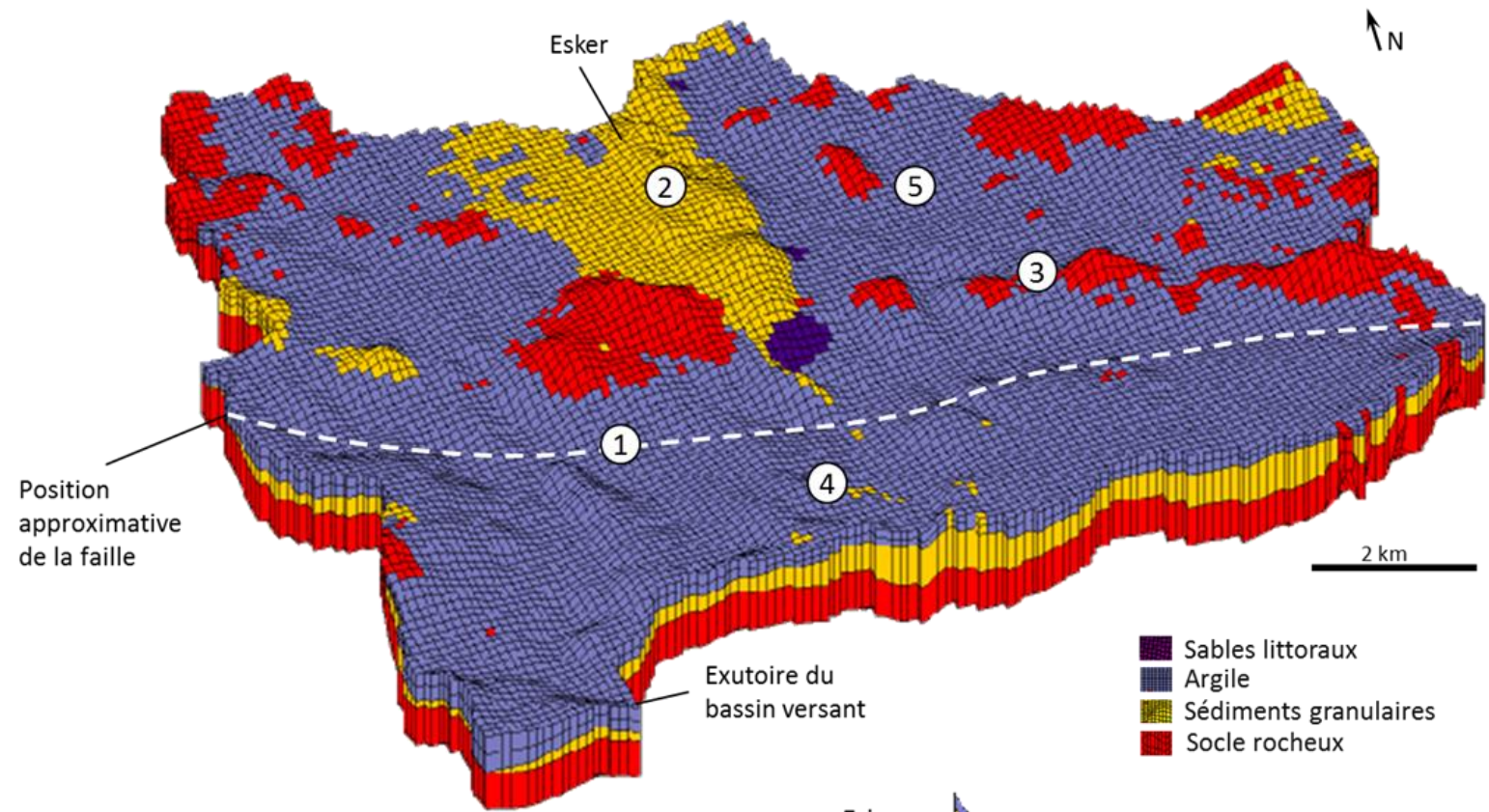
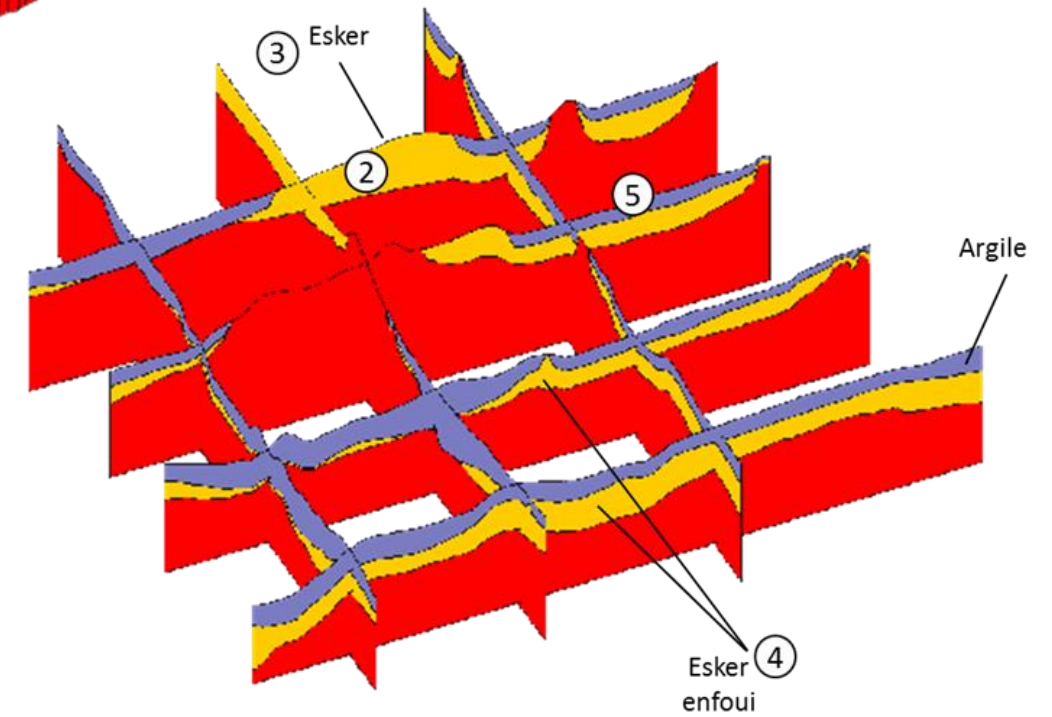


Planche 1 : Rivière Portage



- ① La présence de la faille crée une dépression topographique qui semble orienter le tracé de la rivière Portage.
- ② Un vaste segment d'esker occupe la portion centrale du bassin.
- ③ Une bande d'affleurements rocheux est observable le long du flanc nord de la faille.
- ④ Au sud de la faille, la rupture de pente engendrée par la discontinuité structurale aurait vraisemblablement favorisée l'accumulation d'argile, masquant en grande partie le prolongement de l'esker vers le sud (segment d'esker enfoui).
- ⑤ L'élévation supérieure du socle rocheux du côté nord de cette discontinuité structurale semble y avoir limité l'accumulation de dépôts argileux.



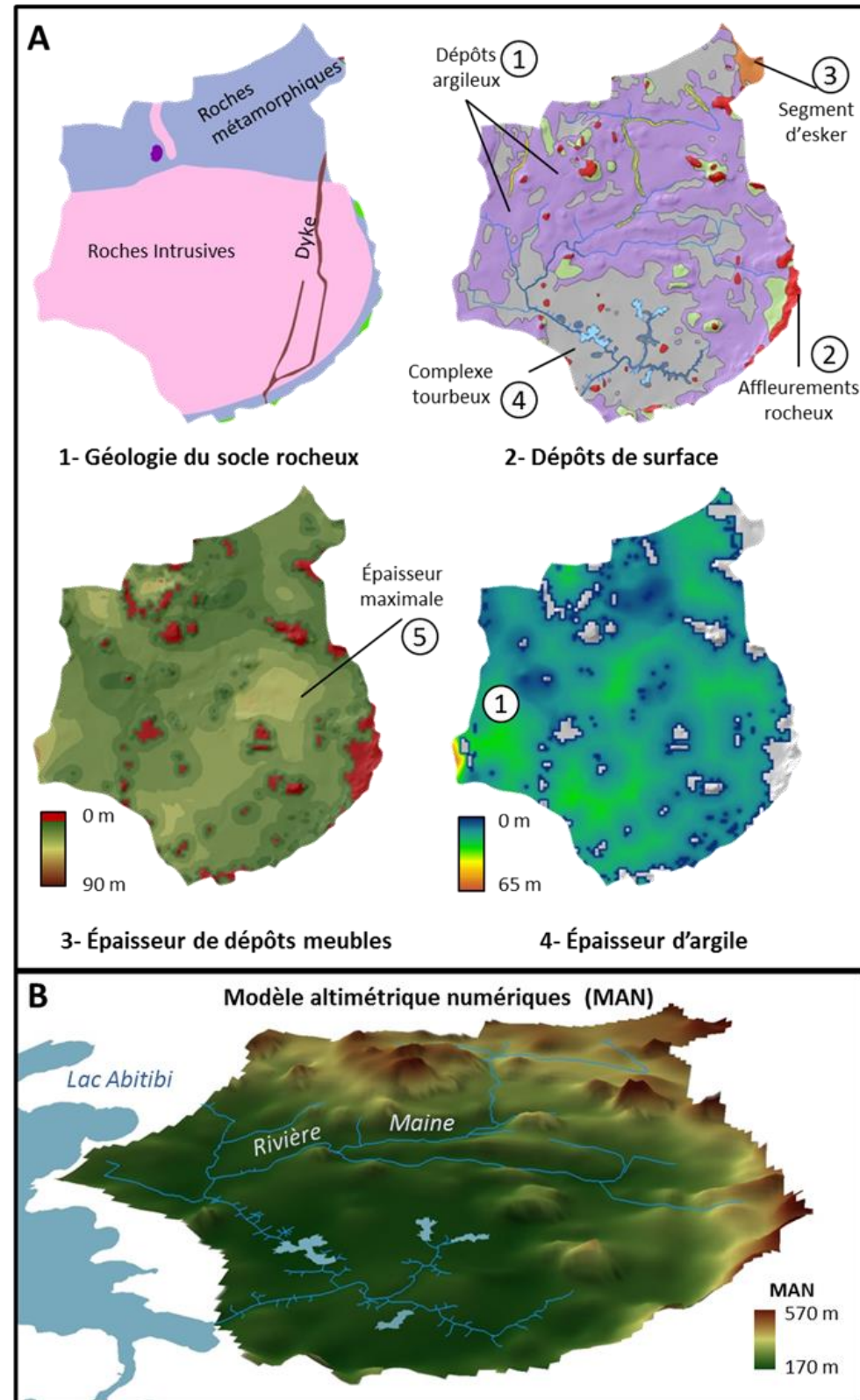
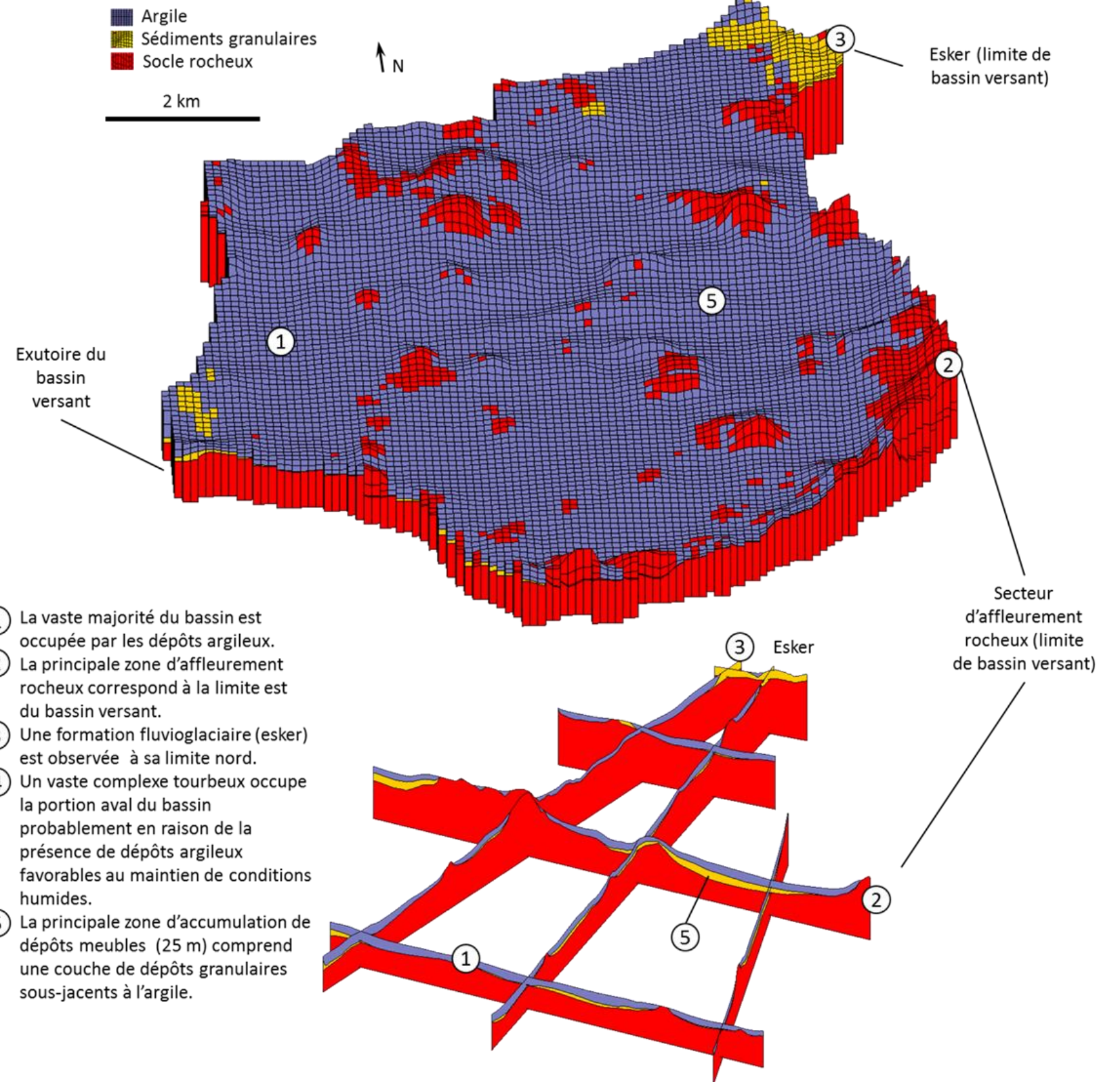


Planche 2 : Rivière Maine



- ① La vaste majorité du bassin est occupée par les dépôts argileux.
- ② La principale zone d'affleurement rocheux correspond à la limite est du bassin versant.
- ③ Une formation fluvioglaciale (esker) est observée à sa limite nord.
- ④ Un vaste complexe tourbeux occupe la portion aval du bassin probablement en raison de la présence de dépôts argileux favorables au maintien de conditions humides.
- ⑤ La principale zone d'accumulation de dépôts meubles (25 m) comprend une couche de dépôts granulaires sous-jacents à l'argile.

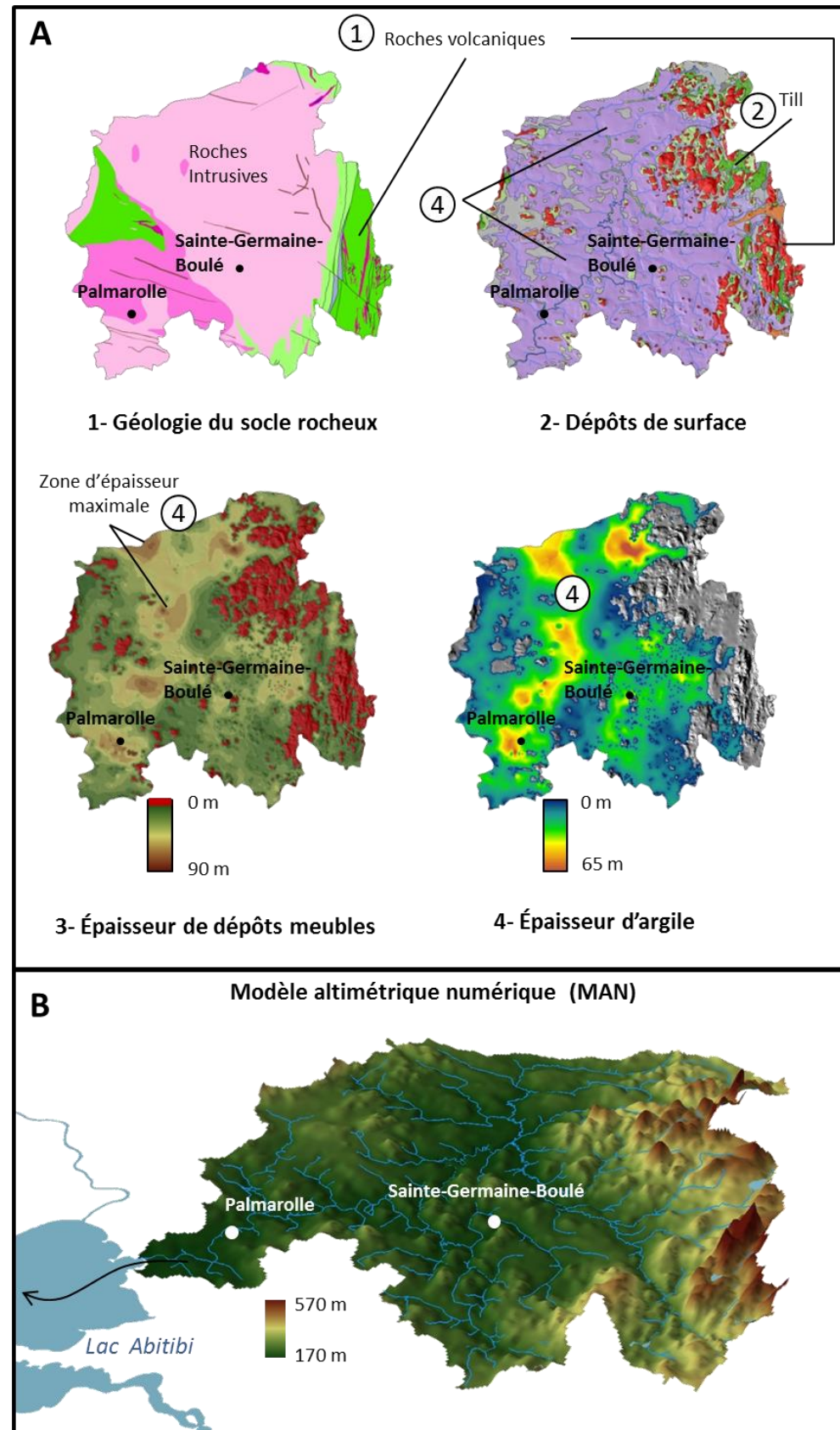


Planche 3 : Rivière Dagenais

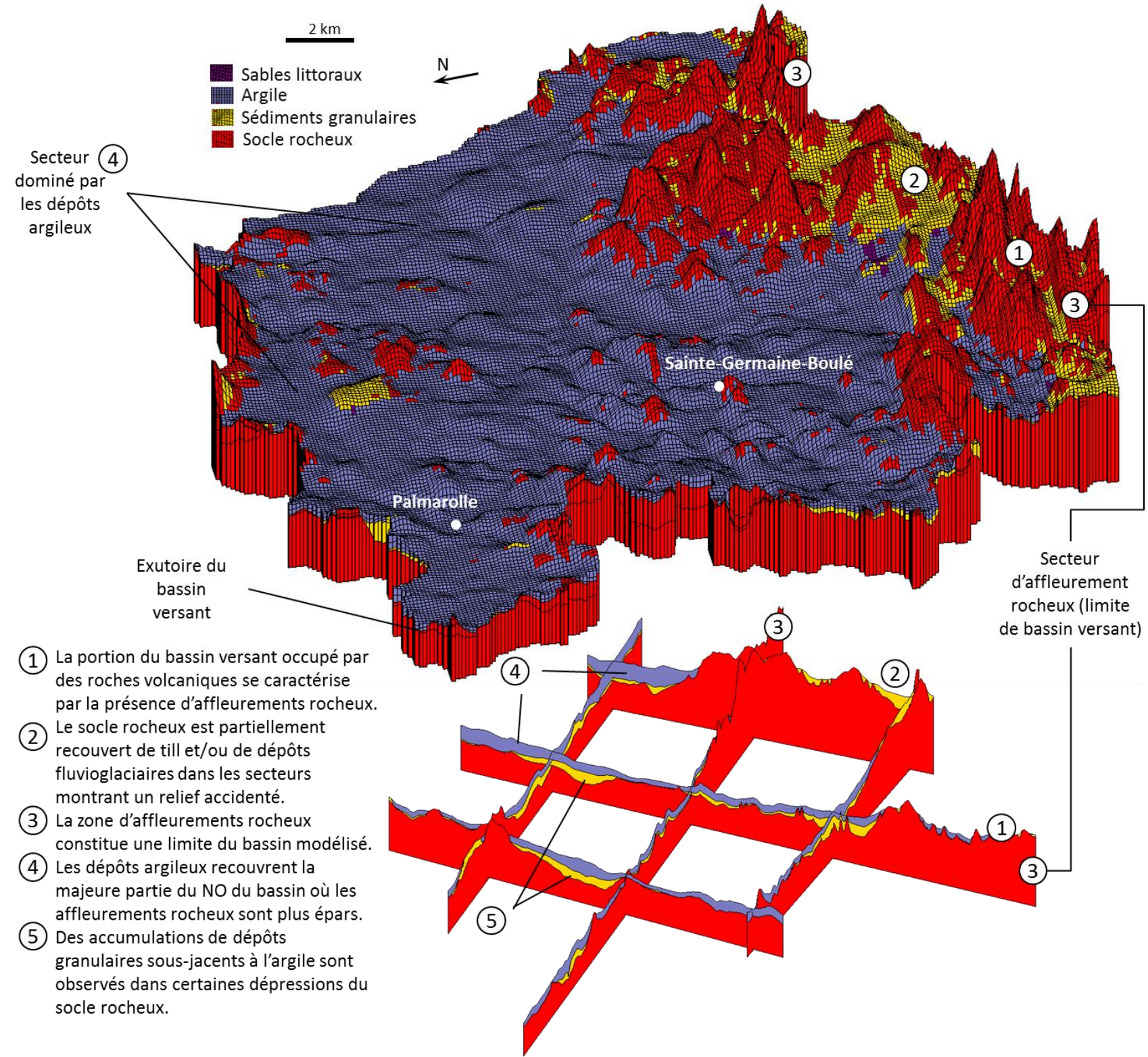
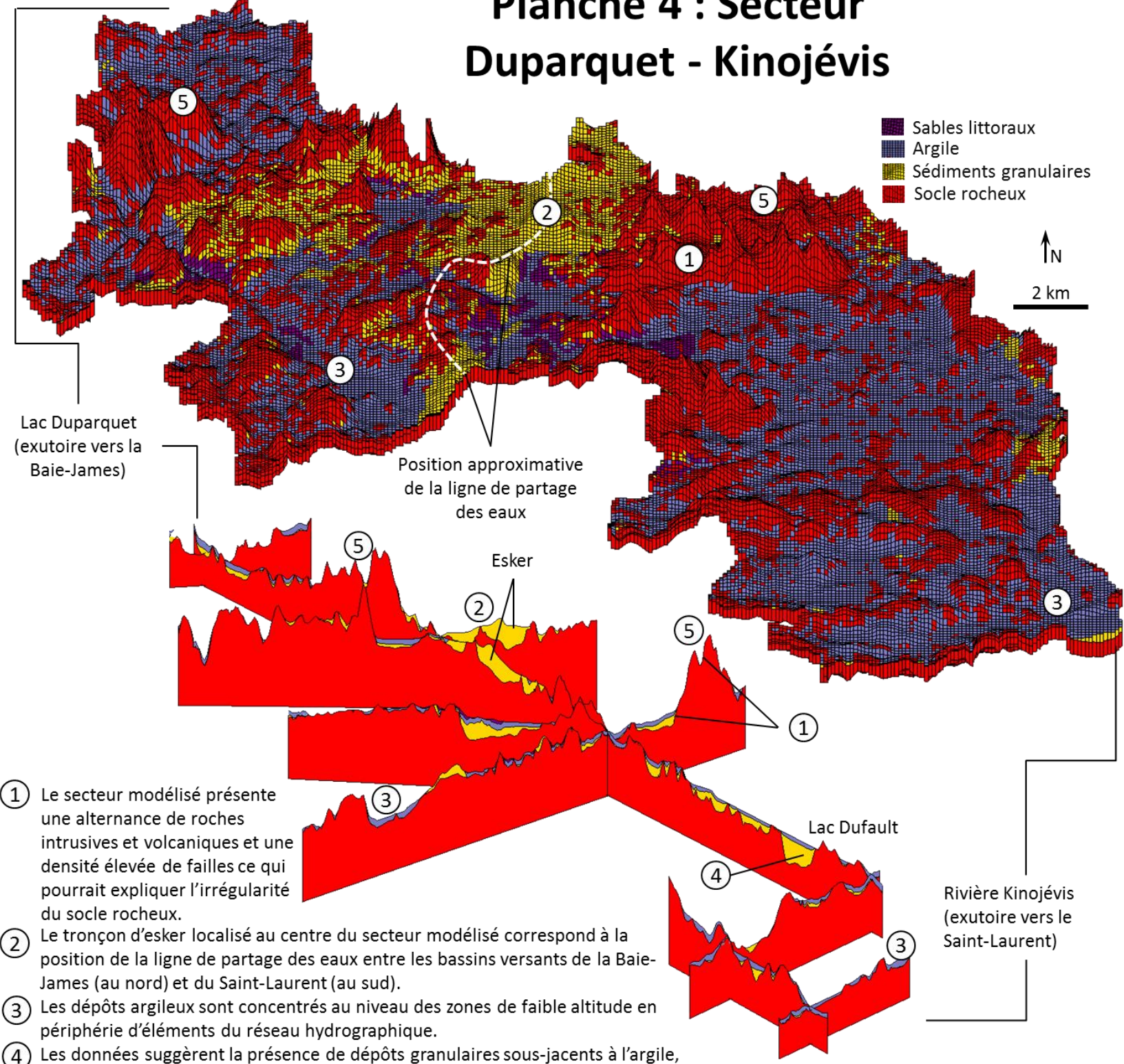
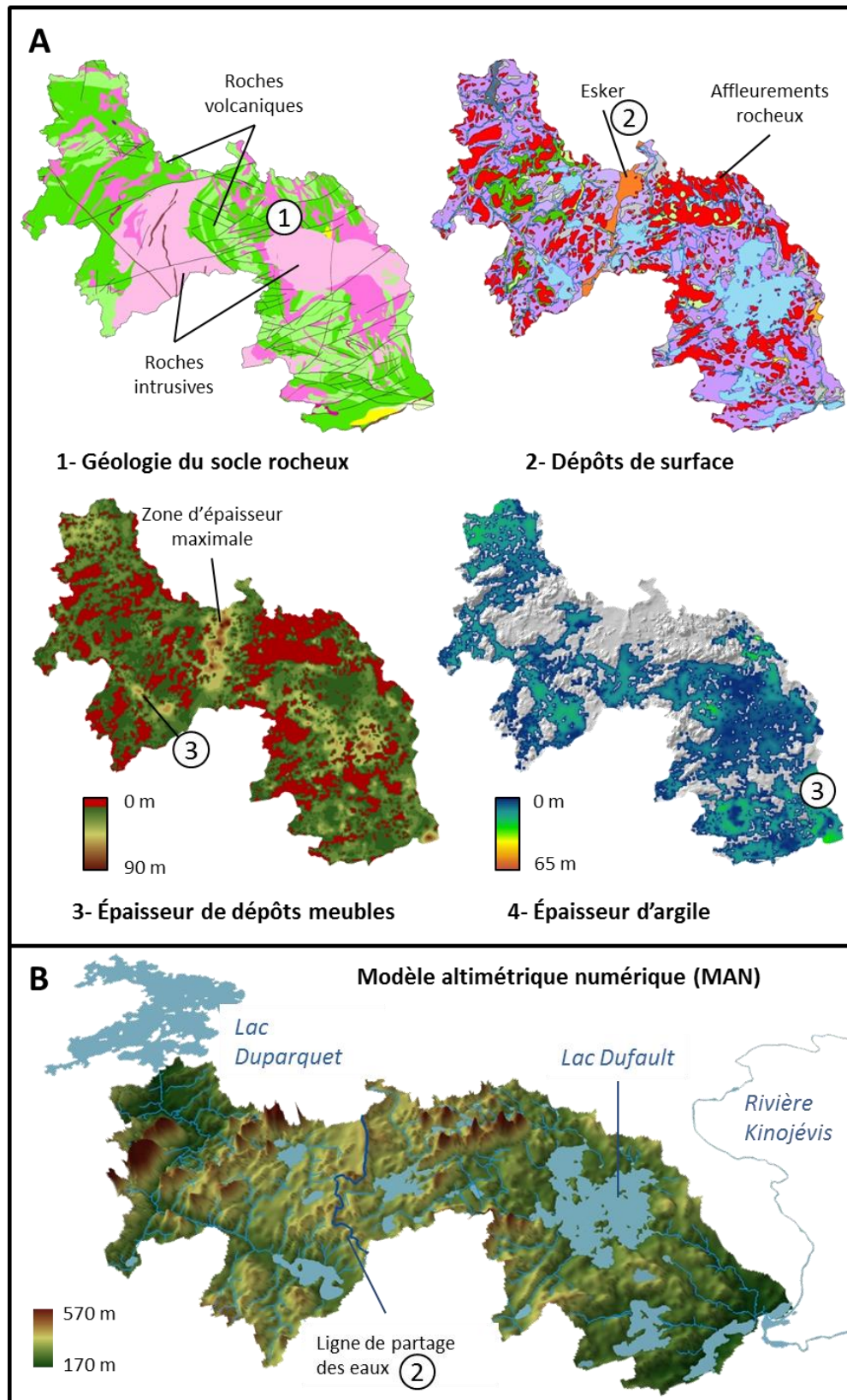


Planche 4 : Secteur Duparquet - Kinojévis



- ① Le secteur modélisé présente une alternance de roches intrusives et volcaniques et une densité élevée de failles ce qui pourrait expliquer l'irrégularité du socle rocheux.
- ② Le tronçon d'esker localisé au centre du secteur modélisé correspond à la position de la ligne de partage des eaux entre les bassins versants de la Baie-James (au nord) et du Saint-Laurent (au sud).
- ③ Les dépôts argileux sont concentrés au niveau des zones de faible altitude en périphérie d'éléments du réseau hydrographique.
- ④ Les données suggèrent la présence de dépôts granulaires sous-jacents à l'argile, notamment dans la portion est du secteur.
- ⑤ Les principaux points hauts de ce secteur correspondent à des affleurements rocheux localisés de part et d'autre de la ligne de partage des eaux continentales.

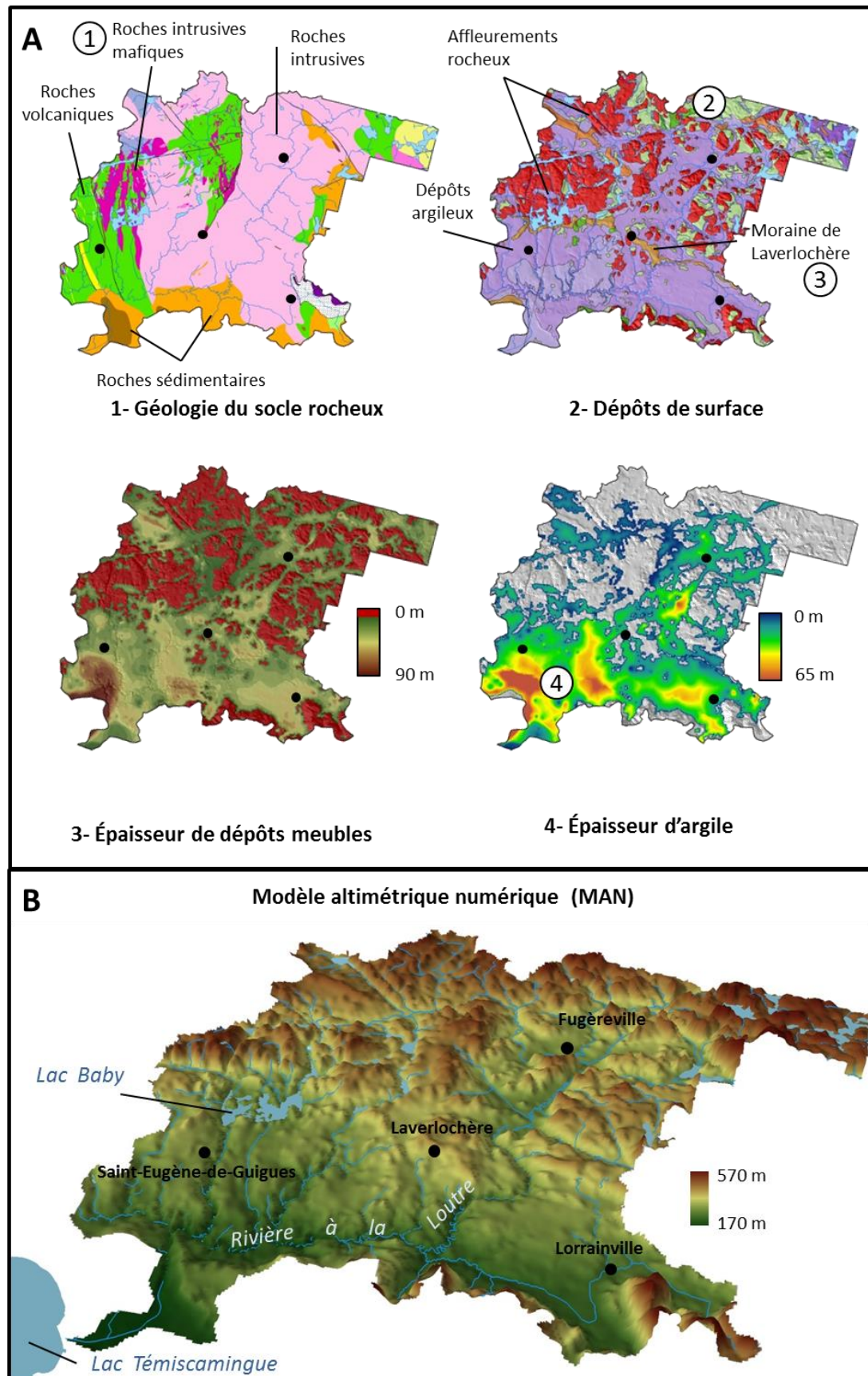
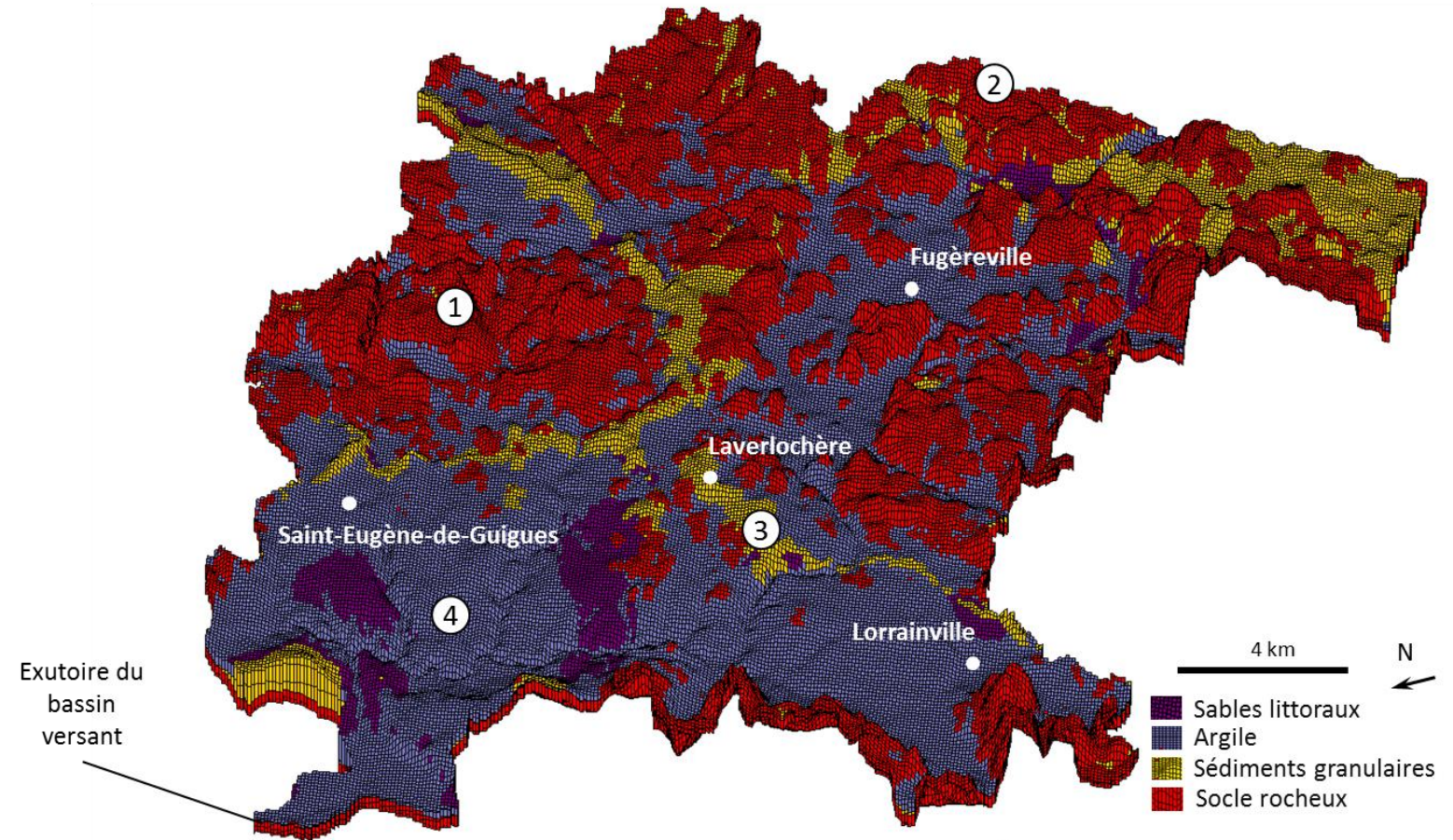
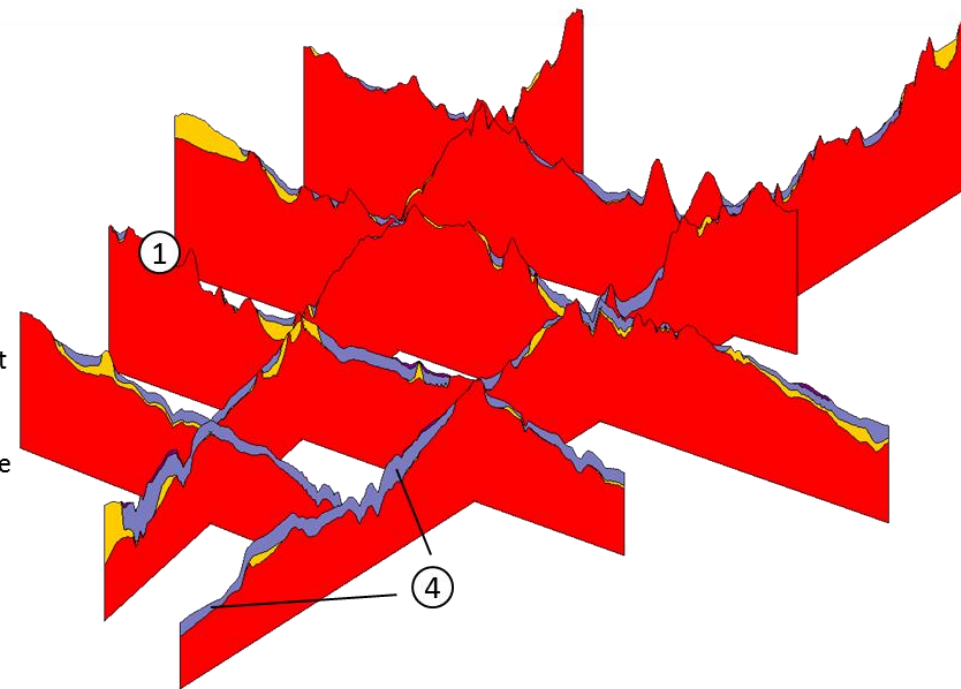


Planche 5 : Rivière à la Loutre



- ① Le secteur modélisé présente une alternance de roches intrusives, volcaniques et sédimentaires. La portion est du bassin modélisé présente une densité élevée d'affleurements rocheux, dont certains correspondent à des roches mafiques.
- ② De minces dépôts glaciaires (till) sont associés aux affleurements rocheux définissant la limite est du bassin.
- ③ La Moraine de Laverlochère constitue une des principales formations granulaires du secteur.
- ④ Les dépôts argileux occupent les secteurs de faible altitude notamment en périphérie des principaux éléments du réseau hydrographique.



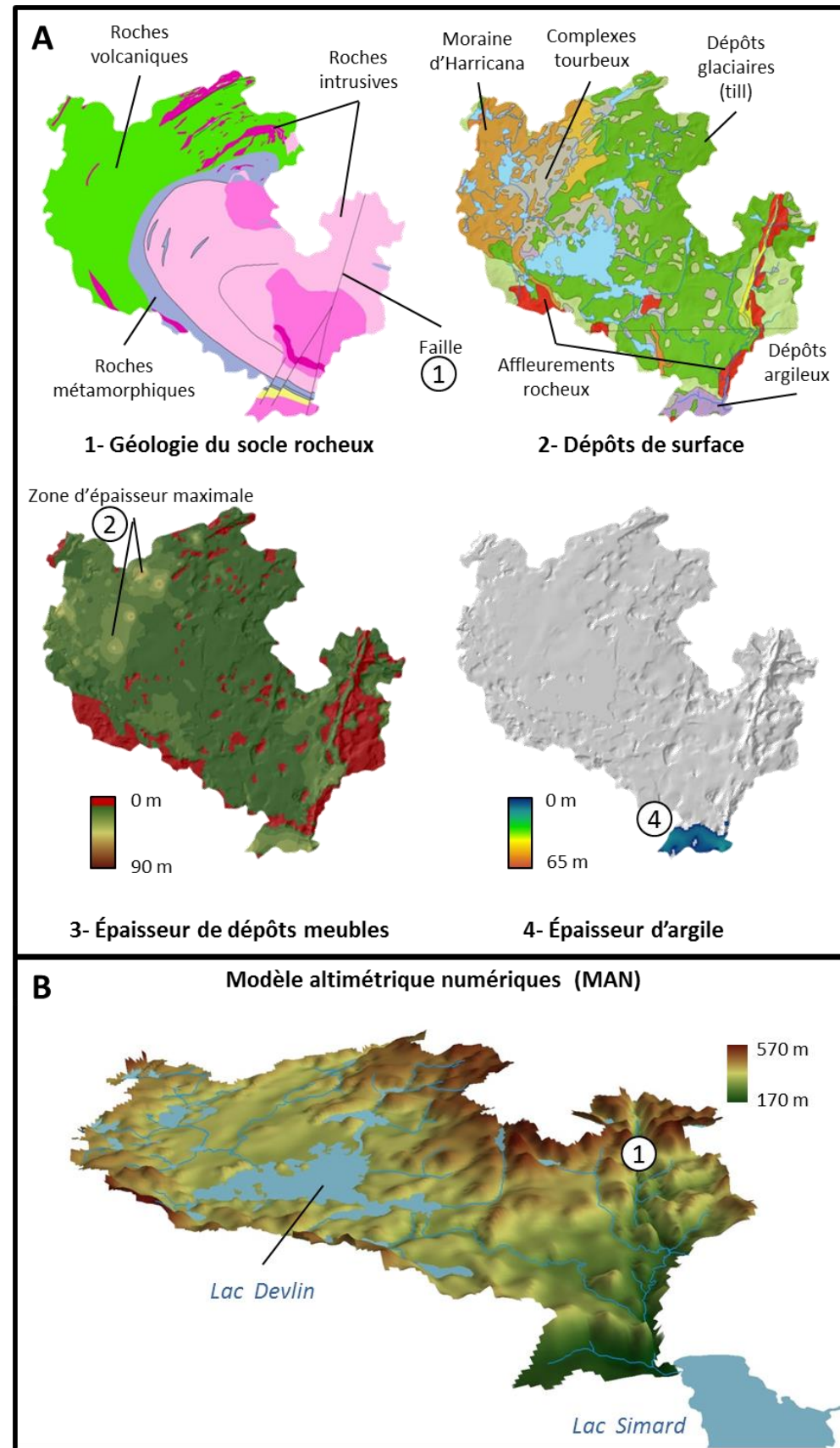
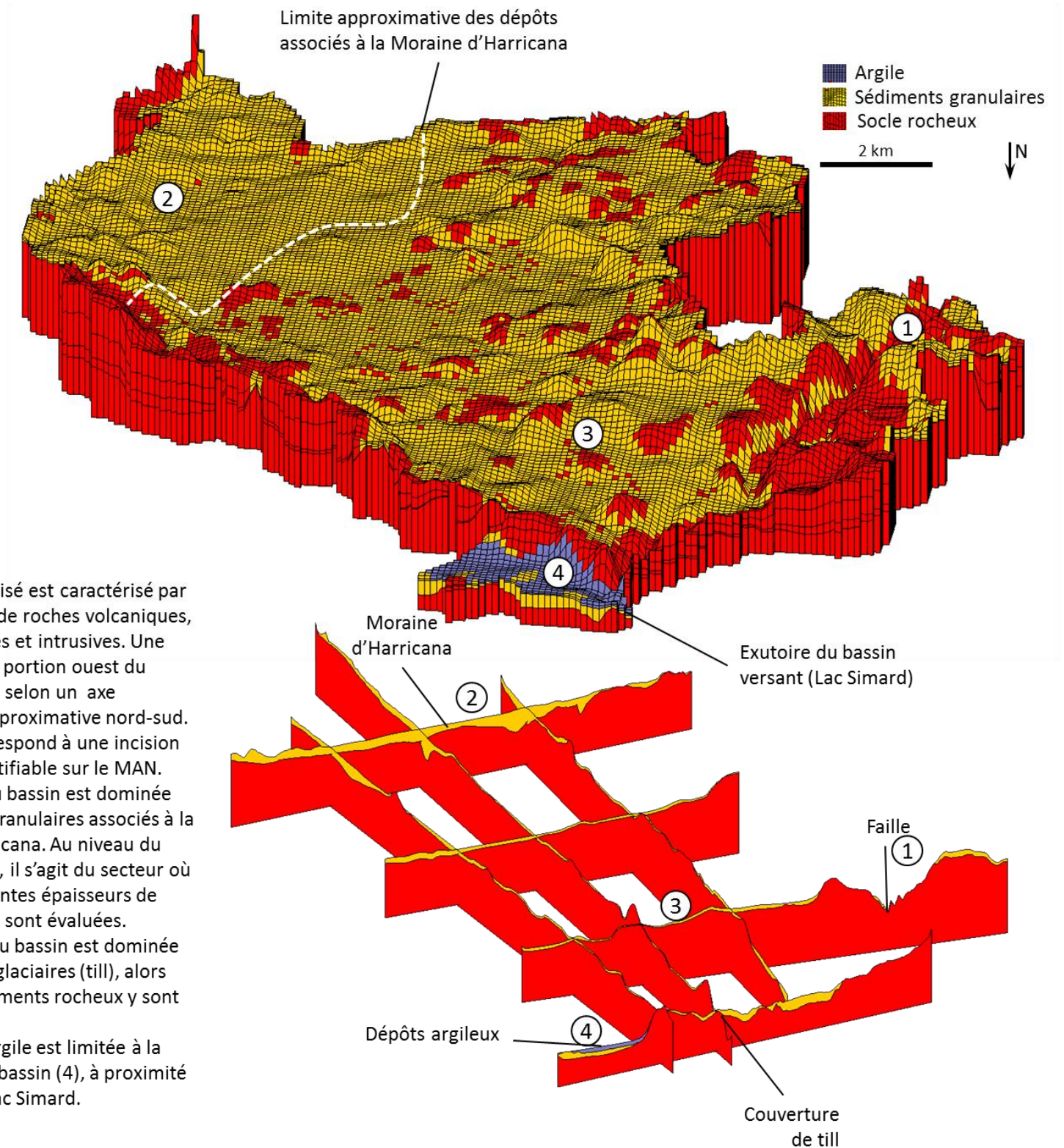


Planche 6 : Secteur du lac Devlin

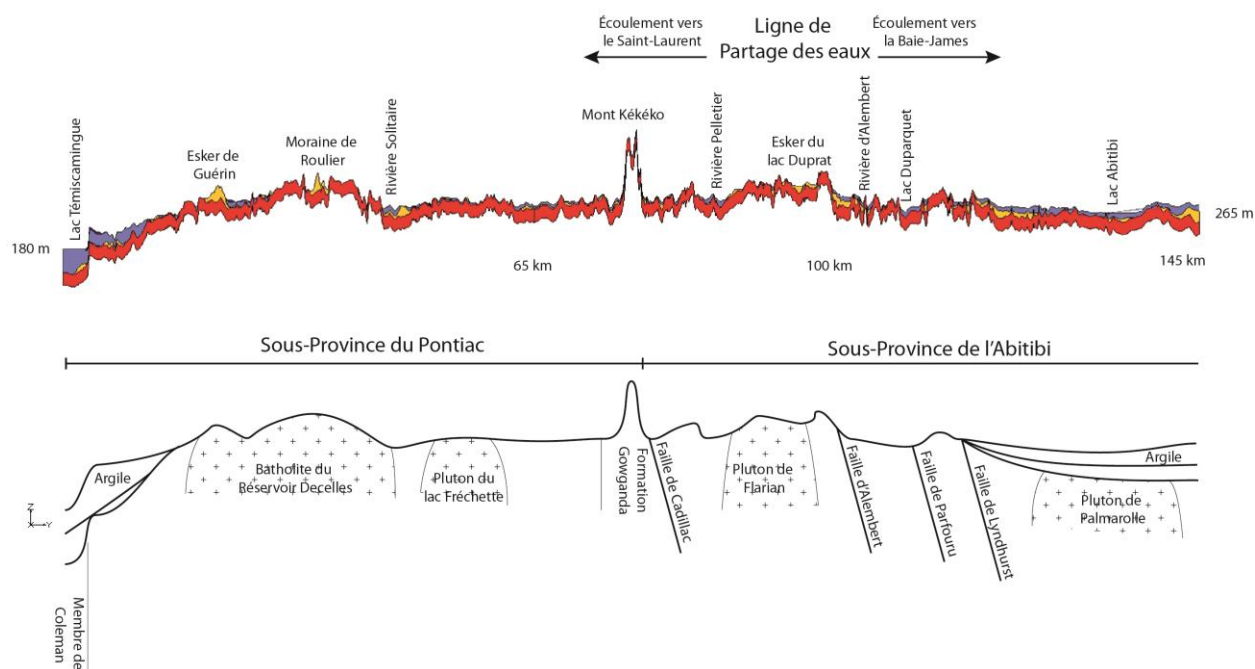


- ① Le bassin modélisé est caractérisé par une alternance de roches volcaniques, métamorphiques et intrusives. Une faille traverse la portion ouest du bassin modélisé selon un axe d'orientation approximative nord-sud. Cette faille correspond à une incision prononcée identifiable sur le MAN.
- ② La portion SE du bassin est dominée par les dépôts granulaires associés à la Moraine d'Harricana. Au niveau du bassin modélisé, il s'agit du secteur où les plus importantes épaisseurs de dépôts meubles sont évaluées.
- ③ La portion NO du bassin est dominée par des dépôts glaciaires (till), alors que les affleurements rocheux y sont épars.
- ④ La présence d'argile est limitée à la portion aval du bassin (4), à proximité immédiate du lac Simard.

5.5.2 Synthèse géologique régionale

La coupe géologique synthèse présentée à la Figure 5.5.2.1 illustre un profil allant du lac Témiscamingue (sud) au lac Abitibi (nord). Cette coupe, qui s'étend sur environ 145 km, relie les deux principaux exutoires du réseau hydrographique de la région d'étude (lacs Témiscamingue et Abitibi), chevauche la faille de Cadillac séparant les Sous-Provinces de Pontiac et de l'Abitibi et traverse la ligne de partage des eaux entre les bassins de la Baie James et du Saint-Laurent. La coupe illustre la prédominance d'affleurements rocheux en périphérie de la ligne de partage des eaux, secteur dont l'altitude excède partiellement la limite supérieure d'altitude atteinte par les dépôts argileux dans la région. Elle suggère également des différences significatives en ce qui a trait à la morphologie de la plaine argileuse de part et d'autre de la ligne de partage des eaux. Au sud, la plaine argileuse occupe une étendue plus limitée selon le plan horizontal (x, y), bien que les épaisseurs d'argile y soient généralement plus importantes. Au nord, dans le secteur du lac Abitibi, la plaine argileuse occupe une étendue plus vaste, bien que les épaisseurs d'argile y soient généralement plus limitées. La coupe permet également d'illustrer certaines formations fluvioglaciaires du territoire, dont l'esker du lac Duprat (Tableau 5.5.1.1, Planche 4), lequel correspond à la position de la ligne de partage des eaux continentale. Plus au sud, la moraine de Roullier et l'esker de Guérin définissent des crêtes identifiables sur la coupe. Des dépôts granulaires sous-jacents à l'argile sont modélisés y sont également identifiables (p. ex. : secteurs périphériques au lac Duparquet).

Figure 5.5.2.1 Coupe géologique synthèse (sud-nord) du territoire PACES-AT2



6. Conditions hydrogéologiques

6.1 Propriétés hydrauliques et configuration des écoulements (Thème 1)

Les sous-sections 6.1.1 et 6.1.2 présentent la terminologie et la définition des unités hydrogéologiques régionales retenues afin de discuter des propriétés hydrauliques à l'échelle régionale. Afin de respecter une homogénéité en ce qui a trait au traitement de l'information à l'échelle de l'Abitibi-Témiscamingue, ces sections sont entièrement adaptées des travaux de Cloutier et al., (2013a). Les sous-sections subséquentes intègrent uniquement les données issues du PACES-AT2 et présentent les nouvelles informations et interprétations qui en découlent.

6.1.1 Terminologie et définitions

La terminologie et les définitions retenues ici cadrent avec les éléments proposés par Cloutier et al., (2013a). L'appellation « propriétés hydrauliques » est retenue afin de désigner 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. Sauf si spécifié autrement, les définitions terminologiques retenues sont tirées et/ou adaptées de Chapuis (1999). Les définitions relatives aux propriétés discutées dans la présente section de même que certaines définitions jugées complémentaires sont rapportées au tableau 6.1.1.1.

Tableau 6.1.1.1 Définitions des propriétés physiques et paramètres hydrauliques retenus
(Tiré de Cloutier et al., 2013a)

| Désignation | Symbole ¹ | Définition retenue ² | 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_{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 (ρ_w) et une viscosité cinématique (ν_w) constantes. | $K = k \frac{\rho_w}{\nu_w}$ | [L ² T ⁻¹] |
| Perméabilité (intrinsèque) | k | Paramètre caractérisant un milieu poreux dans une direction vis-à-vis d'un fluide homogène, indépendamment des caractéristiques du fluide. | | [L ²] |
| Transmissivité | T | Produit de la conductivité hydraulique (K) d'une unité géologique par son épaisseur saturée (b). | $T = Kb$ | [L ² T ⁻¹] |
| 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. | | [] |
| Taux d'infiltration potentiel | f | Dérivée temporelle de l'infiltration cumulée (F). L'infiltration cumulée (F) représente, au temps t , la hauteur d'eau infiltrée pour une unité de surface considérée (Todd et Mays, 2005). | $f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$ | [L ² T ⁻¹] |

¹ 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. ² Sauf si spécifié autrement, les définitions retenues sont tirées et/ou adaptées de Chapuis (1999). L'utilisation de guillemets a été omise afin d'alléger la présentation du tableau.

6.1.2 Unités hydrogéologiques régionales

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 et (2) de l'architecture de ces dernières. Suivant ce postulat, il apparaît raisonnable de proposer que les différentes unités constituant la colonne stratigraphique synthèse de la région soient susceptibles de présenter des propriétés hydrauliques distinctes. La figure 6.1.2.1 illustre les unités hydrogéologiques identifiées sur le territoire. En complément, le tableau 6.1.2.1 présente une description des unités hydrogéologiques régionales appuyée sur leurs caractéristiques géologiques et physiques.

Figure 6.1.2.1 Définition des unités hydrogéologiques régionales (Adapté de Cloutier et al., 2013a).

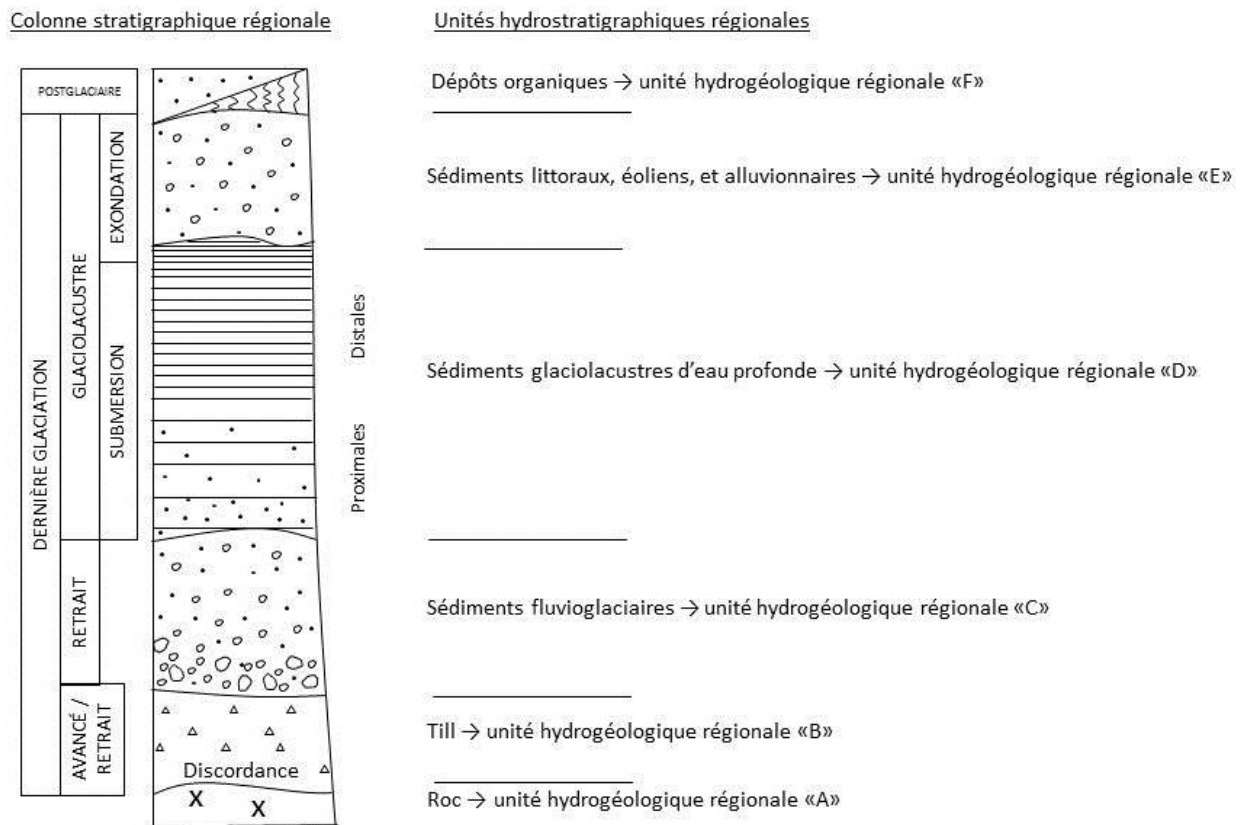


Tableau 6.1.2.1 Description des unités hydrogéologiques régionales (Tiré de Cloutier et al., 2013a)

| Unités hydrogéologiques régionales | Description / éléments distinctifs |
|--|--|
| Unité F : Tourbe | L'unité F est essentiellement composée de dépôts organiques mis en place 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 constituée de deux couches superposées. La couche inférieure (catotelme) est composée de matière organique partiellement décomposée maintenue en conditions saturées alors que les fluctuations temporelles du niveau d'eau souterraine ont essentiellement lieu au sein de la couche supérieure (acrotelme) où des conditions aérobies s'observent périodiquement (Payette et Rochefort, 2001). |
| Unité E : Sédiments sublittoraux et de plages ou éoliens | L'unité E est composée de matériel granulaire issu du remaniement des sédiments de l'unité C1 par l'action de l'eau et/ou du vent. 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. |
| Unité D : Rythmites d'argile et de silt | L'unité D 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. |
| Unité C2 : Sédiments fluvioglaciaires 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. 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 fluvioglaciaires 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. |
| Unité C1 : Eskers et moraines | L'unité C1 constitue les eskers et moraines du territoire. Le processus de mise en place de ces sédiments fluvioglaciaires dans un environnement de haute énergie en fait une unité hydrogéologique hétérogène en ce qui a trait à sa granulométrie et à son niveau de compaction. |
| Unité B : Till | L'unité B est décrite comme un sédiment glaciaire hétérométrique dont la 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). 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. |
| 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. |

6.1.3 Données disponibles

Le tableau 6.1.3.1 dresse un sommaire des données disponibles afin de caractériser les unités hydrogéologiques régionales sur la base de leurs propriétés hydrauliques. Au total, 588 données issues d'essais hydrauliques et 383 analyses granulométriques ont été retenues pour l'évaluation des caractéristiques des unités géologiques du territoire.

Tableau 6.1.3.1 Sources des données quantitatives disponibles

| Désignation | Symbole | Sources de données disponibles | Références | Nombre de données disponibles |
|---|--------------------------|--|------------------------|-------------------------------|
| Caractéristiques granulométriques | d_{10}, d_{50}, d_{90} | Analyses granulométriques réalisées par le MTQ-MRNF | Données non publiées | 271 |
| | | Analyses granulométriques réalisées dans le cadre du PACES-AT2 | Sections 3.12 et 4.12 | 112 |
| Conductivité hydraulique à saturation terrain | K_{Sp} | Essais au perméamètre de Guelph ¹ réalisés dans le cadre du PACES-AT2 | Sections 3.9 et 4.9 | 145 |
| Taux d'infiltration potentiel | f | Essais à l'infiltromètre à double anneau réalisés dans le cadre du PACES-AT2 | Sections 3.8 et 4.8 | 162 |
| Conductivité hydraulique | K | Essais in situ de perméabilité à charge variable Réalisés dans le cadre du PACES-AT2 | Sections 3.10 et 4.10 | 75 |
| | | Essais en colonnes réalisés dans le cadre du PACES-AT2 | Sections 3.11 et 4.11 | 127 |
| | | Essais hydrauliques tirés de rapports de consultants | Cloutier et al., 2013b | 39 |
| Transmissivité | T | Essais hydrauliques tirés de rapports de consultants | Cloutier et al., 2013b | 54 |
| Coefficient d'emménagement | S | Essais hydrauliques tirés de rapports de consultants | Cloutier et al., 2013b | 16 |

¹ 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_{fs} , référant à « *field saturated hydraulic conductivity* ») sont traitées séparément des valeurs obtenues par des essais hydrauliques en zone saturée.

6.1.4 Caractéristiques des unités hydrogéologiques régionales

Les propriétés hydrauliques des unités hydrogéologiques définies à la section 6.1.2 sont obtenues 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.

Des informations tirées de la littérature scientifique sont utilisées afin de compléter le portrait régional (tableau 6.1.4.1). 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 susceptibles de s'échelonner sur plus de huit ordres de grandeur à l'échelle du territoire. Les valeurs de transmissivité (T) tirées des rapports de consultants ne sont pas présentées au tableau 6.1.4.1. 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 6.1.1.1, $T = Kb$). En complément, le tableau 6.1.4.2 dresse un sommaire des caractéristiques granulométriques des différentes unités hydrogéologiques de la région.

Tableau 6.1.4.1 Synthèse des informations hydrogéologiques calculées et estimées

| Unités hydrogéologiques régionales (faciès – qualitatif) | Diamètre effectif ¹ (d ₁₀) (µm) | | | | n (%) | | | | Coefficient d'emménagement (S) | | | | K (m/s) | | | | Taux d'infiltration f (m/s) | | | | | |
|---|---|----------------------|----------------------|-------------------------------|---------------------------------------|---------|------|---------------|--------------------------------------|--|---|---------------------------------------|--|---|---|----------------------|---|--|----------------------|----------------------|----------------------|--|
| | Source des données | Min. | Méd. | Max. | Source des données | Min. | Méd. | Max. | Source des données | Min. | Méd. | Max. | Source des données | Min. | Méd. | Max. | Source des données | Min. | Méd. | Max. | | |
| Unité F : Tourbe | Non applicable | | | | Littérature scientifique ² | 92 | | | | Aucune donnée | | | | Littérature scientifique ² | 6,6x10 ⁻⁵ | | | | Aucune donnée | | | |
| Unité E : Sédiments sublittoraux et de plages ou éoliens (sable fin – sable moyen) | GRES (n=38) | 66 | 103 | 281 | GRES (n=38) ³ | 29 | 40 | 44 | Aucune donnée | Données essais de pompage PACES-AT2 (n=1) ⁶ | 3,9x10 ⁻⁴ | | | | Infiltromètre à double anneaux (n = 68) | 5,0x10 ⁻⁶ | 1,1x10 ⁻⁴ | 7,7x10 ⁻⁴ | | | | |
| | MRNF-MTQ (n=26) | 87 | 524 | 1 575 | MRNF-MTQ (n=26) ³ | 26 | 27 | 39 | | | Perméamètre de Guelph (K _{SP}) (n = 54) | 3,0x10 ⁻⁶ | 2,9x10 ⁻⁵ | 3,0x10 ⁻⁴ | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | Littérature scientifique ² | 2,9x10 ⁻⁵ | - | 1,4x10 ⁻⁴ | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | Essai in situ de perméabilité à charge variable (n = 2) | 1,2x10 ⁻⁶ | - | 3,0x10 ⁻⁶ | | | | | | | | |
| Essais en colonne (n = 14) | 4,5x10 ⁻⁶ | 1,9x10 ⁻⁵ | 8,8x10 ⁻⁵ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Unité D : Rythmites d'argile et de silt (argile – silt) | Aucune donnée | | | | Littérature scientifique ⁴ | 35 - 70 | | | | Littérature scientifique ^{2,7} | | | | 2,5x10 ⁻¹¹ - 9,3x10 ⁻⁷ | | | | Aucune donnée | | | | |
| Unité C2 : Sédiments fluvioglaciers et/ou till sous-jacents à une couche d'argile (silt – sable grossier) | Aucune donnée | | | | Littérature scientifique ⁴ | 25 - 50 | | | | Données PACES-AT2 (n=8) ⁵ | 3,0x10 ⁻⁴ | 2,3x10 ⁻³ | 5,0x10 ⁻² | Données essais de pompage PACES-AT2 (n = 12) ⁶ | 2,2x10 ⁻⁵ | 7,5x10 ⁻⁴ | 3,3x10 ⁻³ | Aucune donnée | | | | |
| Unité C1 : Eskers et moraines (sable – gravier) | GRES (n=71) | 65 | 129 | 289 | GRES (n=71) ³ | 26 | 41 | 42 | Données PACES-AT2 (n=4) ⁵ | 3,7x10 ⁻² | 9,8x10 ⁻² | 1,3x10 ⁻¹ | Données essais de pompage PACES-AT2 (n = 9) ⁶ | 3,3x10 ⁻⁶ | 1,7x10 ⁻³ | 9,3x10 ⁻³ | Infiltromètre à double anneaux (n = 85) | 4,3x10 ⁻⁶ | 1,3x10 ⁻⁴ | 9,3x10 ⁻⁴ | | |
| | | | | | | | | | | | | | Perméamètre de Guelph (K _{SP}) (n = 83) | 3,1x10 ⁻⁶ | 7,0x10 ⁻⁵ | 3,1x10 ⁻⁴ | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | Essai in situ de perméabilité à charge variable (n = 73) | 1,7x10 ⁻⁵ | 1,01x10 ⁻⁴ | 1,3x10 ⁻⁴ | | | | | | |
| | Essais en colonne (n = 113) | 3,6x10 ⁻⁶ | 8,5x10 ⁻⁵ | 4,7x10 ⁻⁴ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Données Essais à charge variable PACES-AT2 (n=1) ⁶ | - | 2,0x10 ⁻⁵ | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MRNF-MTQ (n=230) | 87 | 479 | 3 011 | MRNF-MTQ (n=230) ³ | 26 | 26 | 43 | Aucune donnée | | | | Littérature scientifique ² | 2,9x10 ⁻⁵ | - | 1,7x10 ⁻³ | | | | | | | |
| Unité B : Till (silt – sable) | GRES (n=3) | 144 | 163 | 254 | GRES (n=3) ³ | 42 | 42 | 43 | Aucune donnée | Données essais de pompage PACES-AT2 (n=4) ⁵ | 4,1x10 ⁻⁶ | 4,1x10 ⁻⁴ | 7,9x10 ⁻⁴ | Perméamètre de Guelph (K _{SP}) (n = 8) | 3,9x10 ⁻⁶ | 1,1x10 ⁻⁴ | 3,7x10 ⁻⁴ | Infiltromètre à double anneaux (n = 9) | 1,2x10 ⁻⁴ | 1,9x10 ⁻⁴ | 5,6x10 ⁻⁴ | |
| | | | | | | | | | | | | | | Essais à charge variable PACES-AT2 (n = 2) ⁶ | 5,0x10 ⁻⁶ | - | 2,0x10 ⁻⁵ | | | | | |
| | Essais de pompage PACES-AT2 (n = 3) ⁶ | 4,8x10 ⁻³ | 1,4x10 ⁻² | 2,0x10 ⁻² | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Littérature scientifique ² | 9,3x10 ⁻⁷ | - | 1,4x10 ⁻⁴ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Unité A : Roc fracturé | Non applicable | | | | Littérature scientifique ⁴ | <10 | | | | Données essais de pompage PACES-AT2 (n=4) ⁵ | | | | Essais in situ de perméabilité à charge variable PACES-AT2 (n = 6) ⁶ | 4,0x10 ⁻⁹ | 5,5x10 ⁻⁷ | 3,0x10 ⁻⁶ | Aucune donnée | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | Essais de pompage PACES-AT2 (n = 5) ⁶ | 6,8x10 ⁻⁷ | 1,0x10 ⁻⁶ | 1,1x10 ⁻⁴ | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | Littérature scientifique ⁴ | 1x10 ⁻⁹ | - | 1x10 ⁻⁴ | | | | | | |

¹ Le diamètre effectif D₁₀ a été retenu ici afin d'appuyer la comparaison qualitative de certaines unités granulaires entre 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 D₁₀, avec des valeurs de K généralement plus élevées pour des valeurs de D₁₀ plus élevées.

² Données tirées de la compilation de Todd et Mays (2005) à partir des données de Morris et Johnson (1967).

³ Valeurs de porosité efficace déterminées avec l'équation du tableau 3.12.2 de la section 3.12.2.

⁴ Données tirées de Freeze et Cherry (1979).

⁵ Les valeurs du coefficient d'emménagement (S) de l'ordre de 10⁻⁵ à 10⁻³ sont typiques des nappes captives (Chapuis, 1999).

⁶ Plages de valeurs calculées à partir des données issues de documents techniques appliqués au territoire à l'étude.

⁷ L'étude de Rumpf (1996) portant sur des argiles glaciolacustres déposées dans des conditions géologiques similaires à celle du territoire à l'étude, révèle que leur conductivité hydraulique peut atteindre 2,5x10⁻¹¹ m/s.

Tableau 6.1.4.2 Synthèse des caractéristiques granulométriques calculées

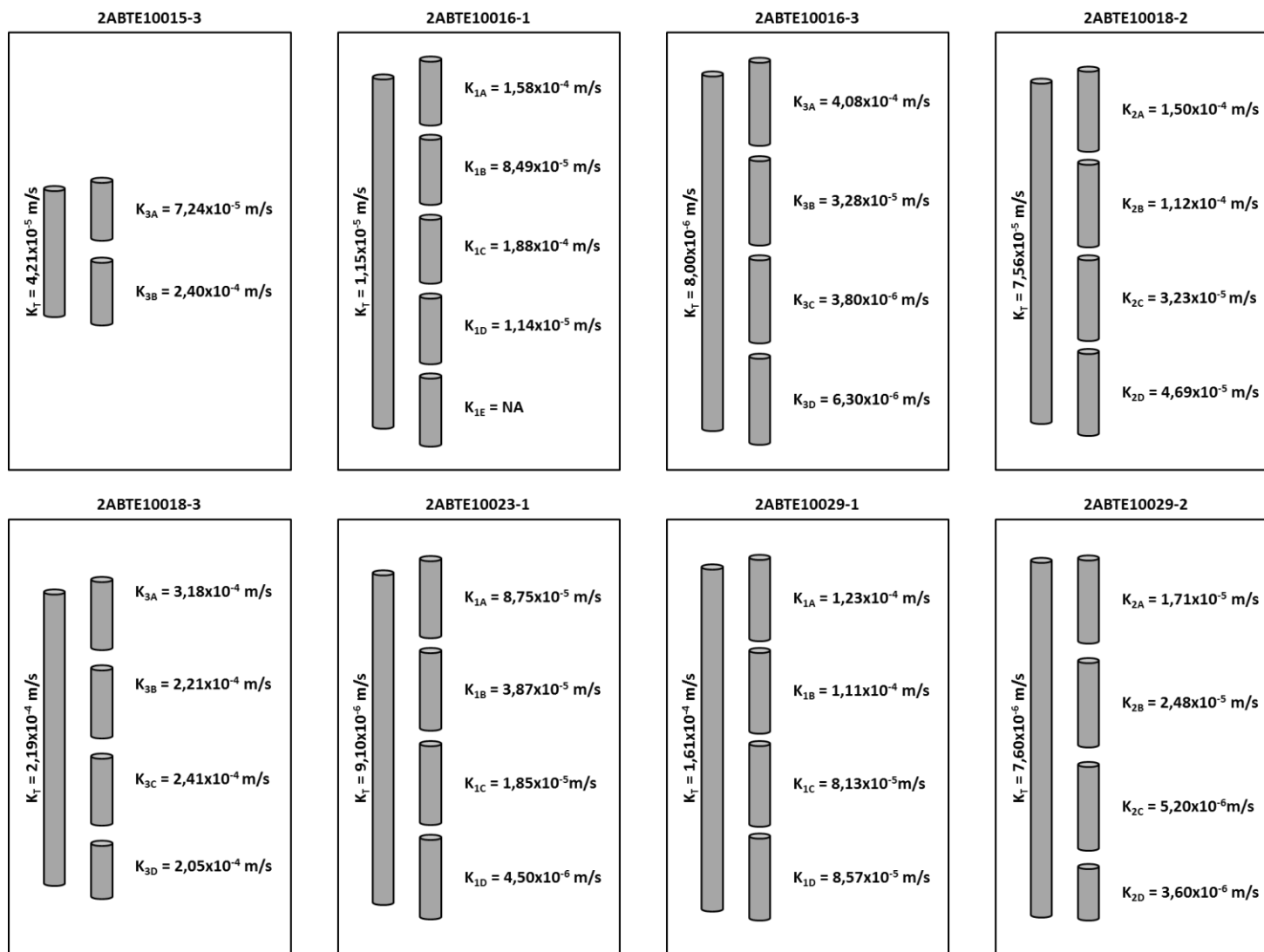
| Unités hydrogéologiques régionales | Source des données | Caractéristiques relatives aux courbes de distribution granulométrique | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------|--|-----|-----|-------|----------------------|-----|--------|--------|----------------------|-------|--------|---------|
| | | d ₁₀ (µm) | | | | d ₅₀ (µm) | | | | d ₉₀ (µm) | | | |
| | | nb | min | med | max | nb | min | med | max | nb | min | med | max |
| Unité F : Tourbe | ND | Non applicable | | | | | | | | | | | |
| Unité E : Sédiments sublittoraux et de plages ou éoliens | GRES | 38 | 66 | 103 | 281 | 38 | 141 | 258 | 1 250 | 38 | 238 | 613 | 9 234 |
| | MRNF-MTQ | 26 | 87 | 524 | 1 575 | 26 | 256 | 8 804 | 30 310 | 26 | 714 | 41 392 | 76 026 |
| Unité D : Rythmites d'argile et de silt | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| Unité C2 : Sédiments fluvioglaciers et/ou till sous-jacents à une couche d'argile | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| Unité C1 : Eskers et moraines | GRES | 71 | 65 | 129 | 289 | 71 | 136 | 294 | 1142 | 71 | 323 | 670 | 9 655 |
| | MRNF-MTQ | 230 | 87 | 479 | 3 011 | 230 | 213 | 8 163 | 49 202 | 230 | 503 | 47 329 | 231 054 |
| Unité B : Till | GRES | 3 | 144 | 163 | 254 | 3 | 304 | 358 | 449 | 3 | 481 | 844 | 882 |
| | MRNF-MTQ | 15 | 165 | 471 | 1 363 | 15 | 503 | 12 871 | 26 473 | 15 | 2 195 | 66 933 | 92 904 |
| Unité A : Roc fracturé | ND | Non applicable | | | | | | | | | | | |

ND : information non disponible

6.1.5 Hétérogénéité spatiale

Les données présentées aux tableaux 6.1.4.1 et 6.1.4.2 permettent une évaluation indirecte de l'hétérogénéité des unités hydrogéologiques à l'échelle de la région. À titre d'exemple, les résultats disponibles suggèrent que les valeurs de conductivité hydraulique sont susceptibles de varier sur plus de trois ordres de grandeur au sein d'une même unité hydrogéologique. De façon similaire, les valeurs de d₁₀ peuvent varier sur un facteur >30 pour une même unité. En complément, les données issues des essais en colonnes (sections 3.11 et 4.11) peuvent être utilisées afin de documenter l'hétérogénéité des valeurs de conductivité hydraulique à l'échelle locale au sein d'unités granulaires. À titre d'exemple, la figure 6.1.5.1 illustre les valeurs de conductivité hydraulique calculées pour 8 tubes de forages pour lesquels des essais hydrauliques ont été réalisées sur des sous-sections. Ces résultats suggèrent que les valeurs de conductivité hydraulique verticale peuvent varier sur 2 ordres de grandeur sur des distances de l'ordre du mètre. Ces constats tendent à indiquer que les unités hydrogéologiques du territoire sont hétérogènes et que les statistiques régionales ne peuvent se substituer à l'acquisition de données à l'échelle locale.

Figure 6.1.5.1 Illustration de l'hétérogénéité spatiale mesurée dans le cadre de la réalisation d'essais en colonnes¹



¹ Se référer aux sections 3.11 et 4.11 pour le détail des calculs associés à cette illustration.

6.1.6 Influence de la conductivité hydraulique sur la configuration des écoulements

L'écoulement de l'eau souterraine peut être décrit sur la base d'une expression mathématique s'appuyant sur la loi de Darcy et sur le principe de conservation de la masse. Pour un volume unitaire tel que celui illustré à la figure 6.1.6.1, en assumant un fluide incompressible et un régime d'écoulement permanent au sein d'une unité saturée, l'équation d'écoulement suivante peut être établie (p. ex : voir Freeze et Cherry, 1979) :

$$-\frac{\partial v_X}{\partial x} - \frac{\partial v_Y}{\partial Y} - \frac{\partial v_Z}{\partial z} = 0 \quad \text{Équation 6.1.6.1}$$

Les indices X, Y et Z font référence aux axes orthogonaux de l'espace et v représente la vélocité de Darcy [L^2T^{-1}] :

$$v_X = -K_X \frac{\partial h}{\partial X}; v_Y = -K_Y \frac{\partial h}{\partial Y}; v_Z = -K_Z \frac{\partial h}{\partial z} \quad \text{Équation 6.1.6.2}$$

En tout point de l'espace, la charge hydraulique (h) représente la somme des énergies disponibles (énergie potentielle de gravitation, énergie potentielle de pression, énergie cinétique) par unité de masse d'eau (voir Chapuis, (1999) pour de plus amples détails) :

$$h = z + \frac{P}{\rho_w g} + \frac{v^2}{2g} \quad \text{Équation 6.1.6.3}$$

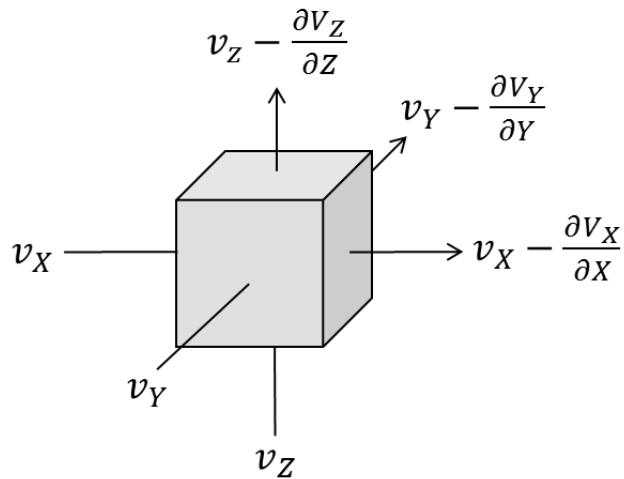
où z représente l'élévation [L] par rapport à un plan de référence, P représente la pression interstitielle au sein de l'aquifère [$ML^{-1}T^{-2}$], ρ_w représente la densité du fluide [ML^{-3}], g représente l'accélération gravitationnelle [LT^{-2}] et v représente la vitesse [LT^{-1}] du fluide par rapport à la matrice de l'aquifère. Le gradient hydraulique (i) (adimensionnel) consiste en un vecteur dont les composantes représentent les dérivées partielles de la distribution spatiale des charges hydrauliques selon les axes x , y et z (p. ex. : voir Chapuis, 1999):

$$i_x = \frac{\partial h}{\partial x}; i_y = \frac{\partial h}{\partial y}; i_z = \frac{\partial h}{\partial z} \quad \text{Équation 6.1.6.4}$$

L'expression mathématique représentant l'écoulement de l'eau souterraine est obtenue en réorganisant conjointement les équations 6.1.6.1 et 6.1.6.2:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_X \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(K_Y \frac{\partial h}{\partial Y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_Z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0 \quad \text{Équation 6.1.6.5}$$

Figure 6.1.6.1 Représentation conceptuelle des écoulements au sein d'un volume unitaire

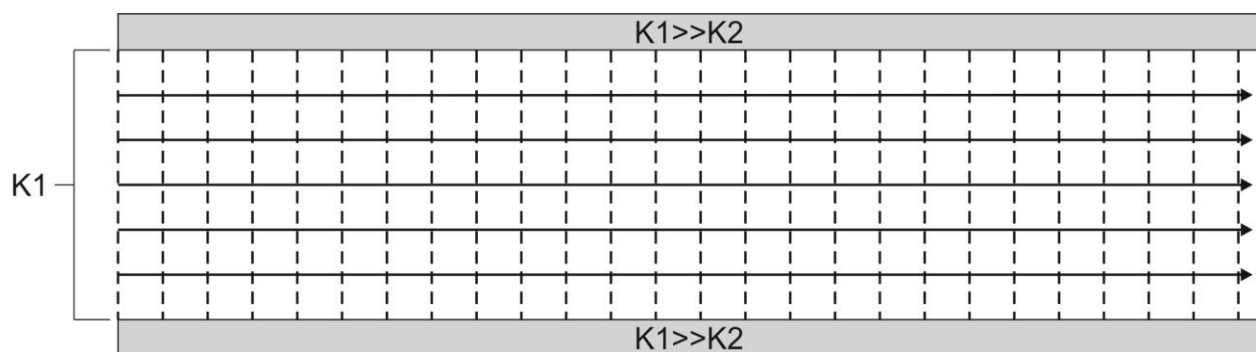


L'équation 6.1.6.5 révèle que le gradient hydraulique (i) et la conductivité hydraulique (K) contrôlent l'écoulement de l'eau souterraine. Or, l'utilisation de réseaux d'écoulement schématisés constitués de surfaces équipotentiels et de lignes d'écoulement permet une représentation graphique de l'équation 6.1.6.5. De façon simplifiée, six principales modalités sont nécessaires à la définition de réseaux d'écoulement pour un milieu homogène et saturé (p. ex. : voir Freeze et Cherry, 1979):

- 1- Les lignes d'écoulement sont perpendiculaires aux surfaces équipotentiels (l'écoulement se produit dans le sens et la direction du gradient hydraulique);
- 2- Les surfaces équipotentiels sont systématiquement perpendiculaires à toute limite imperméable (les lignes d'écoulement sont parallèles aux limites imperméables);
- 3- Les surfaces équipotentiels sont parallèles à toute limite à charge constante (les lignes d'écoulement interceptent les limites à charge constante à angle droit);
- 4- La charge hydraulique est connue au niveau de la surface piézométrique;
- 5- Le débit entre deux lignes d'écoulement est constant;
- 6- La différence de charge entre les équipotentiels est constante;

À titre d'exemple, la figure 6.1.6.2 illustre un réseau d'écoulement construit pour un système bidimensionnel consistant en une unité poreuse, isotrope, homogène et pleinement saturée se trouvant entre deux limites imperméables parallèles.

Figure 6.1.6.2 Réseau d'écoulement pour un système simple (Adapté de Schwartz et Zhang, 2003)

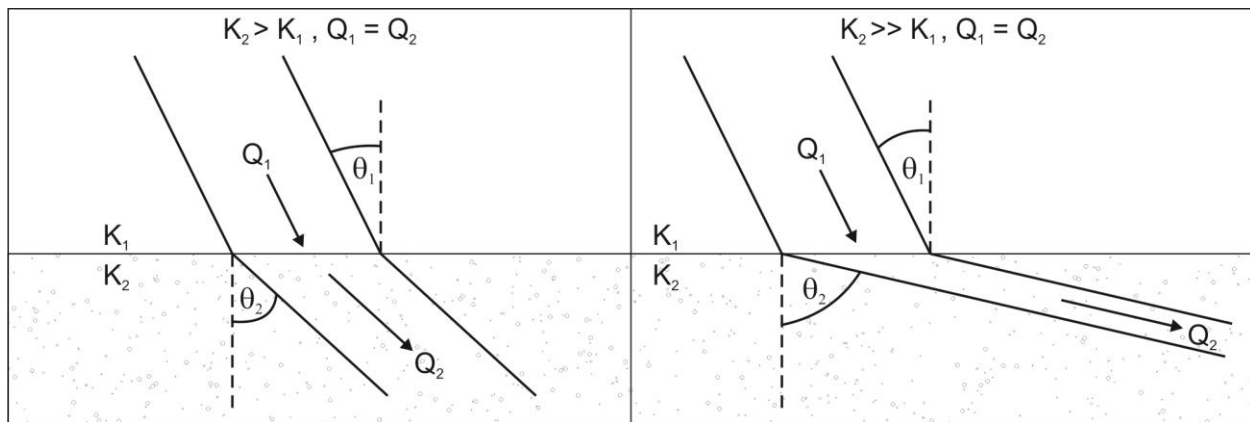


Dans le cas d'un environnement hétérogène stratifié, afin de satisfaire la condition voulant que le débit transitant entre deux lignes d'écoulement soit constant, les lignes d'écoulement doivent bifurquer à l'atteinte d'une interface entre deux unités de conductivités hydrauliques différentes. La réfraction des lignes d'écoulement répond à une loi tangentielle (p. ex. : Voir Freeze et Cherry, 1979; Todd et Mays, 2005):

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{\tan(\theta_1)}{\tan(\theta_2)} \quad \text{Équation 6.1.6.6}$$

Où K_1 et K_2 représentent les conductivités hydrauliques des deux milieux considérés et θ_1 et θ_2 représentent les angles entre les lignes d'écoulement et l'interface au sein des milieux 1 et 2, respectivement. La figure 6.1.6.3 illustre ce principe.

Figure 6.1.6.3 Réfraction des lignes d'écoulement au sein d'un milieu hétérogène



6.1.7 Réseaux d'écoulement conceptuels et synthèse régionale

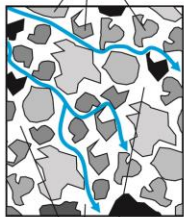
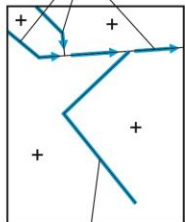
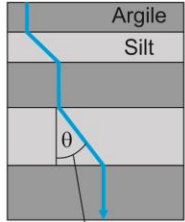
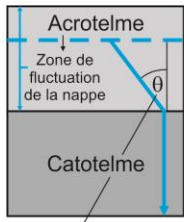
Bien que les données disponibles à l'échelle de la région suggèrent une hétérogénéité marquée en ce qui a trait aux caractéristiques des unités hydrogéologiques, certaines généralisations peuvent être proposées dans l'optique de construire un modèle conceptuel visant à représenter le réseau d'écoulements en fonction des propriétés hydrauliques, en suivant les règles établies à la section 6.1.6 et en tenant compte des concepts et données présentées aux sous-sections précédentes (6.1.1 à 6.1.5). En ce sens, la figure 6.1.7.1 consiste en une coupe conceptuelle représentant, de façon simplifiée, le réseau d'écoulement de l'eau au sein des différentes unités hydrogéologiques. Quatre ensembles distincts sont proposés afin de discuter des réseaux d'écoulement en fonction des unités hydrogéologiques (Figure 6.1.7.1-I à 6.1.7.1-V; Tableau 6.1.7.1).

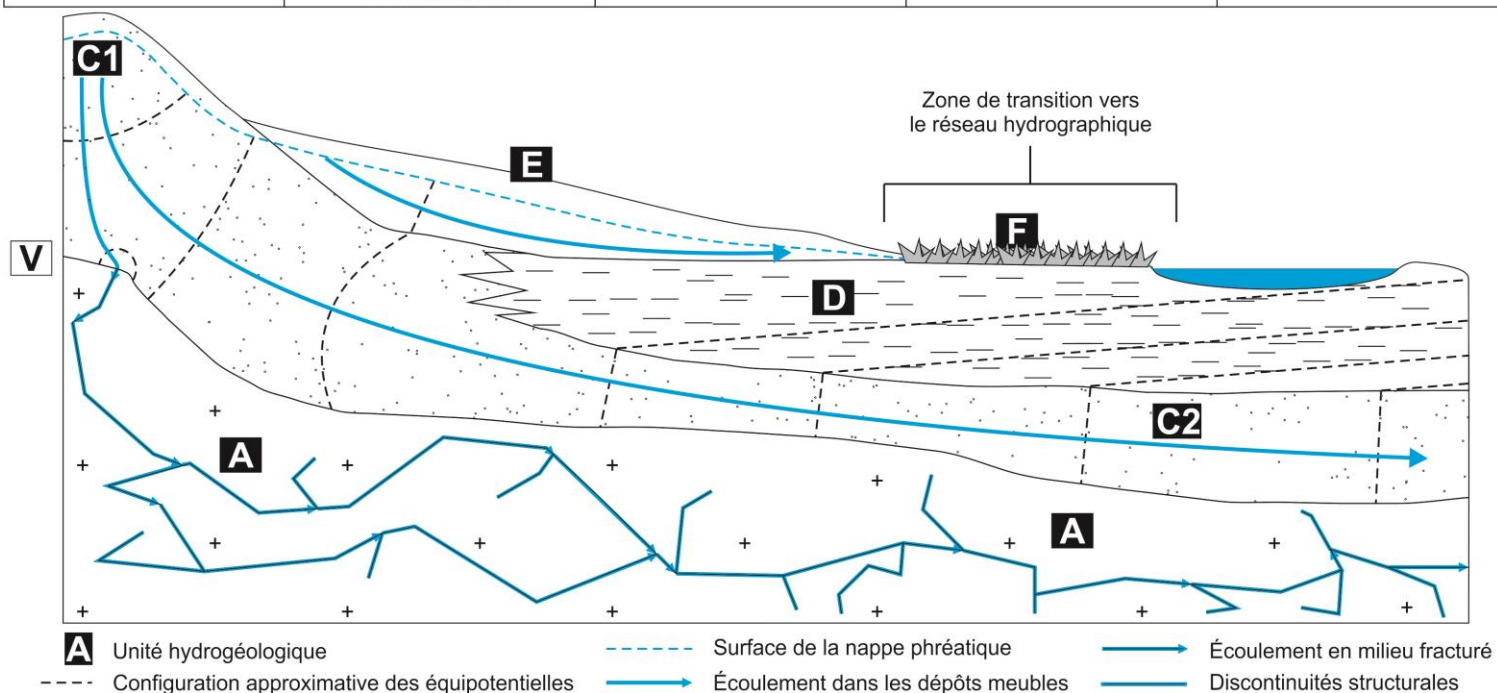
Tableau 6.1.7.1 Description des ensembles retenus pour la définition des réseaux d'écoulement conceptuels

| Ensembles proposés | | UHC ¹ | Réseaux d'écoulement locaux (Figure 6.1.7.1-I-IV) | Réseau d'écoulement à l'échelle régionale (Figure 6.1.7.1-V) |
|--------------------|-------------------------------|------------------|--|---|
| I | Aquifères granulaires | C1; C2; E | L'eau circule au sein des espaces entre les grains constituant la matrice de l'aquifère (Figure 6.1.7.1-I). La texture de la matrice, pouvant être représentée par le paramètre d_{10} , est liée à la conductivité hydraulique de l'unité. Les lignes d'écoulement sont susceptibles de bifurquer (Équation 6.1.6.5) à l'atteinte d'interfaces entre des secteurs de conductivité hydraulique contrastée (p. ex. : données de la Figure 6.1.5.1). | Les limites qui dicteront l'architecture des surfaces équipotentielles correspondent à la surface du roc (ensemble II), à la surface de l'unité d'argile et de silt (ensemble III) et à la surface piézométrique. |
| II | Aquifères rocheux fracturés | A | L'eau circule selon une direction imposée par la géométrie des discontinuités structurales et dans le sens imposé par le gradient hydraulique (Figure 6.1.7.1-II). Les équipotentielles sont perpendiculaires aux parois des discontinuités structurales. Seules les discontinuités interconnectées participent significativement à l'écoulement. | À l'échelle régionale, les surfaces équipotentielles seront perpendiculaires aux surfaces non fracturées du socle rocheux. L'architecture des surfaces équipotentielles sera modifiée en périphérie des discontinuités structurales. |
| III | Rythmites d'argile et de silt | D | La conductivité hydraulique de l'unité varvée est susceptible de présenter une anisotropie marquée ($K_{horizontal} > K_{vertical}$) (Figure 6.1.7.1-III). L'eau y circulerait vraisemblablement de façon préférentielle au sein des horizons de silt. | En raison de sa faible perméabilité verticale par rapport aux autres unités hydrogéologiques régionales (Tableau 6.1.4.1), cette unité est interprétée comme une limite imperméable selon l'axe vertical. À l'échelle régionale, les surfaces équipotentielles seront perpendiculaires aux surfaces subhorizontales correspondant à l'unité d'argile. |
| IV | Dépôts organiques | F | Les dépôts tourbeux sont caractérisés par la présence de deux couches présentant des conductivités hydrauliques contrastées ($K_{acrotelme} \gg K_{catotelme}$) (Tableau 6.1.2.1). L'eau est susceptible d'y percoler de façon préférentielle au sein de la couche de surface, plus perméable (acrotelme) (Figure 6.1.7.1-IV). | Les lignes d'écoulement bifurqueront au contact des dépôts organiques en fonction des contrastes de conductivité hydraulique observés à l'échelle locale. Les données disponibles ne permettent pas l'établissement de généralisations robustes. Ces milieux sont susceptibles de constituer des environnements de transition entre les systèmes aquifères et le réseau hydrographique. |

¹ Unités hydrogéologiques correspondantes (voir figure 6.1.2.1; tableaux 6.1.2.1 et 6.1.4.1)

Figure 6.1.7.1 Schéma conceptuel relatif aux réseaux d'écoulement de la région

| Unité(s) hydrogéologique(s) | C1 C2 E | A | D | F |
|---|---|---|--|--|
| Schématisation de l'écoulement en milieu saturé | <p>I</p>  <p>Matrice du sable et gravier</p> <p>L'eau circule à travers les espaces vides (porosité) entre les grains</p> | <p>II</p>  <p>Fractures permettant la circulation de l'eau</p> <p>Fracture d'eau stagnante</p> | <p>III</p>  <p>Succession d'argile et de silt</p> <p>Argile</p> <p>Silt</p> <p>$K_{silt} > K_{argile}$</p> <p>réfraction de l'écoulement à l'interface des couches</p> | <p>IV</p>  <p>Dépôts organiques (acrotelme et catotelme)</p> <p>Acrotelme</p> <p>Zone de fluctuation de la nappe</p> <p>Catotelme</p> <p>Catotelme = zone compact</p> <p>$K_{cato} < K_{acro}$</p> <p>réfraction à l'interface</p> |



6.1.8 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 dans la présente section 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 privilégiés 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.

6.2 Conditions d'écoulement de la nappe (Carte 17)

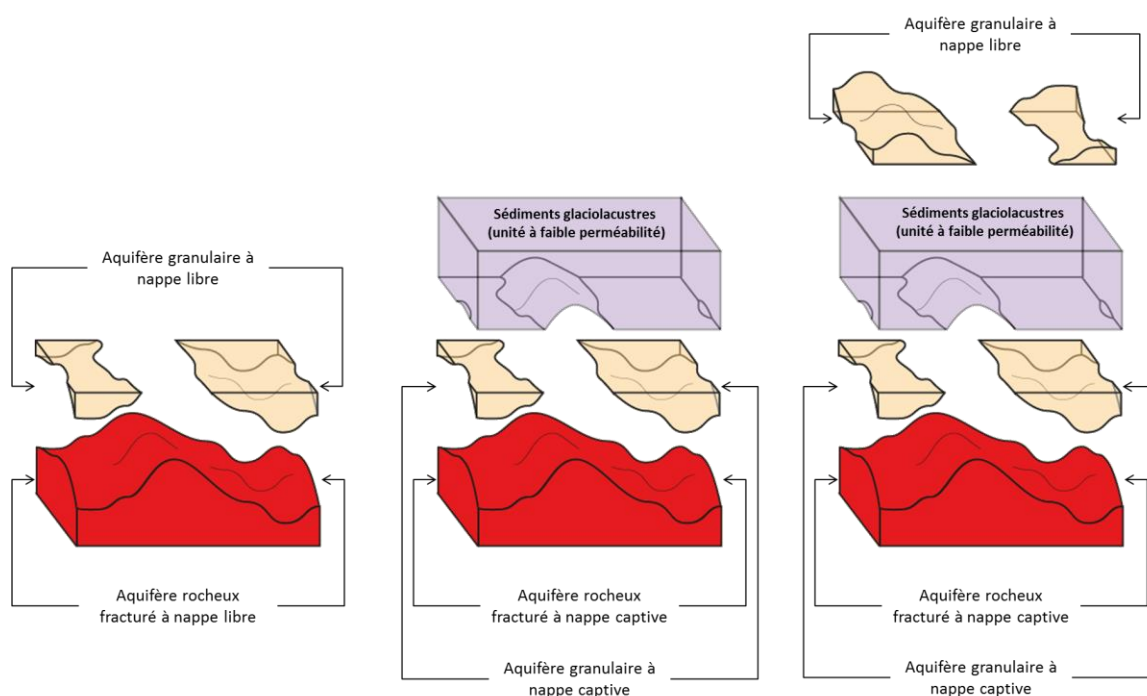
La définition du terme « aquifère » retenue dans le cadre de la présente étude est calquée sur celle proposée par Cloutier et al., (2013a), laquelle renvoie aux racines latines du mot : « *aqua* » (eau) et « *ferre* » (porter). Ainsi, toute unité géologique transportant de l'eau est définie comme une unité aquifère, sans égard à son potentiel d'exploitation. Ces unités sont distinguées en deux catégories selon les conditions d'écoulement de l'eau souterraine (Tableau 6.2.1). La notion d'imperméabilité, telle que rapportée au tableau 6.2.1, 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 les principaux regroupements pouvant être réalisés par rapport aux conditions d'écoulement de la nappe concernent (1) la présence (ou l'absence) d'une unité d'argile (unité aquitard) dans l'architecture des dépôts meubles et (2) la matrice de l'aquifère (sédiments granulaires ou roc fracturé). Ainsi, l'ensemble des unités saturées en eau étant sous-jacentes à une couche d'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 une couche d'argile sont considérées comme des aquifères à nappe libre (Figure 6.2.1).

Tableau 6.2.1 Définitions des catégories d'aquifères¹

| Désignation | Définition retenue |
|--|--|
| Aquifère à nappe libre ² | 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. |
| Aquifère à nappe captive ² | Unité géologique saturée située entre des surfaces limites inférieure (base) et supérieure (sommets) imperméables. |

¹ Tableau tiré de Cloutier et al., (2013a). ² Définitions adaptées de celles proposées par Chapuis (1999).

Figure 6.2.1 Représentation conceptuelle des conditions d'écoulement au sein des aquifères



Le tableau 6.2.2 dresse un sommaire des regroupements régionaux proposés et des couvertures territoriales associées alors que la carte 17 illustre la distribution spatiale des types d'aquifères ainsi identifiés. À l'échelle du territoire à l'étude, les aquifères à nappe libre et à nappe captive comptent respectivement pour 43 % et 57 % de la couverture spatiale. Les principaux aquifères granulaires à nappe libre suivent le tracé défini par les formations fluvioglaciales. Les segments d'esker des secteurs de Saint-Vital-de-Clermont, D'Alembert et de la zone Rollet – Nédélec – Guérin y sont identifiables. Un vaste secteur d'aquifères à nappe libre est identifié dans le secteur de Belleterre. En surface, cette zone correspond (1) à des sédiments associés à la moraine d'Harricana et (2) aux accumulations de till affleurant entre Belleterre, Laforce, Moffet et Latulipe-et-Gaboury. D'autres zones d'aquifères à nappe libre correspondent aux secteurs de roc affleurant ou de till sur roc, notamment en périphérie de la ligne de partage des eaux séparant le bassin de la Baie James de celui du Saint-Laurent (voir Carte 4). Les aquifères à nappe captive sont identifiés à des altitudes inférieures à celle atteinte par les argiles

glaciolacustres. Le secteur de l'Abitibi-Ouest ainsi que la zone localisée en périphérie du lac Témiscamingue sont notamment caractérisés par une dominance d'aquifères à nappe captive.

Tableau 6.2.2 Regroupements de séquences stratigraphiques retenues pour l'évaluation des conditions d'écoulement de l'eau souterraine

| Conditions d'écoulement | Matrice des aquifères ¹ | Séquences stratigraphiques correspondantes ² | Couverture spatiale (%) |
|--------------------------|------------------------------------|---|-------------------------|
| Aquifère à nappe libre | Sédiments granulaires | 2-3-8-11-12-15 | 43 |
| | Socle rocheux fracturé | 1 | |
| Aquifère à nappe captive | Sédiments granulaires | 4-6-9-13 | 57 |
| | Socle rocheux fracturé | 5-7-10-14 | |

¹ Les aquifères à nappe libre sus-jacents à l'argile sont omis des calculs proposés dans ce tableau.

² Se référer à la section 5.4 et à la carte 16 pour les correspondances.

6.3 Piézométrie et écoulement régional (Carte 18) (Thème 3)

La carte piézométrique (Carte 18) constitue une représentation en plan des charges hydrauliques évaluées sur l'ensemble du territoire. En tout point de l'espace, la charge hydraulique (h) représente la somme des énergies disponibles (énergie potentielle de gravitation, énergie potentielle de pression, énergie cinétique) par unité de masse d'eau (voir Chapuis, (1999) pour de plus amples détails) :

$$h = z + \frac{P}{\rho_w g} + \frac{v^2}{2g} \quad \text{Équation 6.3.1}$$

où h représente la charge hydraulique [L], z représente l'élévation [L] par rapport à un plan de référence, P représente la pression interstitielle au sein de l'aquifère [$\text{ML}^{-1}\text{T}^{-2}$], ρ_w représente la densité du fluide [ML^{-3}], g représente l'accélération gravitationnelle [LT^{-2}] et v représente la vitesse [LT^{-1}] du fluide par rapport à la matrice de l'aquifère. Le gradient hydraulique (i) (adimensionnel) consiste en un vecteur dont les composantes représentent les dérivées partielles de la distribution spatiale des charges hydrauliques selon les axes x , y et z :

$$i_x = \frac{\partial h}{\partial x}; i_y = \frac{\partial h}{\partial y}; i_z = \frac{\partial h}{\partial z} \quad \text{Équation 6.3.2}$$

En termes simplifiés, la carte piézométrique produite dans le cadre de la présente étude permet d'estimer, sur l'ensemble de la région d'étude, (1) l'élévation à laquelle l'eau se stabiliserait au sein d'un puits interceptant l'ensemble des unités hydrogéologiques saturées pour une coordonnée (x, y) donnée et (2) le gradient hydraulique selon un plan de référence horizontal (x, y). Dans le cadre de la présente étude, l'approche privilégiée pour l'évaluation de la piézométrie régionale consiste en une interpolation par krigeage ordinaire entre les points de mesure et de contrainte des niveaux piézométriques. Afin d'unifier la carte piézométrique avec les résultats issus des études régionales antérieures, les données issues du PACES-AT1 (Cloutier et al., 2013a) ont été incluses au patron d'interpolation. Les sous-sections

qui suivent présentent les hypothèses sous-jacentes à l'utilisation de l'approche privilégiée, les sources de données et les traitements exploités ainsi qu'une discussion sur la dynamique des écoulements à l'échelle régionale.

6.3.1 Hypothèses sous-jacentes à l'approche privilégiée

En raison (1) du nombre limité de points de mesure et de contrainte des charges hydrauliques et (2) de leur distribution hétérogène dans l'espace et le temps, la réalisation de la carte piézométrique régionale a nécessité l'émission de cinq principales hypothèses de travail. Ces hypothèses, ainsi que les implications, précisions et justifications s'y rattachant, sont rapportées au tableau 6.3.1.1.

Tableau 6.3.1.1 Justification de l'approche privilégiée pour la réalisation de la carte piézométrique¹

| | Hypothèses de travail | Implications | Précisions / justifications |
|---|---|--|--|
| 1 | 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 | En date de ce jour, aucune donnée appliquée au territoire ne permet de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse avec un niveau de certitude acceptable |
| 2 | 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 actuellement disponibles en région, l'amplitude des variations temporelles des niveaux piézométriques serait inférieure à 5 m. Cette variabilité est considérée faible en comparaison à l'amplitude des variations spatiales observées au niveau des charges hydrauliques, lesquelles varient sur plus de 300 m à l'échelle du territoire à l'étude |
| 3 | Les aquifères de roc fracturé et les aquifères granulaires sont en lien hydraulique | Cette hypothèse implique que les données piézométriques mesurées dans les aquifères de roc fracturé et dans les aquifères granulaires sus-jacents peuvent être interpolées 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 majeure horizontale, ce qui favoriserait l'écoulement au sein de fractures subhorizontales qui sont abondantes jusqu'à une profondeur de 75 m. Ici, il est assumé que les discontinuités structurales mineures sont abondantes et interconnectées jusqu'aux profondeurs crépénées des puits, ce qui impliquerait un lien entre les charges hydrauliques mesurées dans le roc et celles mesurées dans les dépôts meubles sus-jacents |
| 4 | Les plans et cours d'eau de surface (lacs, rivières, sources ponctuelles, sources diffuses) au contact de zones d'aquifères à nappe libre ² sont en lien hydraulique avec l'eau souterraine, alors que les plans et cours d'eau étant sis exclusivement sur des zones d'aquifères à nappe captive ³ ne sont pas en lien hydraulique direct avec l'eau souterraine | Cette hypothèse implique que l'altitude des plans et cours d'eau au contact de zones d'aquifères à nappe libre peut être utilisée pour contraindre l'interpolation piézométrique à l'échelle régionale | L'application de cette hypothèse a nécessité l'identification des zones d'aquifères à nappe libre et des zones d'aquifères à nappe captive du territoire. Pour ce faire, les séquences stratigraphiques préalablement présentées (Section 5.4; Carte 16) ont été regroupées en deux grandes classes selon la présence et/ou la position de la couche d'argile dans l'architecture des dépôts granulaires. Sur cette base, les zones d'aquifères à nappe libre sont définies comme l'ensemble des secteurs caractérisés par des séquences où l'argile est soit absente ou enfouie sous des dépôts granulaires susceptibles de constituer un aquifère à nappe libre en surface (Tableau 5.4.1, séquences 1-2-3-6-7-8-11-12-13-14-15) |
| 5 | 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 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 ordinaire produira les résultats les plus robustes |

¹ Tableau adapté de Cloutier et al., 2013a.

² Un aquifère à nappe libre consiste en une 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 (définition adaptée de celle proposée par Chapuis, 1999).

³ Un aquifère à nappe captive consiste en une unité géologique saturée située entre des surfaces limites inférieure (base) et supérieure (sommet) imperméables (définition adaptée de celle proposée par Chapuis, 1999).

6.3.2 Source et traitement des données utilisées

Le tableau 6.3.2.1 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 à la section 6.3.1.

Tableau 6.3.2.1 Source et traitement des données utilisées pour la réalisation de la carte piézométrique

| Classes de données | n ¹ | | | Traitement |
|--------------------|--|-------|--------|---|
| | AT1 | AT2 | Total | |
| A | Système d'information hydrogéologique | | | Conversion des données de profondeur de la nappe en valeurs d'élévation piézométrique sur la base du MAN ² avec un maillage de 10 m x 10 m |
| B | Données issues de rapports de consultants et mesures réalisées dans le cadre du présent projet | | | |
| C | 726 | 309 | 1 393 | Conversion des lignes représentatives des sources diffuses en points représentatifs de leur centroïde. Extraction de l'altitude des points sur la base du MAN avec un maillage de 10 m x 10 m |
| D | 3 971 | 7 137 | 11 133 | Extraction automatisée du centroïde des plans d'eau au contact avec des cellules identifiées comme des aquifères à nappe libre et conversion en points (Tableau 6.3.1.1, hypothèse 4). Extraction de l'altitude des points sur la base du MAN avec un maillage de 10 m x 10 m. Exclusion automatisée des plans d'eau entièrement circonscrits par les eskers et moraines ³ . Exclusion des îles au sein des plans d'eau. |
| E | 312 | 0 | 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) |

n : Nombre de données disponibles.

¹ Le nombre de données correspondant au total diffère de la somme des données incluses aux polygones définis par les Territoires PACES-AT1 (Cloutier et al., 2013a) et PACES-AT2 (présente étude) en raison de l'utilisation d'une zone tampon périphérique aux territoires ciblés pour la réalisation des interpolations.

² MAN : Modèle altimétrique numérique (Section 5.1, Carte 12).

³ Au niveau du territoire, les lacs entièrement circonscrits par les eskers et moraines sont susceptibles de constituer des lacs de kettle. Le faible pH souvent observé dans 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 (p. ex. Voir Veillette et al., 2004).

Suite à l'interpolation réalisée en utilisant les classes de données rapportées ci-dessus, une vérification a été effectuée afin d'identifier les secteurs d'aquifères à nappe libre où des niveaux piézométriques auraient été interpolés à des altitudes supérieures au niveau topographique. Suivant la méthodologie développée dans le cadre du PACES-AT1 (Cloutier et al., 2013a), cette étape de correction a consisté en une comparaison de l'élévation des niveaux piézométriques de la couche matricielle de maillage 100 m x 100 m avec l'élévation du modèle altimétrique numérique (MAN) sur le même maillage. Pour chaque cellule où l'altitude piézométrique excédait l'altitude du MAN, la valeur du MAN a été imposée à la couche matricielle de piézométrie afin d'abaisser le niveau piézométrique à l'élévation du MAN. Cette stratégie permet d'atténuer l'erreur de surestimation sur la carte piézométrique sans avoir recours à l'ajout de points de forçage dans le patron d'interpolation. Les zones où cette correction a dû être appliquée correspondent en grande partie aux secteurs localisés en périphérie des cours d'eau (Carte 18).

6.3.3 Portrait régional

La carte piézométrique (carte 18) est utilisée en support à l'interprétation des lignes d'écoulement de l'eau souterraine à l'échelle de la région. Pour un milieu homogène et isotrope, l'eau souterraine s'écoulera selon une direction parallèle au vecteur défini par le gradient hydraulique, dans le sens d'une diminution de la charge hydraulique. Dans le cas d'un milieu anisotrope et hétérogène (p. ex. aquifère de roc fracturé), le sens d'écoulement de l'eau souterraine sera fonction du gradient hydraulique, alors que la direction d'écoulement sera dictée par la géométrie des discontinuités structurales. Ainsi, il n'est pas exclu que les axes d'écoulement propres aux unités hydrogéologiques non consolidées diffèrent de ceux observés au niveau du socle rocheux. En support à l'interprétation de la carte piézométrique, le tableau 6.3.3.1 dresse un sommaire des principaux constats relatifs à la piézométrie régionale.

Tableau 6.3.3.1 Principaux constats relatifs la piézométrie régionale

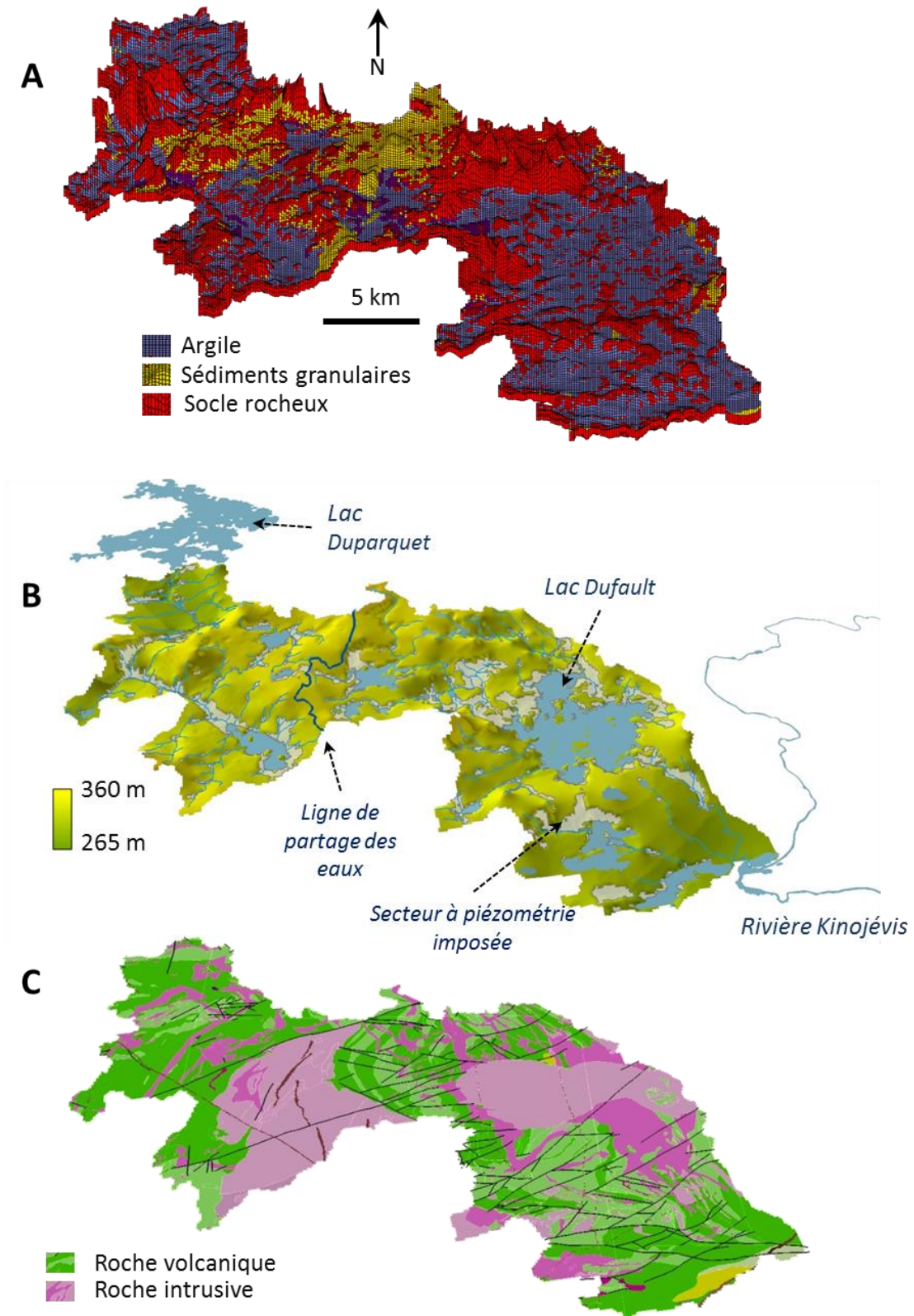
| Observations régionales | Exemples | Interprétations relatives aux lignes d'écoulement |
|--|--|---|
| À l'échelle régionale, les charges hydrauliques les plus élevées correspondent généralement à des secteurs d'aquifères à nappe libre (Tableau 5.4.2, séquences 1-2-3-6-7-8-11-12-13-14-15) | Zones d'affleurements rocheux situées au nord de Authier-Nord; zones d'affleurements rocheux des collines Destor et des collines Abijévis (Mont Dominant); tronçon d'esker situé à l'ouest de D'Alembert, entre les lacs Duparquet et Dufault; Collines situées au pourtour du lac Dasserat; Tronçon de moraine dans le secteur de Belleterre; | Les points hauts piézométriques correspondent généralement à des secteurs de haute altitude (Cartes 2 et 12) dont l'élévation excède l'altitude de la plaine argileuse. Plusieurs de ces points hauts piézométriques se situent à proximité des limites de bassins versants de surface (Cartes 3- 4). Néanmoins, la piézométrie observée plus en aval dans la plaine argileuse suggère que les limites de bassins versants de surface et souterrains seraient distinctes. Tel que mentionné au tableau 6.3.1.1, Rouleau et al., (1999) rapportent que les contraintes géomécaniques abitibiennes ont généralement une composante majeure horizontale, ce qui favoriserait l'écoulement de l'eau souterraine au sein de fractures subhorizontales qui sont abondantes jusqu'à une profondeur d'environ 75 m. En ce sens, le patron d'écoulement régional au sein du roc pourrait être imposé par les gradients hydrauliques régionaux. Néanmoins, il n'est pas exclu que le patron est-ouest imposé par les principales failles de la région (Carte 9) induise un écoulement préférentiel selon cet axe. Les données et observations disponibles ne permettent pas de quantifier le rôle des discontinuités structurales majeures sur les lignes d'écoulement régionales. |
| À l'échelle régionale, les charges hydrauliques plus faibles tendent à correspondre à de vastes plans d'eau de surface | Secteur du lac Abitibi et de ses principaux tributaires; Secteur de la rivière des Outaouais, du lac Témiscamingue et des principaux tributaires associés; | La piézométrie du territoire à l'étude tend à indiquer un écoulement convergeant de l'eau souterraine vers les lacs Abitibi et Témiscamingue (et la rivière des Outaouais), qui occupent des creux topographiques (Cartes 2 et 12). Ces secteurs correspondent également à des dépressions identifiées dans la topographie du socle rocheux (Carte 15). |

6.3.4 Exemple des bassins versants du secteur Duparquet - Kinojévis

En complément aux informations relatives au portrait régional (Tableau 6.3.3.1), la figure 6.3.4.1a illustre le modèle géologique local (Section 5.5, Planche 4) du secteur Duparquet - Kinojévis. Les charges hydrauliques interpolées (Figure 6.3.4.1b), les principales unités du socle rocheux et les principales failles observées au niveau de ce secteur (Figure 6.3.4.1c) sont également rapportées.

Ce secteur chevauche la ligne de partage des eaux délimitant les bassins de la Baie James (au nord) et du Saint-Laurent (au sud). Le lac Duparquet (au nord-ouest) et la rivière Kinojévis (au sud-est) constituent les principaux exutoires du réseau hydrographique local. La superposition des différentes couches d'informations rapportées sur la figure 6.3.4.1 permet une représentation intégrée des données géologiques et hydrogéologiques disponibles. Les charges hydrauliques les plus élevées du secteur correspondent aux principaux secteurs caractérisés par les altitudes les plus élevées (identifiables à partir du modèle géologique, Figure 6.3.4.1a). La ligne de partage des eaux correspond également à une crête observable au niveau des charges hydrauliques, bien que la limite des bassins versants propres aux eaux souterraines soit moins franche que celle définie pour les eaux de surface. Les exutoires définis pour les eaux de surface (lac Duparquet et rivière Kinojévis) correspondent aux secteurs où les charges hydrauliques les plus faibles sont évaluées, ce qui suggère que les eaux souterraines convergent vers les mêmes exutoires que les eaux de surface. En soumettant l'hypothèse voulant que les aquifères granulaires soient homogènes et isotropes, des lignes d'écoulement convergeant vers les principaux plans et cours d'eau peuvent donc être interprétées. Les secteurs à piézométrie imposée (voir section 6.3.2; Figure 6.3.4.1b) correspondent aux pourtours des principaux éléments du réseau hydrographique. Cette observation est selon toute vraisemblance attribuable au fait que le MAN est significativement plus précis que la carte piézométrique, cette dernière ne permettant pas une représentation robuste des charges hydrauliques à proximité immédiate des dépressions induites par l'incision des cours d'eau au sein des dépôts meubles. Les failles ainsi que les discontinuités correspondant aux contacts entre les différentes unités géologiques du secteur (Figure 6.3.4.1c) sont susceptibles de créer des chemins d'écoulement préférentiels au sein du socle rocheux. L'abondance des discontinuités structurales observées au niveau des roches volcaniques de la portion sud-est du secteur, en comparaison au secteur nord-ouest, tend à indiquer que les patrons d'écoulement de l'eau souterraine au niveau du socle rocheux pourraient y être significativement hétérogènes.

Figure 6.3.4.1 Piézométrie des bassins versants du secteur Duparquet - Kinojévis

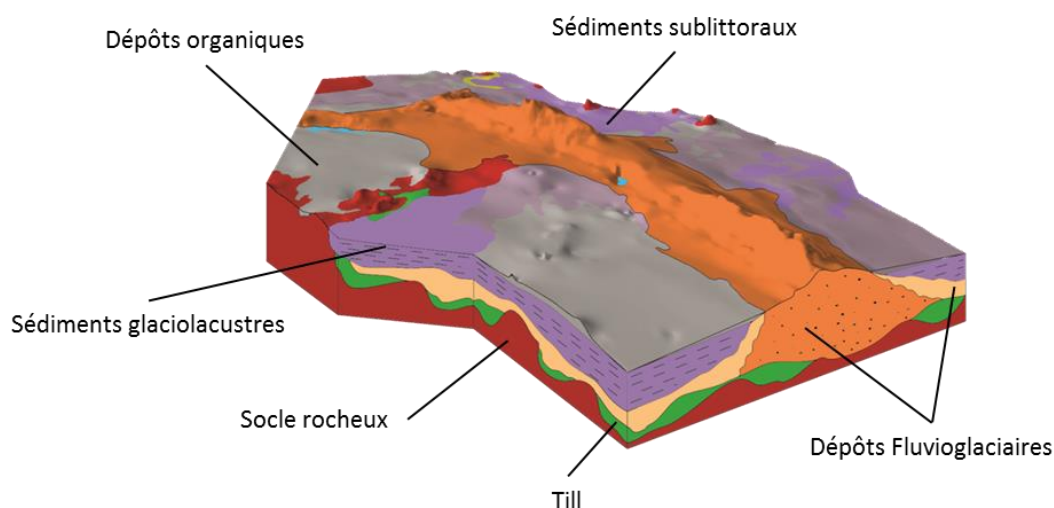


A : Modèle géologique (voir section 5.5). B : Piézométrie interpolée. C : Géologie du socle rocheux (voir section 2.9)

6.3.5. Piézométrie des formations fluvioglaciaires

La figure 6.3.5.1 illustre de façon conceptuelle la position d'une formation fluvioglaciaire au sein de l'environnement hydrogéologique. La formation repose en discordance sur le socle rocheux et par endroit sur des sédiments glaciaires plus anciens, alors que des sédiments sublittoraux et des varves d'argile et de silt reposent sur ses flancs, ces derniers étant recouverts de façon discontinue par des dépôts organiques associés à des milieux humides. À l'échelle régionale, les niveaux piézométriques sont généralement plus élevés dans les eskers et moraines que dans les aquifères périphériques à ces formations. Des milieux humides sont d'ailleurs fréquemment observés sur les flancs des formations fluvioglaciaires (p. ex. Voir Cloutier et al., 2013a). Ces observations tendent à suggérer que les formations fluvioglaciaires de la région pourraient effectuer des fonctions significatives en ce qui a trait (1) à l'établissement du patron d'écoulement de l'eau souterraine à l'échelle régionale et (2) au développement (et au maintien) d'écosystèmes dépendants des eaux souterraines. En ce sens, l'évaluation de la piézométrie des formations fluvioglaciaires avait été identifiée comme un thème de recherche prioritaire dans le cadre de la phase 1 de la présente étude (Cloutier et al., 2013b).

Figure 6.3.5.1 Schéma conceptuel illustrant la position d'une formation fluvioglaciaire au sein de l'environnement géologique



Deux plans de références sont définis ici afin de documenter la position de la surface piézométrique au sein des formations fluvioglaciaires en fonction de l'architecture des unités hydrogéologiques périphériques (Figure 6.3.5.2). La position de la première surface de référence (Figure 6.3.5.2; « Surface de référence #1 ») est évaluée via la création d'un réseau triangulé irrégulier (TIN) construit à partir des sommets de polygones définissant les eskers dans les cartes de la CGC (Section 2.8) et des données issues du MAN sur maillage de 10 m x 10 m (Section 5.1). Le TIN ainsi généré est subséquentement converti en couche matricielle sur maillage de 10 m x 10 m représentative de l'élévation de la surface de référence. La seconde surface de référence correspond à l'altitude évaluée pour la limite supérieure de la couche d'argile glaciolacustre (Section 5.3), selon un plan extrapolé au sein de la formation fluvioglaciaire (Figure 6.3.5.2; « Altitude extrapolée de l'argile »). Il est proposé ici que la position de la surface piézométrique par rapport à l'élévation des deux surfaces de référence prédéfinies (Figure 6.3.5.2; « Surface de référence #1 »; « Altitude extrapolée de l'argile ») peut être utilisée afin de catégoriser les formations fluvioglaciaires de la région. Le tableau 6.3.5.1 dresse un sommaire des trois catégories identifiées.

Figure 6.3.5.2 Schéma de catégorisation des eskers en fonction des conditions piézométriques

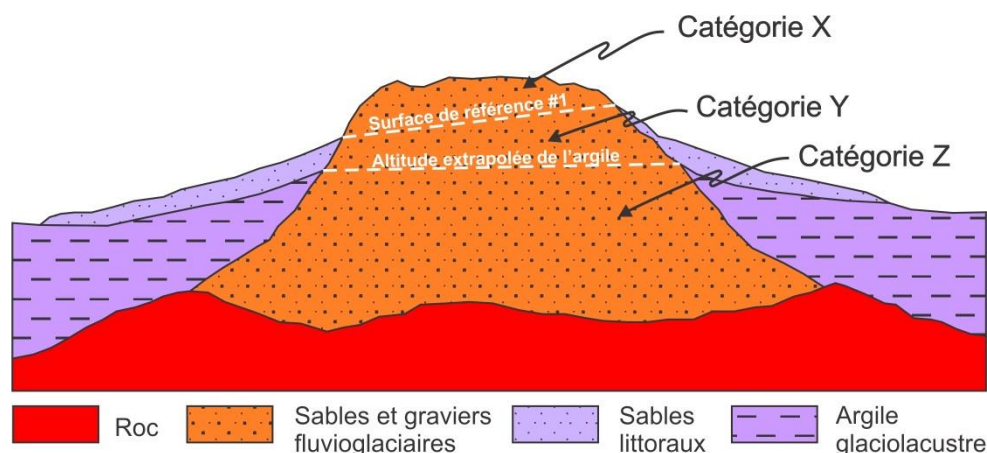
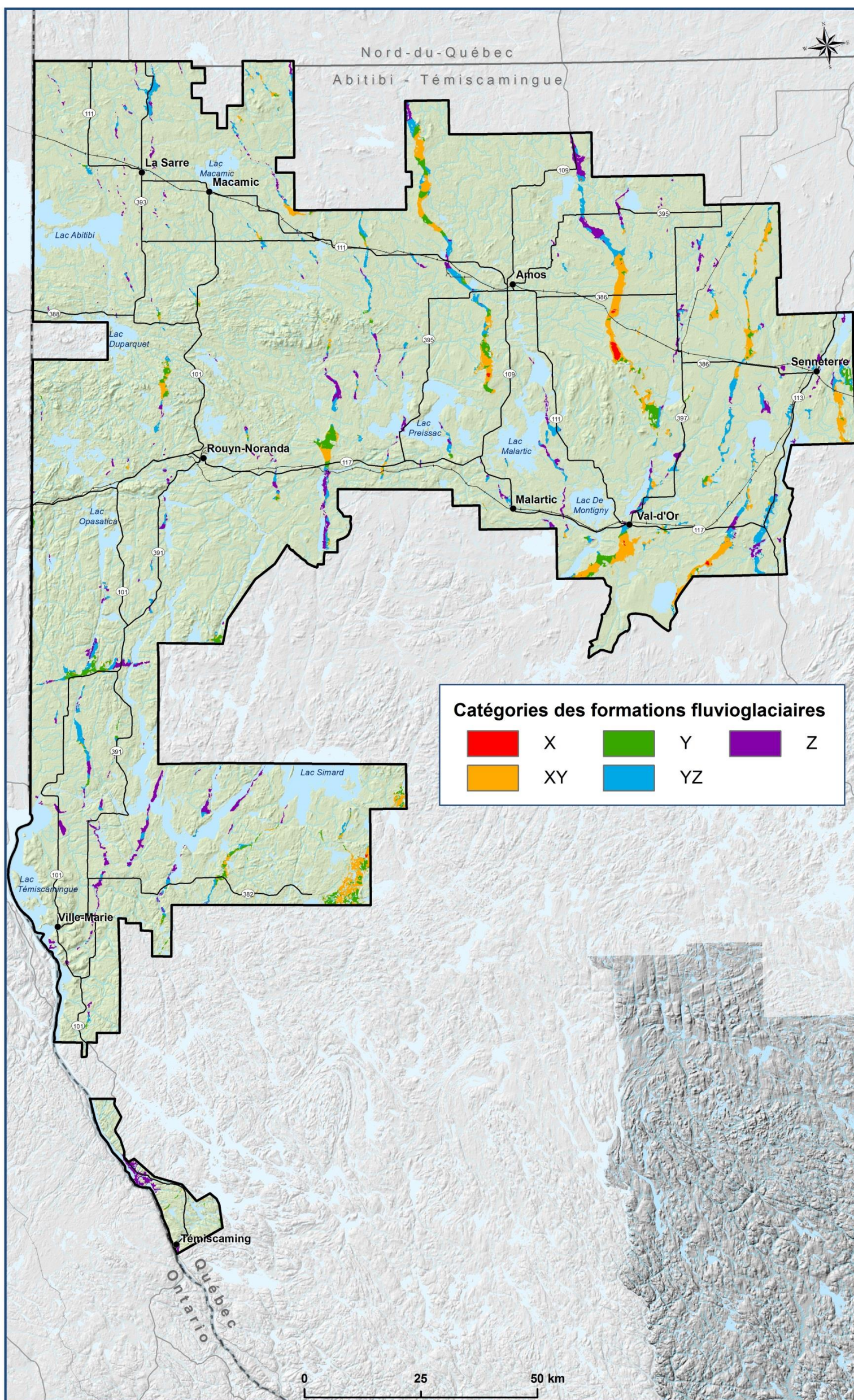


Tableau 6.3.5.1 Description des catégories d'esker en fonction de la piézométrie

| Classification | Configuration et distribution spatiale ¹ | Fonctions hydrogéologiques |
|--------------------|---|--|
| Catégorie X | Les tronçons d'esker de catégorie X sont caractérisés par une surface piézométrique dont l'élévation surpasse celle des unités géologiques voisines (Figure 6.3.5.2; « <i>Surface de référence #1</i> »). Ces tronçons (Figure 6.3.5.3) correspondent principalement à des secteurs d'altitude élevée ¹ . | Les tronçons de catégorie X et Y coïncident, de façon générale, aux segments d'eskers/moraines les plus vastes de la région. Ces derniers correspondent également à des zones dont l'altitude est élevée par rapport aux terrains périphériques. Or, la matrice des formations fluvioglaciaires est caractérisée par une conductivité hydraulique relativement élevée. Par conséquent, ces formations sont peu susceptibles d'être favorables au développement de dômes piézométriques dont l'altitude excède significativement celle des unités hydrogéologiques voisines. Des sources ponctuelles et des zones d'exfiltration diffuses sont d'ailleurs fréquemment observées sur les flancs des formations fluvioglaciaires, notamment au niveau du contact avec les unités géologiques périphériques. Les formations fluvioglaciaires de catégorie X et Y seraient donc susceptibles de constituer des secteurs propices à l'établissement d'interactions significatives entre les eaux souterraines et de surface. Il s'agirait vraisemblablement de secteurs où les aquifères associés aux formations fluvioglaciaires seraient propices à l'alimentation du réseau hydrographique (eaux de surface) et au développement de milieux humides alimentés par des apports en eau souterraine. |
| Catégorie Y | Les tronçons d'esker de catégorie Y sont caractérisés par une surface piézométrique dont l'élévation est comprise entre celle de la surface de référence associée à l'argile (Figures 7.3.5.2; « <i>Altitude extrapolée de l'argile</i> ») et celle de la surface de référence #1 (Figure 6.3.5.2; « <i>Surface de référence #1</i> »). Ces tronçons (Figure 6.3.5.3) correspondent principalement à de vastes segments d'eskers et moraines. | |
| Catégorie Z | Les tronçons d'esker de catégorie Z sont caractérisés par une surface piézométrique dont l'altitude est inférieure à celle du plan de référence associée à l'argile (Figure 6.3.5.2; « <i>Altitude extrapolée de l'argile</i> »). Ces tronçons (Figure 6.3.5.3) correspondent principalement à des segments d'eskers et moraines d'étendue limitée. | Les tronçons de catégorie Z correspondent à des zones où l'altitude de la surface piézométrique estimée au sein des eskers/moraines est inférieure à l'élévation de la couche d'argile localisée en périphérie. Considérant la faible conductivité hydraulique de la couche d'argile, il apparaît réaliste de suggérer que ces tronçons de formations fluvioglaciaires seraient peu susceptibles de contribuer à l'établissement d'interactions avec le réseau hydrographique (eaux de surface) lorsque ce dernier n'est pas incisé significativement dans l'argile. |

¹ Sur la figure 6.3.5.3, afin de limiter d'éventuelles erreurs d'interprétation, des zones de transition XY et YZ sont identifiées lorsque le niveau piézométrique se situe à l'intérieur d'une plage de ± 5 m des plans de référence.

Figure 6.3.5.3 Distribution spatiale des formations fluvioglaciaires de catégories X, Y et Z de la région



*Des zones de transition XY et YZ sont identifiées lorsque le niveau piézométrique se situe à l'intérieur d'une plage de ± 5 m des plans de référence #1 et #2, respectivement.

6.3.6 Limites de l'approche régionale (piézométrie interpolée)

Il est implicite que (1) l'utilisation des hypothèses de travail énumérées au tableau 6.3.1.1 et (2) l'imprécision 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 (spatiale et temporelle) hétérogène des données issues de différentes sources. Une stratégie d'estimation de l'erreur associée à la carte piézométrique a donc été développée sur la base de l'approche proposée par Cloutier et al., 2013a.

La première stratégie de validation de la carte piézométrique a consisté en une inspection visuelle des données interpolées. 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. La seconde étape de validation de la carte piézométrique a consisté en la réalisation d'un test d'estimation de l'erreur. L'estimation a été effectuée en sous-échantillonnant aléatoirement 5 % des données (conservées pour comparaison) et en réalisant l'interpolation de la piézométrie avec les données restantes (95 %). 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. 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. Les résultats suggèrent que l'erreur moyenne absolue sur les valeurs piézométriques interpolées serait <3 m (écart type <5 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.

6.3.7 Variations saisonnières des niveaux d'eau souterraine

La carte piézométrique régionale ne permet pas la représentation des fluctuations saisonnières dans les niveaux d'eau souterraine. Il en résulte un certain niveau d'incertitude en ce qui a trait aux données interpolées à l'échelle de la région. Construit afin de pallier à cette lacune, le tableau 6.3.7.1 dresse un sommaire des données associées à l'ensemble des stations de suivi piézométriques associées aux eskers et moraines de la région. Ces données suggèrent des variations temporelles de niveaux piézométriques allant de 0,37 m à 4,83 m.

Tableau 6.3.7.1 Sommaire des données piézométriques correspondant aux formations fluvioglaciales de l'Abitibi-Témiscamingue

| Nom de la station | Localisation ¹ | | Position de la crépine ² | Période de suivi ³ (aa-mm; aa-mm) | Niveaux piézométriques ⁴ (m) | | | |
|-------------------------|---------------------------|------------|-------------------------------------|---|---|--------|--------|--------|
| | latitude | long | | | Min. | Med. | Max. | Moy. |
| 4300004 ^A | 47,825450 | -79,328740 | S/G | (09-05; 14-06) | 326,49 | 327,11 | 328,81 | 327,33 |
| 4300005 ^A | 47,825460 | -79,328750 | S/G | (09-05; 14-06) | 326,89 | 327,47 | 328,83 | 327,62 |
| 4300007 ^{A,B} | 48,192170 | -78,669350 | S/G | (09-05; 14-06) | 297,71 | 297,88 | 298,30 | 297,91 |
| 4300008 ^A | 48,371120 | -78,630500 | S | (09-06; 14-06) | 324,08 | 324,58 | 325,11 | 324,61 |
| 4300009 ^A | 47,890430 | -78,157440 | S/G | (09-06; 14-06) | 320,39 | 320,89 | 321,42 | 320,91 |
| 4300010 ^A | 47,890420 | -78,157490 | S/G | (09-06; 14-06) | 319,98 | 320,48 | 321,01 | 320,49 |
| 8010002 ^{A,B} | 48,548270 | -78,232860 | S/G | (08-05; 14-06) | 317,59 | 318,09 | 318,98 | 318,11 |
| 8010003 ^A | 48,773180 | -77,910770 | S/G | (09-05; 14-06) | 321,10 | 321,33 | 321,82 | 321,36 |
| 8010004 ^A | 48,381250 | -78,193840 | S/G | (09-06; 14-06) | 356,02 | 356,68 | 357,84 | 356,65 |
| 8010005 ^A | 48,546980 | -77,809870 | S/G | (09-06; 14-06) | 334,45 | 334,76 | 335,19 | 334,79 |
| 8010006 ^A | 48,547020 | -77,809860 | S/G | (09-06; 14-06) | 334,31 | 334,69 | 335,11 | 334,71 |
| 8070001 ^{A,B} | 48,430290 | -77,647120 | S/G | (08-05; 14-06) | 306,18 | 306,42 | 306,67 | 306,42 |
| 8070002 ^{A,B} | 48,309630 | -77,171270 | S/G | (08-08; 14-06) | 331,86 | 332,40 | 333,16 | 332,40 |
| 08A10002 ^A | 48,804820 | -79,359940 | S/G | (08-08; 14-06) | 296,84 | 297,42 | 298,14 | 297,47 |
| 2ABTE10016 ^B | 48,670697 | -78,860810 | S/G | (13-07; 14-10) | 314,47 | 314,90 | 315,47 | 314,90 |
| 2ABTE10018 | 48,922987 | -79,169850 | S/G | (13-07; 14-10) | 304,91 | 305,13 | 305,29 | 305,10 |
| 2ABTE10019 | 48,867766 | -78,918995 | S/G | (13-07; 14-10) | 297,03 | 297,28 | 297,48 | 297,26 |
| 2ABTE10023 ^B | 48,394933 | -79,113636 | S/G | (13-09; 14-10) | 334,71 | 337,41 | 337,78 | 337,40 |
| 2ABTE10024 | 48,406203 | -79,140474 | S/G | (13-09; 14-10) | 318,32 | 318,52 | 318,90 | 318,50 |
| ABTE0084 ^C | 48,170851 | -78,158027 | S/G | (11-06; 14-10) | 308,93 | 309,21 | 309,63 | 309,25 |
| ABTE0124 ^C | 48,177895 | -78,161230 | S/G | (11-06; 14-10) | 306,70 | 306,86 | 307,59 | 306,89 |
| ABTE0125 ^C | 48,178482 | -78,161708 | S/G | (11-06; 14-10) | 306,50 | 306,72 | 307,56 | 306,76 |
| ABTE0148 ^C | 48,550260 | -78,225000 | S/G | (10-07; 14-10) | 314,22 | 314,48 | 314,90 | 314,50 |
| ABTE0150 ^B | 48,532680 | -78,206300 | S/G | (10-07; 14-10) | 309,54 | 309,78 | 310,07 | 309,77 |
| ABTE0152 ^C | 48,514230 | -78,205970 | S/G | (10-07; 14-10) | 310,18 | 310,74 | 311,15 | 310,72 |
| ABTE0154 ^C | 48,506930 | -78,183410 | S/G | (10-07; 14-10) | 307,00 | 311,43 | 311,71 | 311,43 |
| ABTE0157 ^C | 48,524420 | -78,191470 | S/G | (10-07; 14-10) | 305,84 | 310,40 | 310,67 | 310,39 |
| ABTE0161 ^C | 48,546524 | -78,220153 | S/G | (10-07; 14-10) | 311,63 | 311,92 | 312,35 | 311,94 |
| ABTE3143 ^C | 48,091440 | -77,804160 | S/G | (11-07; 13-10) | 306,26 | 306,64 | 307,06 | 306,66 |
| ABTE3151 ^C | 48,103340 | -77,804480 | S/G | (11-07; 14-10) | 303,07 | 303,35 | 303,55 | 303,35 |
| ABTE3152 ^C | 48,103080 | -77,791710 | S/G | (11-07; 14-10) | 305,24 | 305,46 | 305,74 | 305,47 |
| ABTE3155 ^C | 48,129605 | -77,758364 | S/G | (11-07; 14-10) | 294,78 | 295,26 | 295,88 | 295,34 |
| ABTE3158 ^C | 48,125630 | -77,755310 | S/G | (11-07; 14-10) | 296,39 | 296,87 | 297,52 | 296,91 |
| ABTE3163 ^{B,C} | 48,128980 | -77,766200 | S/G | (11-07; 13-10) | 294,39 | 294,78 | 295,45 | 294,86 |
| ABTE3173 ^C | 48,107058 | -77,798833 | S/G | (11-07; 14-10) | 302,46 | 302,70 | 302,85 | 302,70 |
| ABTE3531 ^C | 48,106990 | -77,800560 | S/G | (11-07; 14-10) | 302,41 | 302,65 | 302,81 | 302,65 |
| ABTE7559 ^C | 48,411757 | -78,203786 | S/G | (11-06; 14-10) | 336,87 | 337,80 | 338,72 | 337,76 |
| ABTE7560 ^C | 48,411654 | -78,197976 | S/G | (10-11; 14-10) | 344,76 | 346,12 | 347,34 | 346,04 |
| ABTE7561 ^C | 48,532332 | -78,198870 | S/G | (11-06; 14-10) | 308,97 | 309,16 | 309,36 | 309,16 |
| ABTE7563 ^C | 48,457717 | -78,216182 | S/G | (10-12; 14-10) | 313,00 | 313,37 | 313,62 | 313,35 |
| ABTE7564 ^C | 48,457724 | -78,216173 | S/G | (10-12; 14-10) | 311,49 | 311,80 | 311,87 | 311,76 |
| ABTE7567 ^C | 48,456900 | -78,192230 | S/G | (10-12; 14-10) | 315,63 | 316,20 | 320,30 | 316,59 |
| ABTE7568 ^C | 48,412446 | -78,181995 | S/G | (11-06; 14-10) | 335,07 | 339,26 | 339,61 | 339,24 |
| ABTE7571 ^C | 48,525943 | -78,210582 | S/G | (11-06; 14-10) | 310,11 | 310,32 | 310,59 | 310,32 |
| ABTE7987 ^C | 48,302479 | -77,167409 | S/G | (11-10; 14-10) | 335,95 | 336,46 | 337,25 | 336,57 |
| ABTE7988 ^C | 48,329126 | -77,172196 | S/G | (11-10; 14-10) | 330,38 | 330,73 | 331,10 | 330,72 |
| ABTE7989 ^C | 48,593103 | -77,793645 | S/G | (11-10; 14-10) | 338,82 | 339,14 | 339,48 | 339,16 |
| ABTE7997 ^C | 48,408542 | -78,192396 | S/G | (11-11; 14-10) | 336,64 | 338,42 | 339,11 | 337,99 |
| ABTE7998 ^C | 48,456935 | -78,198400 | S/G | (11-11; 14-07) | 316,76 | 317,11 | 317,45 | 317,10 |
| ABTE7999 ^C | 48,456974 | -78,198439 | S/G | (11-11; 14-10) | 316,73 | 317,09 | 317,42 | 317,08 |
| ABTE8000 ^{B,C} | 48,457014 | -78,198430 | R | (11-11; 14-10) | 312,59 | 317,00 | 317,26 | 316,99 |
| ABTE8001 ^C | 48,158024 | -78,666085 | S/G | (11-11; 14-10) | 303,81 | 303,96 | 304,18 | 303,98 |
| ABTE8002 ^C | 48,246010 | -78,664733 | S/G | (11-11; 14-10) | 341,39 | 341,57 | 342,00 | 341,68 |

¹ Les coordonnées sont fournies en degrés décimaux. ² Colonne identifiant la position de la crépine du piézomètre de suivi au sein de l'environnement géologique (S/G : sable et gravier; R : roc). ³ Plage de valeurs disponibles en date de rédaction du présent rapport (première valeur; dernière valeur). ⁴ Altitudes fournies selon le niveau moyen de la mer (NMM). ^A Piézomètres du réseau de suivi des eaux souterraines du MDDELCC. ^B Piézomètres équipés d'une sonde destinée à la mesure de la pression atmosphérique. ^C Piézomètres installés dans le cadre du PACES-AT1 (Cloutier et al., 2013a). Min. : valeur minimale; Med. : valeur médiane; Max. : valeur maximale; Moy. : valeur moyenne.

6.4 Fonctions hydrogéologiques des tourbières

Les tourbières constituent des milieux à drainage variable où les processus d'accumulation de matière organique prévalent sur les mécanismes de décomposition et d'humification (Payette et Rochefort, 2001). Les dépôts résultant de cette accumulation présentent une porosité de l'ordre de 90 % (p. ex. voir Francez, 2000; Todd and Mays, 2005) et une architecture comportant deux couches, l'acrotelme et le catotelme, lesquelles sont distinctes en termes de propriétés hydrauliques. La nappe phréatique y fluctue près de la surface, au sein de la tranche perméable constituée par l'acrotelme, alors que la tranche inférieure (catotelme), moins perméable, demeure saturée en quasi-permanence à la faveur d'un bilan hydrique excédentaire (Mitsch et Gosselink, 2000). De telles conditions sont propices à l'emmagasinement transitoire d'eau (Richardson et al., 2012) et selon leur position au sein de l'environnement hydrogéologique, les complexes tourbeux sont susceptibles d'avoir pour fonction de moduler la dynamique d'écoulement des eaux souterraines et le régime hydrique des lacs et cours d'eau. En ce sens, un aspect fondamental de l'étude des fonctions des tourbières au sein du cycle de l'eau concerne l'évaluation de leurs liens avec les aquifères et le réseau hydrographique. Or, bien qu'une littérature scientifique croissante s'articule autour de l'hydrologie des tourbières (p. ex. voir Price et al., 2005) et de la modélisation de leur dynamique hydrique à l'échelle locale (p. ex. voir Levison et al., 2014), l'établissement de modèles conceptuels et de stratégies permettant de généraliser les interprétations demeure à ce jour un défi. Une contrainte importante concerne le changement d'échelle : comment des données terrain et des résultats de modélisation obtenus à l'échelle locale (p. ex. au niveau d'un complexe tourbeux d'échelle 10^2 km^2) peuvent-ils être interprétés afin de comprendre le rôle des tourbières dans le cycle de l'eau à l'échelle des grands bassins versants ou de territoires de dimensions similaires à celui du PACES-AT2 (échelle de l'ordre de 10^5 km^2)? Les éléments présentés dans cette section s'insèrent dans la problématique préétablie et visent le développement d'une stratégie de catégorisation des tourbières sur la base de données terrain et de systèmes d'informations géographiques (SIG). La démarche proposée repose sur le postulat voulant que pour une région donnée, des complexes tourbeux présentant des attributs géomorphologiques comparables et occupant une position similaire au sein de l'environnement hydrogéologique présenteront des fonctions analogues. En ce sens, l'approche de catégorisation des complexes tourbeux pourra servir d'outil permettant d'encadrer les approximations inhérentes aux changements d'échelles dans le cadre de l'interprétation des fonctions hydrogéologiques des tourbières. D'un point de vue scientifique, la définition d'une telle approche s'insère dans le cadre des démarches visant à améliorer la compréhension des fonctions propres aux complexes tourbeux de la région d'étude. D'un point de vue pratique, l'établissement d'une approche de catégorisation s'insère dans le cadre des démarches visant à identifier les complexes tourbeux les plus susceptibles de moduler la dynamique d'écoulement de l'eau souterraine et le régime hydrique des lacs et cours d'eau, dans la perspective d'assurer leur protection lors de l'aménagement du territoire.

6.4.1 Sources de données et bases théoriques de l'approche de catégorisation

Le tableau 6.4.1.1 dresse un sommaire des principales données utilisées à titre d'intrants dans le cadre de l'établissement de l'approche de catégorisation des complexes tourbeux et fournit un aperçu des principaux constats retenus pour chacune des classes de données incluses. L'analyse proposée inclut conjointement les territoires PACES-AT1 et PACES-AT2. Cette approche a été retenue afin (1) d'uniformiser les bases de données issues des deux projets, (2) d'inclure une plus vaste région à l'approche dans l'optique d'augmenter la représentativité spatiale des interprétations et (3) d'augmenter le jeu de données disponibles pour la réalisation de calculs par approche SIG.

Tableau 6.4.1.1 Sommaire des sources de données exploitées et des constats associés

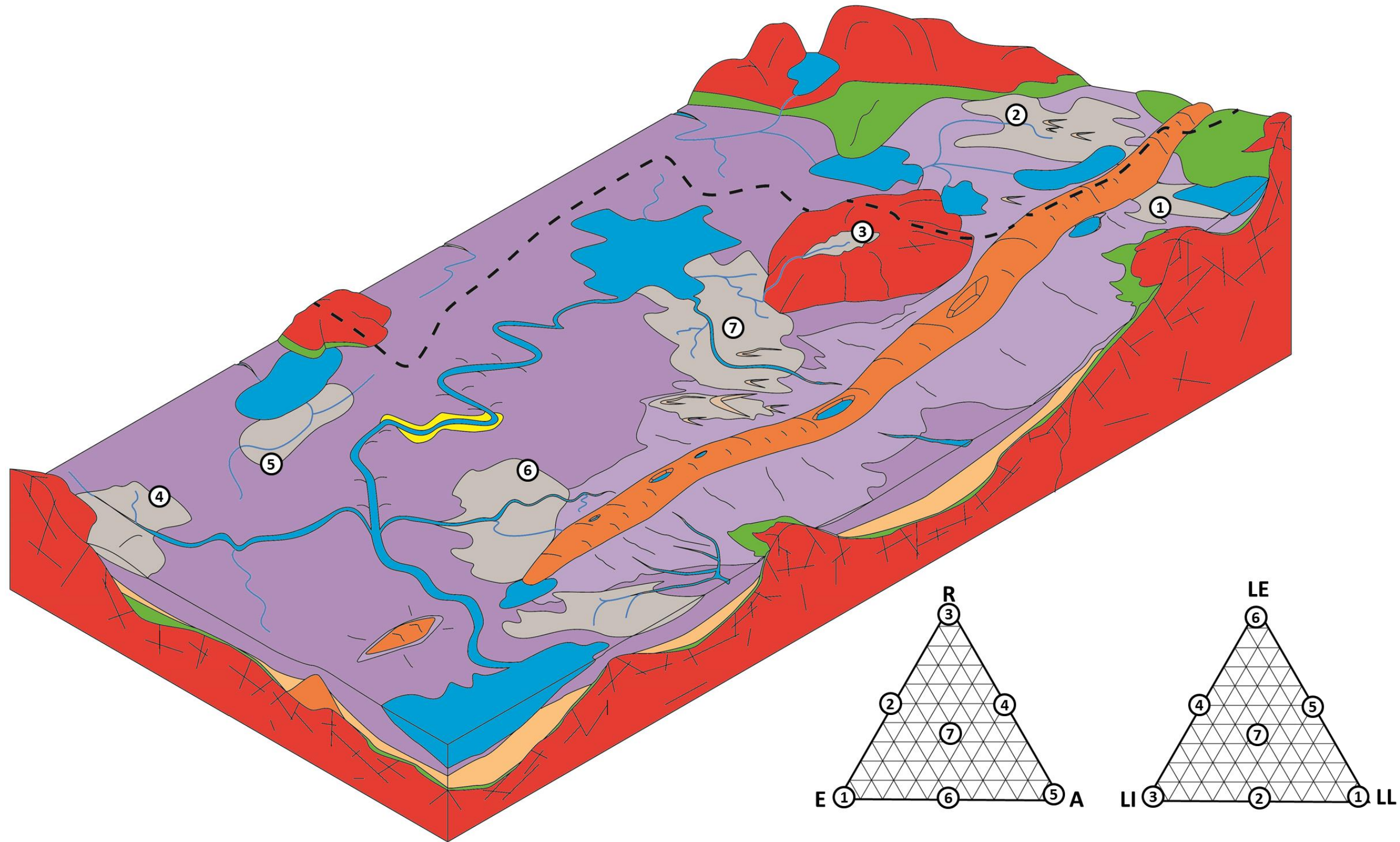
| Sources de données exploitées | Référence au présent rapport (territoire PACES-AT2) | Référence au rapport PACES-AT1 (Cloutier et al., 2013a) | Observations régionales et hypothèses de travail (territoires PACES-AT2 et PACES-AT1) |
|---|---|---|---|
| Cartographie des milieux humides | Section 2.6; Carte 6 | Section 2.10; Carte 10 | À l'échelle de la région à l'étude, il est estimé que les tourbières couvrent près de 1 526,5 km ² , soit l'équivalent de plus de 7,8 % de la surface du territoire. |
| Cartographie des formations superficielles (Géologie du Quaternaire) | Section 2.8; Carte 8 | Section 4.2; Carte 13 | L'interprétation des cartes de dépôts de surface révèle que les dépôts classés à titre de dépôts organiques «O» correspondent, de façon générale, à un amalgame des milieux humides identifiés à la section 2.6 (Carte 6). Il est estimé sur la base d'une évaluation des recouvrements de polygones cartographiques que 75,5 % des superficies de tourbières identifiées sur la carte des milieux humides (Carte 6) correspondent à des secteurs de dépôts organiques sur la carte des dépôts de surface (Carte 8). La classe «O» est donc assimilée ici à l'appellation « complexes tourbeux ». |
| Hydrographie et limites de bassins versants | Section 2.4; Cartes 3-4 | Sections 2.7 et 2.8; Cartes 7-8 | Les données disponibles suggèrent que 69,5 % des polygones de dépôts organiques identifiés sur la carte des dépôts de surface sont en contact avec un élément du réseau hydrographique (plan ou cours d'eau). |
| Acquisition de données radar et GNSS | Sections 3.2 et 4.2 | Section 3.3.7 | Les données radar acquises au niveau de complexes tourbeux ciblés suggèrent des épaisseurs de tourbe pouvant atteindre 6,2 m au niveau de la région, pour une moyenne de 2,95 m. |
| Mesures manuelles d'épaisseur de tourbe | Sections 3.3 et 4.3 | NA | Les données issues des mesures manuelles suggèrent une rugosité de surface pouvant atteindre 0,65 m au niveau de la région, pour une moyenne de 0,22 m. La comparaison des estimations d'épaisseurs issues des mesures radar avec celles issues des mesures manuelles révèle une corrélation jugée significative ($R^2=0,96$). Ce constat tend à indiquer que les profils radar fournissent une représentation fidèle de la morphologie des complexes tourbeux investigués. |
| Modèle altimétrique numérique | Section 5.1; Carte 12 | Section 2.6; Carte 5 | Les données suggèrent que les complexes tourbeux occupent une plage d'altitude allant de 181,2 m à 440,0 m. En ce sens, les tourbières ne semblent pas restreintes aux zones de faible altitude (généralement caractéristiques de la plaine argileuse) de la région. |
| Définition des unités hydrogéologiques régionales | Section 6.1 | Section 5.1 | Il est proposé ici que les liens hydrogéologiques entre les tourbières et les aquifères périphériques seront en partie fonction des caractéristiques des unités hydrogéologiques en contact avec les dépôts tourbeux. En ce sens, les trois principales unités hydrogéologiques retenues afin de caractériser la position des milieux humides sont (1) les unités associées au socle rocheux fracturé, (2) les dépôts granulaires associés aux formations fluvioglaciaires en zone d'aquifère à nappe libre et (3) les dépôts glaciolacustres. |

La stratégie de catégorisation des tourbières proposée ici s'appuie entièrement sur les données, observations et hypothèses énumérées au tableau 6.4.1.1. L'approche de catégorisation s'appuie sur l'hypothèse voulant que les fonctions hydrogéologiques et hydrologiques des tourbières seront fonction de leur position (1) au sein de l'environnement géologique et (2) au sein du réseau hydrographique. En ce sens, le tableau 6.4.1.2 présente la stratégie de catégorisation retenue. En complément au tableau 6.4.1.2, la figure 6.4.1.1 illustre de façon schématisée l'approche de catégorisation retenue.

Tableau 6.4.1.2 Approche de catégorisation des complexes tourbeux en fonction de leur position au sein de l'environnement géologique et du réseau hydrographique

| Base de l'approche | | Stratégie d'évaluation quantitative | | Schéma de classification | |
|--|---|---|---|---|--|
| | | Approche SIG et traitement des données | Regroupements proposés | | |
| Évaluation de la position des complexes tourbeux au sein de l'environnement géologique | L'approche retenue consiste en une évaluation de la proportion (en termes de partage de périmètre) des unités voisines des polygones de dépôts organiques sur les cartes des dépôts de surface (voir figure 6.4.1.1). Seuls les complexes tourbeux entièrement compris au sein de la zone d'étude sont retenus pour les analyses spatiales. | Les données utilisées sont entièrement issues de la cartographie des formations de surface (Section 2.8; Carte 8), ce qui favorise l'obtention de polygones cartographiques contigus. Les espaces vides au sein des données numériques (p. ex. secteurs correspondant aux jointures de feuillets cartographiques) ont été comblés grâce à une conversion (<i>polygone</i> → <i>raster (5 m x 5 m)</i> → <i>polygone</i>) à l'aide du logiciel ArcGIS version 10.2, suivie d'une série de corrections non-automatisées. L'évaluation quantitative des longueurs de segments partagés avec les différents regroupements d'unités de surface voisines a été réalisée via l'utilisation de l'outil « <i>Polygon neighbor</i> » du logiciel ArcGIS version 10.2. Les proportions des différents regroupements proposés (colonne de gauche ci-contre) sont subséquemment évaluées au sein d'un classeur Microsoft Excel, puis traitées à l'aide du logiciel Grapher pour la production de graphiques ternaires. | Sédiments d'eau profonde (LGa) | Pôle de classification «Argile» | |
| | | | Sédiments proglaciaires (Go) | Pôle de classification «Esker» | |
| Sédiments granulaires (G) | Pôle de classification «Roc» | | | | |
| Sédiments juxtaglaciaires et d'épandage proglaciaire en milieu subaquatique (Gx) | | Pôle de classification «Roc» | | | |
| Sédiments juxtaglaciaires (Gxi/Gxt) | Pôle de classification «Roc» | | | | |
| Sédiments deltaïques (LGd) | | Pôle de classification «Roc» | | | |
| Sédiments sublittoraux et de plage (LGb) | Pôle de classification «Roc» | | | | |
| Substratum rocheux (R) | | Pôle de classification «Roc» | | | |
| Till en couverture généralement continue (Tc) | Pôle de classification «Roc» | | | | |
| Till en couverture mince et discontinue (Tm) | | Pôle de classification «Roc» | | | |
| | | | | | |
| Évaluation de la position des complexes tourbeux au sein de l'environnement hydrographique | L'approche retenue consiste en une évaluation de la proportion (en termes de longueurs) (1) des cours d'eau traversant entièrement les complexes tourbeux, (2) des cours d'eau dont l'origine se trouve au sein des complexes tourbeux et (3) des lacs partageant une limite avec des complexes tourbeux (voir figure 6.4.1.1). Seuls les complexes tourbeux entièrement compris au sein de la zone d'étude sont retenus pour les analyses spatiales. | Évaluation quantitative des longueurs des cours d'eau au sein des complexes tourbeux et des plans d'eau partageant une limite avec les complexes tourbeux. En raison de limites imposées par la précision des sources de données relatives à la configuration du réseau hydrographique (Section 2.6; Carte 6) et à la distribution spatiale des formations géologiques de surface (section 2.8; Carte 8), l'approche de catégorisation s'appuie sur l'interprétation d'images aériennes au sein du logiciel ArcGIS version 10.2. Les proportions des différents regroupements proposés (colonne de gauche ci-contre) sont subséquemment évaluées au sein d'un classeur Microsoft Excel, puis traitées à l'aide du logiciel Grapher pour la production de graphiques ternaires. | Cours d'eau prenant leur source en amont du complexe tourbeux ciblé mais traversant entièrement ou en partie ce dernier | Pôle de classification «Externe» = «LE» | |
| | | | Cours d'eau prenant leur source au sein du complexe tourbeux ciblé | Pôle de classification «Interne» = «LI» | |
| | | | Lacs partageant une limite avec le complexe tourbeux ciblé | Pôle de classification «Lac» = «LL» | |

Figure 6.4.1.1 Représentation schématique de l'approche de catégorisation des complexes tourbeux en fonction de leur position au sein de l'environnement géologique et du réseau hydrographique

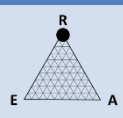
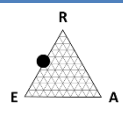
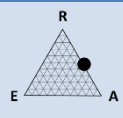
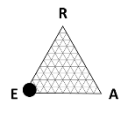
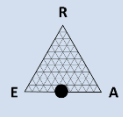
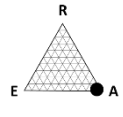
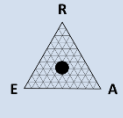


Pour le schéma de classification des tourbières selon l'environnement géologique : R : Roc; E : Esker; A : Argile; Pour le schéma selon l'environnement hydrographique : LE : Externe, LI : Interne : LL : Lac.

6.4.2 Classification en fonction de l'environnement géologique : portrait régional

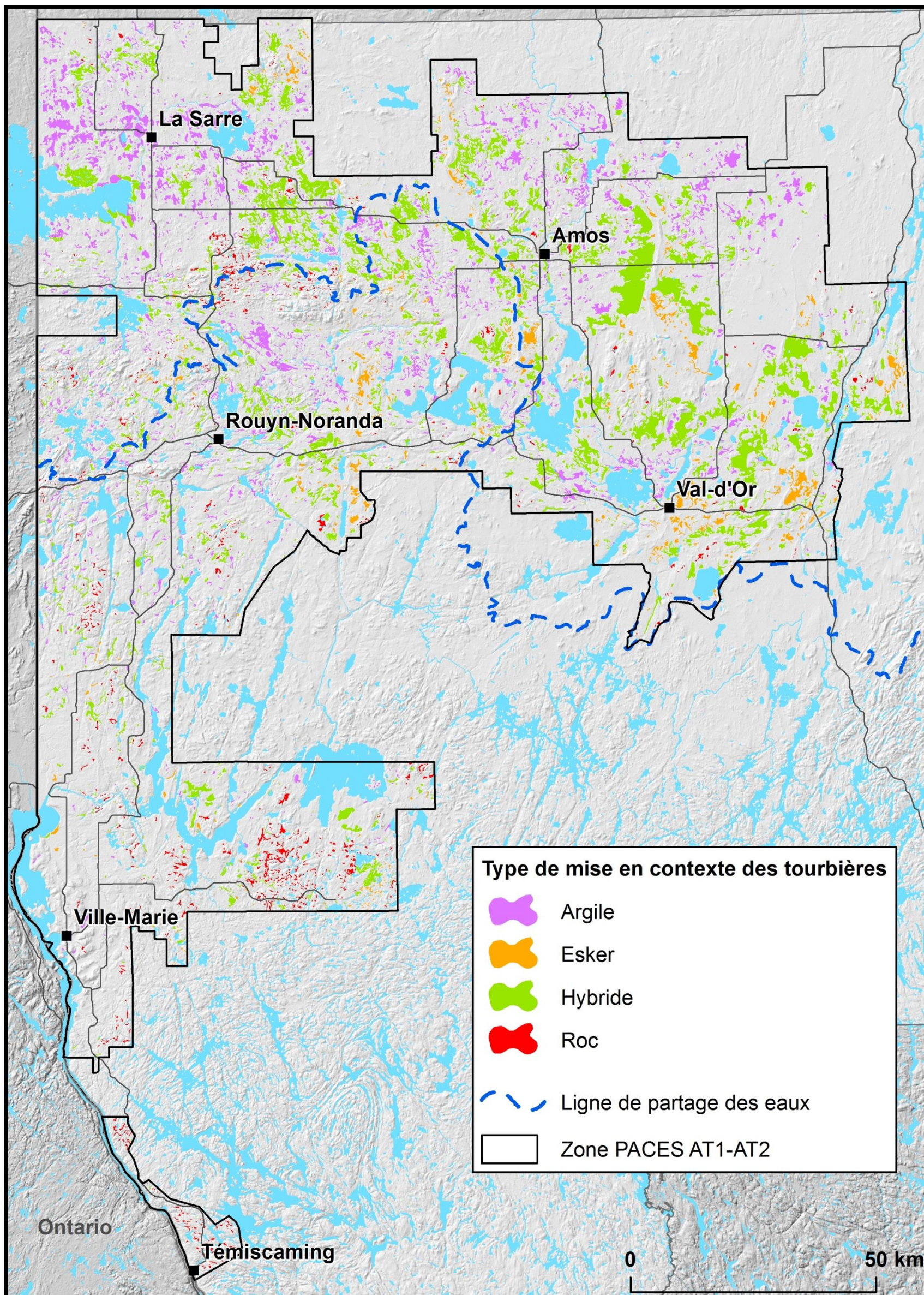
La figure 6.4.2.1 illustre la distribution spatiale des polygones cartographiés à titre de dépôts organiques au sein de la carte des formations superficielles (Section 2.8; Carte 8). Tel que discuté aux tableaux 6.4.1.1 et 6.4.1.2, ces polygones ont été retenus pour les analyses spatiales, en assumant une correspondance suffisante avec la distribution spatiale des tourbières (Section 2.6; Carte 6). La figure 6.4.2.1 illustre également la position de la ligne de partage des eaux entre les bassins hydrographiques du Saint-Laurent (au sud) et de la Baie James (au nord). Les plages d'altitudes (voir section 5.1; carte 12) n'étant pas les mêmes au sein des deux bassins la ligne de partage des eaux a été retenue afin de subdiviser le jeu de données régional, dans la perspective de permettre une meilleure représentation de l'altitude des complexes tourbeux dans le schéma de catégorisation. Le tableau 6.4.2.1 dresse un sommaire des observations territoriales découlant de la catégorisation réalisée, laquelle est illustrée sur les diagrammes ternaires correspondant aux figures 6.4.2.2 à 6.4.2.4.

Tableau 6.4.2.1 Description des schémas de catégorisation des tourbières selon l'environnement géologique

| Catégories de tourbières simplifiées ¹ | Territoire PACES-AT1 et PACES-AT2 en entier (Figure 6.4.2.2) | Secteur inclus au bassin versant de la Baie James (Figure 6.4.2.4) | Secteur inclus au bassin versant du Saint-Laurent (Figure 6.4.2.3) |
|---|--|--|--|
|  | n = 1 223; S _(moy) = 0,08 km ² ; Alt _(moy) = 322,9 m | n = 422; S _(moy) = 0,05 km ² ; Alt _(moy) = 329,4 m | n = 801; S _(moy) = 0,09 km ² ; Alt _(moy) = 319,5 m |
| | Les tourbières correspondant exclusivement au pôle «Roc» comptent pour 17,7 % du total des tourbières de la région. Elles tendent à augmenter en nombre (et en proportion) avec une augmentation de l'altitude. Elles sont généralement d'envergure limitée (superficie moyenne de 0,08 km ²). | | |
|  | n = 373; S _(moy) = 0,34 km ² ; Alt _(moy) = 322,5 m | n = 183; S _(moy) = 0,34 km ² ; Alt _(moy) = 334,6 m | n = 190; S _(moy) = 0,33 km ² ; Alt _(moy) = 310,8 m |
| | Les tourbières correspondant exclusivement au segment «Roc-Esker» comptent pour 5,4 % du total des tourbières de la région. Elles tendent à augmenter en nombre (et en proportion) avec une augmentation de l'altitude. Elles sont généralement d'envergure limitée (superficie moyenne de 0,34 km ²). | | |
|  | n = 1 074; S _(moy) = 0,43 km ² ; Alt _(moy) = 299,8 m | n = 593; S _(moy) = 0,49 km ² ; Alt _(moy) = 304,3 m | n = 481; S _(moy) = 0,36 km ² ; Alt _(moy) = 294,3 m |
| | Les tourbières correspondant exclusivement au segment «Roc-Argile» comptent pour 15,5 % du total des tourbières de la région. Elles tendent à augmenter en nombre (et en proportion) au niveau des plages d'altitudes intermédiaires. Elles sont en moyenne plus vastes que les autres tourbières localisées sur les arrêtes et pôles du schéma de catégorisation. | | |
|  | n = 864; S _(moy) = 0,14 km ² ; Alt _(moy) = 320,8 m | n = 508; S _(moy) = 0,17 km ² ; Alt _(moy) = 327,2 m | n = 356; S _(moy) = 0,10 km ² ; Alt _(moy) = 311,6 m |
| | Les tourbières correspondant exclusivement au pôle «Esker» comptent pour 12,5 % du total des tourbières de la région. Elles tendent à augmenter en nombre (et en proportion) avec une augmentation de l'altitude. Elles sont généralement d'envergure limitée (superficie moyenne de 0,14 km ²). | | |
|  | n = 321; S _(moy) = 0,55 km ² ; Alt _(moy) = 304,9 m | n = 227; S _(moy) = 0,62 km ² ; Alt _(moy) = 308,4 m | n = 94; S _(moy) = 0,38 km ² ; Alt _(moy) = 296,4 m |
| | Les tourbières correspondant exclusivement au segment «Esker-Argile» comptent pour 4,6 % du total des tourbières de la région. Elles tendent à augmenter en nombre (et en proportion) au niveau des plages d'altitudes intermédiaires. Elles sont généralement d'envergure limitée (superficie moyenne de 0,14 km ²). | | |
|  | n = 2 811; S _(moy) = 0,14 km ² ; Alt _(moy) = 295,4 m | n = 1 898; S _(moy) = 0,15 km ² ; Alt _(moy) = 296,2 m | n = 913; S _(moy) = 0,11 km ² ; Alt _(moy) = 293,6 m |
| | Les tourbières correspondant exclusivement au pôle «Argile» comptent pour 40,6 % du total des tourbières de la région. Elles tendent à augmenter en nombre (et en proportion) avec une diminution de l'altitude. Elles sont en moyenne plus vastes que les autres tourbières localisées sur les pôles du schéma de catégorisation. | | |
|  | n = 262; S _(moy) = 3,31 km ² ; Alt _(moy) = 309,9 m | n = 197; S _(moy) = 4,14 km ² ; Alt _(moy) = 314,7 m | n = 110; S _(moy) = 1,86 km ² ; Alt _(moy) = 301,3 m |
| | Les tourbières de type hybride «Roc-Esker-Argile» comptent pour 3,8 % du total des tourbières de la région. Elles tendent à augmenter en nombre (et en proportion) au niveau des plages d'altitudes intermédiaires. Elles sont en moyenne plus vastes que les autres tourbières de la région. | | |

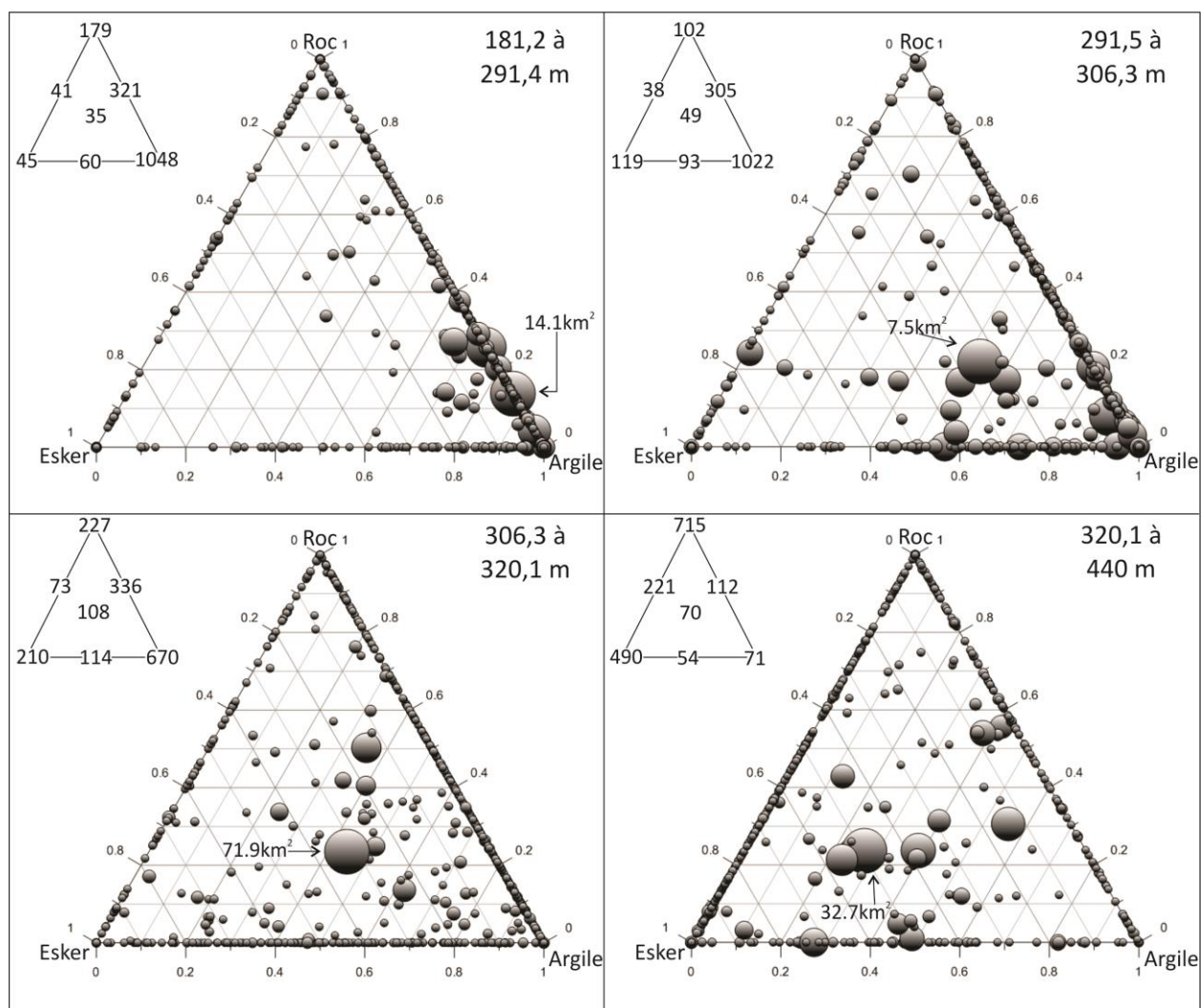
¹Les pôles « Argile », « Esker » et « Roc » sont fixés pour des proportions ≥85 %. R : Roc; E : Esker; A : Argile.

Figure 6.4.2.1 Plan de localisation des polygones de tourbières de la région d'étude et des subdivisions spatiales retenues pour leur catégorisation



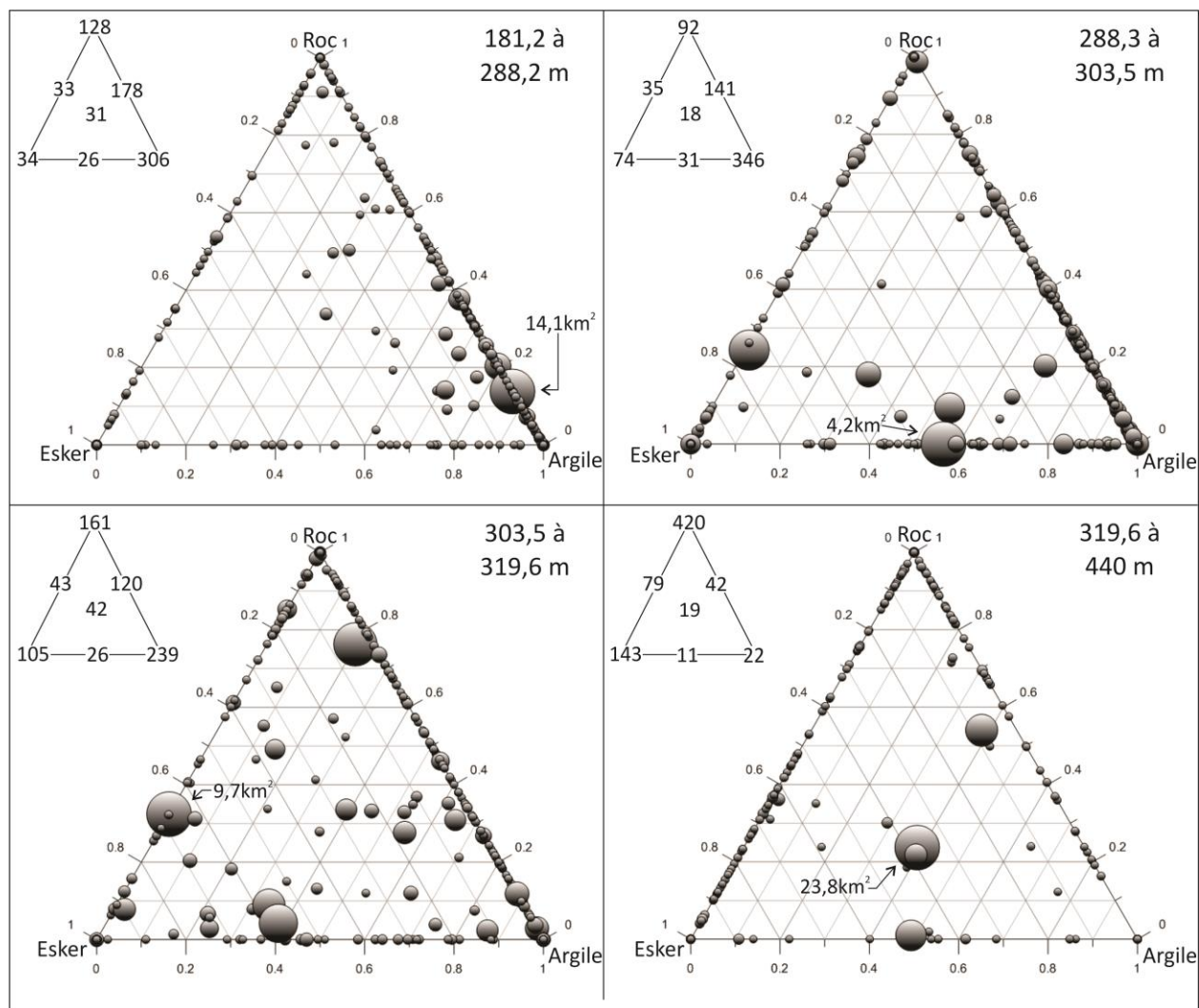
Les pôles « Argile », « Esker » et « Roc » sont fixés pour des proportions $\geq 85\%$.

Figure 6.4.2.2 Catégorisation des tourbières des territoires PACES-AT1 et PACES-AT2 selon le cadre géologique



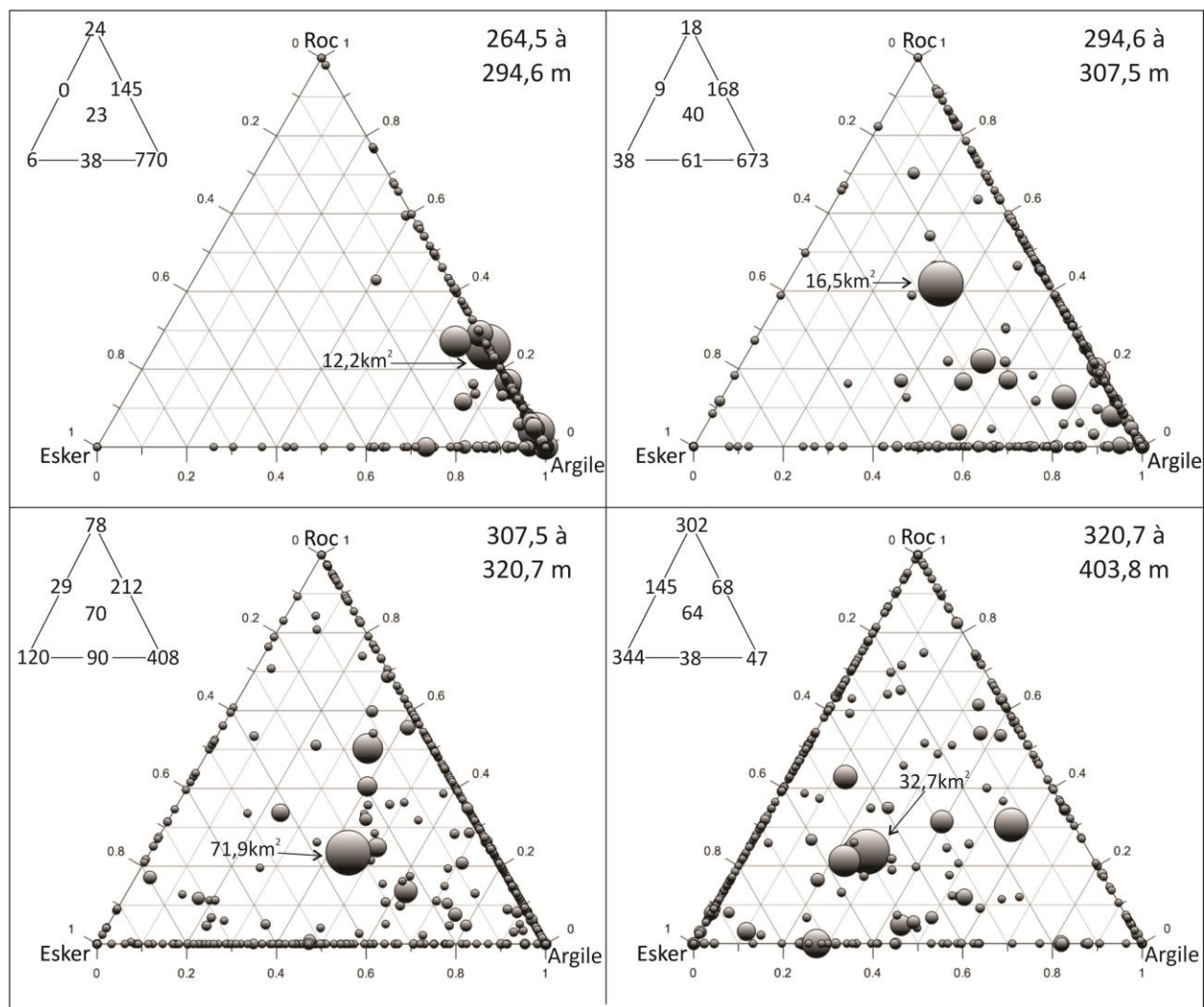
Les quatre schémas proposés sont construits selon des classes d'altitudes regroupant chacune 25 % des tourbières de la région ciblée par l'analyse. Les triangles de taille réduite placés du côté gauche des schémas illustrent le nombre de points se trouvant directement sur les pôles et les arrêtes des triangles de classification, permettant ainsi d'apprécier la densité des points au sein des diagrammes ternaires. Les tourbières n'étant en contact avec aucun des pôles sont systématiquement incluses aux nombres correspondant à la portion centrale des triangles ($n=45$ sur cette figure), bien que ces points n'apparaissent pas au sein du diagramme ternaire. La taille de chacun des points est fonction de la superficie de la tourbière correspondante. Par mesure de simplification, seule la superficie maximale est illustrée au sein du diagramme ternaire. L'altitude des complexes tourbeux est évaluée pour le centroïde de chaque polygone, sur la base du modèle altimétrique numérique sur maillage de 10 m x 10 m (Section 5.1; Carte 12). Les superficies sont évaluées à l'aide du logiciel ArcGIS version 10.2 (outil « *Calculate Geometry* ») avec un système de coordonnées PCS :NAD 1983 Québec Lambert. Les diagrammes ternaires sont réalisés à l'aide du logiciel Grapher version 8.5.733 de Golden Software Inc.

Figure 6.4.2.3 Catégorisation des tourbières des territoires PACES-AT1 et PACES-AT2 selon le cadre géologique, pour la portion située au sein du bassin hydrographique du Saint-Laurent



Les quatre schémas proposés sont construits selon des classes d'altitudes regroupant chacune 25 % des tourbières de la région ciblée par l'analyse. Les triangles de taille réduite placés du côté gauche des schémas illustrent le nombre de points se trouvant directement sur les pôles et les arrêtes des triangles de classification, permettant ainsi d'apprécier la densité des points au sein des diagrammes ternaires. Les tourbières n'étant en contact avec aucun des pôles sont systématiquement incluses aux nombres correspondant à la portion centrale des triangles ($n=30$ sur cette figure), bien que ces points n'apparaissent pas au sein du diagramme ternaire. La taille de chacun des points est fonction de la superficie de la tourbière correspondante. Par mesure de simplification, seule la superficie maximale est illustrée au sein du diagramme ternaire. L'altitude des complexes tourbeux est évaluée pour le centroïde de chaque polygone, sur la base du modèle altimétrique numérique sur maillage de 10 m x 10 m (Section 5.1; Carte 12). Les superficies sont évaluées à l'aide du logiciel ArcGIS version 10.2 (outil « *Calculate Geometry* ») avec un système de coordonnées PCS :NAD 1983 Québec Lambert. Les diagrammes ternaires sont réalisés à l'aide du logiciel Grapher version 8.5.733 de Golden Software Inc.

Figure 6.4.2.4 Catégorisation des tourbières des territoires PACES-AT1 et PACES-AT2 selon le cadre géologique, pour la portion située au sein du bassin hydrographique de la Baie James

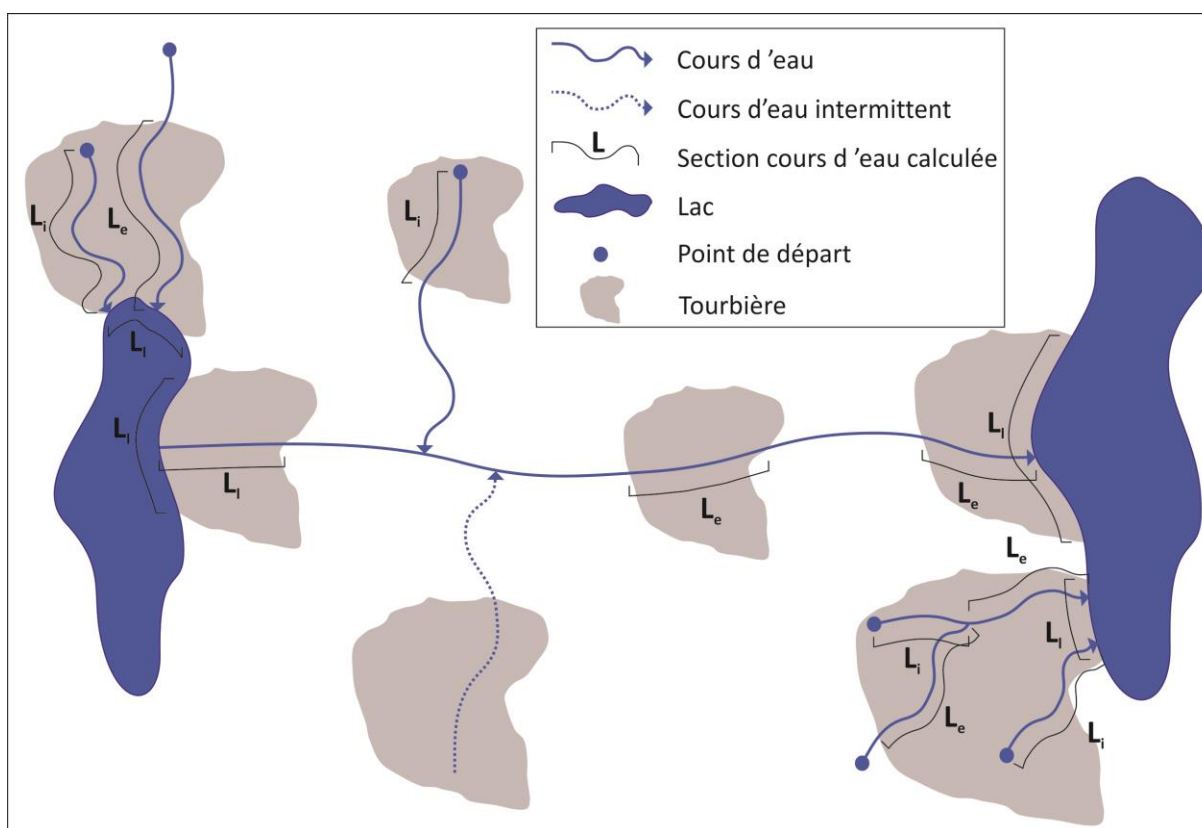


Les quatre schémas proposés sont construits selon des classes d'altitudes regroupant chacune 25 % des tourbières de la région ciblée par l'analyse. Les triangles de taille réduite placés du côté gauche des schémas illustrent le nombre de points se trouvant directement sur les pôles et les arrêtes des triangles de classification, permettant ainsi d'apprécier la densité des points au sein des diagrammes ternaires. Les tourbières n'étant en contact avec aucun des pôles sont systématiquement incluses aux nombres correspondant à la portion centrale des triangles ($n=15$ sur cette figure), bien que ces points n'apparaissent pas au sein du diagramme ternaire. La taille de chacun des points est fonction de la superficie de la tourbière correspondante. Par mesure de simplification, seule la superficie maximale est illustrée au sein du diagramme ternaire. L'altitude des complexes tourbeux est évaluée pour le centroïde de chaque polygone, sur la base du modèle altimétrique numérique sur maillage de 10 m x 10 m (Section 5.1; Carte 12). Les superficies sont évaluées à l'aide du logiciel ArcGIS version 10.2 (outil « *Calculate Geometry* ») avec un système de coordonnées PCS :NAD 1983 Québec Lambert. Les diagrammes ternaires sont réalisés à l'aide du logiciel Grapher version 8.5.733 de Golden Software Inc.

6.4.3 Classification en fonction du réseau hydrographique : portraits locaux

Tel que préalablement spécifié (Tableau 6.4.1.2), en raison de limites imposées par la précision des sources de données relatives à la configuration du réseau hydrographique (Section 2.6; Carte 6) et à la distribution spatiale des formations géologiques de surface (section 2.8; Carte 8), l'approche de catégorisation relative à la position des tourbières au sein du réseau hydrographique (Figures 6.4.1.1 et 6.4.3.1) s'appuie sur l'interprétation d'images aériennes. Les tourbières sélectionnées pour ce type d'analyse sont uniquement celles localisées en périphérie des sites retenus pour la réalisation de mesures radar, au sein du territoire PACES-AT2 (Figure 6.4.3.2). Afin de limiter le nombre de sites à analyser par photo-interprétation tout en maintenant une stratégie de sélection objective, l'ensemble des tourbières interceptées par un disque de 3 000 m de rayon dont le centre correspond au centroïde de l'une des tourbières précitées a été retenu pour l'analyse (Figure 6.4.3.3). Bien que le jeu de données soit insuffisant pour permettre des évaluations régionales, il est proposé ici que la figure 6.4.3.1 illustre la pertinence de l'approche de catégorisation proposée afin de différencier les complexes tourbeux en fonction de leur position au sein du réseau hydrographique.

Figure 6.4.3.1 Approche de catégorisation des tourbières selon leur position au sein du réseau hydrographique



Pôles de classification : « Le » : externe, « Li » : interne et « Ll » : lac.

Figure 6.4.3.2 Distribution spatiale des sites retenus pour la photo-interprétation

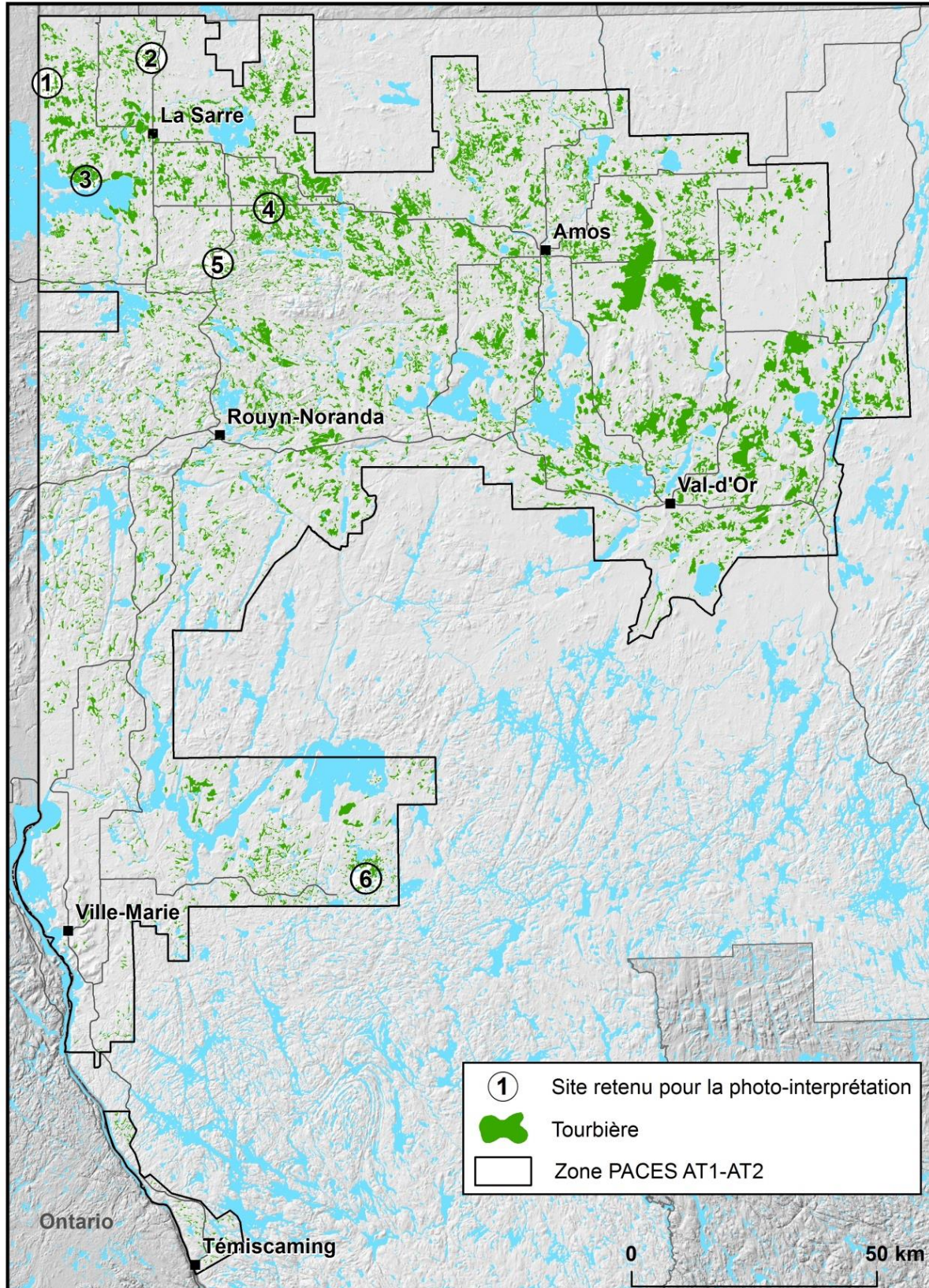
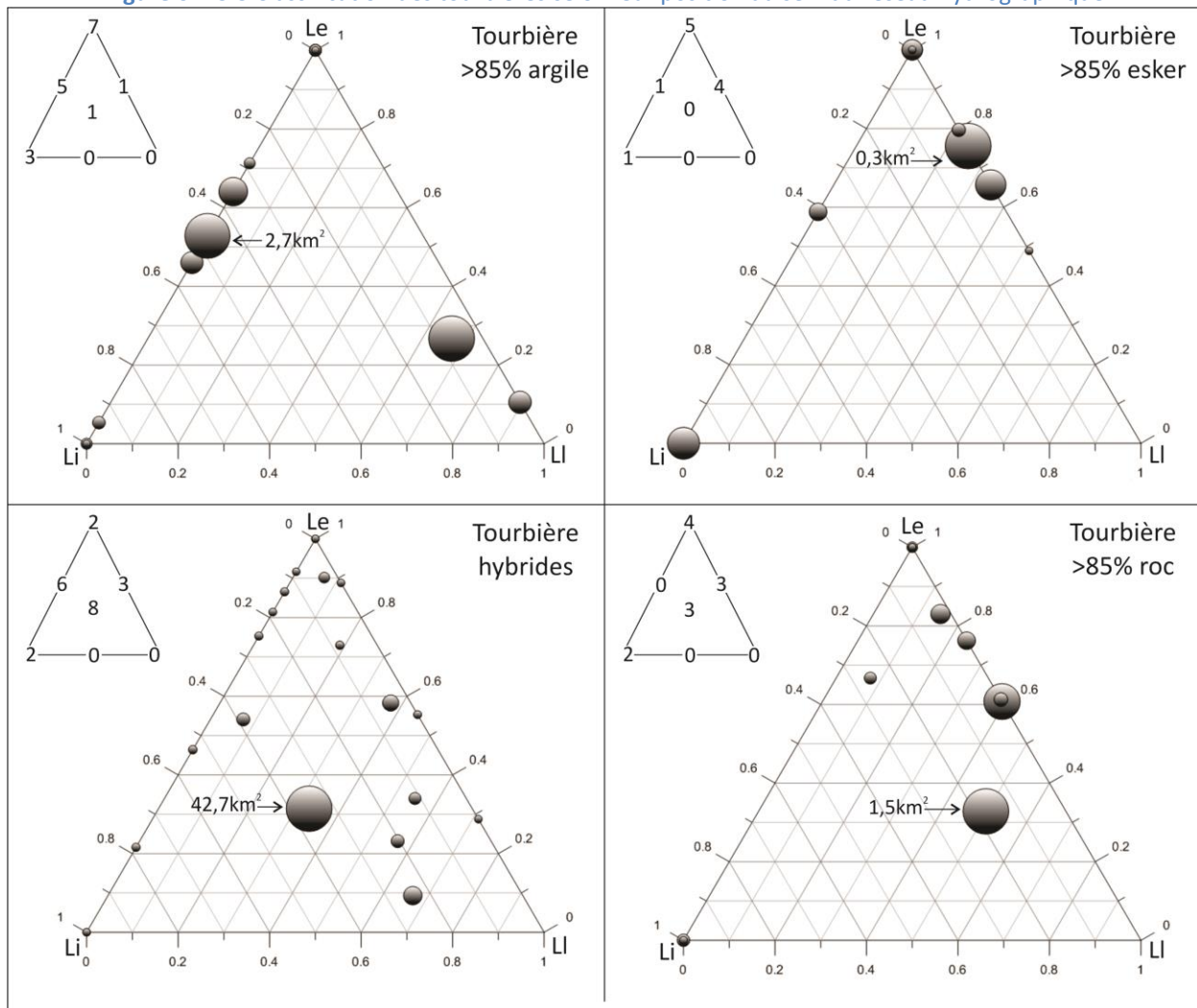


Figure 6.4.3.3 Classification des tourbières selon leur position au sein du réseau hydrographique



Pôles de classification : « Le » : externe, « Li » : interne et « LI » : lac.

Les quatre schémas proposés sont construits selon des classes d'altitudes regroupant chacune 25 % des tourbières de la région ciblée par l'analyse. Les triangles de taille réduite placés du côté gauche des schémas illustrent le nombre de points se trouvant directement sur les pôles et les arrêtes des triangles de classification, permettant ainsi d'apprécier la densité des points au sein des diagrammes ternaires. La taille de chacun des points est fonction de la superficie de la tourbière correspondante. Par mesure de simplification, seule la superficie maximale est illustrée au sein du diagramme ternaire. L'altitude des complexes tourbeux est évaluée pour le centroïde de chaque polygone, sur la base du modèle altimétrique numérique sur maillage de 10 m x 10 m (Section 5.1; Carte 12). Les superficies sont évaluées à l'aide du logiciel ArcGIS version 10.2 (outil « *Calculate Geometry* ») avec un système de coordonnées PCS :NAD 1983 Québec Lambert. Les diagrammes ternaires sont réalisés à l'aide du logiciel Grapher version 8.5.733 de Golden Software Inc.

6.4.4 Morphologie des tourbières et coupes locales

Des coupes locales (Planches 6.4.4.1 à 6.4.4.4) ont été produites pour quater des sites retenus pour l'acquisition de données radar sur complexes tourbeux (Sections 3.2 et 4.2). Ces complexes tourbeux ont été catégorisés selon la méthode proposée aux sections 6.4.1 et 6.4.2 dans la perspective d'évaluer les caractéristiques géomorphologiques propres aux différentes catégories de tourbières. Le tableau 6.4.4.1 dresse un sommaire des observations et caractéristiques géomorphologiques déduites des quatre coupes locales. Les données relatives aux mesures manuelles de tourbe (Sections 3.3 et 4.3) révèlent des rugosités de surface moyennes (par site) allant de 15,9 à 23,7 cm, bien que les résultats ne permettent de différencier les tourbières sur cette base.

Tableau 6.4.4.1 Sommaire des observations géomorphologiques au niveau des sites investigués par radar

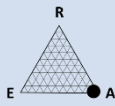
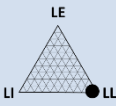
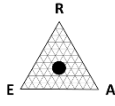
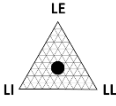
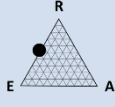
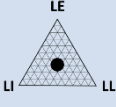
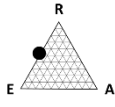
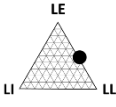
| Coupes locales | Schémas de catégorisation simplifiés | | Correspondances sections résultats | Épaisseurs (m) | | Morphologie de l'interface entre les dépôts organiques et l'unité inorganique sous-jacente |
|--------------------------------------|---|---|------------------------------------|----------------|------|---|
| | | | | Moy. | Max. | |
| Secteur La Reine |  |  | Sections 4.2 et 4.3 Secteur G1 | 4,0m | 5,0m | La morphologie de l'interface est dictée par celle de la dépression argileuse ayant été comblée par la tourbe. Les données suggèrent une dépression concave exempte d'irrégularités significatives |
| Secteur Saint-Vital-Clermont |  |  | Sections 4.2 et 4.3 Secteur G5 | 1,5m | 6,9m | La morphologie de l'interface est dictée par la surface des sédiments sublittoraux reposant sur le flanc de la formation fluvioglaciale. Les données suggèrent une dépression faiblement ondulée induisant une pente de surface perpendiculaire à la formation fluvioglaciale |
| Secteur Sainte-Germaine-Boulé |  |  | Sections 4.2 et 4.3 Secteur G8 | 2,9m | 5,0m | La morphologie de l'interface est dictée par la topographie du socle rocheux. Les données suggèrent une dépression marquée d'irrégularités significatives en partie masquées par des accumulations de till |
| Secteur Belleterre |  |  | Sections 4.2 et 4.3 Secteur G11 | 2,3m | 3,7m | La morphologie de l'interface est dictée par la surface des dépôts fluvioglaciaux. Les données suggèrent une dépression ondulée induisant une pente de surface d'orientation perpendiculaire à la formation fluvioglaciale |

Figure 6.4.4.1 Coupe locale du secteur La Reine

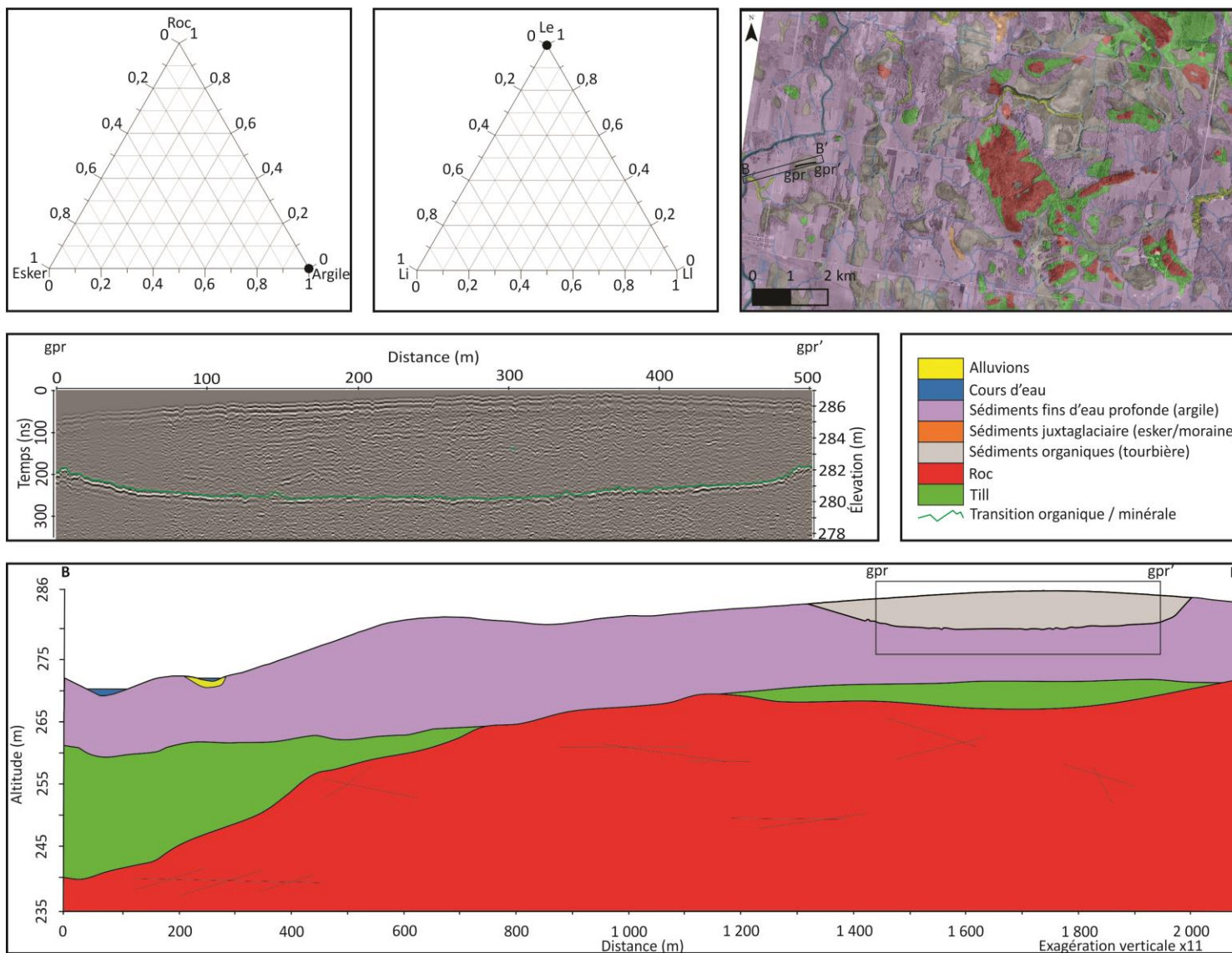


Figure 6.4.4.2 Coupe locale du secteur Saint-Vital-Clermont

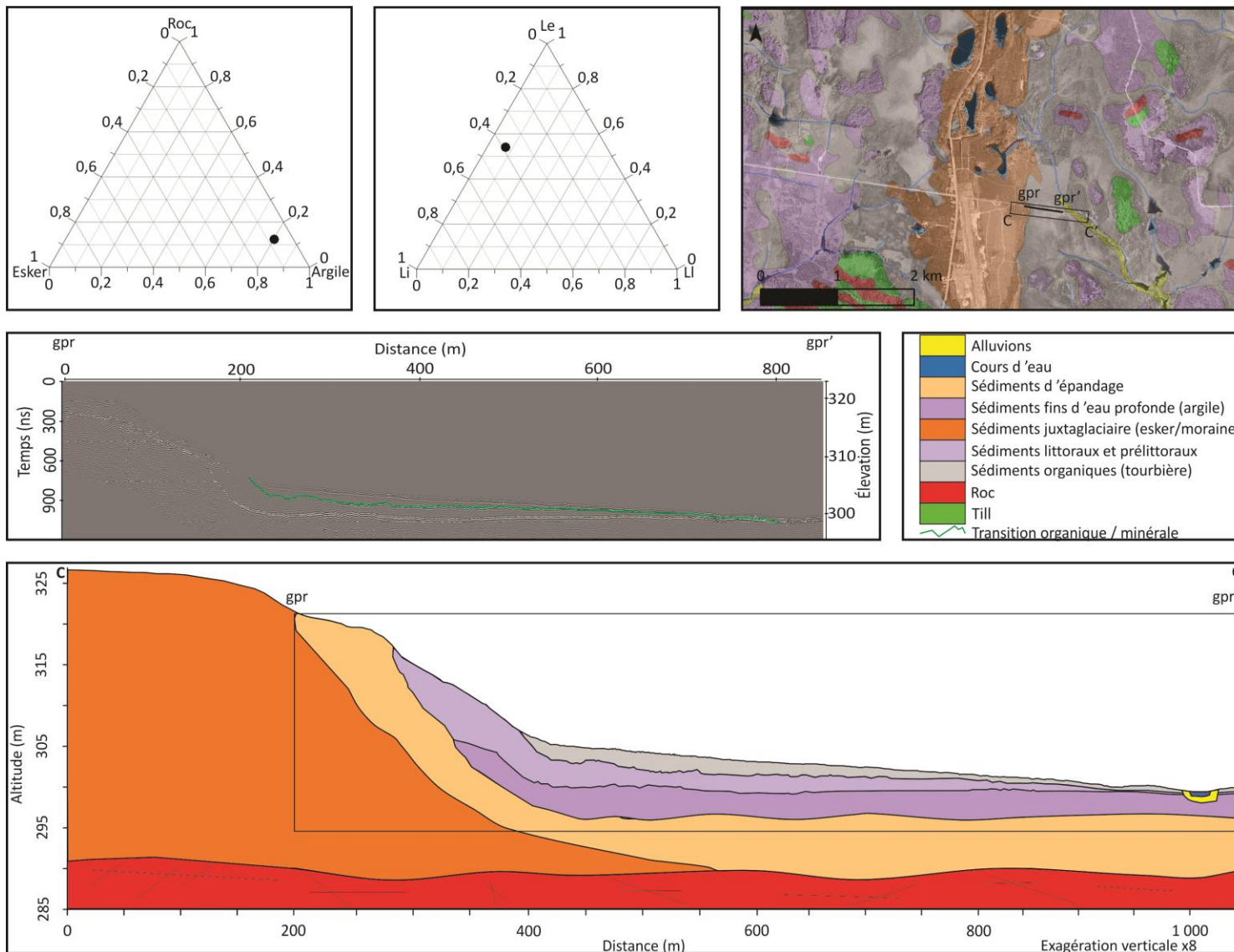


Figure 6.4.4.3 Coupe locale du secteur Sainte-Germaine-Boulé

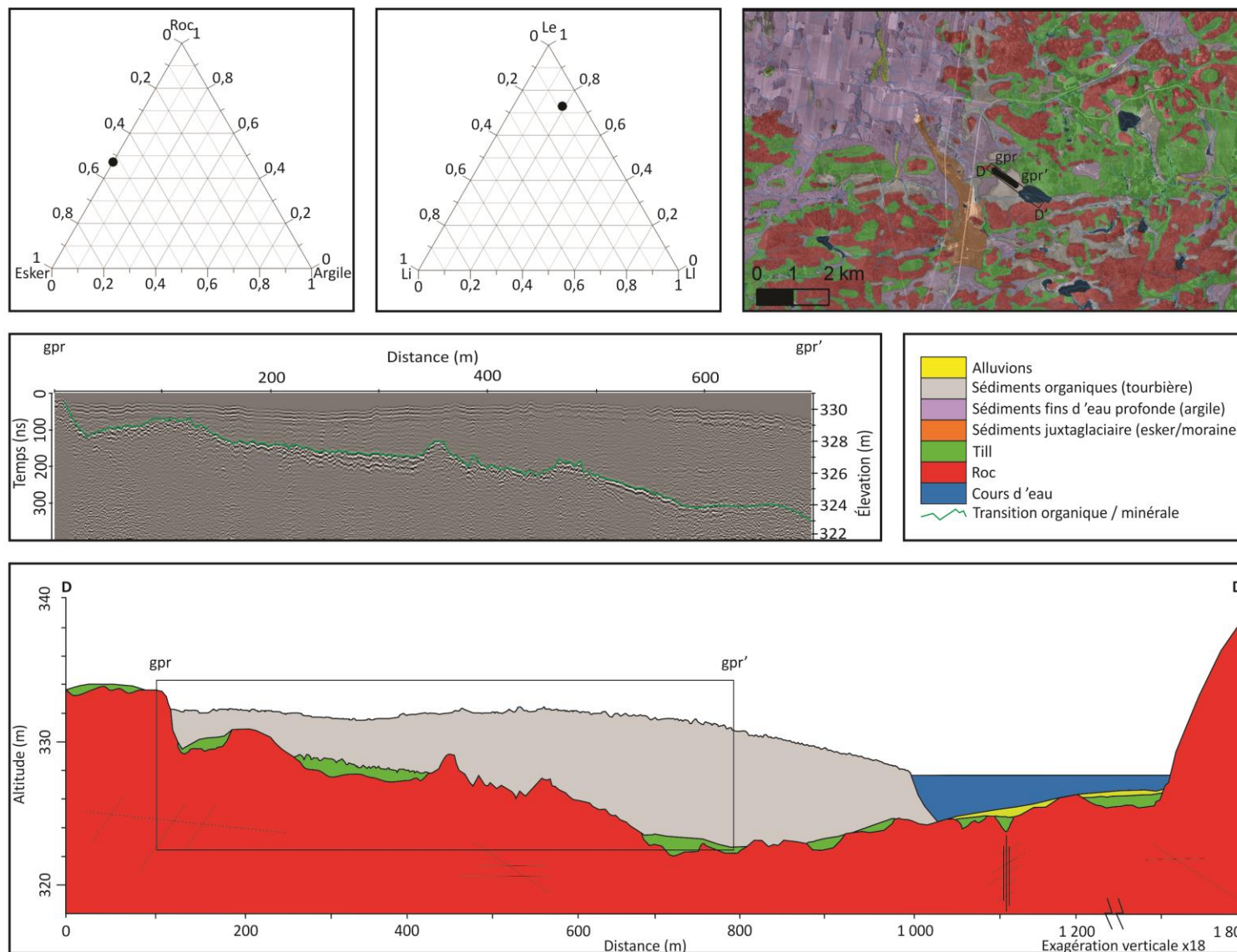
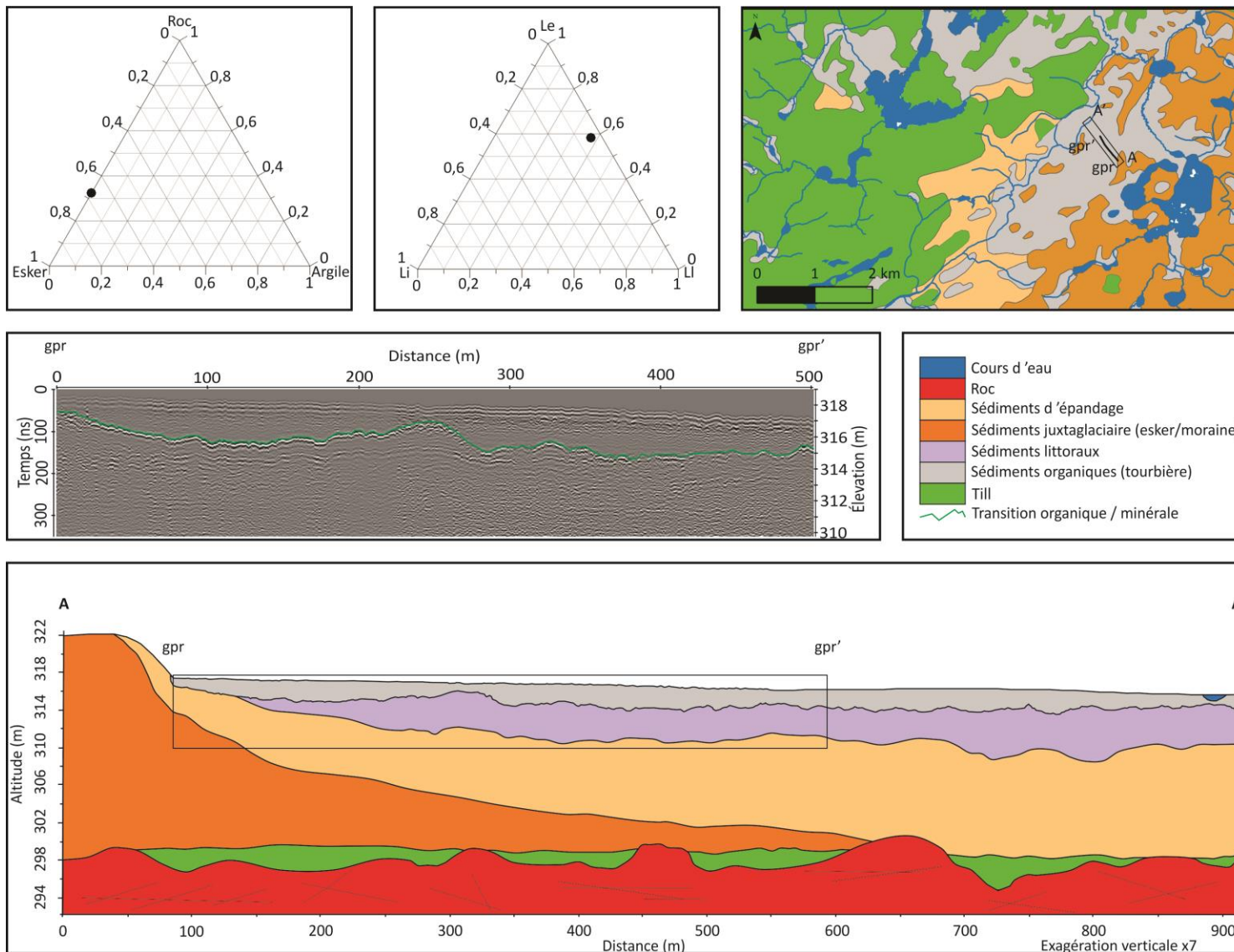


Figure 6.4.4.4 Coupe locale du secteur Belleterre



6.4.5 Synthèse relative aux fonctions hydrogéologiques des tourbières de la région

La figure 6.4.5.1 illustre une représentation schématisée des triangles de catégorisation des tourbières directement inspirée du concept de projection proposé par Piper (1944). Bien que le diagramme de Piper ait initialement été conçu pour l'interprétation de données géochimiques, il est proposé ici que le concept de projection dans un losange des données issues de deux triangles s'applique également à la catégorisation des complexes tourbeux. Le tableau 6.4.5.1 fournit les interprétations relatives aux projections proposées à la figure 6.4.5.1. Les catégories « **Interne – Roc – Esker** » et « **Externe – Lac – Argile** » sont les deux catégories retenues pour la proposition d'interprétation de synthèse, les autres catégories constituant des intermédiaires entre ces extrêmes.

Figure 6.4.5.1 Schéma conceptuel de projection des données de catégorisation des tourbières

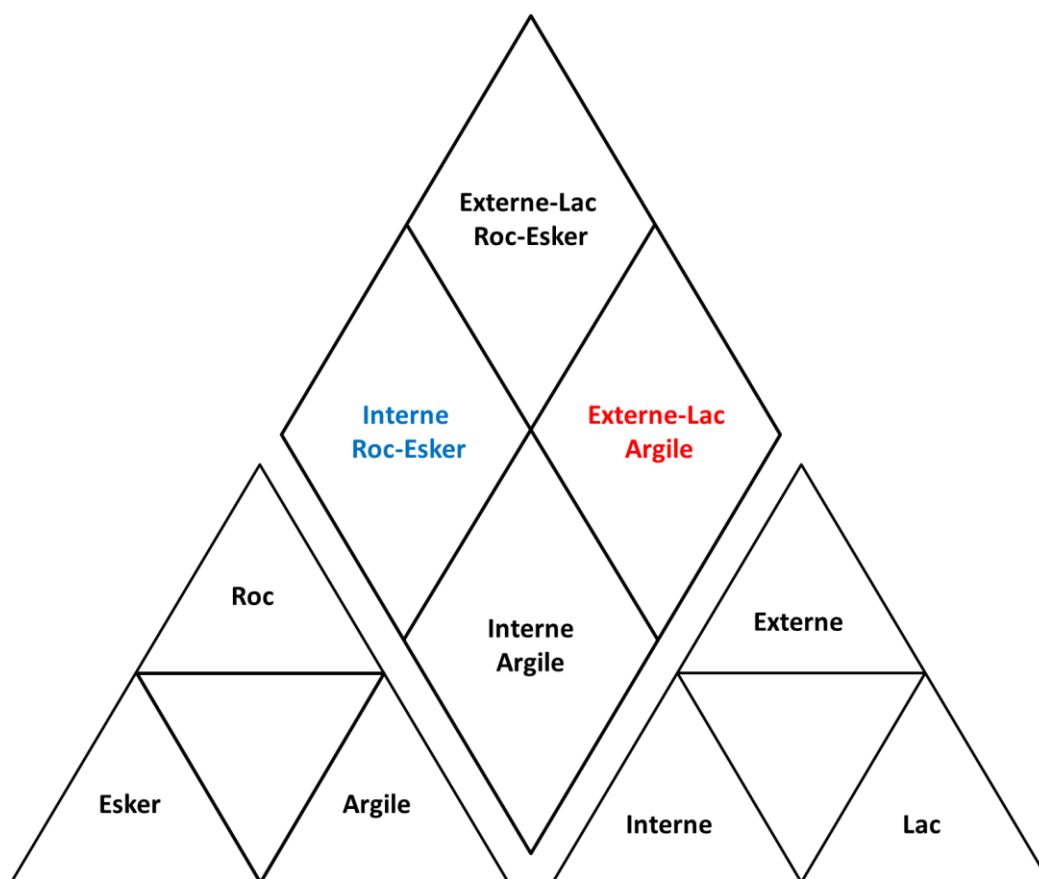
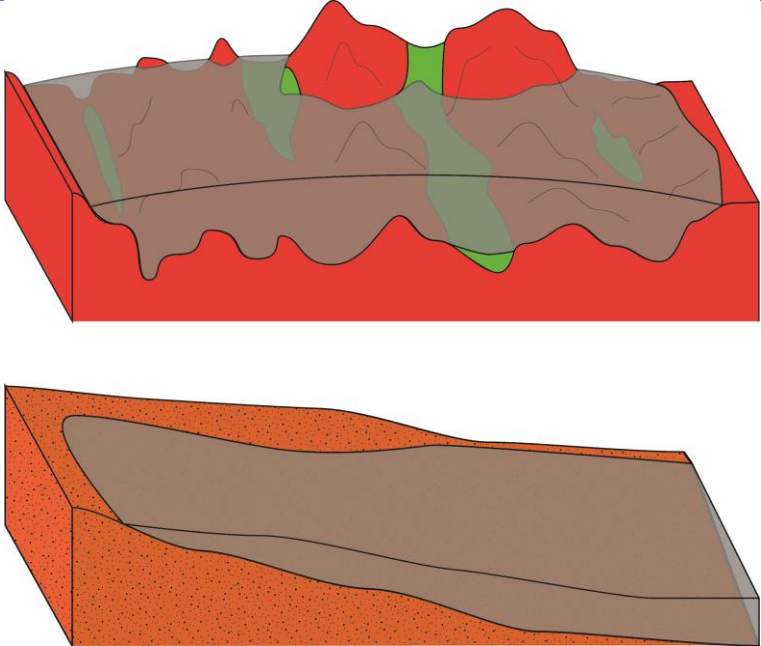
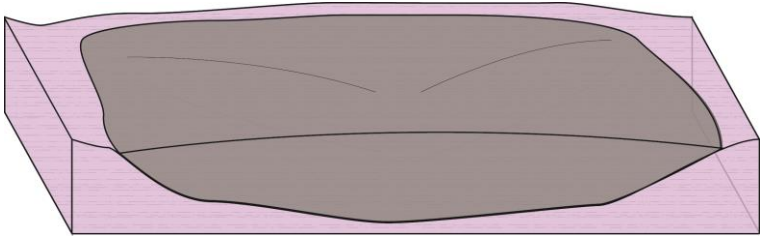


Tableau 6.4.5.1 Interprétations proposées en lien avec le schéma de catégorisation projeté (Figure 6.4.5.1)

| Catégorie projetée | Fonctions hydrogéologiques | Représentation schématique des caractéristiques géomorphologiques |
|-------------------------------------|---|---|
| <p>Interne Roc – Esker</p> | <p>Les complexes tourbeux au contact des unités hydrogéologiques associées au socle rocheux et aux formations fluvioglaciaires au sein desquels le réseau hydrographique prend son origine sont celles étant les plus susceptibles de constituer des environnements de transition entre les eaux souterraines et de surface. Le contact avec les unités hydrogéologiques associées au socle rocheux et aux formations fluvioglaciaires est selon toute vraisemblance favorable à l'établissement d'interactions avec les aquifères périphériques. La prévalence de ce type de complexes tourbeux à des altitudes moyennes et élevées (voir section 6.4.2; Tableau 6.4.2.1; Figures 6.4.2.2 à 6.4.2.4) suggèrent qu'ils occupent préférentiellement les secteurs amont du patron d'écoulement régional. Les données radar suggèrent que les complexes tourbeux de ce type seraient caractérisés par une morphologie ondulée à irrégulière imposée par les unités associées aux formations fluvioglaciaires et au socle rocheux. Ces complexes tourbeux seraient, selon toute vraisemblance, susceptibles d'influencer significativement (1) la dynamique hydrogéologique des aquifères leur étant périphériques, (2) le régime hydrique et la qualité de l'eau des cours d'eau y prenant source et donc (3) la dynamique des interactions entre les aquifères et le réseau hydrographique.</p> |  |
| <p>Externe – Lac Argile</p> | <p>Les complexes tourbeux exclusivement (ou principalement) au contact de l'unité d'argile sont peu susceptibles de constituer des environnements de transition entre les eaux souterraines et de surface. Le contact avec l'unité d'argile est selon toute vraisemblance défavorable à l'établissement d'interactions avec les aquifères périphériques. La prévalence de ce type de complexes tourbeux à de faibles altitudes (voir section 6.4.2; Tableau 6.4.2.1; Figures 6.4.2.2 à 6.4.2.4) suggère qu'ils occupent préférentiellement les secteurs aval du patron d'écoulement régional. Les données radar suggèrent que les complexes tourbeux de ce type seraient caractérisés par une morphologie concave régulière imposée par l'argile. Ces complexes tourbeux seraient, selon toute vraisemblance, susceptibles d'influencer principalement les cours d'eau leur étant associés, essentiellement à la faveur de leur bilan hydrique, lequel serait indépendant des aquifères périphériques. Les complexes tourbeux de ce type étant localisés en périphérie de plans d'eau pourraient constituer des environnements de paludification dont la dynamique hydrique dépend principalement de celle du plan d'eau associé.</p> |  |

6.4.6 Limites de l'approche proposée

L'approche de catégorisation proposée ici doit être interprétée dans un contexte régional. Ses limites sont inhérentes (1) à la qualité des sources de données cartographiques exploitées, (2) aux hypothèses de travail sous-jacentes à la démarche et (3) aux simplifications imposées par l'échelle régionale. En ce sens, les principales limites identifiées sont les suivantes :

1. Le schéma de catégorisation basé sur les unités géologiques voisines est basé sur des regroupements (Tableau 6.4.1.2) ne permettant pas de prendre en compte l'ensemble des formations de surface de la région. À titre d'exemple, les dépôts alluviaux et éoliens ont été exclus de l'approche de catégorisation car ils ne permettent pas d'établir un lien avec l'environnement hydrogéologique. Les points illustrés dans les diagrammes ternaires associés aux figures 6.4.2.2 à 6.4.2.4 sont donc normalisés à 100 % sur la base des unités considérées, ce qui peut induire une part d'erreur significative lorsque des alluvions se retrouvent au contact des tourbières.
2. Les polygones cartographiques retenus pour l'évaluation de la distribution spatiale des complexes tourbeux sont ceux correspondant à classe « Dépôts organiques » sur les cartes de dépôts de surface. Or, cette classe pourrait vraisemblablement correspondre à un amalgame de tourbières, marécages, marais et étangs. La prise en compte de cet aspect pourrait permettre d'améliorer l'approche de catégorisation proposée.

6.5 Liens hydrauliques aquifères - plans d'eau de surface (Thème 2)

L'approche retenue afin d'évaluer les liens hydrauliques potentiels entre les plans d'eau de surface et les aquifères leur étant périphériques est intégralement inspirée de l'approche de catégorisation des tourbières (Section 6.4). La démarche proposée repose sur le postulat voulant que pour une région donnée, des plans d'eau présentant des attributs géomorphologiques comparables et occupant une position similaire au sein de l'environnement hydrogéologique présenteront des interactions similaires avec les aquifères leur étant périphériques. D'un point de vue scientifique, la définition d'une telle approche s'insère dans le cadre des démarches visant à améliorer la compréhension des interactions entre les eaux souterraines et de surface au sein de la région d'étude. D'un point de vue pratique, l'établissement d'une approche de catégorisation s'insère dans le cadre des démarches visant à identifier les plans d'eau de surface les plus susceptibles d'héberger des écosystèmes dépendants de l'eau souterraine, dans la perspective d'assurer leur protection lors de l'aménagement du territoire.

6.5.1 Sources de données et bases théoriques de l'approche de catégorisation

Le tableau 6.5.1.1 dresse un sommaire des données retenues pour la catégorisation des plans d'eau, alors que le tableau 6.5.1.2 et la figure 6.5.1.1 décrivent et illustrent l'approche méthodologique employée.

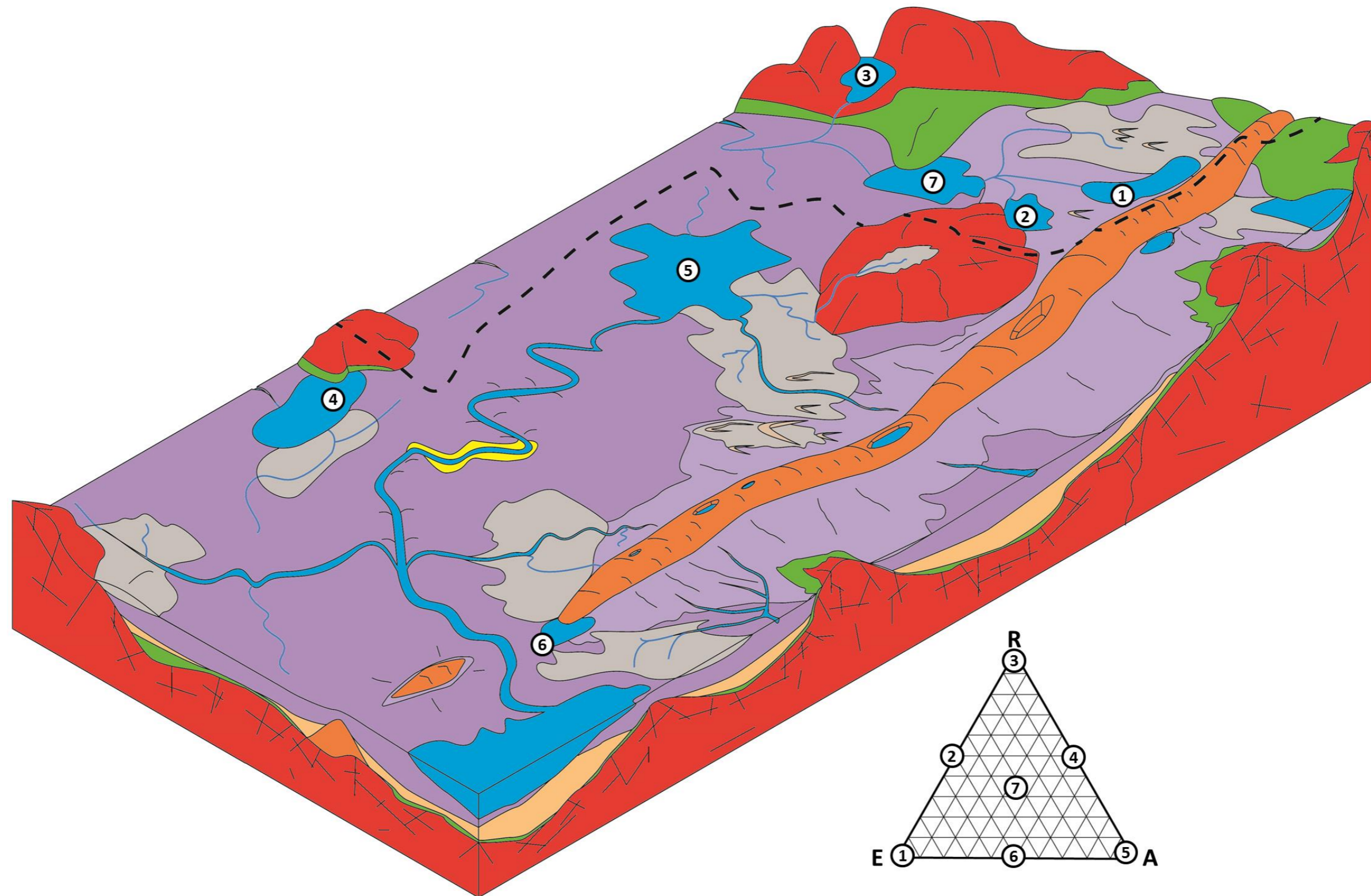
Tableau 6.5.1.1 Sommaire des sources de données exploitées et des constats associés

| Sources de données exploitées | Référence au présent rapport (territoire PACES-AT2) | Référence au rapport PACES-AT1 (Cloutier et al., 2013a) | Observations régionales et hypothèses de travail (territoires PACES-AT2 et PACES-AT1) |
|--|---|---|--|
| Cartographie des formations superficielles (Géologie du Quaternaire) | Section 2.8; Carte 8 | Section 4.2; Carte 13 | Les données disponibles révèlent que les plans d'eau de la région occupent des environnements géologiques variés et ne sont pas restreints aux secteurs de faible altitude associés à la plaine argileuse. |
| Hydrographie et limites de bassins versants (Géologie du Quaternaire et BDAT) | Section 2.4; Cartes 3-4 | Sections 2.7 et 2.8; Cartes 7-8 | L'approche retenue dans le cadre de la présente étude cible spécifiquement les lacs dont la superficie est comprise entre 0,1 km ² et 1 km ² . Bien qu'il s'agisse d'une simplification de la complexité du milieu naturel, ces lacs sont considérés similaires d'un point de vue géomorphologique. Les plans d'eau de plus grande superficie sont omis de l'approche de catégorisation puisque les données disponibles ne permettent pas l'évaluation de leur profondeur, ce qui complique les interprétations relatives aux interactions avec les aquifères périphériques. Les plans d'eau dont la superficie est $\leq 1 \text{ km}^2$ sont systématiquement exclus de l'approche en raison de l'imprécision des données relatives à l'hydrographie à l'échelle locale. |
| Définition des unités hydrogéologiques régionales | Section 7.1 | Section 5.1 | Il est proposé ici que les liens hydrogéologiques entre les plans d'eau de surface et les aquifères périphériques seront en partie fonction des caractéristiques des unités hydrogéologiques en contact avec le réseau hydrographique. En ce sens, les trois principales unités hydrogéologiques retenues afin de caractériser la position des milieux humides sont (1) les unités associées au socle rocheux fracturé, (2) les dépôts granulaires associés aux formations fluvioglaciaires en zone d'aquifère à nappe libre et (3) les dépôts glaciolacustres. |

Tableau 6.5.1.2 Approche de catégorisation des plans d'eau en fonction de leur position au sein de l'environnement géologique

| Base de l'approche | | Stratégie d'évaluation quantitative | | Schéma de classification | |
|---|---|---|--|--------------------------|---------------------------------|
| <p>Évaluation de la position des plans d'eau au sein de l'environnement géologique</p> | <p>L'approche retenue consiste en une évaluation de la proportion (en termes de partage de périmètre) des unités voisines des polygones correspondant aux plans d'eau sur les cartes des dépôts de surface (Figure 6.5.1.1)</p> | Approche SIG et traitement des données | Regroupements proposés | | |
| | | Les données utilisées sont entièrement issues de la cartographie des formations de surface (Section 2.8; Carte 8), ce qui favorise l'obtention de polygones cartographiques contigus. Les espaces vides au sein des données numériques (p. ex. : secteurs correspondant aux jointures de feuillets cartographiques) ont été comblés grâce à une conversion (<i>polygone</i> → <i>raster (5 m x 5 m)</i> → <i>polygone</i>) à l'aide du logiciel ArcGIS version 10.1, suivie d'une série de corrections non-automatisées. L'évaluation quantitative des longueurs de segments partagés avec les différents regroupements d'unités de surface voisines a été réalisée via l'utilisation de l'outil « <i>Polygon neighbor</i> » du logiciel ArcGIS version 10.1. Les proportions des différents regroupements proposés (colonne de gauche ci-contre) sont subséquemment évaluées au sein d'un classeur Microsoft Excel, puis traitées à l'aide du logiciel Grapher pour la production de graphiques ternaires. | Sédiments d'eau profonde (LGa) | | Pôle de classification «Argile» |
| | | | Sédiments proglaciaires (Go) | | Pôle de classification «Esker» |
| | | | Sédiments granulaires (G) | | |
| | | | Sédiments juxtaglaciaires et d'épandage proglaciaire en milieu subaquatique (Gx) | | |
| | | | Sédiments juxtaglaciaires (Gxi/Gxt) | | |
| | | | Sédiments deltaïques (LGd) | | |
| | | | Sédiments sublittoraux et de plage (LGb) | | Pôle de classification «Roc» |
| | Substratum rocheux (R) | | | | |
| | Till en couverture généralement continue (Tc) | | | | |
| | Till en couverture mince et discontinue (Tm) | | | | |

Figure 6.5.1.1 Représentation schématique de l'approche de catégorisation des plans d'eau en fonction de leur position au sein de l'environnement géologique et du réseau hydrographique

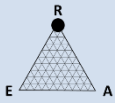
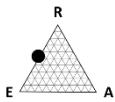
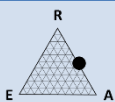
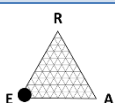
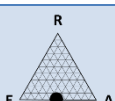
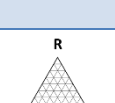
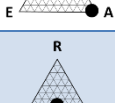


Pour le schéma de classification des plans d'eau selon l'environnement géologique : R : Roc; E : Esker; A : Argile.

6.5.2 Classification en fonction de l'environnement géologique : portrait régional

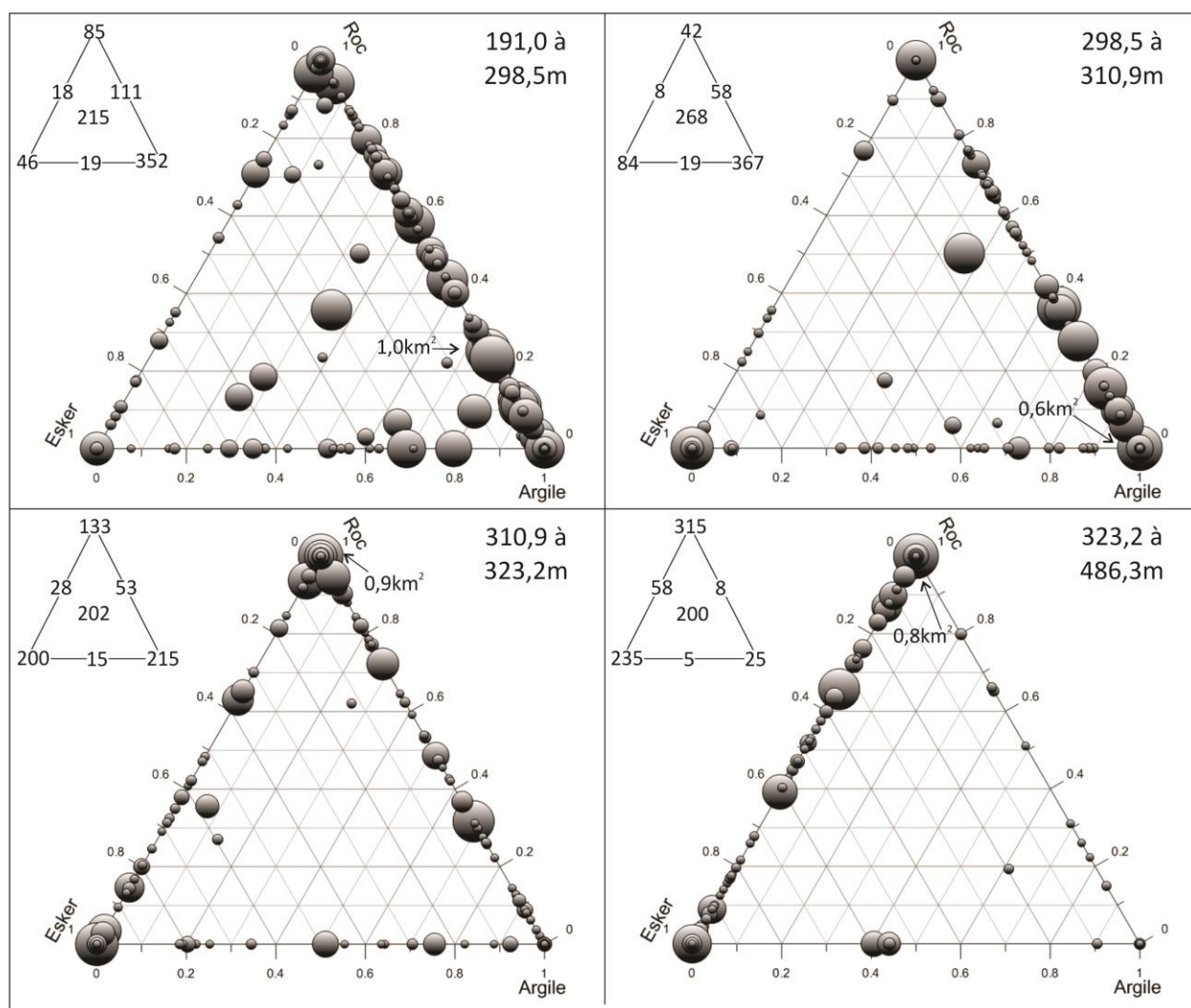
Le tableau 6.5.2.1 dresse un sommaire des observations territoriales découlant de la catégorisation réalisée, laquelle est illustrée sur les diagrammes ternaires correspondant aux figures 6.5.2.1 à 6.5.2.3.

Tableau 6.5.2.1 Description des schémas de catégorisation des plans d'eau selon l'environnement géologique

| Catégories de plans d'eau | Territoire PACES-AT1 et PACES-AT2 en entier (Figure 6.5.2.2) | Secteur inclus au bassin versant de la Baie James (Figure 6.5.2.4) | Secteur inclus au bassin versant du Saint-Laurent (Figure 6.5.2.3) |
|---|---|--|--|
|  | n = 575; Alt _(moy) = 333,1 | n = 186; Alt _(moy) = 322,8 | n = 389; Alt _(moy) = 333,2 |
| | Les plans correspondant exclusivement au pôle «Roc» comptent pour 17 % du total régional. Ils tendent à augmenter en nombre (et en proportion) avec une augmentation de l'altitude. | | |
|  | n = 112; Alt _(moy) = 322,5 | n = 48; Alt _(moy) = 334,9 | n = 64; Alt _(moy) = 313,2 |
| | Les plans correspondant exclusivement au segment «Roc-Esker» comptent pour 3,3 % du total régional. Ils tendent à augmenter en nombre (et en proportion) avec une augmentation de l'altitude. | | |
|  | n = 230; Alt _(moy) = 297,0 | n = 88; Alt _(moy) = 303,6 | n = 142; Alt _(moy) = 292,9 |
| | Les plans d'eau correspondant exclusivement au segment «Roc-Argile» comptent pour 6,8 % du total régional. Ils tendent à augmenter en nombre (et en proportion) avec une diminution de l'altitude. | | |
|  | n = 565; Alt _(moy) = 322,2 | n = 369; Alt _(moy) = 326,2 | n = 196; Alt _(moy) = 314,8 |
| | Les plans d'eau correspondant exclusivement au pôle «Eske» comptent pour 16,7 % du total régional. Ils tendent à augmenter en nombre (et en proportion) avec une augmentation de l'altitude. | | |
|  | n = 58; Alt _(moy) = 304,1 | n = 32; Alt _(moy) = 309,9 | n = 26; Alt _(moy) = 297,0 |
| | Les plans d'eau correspondant exclusivement au segment «Eske-Argile» comptent pour 1,7 % du total régional. Ils tendent à augmenter en nombre (et en proportion) au niveau des plages d'altitudes intermédiaires et de faible altitude. | | |
|  | n = 959; Alt _(moy) = 301,2 | n = 507; Alt _(moy) = 305,1 | n = 452; Alt _(moy) = 296,9 |
| | Les plans d'eau correspondant exclusivement au pôle «Argile» comptent pour 28,3 % du total régional. Ils tendent à augmenter en nombre (et en proportion) avec une diminution de l'altitude. | | |
|  | n = 885; Alt _(moy) = 283,7 | n = 551; Alt _(moy) = 312,4 | n = 334; Alt _(moy) = 267,3 |
| | Les plans d'eau de type hybride « Roc-Esker-Argile » comptent pour 26,2 % du total régional. Ils sont observés en proportion similaires au sein des différentes classes d'altitude. | | |

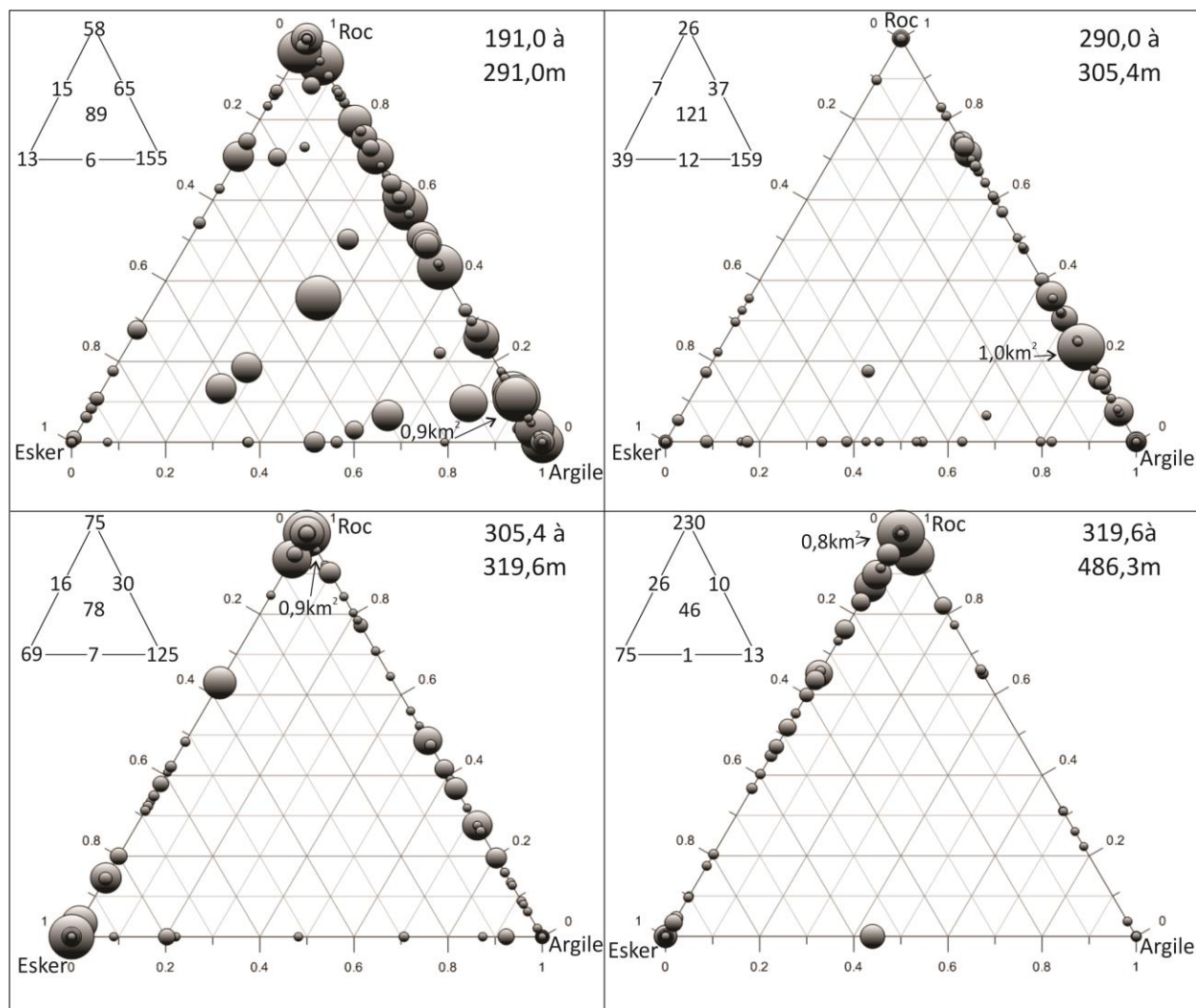
R : Roc; E : Esker; A : Argile.

Figure 6.5.2.1 Catégorisation des plans d'eau des territoires PACES-AT1 et PACES-AT2 selon le cadre géologique



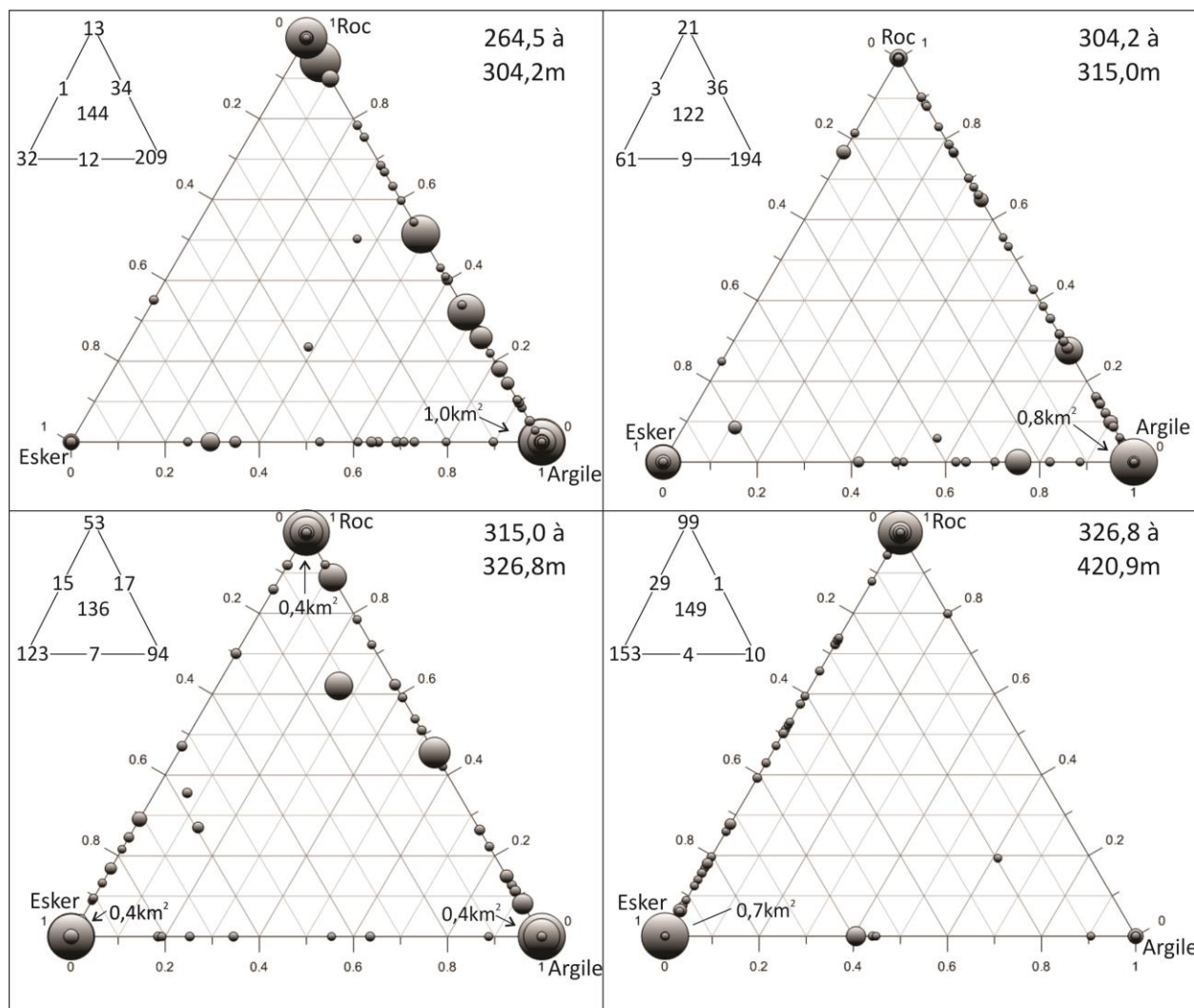
Les quatre schémas proposés sont construits selon des classes d'altitudes regroupant chacune 25 % des plans d'eau de la région ciblée par l'analyse. Les triangles de taille réduite placés du côté gauche des schémas illustrent le nombre de points se trouvant directement sur les pôles et les arrêtes des triangles de classification, permettant ainsi d'apprécier la densité des points au sein des diagrammes ternaires. Les plans d'eau n'étant en contact avec aucun des pôles sont systématiquement inclus aux nombres correspondant à la portion centrale des triangles ($n=862$ sur cette figure), bien que ces points n'apparaissent pas au sein du diagramme ternaire. La taille de chacun des points est fonction de la superficie du plan d'eau correspondant. Par mesure de simplification, seule la superficie maximale est illustrée au sein du diagramme ternaire. L'altitude des plans d'eau est évaluée pour le centroïde de chaque polygone, sur la base du modèle altimétrique numérique sur maillage de 10 m x 10 m (Section 6.1; Carte 12). Les superficies sont évaluées à l'aide du logiciel ArcGIS version 10.2 (outil « *Calculate Geometry* ») avec un système de coordonnées PCS :NAD 1983 Québec Lambert. Les diagrammes ternaires sont réalisés à l'aide du logiciel Grapher version 8.5.733 de Golden Software Inc.

Figure 6.5.2.2 Catégorisation des plans d'eau des territoires PACES-AT1 et PACES-AT2 selon le cadre géologique, pour la portion située au sein du bassin hydrographique du Saint-Laurent



Les quatre schémas proposés sont construits selon des classes d'altitudes regroupant chacune 25 % des plans d'eau de la région ciblée par l'analyse. Les triangles de taille réduite placés du côté gauche des schémas illustrent le nombre de points se trouvant directement sur les pôles et les arêtes des triangles de classification, permettant ainsi d'apprécier la densité des points au sein des diagrammes ternaires. Les plans d'eau n'étant en contact avec aucun des pôles sont systématiquement inclus aux nombres correspondant à la portion centrale des triangles ($n=319$ sur cette figure), bien que ces points n'apparaissent pas au sein du diagramme ternaire. La taille de chacun des points est fonction de la superficie du plan d'eau correspondant. Par mesure de simplification, seule la superficie maximale est illustrée au sein du diagramme ternaire. L'altitude des plans d'eau est évaluée pour le centroïde de chaque polygone, sur la base du modèle altimétrique numérique sur maillage de 10 m x 10 m (Section 6.1; Carte 12). Les superficies sont évaluées à l'aide du logiciel ArcGIS version 10.2 (outil « *Calculate Geometry* ») avec un système de coordonnées PCS :NAD 1983 Québec Lambert. Les diagrammes ternaires sont réalisés à l'aide du logiciel Grapher version 8.5.733 de Golden Software Inc.

Figure 6.5.2.3 Catégorisation des plans d'eau des territoires PACES-AT1 et PACES-AT2 selon le cadre géologique, pour la portion située au sein du bassin hydrographique de la Baie James

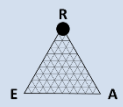
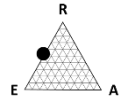
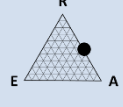
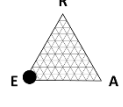
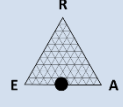
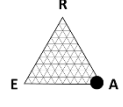
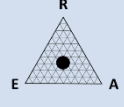


Les quatre schémas proposés sont construits selon des classes d'altitudes regroupant chacune 25 % des plans d'eau de la région ciblée par l'analyse. Les triangles de taille réduite placés du côté gauche des schémas illustrent le nombre de points se trouvant directement sur les pôles et les arrêtes des triangles de classification, permettant ainsi d'apprécier la densité des points au sein des diagrammes ternaires. Les plans d'eau n'étant en contact avec aucun des pôles sont systématiquement inclus aux nombres correspondant à la portion centrale des triangles ($n=543$ sur cette figure), bien que ces points n'apparaissent pas au sein du diagramme ternaire. La taille de chacun des points est fonction de la superficie du plan d'eau correspondant. Par mesure de simplification, seule la superficie maximale est illustrée au sein du diagramme ternaire. L'altitude des plans d'eau est évaluée pour le centroïde de chaque polygone, sur la base du modèle altimétrique numérique sur maillage de 10 m x 10 m (Section 6.1; Carte 12). Les superficies sont évaluées à l'aide du logiciel ArcGIS version 10.2 (outil « *Calculate Geometry* ») avec un système de coordonnées PCS :NAD 1983 Québec Lambert. Les diagrammes ternaires sont réalisés à l'aide du logiciel Grapher version 8.5.733 de Golden Software Inc.

6.5.3 Synthèse relative à l'évaluation des interactions potentielles entre les plans d'eau et les aquifères

L'approche de catégorisation proposée dans le cadre de la présente étude permet une représentation de la position des plans d'eau de tailles 0,1 à 1 km² au sein de l'environnement géologique. Bien que ces données ne permettent pas une quantification des interactions entre les plans d'eau et les aquifères, l'approche développée permet une évaluation indirecte des liens potentiels entre les eaux de surface et souterraines. Le tableau 6.5.3.1 dresse un sommaire des interprétations découlant de cette approche.

Tableau 6.5.3.1 Interactions potentielles entre les plans d'eau de surface et les aquifères périphériques

| Catégories de plans d'eau | Territoire PACES-AT1 et PACES-AT2 en entier (Figure 6.5.2.2) | Secteur inclus au bassin versant de la Baie James (Figure 6.5.2.4) | Secteur inclus au bassin versant du Saint-Laurent (Figure 6.5.2.3) |
|---|---|--|--|
|  | Les plans correspondant exclusivement au pôle «Roc» tendent à augmenter en nombre (et en proportion) avec une augmentation de l'altitude. En ce sens, ils sont susceptibles d'être observés au niveau du secteur amont du patron d'écoulement régional. Il est proposé ici que les interactions entre les plans d'eau de surface et les aquifères périphériques seront dictées par les caractéristiques des discontinuités structurales au sein du massif rocheux. Les lacs occupant des secteurs caractérisés par une plus grande abondance de discontinuités structurales seront les plus susceptibles de constituer des lieux d'interaction entre les eaux de surface et souterraines. | | |
|  | Les plans correspondant exclusivement au segment « Roc-Esker » tendent à augmenter en nombre (et en proportion) avec une augmentation de l'altitude. En ce sens, ils sont susceptibles d'être observés au niveau du secteur amont du patron d'écoulement régional. Les lacs occupant cette position et étant liés au réseau hydrographique sont susceptibles de constituer des zones de résurgence de l'eau souterraine. | | |
|  | Les plans d'eau correspondant exclusivement au segment « Roc-Argile » tendent à augmenter en nombre (et en proportion) avec une diminution de l'altitude. En ce sens, ils sont susceptibles d'être observés au niveau du secteur aval du patron d'écoulement régional. L'argile étant considérée comme peu perméable (voir section 7.1), les interactions avec les aquifères périphériques seront vraisemblablement dictées par les caractéristiques des discontinuités structurales au sein du massif rocheux. | | |
|  | Les plans d'eau correspondant exclusivement au pôle « Esker » tendent à augmenter en nombre (et en proportion) avec une augmentation de l'altitude. En ce sens, ils sont susceptibles d'être observés au niveau du secteur amont du patron d'écoulement régional. Les lacs occupant cette position et étant liés au réseau hydrographique sont susceptibles de constituer des zones de résurgence de l'eau souterraine. En contrepartie, certains de ces plans d'eau sont susceptibles de constituer des lacs de kettle, lesquels peuvent être perchés au-dessus des aquifères périphériques. Le faible pH souvent observé dans ces plans d'eau (en comparaison à celui de l'eau souterraine) tend à indiquer qu'ils ne seraient pas systématiquement en lien hydraulique avec l'aquifère (p. ex. Voir Veillette et al., 2004). | | |
|  | Les plans d'eau correspondant exclusivement au segment « Esker-Argile » tendent à augmenter en nombre (et en proportion) au niveau des plages d'altitudes intermédiaire et faible. En ce sens, ils sont susceptibles d'être observés au niveau du secteur intermédiaire du patron d'écoulement régional. Les lacs occupant cette position et étant liés au réseau hydrographique sont susceptibles de constituer des zones de résurgence de l'eau souterraine. | | |
|  | Les plans d'eau correspondant exclusivement au pôle « Argile » tendent à augmenter en nombre (et en proportion) avec une diminution de l'altitude. En ce sens, ils sont susceptibles d'être observés au niveau du secteur aval du patron d'écoulement régional. Considérant la faible perméabilité de l'unité d'argile, il s'agit vraisemblablement de plans d'eau peu favorables à l'établissement d'interactions avec les aquifères périphériques. | | |
|  | Les plans d'eau de type hybride « Roc-Esker-Argile » sont observés en proportions similaires au sein des différentes classes d'altitude. En ce sens, ils sont susceptibles d'être observés au niveau de l'ensemble du patron d'écoulement régional. Les lacs occupant cette position et étant liés au réseau hydrographique sont susceptibles de constituer des zones de résurgence de l'eau souterraine. | | |

R : Roc; E : Esker; A : Argile.

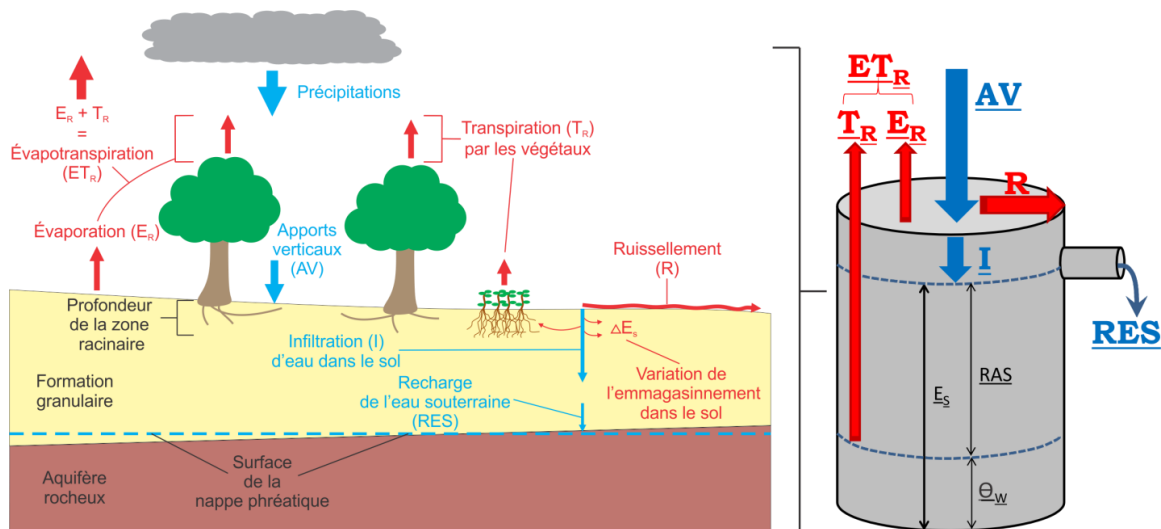
6.6 Bilan hydrologique et recharge (Carte 19)

La recharge de l'eau souterraine (RES) est définie ici comme l'alimentation (naturelle) en eau percolant au sein de la zone non saturée et 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 annuel (équation 1) suivant une méthode inspirée des travaux de Cloutier et al., (2013a), eux-même appuyés sur Larose-Charrette (2000) et Riverin (2006) :

$$RES = AV - R - \Delta E_S - ET_R \quad \text{Équation 6.6.1}$$

où RES représente la recharge de l'eau souterraine, AV représente les apports verticaux totaux, R représente le ruissellement, ΔE_S représente le changement d'emmagasinement en eau dans le sol et ET_R représente l'évapotranspiration réelle (somme de l'évaporation (E) et de la transpiration (T)). La figure 6.6.1 illustre de façon simplifiée l'approche d'évaluation de la recharge par bilan hydrologique. Suivant cette approche, 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'infiltrate (I) dans le sol. De l'eau infiltrée, une partie sera emmagasinée dans le sol selon sa capacité d'emmagasinement (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 (θ_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).

Figure 6.6.1 Représentation schématique des composantes de l'équation 6.6.1



6.6.1 Source et traitement des données

L'approche privilégiée pour la quantification de la recharge [$L T^{-1}$] consiste en l'évaluation de l'équation 6.6.1 pour chaque parcelle de territoire sur un maillage de 100 m x 100 m. Le tableau 6.6.1.1 présente un sommaire des paramètres utilisés pour la réalisation du bilan hydrologique, lesquels sont décrits plus en détails dans les sous-sections subséquentes.

Tableau 6.6.1.1 Sources et traitements des données utilisées pour la réalisation du bilan hydrologique

| Paramètres de l'équation 6.6.1 | Données utilisées | Sources | Utilisations et/ou traitements |
|--------------------------------|--|---|---|
| AV | Apports verticaux | Poirier et al., 2012 | Calcul des moyennes mensuelles pour la période allant de 1981 à 2010. Intrants pour le ruissellement et la recharge |
| | Points de grille | | Distribution spatiale des moyennes mensuelles des apports verticaux à l'échelle du territoire à l'étude, sur un maillage de 0,1 x 0,1 degrés de latitude/longitude |
| R | Chartes de coefficients de ruissellement | MTQ (2004) | Classification hydrologique des séquences stratigraphiques |
| | Séquences stratigraphiques | Section 6.4; Carte 16 | Évaluation de la classe hydrologique en support à la quantification du coefficient de ruissellement |
| | Occupation du sol | Champ « CO_TER » du 4 ^e inventaire écoforestier du MRNF (2011) | Évaluation de l'occupation du sol en support à la quantification des coefficients de ruissellement |
| | Pente du sol | Section 5.1.5; Carte 13 | Évaluation des coefficients de ruissellement |
| | Conductivité hydraulique des formations superficielles | Section 6.1 | Évaluation de la recharge maximale potentielle sous un gradient hydraulique de 1 |
| ΔE_s | Caractéristiques hydrodynamiques des sols | Brady et Weil, 2008 | Évaluation de l'emménagement d'eau au sein de la zone non saturée |
| | Profondeur des racines | Rompré et Carrier, 1997 | |
| ET _p | Température de l'air | Poirier et al., 2012 | Calcul des moyennes mensuelles pour la période allant de 1981 à 2010. Intrants pour le calcul de l' ET_p |
| | Points de grille | | Distribution spatiale des moyennes mensuelles de la température de l'air à l'échelle du territoire à l'étude, sur un maillage de 0,1 x 0,1 degrés de latitude/longitude |

6.6.2 Apports verticaux

Les apports verticaux (AV) journaliers produits par le Centre d'Expertise Hydrique du Québec (Poirier et al., 2012) ont servi d'intrants pour la réalisation du bilan hydrologique. Des moyennes mensuelles ont été calculées à partir des données de la période allant de 1981 à 2010. Il est à noter qu'en raison de la disponibilité des données, la moyenne mensuelle a été calculée sur la base de 29 années pour le mois de décembre, soit pour la période 1981-2009. La méthode des polygones de Thiessen a subséquentement été utilisée afin de distribuer les valeurs à l'échelle de la région.

6.6.3 Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement (C_R) consiste en un paramètre adimensionnel correspondant à la proportion des apports verticaux (AV) qui alimentent le ruissellement de surface (R) :

$$R = AV \times C_R \quad \text{Équation 6.6.3.1}$$

Dans le cadre de la présente étude, les C_R ont été définis pour chacune des cellules de 100 m x 100 m du territoire sur la base (1) des classes d'occupation du sol (Section 2.1; Carte 10), (2) de la pente du sol (Section 5.1.5; Carte 13) et (3) de l'architecture des dépôts meubles (Section 5.4; Carte 16) en suivant une approche adaptée de celle proposée par le *Manuel de conception des ponceaux* (MTQ, 2004). Le tableau 6.6.3.1 dresse un sommaire des valeurs de C_R évaluées dans le cadre de la présente étude.

Tableau 6.6.3.1 Sommaire des valeurs de coefficient de ruissellement

| Occupation du sol | Classes de pente du sol | Classification hydrologique du sol de surface ¹ | | | | |
|--|-------------------------|--|------------------------------------|----------|--------|-----|
| | | A | B | BC | C | CD |
| | | Sable et gravier d'esker | Sable littoraux ou éoliens Till | Alluvion | Argile | Roc |
| | | Coefficient de ruissellement CR (%) | | | | |
| Agricole (Pâturages) | < 3 | 8 | 17 | 25 | 34 | 43 |
| | 3 – 8 | 10 | 25 | 33 | 43 | 51 |
| | > 8 | 20 | 39 | 47 | 56 | 64 |
| Forêt (Boisé) | < 3 | 4 | 15 | 21 | 29 | 37 |
| | 3 – 8 | 7 | 19 | 26 | 34 | 43 |
| | > 8 | 11 | 26 | 34 | 43 | 51 |
| Milieux humides | Toutes | 5 | | | | |
| Fortement perturbé par l'activité humaine (ANT) ¹ | Toutes | 75 | | | | |
| Gravière (GR) ¹ | Toutes | 50 | | | | |
| Milieu faiblement perturbé par l'activité humaine (NF) ¹ | Toutes | 50 | | | | |
| Route et autoroute (RO) ¹ | Toutes | 88 | | | | |
| Aire d'empilement et d'ébranchage à caractère permanent (AEP) ² | | Voir occupation Agricole (Pâturage) | | | | |
| Lignes de transport d'énergie (LTE) ² | | Voir occupation Agricole (Pâturage) | | | | |

¹ Valeurs adaptées de MTQ (2004).

² Coefficients de ruissellement tirés de la catégorie « Pâturage » du tableau 3.4.1a du Manuel de conception des ponceaux (MTQ, 2004).

6.6.4 Évapotranspiration potentielle et réelle

L'évapotranspiration réelle (ET_R) inclut l'ensemble de l'eau retournée à l'atmosphère par les processus d'évaporation et de transpiration. Dans le cadre de la présente étude, l' ET_R est assumée égale à l'évapotranspiration potentielle (ET_P), paramètre représentant la quantité maximale d'eau pouvant être retournée à l'atmosphère par évaporation et transpiration. L' ET_P est évaluée sur la base de l'équation proposée par Thornthwait, (1944) :

$$ET_P = 16 \left[\frac{10\theta}{I} \right]^a F(\lambda) \quad \text{Équation 6.6.4.1}$$

$$a = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,7 \times 10^{-5} I^2 + 1,79 \times 10^{-2} I + 0,49239 \quad \text{Équation 6.6.4.2}$$

$$i = \left(\frac{\theta}{5} \right)^{1.514} \quad \text{Équation 6.6.4.3}$$

où ET_P représente l'évapotranspiration potentielle annuelle, θ représente la température moyenne de l'air en °C (seulement si $\theta > 0$ °C), $F(\lambda)$ représente un coefficient de correction qui est fonction de la latitude et du mois et I représente l'indice thermique annuel correspondant à la somme des indices mensuels i déterminés selon l'équation 6.6.4.3. Les températures minimales et maximales journalières évaluées par Poirier et al., (2012) ont été utilisées afin d'estimer les températures moyennes journalières (sur la base du calcul de la moyenne des deux extrêmes). Ces données ont subséquentement été utilisées pour le calcul des moyennes mensuelles. Le tableau 6.6.4.1 présente un sommaire des paramètres retenus pour le calcul de l' ET_P .

Tableau 6.6.4.1 Paramètres retenus pour le calcul de l' ET_P

| Paramètres | Min | Max | Moyenne | Écart-type | Coefficient $F(\lambda)^1$ moyen | |
|------------|-----------|-------|---------|------------|----------------------------------|------|
| i | Janvier | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,76 |
| | Février | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,80 |
| | Mars | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,02 |
| | Avril | 0,02 | 0,52 | 0,23 | 0,14 | 1,14 |
| | Mai | 2,22 | 3,19 | 2,67 | 0,24 | 1,31 |
| | Juin | 4,67 | 5,87 | 5,19 | 0,30 | 1,33 |
| | Juillet | 5,97 | 7,35 | 6,58 | 0,35 | 1,34 |
| | Août | 5,24 | 6,63 | 5,83 | 0,36 | 1,23 |
| | Septembre | 3,06 | 4,21 | 3,53 | 0,29 | 1,05 |
| | Octobre | 0,65 | 1,37 | 0,96 | 0,18 | 0,93 |
| | Novembre | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,77 |
| | Décembre | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,72 |
| I | 21,83 | 29,09 | 24,99 | 1,86 | --- | |
| a | 0,85 | 0,96 | 0,90 | 0,03 | --- | |

¹Les valeurs de $F(\lambda)$ sont adaptées de Gélinas et Therrien, (2001)

6.6.5 Emmagasinement de l'eau dans la zone non saturée

Les propriétés physiques de la zone non saturée (p. ex. caractéristiques granulométriques et porosité) dictent sa propension à emmagasiner de l'eau. Le volume d'eau emmagasiné au sein de la zone non saturée (E_S) se divise en une portion facilement accessible par les plantes (RAS) et une portion résiduelle correspondant au point de flétrissement (θ_w). Dans le cadre de la présente étude, le RAS_{max} (volume maximal d'eau accessible pour les plantes pouvant être emmagasiné au sein d'un volume de zone non saturée) a été défini en fonction des unités géologiques identifiées en surface (Section 2.8; Carte 8) en considérant (1) la capacité de rétention (CR), (2) le point de flétrissement (θ_w) et (3) l'épaisseur de la zone racinaire (d). Selon Fetter (2001), le RAS_{max} correspond à la différence entre la capacité de rétention du sol et son point de flétrissement :

$$RAS_{max} = d * (CR - \theta_w) \quad \text{Équation 6.6.5.1}$$

Le calcul du RAS_{max} permet ainsi l'évaluation du bilan d'emmagasinement en eau au sein de la zone non saturée :

$$\Delta E_{S(i)} = \Delta RAS_{(i)} = RAS_{(i)} - RAS_{(i-1)} \quad \text{Équation 6.6.5.2}$$

où la différence d'emmagasinement en eau au sein de la zone non saturée (ΔE_S) est évaluée sur une base mensuelle ($i = \text{mois visé par l'évaluation}; i - 1 = \text{mois antérieur}$). Le θ_w et le RAS_{max} fixent les limites inférieures et supérieures en ce qui a trait à la quantité d'eau pouvant être emmagasinée au sein de la zone non saturée dans le cadre de l'évaluation du bilan hydrique. Il est assumé ici qu'il ne peut y avoir de recharge avant que la teneur en eau du sol n'atteigne le seuil défini par la valeur de RAS_{max} . De façon similaire, il ne peut y avoir d'évapotranspiration si la teneur en eau du sol n'excède pas le point de flétrissement. Le tableau 6.6.5.1 dresse un sommaire des valeurs retenues dans le cadre de la présente étude.

Tableau 6.6.5.1 Valeurs de capacité de rétention et de points de flétrissements

| Unités géologiques de surface ^a | Type de sol correspondant ^b | Texture ^b | Capacité de rétention ^b CR (%) | Point de flétrissement ^b θ_w (%) | $CR - \theta_w$ (%) | D^c (mm) | RAS_{MAX}^d |
|--|--|----------------------|---|--|---------------------|------------|---------------|
| LGa | Argileux | fine | 43 | 30 | 13 | 700 | 91 |
| - | Argilo-limoneux | fine | 31 | 22 | 9 | ND | ND |
| - | Limoneux | moyenne | 17 | 7 | 10 | ND | ND |
| - | Sablo-argileux | moyenne | 12 | 4 | 8 | ND | ND |
| LGb; LGd; G; Go; Gx; Gxi/Gxt | Sablonneux | grossière | 4 | 1 | 3 | 500 | 15 |
| Tc; Tm; A | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 43 |
| R | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 0 |
| O | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 100 |

^a Voir la section 2.8 et carte 8 pour la description des unités. ^b Quantification basée sur les valeurs proposées par Brady et Weil (2008). ^c La valeur de 700 mm retenue pour les sols à matrice fine est basée sur les travaux de Rompré et Carrier (1997). ^d La valeur de RAS_{MAX} attribuée aux dépôts organiques est basée sur les travaux de Larose-Charrette, (2000). ND : non défini dans le cadre de la présente étude.

6.6.6 Contraintes additionnelles sur l'évaluation de la recharge

Outre les éléments discutés aux sous-sections 6.6.1 à 6.6.5, trois aspects sont pris en compte afin de contraindre l'évaluation du bilan hydrique :

1. la recharge maximale possible ne peut dépasser la quantité permise par la conductivité hydraulique de l'unité géologique de surface, en assumant un gradient hydraulique de 1;
2. lorsque la moyenne mensuelle des températures est $\leq 0^{\circ}\text{C}$, le sol est considéré gelé et la recharge est considérée nulle. Les calculs propres au mois de novembre (premier mois de l'année caractérisé par une température moyenne inférieure à zéro) sont exemptés de cette contrainte;
3. lorsque des dépôts granulaires sont localisés au-dessus de l'argile (voir section 5.4), la recharge est calculée pour l'aquifère sous-jacent à l'argile.

6.6.7 Portrait régional

À l'échelle du territoire à l'étude, les valeurs de recharge calculées selon l'équation 6.6.1 sont comprises entre <100 et 399 mm/an (Tableau 6.6.7.1) (Carte 19). Les taux de recharge sont généralement plus élevés au niveau des secteurs d'aquifères à nappe libre (Tableau 5.4.2; Carte 16; séquences 1-2-3-8-11-12-15) en comparaison aux secteurs d'aquifères à nappe captive (Tableau 5.4.2; Carte 16; séquences 4-5-6-7-9-10-13-14). Le patron défini par les taux de recharge partage donc des limites similaires à celui décrit pour les conditions d'écoulement de l'eau souterraine (Section 6.2). Les principales zones de recharge suivent le tracé défini par les formations fluvioglaciales. Les segments d'esker des secteurs de Saint-Vital-de-Clermont, D'Alembert et de la zone Rollet – Nédélec – Guérin y sont identifiables. Un vaste secteur caractérisé par des taux de recharge >250 mm/an est identifié dans le secteur de Belleterre. En surface, cette zone correspond (1) à des sédiments associés à la moraine d'Harricana et (2) aux accumulations de till affleurant entre Belleterre, Laforce, Moffet et Latulipe-et-Gaboury. D'autres zones de recharge correspondent aux secteurs de roc affleurant ou de till sur roc, notamment en périphérie de la ligne de partage des eaux séparant le bassin de la Baie James de celui du Saint-Laurent (voir Carte 4). Les taux de recharge sont considérés <100 mm/an au niveau de la plaine argileuse (taux imposé en considérant l'ordre de grandeur médian (10^{-9} m/s) de l'intervalle de conductivité hydraulique évalué pour cette unité considérée comme un aquitard (section 6.1)). Le secteur de l'Abitibi-Ouest ainsi que la zone localisée en périphérie du lac Témiscamingue sont notamment caractérisés par de faibles taux de recharge.

Il est à noter que l'évaluation de la recharge par 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 (Sections 6.6.1 à 6.6.6). 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.

Tableau 6.6.7.1 Valeurs minimales, moyennes et maximales des paramètres liés à l'évaluation de la recharge

| 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. ¹ | Moy. ² | Max. ³ | Min. ¹ | Moy. ² | Max. ³ | Min. ¹ | Moy. ² | Max. ³ | Min. ¹ | Moy. ² | Max. ³ | Min. ¹ | Moy. ² | Max. ³ | Min. ¹ | Moy. ² | Max. ³ | Min. ¹ | Moy. ² | Max. ³ |
| 1 | Roc | 852 | 896 | 956 | 5 | 42 | 75 | 75 | 415 | 729 | 485 | 517 | 543 | 155 | 329 | 471 | 0 | 0 | 0 | <100 | 152 | 399 |
| 2 | Till | 852 | 914 | 956 | 5 | 18 | 88 | 75 | 223 | 804 | 485 | 515 | 543 | 89 | 464 | 514 | 4,24 | 42,8 | 43 | <100 | 227 | 350 |
| 3 | Sable et gravier | 859 | 901 | 956 | 4 | 9 | 88 | 67 | 138 | 804 | 485 | 517 | 543 | 82 | 463 | 489 | 4,24 | 14,9 | 15 | <100 | 300 | 384 |
| 4 | Argile | 852 | 893 | 946 | 5 | 30 | 88 | 75 | 315 | 821 | 485 | 509 | 543 | 85 | 435 | 543 | 4,24 | 64,1 | 91 | <100 | | |
| 5 | Argile | 852 | 893 | 946 | 5 | 31 | 88 | 75 | 327 | 824 | 485 | 511 | 543 | 87 | 430 | 543 | 4,24 | 61,8 | 91 | <100 | | |
| 6 | Argile | 857 | 885 | 946 | 5 | 16 | 75 | 76 | 209 | 707 | 485 | 524 | 543 | 164 | 441 | 486 | 8,84 | 14,9 | 15 | <100 | | |
| 7 | Argile | 857 | 885 | 946 | 5 | 16 | 75 | 76 | 211 | 723 | 486 | 527 | 543 | 163 | 443 | 486 | 8,84 | 15,0 | 15 | <100 | | |
| 8 | Sable et gravier | 852 | 897 | 956 | 5 | 16 | 75 | 75 | 194 | 729 | 485 | 514 | 543 | 164 | 442 | 486 | 8,84 | 14,9 | 15 | <100 | 261 | 384 |
| 9 | Argile | 857 | 893 | 946 | 5 | 5 | 5 | 75 | 103 | 159 | 485 | 501 | 543 | 485 | 501 | 543 | 100 | 100 | 100 | <100 | | |
| 10 | Argile | 859 | 894 | 946 | 5 | 5 | 5 | 75 | 105 | 157 | 486 | 505 | 543 | 486 | 505 | 543 | 100 | 100 | 100 | <100 | | |
| 11 | Organique | 857 | 901 | 956 | 5 | 5 | 5 | 75 | 102 | 159 | 485 | 506 | 543 | 485 | 506 | 543 | 100 | 100 | 100 | 157 | 293 | 356 |
| 12 | Organique | 857 | 905 | 956 | 5 | 5 | 5 | 75 | 108 | 159 | 485 | 513 | 543 | 485 | 513 | 543 | 100 | 100 | 100 | 157 | 284 | 356 |
| 13 | Argile | 861 | 894 | 935 | 5 | 15 | 75 | 75 | 188 | 723 | 485 | 508 | 541 | 165 | 467 | 510 | 8,84 | 42,6 | 43 | <100 | | |
| 14 | Argile | 864 | 894 | 935 | 5 | 15 | 75 | 75 | 188 | 692 | 486 | 509 | 541 | 166 | 468 | 510 | 8,84 | 42,8 | 43 | <100 | | |
| 15 | Alluvion | 864 | 901 | 946 | 5 | 17 | 88 | 76 | 205 | 797 | 486 | 510 | 541 | 95 | 464 | 514 | 4,24 | 42,8 | 43 | <100 | 232 | 356 |

¹Valeur Minimale; ²Valeur Moyenne; ³Valeur Maximale

6.7. Zones préférentielles de recharge et de résurgence (Carte 20)

La carte 20 illustre la distribution spatiale des principales zones de recharge et de résurgence identifiées au niveau du territoire à l'étude. Le tableau 6.7.1 dresse un sommaire de l'approche et des sources de données retenues afin d'identifier ces zones.

Tableau 6.7.1 Approche d'identification des zones préférentielles de recharge et de résurgence

| Identification des zones préférentielles | Description | Sources d'informations utilisées | Justification |
|--|---|---|---|
| Zones préférentielles de recharge | Les zones préférentielles de recharge constituent les principaux secteurs au sein desquels les apports verticaux issus des précipitations contribuent à la réalimentation en eau des systèmes aquifères | Secteurs caractérisés par des taux de recharge ≥ 254 mm/an (voir section 6.6; Carte 19) | La valeur de 254 mm/an correspond à la borne inférieure de la classe la plus élevée pour la pondération de l'impact de la recharge dans la méthode d'évaluation de la vulnérabilité des nappes DRASTIC (Aller et al., 1987) |
| Zones préférentielles de résurgence | Les zones préférentielles de résurgence constituent des exutoires à partir desquels l'eau quitte les aquifères et réalimentent le réseau hydrographique et les écosystèmes de surface | Éléments du réseau hydrographique de surface en contact avec des secteurs d'aquifère à nappe libre (Section 6.2) | Les éléments du réseau hydrographique étant en contact avec un secteur d'aquifère à nappe libre ont été utilisés afin de contraindre la piézométrie générale. Il est proposé ici que les plans d'eau touchant directement à un aquifère à nappe libre constituent des environnements favorables à l'établissement d'interactions entre les eaux de surface et souterraines. |
| | | Tourbières et lacs correspondant aux pôles «Roc» et «Argile» et au segment reliant ces pôles dans les schémas de catégorisation des tourbières (Section 6.4) et des lacs (Section 6.5). Toutes les tourbières dont le pôle « Argile » correspond à une valeur $\leq 15\%$ | Les sections 6.4 et 6.5 présentent des informations relatives aux fonctions hydrogéologiques des complexes tourbeux et des plans d'eau en ce qui a trait à la dynamique des interactions entre les eaux de surface et souterraines. Les lacs et tourbières au contact des unités associées aux formations fluvioglaciales et au roc sont considérées les plus favorables à l'établissement d'interactions entre les eaux souterraine et de surface. |
| | | Localisation des sources ponctuelles et diffuses identifiées par Nadeau, 2011 | Les sources ponctuelles et diffuses ont été utilisées afin de contraindre la piézométrie régionale (section 6.3, carte 17). 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. |

Les principales zones de recharge préférentielle suivent le tracé défini par les formations fluvioglaciales. Les segments d'esker des secteurs de Saint-Vital-de Clermont, D'Alembert et de la zone Rollet – Nédélec – Guérin y sont identifiables. Un vaste secteur caractérisé par des taux de recharge >254 mm/an est identifié dans le secteur de Belleterre. En surface, cette zone correspond (1) à des sédiments associés à la moraine d'Harricana et (2) aux accumulations de till affleurant entre Belleterre, Laforce, Moffet et Latulipe-et-Gaboury. D'autres zones de recharge préférentielle correspondent aux secteurs de roc affleurant ou de till sur roc, notamment en périphérie de la ligne de partage des eaux séparant le bassin de la Baie James de celui du Saint-Laurent (voir Carte 4). Les sources ponctuelles et diffuses (zones préférentielles de résurgence) sont essentiellement observées au niveau des flancs des formations

fluvioglaciers. Les éléments du réseau hydrographique considérés au contact avec des aquifères à nappe libre (voir section 6.2) sont distribués sur l'ensemble du territoire, avec une densité nettement plus élevée au sud de la ligne de partage des eaux séparant les bassins de la Baie James et du Saint-Laurent. Les tourbières et lacs correspondant aux pôles «roc» et/ou «esker» des schémas de catégorisation présentés aux sections 6.4 et 6.5 sont également identifiés sur la carte 20.

6.8 Épaisseurs et limites des aquifères régionaux

6.8.1 Aspects théoriques

Les caractéristiques géométriques et la distribution spatiale des aquifères régionaux sont imposées par la configuration des unités hydrogéologiques (Chapitre 5) ainsi que par la position de la surface piézométrique (Section 6.3). La matrice des aquifères ainsi que les conditions d'écoulement de l'eau souterraine y percolant constituent les deux principaux critères retenus afin de délimiter l'étendue des aquifères régionaux selon le plan horizontal (Section 6.2; Carte 17). Les aquifères à nappe libre sus-jacents à une couche d'argile (p. ex. voir figure 6.2.1) sont omis de l'approche de catégorisation proposée ici puisque ces derniers constituent généralement des réservoirs d'envergure limitée au niveau du territoire à l'étude. Quatre catégories d'aquifères sont donc définies, soit (1) les aquifères granulaires à nappe libre, (2) les aquifères rocheux fracturés à nappe libre, (3) les aquifères granulaires à nappe captive et (4) les aquifères rocheux fracturés à nappe captive (Figure 6.8.1.1). Le tableau 6.8.1.1 dresse un sommaire des contraintes géométriques permettant d'évaluer l'épaisseur des aquifères en fonction de leur matrice et des conditions d'écoulement de l'eau souterraine y percolant.

Figure 6.8.1.1 Représentation simplifiée de l'approche de classification des aquifères régionaux

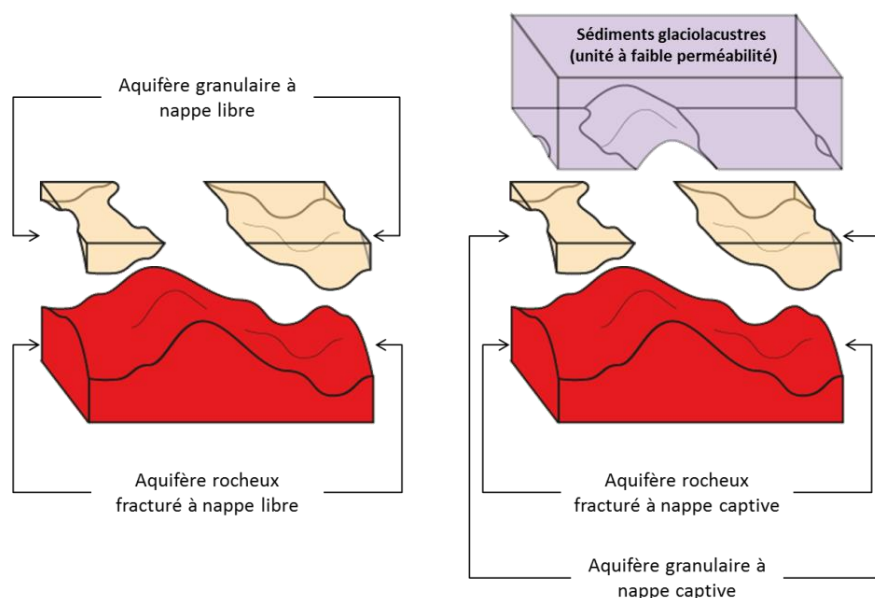


Tableau 6.8.1.1 Contraintes géométriques relatives à l'évaluation de l'épaisseur des aquifères

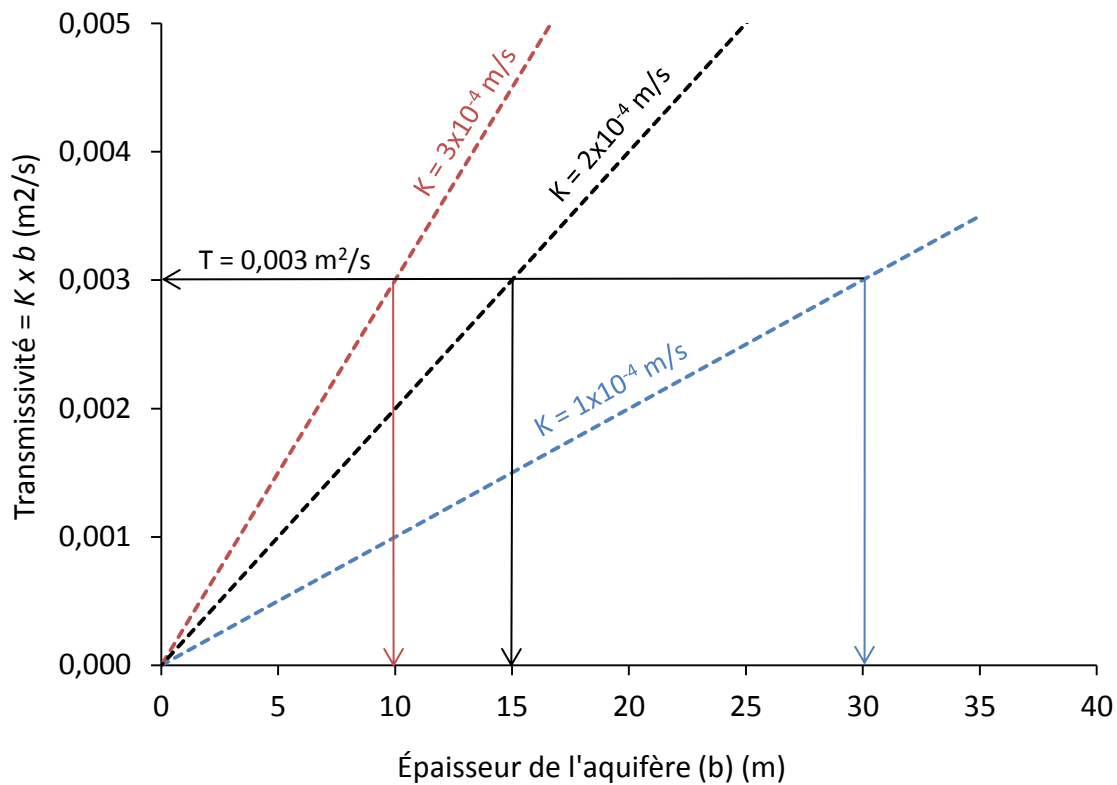
| | Aquifères rocheux fracturés | Aquifères granulaires |
|----------------------------------|--|--|
| Aquifères à nappe libre | L'épaisseur de l'aquifère correspond à la différence entre l'altitude de la surface piézométrique et celle de la surface correspondant à la limite inférieure en-deçà de laquelle le niveau de fracturation du massif rocheux est considéré trop faible pour que des écoulements significatifs s'y produisent | L'épaisseur de l'aquifère correspond à la différence entre l'altitude de la surface piézométrique et celle de la surface du socle rocheux |
| Aquifères à nappe captive | L'épaisseur de l'aquifère correspond à la différence entre l'altitude de la surface du socle rocheux et celle de la surface correspondant à la limite inférieure en-deçà de laquelle le niveau de fracturation du massif rocheux est considéré trop faible pour que des écoulements significatifs s'y produisent | L'épaisseur de l'aquifère correspond à la différence entre l'altitude de la base de la couche d'argile et celle de la surface du socle rocheux |

Or, le rendement potentiel d'un aquifère (en termes de potentiel d'exploitation) ne dépend pas uniquement de ses dimensions, mais également de l'aisance avec laquelle l'eau souterraine s'y écoule. En ce sens, la notion de transmissivité constitue un paramètre hydraulique pertinent à l'évaluation des ressources aquifères. La transmissivité d'un aquifère [L^2T^{-1}] correspond au produit de sa conductivité hydraulique (K ; [LT^{-1}]) par son épaisseur (b ; [L]) :

$$T = Kb$$

Équation 6.8.1.1

À titre d'exemple, la figure 6.8.1.2 illustre les valeurs de transmissivité calculées pour deux valeurs de conductivité hydraulique pour différentes épaisseurs d'aquifères. On y constate qu'une infinité d'aquifères d'épaisseurs et de conductivités hydrauliques variées peuvent présenter les mêmes valeurs de transmissivité, pour autant que leurs produits $K \times b$ soient identiques. Néanmoins, il est proposé ici que pour une valeur de conductivité hydraulique fixe, et pour tout autre facteur d'influence constant (p. ex. taux de recharge, taux d'exploitation, qualité de l'eau), plus un aquifère est vaste en termes de superficie selon le plan horizontal (x, y) et plus son épaisseur (b , selon l'axe z) est importante, plus son potentiel d'exploitation sera élevé.

Figure 6.8.1.2 Calculs théoriques de transmissivité pour différentes valeurs de K et b 

6.8.2 Portrait régional

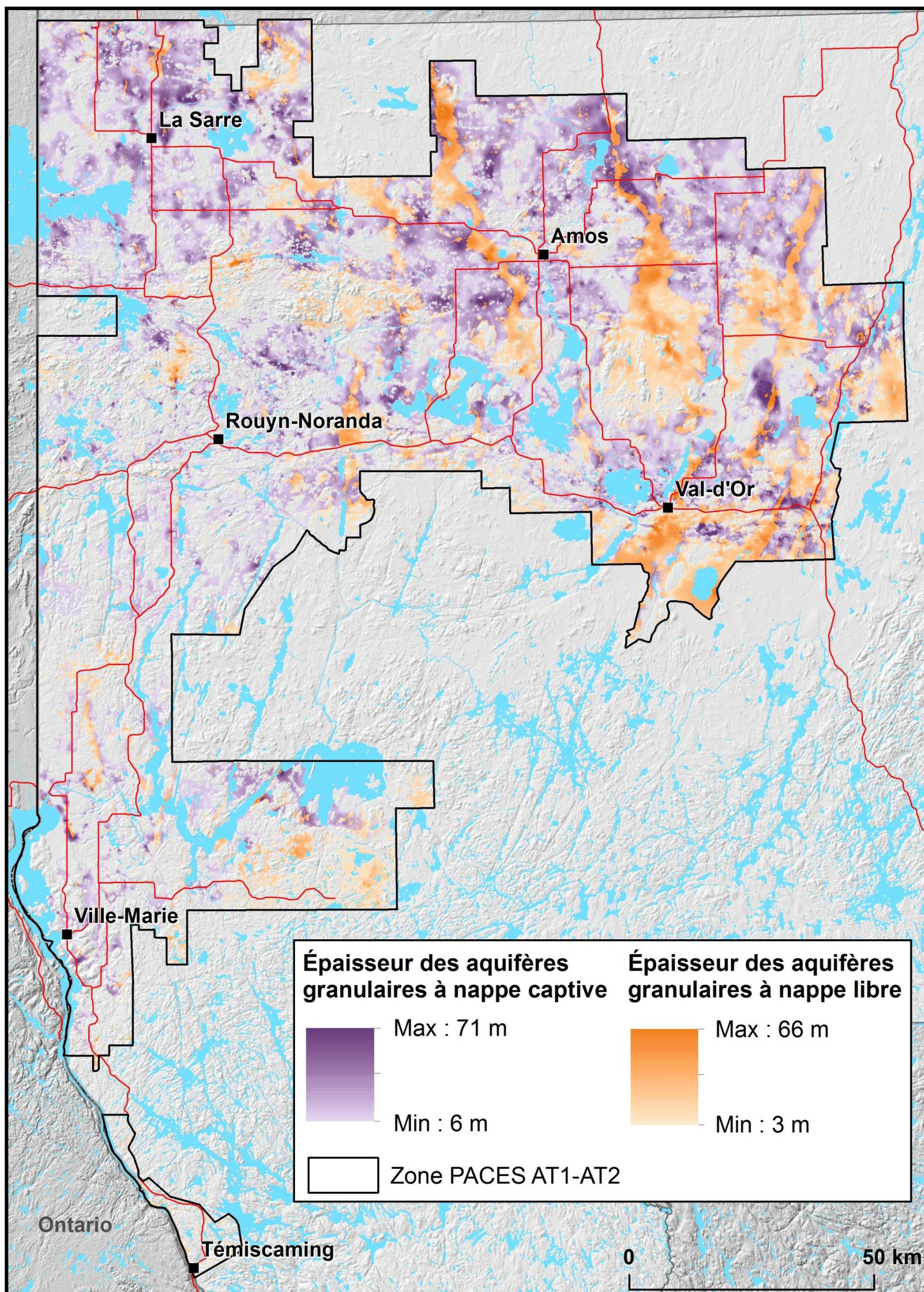
Deux principales contraintes limitent l'évaluation de la transmissivité des aquifères à l'échelle de la région d'étude :

1. Tant pour les aquifères rocheux que pour les aquifères granulaires, les données relatives à la conductivité hydraulique des différentes unités hydrogéologiques de la région sont limitées en nombre et distribuées de façon hétérogène dans l'espace. En ce sens, et considérant l'hétérogénéité naturelle imposée par le cadre géologique, il est proposé ici que la distribution spatiale des valeurs de conductivités hydrauliques sur un territoire de plus de 10 000 km² ne peut être réalisée de façon robuste.
2. Les données disponibles ne permettent pas d'évaluer les variations dans l'épaisseur des aquifères rocheux fracturés à l'échelle de la région.

La stratégie retenue afin de pallier à ces lacunes cible donc uniquement l'évaluation de l'épaisseur des aquifères granulaires à nappe libre et à nappe captive de la région (Figure 6.8.2.1). Bien que les valeurs de conductivité hydrauliques soient sujettes à une hétérogénéité spatiale non négligeable, il est proposé ici que pour deux secteurs d'envergures similaires selon le plan horizontal et présentant les mêmes conditions d'écoulement (nappe libre; nappe captive), celui caractérisé par un aquifère d'épaisseur plus grande possédera généralement une valeur de transmissivité plus élevée. Néanmoins, la figure 6.8.2.1 ne permet pas une évaluation précise de la transmissivité des aquifères granulaires du territoire.

À l'échelle de la région, les aquifères granulaires à nappe libre atteignent une épaisseur maximale de 66 m. En ce qui a trait au territoire PACES-AT2, les secteurs où les épaisseurs d'aquifère à nappe libre les plus élevées sont évaluées correspondent aux principaux segments d'esker et moraine. Les segments d'esker des secteurs de Saint-Vital-de-Clermont, D'Alembert et de la zone Rollet – Nédélec – Guérin y sont identifiables. Le secteur de Belleterre se distingue également. En surface, cette zone correspond (1) à des sédiments associés à la moraine d'Harricana et (2) aux accumulations de till affleurant entre Belleterre, Laforce, Moffet et Latulipe-et-Gaboury. Les aquifères granulaires à nappe captive atteignent quant à eux une épaisseur maximale de 71 m au niveau de la région. En ce qui a trait au territoire PACES-AT2, les secteurs caractérisés par les épaisseurs les plus élevées sont principalement observés en Abitibi-Ouest et plus au sud, en périphérie du lac Simard.

Figure 6.8.2.1 Distribution spatiale de l'épaisseur des aquifères granulaires des territoires PACES-AT2 (ouest) et PACES-AT1 (est)



6.9 Vulnérabilité de l'eau souterraine (Carte 21)

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). Cet indice, communément utilisé pour évaluer la vulnérabilité des nappes, se calcule par l'addition de sept cotes pondérées de leurs importances relatives et correspondant à sept paramètres jugés susceptibles d'influencer significativement la vulnérabilité des aquifères :

$$\text{Indice DRASTIC} = \sum_{i=1}^7 C_i F P_i \quad \text{Équation 6.9.1}$$

où C et FP représentent les cotes et les facteurs de pondération attribués à chacun des sept paramètres ($i = D, R, A, S, T, I, C$) rapportés au tableau 6.9.1.

Les figures 6.9.1A à 6.9.1G illustrent la distribution spatiale des valeurs calculées pour chacun des paramètres inclus au calcul de l'indice DRASTIC, lequel est représenté sur la figure 6.9.1H et sur la carte 21. À l'échelle du territoire, les indices DRASTIC calculés (Figure 6.9.1H; Carte 21) varient entre 45 et 222. Les valeurs d'indices DRASTIC les plus élevées correspondent au tracé défini par les principales formations fluvioglaciales de la région. Les segments d'esker des secteurs de Saint-Vital-de-Clermont, D'Alembert et de la zone Rollet – Nédélec – Guérin y sont identifiables. Un vaste secteur d'aquifères à nappe libre caractérisé par des indices DRASTIC supérieurs à 140 est identifié dans le secteur de Belleterre. En surface, cette zone correspond (1) à des sédiments associés à la moraine d'Harricana et (2) aux accumulations de till affleurant entre Belleterre, Laforce, Moffet et Latulipe-et-Gaboury. D'autres zones d'aquifères à nappe libre caractérisées par des indices DRASTIC supérieurs à 140 correspondent aux secteurs de roc affleurant ou de till sur roc, notamment en périphérie de la ligne de partage des eaux séparant le bassin de la Baie James de celui du Saint-Laurent (voir Carte 4). Les secteurs d'aquifères à nappe captive, identifiés à des altitudes inférieures à celle atteinte par les argiles glaciolacustres, présentent généralement des valeurs d'indices DRASTIC inférieures à 100. Le secteur de l'Abitibi-Ouest ainsi que la zone localisée en périphérie du lac Témiscamingue sont notamment caractérisés par des indices DRASTIC inférieurs à 100. En complément, le tableau 6.9.2 dresse un sommaire des statistiques relatives aux cotes DRASTIC évaluées au niveau des 15 séquences stratigraphiques de la région (voir section 5.4).

Tableau 6.9.1 Paramètres, cotes et facteurs de pondération relatifs à la méthode DRASTIC

| Paramètres | Élément considéré (unités) | Description sommaire et particularités propres à la présente étude | Cotes ² | | Facteur de pondération ² | Stratégie d'évaluation / Correspondance avec les livrables cartographiques | | Source de données utilisées | Portrait régional |
|---------------------------------------|--|---|---|----|-------------------------------------|---|--|--|-------------------|
| D | Profondeur de la nappe (m) | Les cotes relatives au paramètre «D» sont attribuées sur la base d'une évaluation quantitative de la profondeur de la nappe. Dans le cas des aquifères à nappe libre, la profondeur de la nappe correspond à la différence entre l'altitude de la surface du sol et celle de la surface piézométrique (Section 6.3). Dans le cas des aquifères à nappe captive, les cotes sont attribuées sur la base de la différence entre l'altitude de la surface du sol et celle de la limite supérieure de l'aquifère (Section 6.8). Dans le cadre de l'application de la méthode DRASTIC, plus la nappe d'eau souterraine est près de la surface, plus elle est considérée vulnérable. | >30,5 | 1 | 5 | Secteurs d'aquifères à nappe libre (Section 6.2; Carte 16) | D = [MAN] – [surface piézométrique] | Modèle altimétrique numérique (Section 5.1; carte 12); Piézométrie régionale (Section 6.3; Carte 18) | Figure 6.9.1A |
| | | |]22,8 ; 30,5] | 2 | | | | | |
| | | |]15,2 ; 22,8] | 3 | | | | | |
| | | |]9,1 ; 15,2] | 5 | | Secteurs d'aquifère à nappe captive (Section 6.2; Carte 16) | D = [MAN] – [Élévation de la base de la couche d'argile] | Modèle altimétrique numérique (Section 5.1; carte 12); Épaisseur des dépôts meubles (Section 5.2; Carte 14); Épaisseur d'argile (Section 5.3) | |
| | | |]4,6 ; 9,1] | 7 | | | | | |
| | | |]1,5 ; 4,6] | 9 | | | | | |
| | | | [0 ; 1,5] | 10 | | | | | |
| R | Recharge (mm/an) | Les cotes relatives au paramètre «R» sont attribuées sur la base d'une évaluation quantitative des taux de recharge. En ce qui a trait au territoire à l'étude, les valeurs de recharge calculés par bilan hydrologique sont utilisées (Section 6.6). Dans le cadre de l'application de la méthode DRASTIC, plus le taux de recharge est élevé, plus l'eau souterraine est considérée vulnérable. | [0 ; 51[| 1 | 4 | R = Cote [Taux de recharge calculé] | Bilan hydrologique et recharge (Section 6.6; Carte 19) | Figure 6.9.1B | |
| | | |]51 ; 102[| 3 | | | | | |
| | | |]102 ; 178[| 6 | | | | | |
| | | |]178 ; 254[| 8 | | | | | |
| | | | >254 | 10 | | | | | |
| A | Type d'aquifère (Qualitatif) | Les cotes relatives au paramètre «A» sont attribuées sur la base d'une classification qualitative des matériaux constituant la matrice des aquifères. En ce qui a trait au territoire à l'étude, seules deux classes sont retenues, soit les aquifères granulaires (sable et gravier) et les aquifères du socle rocheux fracturé (assimilé ici à un assemblage de roches métamorphiques et ignées, par mesure de simplification). | Roches métamorphiques et ignées | 5 | 3 | Secteurs d'aquifères à nappe libre (Section 6.2 Carte 16) | Évaluation de la position de la surface piézométrique (Section 6.3; Carte 18) au sein de la séquence stratigraphique | Modèle altimétrique numérique (Section 5.1; carte 12); Piézométrie régionale (Section 6.3; Carte 18) Épaisseur des dépôts meubles (Section 5.2; Carte 14); Séquences stratigraphiques (Section 5.4; Carte 16) | Figure 6.9.1C |
| | | | Till | 6 | | | | | |
| | | | Sables et graviers | 9 | | Secteurs d'aquifère à nappe captive (Section 6.2; Carte 16) | Évaluation du type d'aquifère selon les séquences stratigraphiques (Section 5.4; Carte 16) | | |
| S | Type de sol (Qualitatif) | Les cotes relatives au paramètre «S» sont attribuées sur la base d'une classification qualitative des matériaux constituant la matrice des sols. En ce qui a trait au territoire à l'étude, six classes de sols sont retenues, en fonction des différentes unités géologiques observées en surface. | Mince ou absent | 10 | 2 | Séquence stratigraphique 1 | Séquences stratigraphiques (Section 5.4; Carte 16) | Figure 6.9.1D | |
| | | | Gravier | 10 | | | | | |
| | | | Sable | 9 | | | | | |
| | | | Tourbe | 8 | | | | | |
| | | | Sable silteux | 6 | | | | | |
| | | | Argile | 1 | | | | | |
| | | | Séquences stratigraphiques 6-7-8 | | | | | | |
| Séquences stratigraphiques 9-10-11-12 | | | | | | | | | |
| Séquences stratigraphiques 2-13-14-15 | | | | | | | | | |
| Séquences stratigraphiques 4-5 | | | | | | | | | |
| T | Topographie (% de pente) | Les cotes relatives au paramètre «T» sont attribuées sur la base d'une évaluation quantitative de la pente du sol. En ce qui a trait au territoire à l'étude, les pentes de surface calculées à partir du MAN (section 5.1; cartes 12 et 13) sont utilisées. Dans le cadre de l'application de la méthode DRASTIC, plus la pente de surface est faible, plus l'eau souterraine est considérée vulnérable. | >18 | 1 | 1 | T = Cote [Pente du sol] | Pente du sol (Section 5.1; Carte 13) | Figure 6.9.1E | |
| | | |]12 ; 18] | 3 | | | | | |
| | | |]6 ; 12] | 5 | | | | | |
| | | |]2 ; 6] | 9 | | | | | |
| | | | [0 ; 2] | 10 | | | | | |
| I | Impact de la zone vadose (Qualitatif) | Les cotes relatives au paramètre «I» sont attribuées sur la base d'une évaluation qualitative des matériaux constituant la matrice de la zone non saturée. En ce qui a trait au territoire à l'étude, 3 classes sont retenues, en fonction des unités identifiées en zone non saturée. | Unité imperméable | 1 | 5 | Évaluation de la moyenne pondérée des cotes (C) en fonction de l'épaisseur (H) de l'ensemble des unités (i) sus-jacentes à l'aquifère | Modèle altimétrique numérique (Section 5.1; carte 12); Piézométrie régionale (Section 6.3; Carte 18) Épaisseur des dépôts meubles (Section 5.2; Carte 14); Séquences stratigraphiques (Section 5.4; Carte 16) | Figure 6.9.1F | |
| | | | Sables et graviers | 9 | | | | | |
| | | | Roches métamorphiques et ignées | 5 | | | | | |
| C | Conductivité hydraulique de l'aquifère (m/s) | Les cotes relatives au paramètre «C» sont attribuées sur la base d'une évaluation quantitative de la conductivité hydraulique des aquifères. En ce qui a trait au territoire à l'étude, les valeurs sont attribuées sur la base des évaluations proposées à la section 6.1. Dans le cadre de l'application de la méthode DRASTIC, plus la conductivité hydraulique est élevée, plus l'eau souterraine est considérée vulnérable. | $[4,72 \times 10^{-7} ; 4,72 \times 10^{-5}[$ | 1 | 3 | Attribution d'une valeur de conductivité selon le type d'aquifère (Paramètre «A») sur la base des données de conductivité hydrauliques : C = Cote [Conductivité hydraulique] | Plages de conductivités hydrauliques évaluées pour les différentes unités hydrogéologiques (Section 6.1) | Figure 6.9.1G | |
| | | | $[4,72 \times 10^{-5} ; 1,41 \times 10^{-4}[$ | 2 | | | | | |
| | | | $[1,41 \times 10^{-4} ; 3,30 \times 10^{-4}[$ | 4 | | | | | |
| | | | $[3,30 \times 10^{-4} ; 4,72 \times 10^{-4}[$ | 6 | | | | | |
| | | | $[4,72 \times 10^{-4} ; 9,43 \times 10^{-4}[$ | 8 | | | | | |
| | | | $>9,43 \times 10^{-4}$ | 10 | | | | | |

¹ Tableau adapté de Cloutier et al., 2013c. ² Les valeurs attribuées aux cotes et facteurs de pondération sont adaptées de Aller et al., (1987). Seules les cotes retenues dans le cadre de la présente étude sont rapportées.

Figure 6.9.1 Distribution spatiale des valeurs de cotes calculées pour les paramètres inclus à l'évaluation de l'indice DRASTIC

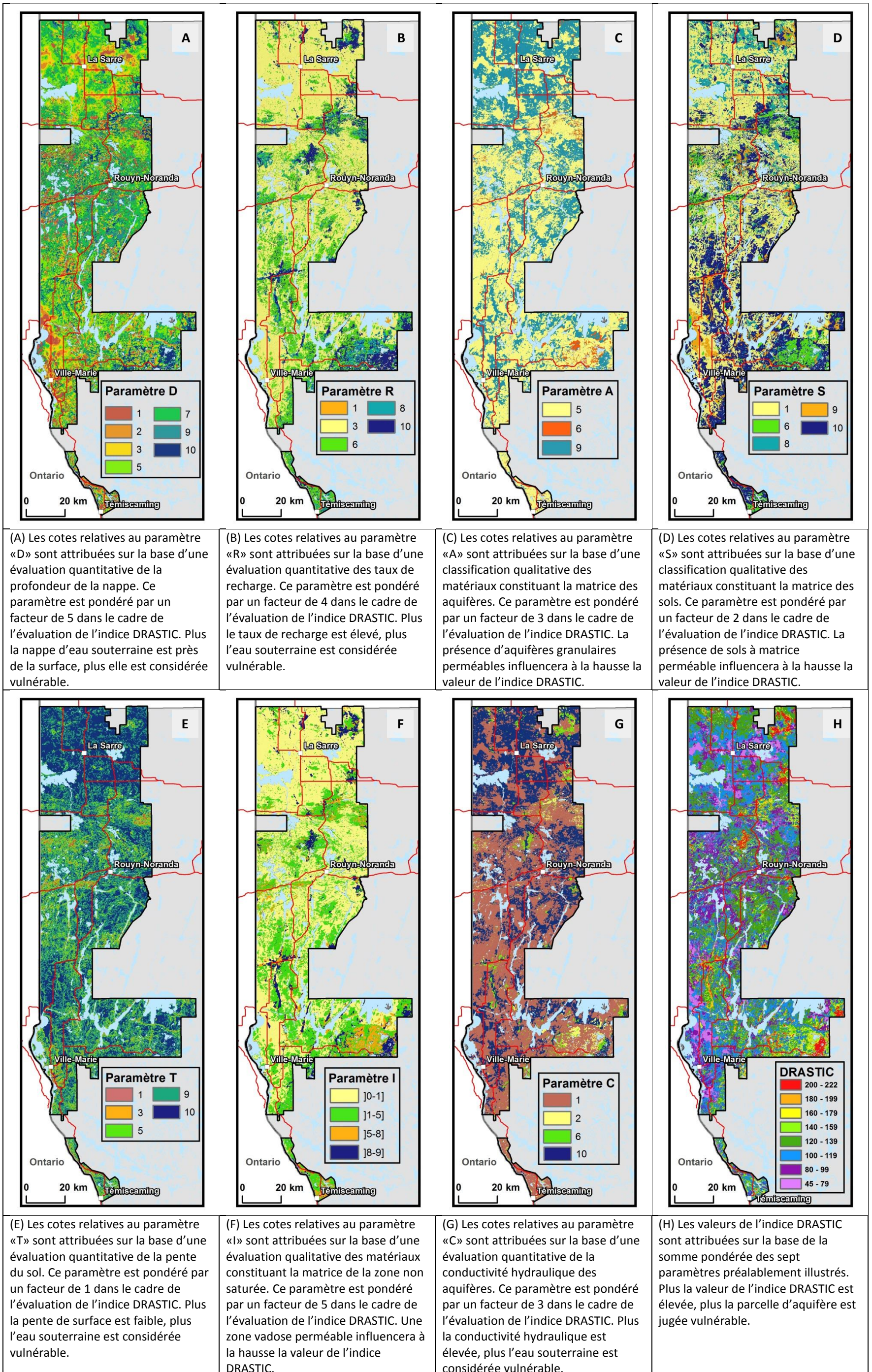

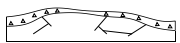

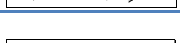

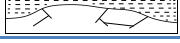


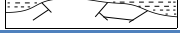

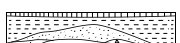

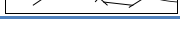
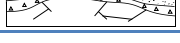
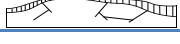


Tableau 6.9.2 Sommaire des valeurs d'indices DRASTIC évalués au niveau du territoire

| Séquences stratigraphiques ¹ | | Indices DRASTIC | | | |
|---|----|-----------------|---------|---------|---------|
| | | Minimum | Médiane | Maximum | Moyenne |
|  | 1 | 73 | 117 | 163 | 119 |
|  | 2 | 68 | 142 | 176 | 140 |
|  | 3 | 81 | 202 | 222 | 193 |
|  | 4 | 84 | 116 | 136 | 115 |
|  | 5 | 45 | 82 | 97 | 82 |
|  | 6 | 98 | 127 | 137 | 124 |
|  | 7 | 61 | 88 | 113 | 89 |
|  | 8 | 85 | 199 | 208 | 185 |
|  | 9 | 104 | 134 | 150 | 130 |
|  | 10 | 65 | 95 | 111 | 90 |
|  | 11 | 99 | 206 | 206 | 198 |
|  | 12 | 87 | 153 | 159 | 148 |
|  | 13 | 93 | 130 | 146 | 125 |
|  | 14 | 61 | 91 | 107 | 88 |
|  | 15 | 85 | 175 | 202 | 171 |

¹ Voir la section 5.4 et la carte 16 pour les détails relatifs à la définition et à la distribution spatiale des 15 séquences stratigraphiques.

7. Conditions Hydrogéochimiques

Les approches méthodologiques et les résultats relatifs à la composition chimique des échantillons prélevés dans le cadre de la présente étude sont présentés aux sections 3.13 et 4.13. Les principaux éléments abordés dans le cadre du présent chapitre concernent les traitements préliminaires et calculs réalisés sur le jeu de données (Section 7.1), la définition des types d'eau (Section 7.2), l'interprétation des signatures géochimiques en fonction de la position des échantillons au sein de l'environnement hydrogéologique (Section 7.3), l'évaluation de la qualité de l'eau à titre de ressource destinée à la consommation humaine (Section 7.4) et la synthèse des informations hydrogéochimiques régionales (Section 7.5).

7.1 Traitement préliminaire des données

7.1.1 Présélection des données et limites de détection

Le tableau 7.1.1.1 dresse un sommaire des données retenues pour la réalisation d'analyses statistiques destinées à l'interprétation des conditions hydrogéochimiques régionales. Le tableau recense le nombre d'échantillons de neige, d'eau de surface et d'eau souterraine disponibles pour l'interprétation des conditions hydrogéochimiques prévalant au niveau de la région. Le tableau fournit également, pour chacun des paramètres analytiques, une évaluation du nombre de mesures correspondant à des valeurs excédant les limites de détection (LD) associées aux approches méthodologiques retenues pour l'analyse des échantillons d'eau. À titre d'exemple, les données révèlent que 37 des 38 échantillons d'eau souterraine prélevés au sein d'aquifères granulaires à nappe libre présentent des teneurs en calcium (Ca) excédant la limite de détection analytique, alors que seulement 3 de ces mêmes 38 échantillons présentent des teneurs en cobalt (Co) excédant la limite de détection analytique. Cela n'indique pas l'absence totale de cobalt dans 35 des échantillons, mais uniquement que les teneurs associées à ces 35 échantillons étaient trop faibles pour être quantifiées sur la base de la méthode analytique retenue. Afin de pallier à cette limitation, les analyses statistiques proposées dans le cadre du présent chapitre ont été réalisées en assumant, pour chacun des paramètres pris individuellement, une valeur équivalente à la moitié de la limite de détection (LD/2) associée pour chacun des résultats inférieurs aux limites de détection. À titre d'exemple, la limite de détection analytique associée au calcium est de 0,3 mg/l. Ainsi, l'échantillon d'eau souterraine prélevé au sein d'aquifères granulaires à nappe libre et présentant une teneur en calcium sous la limite de détection s'est vu attribuer une concentration de 0,15 mg/l dans le cadre de la réalisation des analyses statistiques. Une approche similaire s'applique à l'ensemble des paramètres retenus. De manière générale, il est assumé ici que pour un paramètre donné, la qualité des analyses statistiques diminue lorsque le nombre d'échantillons présentant des teneurs sous la limite de détection augmente.

Tableau 7.1.1.1 Nombre de résultats supérieurs aux limites de détection (>LD) pour chacun des paramètres analysés

| Paramètres | Provenance des échantillons d'eau | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|---|---------------------|-------------------------------------|---------------------|---|---------------------|
| | Neige | | Eau de surface | | Eau souterraine ³ | | | | | | | |
| | | | | | Aquifère granulaire à nappe libre | | Aquifère rocheux fracturé à nappe libre | | Aquifère granulaire à nappe captive | | Aquifère rocheux fracturé à nappe captive | |
| | NB ¹ | NB >LD ² | NB ¹ | NB >LD ² | NB ¹ | NB >LD ² | NB ¹ | NB >LD ² | NB ¹ | NB >LD ² | NB ¹ | NB >LD ² |
| Alcalinité totale (CaCO ₃) | 31 | 14 | 99 | 98 | 38 | 38 | 35 | 35 | 27 | 27 | 52 | 52 |
| Aluminium (Al) | 31 | 10 | 99 | 91 | 38 | 6 | 35 | 8 | 27 | 5 | 52 | 5 |
| Antimoine (Sb) | 31 | 0 | 99 | 1 | 38 | 0 | 35 | 0 | 27 | 0 | 52 | 1 |
| Argent (Ag) | 31 | 1 | 99 | 0 | 38 | 2 | 35 | 3 | 27 | 5 | 52 | 5 |
| Arsenic (As) | 31 | 2 | 99 | 53 | 38 | 3 | 35 | 7 | 27 | 1 | 52 | 10 |
| Azote ammoniacal (N-NH ₃) | 31 | 31 | 98 | 98 | 38 | 21 | 35 | 27 | 27 | 15 | 52 | 36 |
| Baryum (Ba) | 31 | 13 | 99 | 98 | 38 | 34 | 35 | 33 | 27 | 25 | 52 | 45 |
| Béryllium (Be) | 31 | 0 | 99 | 1 | 38 | 0 | 35 | 0 | 27 | 0 | 52 | 0 |
| Bismuth (Bi) | 31 | 0 | 99 | 0 | 38 | 0 | 35 | 0 | 27 | 0 | 52 | 0 |
| Bore (B) | 31 | 0 | 99 | 4 | 38 | 8 | 35 | 18 | 27 | 9 | 52 | 22 |
| Bromure (Br) | 31 | 0 | 99 | 2 | 38 | 2 | 35 | 4 | 27 | 1 | 52 | 2 |
| Cadmium (Cd) | 31 | 1 | 99 | 8 | 38 | 0 | 35 | 0 | 27 | 0 | 52 | 1 |
| Calcium (Ca) | 31 | 9 | 99 | 99 | 38 | 37 | 35 | 35 | 27 | 25 | 52 | 51 |
| Carbone organique dissous (COD) | Non analysé | | 98 | 98 | Non analysé | | Non analysé | | Non analysé | | Non analysé | |
| Chlorures (Cl) | 31 | 31 | 99 | 98 | 38 | 38 | 35 | 35 | 27 | 27 | 52 | 52 |
| Chrome (Cr) | 31 | 1 | 99 | 77 | 38 | 17 | 35 | 9 | 27 | 6 | 52 | 14 |
| Cobalt (Co) | 31 | 0 | 99 | 15 | 38 | 3 | 35 | 5 | 27 | 1 | 52 | 1 |
| Cuivre (Cu) | 31 | 13 | 99 | 93 | 38 | 18 | 35 | 21 | 27 | 14 | 52 | 23 |
| Étain (Sn) | 31 | 0 | 99 | 0 | 38 | 0 | 35 | 0 | 27 | 0 | 52 | 0 |
| Fer (Fe) | 31 | 3 | 99 | 81 | 38 | 15 | 35 | 17 | 27 | 12 | 52 | 25 |
| Fluorure (F) | 31 | 1 | 99 | 13 | 38 | 19 | 35 | 28 | 27 | 18 | 52 | 39 |
| Lithium (Li) | 31 | 0 | 99 | 2 | 38 | 3 | 35 | 3 | 27 | 0 | 52 | 7 |
| Magnésium (Mg) | 31 | 18 | 99 | 99 | 38 | 37 | 35 | 34 | 27 | 26 | 52 | 51 |
| Manganèse (Mn) | 31 | 31 | 99 | 99 | 38 | 37 | 35 | 33 | 27 | 23 | 52 | 50 |
| Molybdène (Mo) | 31 | 0 | 99 | 22 | 38 | 21 | 35 | 21 | 27 | 21 | 52 | 42 |
| Nickel (Ni) | 31 | 5 | 99 | 58 | 38 | 14 | 35 | 9 | 27 | 10 | 52 | 15 |
| Nitrate (N-NO ₃) et Nitrite (N-NO ₂) | 31 | 31 | 99 | 38 | 38 | 25 | 35 | 12 | 27 | 16 | 52 | 23 |
| Phosphore inorganique | 31 | 16 | 98 | 7 | 38 | 4 | 35 | 2 | 27 | 6 | 52 | 10 |
| Plomb (Pb) | 31 | 24 | 99 | 73 | 38 | 15 | 35 | 22 | 27 | 11 | 52 | 22 |
| Potassium (K) | 31 | 31 | 99 | 98 | 38 | 36 | 35 | 35 | 27 | 27 | 52 | 51 |
| Sélénium (Se) | 31 | 1 | 99 | 7 | 38 | 5 | 35 | 2 | 27 | 0 | 52 | 2 |
| Silicium (Si) | 31 | 4 | 99 | 99 | 38 | 38 | 35 | 35 | 27 | 27 | 52 | 52 |
| Sodium (Na) | 31 | 20 | 99 | 99 | 38 | 38 | 35 | 35 | 27 | 27 | 52 | 52 |
| Strontium (Sr) | 31 | 13 | 99 | 99 | 38 | 37 | 35 | 35 | 27 | 25 | 52 | 51 |
| Sulfates (SO ₄) | 31 | 6 | 99 | 97 | 38 | 36 | 35 | 35 | 27 | 27 | 52 | 50 |
| Sulfures (S ²⁻) | 31 | 0 | 99 | 1 | 38 | 0 | 35 | 1 | 27 | 0 | 52 | 0 |
| Titane (Ti) | 31 | 0 | 99 | 3 | 38 | 0 | 35 | 1 | 27 | 0 | 52 | 0 |
| Uranium (U) | 31 | 0 | 99 | 2 | 38 | 8 | 35 | 17 | 27 | 10 | 52 | 24 |
| Vanadium (V) | 31 | 0 | 99 | 2 | 38 | 0 | 35 | 0 | 27 | 0 | 52 | 0 |
| Zinc (Zn) | 31 | 1 | 99 | 53 | 38 | 23 | 35 | 29 | 27 | 18 | 52 | 41 |

¹Nombre d'échantillons pour lesquels un résultat a été rapporté. ²Nombre d'échantillons dont le résultat rapporté est supérieur à la limite de détection (LD). ³Les résultats associés à 16 échantillons d'eau souterraine ont été exclus des analyses statistiques. Il s'agit de 10 échantillons pour lesquels le type d'aquifère était indéterminé, de 4 échantillons ayant vraisemblablement été prélevés en aval d'un système de traitement et 2 échantillons prélevés au sein de pointes installées dans l'argile.

7.1.2 Évaluation du bilan ionique

Dans le cadre de la présente étude, la vérification de la qualité des analyses géochimiques s'appuie sur l'évaluation du bilan ionique à partir des concentrations des principaux constituants retrouvés en phase dissoute (Ca, Mg, Na, K, HCO₃⁻, Cl, SO₄). L'approche repose sur l'hypothèse voulant que le bicarbonate (HCO₃⁻) soit le principal ion contribuant à l'alcalinité totale. Le tableau 7.1.2.1 présente les facteurs de conversion retenus afin d'exprimer les teneurs de ces ions en milliéquivalents de charge par litre (meq/L).

Tableau 7.1.2.1 Conversion des unités de concentration en équivalents de charge

| Constituant | Unité | Masse molaire (Mmol) en mg/mmol | État d'oxydation (ed) | Masse d'un équivalent (Mmol/ed) | Conversion en meq/L |
|--|---------------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|--|
| Ca | mg/L | 40,078 | +2 | 20,04 | Ca/20,04 |
| Mg | mg/L | 24,305 | +2 | 12,15 | Mg/12,15 |
| Na | mg/L | 22,9893 | +1 | 22,9893 | Na/22,9893 |
| K | mg/L | 39,0983 | +1 | 39,0983 | K/39,0983 |
| Alcalinité totale (HCO ₃ ⁻) | mg/L CaCO ₃ | 100,08 | -2 | 50,04 | HCO ₃ ⁻ = Alcalinité/50,04 |
| Cl | mg/L | 34,453 | -1 | 34,453 | Cl/34,453 |
| SO ₄ | mg/L | 96,0636 | -2 | 48,0318 | SO ₄ /48,0318 |

Suivant l'étape de conversion des unités de concentration en équivalent de charge, le bilan ionique (BI) (valeur adimensionnelle) d'un échantillon est évalué sur la base de la différence entre la somme des charges positives et la somme des charges négatives :

$$BI (\%) = \frac{(\sum \text{cations} - \sum \text{anions}) \text{ meq/L}}{(\sum \text{cations} + \sum \text{anions}) \text{ meq/L}} * 100 \quad \text{Équation 7.1.2.1}$$

Les échantillons caractérisés par un BI compris dans l'intervalle $\pm 10\%$ sont considérés adéquats pour (1) l'évaluation de la qualité de l'eau, (2) l'estimation de la dureté et de la matière dissoute totale et (3) la définition d'un faciès géochimique (type d'eau). Les échantillons caractérisés par un $BI \geq 10\%$ ou $\leq -10\%$ sont conservés uniquement pour l'évaluation de la qualité de l'eau (pour des fins de consommation). Le tableau 7.1.2.2 dresse un sommaire des bilans ioniques évalués pour les échantillons d'eau, en fonction de leur provenance. Le bilan ionique n'est pas présenté pour les échantillons de neige en raison des faibles concentrations caractéristiques de ces échantillons, lesquelles compliquent l'interprétation des valeurs de BI calculées selon l'équation 7.1.2.1. Le tableau 7.1.2.2 révèle que 97 % des échantillons d'eau souterraine et 86 % des échantillons d'eau de surface respectent le critère de $\pm 10\%$ fixé pour l'évaluation du BI. Les échantillons d'eau de surface ne respectant pas ce critère présentent généralement un excès de charges positives, ce qui pourrait être en partie expliqué par la présence de matière organique dissoute, laquelle pourrait agir comme un anion non comptabilisé par le bilan ionique.

Tableau 7.1.2.2 Sommaire des résultats relatifs à l'évaluation du bilan ionique

| Bilan ionique (%) | Provenance des échantillons d'eau | | | | |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|---|-------------------------------------|---|
| | Eau de surface | Aquifère granulaire à nappe libre | Aquifère rocheux fracturé à nappe libre | Aquifère granulaire à nappe captive | Aquifère rocheux fracturé à nappe captive |
| Nombre initial d'échantillons | 99 | 38 | 35 | 27 | 52 |
| < -10 | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| -10 à -5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| -5 à 0 | 4 | 6 | 11 | 5 | 7 |
| 0 à 5 | 56 | 31 | 17 | 21 | 42 |
| 5 à 10 | 25 | 1 | 5 | 0 | 1 |
| > 10 | 12 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Nombre d'échantillons conservés ¹ | 85 | 38 | 33 | 26 | 51 |

¹ Les échantillons dont le bilan ionique est situé dans l'intervalle de $\pm 10\%$ sont conservés pour la définition des types d'eau, du calcul de la matière dissoute totale (MDT) et de la dureté totale.

7.1.3 Estimation de la dureté totale et de la matière dissoute totale

La dureté totale (en meq/l) est estimée sur la base des concentrations en Ca et Mg converties en meq/L :

$$\text{Dureté totale} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 \right) = \left(\frac{\text{meq}}{\text{L}} \text{Ca} * 50.04 \frac{\text{mg}(\text{CaCO}_3)}{\text{meq}} \right) + \left(\frac{\text{meq}}{\text{L}} \text{Mg} * 50.04 \frac{\text{mg}(\text{CaCO}_3)}{\text{meq}} \right) \quad \text{Équation 7.1.3.1}$$

La matière dissoute totale (MDT) est estimée en utilisant les concentrations en mg/L de tous les constituants majeurs (cations Ca, Mg, Na, K ; anions HCO₃, Cl, SO₄) ainsi que celle du Si selon la formule suivante :

$$\text{MDT} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \sum \text{Cations} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) + \sum \text{Anions} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) + \text{SiO}_2 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \quad \text{Équation 7.1.3.2}$$

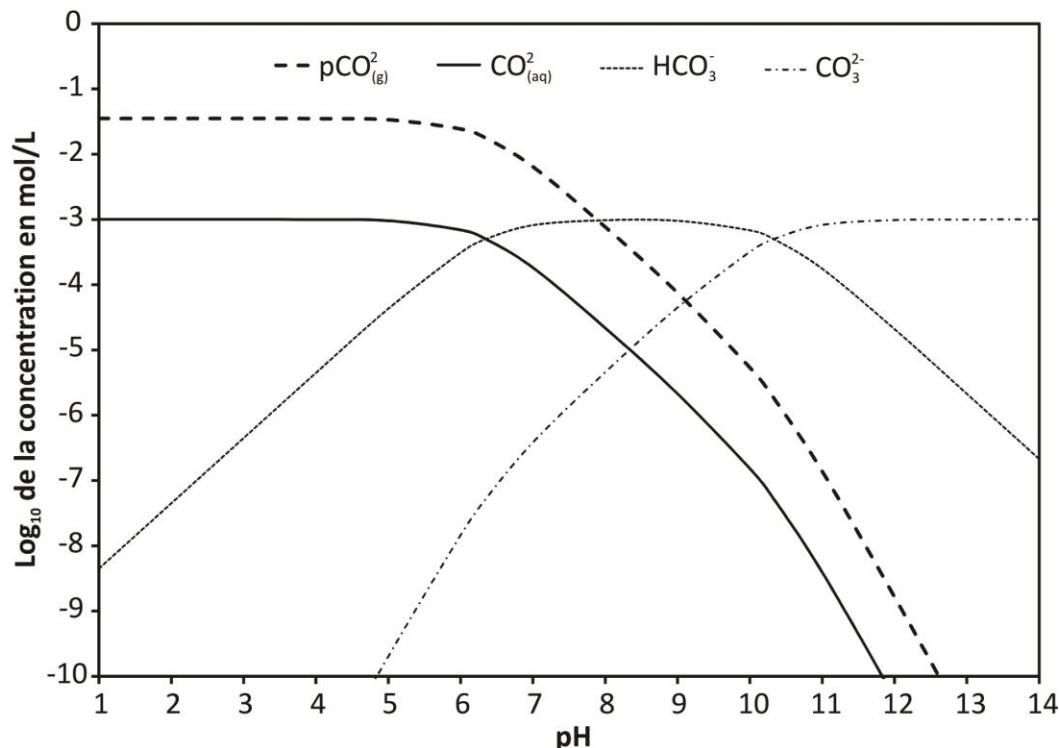
Les concentrations de l'alcalinité totale et du Si rapportées par le laboratoire doivent être converties en HCO₃ et SiO₂, respectivement, selon les formules suivantes :

$$\frac{\text{mg}}{\text{L}} (\text{HCO}_3^-) = \text{Alcalinité totale} \frac{\text{mg}}{\text{L}} (\text{CaCO}_3) \times 1.219 \quad \text{Équation 7.1.3.3}$$

$$\frac{\text{mg}}{\text{L}} (\text{SiO}_2) = \frac{\text{mg}}{\text{L}} (\text{Si}) \times \frac{60.0854}{28.0866} \quad \text{Équation 7.1.3.4}$$

Les ions bicarbonates (HCO₃⁻) et carbonates (CO₃²⁻) sont susceptibles de contribuer à l'alcalinité totale. Or, pour les plages de valeurs de pH près de la neutralité, l'ion bicarbonate constitue l'espèce dominante (Figure 7.1.3.1). Il est donc assumé, dans le cadre de la présente étude, que les teneurs en bicarbonate peuvent être quantifiées directement sur la base de l'équation 7.1.3.3.

Figure 7.1.3.1 Concentrations des espèces carbonatées en fonction du pH pour un contenu constant de carbone inorganique total de 1 mmol/L



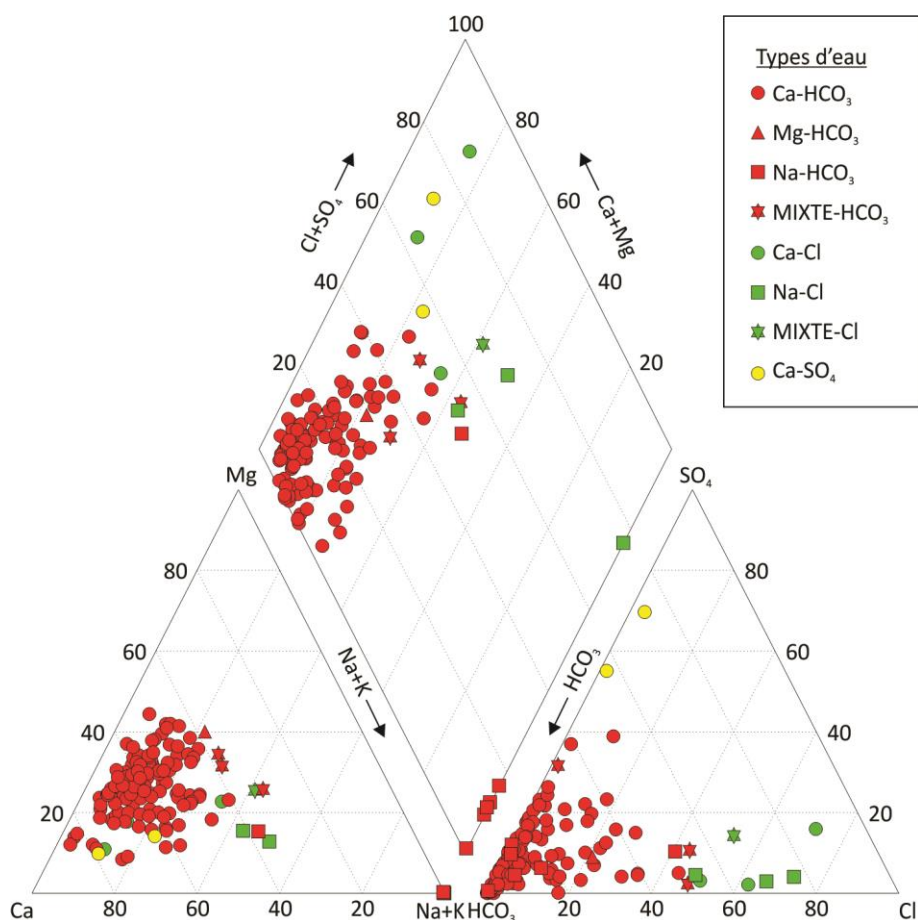
7.2 Définition des types d'eau

Les types d'eau (ou faciès hydrogéochimiques) sont déterminés en utilisant les concentrations des constituants majeurs (Ca, Mg, Na, K, HCO_3^- , Cl et SO_4) converties en équivalent de charge (meq/L) suivant l'approche décrite à la section 7.1.2. Pour chacun des échantillons, la concentration (en meq/L) de chaque constituant majeur est normalisée à la somme totale des concentrations (en meq/L). L'approche d'évaluation des types d'eau consiste en l'attribution d'un binôme (couple cation-anion) permettant d'identifier les espèces ioniques dominantes (voir colonne de gauche du Tableau 7.2.1). À l'échelle du territoire à l'étude, le type d'eau Ca- HCO_3^- compte pour plus de 87 % des échantillons d'eau souterraine retenus pour l'analyse. Le type Na- HCO_3^- est second en importance et représente environ 4 % des données. Les concentrations des constituants majeurs (Ca, Mg, Na, K, HCO_3^- , Cl et SO_4) converties en équivalent de charge (meq/L) sont également illustrées dans le diagramme de Piper (Piper, 1944) correspondant à la figure 7.2.1. Ce diagramme présente les concentrations normalisées des charges cationiques et anioniques au sein de deux triangles pour lesquels les valeurs sont projetées dans un losange dont deux des arrêtes se juxtaposent à celles des triangles prédéfinis (Figure 7.2.1). Le diagramme illustre la distribution des données issues des échantillons d'eau souterraine regroupées selon les types d'eau et suggère la prédominance des échantillons de type Ca- HCO_3^- , lesquels sont regroupés près du pôle centre-gauche du losange occupant la portion supérieure du diagramme.

Tableau 7.2.1 Concentrations moyennes des constituants majeurs et de la matière dissoute totale pour chacun des types d'eau définis pour les échantillons d'eau souterraine

| Proportions ioniques | Type d'eau | nb | Moyenne des concentrations (mg/L) | | | | | | | |
|---|------------------------|-----|-----------------------------------|------|-------|-----|------------------|-------|-----------------|-------|
| | | | Ca | Mg | Na | K | HCO ₃ | Cl | SO ₄ | MDT |
| Ca > 20%; HCO ₃ > 20% | Ca-HCO ₃ | 129 | 56,6 | 16,6 | 12,5 | 2,5 | 247,8 | 9,5 | 14,1 | 378,2 |
| Mg > 20%; HCO ₃ > 20% | Mg-HCO ₃ | 1 | 22,0 | 14,0 | 11,0 | 5,9 | 118,3 | 21,0 | 12,0 | 225,6 |
| Na > 20%; HCO ₃ > 20% | Na-HCO ₃ | 6 | 1,8 | 0,5 | 118,0 | 0,6 | 283,3 | 9,4 | 14,3 | 446,7 |
| Ca+Na > 20% ou Mg+Na > 20%; HCO ₃ > 20% | MIXTE-HCO ₃ | 3 | 52,2 | 28,1 | 51,5 | 6,4 | 207,7 | 113,4 | 18,7 | 495,3 |
| Ca > 20%; Cl > 20% | Ca-Cl | 3 | 53,3 | 9,8 | 22,4 | 5,1 | 110,1 | 90,3 | 7,6 | 312,7 |
| Na > 20%; Cl > 20% | Na-Cl | 3 | 74,1 | 16,4 | 206,7 | 1,8 | 272,3 | 306,7 | 24,3 | 922,1 |
| Ca+Na > 20% ou Mg+Na > 20%; Cl > 20% | MIXTE-Cl | 1 | 8,8 | 4,1 | 11,0 | 2,6 | 25,6 | 24,0 | 8,8 | 101,4 |
| Ca > 20%; SO ₄ > 20% | Ca-SO ₄ | 2 | 67,7 | 5,3 | 10,2 | 2,6 | 66,5 | 4,9 | 130,5 | 299,9 |

Figure 7.2.1 Diagramme de Piper présentant la répartition des échantillons d'eau souterraine selon leur type d'eau



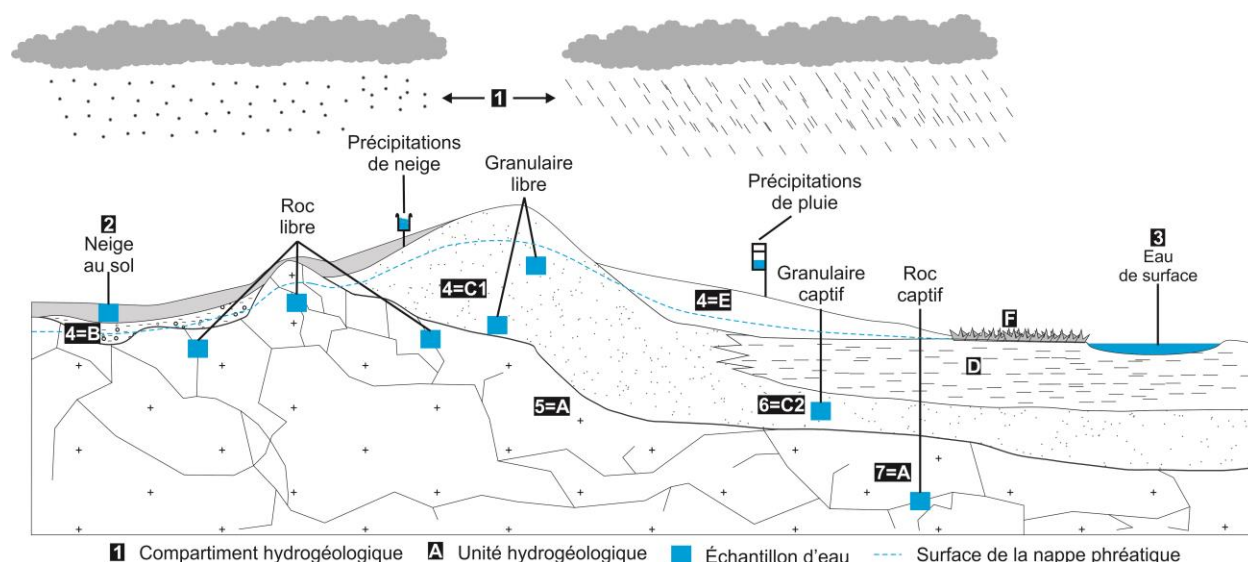
7.3. Interprétations relatives au cadre hydrogéologique

L'approche retenue pour l'interprétation des données hydrogéochimiques acquises dans le cadre de la présente étude s'appuie en premier lieu sur l'identification de la position des échantillons au sein de l'environnement hydrogéologique. La coupe schématique illustrée à la figure 7.3.1 permet l'identification de sept compartiments hydrogéologiques au sein desquels les échantillons destinés à la réalisation d'analyses géochimiques ont été prélevés. Les compartiments hydrogéologiques définis incluent, de l'amont vers l'aval :

1. les précipitations;
2. les accumulations de neige au sol;
3. les eaux de surface;
4. les aquifères granulaires à nappe libre;
5. les aquifères rocheux fracturés à nappe libre;
6. les aquifères granulaires à nappe captive;
7. les aquifères rocheux fracturés à nappe captive.

Il est proposé ici que l'interprétation des données sur la base de regroupements correspondant aux compartiments identifiés permettrait de suivre l'évolution de la composition géochimique de l'eau au niveau des principales composantes du cycle de l'eau, depuis l'amont jusqu'à l'aval du système d'écoulement régional. L'approche repose sur l'hypothèse voulant que la composition géochimique des précipitations et de la neige accumulée au sol soit représentative des principaux intrants (flux atmosphériques) qui alimentent (1) le réseau hydrographique et (2) les aquifères. Plus un compartiment se trouve dans une position éloignée par rapport à la source (ordre selon la séquence 1<2<3<4<5<6<7), plus l'eau s'y trouvant devrait présenter une composition géochimique reflétant l'influence d'interactions prolongées avec l'environnement géologique.

Figure 7.3.1 Compartiments hydrogéologiques et provenance des données hydrogéochimiques



A: Roc fracturé; B: Till; C1: Eskers et moraines; C2: Sédiments fluvioglaciers et/ou till sous-jacents à une couche d'argile; D: Rythmites d'argile et de silt; E: Sédiments sublittoraux et de plages ou éoliens; F: Tourbe

7.3.1 Variations spatiales des teneurs en matières dissoutes

Les figures 7.3.1.1 à 7.3.1.5 illustrent les plages de valeurs mesurées relativement aux teneurs en matières dissoutes de l'eau issue des différents compartiments de l'environnement hydrogéologique, tels que préalablement identifiés. Les concentrations des constituants majeurs (Ca, Mg, Na, K, HCO₃, Cl et SO₄) converties en équivalent de charge (meq/L) sont utilisées pour la production de diagrammes de Piper en fonction de la provenance des échantillons (Figures 7.3.1.1 à 7.3.1.4). Les données associées aux échantillons de neige au sol (Figure 7.3.1.1) montrent une évolution vers les pôles Na+K et Cl au sein des triangles à la base du diagramme. Cette observation suggère que les flux issus des précipitations sont enrichis en chlorures et en sodium par rapport aux autres espèces ioniques. La signature géochimique des eaux de surface de la région est significativement différente de celle associée aux flux atmosphériques. Les données associées aux eaux de surface (Figure 7.3.1.2) suggèrent la prédominance des pôles Ca et Na+K en ce qui a trait aux cations. La distribution de ces mêmes données dans le diagramme représentatif des anions suggère des alignements préférentiels selon les axes HCO₃-SO₄ et HCO₃-Cl, malgré une dominance du pôle HCO₃. Les enrichissements en SO₄ correspondent en partie à des échantillons prélevés en périphérie du lac Dufault et pourraient refléter une contamination anthropique liée à l'oxydation de sulfures au sein d'aires d'accumulations de rejets miniers. De façon plus générale, la dissolution de carbonates, de sulfates et/ou de sulfures au sein de la tranche superficielle de l'environnement géologique pourrait expliquer l'évolution de la signature géochimique des eaux de surface par rapport à celle de la neige au sol. Les données associées aux échantillons d'eau souterraine sont représentées en fonction du type d'aquifère (granulaire ou roc) et des conditions d'écoulement (nappe libre ou nappe captive) (Figures 7.3.1.3 et 7.3.1.4). La vaste majorité de ces données correspondent aux pôles Ca et HCO₃. Néanmoins, les données associées aux échantillons provenant d'aquifères à nappe libre (Figure 7.3.1.3) tendent à présenter une dispersion plus importante que celles associées à des échantillons provenant d'aquifères à nappe captive (Figure 7.3.1.4). Des évolutions vers les pôles Na+K et Cl sont notamment identifiables.

La figure 7.3.1.5 permet une représentation alternative des données. Cette figure illustre l'évolution des teneurs en matières dissoutes depuis l'amont (neige au sol) jusqu'à l'aval (aquifères à nappe captive) du système hydrogéologique, en passant par les eaux de surface et les aquifères à nappe libre. Les données suggèrent une augmentation graduelle des teneurs en Ca, HCO₃, Mg et en matière dissoute totale de l'amont vers l'aval du système. En contrepartie, les teneurs en Cl, Na et SO₄ tendent à suggérer l'absence d'une évolution marquée en fonction de la position au sein de l'environnement hydrogéologique. Le pH présente une augmentation graduelle depuis l'amont vers l'aval du système, mais se stabilise au niveau des compartiments associés aux aquifères à nappe libre. Cela suggère que le tampon constitué par l'environnement géologique neutralise graduellement le pH acide de l'eau associée aux flux atmosphériques. L'ensemble de ces observations suggère que le patron de distribution des données de la région pourrait s'expliquer par des mélanges entre des apports issus d'un pôle «atmosphérique» et un pôle «géologique». Le pôle associé aux sources atmosphériques serait vraisemblablement caractérisé par des abondances relatives plus élevées en «Na-Cl» par rapport au pôle géologique. Le pôle «géologique» serait quant à lui caractérisé par des abondances relatives plus élevées en «Ca-Mg-HCO₃» par rapport au pôle atmosphérique. Les résultats présentés à la figure 7.1.3.6 suggèrent d'ailleurs une augmentation graduelle du ratio (Ca+HCO₃)/(Na+Cl), ce qui tend à supporter l'interprétation voulant que la contribution relative du pôle «géologique» augmente depuis l'amont jusqu'à l'aval du système hydrogéologique régional. Bien que le système hydrogéologique régional corresponde à un environnement de bouclier, il semble que le pôle «géologique» soit caractérisé par la présence de minéraux carbonatés (Ca+Mg+HCO₃) et/ou de silicates calciques en quantités suffisantes pour influencer la dynamique des interactions eau-roche.

Figure 7.3.1.1 Diagramme de Piper présentant la répartition des échantillons de neige au sol

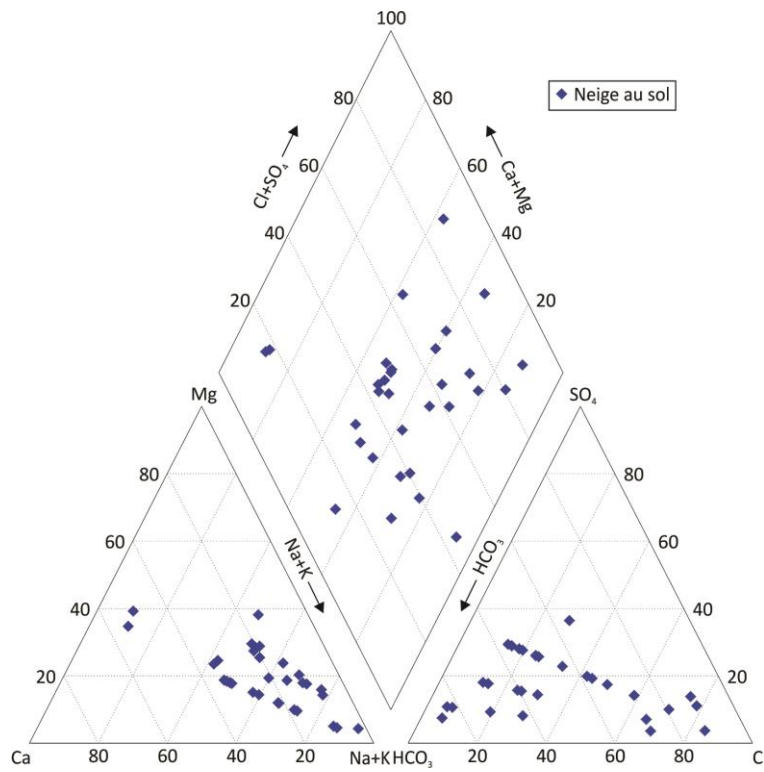


Figure 7.3.1.2 Diagramme de Piper présentant la répartition des échantillons d'eau de surface

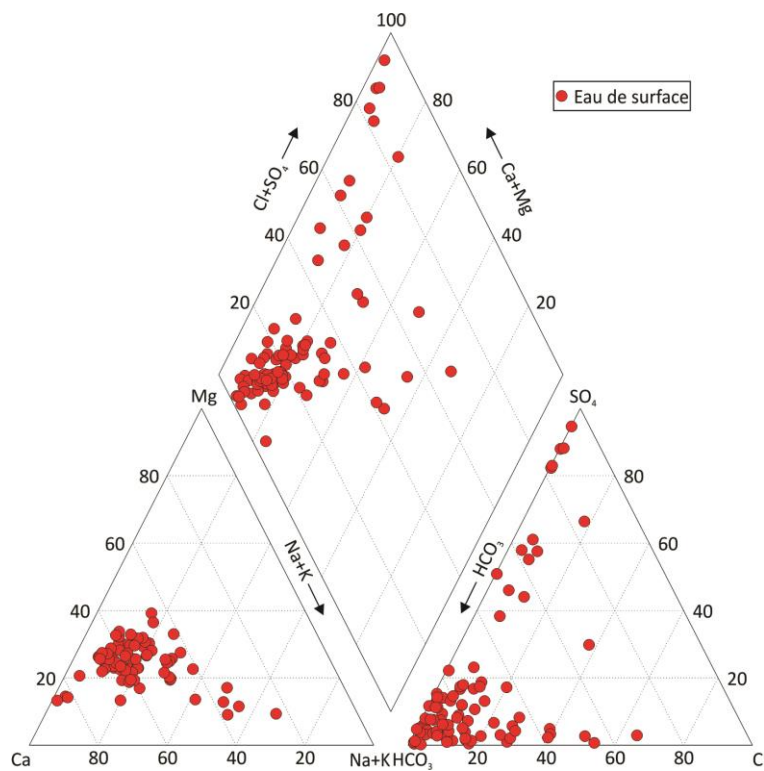


Figure 7.3.1.3 Diagramme de Piper présentant la répartition des échantillons d'aquifères à nappe libre

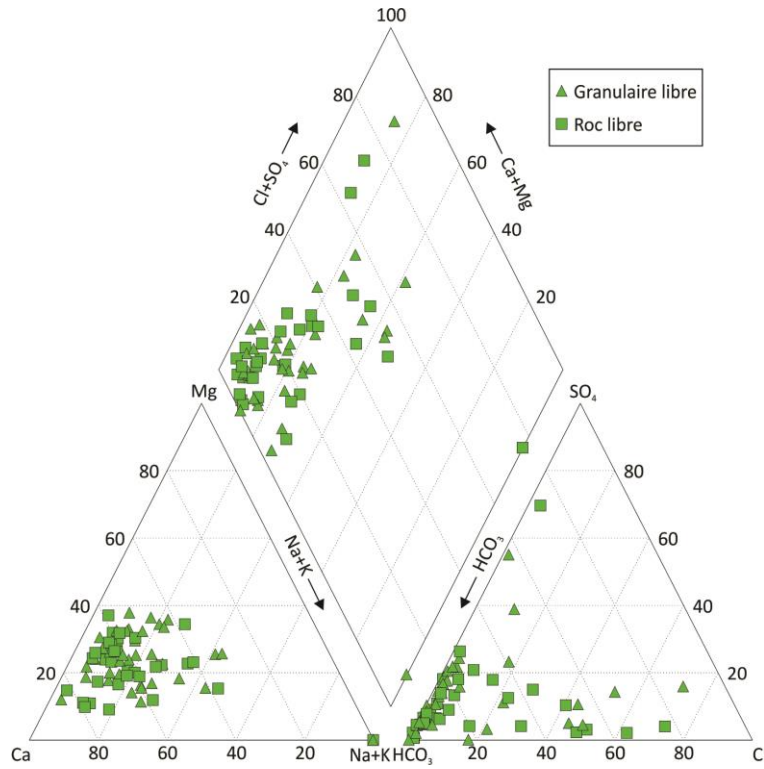


Figure 7.3.1.4 Diagramme de Piper présentant la répartition des échantillons d'aquifères à nappe captive

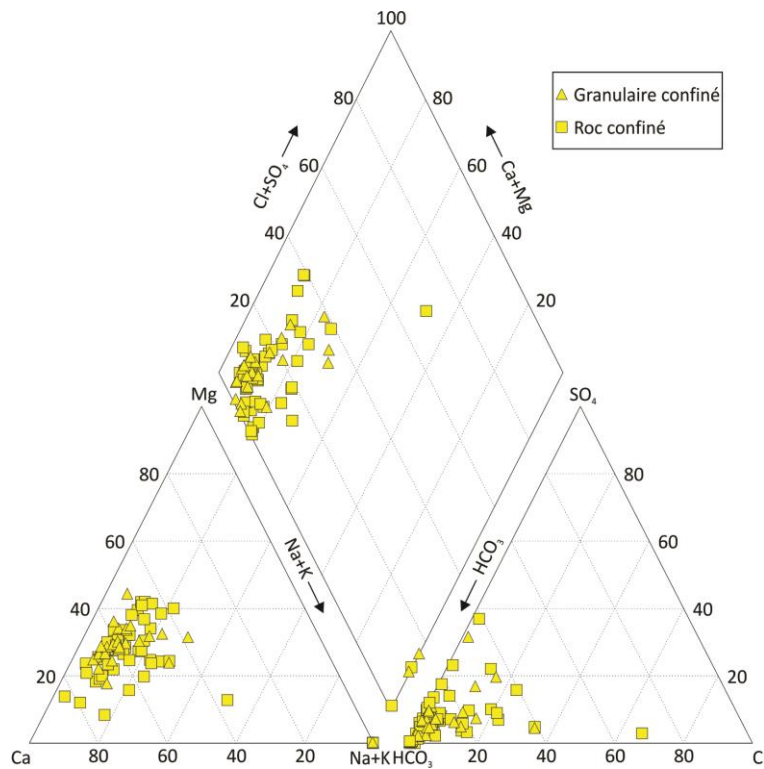


Figure 7.3.1.5 Évolution de la composition chimique selon la provenance des échantillons

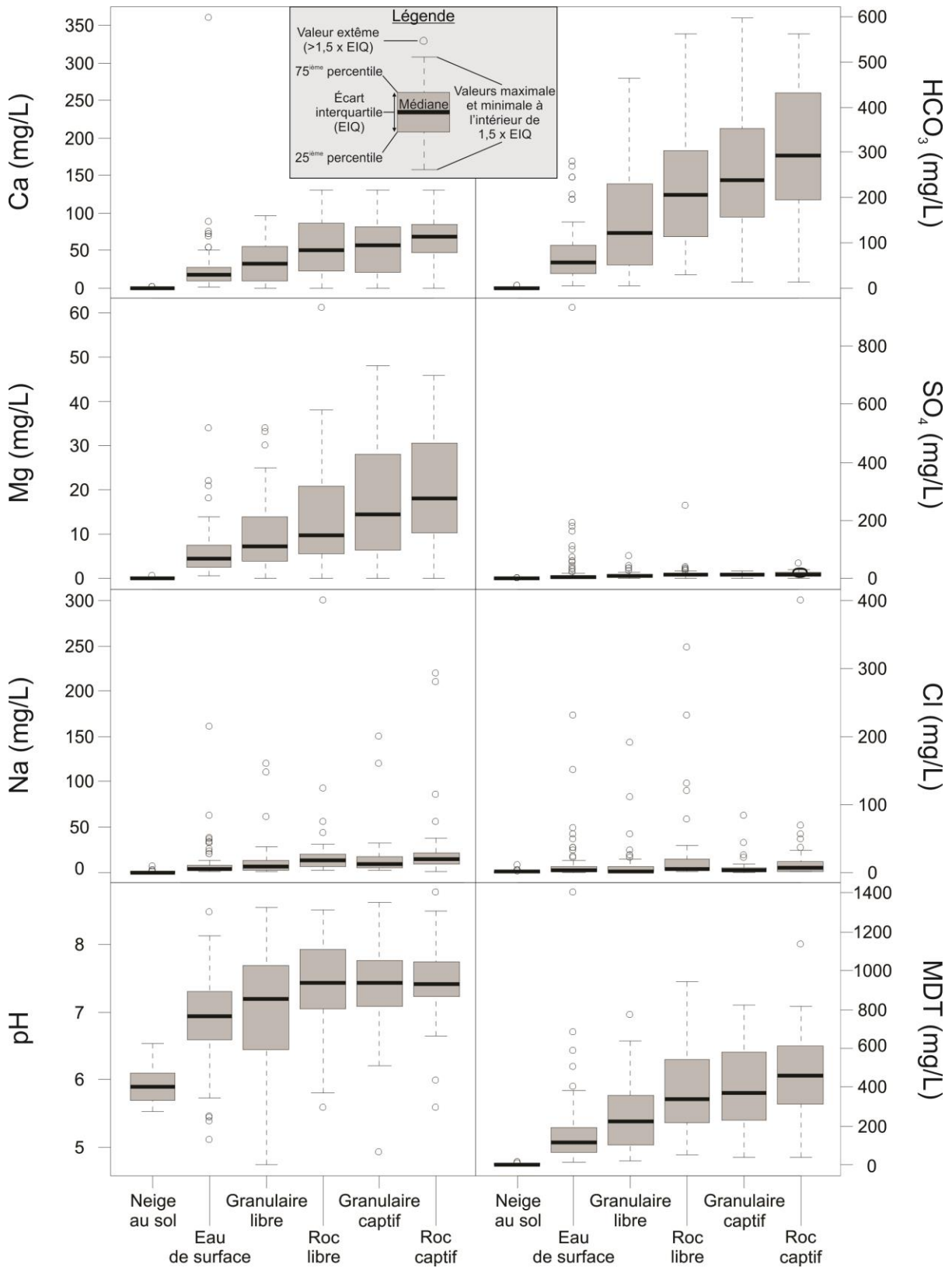
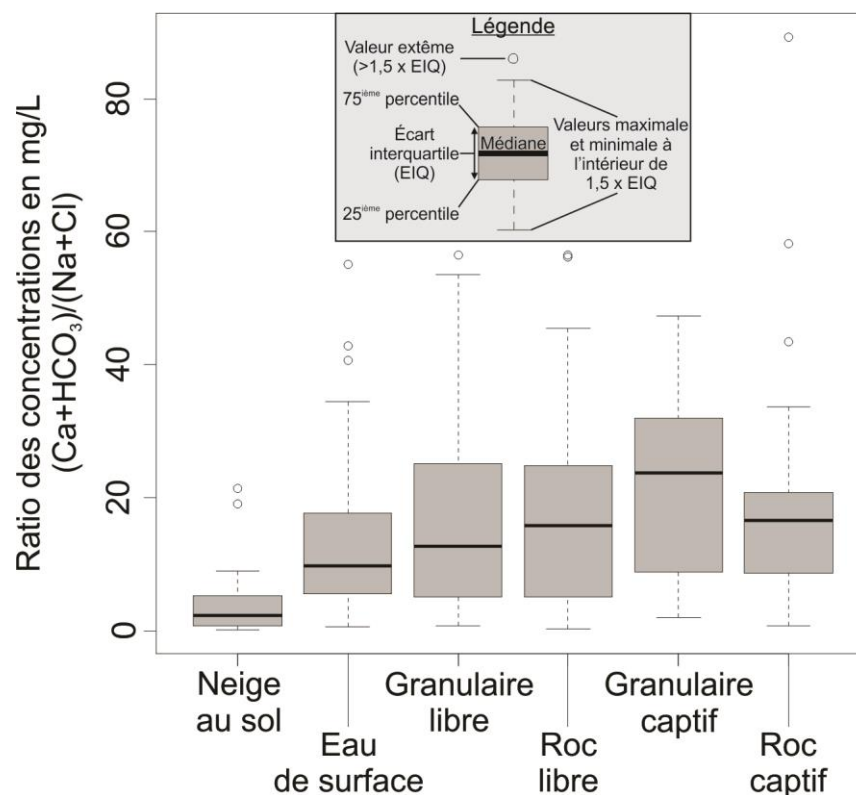


Figure 7.3.1.6 Évolution du ratio $(Ca+HCO_3)/(Na+Cl)$ selon la provenance des échantillons

7.3.2 Variations spatiotemporelles de la composition isotopique (δ^2H - $\delta^{18}O$) de l'eau

La composition isotopique de l'eau (δ^2H - $\delta^{18}O$) issue des différents compartiments hydrogéologiques est utilisée ici en support à l'interprétation de la dynamique hydrogéologique et hydrogéochemie régionale. La figure 7.3.2.1 illustre les valeurs δ^2H - $\delta^{18}O$ mesurées (1) pour les précipitations (chroniques temporelles au niveau de trois stations de suivi; voir sections 3.13.1 et 4.13.1), (2) pour les échantillons de neige au sol (campagne d'échantillonnage de l'hiver 2014; voir sections 3.13.2 et 4.13.2), (3) pour les eaux de surface (campagne d'échantillonnage estivale; voir sections 3.13.3, 3.13.4 et 4.13.3) et (4) pour les eaux souterraines (voir sections 3.13.5 et 4.13.4). Les données associées aux chroniques temporelles des précipitations permettent d'évaluer la droite des eaux météoriques régionale (DEMR), laquelle correspond à une enveloppe centrée sur la droite de régression illustrée sur la figure 7.3.2.1 ($\delta^2H = 7.8 \delta^{18}O + 8.9$). Les données permettent d'évaluer la composition isotopique moyenne pondérée des précipitations à l'échelle de la région ($\delta^{18}O = -13,51$; $\delta^2H = -96,7$). Les échantillons de neige au sol sont alignés le long de la portion inférieure de la DEMR (pour une composition isotopique moyenne $\delta^{18}O = -22,38$ ‰; $\delta^2H = -165,4$ ‰), ce qui suggère que le signal issu des précipitations a été préservé au sein du couvert nival. Les eaux de surface s'alignent le long d'une droite de régression ($\delta^2H = 4.2 \delta^{18}O - 34.9$) de pente inférieure à celle de la DEMR. Ce patron δ^2H - $\delta^{18}O$ correspond vraisemblablement à une droite évaporatoire locale (DEL), l'enrichissement en isotopes lourds (2H - ^{18}O) le long de cette droite peut être corrélé au ratio évaporation/intrants atmosphériques (p. ex. voir Clark et Fritz, 1997).

L'intersection entre la DEL et la DEMR ($\delta^{18}O = -12,12$ ‰; $\delta^2H = -86,2$ ‰) correspond vraisemblablement à la composition isotopique moyenne de l'eau au sein du réseau hydrographique au moment de

l'amorce de la période évaporatoire. Les eaux souterraines définissent quant à elles une enveloppe généralement centrée sur la DEMR et correspondent à une droite de régression $\delta^2\text{H} = 7.1 \delta^{18}\text{O} + 1$. La composition isotopique moyenne des eaux souterraines ($\delta^{18}\text{O} = -13,1 \text{ ‰}$; $\delta^2\text{H} = -90,9 \text{ ‰}$) est enrichie de 0,4 ‰ et de 5,8 ‰ selon les valeurs $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$, respectivement, par rapport à celle des précipitations annuelles moyennes de la région. Les données suggèrent que les eaux souterraines ne définissent pas une droite évaporatoire. En ce sens, les processus évaporatoires s'opérant en amont des mécanismes liés à l'infiltration sont probablement limités dans la région d'étude. De surcroît, si certains secteurs de la région ont été identifiés comme favorables à l'établissement d'interactions entre les eaux souterraines et de surface (p. ex. voir sections 6.4 à 6.6), les données isotopiques suggèrent que ces interactions sont suffisamment limitées à l'échelle régionale pour que ces compartiments préservent des signatures isotopiques distinctes. La figure 7.3.2.2 illustre les variations temporelles de la composition isotopique des précipitations pour les stations de suivi de Sainte-Hélène-de-Mancebourg, Montbeillard et Béarn. Les données présentent une saisonnalité marquée, avec des valeurs $\delta^{18}\text{O}$ variant entre -6,6 ‰ et -28,4 ‰. Les signatures isotopiques les plus appauvries sont enregistrées au mois de février alors que les valeurs les plus enrichies correspondent au mois de juillet. La bande bleue illustrée sur la figure représente, de façon approximative, la plage de valeurs couvertes par les données isotopiques provenant d'échantillons d'eau souterraine. Considérant que la durée du gel s'étend généralement de décembre à mars au sein de la région d'étude, il apparaît réaliste de proposer que la période allant d'avril à novembre constitue la principale phase de recharge. Les données présentées à la figure 7.3.2.2 tendent à indiquer que l'eau rechargeant les aquifères est caractérisée par une signature isotopique intermédiaire entre celle des mois d'avril et de juillet. En ce sens, les données isotopiques ne permettent pas, à elles seules, de préciser la compréhension de la dynamique temporelle de la recharge.

Figure 7.3.2.1 Signatures isotopiques des eaux échantillonnées

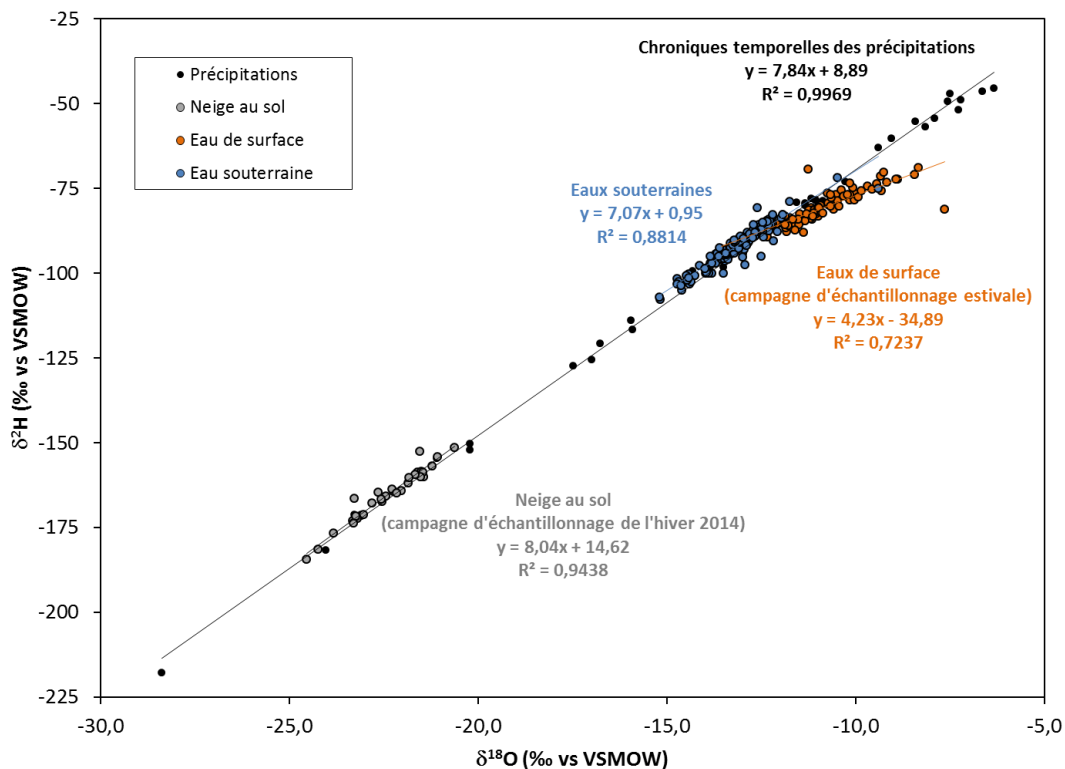
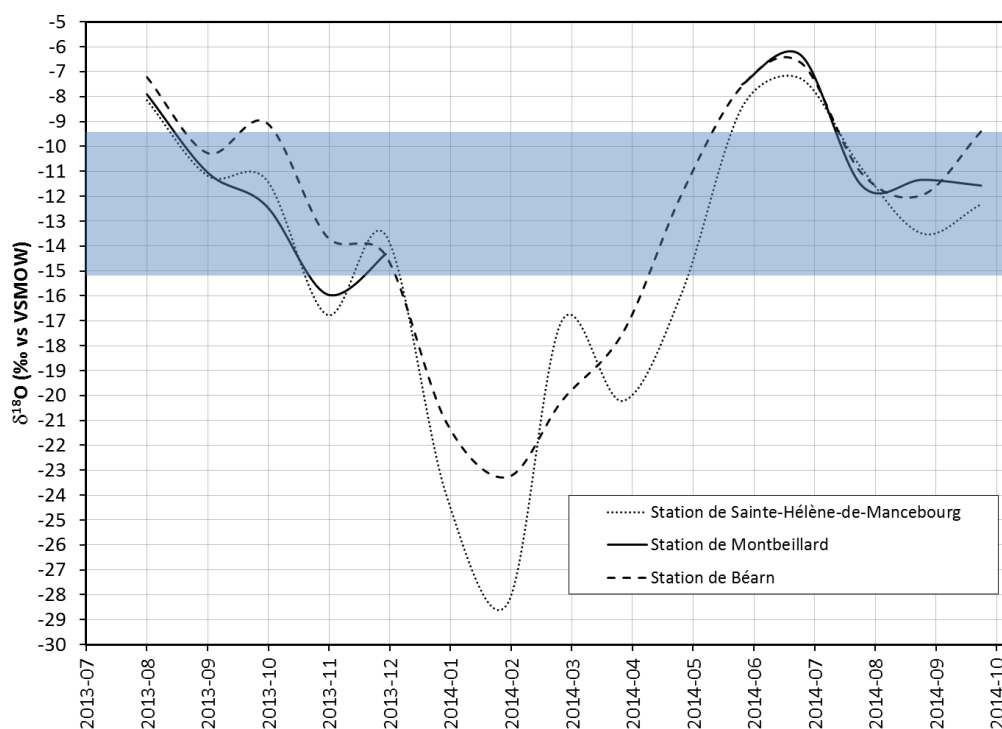


Figure 7.3.2.2 Évolution temporelle de la signature $\delta^{18}\text{O}$ dans les précipitations

La plage de valeur identifiée par un encadré bleu correspond à l'amplitude des variations mesurées dans la signature isotopique ($\delta^{18}\text{O}$) des eaux souterraines

7.4 Qualité de l'eau à titre de ressource destinée à la consommation humaine

Le tableau 7.4.1 dresse un sommaire des valeurs correspondant aux objectifs d'ordre esthétique (OE) et aux concentrations maximales acceptables (CMA) retenus dans le cadre de l'évaluation de la qualité de l'eau à titre de ressource destinée à la consommation humaine. Le tableau dresse également un sommaire des dépassements mesurés au niveau du territoire à l'étude. En ce qui a trait aux CMA, six dépassements en arsenic, deux en uranium et un en antimoine, fluorure et plomb sont mesurés au niveau de la région. Les dépassements relatifs aux OE sont plus fréquents : la dureté totale, le manganèse, le fer, le pH, la matière dissoute totale et l'aluminium, sont les problématiques les plus communes en région. En complément, les tableaux 7.4.2 et 7.4.3 dressent un sommaire des dépassements en fonction de la provenance des échantillons (précipitations, neige au sol, eaux de surface et souterraine) alors que les figures 7.4.1 à 7.4.5 illustrent la distribution spatiale des dépassements mesurés. De façon générale, les aquifères granulaires, qu'ils soient à nappe libre ou captive, semblent présenter une eau de meilleure qualité que celle des aquifères rocheux et des eaux de surface. Néanmoins, la distribution spatiale des dépassements illustrés sur les figures 7.4.1 à 7.4.5 ne permet pas l'identification de patrons systématiques à l'échelle de la région. En ce sens, tout captage destiné à l'alimentation en eau de consommation humaine devrait faire l'objet d'un suivi de la qualité de l'eau.

Tableau 7.4.1 Critères utilisés pour l'évaluation de la qualité de l'eau

| Paramètres | Unités | Objectifs d'ordre esthétique (OE) | Concentrations maximales acceptables (CMA) | Nombre de résultats (échantillons de toutes provenances) | Nombre de dépassements |
|---|-------------------------|-----------------------------------|--|--|------------------------|
| Normes du Règlement sur la qualité de l'eau potable (MDDELCC, s.d.c) | | | | | |
| Antimoine (Sb) | mg/L | | 0,006 | 293 | 1 |
| Arsenic (As) | mg/L | | 0,010 | 293 | 6 |
| Baryum (Ba) | mg/L | | 1,0 | 293 | 0 |
| Bore (B) | mg/L | | 5,0 | 293 | 0 |
| Cadmium (Cd) | mg/L | | 0,005 | 293 | 0 |
| Chrome (Cr) | mg/L | | 0,050 | 293 | 0 |
| Cuivre (Cu) | mg/L | 1,0 | | 293 | 0 |
| Fluorures (F) | mg/L | | 1,50 | 294 | 1 |
| Nitrates (N-NO ₃) et Nitrites (N-NO ₂) | mg/L | | 10,0 | 294 | 0 |
| Plomb (Pb) | mg/L | | 0,010 | 293 | 1 |
| Sélénium (Se) | mg/L | | 0,010 | 293 | 0 |
| Uranium (U) | mg/L | | 0,020 | 293 | 2 |
| Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada (Santé Canada, s.d.a) | | | | | |
| Aluminium (Al) | mg/L | ≤ 0,1 | | 293 | 31 |
| Chlorure (Cl) | mg/L | ≤ 250 | | 294 | 2 |
| Dureté totale calculée | mg CaCO ₃ /L | 80 à 100 ¹ | | 275 | 258 |
| Fer (Fe) | mg/L | ≤ 0,3 | | 293 | 94 |
| Manganèse (Mn) | mg/L | ≤ 0,05 | | 293 | 128 |
| Matière dissoute totale (MDT) calculée | mg/L | ≤ 500 | | 275 | 54 |
| pH | sans unité | 6,5 – 8,5 | | 293 | 84 |
| Sodium (Na) | mg/L | ≤ 200 | | 293 | 3 |
| Sulfure comme H ₂ S | mg/L | ≤ 0,05 | | 292 | 1 |
| Sulfates (SO ₄) | mg/L | ≤ 500 | | 294 | 4 |
| Zinc (Zn) | mg/L | ≤ 5,0 | | 293 | 0 |

¹Une dureté variant de 80 à 100 mg CaCO₃/L représente un équilibre acceptable entre la corrosion et l'entartrage des conduites d'eau.

Tableau 7.4.2 Sommaire de l'évaluation de la qualité de l'eau pour les échantillons en fonction de leur provenance

| Paramètres | Provenance des échantillons d'eau | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|---|----------------------|-------------------------------------|----------------------|---|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|---|
| | Neige | | Eau de surface | | Eau souterraine | | | | | | | | Puits dans l'argile | | Aquifères indéterminé | |
| | | | | | Aquifère granulaire à nappe libre | | Aquifère rocheux fracturé à nappe libre | | Aquifère granulaire à nappe captive | | Aquifère rocheux fracturé à nappe captive | | | | | |
| NB rés. ¹ | NB dép. ² | NB rés. ¹ | NB dép. ² | NB rés. ¹ | NB dép. ² | NB rés. ¹ | NB dép. ² | NB rés. ¹ | NB dép. ² | NB rés. ¹ | NB dép. ² | NB rés. ¹ | NB dép. ² | NB rés. ¹ | NB dép. ² | |
| Normes du Règlement sur la qualité de l'eau potable (MDDELCC, s.d.c) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Antimoine (Sb) | 31 | 0 | 99 | 1 | 38 | 0 | 35 | 0 | 27 | 0 | 52 | 0 | 1 | 0 | 10 | 0 |
| Arsenic (As) | 31 | 1 | 99 | 2 | 38 | 0 | 35 | 2 | 27 | 0 | 52 | 1 | 1 | 0 | 10 | 0 |
| Baryum (Ba) | 31 | 0 | 99 | 0 | 38 | 0 | 35 | 0 | 27 | 0 | 52 | 0 | 1 | 0 | 10 | 0 |
| Bore (B) | 31 | 0 | 99 | 0 | 38 | 0 | 35 | 0 | 27 | 0 | 52 | 0 | 1 | 0 | 10 | 0 |
| Cadmium (Cd) | 31 | 0 | 99 | 0 | 38 | 0 | 35 | 0 | 27 | 0 | 52 | 0 | 1 | 0 | 10 | 0 |
| Chrome (Cr) | 31 | 0 | 99 | 0 | 38 | 0 | 35 | 0 | 27 | 0 | 52 | 0 | 1 | 0 | 10 | 0 |
| Cuivre (Cu) | 31 | 0 | 99 | 0 | 38 | 0 | 35 | 0 | 27 | 0 | 52 | 0 | 1 | 0 | 10 | 0 |
| Fluorures (F) | 31 | 0 | 99 | 1 | 38 | 0 | 35 | 0 | 27 | 0 | 52 | 0 | 2 | 0 | 10 | 0 |
| Nitrates (N-NO ₃) et Nitrites (N-NO ₂) | 31 | 0 | 99 | 0 | 38 | 0 | 35 | 0 | 27 | 0 | 52 | 0 | 2 | 0 | 10 | 0 |
| Plomb (Pb) | 31 | 1 | 99 | 0 | 38 | 0 | 35 | 0 | 27 | 0 | 52 | 0 | 1 | 0 | 10 | 0 |
| Sélénium (Se) | 31 | 0 | 99 | 0 | 38 | 0 | 35 | 0 | 27 | 0 | 52 | 0 | 1 | 0 | 10 | 0 |
| Uranium (U) | 31 | 0 | 99 | 0 | 38 | 0 | 35 | 1 | 27 | 0 | 52 | 1 | 1 | 0 | 10 | 0 |
| Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada (Santé Canada, s.d.a) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aluminium (Al) | 31 | 3 | 99 | 23 | 38 | 2 | 35 | 2 | 27 | 0 | 52 | 1 | 1 | 0 | 10 | 0 |
| Chlorures (Cl) | 31 | 0 | 99 | 0 | 38 | 0 | 35 | 1 | 27 | 0 | 52 | 1 | 2 | 0 | 10 | 0 |
| Dureté totale calculée | 31 | 31 | 85 | 75 | 38 | 34 | 33 | 32 | 26 | 25 | 51 | 51 | 1 | 1 | 10 | 9 |
| Fer (Fe) | 31 | 0 | 99 | 44 | 38 | 9 | 35 | 13 | 27 | 7 | 52 | 17 | 1 | 0 | 10 | 4 |
| Manganèse (Mn) | 31 | 1 | 99 | 49 | 38 | 13 | 35 | 20 | 27 | 12 | 52 | 28 | 1 | 1 | 10 | 4 |
| Matière dissoute totale (MDT) calculée | 31 | 0 | 85 | 4 | 38 | 5 | 33 | 11 | 26 | 9 | 51 | 22 | 1 | 1 | 10 | 2 |
| pH | 31 | 30 | 99 | 26 | 38 | 12 | 35 | 5 | 27 | 4 | 52 | 4 | 2 | 0 | 10 | 2 |
| Sodium (Na) | 31 | 0 | 99 | 0 | 38 | 0 | 35 | 1 | 27 | 0 | 52 | 2 | 1 | 0 | 10 | 0 |
| Sulfures comme H ₂ S | 31 | 0 | 99 | 0 | 38 | 0 | 35 | 1 | 27 | 0 | 52 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 |
| Sulfates (SO ₄) | 31 | 0 | 99 | 2 | 38 | 0 | 35 | 1 | 27 | 0 | 52 | 0 | 2 | 0 | 10 | 1 |
| Zinc (Zn) | 31 | 0 | 99 | 0 | 38 | 0 | 35 | 0 | 27 | 0 | 52 | 0 | 1 | 0 | 10 | 0 |

¹Nombre d'échantillon pour lesquels un résultat a été rapporté. ²Nombre d'échantillons avec dépassement de la norme ou de la recommandation pour le paramètre.

Tableau 7.4.3 Proportion (%) des dépassements des critères de la qualité de l'eau selon la provenance des échantillons

| Paramètres | Nombre de dépassements | Provenance des échantillons d'eau | | | | | | | |
|---|------------------------|-----------------------------------|----------------|-----------------------------------|---|-------------------------------------|---|---------------------|----------------------|
| | | Eau souterraine | | | | | | | |
| | | Neige | Eau de surface | Aquifère granulaire à nappe libre | Aquifère rocheux fracturé à nappe libre | Aquifère granulaire à nappe captive | Aquifère rocheux fracturé à nappe captive | Puits dans l'argile | Aquifère indéterminé |
| Normes du Règlement sur la qualité de l'eau potable (MDDELCC, s.d.c) | | | | | | | | | |
| Antimoine (Sb) | 1 | 0,0 | 100,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Arsenic (As) | 6 | 16,7 | 33,3 | 0,0 | 33,3 | 0,0 | 16,7 | 0,0 | 0,0 |
| Baryum (Ba) | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Bore (B) | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Cadmium (Cd) | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Chrome (Cr) | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Cuivre (Cu) | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Fluorures (F) | 1 | 0,0 | 100,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Nitrates (N-NO ₃) et Nitrites (N-NO ₂) | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Plomb (Pb) | 1 | 100,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Sélénium (Se) | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Uranium (U) | 2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 50,0 | 0,0 | 50,0 | 0,0 | 0,0 |
| Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada (Santé Canada, s.d.a) | | | | | | | | | |
| Aluminium (Al) | 31 | 9,7 | 74,2 | 6,5 | 6,5 | 0,0 | 3,2 | 0,0 | 0,0 |
| Chlorures (Cl) | 2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 50,0 | 0,0 | 50,0 | 0,0 | 0,0 |
| Dureté totale calculée | 258 | 26,1 | 44,5 | 11,8 | 6,7 | 5,9 | 4,2 | 0,0 | 0,8 |
| Fer (Fe) | 94 | 0,0 | 46,8 | 9,6 | 13,8 | 7,4 | 18,1 | 0,0 | 4,3 |
| Manganèse (Mn) | 128 | 0,8 | 38,3 | 10,2 | 15,6 | 9,4 | 21,9 | 0,8 | 3,1 |
| Matière dissoute totale (MDT) calculée | 54 | 0,0 | 7,4 | 9,3 | 20,4 | 16,7 | 40,7 | 1,9 | 3,7 |
| pH | 84 | 35,7 | 31,0 | 14,3 | 6,0 | 4,8 | 4,8 | 1,2 | 2,4 |
| Sodium (Na) | 3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 33,3 | 0,0 | 66,7 | 0,0 | 0,0 |
| Sulfures comme H ₂ S | 1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 100,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Sulfates (SO ₄) | 4 | 0,0 | 50,0 | 0,0 | 25,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 25,0 |
| Zinc (Zn) | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Figure 7.4.1 Distribution spatiale des types d'eau de l'eau souterraine et des dépassements des critères de qualité de l'arsenic (As), l'antimoine (Sb), du fluorure (F), du plomb (Pb) et de l'uranium (U) à l'échelle de la région d'étude

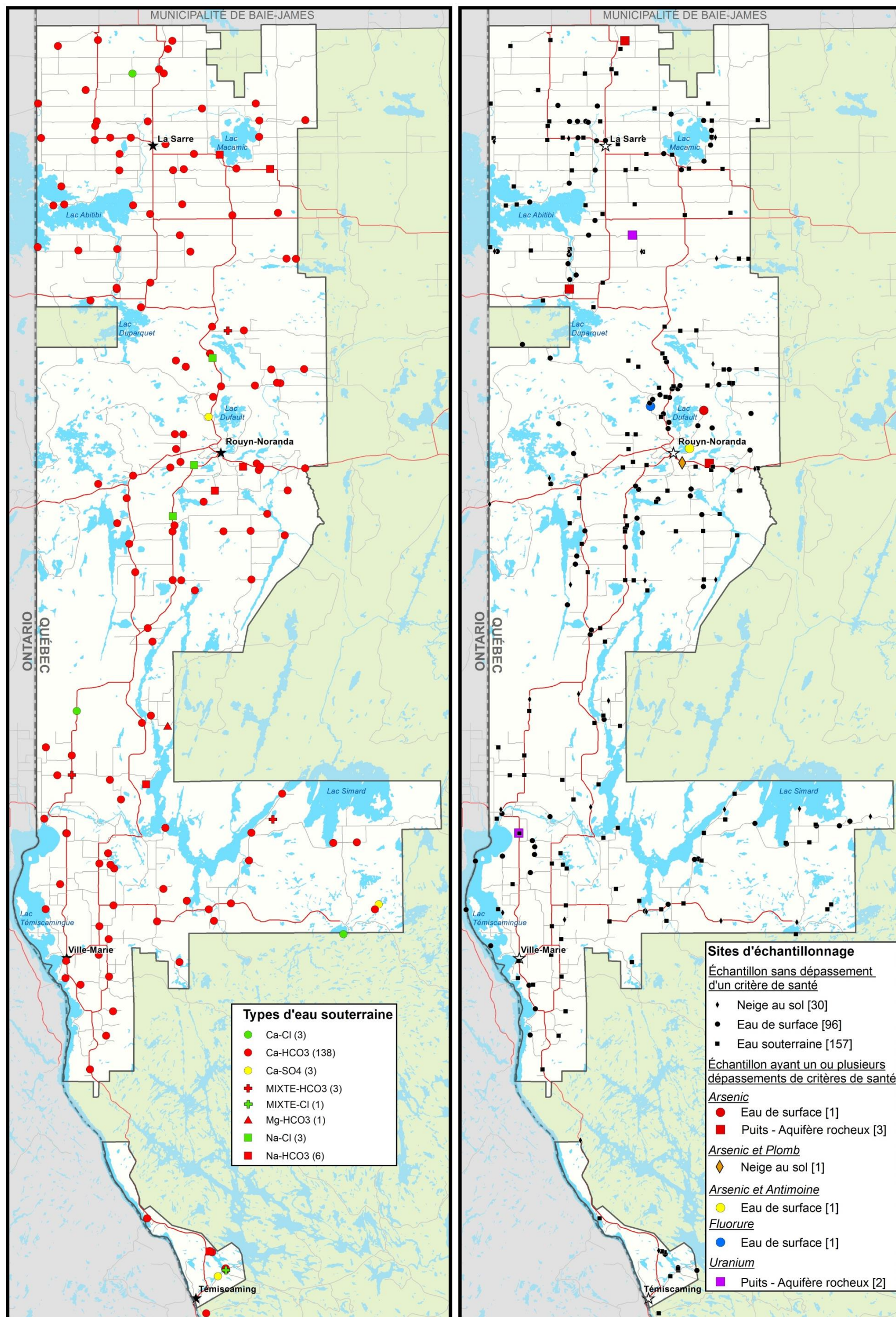


Figure 7.4.2 Distribution spatiale des dépassements des critères de qualité de la dureté totale calculée et du pH à l'échelle de la région d'étude

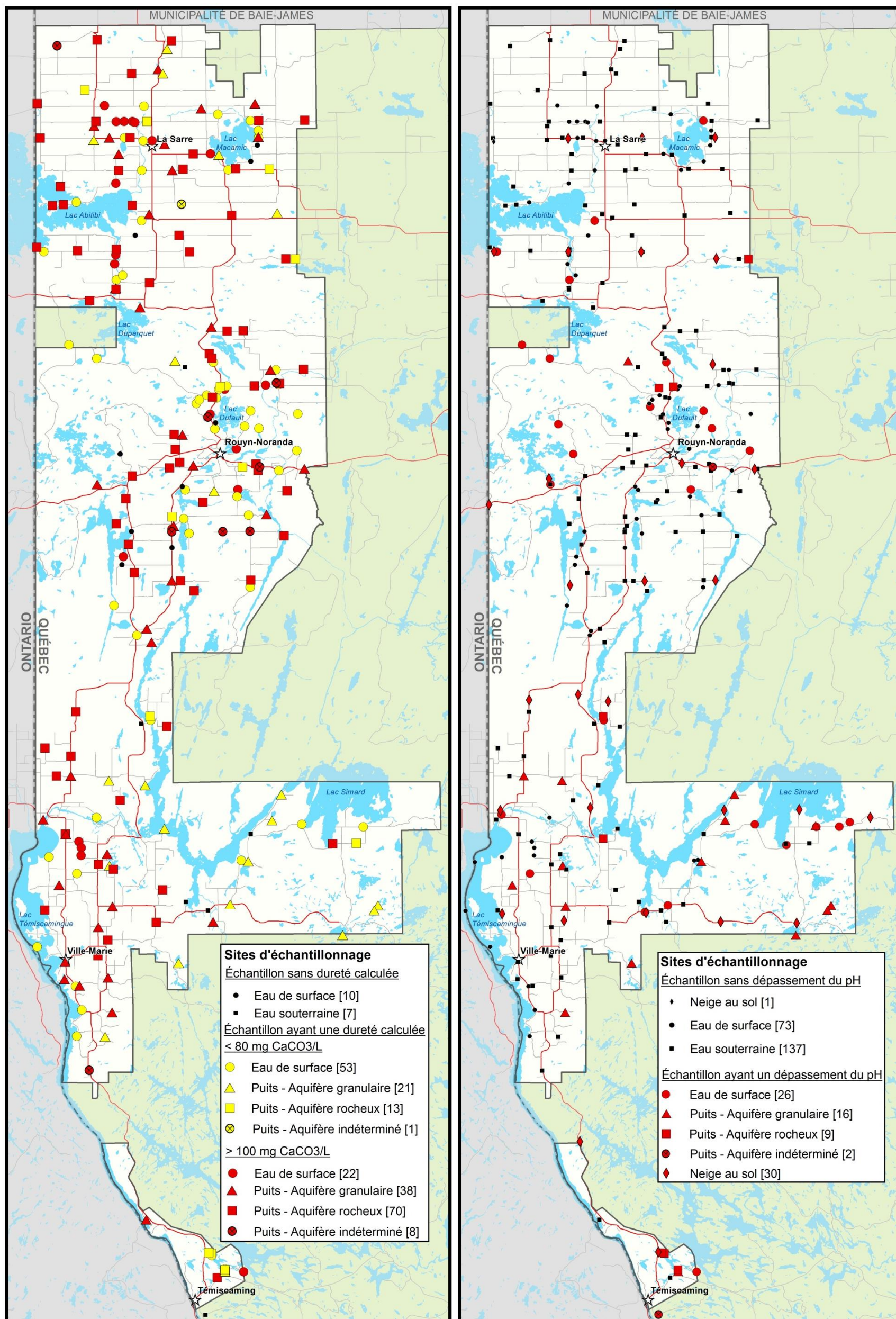


Figure 7.4.3 Distribution spatiale des dépassements des critères de qualité de l'aluminium (Al), des sulfates (SO₄) et du sulfure à l'échelle de la région d'étude

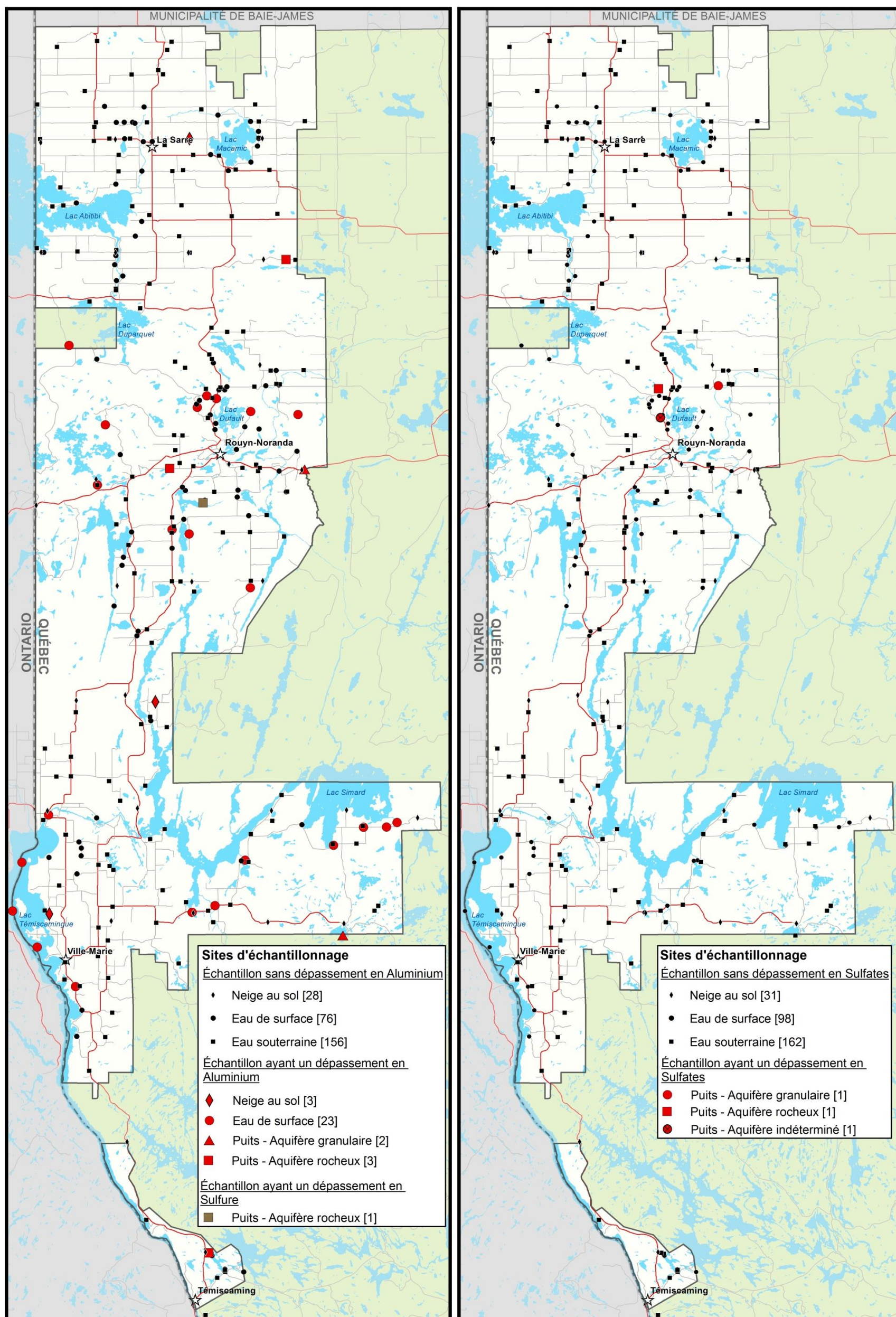


Figure 7.4.4 Distribution spatiale des dépassements des critères de qualité du sodium (Na) et du chlorure (Cl) à l'échelle de la région d'étude

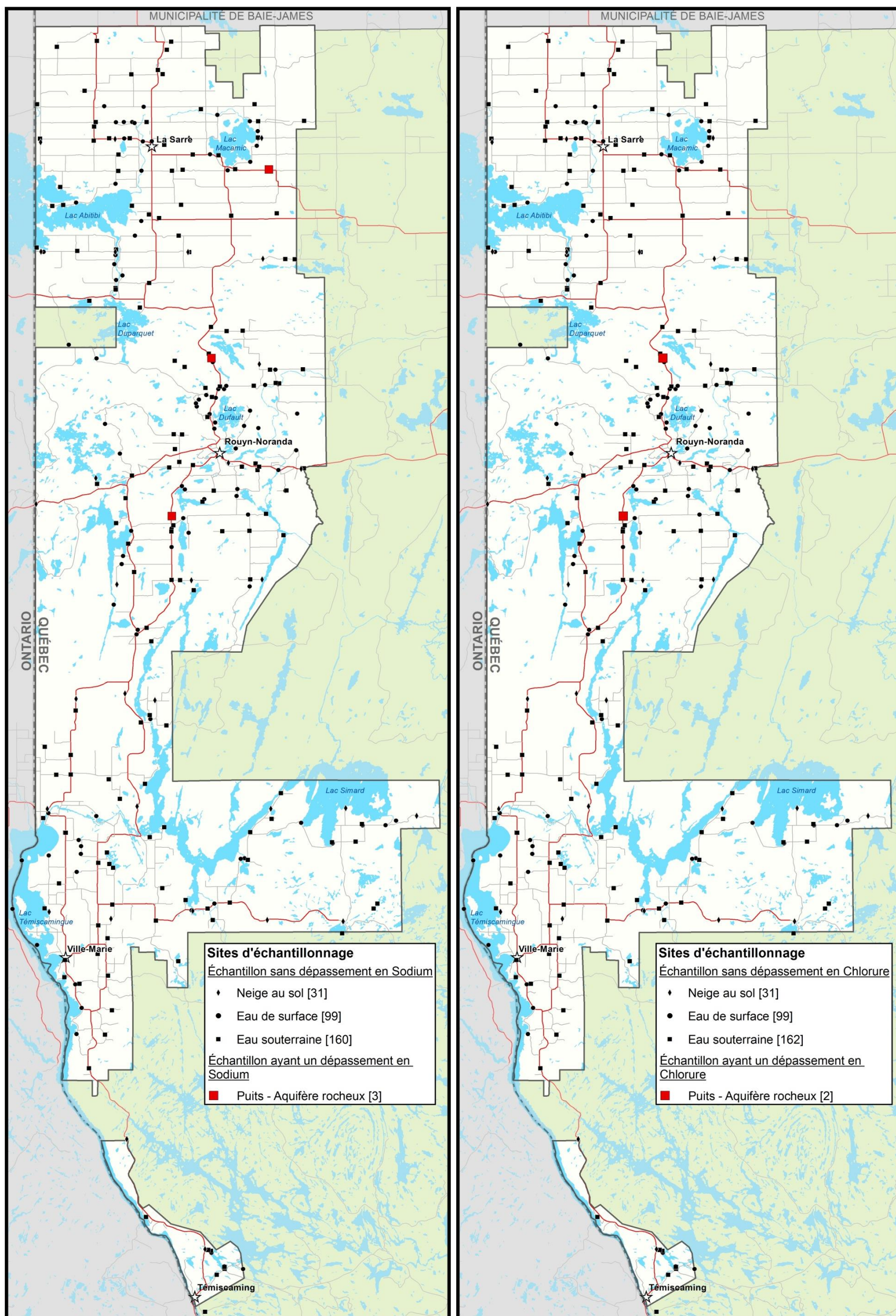
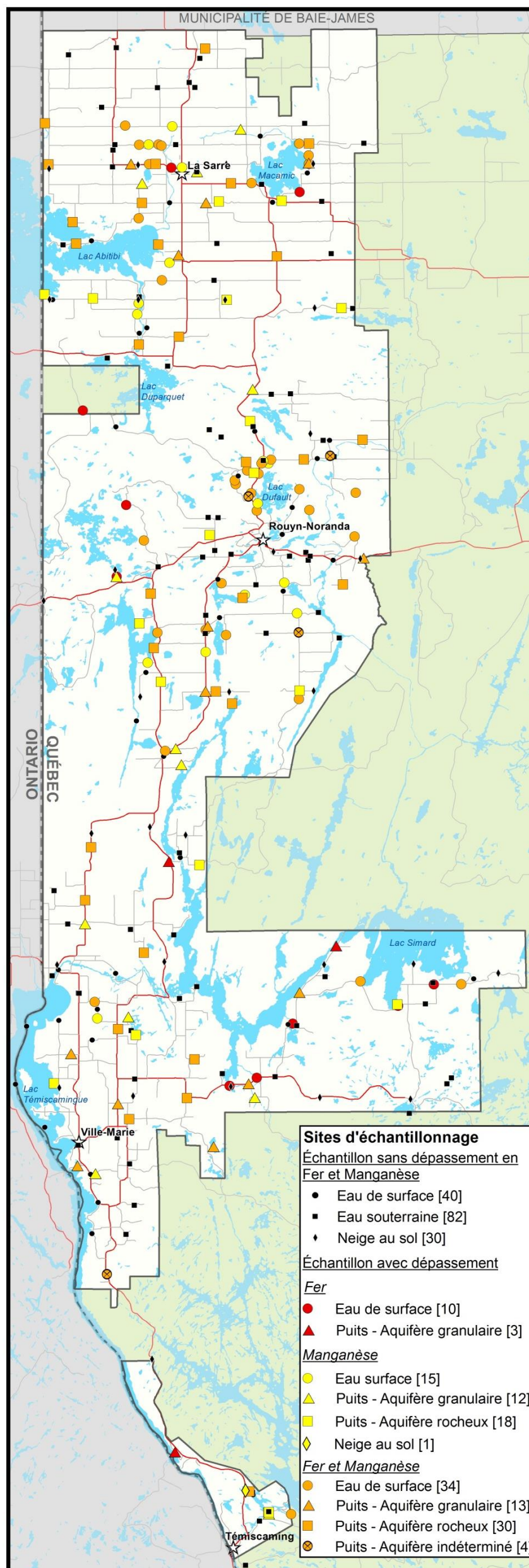


Figure 7.4.5 Distribution spatiale des dépassements des critères de qualité du fer (Fe) et du manganèse (Mn) à l'échelle de la région d'étude



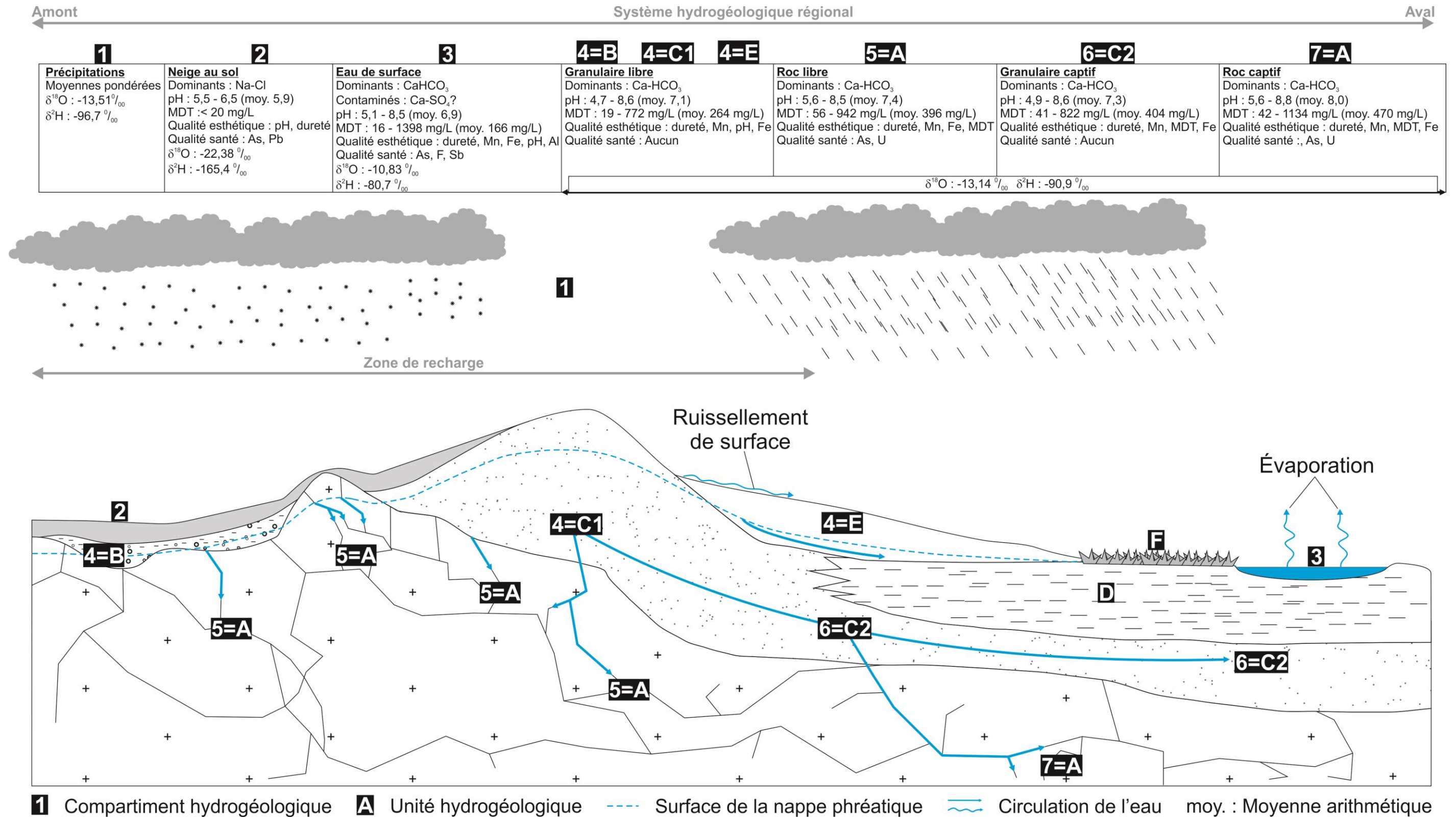
7.5 Synthèse régionale

La figure 7.5.1 illustre une coupe schématique comportant un sommaire des interprétations découlant de l'analyse des données géochimiques disponibles. La coupe schématique illustre les teneurs en matières dissoutes et les signatures isotopiques ($\delta^{18}\text{O}$) au sein des sept principaux compartiments de l'environnement hydrogéologique retenus pour la différenciation des échantillons selon leur provenance. L'ensemble des interprétations proposées sur cette coupe s'appuie sur les informations préalablement présentées. Le tableau 7.5.1 dresse un sommaire de l'information pour les différents compartiments hydrogéologiques identifiés par des encadrés sur la figure 7.5.1. En complément, les cartes associées à la figure 7.5.2 illustrent la distribution spatiale des teneurs en matière dissoute totale et de la composition isotopique ($\delta^{18}\text{O}$) de l'eau à l'échelle de la région.

Tableau 7.5.1 Sommaire des interprétations relatives à la dynamique hydrogéochimique régionale

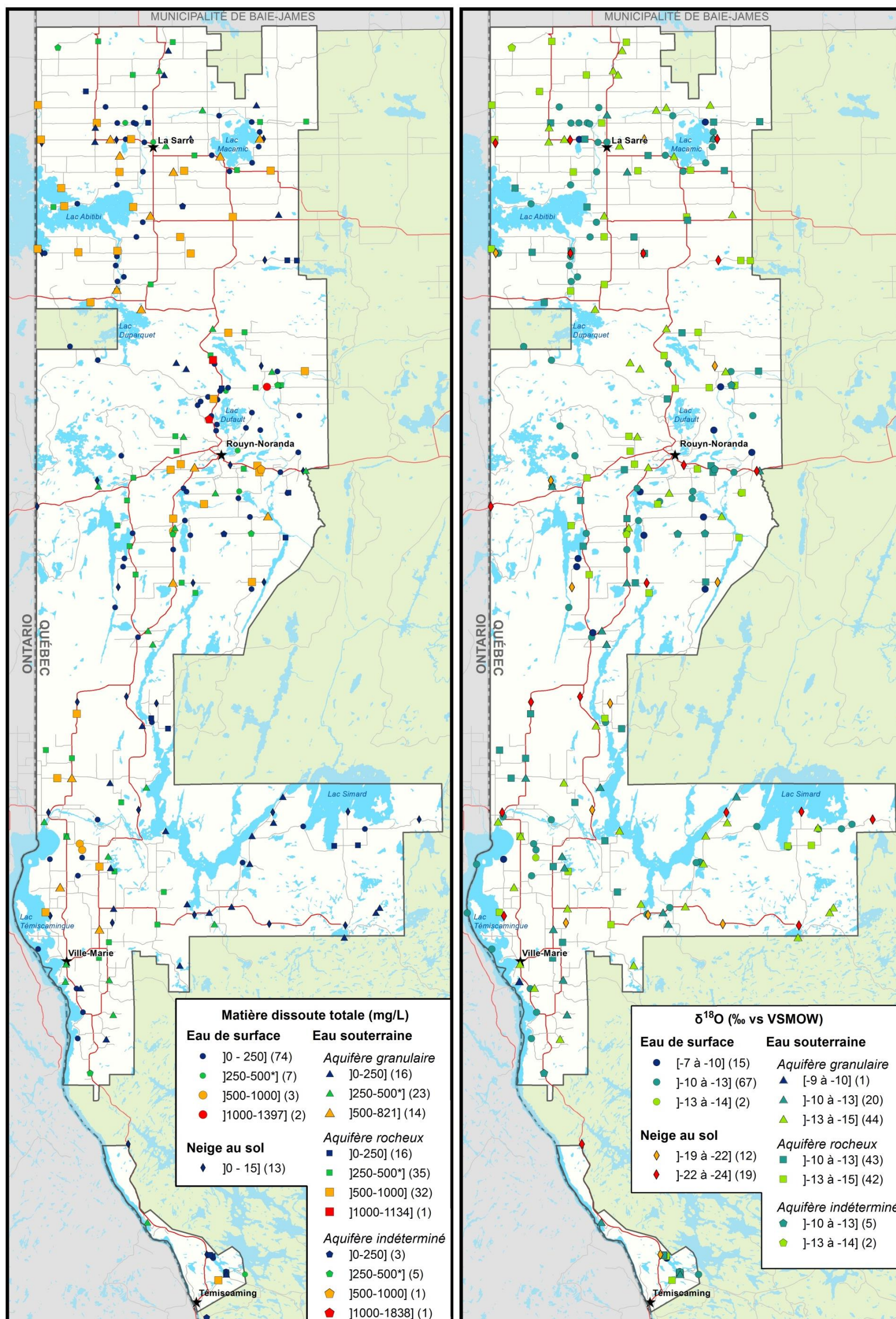
| Compartiments hydrogéologiques | Informations en support à l'interprétation de la figure 7.5.1 (coupe hydrogéochimique synthèse) |
|---|---|
| Précipitations | Les fluctuations temporelles de la composition isotopique des précipitations permettent l'établissement d'une droite des eaux météoriques régionale (DEMR) définie par l'équation $\delta^2\text{H} = 7.8 \delta^{18}\text{O} + 8.9$ (pour une composition isotopique moyenne $\delta^{18}\text{O} = -13,51 \text{ ‰}$; $\delta^2\text{H} = -96,7 \text{ ‰}$). Ce compartiment n'a pas été échantillonné pour l'évaluation des teneurs en matières dissoutes. |
| Neige au sol | Il est assumé ici que le couvert nival intègre un signal géochimique directement hérité des précipitations, auquel s'ajoute une composante associée aux flux atmosphériques (poussières, particules fines, etc.) contemporains de l'accumulation de la neige. Les échantillons de neige au sol sont alignés le long de la portion inférieure de la DEMR (pour une composition isotopique moyenne $\delta^{18}\text{O} = -22,38 \text{ ‰}$; $\delta^2\text{H} = -165,4 \text{ ‰}$), ce qui suggère que le signal issu des précipitations a été préservé au sein du couvert nival. La neige au sol se caractérise par une dominance des ions Na et Cl et par un pH faiblement acide (pH = 5,5 à 6,5). Des dépassements de CMA sont observés pour l'arsenic et le plomb, constat attribué ici à un flux atmosphérique de contaminants d'origine anthropique. |
| Eaux de surface | Les eaux de surface présentent des compositions permettant l'établissement d'une droite évaporatoire locale ($\delta^2\text{H} = 4.2 \delta^{18}\text{O} - 34.9$) de pente inférieure à celle de la DEMR. De façon générale, les ions dominants sont le calcium et le bicarbonate, alors que les teneurs élevées en sulfates mesurées en périphérie du lac Dufault sont vraisemblablement associées à l'altération de sulfures au sein des aires d'accumulation de rejets miniers. |
| Aquifères granulaires à nappe libre | Les aquifères granulaires à nappe libre constituent la première composante souterraine du système hydrogéologique régional. Ils correspondent au secteur où la transition des eaux à dominance Na-Cl à celle des eaux à dominance Ca-HCO ₃ est observée. Il s'agit, de façon générale, des aquifères présentant les plus faibles teneurs en matières dissoutes et les pH les plus faibles de la région. Aucun dépassement de CMA n'a été recensé au sein de ces aquifères dans le cadre de la présente étude. Ces aquifères, généralement perméables et peu profonds, ne seraient pas propices à l'établissement d'interactions prolongées entre l'eau et la matrice de l'aquifère. |
| Aquifères rocheux fracturés à nappe libre | Les aquifères rocheux à nappe libre présentent, de façon générale, des teneurs en matières dissoutes et des pH plus élevés que les aquifères granulaires à nappe libre, ce qui pourrait s'expliquer par une influence plus marquée des interactions entre l'eau souterraine et la matrice des aquifères rocheux fracturés. Les dépassements de CMA y étant recensés (As, U) sont vraisemblablement attribuables à des anomalies locales relatives à la composition minéralogique de la matrice des aquifères. |
| Aquifères granulaires à nappe captive | Les aquifères granulaires à nappe captive présentent généralement des teneurs en matières dissoutes plus élevées que les aquifères granulaires à nappe libre. Ce constat est vraisemblablement attribuable à une plus grande influence des interactions entre l'eau souterraine et la matrice de l'aquifère résultant d'une plus grande distance de transport et d'un temps de séjour plus important. |
| Aquifères rocheux fracturés à nappe captive | Les aquifères rocheux fracturés à nappe captive sont associés au compartiment situé en aval du système hydrogéologique régional. Il s'agit du compartiment présentant les plus importantes teneurs en matières dissoutes, résultat des plus grandes distances de transport et des temps de séjour plus importants lui étant associés. |

Figure 7.5.1 Synthèse hydrogéochimique régionale
Système hydrogéologique régional



Unité hydrogéologique : A: Roc fracturé; B: Till; C1: Eskers et moraines; C2: Sédiments fluvioglaciers et/ou till sous-jacents à une couche d'argile; D: Rythmites d'argile et de silt; E: Sédiments sublittoraux et de plages ou éoliens; F: Tourbe

Figure 7.5.2 Distribution spatiale des teneurs en MDT et composition isotopique ($\delta^{18}\text{O}$) de l'eau à l'échelle de la région d'étude



8. Cadre anthropique et ressource en eau souterraine

8.1 Usage de la ressource

Les éléments d'information rapportés dans la présente section visent à proposer une évaluation quantitative (1) des volumes d'eau prélevés au niveau du territoire et (2) des proportions attribuables aux différents utilisateurs de la ressource. Les sous-sections qui suivent présentent les sources de données disponibles et l'approche méthodologique retenue (Section 8.1.1), la quantification des prélèvements d'eau à l'échelle régionale (Section 8.1.2), les informations relatives aux captages municipaux et privés du territoire (Section 8.1.3) et les limites associées à l'approche retenue (Section 8.1.4).

8.1.1 Sources de données disponibles et approche de calcul

Le tableau 8.1.1.1 présente la hiérarchisation des différentes sources de données utilisées. En complément, le tableau 8.1.1.2 dresse un sommaire de la stratégie de calcul retenue pour l'évaluation quantitative des prélèvements. Par mesure de simplification, il est assumé que les prélèvements d'eau associés au secteur agricole sont essentiellement attribuables à une utilisation destinée à l'alimentation du bétail. Il est assumé que les quantités d'eau associées à l'irrigation sont négligeables (Ferland, 2006).

Tableau 8.1.1.1 Sources et hiérarchisation des données relatives à la quantification de l'usage de la ressource

| Sources de données | Populations totales des municipalités | Populations desservies par réseaux municipaux | Débit annuel d'eau pompée par les réseaux | Types de captages | Données du secteur agricole |
|---|---------------------------------------|---|---|-------------------|-----------------------------|
| MAMROT (s.d.a) | 1 | | | | |
| MAMROT (2012) | | 1 | 2 | | |
| Observatoire de l'Abitibi-Témiscamingue (s.d.a) | 1 (Quartiers de Rouyn-Noranda) | | | | |
| MDDELCC (s.d.d) | | 2 | | 1 | |
| Registre des grands préleveurs 2012 (MDDELCC) | | | 1 | | |
| Évaluation nationale des systèmes d'aqueduc et d'égout dans les collectivités des Premières nations (AADNC, 2011) | | 1 (communautés algonquines) | | | |
| Bilan annuel Ville de Rouyn-Noranda (Ville de Rouyn-Noranda, 2013) | | 1 (Quartiers de la ville de Rouyn-Noranda) | | | |
| MAPAQ (2012) | | | | | 1 |

Tableau 8.1.1.2 Sommaire de la stratégie de quantification des prélèvements

| Secteurs associés aux prélèvements | Sources de données, selon la hiérarchisation présentée au tableau 8.1.1.1 | Stratégie de calcul |
|---|---|--|
| Productions agricoles (PA) | MAPAQ (2012); Annexe 8.1.1.1 | $V_{PA} = \sum_{i=1}^n B_i T_i$ |
| Résidentiel (R) | MAMROT (s.d.a), MDDELCC (s.d.d), Affaires autochtones et Développement du Nord Canada, s.d.a; Ville de Rouyn-Noranda (2013) | $V_R = P \times 250 \frac{L}{j}$ |
| Industries, commerces et institutions (ICI) | Registre des grands préleveurs (MDDELCC) | $V_{ICI} = V_{TM} - \left(P \times 250 \frac{L}{j} \right) + V_{GPENM}$ |

V : volume prélevé (indices PA : productions agricoles; R : résidentiel; CI : industries, commerces et institutions). B_i : population associée au bétail de type i ; T_i : taux de prélèvement associé au bétail de type i (voir annexe 8.1.1.1). P : population totale en nombre d'habitants. V_{TM} : volume total associé au réseau municipal. V_{GPENM} : volumes recensés au registre des grands préleveurs (GPE) et ne correspondant pas aux prélèvements associés aux captages municipaux (indice NM : non municipal). L : litres; j : jour. 1 000 L = 1 m³.

8.1.2 Quantification des prélèvements à l'échelle de la région d'étude

Le tableau 8.1.2.1 et la figure 8.1.2.1 présentent les résultats relatifs à l'évaluation quantitative de l'utilisation des eaux de surface et souterraines au niveau du territoire PACES-AT2, en fonction des principaux secteurs d'utilisation. Au total, il est estimé que 71 573 x 10³ m³/an d'eau sont prélevés à l'échelle de la région afin de répondre aux besoins des utilisateurs de la ressource. De ce volume, environ 90,5 % (64 711 x 10³ m³/an) provient de l'eau de surface. Ce sont les secteurs industriels, commerciaux et institutionnels (ICI) de la MRC de Témiscamingue et de la Ville de Rouyn-Noranda qui prélèvent la plus grande part de ce volume. Les prélèvements d'eau souterraine correspondent à un volume annuel de 6,8 x 10⁶ m³ à l'échelle de la région et le secteur résidentiel représente le principal utilisateur de cette portion de la ressource. Dans la MRC d'Abitibi-Ouest, l'eau souterraine représente 87 % (2,6 x 10⁶ m³/an) de l'ensemble de l'eau prélevé. Les MRC d'Abitibi-Ouest et de Témiscamingue se partagent la plus importante proportion de l'eau souterraine utilisée à des fins agricoles (respectivement 47 % et 44 % des 757 x 10³ m³/an prélevés annuellement). En complément aux informations préalablement présentées, le tableau 8.1.2.2 et la figure 8.1.2.1 présentent les données relatives à la quantification des volumes prélevés par les réseaux municipaux et les captages privés de la région d'étude. Ces deux catégories de prélèvement (municipal et privé) sont discutées plus en détail dans les sous-sections qui suivent.

Tableau 8.1.2.1 Utilisation de l'eau à l'échelle du territoire à l'étude

| MRC | nb | Eau de surface (x 10 ³ m ³ /an) | | | | Eau souterraine (x 10 ³ m ³ /an) | | | | Total (x 10 ³ m ³ /an) | | | |
|------------------------|-----------|---|---------------|--------------|---------------|--|-------------|--------------|--------------|--|---------------|--------------|---------------|
| | | PA | ICI | R | Total | PA | ICI | R | Total | PA | ICI | R | Total |
| Abitibi-Ouest | 21 | 0 | 104 | 255 | 360 | 353 | 638 | 1 649 | 2 641 | 353 | 743 | 1 905 | 3 001 |
| Témiscamingue | 23 | 0 | 49 855 | 295 | 50 150 | 332 | 778 | 1 229 | 2 339 | 332 | 50 633 | 1 524 | 52 489 |
| Ville de Rouyn-Noranda | 14 | 0 | 11 515 | 2 686 | 14 201 | 71 | 638 | 1 173 | 1 882 | 71 | 12 153 | 3 859 | 16 083 |
| Total | 58 | 0 | 61 475 | 3 236 | 64 711 | 757 | 2054 | 4 051 | 6 862 | 757 | 63 529 | 7 287 | 71 573 |

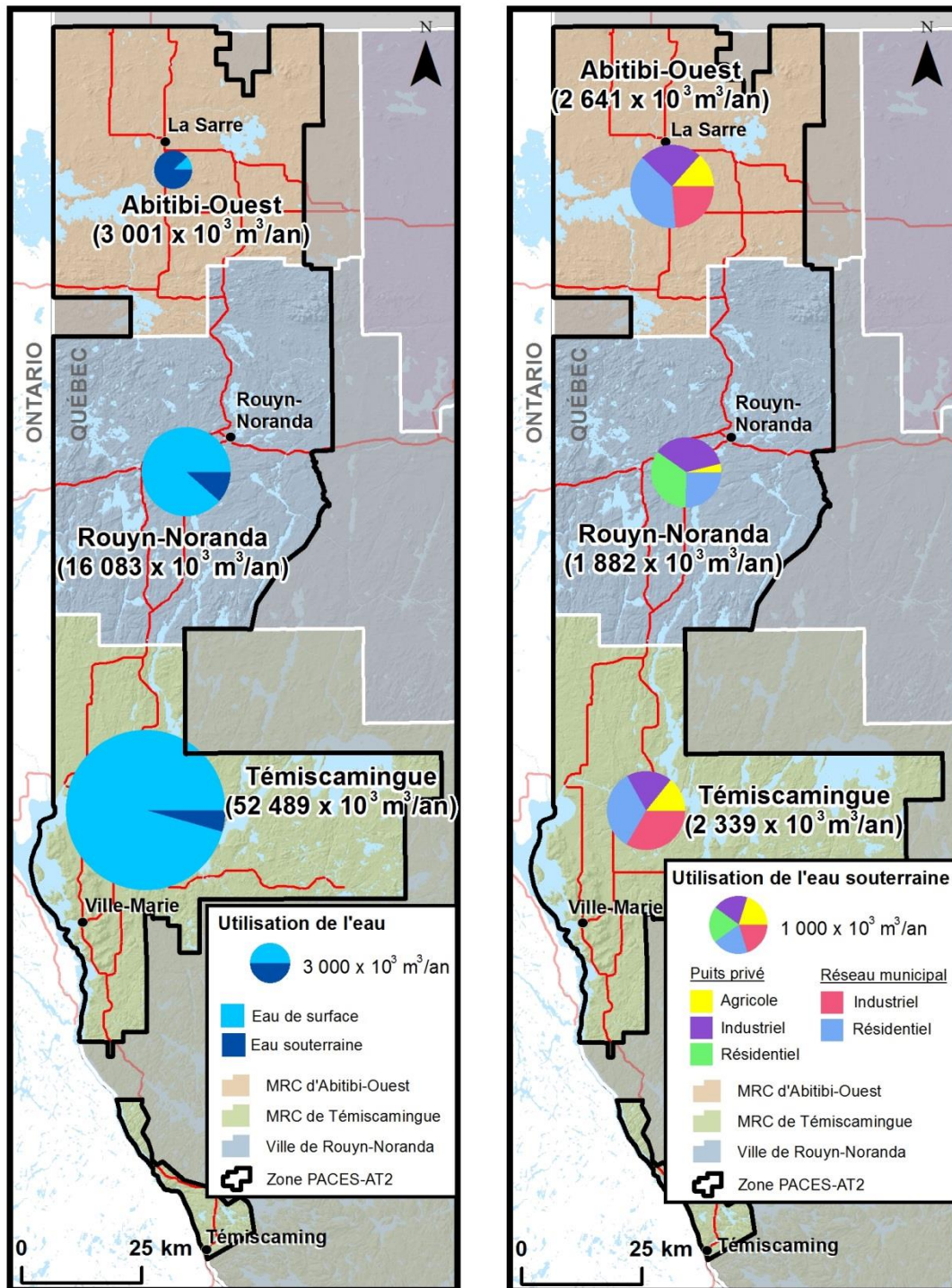
PA : productions agricoles; ICI : Industriels, commerciaux et institutionnels; R : résidentiel. Nb : nombre de municipalités et/ou communautés autochtones et/ou quartiers inclus pour la réalisation des calculs.

Tableau 8.1.2.2 Prélèvements d'eau à partir d'infrastructures publiques et privées

| MRC | Réseaux municipaux (x 10 ³ m ³ /an) | | Puits privés (x 10 ³ m ³ /an) | | |
|------------------------|--|--------------|--|--------------|------------|
| | R | ICI | PA | R | ICI |
| Abitibi-Ouest | 1 010 | 623 | 353 | 640 | 15 |
| Témiscamingue | 788 | 778 | 332 | 440 | 0 |
| Ville de Rouyn-Noranda | 482 | 0 | 71 | 690 | 638 |
| Total | 2 280 | 1 401 | 756 | 1 770 | 653 |

R : résidentiel. Nb : nombre de municipalités; ICI : Industriels, commerciaux et institutionnels; PA : productions agricoles.

Figure 8.1.2.1 Prélèvements d'eau par secteurs d'utilisation



8.1.3 Réseaux municipaux et captages privés

Le tableau 8.1.3.1 présente le recensement des réseaux municipaux de distribution d'eau potable de la région d'étude et dresse un sommaire des informations relatives aux populations desservies et à la provenance de la ressource. En complément, la figure 8.1.3.1 illustre la distribution spatiale des captages d'eau souterraine identifiés au niveau du territoire à l'étude. Les données révèlent qu'à l'échelle de la région, 38 municipalités et/ou communautés algonquines desservent leur population en eau potable à l'aide d'un système d'aqueduc (Tableau 8.1.3.1). De ce nombre, seulement cinq municipalités et une communauté algonquaine s'approvisionnent en eau potable à partir de l'eau de surface, alors que les autres puisent l'eau soit dans un aquifère granulaire ($n = 21$) ou dans des aquifères rocheux fracturés ($n = 12$). L'identification du type d'aquifère a été impossible pour trois puits municipaux en raison des contraintes relatives aux informations disponibles. En termes de volume, les prélèvements associés aux réseaux d'aqueduc municipaux correspondent à 54 % des prélèvements d'eau souterraine de la région. Il est estimé que 62% de l'eau associée à ces réseaux est acheminée aux résidents et 38% aux secteurs industriels, commerciaux et institutionnels (ICI). En termes de population desservie, il est estimé que les captages municipaux permettent d'approvisionner plus de 60 000 personnes en eau potable, soit l'équivalent d'environ 86 % de la population totale du territoire à l'étude.

Il est estimé que 24 % de la population de la région d'étude s'approvisionnent en eau souterraine à partir de puits privés. Le tableau 8.1.3.2 présente un sommaire des populations desservies par des infrastructures de captage privées et des puits recensés au Système d'Information Hydrogéologique (SIH) du MDDELCC. Les données relatives aux nombres de puits privés sont présentées à titre informatif uniquement puisqu'il n'existe aucun registre exhaustif de ce type de captage à l'échelle de la région. Néanmoins, les données rapportées au tableau 8.1.3.2 permettent d'estimer que 85 % des puits inventoriés captent l'eau souterraine au niveau des aquifères rocheux fracturés alors que seulement 27 % des captages municipaux exploitent ce type d'aquifère. Cette observation suggère que les municipalités, lorsqu'elles le peuvent, favorisent l'installation de captages au sein de formations granulaires. En contrepartie, les particuliers qui habitent à l'extérieur des centres urbains occupent majoritairement les secteurs associés à la plaine argileuse et sollicitent d'avantage les aquifères rocheux fracturés pour leur approvisionnement en eau. L'implantation d'un réseau d'aqueduc permet de puiser l'eau dans une formation géologique périphérique à la municipalité, tandis qu'un résident peut uniquement s'approvisionner directement au niveau de sa propriété. La figure 8.1.3.1 présente la distribution spatiale des puits privés de la zone d'étude (puits inventoriés au SIH) ainsi que les types d'aquifères exploités. Les puits associés aux aquifères granulaires sont majoritairement localisés près des formations fluvioglaciaires, 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, notamment dans les secteurs occupés par la plaine argileuse.

Tableau 8.1.3.1 Recensement des puits municipaux du territoire à l'étude

| MRC | Municipalité | Population totale ¹ | Population desservie | | Captages municipaux | | | Eau de surface |
|---------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------|---------------------|------------|-----------|----------------|
| | | | nb | % | Type aquifère | | | |
| | | | | | Roc | Granulaire | ND | |
| Abitibi-Ouest | Chazel | 304 | 286 ² | 94 | | 1 | | |
| | Duparquet | 612 | 644 ² | 100 | | 1 | | |
| | Dupuy | 961 | 726 ² | 76 | | 1 | | |
| | Gallichan | 503 | 63 ² | 13 | | | 1 | |
| | La Reine | 344 | 215 ² | 63 | 1 | | | |
| | La Sarre | 7 576 | 6 807 ² | 90 | | 3 | | |
| | Macamic | 2 798 | 2 803 ² | 100 | | | | X |
| | Normétal | 843 | 863 ² | 100 | 1 | | 1 | |
| | Palmarolle | 1 456 | 870 ² | 60 | | 1 | | |
| | Saint-Lambert | 196 | 137 ² | 70 | | 1 | | |
| Taschereau | 956 | 506 ² | 53 | | 2 | | | |
| Témiscamingue | Angliers | 302 | 111 ² | 37 | | 1 | | |
| | Béarn | 775 | 571 ² | 74 | | 1 | | |
| | Belleterre | 281 | 361 ² | 100 | | | | X |
| | Eagle Village (Kebaowek) | 276 | 265 ³ | 96 | | | | X |
| | Guérin | 324 | 185 ² | 57 | | 1 | | |
| | Kipawa | 476 | 76 ² | 16 | 1 | | | |
| | Latulipe-et-Gaboury | 302 | 220 ² | 73 | | | | X |
| | Laverlochère | 683 | 694 ² | 100 | | 1 | | |
| | Lorrainville | 1 323 | 1 324 ² | 100 | 1 | | | |
| | Nédélec | 372 | 136 ² | 37 | 1 | | | |
| | Notre-Dame-du-Nord | 1 072 | 964 ² | 90 | | 1 | | |
| | Saint-Bruno-de-Guigues | 1 158 | 498 ² | 43 | | 1 | | |
| | Saint-Édouard-de-Fabre | 631 | 485 ² | 77 | | 1 | | |
| | Saint-Eugène-de-Guigues | 469 | 101 ² | 22 | | 1 | | |
| | Témiscaming | 2 354 | 2 392 ² | 100 | | | | X |
| | Timiskaming | 641 | 631 ³ | 98 | | | X | |
| | Ville-Marie | 2 607 | 2 850 ² | 100 | | 1 | 2 | |
| Winneway | 456 | 380 ³ | 83 | | | X | | |
| Rouyn-Noranda | Beaudry | 1 153 | 378 ⁴ | 33 | | 1 | | |
| | Bellecombe | 800 | 83 ⁵ | 10 | | | 1 | |
| | Cadillac | 896 | 854 ⁴ | 95 | | | 2 | |
| | Cléicy | 425 | 314 ⁵ | 74 | | | 1 | |
| | Destor | 385 | 32 ⁴ | 8 | 1 | | | |
| | Évain | 3 845 | 3 124 ⁴ | 81 | 4 | 1 | 1 | |
| | McWatters | 1 915 | 200 ⁵ | 10 | 1 | | 1 | |
| | Mont-Brun | 505 | 302 ⁵ | 60 | 1 | | 1 | |
| Total | | 70 410 | 60 456⁶ | 86 | 12 | 21 | 13 | 6 |

¹ Information tirée de MAMROT (s.d.a).

² Information tirée de MAMROT (Rapport annuel de l'usage de l'eau potable, 2012)

³ Information tirée d'Affaires autochtones et Développement du Nord Canada, s.d.a, Évaluation nationale des systèmes d'aqueduc et d'égout dans les collectivités des Premières nations

⁴ Information tirée du Bilan annuel de l'eau potable de la Ville de Rouyn-Noranda (Ville de Rouyn-Noranda, 2013)

⁵ Information tirée du répertoire des réseaux municipaux de distribution d'eau potable (MDDELCC, s.d.d).

⁶ La valeur associée à la population desservie est considérée comme ne pouvant pas excéder celle associée à la population totale de la municipalité.

ND : Information non disponible

Figure 8.1.3.1 Distribution spatiale des captages d'eau souterraine de la région d'étude

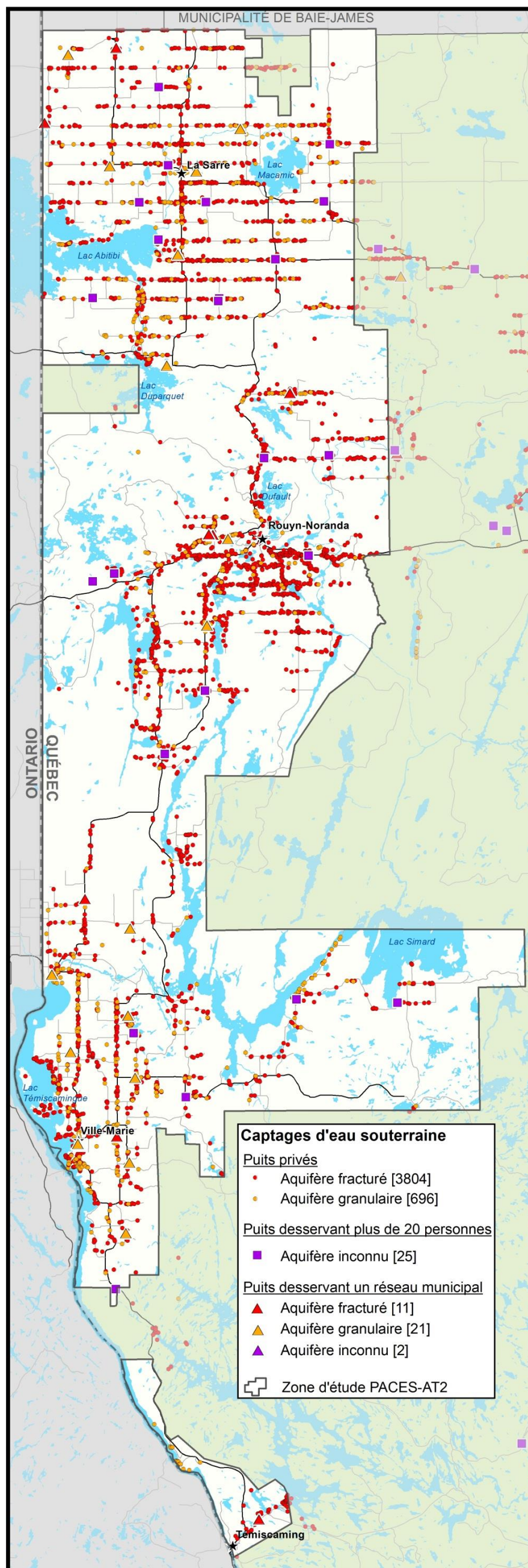


Tableau 8.1.4.1 Répertoire des puits privés du territoire à l'étude

| MRC | Municipalité | Population totale ¹ | Population desservie par des puits privés ² | | Puits privés (SIH) | |
|------------------|--------------------------|--------------------------------|--|--------------|--------------------|------------|
| | | | nb | % | Type d'aquifère | |
| | | | | | roc | granulaire |
| Abitibi-Ouest | Authier | 274 | 274 | 100 | 49 | 9 |
| | Authier-Nord | 266 | 266 | 100 | 48 | 15 |
| | Chazel | 304 | 18 | 6 | 48 | 19 |
| | Clermont | 483 | 483 | 100 | 86 | 7 |
| | Clerval | 380 | 380 | 100 | 65 | 7 |
| | Duparquet | 612 | 0 | 0 | 16 | 2 |
| | Dupuy | 961 | 235 | 24 | 42 | 8 |
| | Gallichan | 503 | 440 | 87 | 58 | 28 |
| | La Reine | 344 | 129 | 37 | 28 | 5 |
| | La Sarre | 7 576 | 769 | 10 | 144 | 36 |
| | Macamic | 2 798 | 0 | 0 | 170 | 28 |
| | Normétal | 843 | 0 | 0 | 32 | 1 |
| | Palmarolle | 1 456 | 586 | 40 | 159 | 22 |
| | Poularies | 671 | 671 | 100 | 97 | 26 |
| | Rapide-Danseur | 336 | 336 | 100 | 41 | 23 |
| | Roquemaure | 431 | 431 | 100 | 26 | 7 |
| | Saint-Lambert | 196 | 59 | 30 | 40 | 7 |
| | Ste-Germaine-Boulé | 955 | 955 | 100 | 70 | 7 |
| | Ste-Hélène-de-Mancebourg | 354 | 354 | 100 | 34 | 21 |
| | Taschereau | 956 | 450 | 47 | 53 | 12 |
| Val-Saint-Gilles | 175 | 175 | 100 | 53 | 3 | |
| eTémiscamingue | Angliers | 302 | 191 | 63 | 39 | 4 |
| | Béarn | 775 | 204 | 26 | 23 | 7 |
| | Belleterre | 281 | 0 | 0 | 4 | 2 |
| | Duhamel-Ouest | 883 | 883 | 100 | 68 | 18 |
| | Eagle Village (Kebaowek) | 276 | 11 | 4 | 0 | 0 |
| | Fugèreville | 333 | 333 | 100 | 46 | 11 |
| | Guérin | 324 | 139 | 43 | 14 | 2 |
| | Kipawa | 476 | 400 | 84 | 50 | 0 |
| | Laforce | 509 | 509 | 100 | 39 | 6 |
| | Latulipe-et-Gaboury | 302 | 82 | 27 | 31 | 11 |
| | Laverlochère | 683 | 0 | 0 | 47 | 18 |
| | Lorrainville | 1 323 | 0 | 0 | 31 | 20 |
| | Moffet | 189 | 189 | 100 | 48 | 19 |
| | Nédélec | 372 | 236 | 63 | 59 | 5 |
| | Notre-Dame-du-Nord | 1 072 | 108 | 10 | 48 | 31 |
| | Rémigny | 280 | 280 | 100 | 64 | 1 |
| | Saint-Bruno-de-Guigues | 1 158 | 660 | 57 | 104 | 23 |
| | Saint-Édouard-de-Fabre | 631 | 146 | 23 | 48 | 13 |
| | Saint-Eugène-de-Guigues | 469 | 368 | 78 | 76 | 27 |
| | Témiscaming | 2 354 | 0 | 0 | 14 | 18 |
| Timiskaming | 641 | 10 | 2 | 1 | 1 | |
| Ville-Marie | 2 607 | 0 | 0 | 76 | 28 | |
| Winneway | 456 | 76 | 17 | 0 | 1 | |
| Rouyn-Noranda | Arnfield | 520 | 520 | 100 | 1515 | 137 |
| | Beudry | 1 153 | 775 | 67 | | |
| | Bellecombe | 800 | 717 | 90 | | |
| | Cadillac | 896 | 42 | 5 | | |
| | Cléricy | 425 | 111 | 26 | | |
| | Cloutier | 345 | 345 | 100 | | |
| | D'Alembert | 930 | 930 | 100 | | |
| | Destor | 385 | 353 | 92 | | |
| | Évain | 3 845 | 721 | 19 | | |
| | McWatters | 1 915 | 1 715 | 90 | | |
| | Montbeillard | 720 | 720 | 100 | | |
| | Mont-Brun | 505 | 203 | 40 | | |
| | Rouyn-Noranda | 29 435 | 0 | 0 | | |
| Rollet | 415 | 415 | 100 | | | |
| Total | 79 859 | 19 403 | 24 | 3 804 | 696 | |

¹ Information tirée de MAMROT (s.d.a).² Information issue de la soustraction entre la population totale et la population desservie par un réseau d'aqueduc

8.1.4 Limites de l'approche proposée

Les données présentées dans la présente section constituent des estimations appuyées sur des simplifications inhérentes à la réalisation de calculs à l'échelle régionale. Ces résultats ne peuvent se substituer à des évaluations réalisées à l'échelle locale. 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 présentées au tableau 8.1.1.1. 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 sur l'entièreté des territoires couverts par ces deux entités, lesquelles débordent légèrement des limites du PACES-AT2.

8.2 Activités anthropiques potentiellement polluantes (Cartes 22-23) (Thème 5)

8.2.1 Mise à jour des travaux antérieurs

Les travaux proposés par Cloutier et al., (2013c) ont été menés de concert à la réalisation de la présente étude. Ces travaux présentent une discussion relative aux pressions exercées sur la ressource en eau souterraine associée aux eskers et moraines de la région par (1) les aires d'accumulation de résidus miniers, (2) les secteurs affectés par l'exploitation forestière, (3) les sablières/gravières et (4) les dépôts en tranchée (DET). Ces travaux sont entièrement rendus disponibles à l'annexe 3.14.1. Construite sur la base d'une mise à jour de ces travaux (voir sections 3.14 et 4.14), la carte 23 illustre la distribution spatiale (1) des aires d'accumulation de résidus miniers, (2) des secteurs affectés par l'exploitation forestière, (3) des sablières/gravières, (4) des dépôts en tranchée (DET) et (5) des sites inclus au répertoire des terrains contaminés du MDDELCC au niveau du territoire PACES-AT2. Hormis les aires d'accumulation de rejets miniers, seuls les impacts sur eskers/moraines sont représentés sur la carte, ces formations correspondant aux secteurs où la ressource en eau souterraine est jugée la plus sensible au niveau de la région d'étude. Les statistiques relatives à la distribution spatiale des quatre premières catégories d'activités sont fournies à la section 4.14. Le lecteur est référé aux travaux de Cloutier et al., 2013c (Rapport P004.R2 fourni à l'annexe 3.14.1) pour de plus amples informations.

8.2.2 Recensement des activités anthropiques potentiellement polluantes

Les activités anthropiques potentiellement polluantes (AAPP) regroupent des activités humaines pouvant comporter un risque pour la qualité de l'eau souterraine. Seules les activités industrielles et commerciales ont été ciblées dans le cadre de la présente étude. Les activités du secteur agricole n'ont pas été considérées pour l'évaluation du risque mais leur distribution spatiale est présentée à la carte 10 (occupation du sol). Considérant l'échelle d'application régionale propre à la présente étude, les activités potentiellement polluantes liées au secteur résidentiel (p. ex. : installations septiques) n'ont pas été considérées. Au total, 391 sites liés à des activités potentiellement polluantes ont été recensés sur le territoire à l'étude à partir des codes d'utilisation des biens-fonds (CUBF) du MAMROT. Les CUBF sont attribués lors de l'évaluation foncière et sont fonction du type d'activité pratiquée sur le site. Le tableau 8.2.2.1 présente les regroupements de CUBF et le recensement propre au territoire visé par la présente étude. Les activités associées à l'extraction de substances minérales de surface et les activités minières non métallique (20,0 %), la fabrication, réparation et maintenance du matériel de transport (22,5 %) et l'assainissement des déchets (17,9 %) représentent à elles seules 60,4% des sites d'activités anthropiques recensées sur le territoire PACES-AT2.

Tableau 8.2.1 Nombre de sites répertoriés par regroupement d'activités anthropiques sur la base des CUBF

| Regroupements d'activités anthropiques sur la base des CUBF ¹ | Nombre de sites répertoriés | Proportion des sites répertoriés (%) |
|---|-----------------------------|--------------------------------------|
| Aéroport | 4 | 1,0 |
| Assainissement et gestion des déchets | 70 | 17,9 |
| Extraction des substances minérales de surface et activités minières non métallique | 78 | 20,0 |
| Extraction des substances minérales de surface et activités minières métallique | 9 | 2,3 |
| Fabrication, réparation et maintenance du matériel de transport | 88 | 22,5 |
| Fabrication de produits minéraux non métalliques | 6 | 1,5 |
| Industries de fabrication de produits chimiques | 1 | 0,3 |
| Industries de la transformation et utilisation des métaux, fabrication de machinerie et d'équipement industriel | 6 | 1,5 |
| Industries de produits alimentaires | 1 | 0,3 |
| Industries du bois, pâte à papier et produits du papier | 9 | 2,3 |
| Production et distribution d'électricité et de gaz | 9 | 2,3 |
| Production et distribution d'électricité et de produits pétroliers | 3 | 0,8 |
| Raffinage et transformation de sous-produits pétroliers | 1 | 0,3 |
| Restaurant | 68 | 17,4 |
| Station-service | 30 | 7,7 |
| Terrain de golf | 8 | 2,1 |
| Total | 391 | 100,0 |

¹ Voir l'annexe 8.2.1 pour de plus amples informations

8.2.3 Indice de densité pondéré d'activités anthropiques

L'approche retenue afin de représenter la distribution spatiale des activités anthropiques potentiellement polluantes consiste en l'évaluation d'un indice spatial pondéré. Le protocole méthodologique relatif à l'évaluation de cet indice est présenté en détail à l'annexe 8.2.1 et est sommairement décrit ci-dessous. L'indice de densité pondéré des activités anthropiques potentiellement polluantes (ci-après IDP-AAPP) permet une représentation indirecte de la pression exercée sur la ressource en eau souterraine en termes de risque potentiel de contamination. L'évaluation de l'IDP-AAPP repose sur l'application d'une démarche en cinq étapes :

- 1- Identification des AAPP au niveau du territoire à l'étude sur la base des CUBF;
- 2- Identification de la liste des contaminants chimiques pouvant être générés par chacune des AAPP sélectionnées ($n \leq 3$);
- 3- Évaluation qualitative du niveau de risque lié aux AAPP selon:
 - a. La toxicité des contaminants pouvant être générés (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 pouvant être générés (Accidentelle, Récurrente).
- 4- Attribution de poids aux AAPP sur la base de l'évaluation qualitative du niveau de risque;
- 5- Cartographie des AAPP et évaluation de l'IDP-AAPP sur la base de calculs géomatiques.

La carte 22 illustre la distribution spatiale de l'IDP-AAPP à l'échelle de la région d'étude. La carte révèle que les zones à risque tendent à s'aligner préférentiellement le long des grands axes routiers et des municipalités du territoire. Les plus fortes valeurs associées à l'IDP-AAPP s'observent aux pourtours des

centres urbains. Il est proposé ici que l'utilisation conjointe de l'IDP-AAPP (carte 22) et de la carte de vulnérabilité des aquifères (Section 6.9; Carte 21) 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. Il est à noter que les résultats présentés sur la carte 22 relèvent d'une évaluation qualitative du niveau de risque associé aux AAPP. Il ne s'agit pas d'une évaluation quantitative de l'impact des AAPP sur l'eau souterraine. Cette évaluation ne peut donc se substituer à l'acquisition de données terrain ciblant la documentation de problématiques locales.

8.3. Infrastructures de suivi (Carte 24)

Les infrastructures de suivi pertinentes à la documentation des conditions hydrogéologiques régionales incluent (1) les stations météorologiques, (2) les stations hydrométriques et (3) les stations piézométriques. Les tableaux 8.3.1.1 à 8.3.3.1 présentent un sommaire des informations relatives aux infrastructures du territoire à l'étude, alors que la carte 24 présente la localisation des différents types de stations. Les informations relatives aux infrastructures de suivi ayant permis l'acquisition de données historiques mais étant aujourd'hui inactives ont été conservées, bien que ces dernières ne permettent pas une évaluation directe des conditions contemporaines prévalant au niveau du territoire.

8.3.1 Stations météorologiques

Le tableau 8.3.1.1 dresse un sommaire des informations relatives aux stations météorologiques de la région d'étude alors que la carte 24 en présente la distribution spatiale. La première station météorologique de la région a été mise en place au barrage d'Angliers en 1911. En date de rédaction du présent rapport, les données disponibles permettent le recensement de 49 stations météorologiques au niveau du territoire, dont 26 sont toujours actives. Les trois stations exploitées par le GRES-UQAT permettent le suivi de la composition isotopique des précipitations (voir sections 3.13; 4.13 et chapitre 7). Ces infrastructures de suivi sont installées sur des sites associées à des stations météorologiques exploitées par le MDDELCC.

Tableau 8.3.1.1 Historique et caractéristiques des stations météorologiques du territoire PACES-AT2

| Identifiants des stations | Noms stations | Exploitant | État | Début prise de mesure (mm-aaaa) | Fin prise de mesure (mm-aaaa) | Durée (années) |
|---------------------------|----------------------|------------|------|---------------------------------|-------------------------------|----------------|
| 7085600 | Noranda Lake Dufault | GC | I | 05-1949 | 09-1951 | 2 |
| 7086720 | Rouyn A | GC | I | 01-1954 | 12-2012 | 58 |
| 7086697 | Roquemaure | GC | I | 02-1994 | 08-2003 | 9 |
| 7085106 | Mont-Brun | MDDELCC | A | 05-1980 | S.O. | S.O. |
| 7094122 | La Sarre-2 | MDDELCC | A | 07-2009 | S.O. | S.O. |
| 7094447 | Mancebourg | MDDELCC | A | 10-2006 | S.O. | S.O. |
| 7085796 | Parc Tremblay | MDDELCC | A | 08-1985 | S.O. | S.O. |
| 7085102 | Montbeillard | MDDELCC | A | 07-1972 | S.O. | S.O. |
| 708ED05 | Nédélec | MDDELCC | A | 09-2006 | S.O. | S.O. |
| 7080452 | Barrage Angliers | MDDELCC | A | 02-1911 | S.O. | S.O. |
| 7082972 | Guigues | MDDELCC | A | 09-2006 | S.O. | S.O. |
| 7084262 | Laverlochère | MDDELCC | A | 09-2006 | S.O. | S.O. |
| 7084237 | Latulipe-2 | MDDELCC | A | 10-2008 | S.O. | S.O. |
| 7088760 | Ville-Marie | MDDELCC | A | 08-1913 | S.O. | S.O. |
| 7080555 | Béarn | MDDELCC | A | 09-2006 | S.O. | S.O. |

| Identifiants des stations | Noms stations | Exploitant | État | Début prise de mesure (mm-aaaa) | Fin prise de mesure (mm-aaaa) | Durée (années) |
|---------------------------|-----------------------|------------|------|---------------------------------|-------------------------------|----------------|
| 7080600 | Belleterre | MDDELCC | A | 09-1951 | S.O. | S.O. |
| 7088397 | Témiscaming | MDDELCC | A | 04-1994 | S.O. | S.O. |
| 7086460 | Rémigny | MDDELCC | A | 05-1943 | S.O. | S.O. |
| 7080468 | Barrage Témiscamingue | MDDELCC | A | 09-1997 | S.O. | S.O. |
| 7086716 | Rouyn | MDDELCC | A | 02-1994 | S.O. | S.O. |
| 7086719 | Rouyn-Noranda A | MDDELCC | A | 12-2012 | S.O. | S.O. |
| 7094121 | La Sarre | MDDELCC | I | 05-1978 | 04-1983 | 5 |
| 7095785 | Palmarolle | MDDELCC | I | 11-1986 | 12-1988 | 2 |
| 7090050 | Abitibi post | MDDELCC | I | 07-1896 | 02-1936 | 40 |
| 709FFG0 | Rivière Turgeon | MDDELCC | I | 11-1965 | 07-1972 | 7 |
| 7096215 | Poularies | MDDELCC | I | 08-1969 | 05-1994 | 25 |
| 7085560 | Noranda | MDDELCC | I | 09-1950 | 09-1971 | 21 |
| 7086717 | Rouyn | MDDELCC | I | 12-1971 | 03-1974 | 3 |
| 708B309 | Evain | MDDELCC | I | 11-1986 | 03-1991 | 5 |
| 7086718 | Rouyn | MDDELCC | I | 08-1927 | 02-1950 | 23 |
| 708FGB0 | Rouyn McWatters | MDDELCC | I | 01-1945 | 04-1975 | 30 |
| 7091985 | Destor | MDDELCC | I | 11-1965 | 10-1968 | 3 |
| 709BBDH | Duparquet | MDDELCC | I | 05-1981 | 05-1994 | 13 |
| 7085682 | Notre Dame du Nord | MDDELCC | I | 11-1986 | 10-1988 | 2 |
| 7085345 | Moose Bay Kipawa | MDDELCC | I | 07-1955 | 09-1980 | 25 |
| 430100 | Mcwatters-2 | MDDELCC | A | 01-1979 | S.O. | S.O. |
| 430025 | Barrage-des-Quinze | MDDELCC | A | 01-1968 | S.O. | S.O. |
| 430060 | Ville-Marie | MDDELCC | A | 01-1949 | S.O. | S.O. |
| 430070 | Tee-Lake | MDDELCC | A | 01-1949 | S.O. | S.O. |
| 426800 | Lac-Coniagas | MDDELCC | A | 01-2011 | S.O. | S.O. |
| 70986RN | Val-Saint-Gilles | MDDELCC | I | 08-1972 | 10-2007 | 35 |
| 7094120 | La Sarre | MDDELCC | I | 09-1951 | 07-2009 | 58 |
| 709578E | Palmarolle-2 | MDDELCC | I | 10-2006 | 11-2009 | 3 |
| 7092722 | Germaine | MDDELCC | I | 06-2010 | 09-2012 | 2 |
| 7081716 | Cléricy | MDDELCC | I | 08-1986 | 09-1997 | 11 |
| 7080MDE | Baie-de-l'Orignal | MDDELCC | I | 01-1954 | 12-1971 | 17 |
| 7086630 | Rivière Kinojevis | MDDELCC | I | 07-1974 | 08-1994 | 20 |
| 7082900 | Grassy-Narrow | MDDELCC | I | 05-1944 | 09-1964 | 20 |
| 708DBCE | Latulipe | MDDELCC | I | 08-1953 | 08-2007 | 54 |
| 2ABTE30128 | 2ABTE30128 | GRES | A | 06-2013 | S.O. | S.O. |
| 2ABTE30129 | 2ABTE30129 | GRES | A | 06-2013 | S.O. | S.O. |
| 2ABTE30130 | 2ABTE30130 | GRES | A | 06-2013 | S.O. | S.O. |

GC : Ministère de l'environnement, Gouvernement du Canada, s.d.a; MDDELCC : MDDELCC, s.d.b; Les stations 2ABTE30128, 2ABTE30129, et 2ABTE30130 correspondent aux stations, Béarn (7080555), Montbeillard (7085102) et Mancebourg (7094447) du MDDELCC, respectivement.

I : station inactive. A : Station active. S.O. : Sans objet.

8.3.2 Stations hydrométriques

Le tableau 8.3.2.1 présente un sommaire des informations relatives aux stations hydrométriques du territoire et la carte 24 présente leur distribution spatiale. La station 02JB008, aménagée sur la rivière Outaouais au niveau du barrage des Rapides des Quinze en 1915, est la première à avoir été installée sur le territoire. Au total, 26 stations hydrométriques ont été en opération au niveau de la région d'étude. En date de rédaction du présent rapport, huit de ces stations sont toujours actives.

Tableau 8.3.2.1 Historique et caractéristiques des stations hydrométriques du territoire PACES-AT2

| Identifiants des stations | Noms stations | Type station | Organisme | État | Début | Fin | Durée (années) |
|---------------------------|---|--------------|-----------|------|-------|------|----------------|
| 02JB001 ¹ | Des Outaouais | Débit | CEHQ | I | 1936 | 1966 | 30 |
| 02JB013 ¹ | Kinojévis | Débit | CEHQ | A | 1965 | S.O. | S.O. |
| 02JE016 ¹ | Gordon | Débit | CEHQ | I | 1927 | 1975 | 48 |
| 02JE031 ¹ | Gordon | Débit | CEHQ | A | 1987 | S.O. | S.O. |
| 89901 ² | La Sarre | Niveau | CEHQ | I | 1926 | 1973 | 47 |
| 02JE005 ¹ | Lac Kipawa | Niveau | CEHQ | I | 1972 | 1994 | 22 |
| 02JE030 ¹ | Barrage de Kipawa | Niveau | CEHQ | A | 2008 | S.O. | S.O. |
| 02JB011 ¹ | Lac des Quinze | Niveau | CEHQ | A | 1987 | S.O. | S.O. |
| 02JB012 ¹ | Lac Simard | Niveau | CEHQ | A | 1987 | S.O. | S.O. |
| 02JB017 ¹ | Lac des Quinze | Niveau | CEHQ | A | 1987 | S.O. | S.O. |
| 04MA004 ¹ | Lac Abitibi | Niveau | CEHQ | A | 1946 | S.O. | S.O. |
| 04MA001 ¹ | Lac Macamic | Niveau | CEHQ | A | 1999 | S.O. | S.O. |
| 02JB010 ¹ | Outaouais (riviere des) au barrage des Rapides des Iles | Débit | EC | I | 1967 | 1994 | 28 |
| 02JB014 ¹ | Opasatica (lac) à la Baie Solitaire | Débit | EC | I | 1978 | 1981 | 3 |
| 02JB015 ¹ | Remigny (lac) à Remigny | Débit | EC | I | 1978 | 1981 | 3 |
| 02JB016 ¹ | Beauchastel (Riviere) au lac Beauchastel | Débit | EC | I | 1980 | 1980 | 0 |
| 02JB018 ¹ | Osisko (riviere) branche nord à La sortie du lac Osisko | Débit | EC | I | 1988 | 1988 | 0 |
| 02JB019 ¹ | Osisko (riviere) branche sud à la sortie du lac Osisko | Débit | EC | I | 1988 | 1988 | 0 |
| 02JB020 ¹ | Osisko (riviere) en aval du lac osisko | Débit | EC | I | 1988 | 1988 | 0 |
| 02JB021 ¹ | Outaouais (riviere des) centrale de premiere chute | Débit | EC | I | 1968 | 1994 | 26 |
| 02JE022 ¹ | Gordon (ruisseau) au lac Tee | Débit | EC | I | 1963 | 1963 | 1 |
| 04MA005 ¹ | Desvaux (lac) | Niveau | EC | I | 1941 | 1987 | 47 |
| 04MA008 ¹ | Arnoux (riviere) aval | Débit | EC | I | 1994 | 1994 | 0 |
| 02JB023 ¹ | Outaouais (riviere des) centrale de Rapide des Iles | Débit | EC | I | 1967 | 1994 | 28 |
| 02JB022 ¹ | Outaouais (riviere des) centrale de Rapide des Quinze | Débit | EC | I | 1967 | 1994 | 27 |
| 02JB008 ¹ | Outaouais (riviere des) barrage des Rapides des Quinze | Débit | EC | I | 1915 | 1994 | 79 |

¹ Code d'identification fédéral. ² Code d'identification provincial. CEHQ : CEHQ, s.d.a; EC : Ministère de l'environnement, Gouvernement du Canada, s.d.b.; S.O. : sans objet.

8.3.3 Stations piézométriques

Le tableau 8.3.3.1 présente les caractéristiques des stations de suivi piézométriques de la région et la carte 24 en illustre la distribution spatiale. Treize stations piézométriques permettent le suivi des niveaux d'eau souterraine sur le territoire à l'étude. Sept de ces stations ont été instrumentées en 2008 dans le cadre du programme de suivi des eaux souterraines du Québec (MDDELCC, s.d.a). Six stations additionnelles ont été installées par le GRES-UQAT en 2013 (sections 3.5; 3.6; 3.7; 4.5; 4.6 et 4.7). Toutes les stations du territoire PACES-AT2 demeurent actives en date de rédaction du présent rapport. Ces stations sont munies de sonde automatisées permettant l'enregistrement des lectures de niveau d'eau à intervalles réguliers de six heures.

Tableau 8.3.3.1 Caractéristiques des stations de suivi des nappes phréatiques

| Référence ABTE | Exploitant | Municipalité | État | Début du suivi | Types de sondes automatisées |
|----------------|----------------------|---------------|--------|----------------|--|
| 2ABTE10016 | GRES-UQAT | Taschereau | active | 2013 | Niveau d'eau et pression atmosphérique |
| 2ABTE10018 | GRES-UQAT | Clermont | active | 2013 | Niveau d'eau |
| 2ABTE10019 | GRES-UQAT | Authier-Nord | active | 2013 | Niveau d'eau |
| 2ABTE10023 | GRES-UQAT | Rouyn-Noranda | active | 2013 | Niveau d'eau et pression atmosphérique |
| 2ABTE10024 | GRES-UQAT | Rouyn-Noranda | active | 2013 | Niveau d'eau |
| 2ABTE10027 | GRES-UQAT | Belleterre | active | 2013 | Niveau d'eau et pression atmosphérique |
| 2ABTE00350 | MDDELCC ¹ | Dupuy | active | 2008 | Niveau d'eau |
| 2ABTE00353 | MDDELCC ¹ | Nedelec | active | 2008 | Niveau d'eau et pression atmosphérique |
| 2ABTE00354 | MDDELCC ¹ | Nedelec | active | 2008 | Niveau d'eau |
| 2ABTE00351 | MDDELCC ¹ | La Sarre | active | 2008 | Niveau d'eau et pression atmosphérique |
| 2ABTE00352 | MDDELCC ¹ | Temiscaming | active | 2008 | Niveau d'eau et pression atmosphérique |
| 2ABTE00355 | MDDELCC ¹ | Rouyn-Noranda | active | 2008 | Niveau d'eau |
| 2ABTE00356 | MDDELCC ¹ | Rouyn-Noranda | active | 2008 | Niveau d'eau |

¹MDDELCC (s.d.a). IND : Information non disponible.

9. Synthèse hydrogéologique régionale

La synthèse hydrogéologique présentée dans le cadre de la présente étude comporte quatre parties. Les données numériques géoréférencées produites dans le cadre du PACES-AT2 sont d'abord présentées (Section 9.1). Certaines couches de données numériques liées aux conditions hydrogéologiques sont subséquentement interprétées dans un cadre correspondant à celui des planches associées au modèle géologique tridimensionnel régional (Section 5.5; Planches 1 à 6) (Section 9.2). Les informations issues de ces planches et des couches de données numériques sont ensuite interprétées dans un cadre plus large, dans l'optique de définir des contextes hydrogéologiques (CH) régionaux permettant une évaluation intégrée des conditions prévalant au niveau du territoire à l'étude (Section 9.3). Finalement, les perspectives de modélisation hydrogéologique appuyée sur les données issues de la présente étude sont présentées (Section 9.4).

9.1 Sommaire des données numériques disponibles

Les tableaux 9.1.1 et 9.1.2 dressent un sommaire des couches de données numériques géoréférencées produites dans le cadre de la présente étude. Le recensement proposé inclue notamment des couches de données numériques (1) tirées de sources antérieures et ayant uniquement été adaptées pour les besoins du PACES-AT2, (2) issues de transformations générées dans le cadre des analyses spatiales liées à la présente étude et (3) issues des travaux de terrain et de laboratoire réalisés dans le cadre du PACES-AT2. En support à l'interprétation du tableau 9.1.2, le tableau 9.1.1 fournit un descriptif de la signification des pictogrammes employés.

Tableau 9.1.1 Signification des pictogrammes









































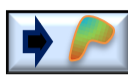



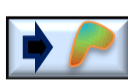




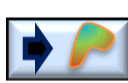












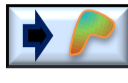

| Pictogrammes | Description / signification |
|---|---|
|  | Les modifications appliquées par rapport aux données initiales (tirées de sources externes) impliquent des démarches liées à la structuration et à la représentation cartographique des données. |
|  | Les données initiales utilisées (tirées de sources externes ou des travaux issus de la présente étude) ont été traitées à l'aide d'outils d'analyse spatiale. La nouvelle couche de données numériques est produite et distincte des données initiales. |
|  | Les données initiales sont utilisées dans la perspective de représenter l'information sous forme de croquis et/ou de schémas conceptuels. Les données sources ne sont pas transformées dans le cadre des démarches associées, bien que la représentation conceptuelle découle d'une interprétation impliquant des simplifications de la complexité du milieu naturel. |
|  | Sauf si spécifié autrement (p. ex. données tirées de la littérature technique et/ou scientifique), les données représentées sont issues de travaux de terrain réalisés dans le cadre de la présente étude (voir chapitres 3 et 4). |
|  | Sauf si spécifié autrement (p. ex. données tirées de la littérature technique et/ou scientifique), les données représentées sont issues de travaux de laboratoire réalisés dans le cadre de la présente étude (voir chapitres 3 et 4). |

Tableau 9.1.2 Sommaire des données numériques géoréférencées disponibles

| Livrables | Source | | | | Transformation | Résultats | | | | | |
|---|---|---|--|--|--|-----------|-------|----------|--------|-----------------------|---------|
| | Point  | Ligne  | Polygone  | Matriciel (Raster)  | | Point | Ligne | Polygone | Raster | Tableur + statistique | Croquis |
| Routes, limites municipales et toponymie | - Toponyme (BDAT) | - Route (BDAT) | - Limites municipales (BDAT) - Quartiers (Ville de Rouyn-Noranda) | NA |  | X | X | X | | | |
| Topographie | - Points cotés (BDAT) - Sommets (L'Observatoire de l'A-T) | - Courbes de niveau (BDAT) | NA | NA |  | X | X | | | | |
| Limites de bassins et de sous-bassins versants | NA | NA | - Bassins versants (CEHQ) | NA |  | | | X | | | |
| Hydrographie | - Rapides (BDAT) | - Cours d'eau (BDAT) | - Étendues d'eau (BDAT) | NA |  | X | X | X | | | |
| Couverture végétale | NA | NA | - Types écologique (SIEF) | NA |  | | | X | | | |
| Milieux humides | NA | NA | - Catégories de terrain (SIEF) - Étendue d'eau (BDTQ) | NA |  | | | X | | | |
| Pédologie | NA | NA | - Dépôts de surface; Classes de drainage (SIEF) | NA |  | | | X | | | |
| Géologie du Quaternaire | - Éléments du Quaternaire (CGC) | - Éléments du Quaternaire (CGC) | - Unités de dépôts de surface(CGC) | NA |  | X | X | X | | | |
| Géologie du socle rocheux | NA | - Failles (SIGEOM - MRN) | - Unités lithologiques (SIGEOM - MRN) | NA |  | | X | X | | | |
| Conditions climatiques | -Apport verticaux (Poirier et al., 2012) | NA | NA | NA |   | | | | X | | |
| Occupation du sol | NA | NA | - Catégories de terrain (SIEF) | NA |  | | | X | | | |
| Affectation du territoire | NA | NA | - Grandes affectations du territoire (MRC d'Abitibi-Ouest, MRC du Témiscamingue, Ville de Rouyn-Noranda) | NA |  | | | X | | | |
| Modèle altimétrique numérique (MAN) | - Points cotés (BDTQ) | - Cours d'eau orientés (CEHQ) - Courbes de niveau (BDTQ) | - Plans d'eau (BDTQ) | NA |   | | | | X | | |
| Pente du sol | NA | NA | NA | MAN |  | | | | X | | |
| Épaisseur des dépôts meubles (EDM) | - Affleurements (SIGEOM – MRN, CGC) - Forages (SIGEOM MRN, SIH, Consultants) | NA | - Unités de dépôts de surface(CGC) | TSR |   | | | | X | | |
| Topographie du socle rocheux (TSR) | - Affleurements (SIGEOM – MRN, CGC) - Forages (SIGEOM MRN, SIH, Consultants) | NA | - Unités de dépôts de surface(CGC) | EDM |  | | | | X | | |
| Épaisseur d'argile (EA) | - Forages (SIGEOM MRN, SIH, Consultants) | NA | - Unités de dépôts de surface(CGC) | MAN |   | | | | X | | |
| Architecture des formations superficielles (AFS) | NA | NA | - Unités de dépôts de surface(CGC) | EDM EA |  | | | | X | | |
| Coupes stratigraphiques | NA | NA | - Unités de dépôts de surface(CGC) | MAN EDM EA |  | | | | | | X |

| Livrables | Source | | | | Transformation | Résultats | | | | | |
|--|--|---|--|--|--|-----------|-------|----------|--------|-----------------------|---------|
| | Point  | Ligne  | Polygone  | Matriciel (Raster)  | | Point | Ligne | Polygone | Raster | Tableur + statistique | Croquis |
| Modèle géologique | NA | NA | - Unités de dépôts de surface(CGC) | MAN EDM EA AFS |  | | | | | | X |
| Propriétés hydrauliques | NA | NA | NA | NA |  | X | | | | X | X |
| Conditions d'écoulement de la nappe | NA | NA | NA | AFS |  | | | | | | |
| Piézométrie et écoulement régional | - Données du SIH; - Données terrain - Sources ponctuelles (Nadeau, 2011) | - Sources diffuse (Nadeau, 2011) | - Plan d'eau (BDTQ) | AFS MAN |   | | | X | X | | |
| Fonctions hydrogéologiques des tourbières | NA | NA | - Unités de dépôts de surface(CGC) - Plan d'eau (CGC, BDAT) | NA |   | | | | | X | |
| Lien hydrauliques aquifères – plans d'eau de surface | NA | NA | - Unités de dépôts de surface(CGC) - Plan d'eau (CGC, BDAT) | NA |   | | | | | X | |
| Bilan hydrologique et recharge | - Apport verticaux (Poirier et al., 2012) | NA | - Occupation du sol (SIEF) | AFS |   | | | | X | | |
| Zone préférentielles de recharge et de résurgence | - Sources ponctuelles (Nadeau, 2011) | - Sources diffuse (Nadeau, 2011) | NA | NA |  | X | X | | | | |
| Épaisseurs et limites des aquifères régionaux | NA | NA | NA | EDM EA Piézométrie |  | | | | | X | |
| Vulnérabilité de l'eau souterraine | - Propriété hydraulique | NA | NA | Pente Piézométrie Recharge MAN EDM EA AFS |  | | | | X | | |
| Géochimie des précipitations | - Isotopes stables de la molécule d'eau (GEOTOP) - Géochimie générale (Maxxam) | NA | NA | NA |   | X | | | | X | X |
| Géochimie des eaux de surface | - Géochimie générale (Maxxam) - Isotopes stables de la molécule d'eau (GEOTOP) | NA | NA | NA |   | X | | | | X | X |
| Géochimie des eaux souterraines | - Géochimie générale (Maxxam) - Isotopes stables de la molécule d'eau (GEOTOP) | NA | NA | NA |   | X | | | | X | X |
| Usage de la ressource | - Réseaux municipaux (MDDEP) (AANDC) - Population et population desservi par un réseau d'aqueduc (Mamrot) - Grands préleveurs (MDDELCC) - Nombre de tête animal (MAPAQ) | NA | NA | NA |  | | | | | X | |

| Livrables | Source | | | | Transformation | Résultats | | | | | |
|---|---|---|--|--|---|-----------|-------|----------|--------|-----------------------|---------|
| | Point  | Ligne  | Polygone  | Matriciel (Raster)  | | Point | Ligne | Polygone | Raster | Tableur + statistique | Croquis |
| Activités anthropiques potentiellement polluantes | -Aires d'accumulation liées à l'industrie minière (Compilation GRES-UQAT) - DET fermés (GRES-UQAT) - Terrains contaminés (MDDEFP) - Catégories de terrain (SIEF) | NA | - Codes des perturbations d'origine humaine (SIEF) - Eskers et moraines (CGC) | NA |  | X | | X | | | |
| Indice de densité d'activités anthropiques pondérée par leur risque de pollution | - CUBF (MAMROT) | NA | NA | NA |  | | | | X | | |
| Emplacement des stations météorologiques, hydrométriques et de suivi de la nappe | - Stations hydrométriques (CEHQ, Gouv. Canada) - Stations météorologiques (MDDELCC, Gouv. Canada, GRES-UQAT) - Stations piézométriques (GRES-UQAT, MDDELCC) | NA | - Bassins versants des stations hydrométriques (CEHQ) | NA |  | X | | | X | | |

Note: AFS : Architecture des formations superficielles; EA : Épaisseur d'argile; EDM : Épaisseur de dépôts meubles; MAN : Modèle altimétrique numérique; TRS : Topographie du socle rocheux

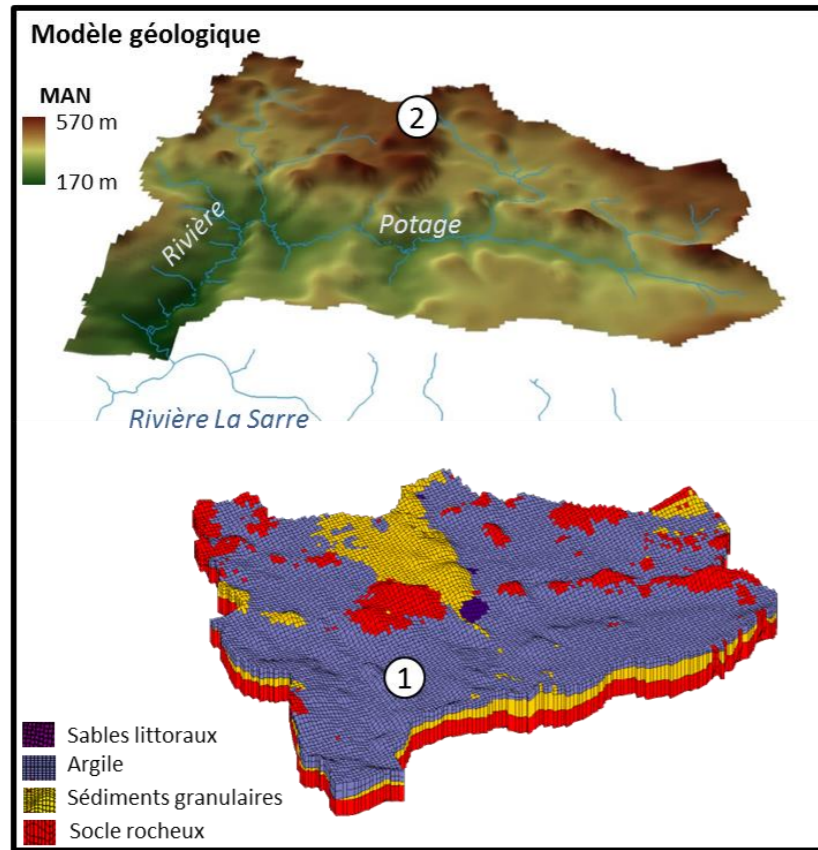
9.2 Représentations tridimensionnelles locales

Les planches produites en lien avec la description du modèle géologique tridimensionnel régional sont reprises dans le cadre de la présente sous-section dans la perspective de permettre la représentation et l'interprétation des conditions hydrogéologiques à l'échelle locale. Les informations retenues pour la représentation des conditions hydrogéologiques incluent (1) le modèle altimétrique numérique, (2) la représentation du modèle tridimensionnel, (3) la représentation de la surface piézométrique, (4) les conditions d'écoulement de l'eau souterraine, (4) les taux de recharge et (5) la vulnérabilité de l'eau souterraine évaluée selon la méthode DRASTIC. En complément aux informations rapportées directement sur les planches, le tableau 9.2.1 dresse un sommaire des éléments retenus afin de justifier le choix des secteurs représentés sur les planches.

Tableau 9.2.1 Justifications relatives au choix des secteurs illustrés sur les planches hydrogéologiques

| Planches | Secteur représenté | Descriptions relatives à l'environnement géologique (Section 5.5) | Descriptions relatives aux conditions hydrogéologiques |
|----------|-----------------------------|---|--|
| 1 | Rivière Portage | Bassin versant incorporant la partie sud du principal segment d'esker de l'Abitibi-Ouest en termes de superficie apparente à la surface. | Planche permettant d'illustrer la position d'une formation fluvioglaciale (esker) au sein de l'environnement géologique et son influence sur les conditions d'écoulement, les taux de recharge, et les indices de vulnérabilité DRASTIC. |
| 2 | Rivière Maine | Bassin versant illustrant le patron typique de la plaine argileuse ponctuée d'affleurements rocheux au niveau de l'Abitibi-Ouest. | Planche permettant d'illustrer les conditions hydrogéologiques au sein d'un bassin dominé par des conditions de nappe captive, trait caractéristique de l'Abitibi-Ouest. |
| 3 | Rivière Dagenais | Bassin versant illustrant la transition entre les secteurs d'affleurements rocheux et la plaine argileuse à l'est du lac Abitibi | Planche permettant d'illustrer les changements induits au niveau des conditions hydrogéologiques au niveau de la transition entre un secteur d'affleurements rocheux et la plaine argileuse. |
| 4 | Secteur Duparquet-Kinojévis | Secteur illustrant la limite entre les bassins versants de la Baie-James (au nord) et du Saint-Laurent (au sud) sur le territoire de la ville de Rouyn-Noranda. | Planche permettant une représentation de la partie amont des grands systèmes hydrogéologiques régionaux ainsi que l'influence d'une formation fluvioglaciale sur les conditions hydrogéologiques y prévalant. |
| 5 | Rivière à la Loutre | Secteur illustrant la configuration de l'un des principaux bassins versants du Témiscamingue. L'exutoire du bassin modélisé correspond au lac Témiscamingue. | Planche permettant d'illustrer les conditions hydrogéologiques associées au contexte de plaine argileuse caractérisé par une alternance de secteurs d'aquifères à nappe captive et libre au niveau des basses terres du lac Témiscamingue. |
| 6 | Secteur du lac Devlin | Secteur illustrant la configuration des dépôts meubles en périphérie de la Moraine d'Harricana, dans la portion SE du territoire d'étude, au Témiscamingue. | Planche permettant d'illustrer les conditions hydrogéologiques associées à la Moraine d'Harricana et à un vaste secteur de till sur roc dans un secteur situé en amont du lac Simard. |

Planche 1: Rivière Portage



- ① L'accumulation d'argile dans les points bas, et plus particulièrement au sud de la faille, engendre des conditions de nappe captive, limite la recharge et réduit la vulnérabilité de l'eau souterraine.
- ② Les secteurs élevés du bassin versant sont principalement en condition de nappe libre. Les zones préférentielles de recharge se retrouvent dans la portion amont du système d'écoulement souterrain et constituent les secteurs les plus vulnérables.
- ③ L'écoulement souterrain semble suivre l'écoulement de surface convergeant le long de la faille et s'écoulant vers exutoire, la rivière La Sarre. Cette même faille serait susceptible de dicter le patron d'écoulement de l'eau souterraine au sein du socle rocheux.

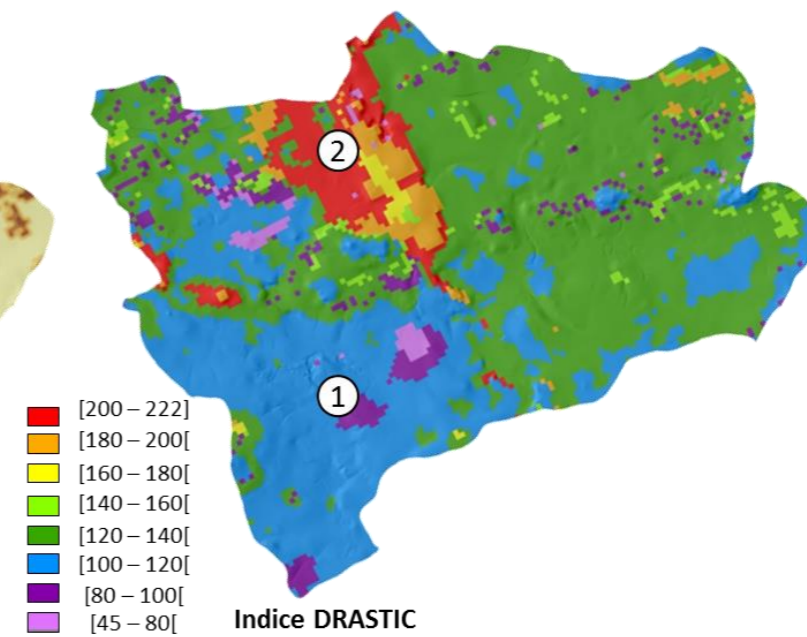
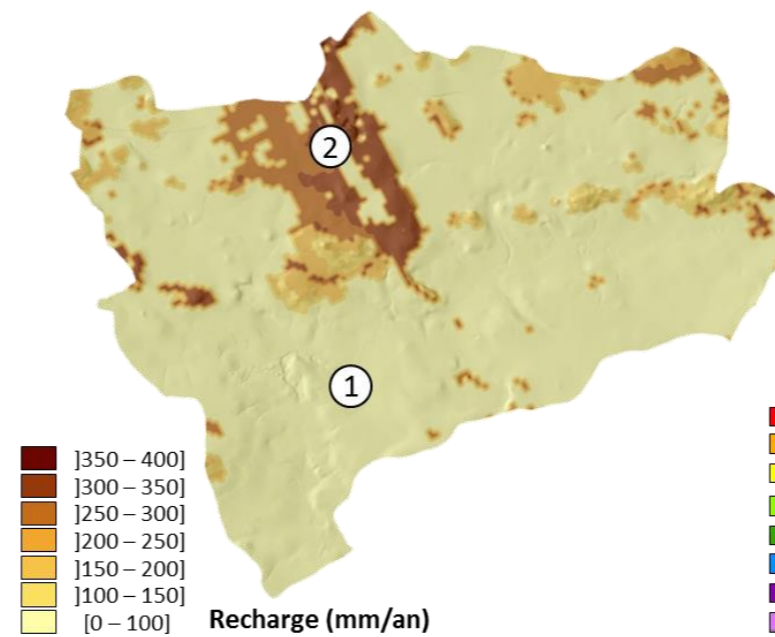
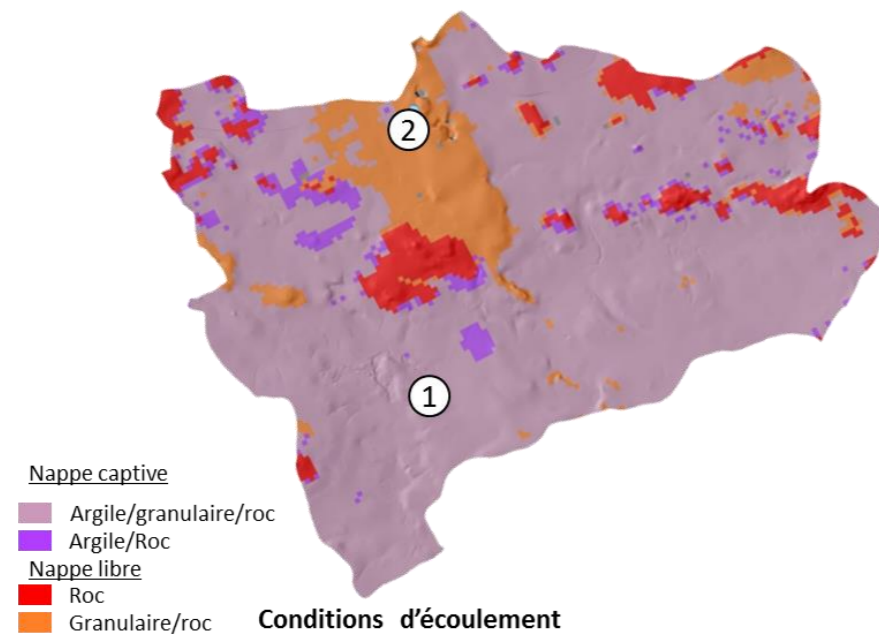
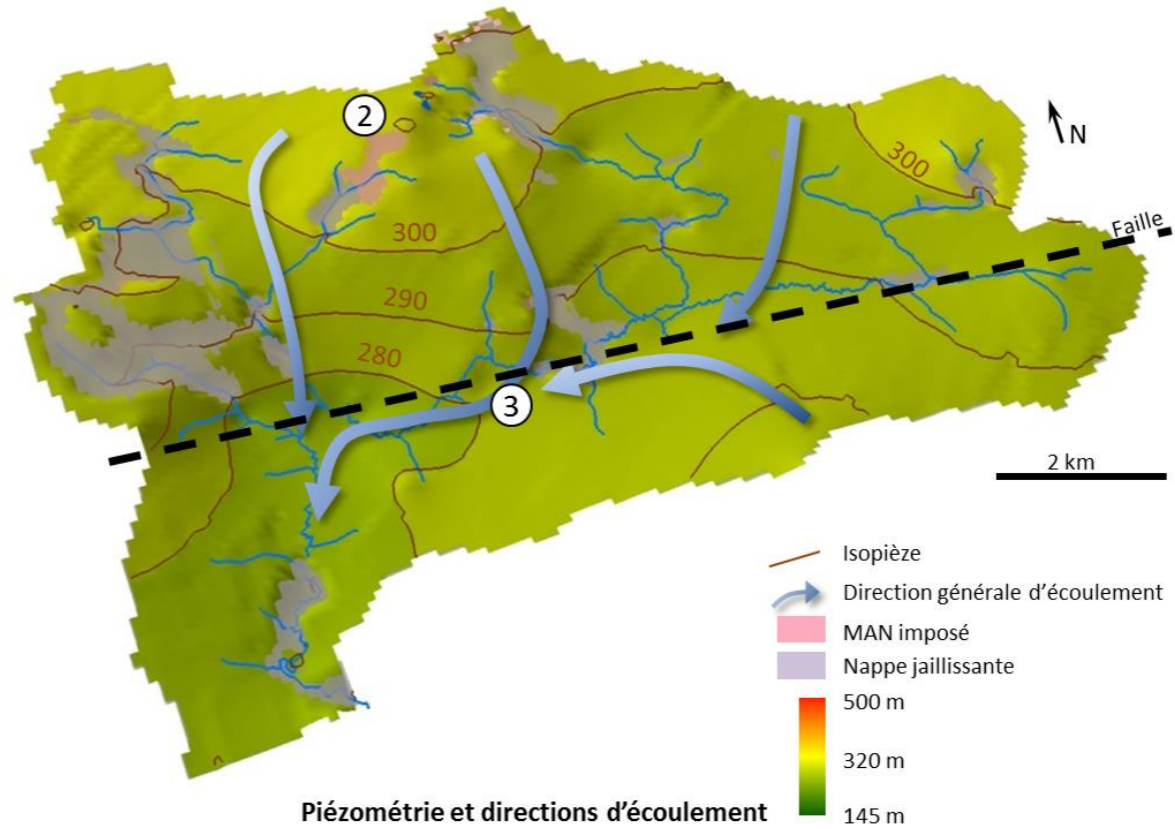
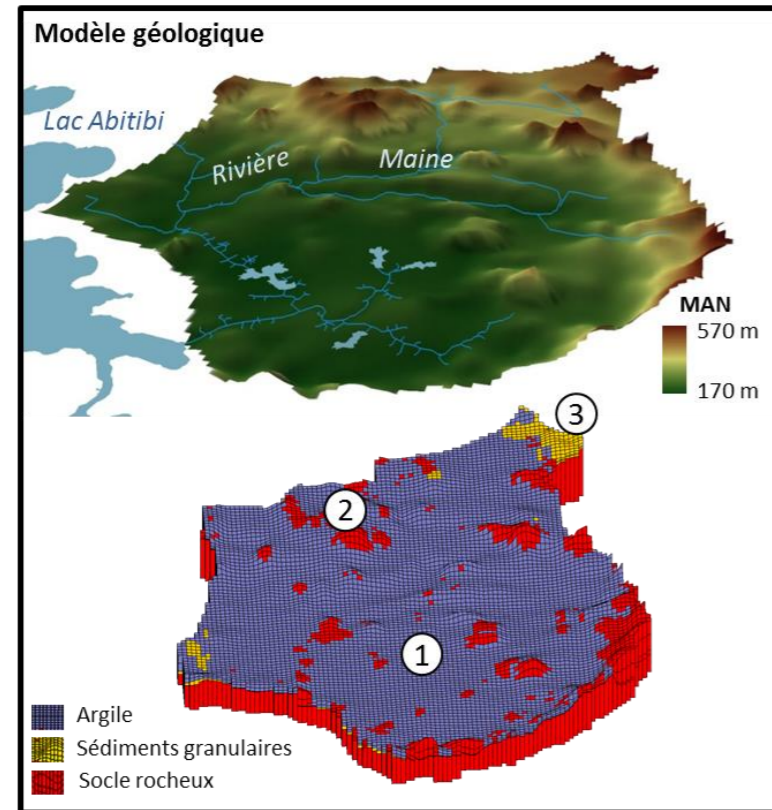


Planche 2 : Rivière Maine



- ① La prédominance d'argile au sein du bassin engendre des conditions de nappe captive et limite les taux de recharge et la vulnérabilité de l'eau souterraine.
- ② L'esker délimitant le nord du bassin ainsi que quelques affleurements rocheux épars constituent les uniques secteurs en condition de nappe libre et favorables à la recharge.
- ③ Le secteur le plus vulnérable correspond au segment d'eskers au nord du bassin versant.
- ④ L'écoulement générale se fait du nord-est au sud-ouest, jusqu'au lac Abitibi, et ne semble pas suivre le tracé de la rivière Maine.

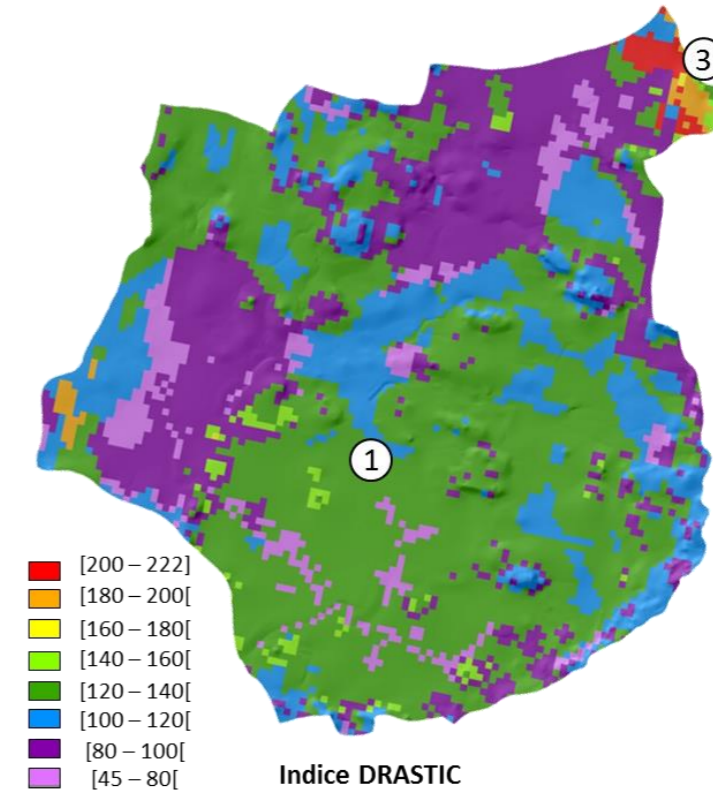
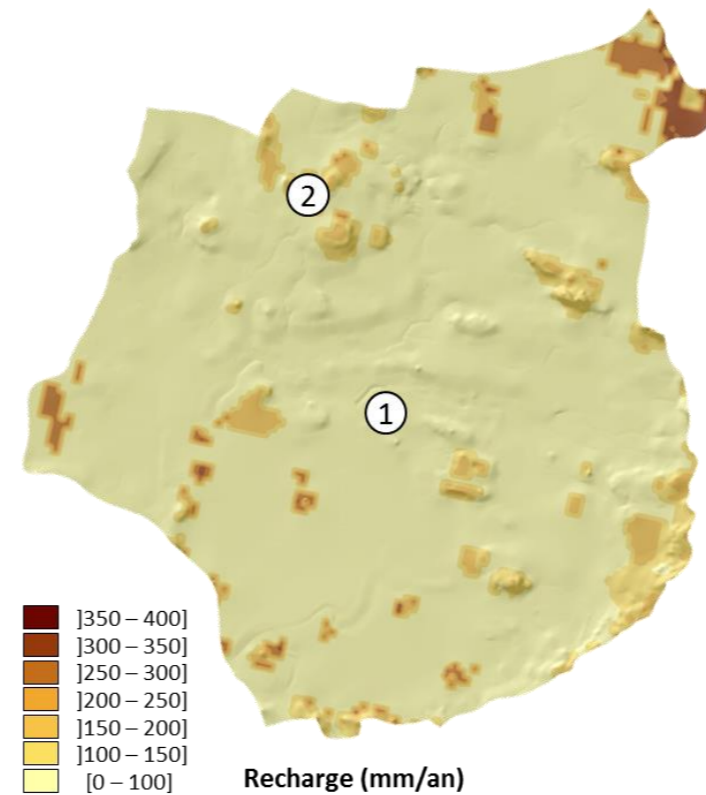
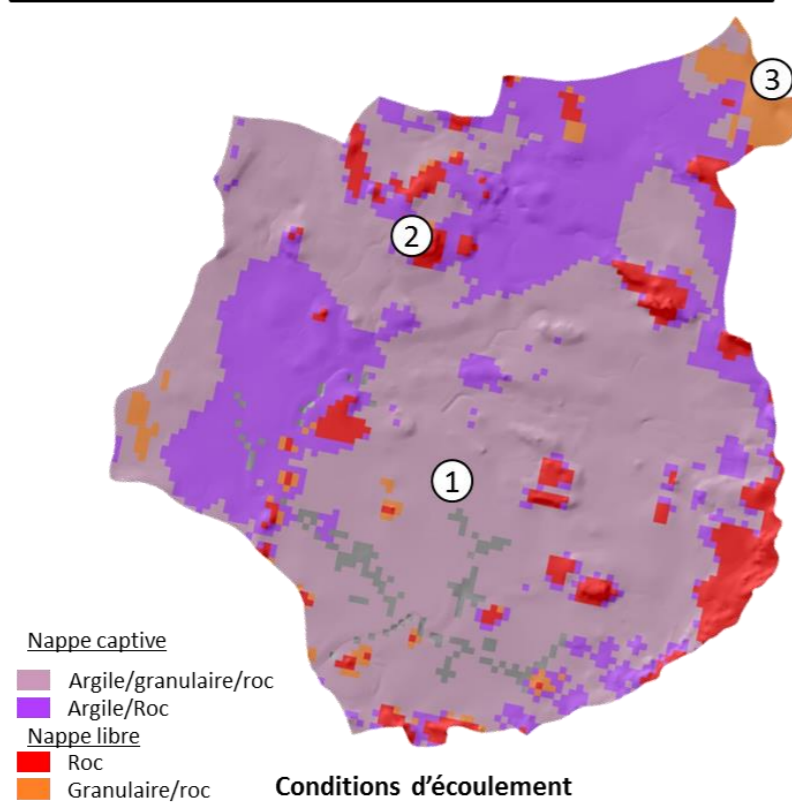
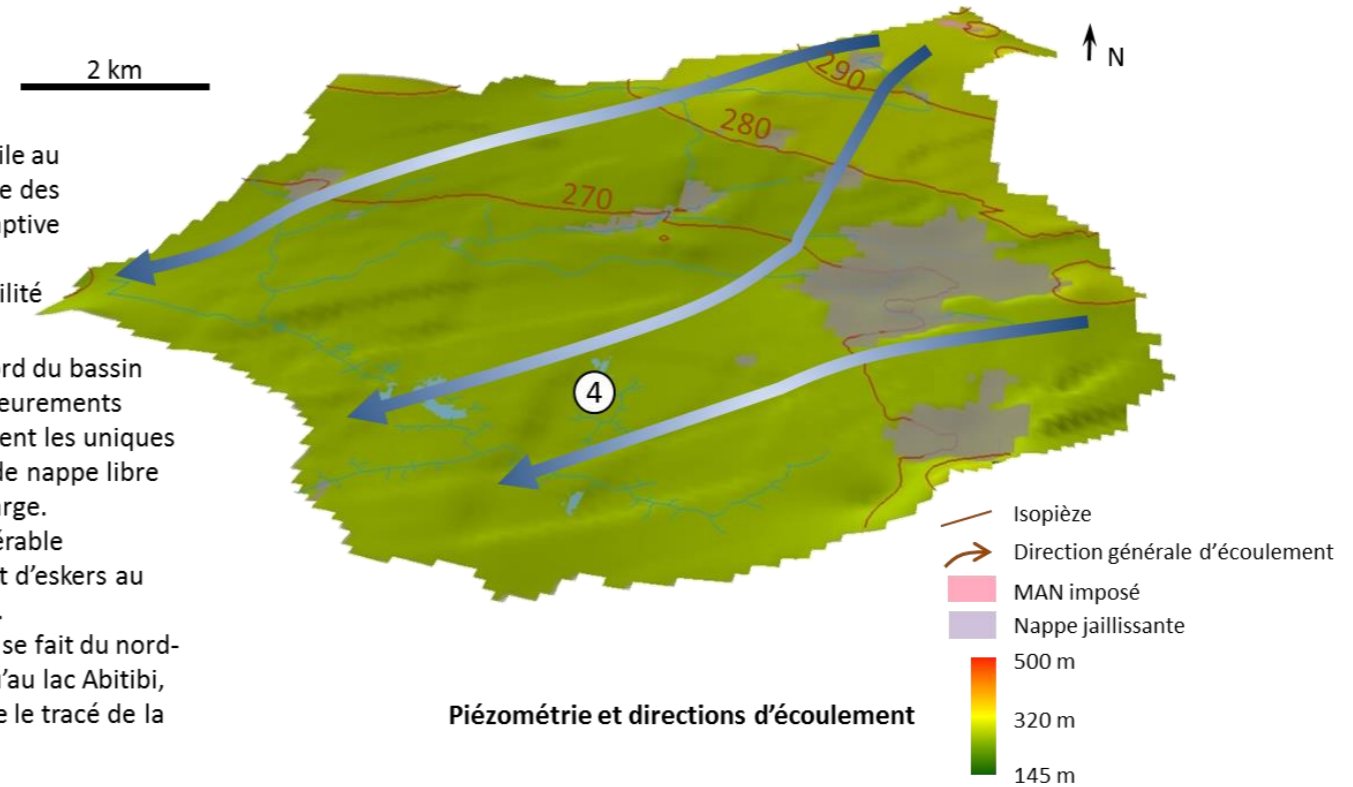
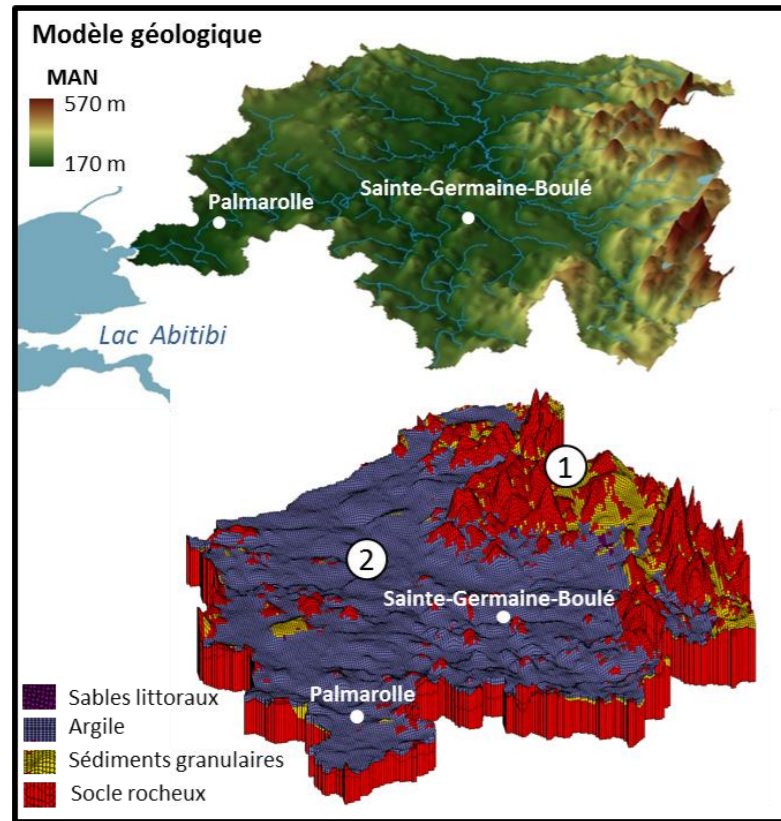
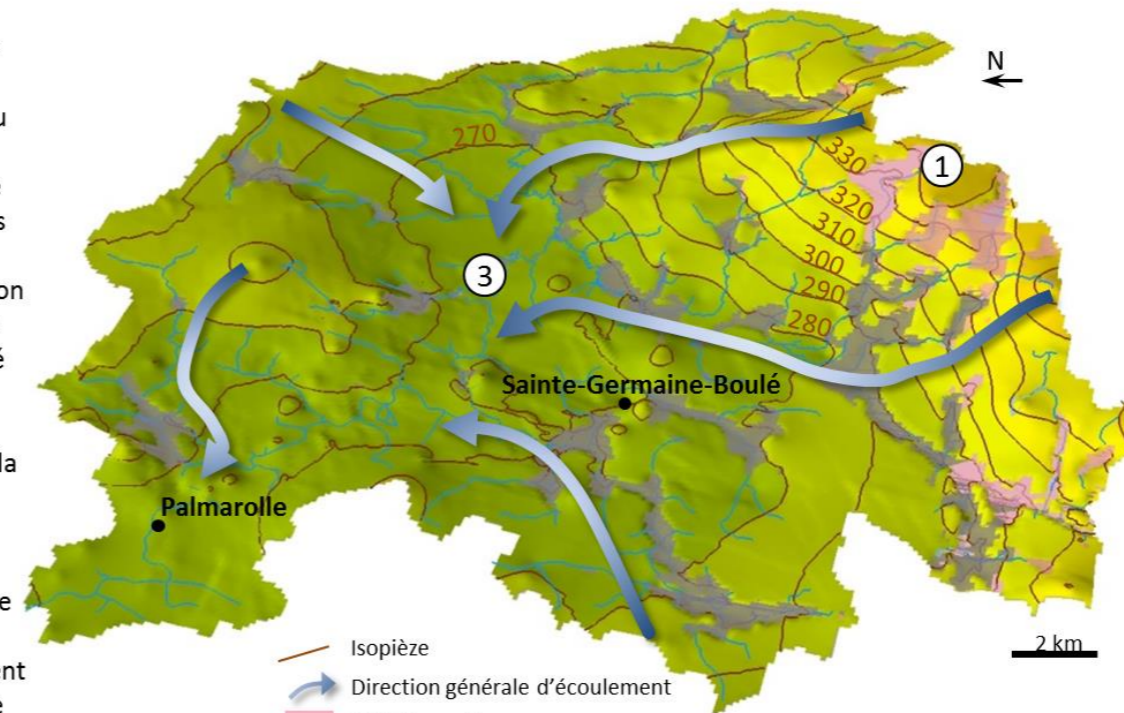


Planche 3 : Rivière Dagenais



- 1 Le relief accidenté délimitant le sud-est du bassin versant est constitué d'aquifères à nappe libre (granulaires ou rocheux) correspondant à la principale zone de recharge, à l'amont du système d'écoulement. Il s'agit du secteur le plus vulnérable du bassin.
- 2 La présence d'argile sur une vaste portion du bassin crée des conditions de nappe captive où la recharge et la vulnérabilité sont faibles.
- 3 L'écoulement souterrain se fait principalement des hauts rocheux vers la plaine argileuse pour converger vers le centre du bassin et suivre le tracé de la rivière Dagenais jusqu'à l'exutoire correspondant au lac Abitibi. La distance séparant les isocontours de la surface piézométrique suggèrent que le gradient hydraulique y est plus faible que dans le secteur amont.



Piezométrie et directions d'écoulement

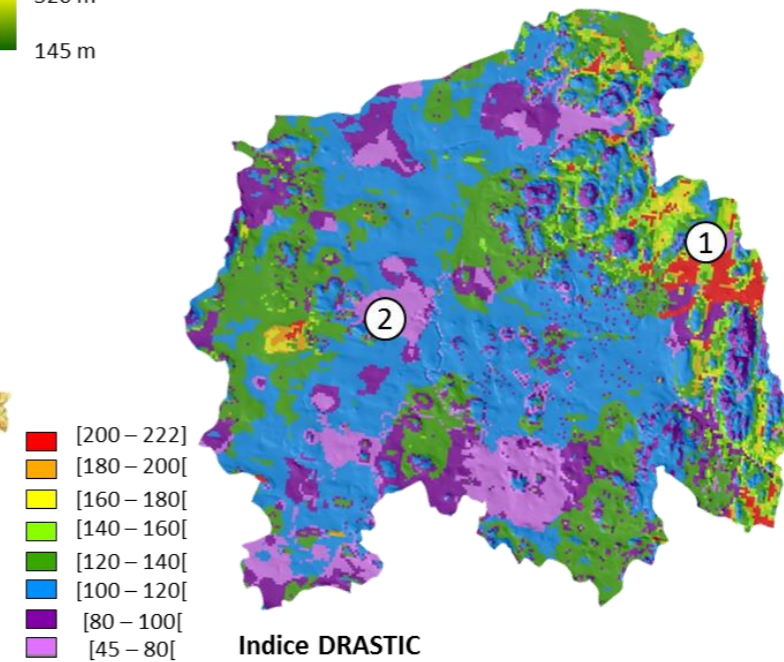
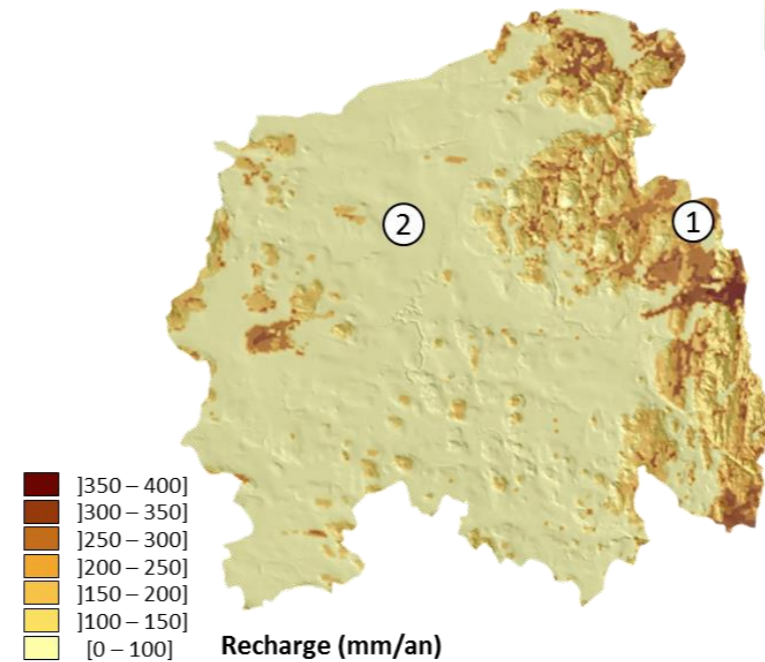
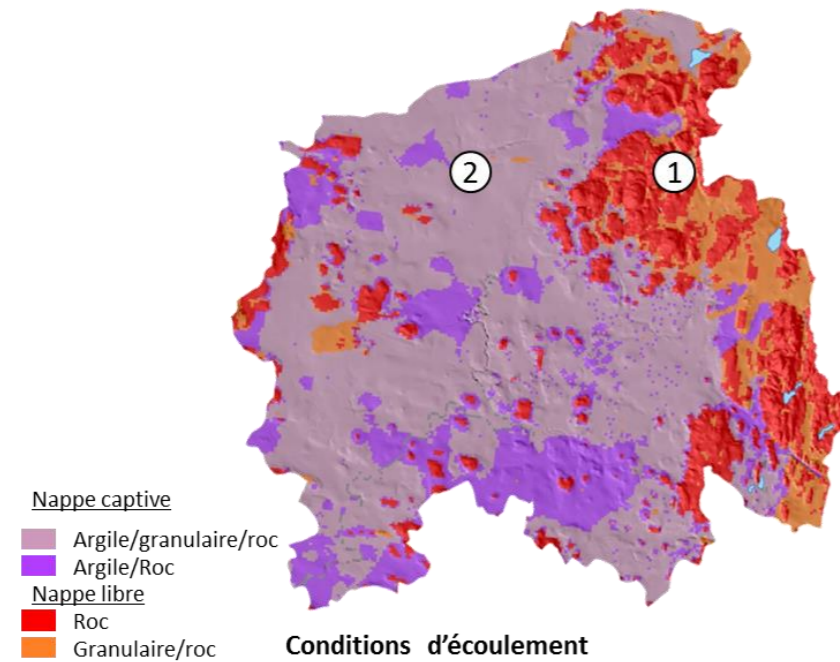
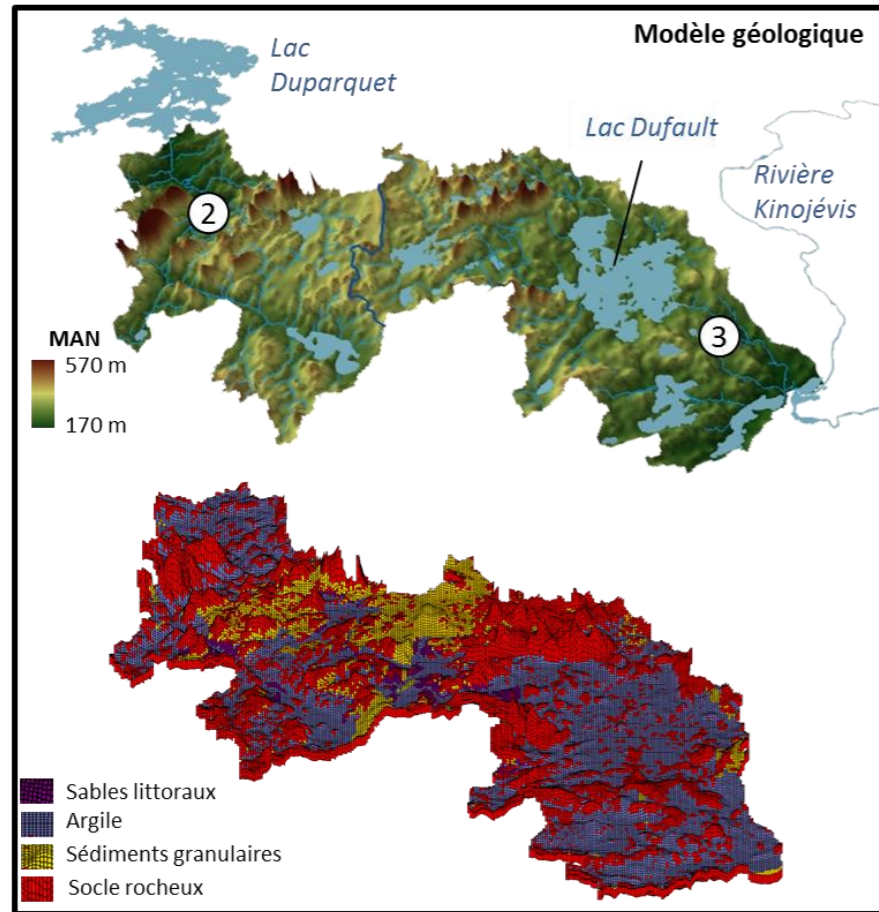


Planche 4 : Duparquet - Kinojévis



- ① La position de la ligne de partage des eaux de surface continentale correspond à un aquifère granulaire à nappe libre constituant la principale zone de recharge et l'amont du système d'écoulement de l'eau souterraine. La vulnérabilité de l'eau souterraine y est élevée.
- ② L'écoulement de l'eau souterraine à l'ouest de la ligne de partage des eaux semble être dicté par la topographie du terrain et converge vers le tracé principal du réseau hydrographique.
- ③ À l'est, la topographie légèrement moins accidentée semble permettre un écoulement souterrain divergeant et ne suivant pas les limites du bassin.

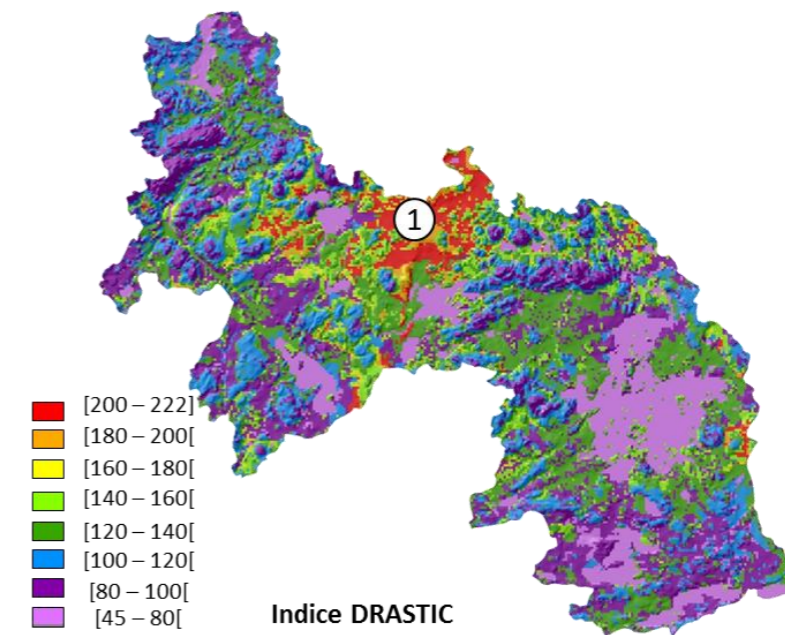
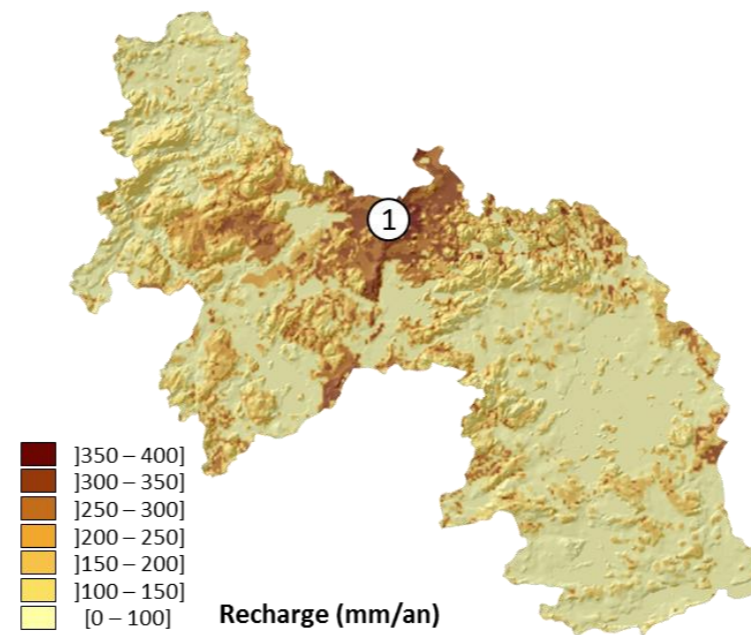
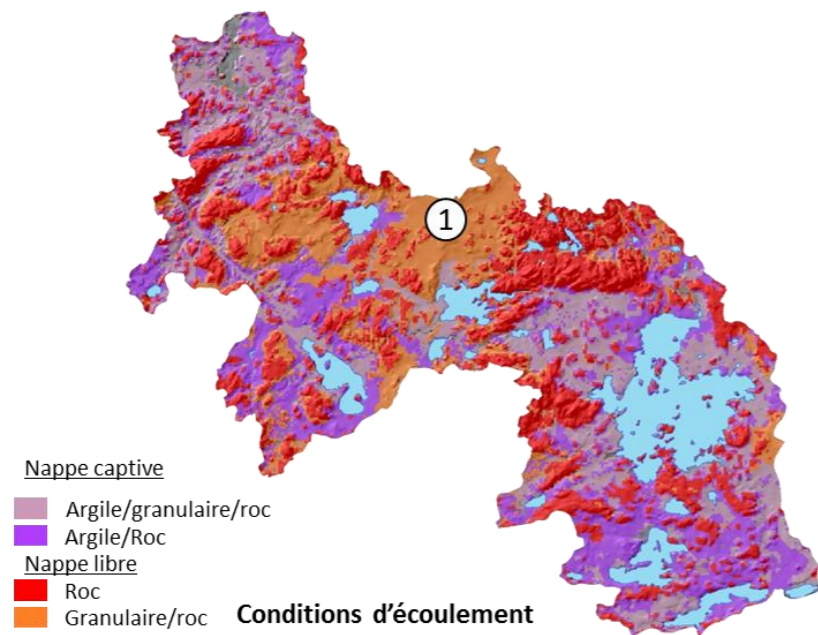
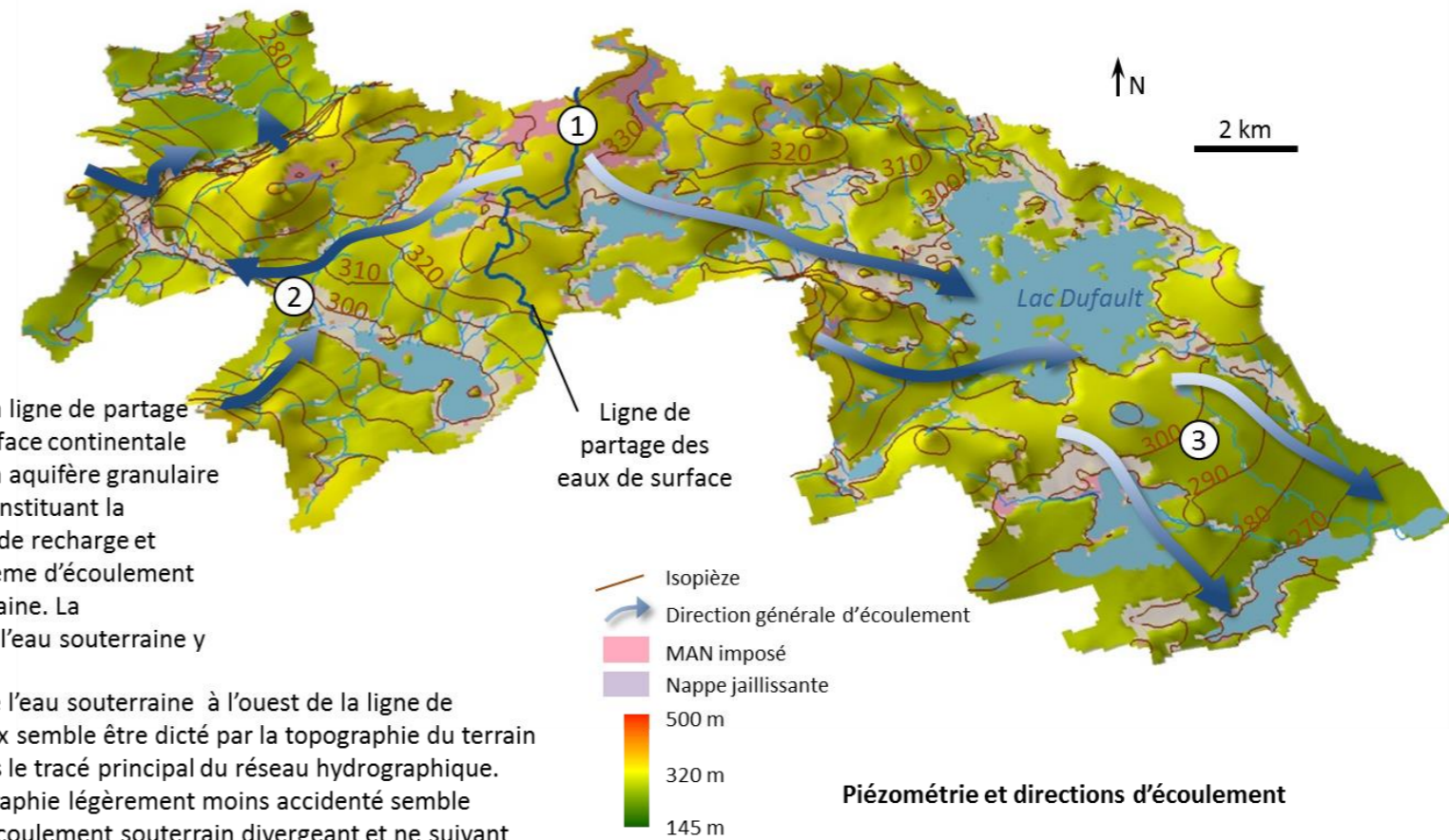
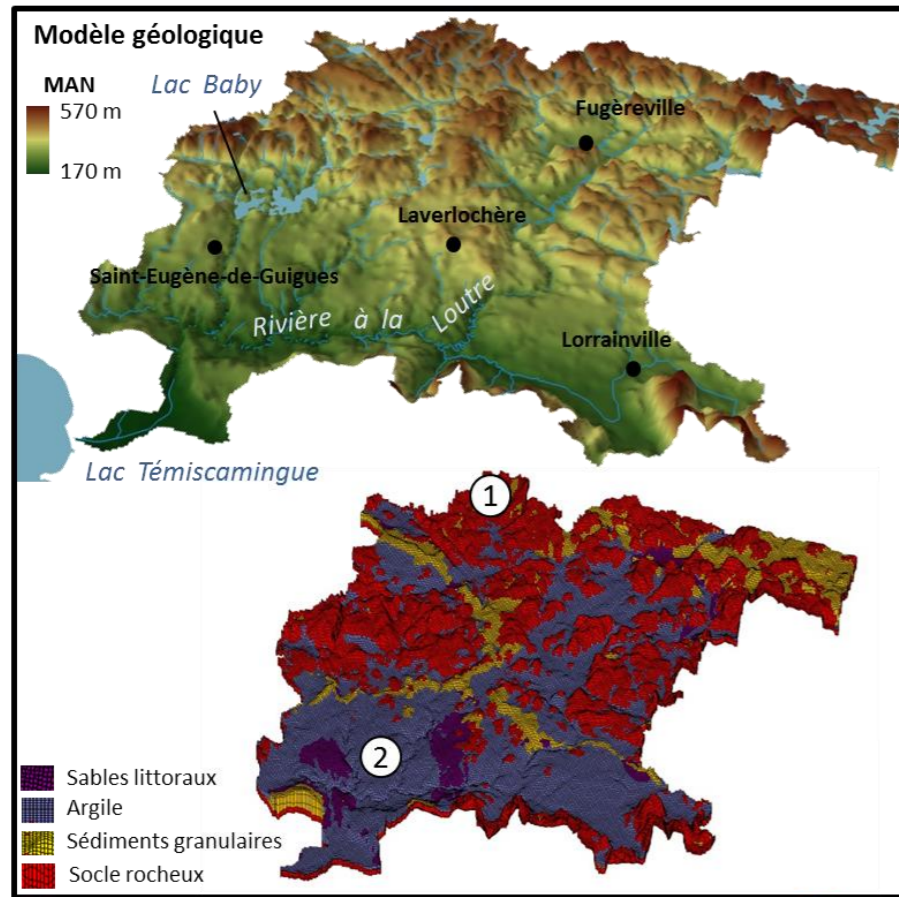


Planche 5 : Rivière à la Loutre



- ① La portion est du bassin versant présente plusieurs zones d'affleurements rocheux créant généralement des conditions de nappe libre.
- ② La portion ouest du bassin chevauche les basses terres du Témiscamingue. L'argile y est accumulé de façon préférentielle, créant des conditions de nappe captive et limitant la recharge.
- ③ La recharge s'effectue principalement dans les zones d'affleurements rocheux et le long des formations granulaires tel que la Moraine de Laverlochère.
- ④ L'écoulement de l'eau souterraine s'effectue depuis les hauts rocheux de l'est du bassin jusqu'au lac Témiscamingue, suivant le tracé du réseau hydrographique imposé par la topographie.
- ⑤ La vulnérabilité est faible au niveau de la plaine près du lac Témiscamingue. Elle s'accroît toutefois le long de l'axe des formations granulaires et dans les secteurs élevés du socle rocheux.



Piezométrie et directions d'écoulement

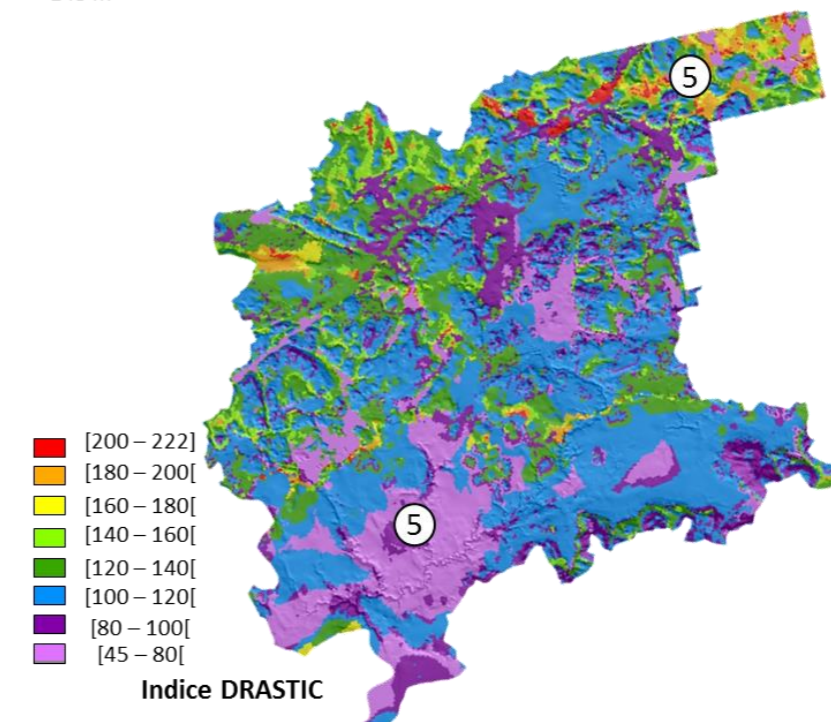
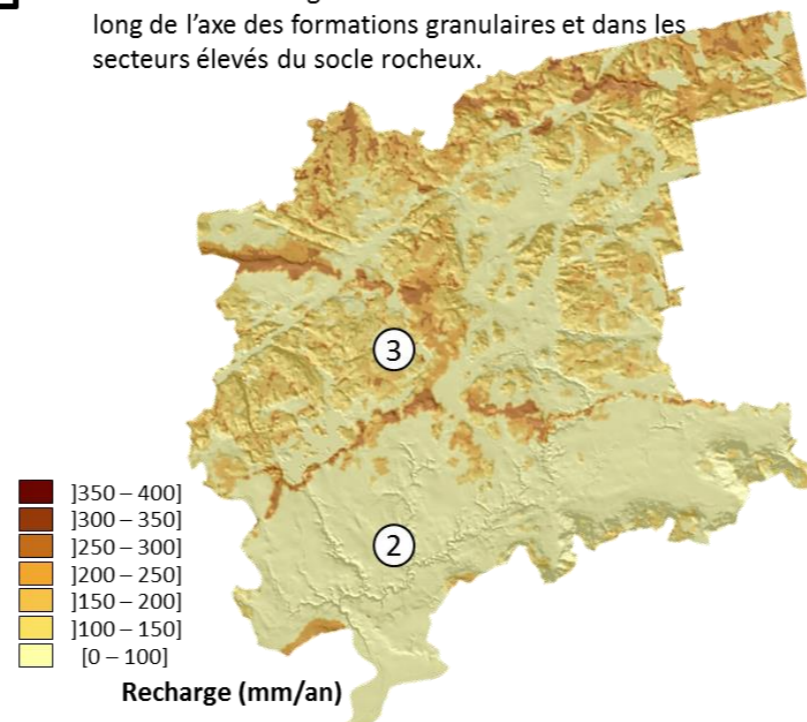
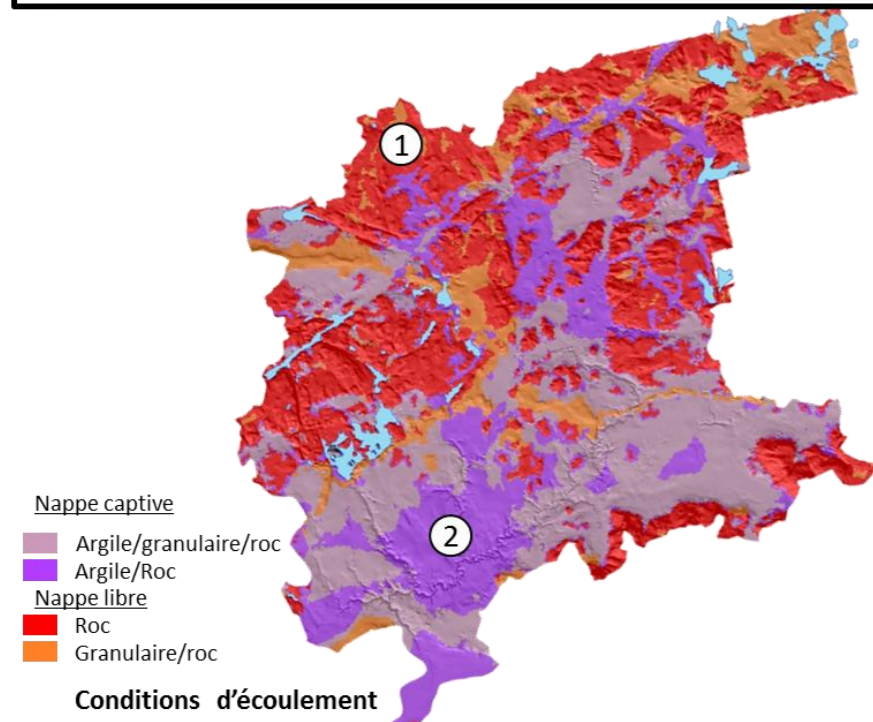
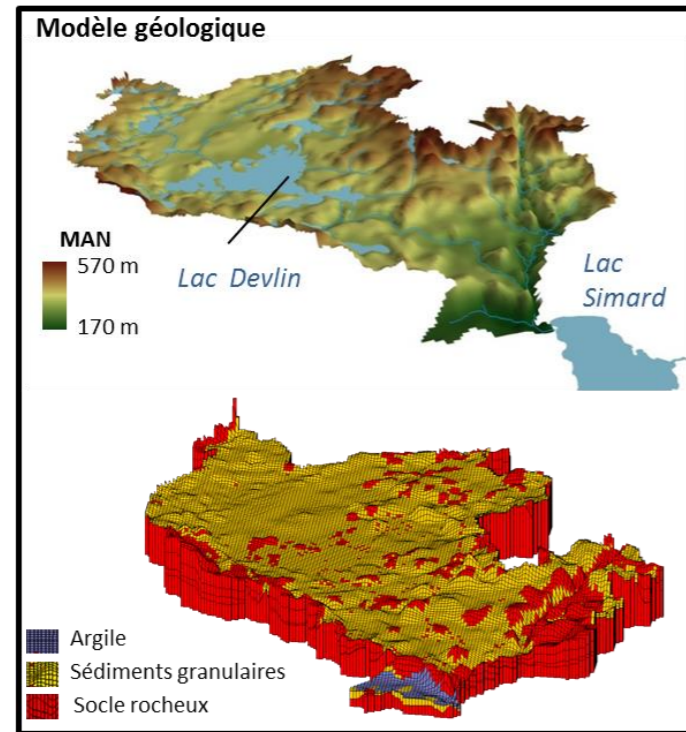
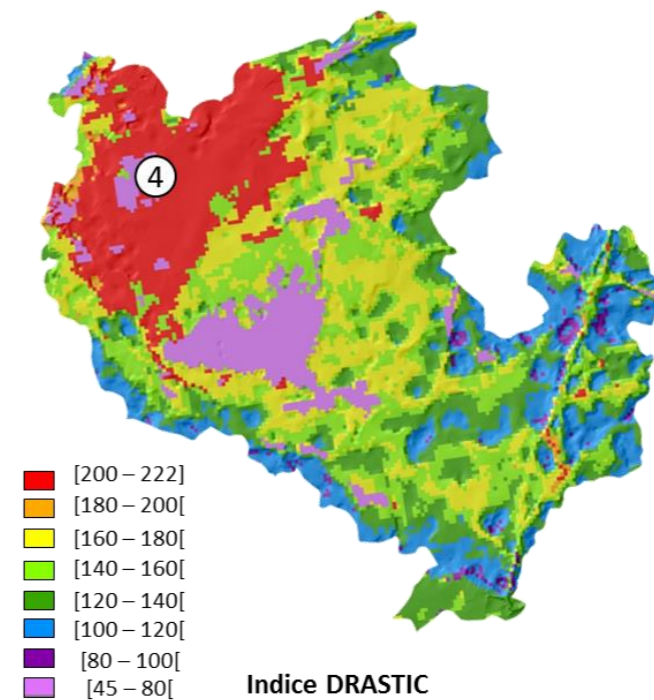
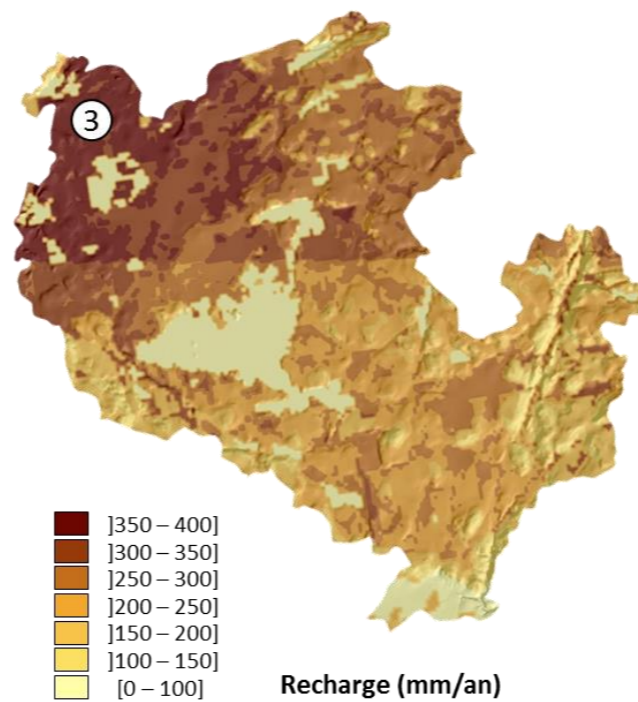
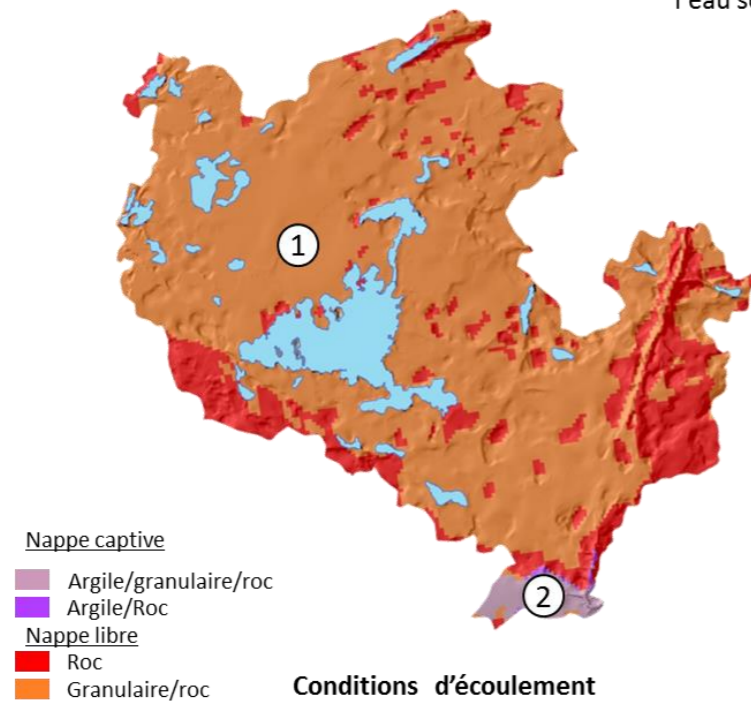
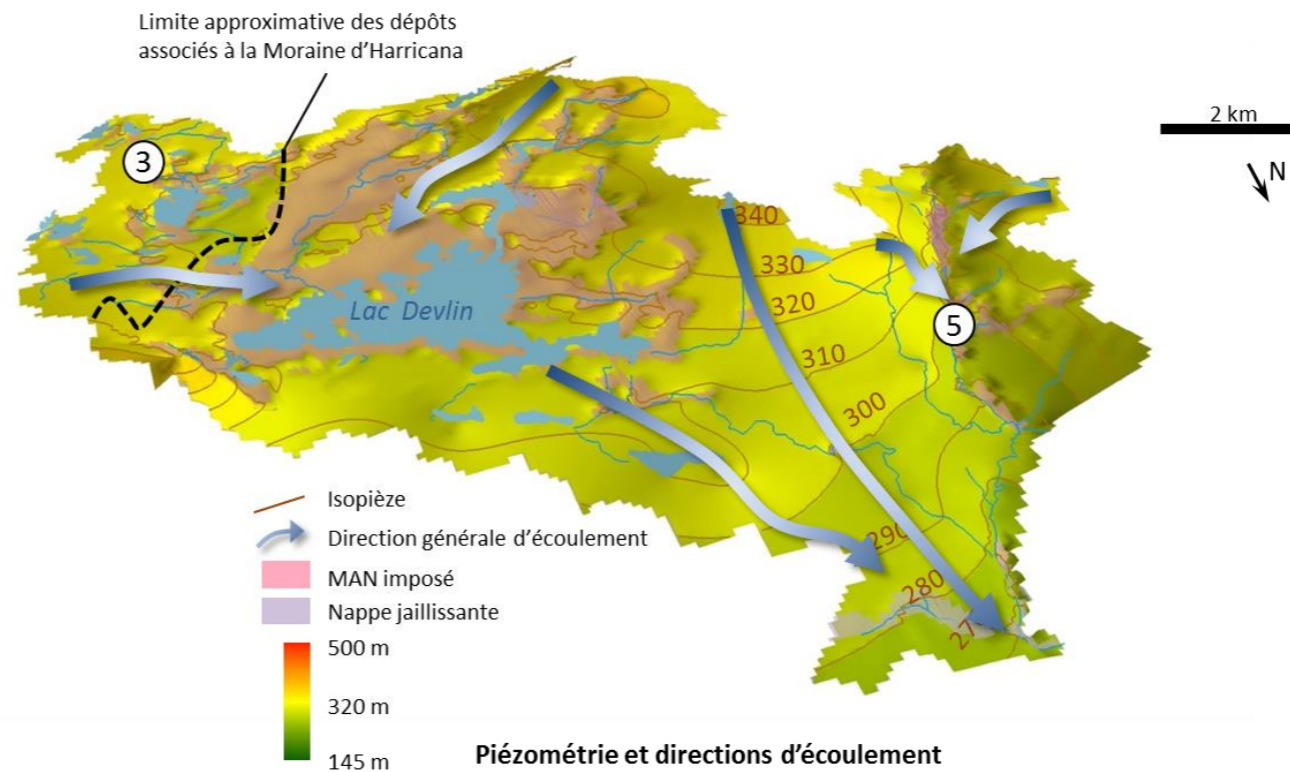


Planche 6 : Secteur du lac Devlin



- ① Le bassin versant est généralement en conditions de nappe libre (aquifère rocheux et granulaires).
- ② Un petit secteur à l'aval du bassin présente une condition de nappe captive dû à la présence d'argile.
- ③ La recharge, élevée sur la quasi-totalité du bassin, atteint ses valeurs maximales le long de la Moraine d'Harricana.
- ④ La Moraine d'Harricana se trouve à l'amont de du système d'écoulement de l'eau souterraine qui convergent en premier lieu vers le lac Devlin puis s'écoule vers le lac Simard. Ce secteur est aussi le plus vulnérable du bassin.
- ⑤ La faille localisée dans la portion ouest du bassin est susceptible de dicter le patron d'écoulement de l'eau souterraine.



9.3 Contextes hydrogéologiques régionaux

En complément aux représentations d'échelle locale préalablement présentées (Section 9.2; planches 1 à 6), la présente section est construite dans l'optique de proposer des regroupements permettant l'interprétation des conditions hydrogéologiques à l'échelle régionale. La stratégie retenue dans le cadre de la présente étude est entièrement adaptée de l'approche proposée par Cloutier et al., (2013a). En ce sens, sept contextes hydrogéologiques (CH) sont définis sur la base de regroupements de séquences stratigraphiques (Section 5.4; carte 16) afin de discuter des conditions régionales sur la base de regroupements :

- Contexte hydrogéologique 1 (CH1) : Affleurements rocheux et till;
- Contexte hydrogéologique 2 (CH2) : Tourbières sur roc;
- Contexte hydrogéologique 3 (CH3) : Formations granulaires;
- Contexte hydrogéologique 4 (CH4) : Tourbières sur formations granulaires;
- Contexte hydrogéologique 5 (CH5) : Flancs d'eskers et environnements de transition;
- Contexte hydrogéologique 6 (CH6) : Tourbières sur argile;
- Contexte hydrogéologique 7 (CH7) : Plaine argileuse;

L'information associée aux sept CH préalablement définis est abordée de trois façons afin de dresser le portrait régional. **En premier lieu**, le tableau 9.3.1 présente le sommaire des données quantitatives relatives (1) au modèle altimétrique numérique (Section 5.1; Carte 12), (2) à la pente du sol (Section 5.1; Carte 13), (3) aux épaisseurs de dépôts meubles (Section 5.3; Carte 14), (4) à la porosité (Section 6.1), (5) à la conductivité hydraulique (Section 6.1), (6) aux taux de recharge (Section 6.6; Carte 19), (7) à la vulnérabilité de l'eau souterraine évaluée selon la méthode de l'indice DRASTIC (Section 6.9; Carte 21) et (8) un sommaire relatif aux conditions hydrogéochimiques. Les données quantitatives présentées dans ce tableau permettent une première interprétation des caractéristiques associées aux différents CH. **En second lieu**, l'information est représentée de façon schématique au niveau d'un bloc diagramme conceptuel illustrant les conditions hydrogéologiques prévalant au niveau du territoire à l'étude (Figure 9.3.1). Le bloc diagramme (Figure 9.3.1) permet une représentation de la position des différents contextes hydrogéologiques au sein de l'environnement et une illustration conceptuelle des particularités propres aux différents CH. **En troisième lieu**, l'information est présentée sous la forme d'une carte régionale illustrant la distribution spatiale des CH au niveau du territoire PACES-AT2 (Figure 9.3.2). En complément à cette figure, le tableau 9.3.2 fournit des informations qualitatives relatives au portrait régional. Les exutoires régionaux associés aux lacs Abitibi (au nord) et Témiscamingue (au sud) correspondent aux extrémités de la coupe géologique synthèse proposée à la section 5.5 (Figure 5.5.2).

Tableau 9.3.1 Sommaire des caractéristiques hydrogéologiques associées aux contextes hydrogéologiques identifiés au niveau du territoire à l'étude

| Contextes hydrogéologiques | Séquence | Schéma ¹ | UH ² | Altitudes (m) | | | Pentes du sol (degrés) | | | Épaisseurs de dépôts meubles (m) | | | Porosité | | | Conductivité hydraulique | | | Recharge (mm/an) | | | DRASTIC | | | Caractéristiques géochimiques | Couverture territoriale (%) | | | | | | | | | |
|----------------------------|--|---------------------|-----------------|---------------|----------------------|----------------------|------------------------|------|------|----------------------------------|------|---------------|--|----------------------|--|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------|------|------|---|-----------------------------|---|-----|---|------|-----|---|------|---|------|
| | | | | Min. | Moy. | Max | Min. | Moy. | Max | Min. | Moy. | Max. | Min. | Méd. | Max. | Min. | Méd. | Max. | Min. | Moy. | Max. | Min. | Moy. | Max. | | | | | | | | | | | |
| Aquifères à nappe libre | CH1 : Affleurements rocheux et till | | A | 176 | 312 | 567 | 0 | 3,3 | 33,3 | 0 | 1,3 | 65,3 | <10 | | | 4,0x10 ⁻⁹ | 7,6x10 ⁻⁷ | 1,1x10 ⁻⁴ | <100 | 166 | 399 | 68 | 121 | 176 | Aquifères granulaires pH : 4,7-8,6 (Moy. 7,1) MDT : 19-772 mg/L (Moy. 264 mg/L) Problématiques de dureté, Mn, pH et Fe Aquifères rocheux pH : 5,6-8,5 (Moy. 7,4) MDT : 56-942 mg/L (Moy. 396 mg/L) Problématiques d'As, U, dureté, Mn, Fe et MDT | 32,9 | | | | | | | | | |
| | | | B | | | | | | | | | | 26 29 43 | | | 5,0x10 ⁻⁶ | 8,4x10 ⁻³ | 2,0x10 ⁻² | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | A | <10 | | | 4,0x10 ⁻⁹ | 7,6x10 ⁻⁷ | 1,1x10 ⁻⁴ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | CH2 : Tourbières sur roc | | F | 185 | 308 | 439 | 0 | 1,6 | 15,8 | 0 | 0,9 | 5,0 | 92 | | | 6,6x10 ⁻⁵ | | | 157 | 284 | 356 | 89 | 146 | 159 | | | Aquifères granulaires pH : 4,7-8,6 (Moy. 7,1) MDT : 19-772 mg/L (Moy. 264 mg/L) Problématiques de dureté, Mn, pH et Fe Aquifères rocheux pH : 5,6-8,5 (Moy. 7,4) MDT : 56-942 mg/L (Moy. 396 mg/L) Problématiques d'As, U, dureté, Mn, Fe et MDT | 1,6 | | | | | | | |
| | | | A | | | | | | | | | | <10 | | | 4,0x10 ⁻⁹ | 7,6x10 ⁻⁷ | 1,1x10 ⁻⁴ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | CH3 : Formations granulaires | | C1 | 175 | 307 | 457 | 0 | 2,2 | 24,4 | 0 | 11,7 | 91,1 | 26 | 30 | 43 | 3,3x10 ⁻⁶ | 1,7x10 ⁻⁴ | 9,3x10 ⁻³ | <100 | 277 | 384 | 81 | 176 | 222 | | | | | Aquifères granulaires pH : 4,7-8,6 (Moy. 7,1) MDT : 19-772 mg/L (Moy. 264 mg/L) Problématiques de dureté, Mn, pH et Fe Aquifères rocheux pH : 5,6-8,5 (Moy. 7,4) MDT : 56-942 mg/L (Moy. 396 mg/L) Problématiques d'As, U, dureté, Mn, Fe et MDT | 6,7 | | | | | |
| | | | A | | | | | | | | | | <10 | | | 4,0x10 ⁻⁹ | 7,6x10 ⁻⁷ | 1,1x10 ⁻⁴ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | E | | | | | | | | | | 26 | 35 | 44 | 1,2x10 ⁻⁶ | 1,7x10 ⁻⁵ | 3,9x10 ⁻⁴ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | B | | | | | | | | | | 26 | 29 | 43 | 5,0x10 ⁻⁶ | 8,4x10 ⁻³ | 2,0x10 ⁻² | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | A | | | | | | | | | | <10 | | | 4,0x10 ⁻⁹ | 7,6x10 ⁻⁷ | 1,1x10 ⁻⁴ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | CH4 : Tourbière sur formations granulaires | | E; B | 229 | 313 | 428 | 0 | 1,0 | 12,3 | 5 | 12,4 | 51,1 | Aucune donnée | | | 26 | 35 | 44 | 1,2x10 ⁻⁶ | 1,7x10 ⁻⁵ | 3,9x10 ⁻⁴ | 157 | 293 | 356 | | | | | | | 99 | 192 | 206 | Aquifères granulaires pH : 4,7-8,6 (Moy. 7,1) MDT : 19-772 mg/L (Moy. 264 mg/L) Problématiques de dureté, Mn, pH et Fe Aquifères rocheux pH : 5,6-8,5 (Moy. 7,4) MDT : 56-942 mg/L (Moy. 396 mg/L) Problématiques d'As, U, dureté, Mn, Fe et MDT | 1,7 |
| A | | | <10 | | | | | | | | | | 4,0x10 ⁻⁹ | 7,6x10 ⁻⁷ | 1,1x10 ⁻⁴ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| F | | | 92 | | | | | | | | | | 6,6x10 ⁻⁵ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aquifères à nappe captive | CH5 : Flancs d'esker et environnements de transition | | E | 180 | 259 | 341 | 0 | 1,5 | 16,8 | 1 | 19,0 | 77,9 | 26 | 35 | 44 | 1,2x10 ⁻⁶ | 1,7x10 ⁻⁵ | 3,9x10 ⁻⁴ | <100 | <100 | <100 | 61 | 96 | 137 | Aquifères granulaires pH : 4,9-8,6 (Moy. 7,3) MDT : 41-822 mg/L (Moy. 404 mg/L) Problématiques de dureté, Mn, MDT et Fe Aquifères rocheux pH : 5,6-8,8 (Moy. 8,0) MDT : 42-1134 mg/L (Moy. 470 mg/L) Problématiques d'As, U, dureté, Mn, MDT et Fe | 2,7 | | | | | | | | | |
| | | | D | | | | | | | | | | 35 - 70 | | | 2,5x10 ⁻¹¹ - 9,3x10 ⁻⁷ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | C2 | | | | | | | | | | 25 - 50 | | | 2,2x10 ⁻⁵ 7,5x10 ⁻⁴ 3,3x10 ⁻³ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | A | | | | | | | | | | <10 | | | 4,0x10 ⁻⁹ | 7,6x10 ⁻⁷ | 1,1x10 ⁻⁴ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | CH6 : Tourbières sur argile | | E | 180 | 288 | 340 | 0 | 0,7 | 11,6 | 0 | 16,1 | 82,8 | 26 | 35 | 44 | 1,2x10 ⁻⁶ | 1,7x10 ⁻⁵ | 3,9x10 ⁻⁴ | <100 | <100 | <100 | 65 | 117 | 150 | | | Aquifères granulaires pH : 4,9-8,6 (Moy. 7,3) MDT : 41-822 mg/L (Moy. 404 mg/L) Problématiques de dureté, Mn, MDT et Fe Aquifères rocheux pH : 5,6-8,8 (Moy. 8,0) MDT : 42-1134 mg/L (Moy. 470 mg/L) Problématiques d'As, U, dureté, Mn, MDT et Fe | 7,9 | | | | | | | |
| | | | D | | | | | | | | | | 35 - 70 | | | 2,5x10 ⁻¹¹ - 9,3x10 ⁻⁷ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | CH7 : plaine argileuse | | F | 180 | 284 | 377 | 0 | 1,6 | 24,3 | 0 | 12,2 | 87,1 | Aucune donnée | | | 26 | 35 | 44 | 1,2x10 ⁻⁶ | 1,7x10 ⁻⁵ | 3,9x10 ⁻⁴ | <100 | <100 | <100 | | | | | 45 | 101 | 141 | Aquifères granulaires pH : 4,9-8,6 (Moy. 7,3) MDT : 41-822 mg/L (Moy. 404 mg/L) Problématiques de dureté, Mn, MDT et Fe Aquifères rocheux pH : 5,6-8,8 (Moy. 8,0) MDT : 42-1134 mg/L (Moy. 470 mg/L) Problématiques d'As, U, dureté, Mn, MDT et Fe | 46,4 | | |
| | | | A | | | | | | | | | | <10 | | | 4,0x10 ⁻⁹ | 7,6x10 ⁻⁷ | 1,1x10 ⁻⁴ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | CH7 : plaine argileuse | | D | 180 | 284 | 377 | 0 | 1,6 | 24,3 | 0 | 12,2 | 87,1 | Aucune donnée | | | 26 | 35 | 44 | 1,2x10 ⁻⁶ | 1,7x10 ⁻⁵ | 3,9x10 ⁻⁴ | <100 | <100 | <100 | | | | | 45 | 101 | 141 | | | Aquifères granulaires pH : 4,9-8,6 (Moy. 7,3) MDT : 41-822 mg/L (Moy. 404 mg/L) Problématiques de dureté, Mn, MDT et Fe Aquifères rocheux pH : 5,6-8,8 (Moy. 8,0) MDT : 42-1134 mg/L (Moy. 470 mg/L) Problématiques d'As, U, dureté, Mn, MDT et Fe | 46,4 |
| | | | C2 | | | | | | | | | | 35 - 70 | | | 2,5x10 ⁻¹¹ - 9,3x10 ⁻⁷ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | | | 25 - 50 | | | | | | | | | | 2,2x10 ⁻⁵ 7,5x10 ⁻⁴ 3,3x10 ⁻³ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D | | | <10 | | | | | | | | | | 4,0x10 ⁻⁹ | 7,6x10 ⁻⁷ | 1,1x10 ⁻⁴ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CH7 : plaine argileuse | | D | 180 | 284 | 377 | 0 | 1,6 | 24,3 | 0 | 12,2 | 87,1 | Aucune donnée | | | 26 | 35 | 44 | 1,2x10 ⁻⁶ | 1,7x10 ⁻⁵ | 3,9x10 ⁻⁴ | <100 | <100 | <100 | 45 | 101 | 141 | | | Aquifères granulaires pH : 4,9-8,6 (Moy. 7,3) MDT : 41-822 mg/L (Moy. 404 mg/L) Problématiques de dureté, Mn, MDT et Fe Aquifères rocheux pH : 5,6-8,8 (Moy. 8,0) MDT : 42-1134 mg/L (Moy. 470 mg/L) Problématiques d'As, U, dureté, Mn, MDT et Fe | 46,4 | | | | | |
| | | C2 | | | | | | | | | | 35 - 70 | | | 2,5x10 ⁻¹¹ - 9,3x10 ⁻⁷ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | A | | | | | | | | | | 25 - 50 | | | 2,2x10 ⁻⁵ 7,5x10 ⁻⁴ 3,3x10 ⁻³ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | D | | | | | | | | | | <10 | | | 4,0x10 ⁻⁹ | 7,6x10 ⁻⁷ | 1,1x10 ⁻⁴ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

¹ Pour de plus amples informations, se référer à la section 5.5 (Carte 16). ² UH : Unité hydrogéologique (voir section 6.1 pour les définitions associées).

Figure 9.3.1 Bloc diagramme synthèse illustrant les conditions hydrogéologiques du Territoire PACES-AT2

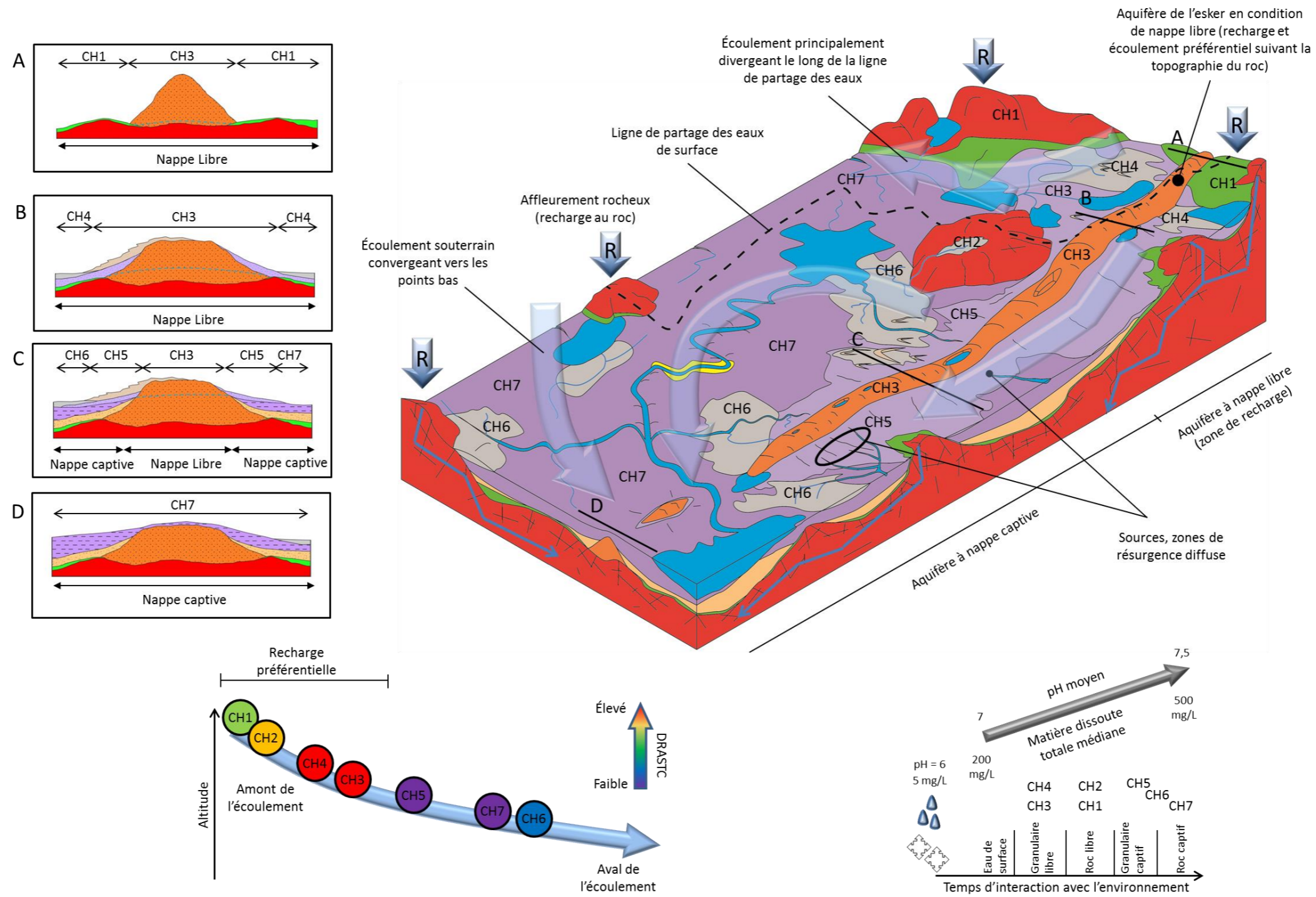


Figure 9.3.1 Distribution spatiale des contextes hydrogéologiques identifiés au niveau du territoire à l'étude

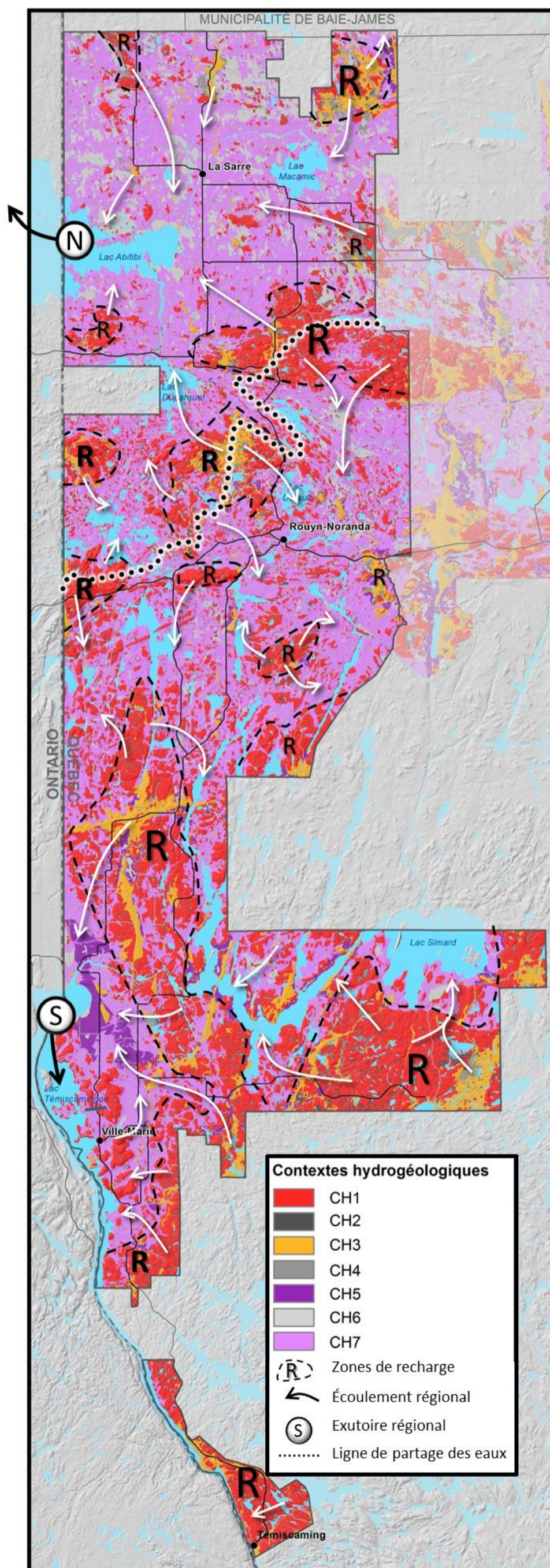


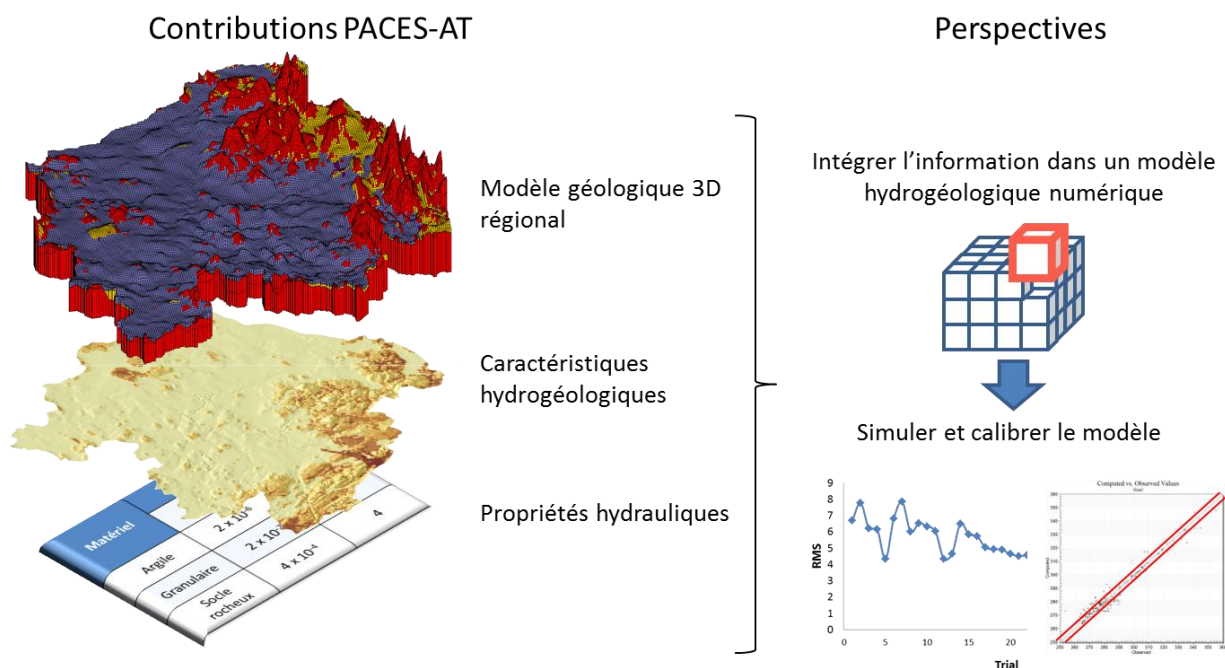
Tableau 9.3.2 Descriptions associées à l'interprétation de la distribution spatiale des contextes hydrogéologiques de la région d'étude

| Contextes hydrogéologiques | | Descriptions ¹ |
|----------------------------|--|--|
| Aquifères à nappe libre | CH1 : Affleurements rocheux et till | Représentant 32,9 % du territoire, les secteurs les plus vastes étant associés au CH1 correspondent généralement à des hauts topographiques dont l'altitude excède celle de la plaine argileuse périphérique. Certains secteurs associés à CH1 brisent également la continuité de la plaine argileuse. Dictée par la morphologie du massif rocheux, la surface du sol y est généralement plus accidentée (pente moyenne de 3 degrés) qu'au niveau des autres CH. Les épaisseurs de dépôts meubles évalués au niveau du CH1 atteignent en moyenne 1,3 m. Les caractéristiques physiques et hydrauliques associées au CH1 sont propices à l'établissement de conditions favorables à la recharge. Les principaux réservoirs associés au CH1 correspondent vraisemblablement à des aquifères rocheux fracturés au sein desquels l'eau souterraine circule selon un patron imposé par l'architecture des discontinuités structurales. Les aquifères associés aux plus vastes secteurs correspondant au CH1 sont généralement localisés dans la partie amont du patron d'écoulement régional. À l'échelle du territoire, les aquifères rocheux fracturés en conditions de nappe libre présentent une teneur moyenne en matière dissoute totale (MDT) de 396 mg/L. Des indices de vulnérabilité DRASTIC allant de 68 à 176 sont évalués au niveau du CH1, pour une moyenne régionale de 121. Les planches associées au bassin de la rivière Dagenais (Sections 5.5 et 9.2; Planche 3) permettent une représentation des caractéristiques propres au CH1 à l'échelle locale. Ces planches illustrent un patron d'écoulement dont la partie amont est correspond à la position d'affleurements rocheux et de till. En complément, les planches associées au secteur du lac Devlin (Sections 5.5 et 9.2; Planche 6) illustrent une vaste étendue de till dont la localisation correspond à une position intermédiaire au sein du patron d'écoulement, entre les dépôts fluvioglaciers associés à la Moraine d'Harricana et le lac Simard. |
| | CH2 : Tourbières sur roc | Correspondant à des complexes tourbeux reposant sur le socle rocheux et/ou des dépôts de till, le CH2 représente 1,6 % du territoire en termes de superficie. Les tourbières associées au CH2 tendent à augmenter en nombre (et en proportion) avec une augmentation de l'altitude (Section 6.4). Les données radar (Sections 3.2; 4.2; 6.4) suggèrent que les complexes tourbeux de ce type seraient caractérisés par une morphologie irrégulière imposée par le socle rocheux et les dépôts de till. Le contact avec les unités hydrogéologiques associées au socle rocheux et au till est selon toute vraisemblance favorable à l'établissement d'interactions avec les aquifères périphériques, notamment en périphérie des discontinuités structurales du massif rocheux. Ces complexes tourbeux seraient susceptibles d'influencer significativement (1) la dynamique hydrogéologique des aquifères leur étant périphériques, (2) le régime hydrique et la qualité de l'eau des cours y prenant source et donc (3) la dynamique des interactions entre les aquifères et le réseau hydrographique. La coupe géologique locale associée à la figure 6.4.4.3 (Section 6.4) illustre, à l'échelle locale, un exemple de tourbière reposant en partie sur des dépôts de till et sur le socle rocheux. La coupe permet la visualisation de la morphologie du contact entre les dépôts organiques et le substrat inorganique. En complément, le bloc diagramme associé à la figure 6.4.1.1 illustre la position de ce type de tourbière au sein de l'environnement hydrogéologique. |
| | CH3 : Formations granulaires | Représentant 6,7 % de la superficie du territoire à l'étude, la distribution spatiale des secteurs correspondant au CH3 suit le tracé défini par les formations fluvioglaciers. Les secteurs les plus vastes étant associés au CH1 correspondent généralement à des hauts topographiques dont l'altitude excède celle de la plaine argileuse périphérique. Les pentes de surface modérées (moyenne régionale de 2,2 degré) et la conductivité hydraulique relativement élevée de la zone non saturée (voir sections 3.8; 3.9; 4.8; 4.9 et 6.1) au sein du CH3 sont favorables à la recharge, laquelle y atteint un taux moyen de 277 mm/an. Les épaisseurs de dépôts meubles évaluées au niveau du CH3 atteignent une valeur maximale de 91,1 m, pour une moyenne régionale de 11,7 m. Les formations fluvioglaciers les plus vastes en termes de superficie correspondent généralement à des dômes piézométriques. En ce sens, les aquifères associés au CH3 correspondent souvent aux secteurs amont du système hydrogéologique régional. Les sources ponctuelles et diffuses, associées à des zones de résurgence de l'eau souterraine (Section 6.6), sont généralement distribuées de part et d'autre des secteurs associés au CH3. À l'échelle du territoire, les aquifères granulaires en conditions de nappe libre (souvent associés à CH3) présentent une teneur moyenne en matière dissoute totale (MDT) de 264 mg/L. Des indices de vulnérabilité DRASTIC allant de 81 à 222 sont évalués au niveau du CH3, pour une moyenne régionale de 176. Les planches associées au bassin de la rivière Portage et au secteur Duparquet-Kinojévis (Sections 5.5 et 9.2; Planches 1 et 4) permettent une représentation des caractéristiques propres au CH3 à l'échelle locale. Ces planches illustrent des systèmes hydrogéologiques dont la partie amont correspond à la position de formations fluvioglaciers. |
| | CH4 : Tourbière sur formations granulaires | Correspondant à des complexes tourbeux reposant sur les formations fluvioglaciers et sur les flancs de ces dernières, le CH4 représente 1,7 % du territoire en termes de superficie. Les tourbières associées au CH4 tendent à augmenter en nombre (et en proportion) avec une augmentation de l'altitude (Section 6.4). Les données radar (Sections 3.2; 4.2; 6.4) suggèrent que les complexes tourbeux de ce type seraient caractérisés par un contact avec le matériel inorganique sous-jacent dont la morphologie serait dictée par la surface des sédiments sublittoraux reposant sur le flanc de la formation fluvioglacière. Ces dépôts tourbeux comblent des dépressions faiblement ondulées induisant une pente de surface perpendiculaire à la formation fluvioglacière. Le contact avec les unités hydrogéologiques associées aux formations fluvioglaciers est selon toute vraisemblance favorable à l'établissement d'interactions avec les aquifères périphériques. Ces complexes tourbeux seraient susceptibles d'influencer significativement (1) la dynamique hydrogéologique des aquifères leur étant périphériques, (2) le régime hydrique et la qualité de l'eau des cours y prenant source et donc (3) la dynamique des interactions entre les aquifères et le réseau hydrographique. La coupe géologique locale associée à la figure 6.4.4.4 (Section 6.4) illustre, à l'échelle locale, un exemple de tourbière reposant en partie sur les dépôts associés à la Moraine d'Harricana. La coupe permet la visualisation de la morphologie du contact entre les dépôts organiques et le substrat inorganique. En complément, le bloc diagramme associé à la figure 6.4.1.1 illustre la position de ce type de tourbière au sein de l'environnement hydrogéologique. |
| Aquifères à nappe captive | CH5 : Flancs d'esker et environnements de transition | La configuration des unités hydrogéologiques constituant le CH5 correspond généralement à l'architecture des dépôts meubles caractéristique des flancs de formations fluvioglaciers. Couvrant 2,7 % de la superficie du territoire, les secteurs associés au CH5 occupent généralement des altitudes intermédiaires entre celles des formations fluvioglaciers et de la plaine argileuse périphérique, alors que la pente du sol y est de l'ordre de 1,5 degré. Les épaisseurs de dépôts meubles associées au CH5 atteignent 77,9 m, pour une moyenne régionale de 19,0m. L'unité hydrogéologique sus-jacente à l'argile est susceptible de correspondre à des aquifères à nappe libre d'envergure limitée. Les dépôts sous-jacents à l'argile constituent des aquifères à nappe captive étant vraisemblablement alimentés en eau par les flux issus du CH3. Ces aquifères à nappe captive sont caractérisés par des indices DRASTIC allant de 61 à 137, pour une moyenne régionale de 96. En ce sens, le CH5 se caractérise par une diminution marquée de l'indice DRASTIC par rapport au CH3. La coupe géologique locale associée à la figure 6.4.4.2 (Section 6.4) illustre, à l'échelle locale, un exemple de tourbière reposant en flanc d'esker. La coupe permet la visualisation de la configuration des unités hydrogéologiques selon un axe perpendiculaire à la formation fluvioglacière. |
| | CH6 : Tourbières sur argile | Correspondant à des complexes tourbeux reposant sur des dépôts argileux, le CH6 représente 7,9 % du territoire en termes de superficie. Les tourbières associées au CH6 tendent à augmenter en nombre (et en proportion) avec une diminution de l'altitude (Section 6.4). Les données radar (Sections 3.2; 4.2; 6.4) suggèrent que les complexes tourbeux de ce type seraient caractérisés par une morphologie dictée par celle de la dépression argileuse ayant été comblée par la tourbe. Les données suggèrent une dépression concave exempte d'irrégularités significatives. Les complexes tourbeux exclusivement (ou principalement) au contact de l'unité d'argile sont peu susceptibles de constituer des environnements de transition entre les eaux souterraines et de surface. Le contact avec l'unité d'argile est selon toute vraisemblance défavorable à l'établissement d'interactions avec les aquifères périphériques. La prévalence de ce type de complexes tourbeux à de faibles altitudes (voir section 6.4.2; Tableau 6.4.2.1.3; Figures 6.4.2.23 à 6.4.2.45) suggère qu'ils occupent préférentiellement les secteurs aval du patron d'écoulement régional. La coupe géologique locale associée à la figure 6.4.4.1 (Section 6.4) illustre, à l'échelle locale, un exemple de tourbière reposant entièrement sur des dépôts argileux. La coupe permet la visualisation de la morphologie du contact entre les dépôts organiques et le substrat inorganique. En complément, le bloc diagramme associé à la figure 6.4.1.1 illustre la position de ce type de tourbière au sein de l'environnement hydrogéologique. |
| | CH7 : plaine argileuse | Couvrant 46,4 % de la superficie de la région d'étude, le CH7 se caractérise par une surface relativement plane et occupe les secteurs correspondant aux plus faibles altitudes du territoire. L'épaisseur des dépôts meubles peut y atteindre plus de 87,1 m, pour une moyenne régionale de 12,2 m. La ressource associée au CH7 est essentiellement associée à des aquifères à nappe captive. Les taux de recharge y sont limités à des valeurs inférieures à 100 mm/an en raison de la présence de la couche d'argile. Les secteurs associés à CH7 occupent la position aval au sein du système hydrogéologique régional. Les indices DRASTIC associés au CH7 présentent une moyenne régionale de 101. Les planches associées aux bassins de la rivière Maine et de la rivière à la Loutre (Sections 5.5 et 9.2; Planches 2 et 5) permettent une représentation des caractéristiques propres au CH7 à l'échelle locale. À l'échelle du territoire, les aquifères rocheux fracturés en conditions de nappe captive et les aquifères granulaires en conditions de nappe captive présentent des teneurs moyennes en matière dissoute totale (MDT) de 470 mg/L et 404 mg/L, respectivement. |

9.4 Modèle géologique 3D et perspectives de modélisation hydrogéologique

Un élément central relatif à la synthèse hydrogéologique régionale présentée ici concerne le développement d'un modèle géologique tridimensionnel couvrant l'ensemble du territoire (voir section 5.5 pour les détails relatifs à la construction du modèle). Le modèle géologique 3D fourni en annexe (Annexe 5.5.1) a été construit à l'aide du logiciel GMS 9.2 d'Aquaveo LLC. La structure du modèle proposé est donc conforme pour la réalisation de simulations numériques en différences finies à partir de l'interface GMS du code de simulation MODFLOW. En ce sens, les données numériques fournies en annexe, lorsque couplées aux données issues de la présente étude et à l'acquisition de données à l'échelle locale, pourraient servir de base à la définition de modèles hydrogéologiques numériques voués à la simulation des écoulements. En ce sens, la figure 9.4.1 présente des pistes d'utilisation des données issues du PACES-AT2 dans la perspective de développer des modèles hydrogéologiques quantitatifs.

Figure 9.4.1 Contributions PACES-AT2 et perspectives pour les études hydrogéologiques en région



10. Conclusions et recommandations

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 et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec (MDDELCC). Les objectifs généraux du PACES-AT2 sont (1) de dresser un portrait de la qualité et de la quantité de la ressource en eau souterraine au niveau du territoire couvert par la Ville de Rouyn-Noranda et les MRC d'Abitibi-Ouest et de Témiscamingue et (2) de poursuivre le développement de partenariats entre les acteurs de l'eau présents sur le territoire. La démarche de caractérisation régionale proposée dans le cadre de la présente étude ciblait notamment cinq thèmes jugés prioritaires :

- 6- L'amélioration des connaissances portant sur les propriétés hydrogéologiques des différentes unités géologiques du territoire;
- 7- L'évaluation des liens hydrauliques entre les différents aquifères régionaux et le réseau hydrographique;
- 8- L'évaluation de la piézométrie sur les flancs des formations fluvioglaciales (eskers et moraines) et des liens hydrogéologiques entre ces aquifères à nappe libre, les aquifères périphériques et le réseau hydrographique;
- 9- L'évaluation des fonctions hydrogéologiques des tourbières à l'échelle régionale;
- 10- La documentation des impacts potentiels des activités anthropiques sur l'eau souterraine des eskers et moraines.

Conformément aux exigences relatives à la réalisation des PACES, l'étude a été menée en trois phases consistant (1) en la collecte des données préexistantes (Phase 1 : Cloutier et al., 2013b), (2) en la réalisation de travaux complémentaires (Phase 2 : Cloutier et al., 2014) et (3) en l'intégration des informations pour fins de synthèse et de transfert (Phase 3 : présent rapport). Au terme de ces trois phases, les démarches réalisées ont entre autres permis :

- 1- Le recensement des données quantitatives et des couches numériques pertinentes à documentation des caractéristiques des aquifères de la région (Chapitre 2);
- 2- L'acquisition de données hydrogéologiques complémentaires via la réalisation de travaux de terrain et de laboratoire (Chapitres 3 et 4);
- 3- L'établissement d'un modèle géologique tridimensionnel à l'échelle de la région (Chapitre 5);
- 4- L'évaluation quantitative des conditions hydrogéologiques prévalant au niveau du territoire (Chapitre 6);
- 5- La documentation des conditions hydrogéochimiques et de la qualité de la ressource en eau souterraine à l'échelle régionale (Chapitre 7);
- 6- La documentation des prélèvements d'eau souterraine et le recensement et la description d'activités anthropiques potentiellement polluantes (Chapitre 8);
- 7- La production de 24 cartes thématiques permettant de documenter l'environnement hydrogéologique propre à la région d'étude;
- 8- La production d'un atlas hydrogéologique voué à la facilitation du transfert des connaissances issues des PACES-AT.

La synthèse hydrogéologique régionale (Chapitre 9) construite sur la base de ces réalisations a permis l'identification de sept principaux contextes hydrogéologiques (CH) au niveau de la région d'étude :

- 1- CH1 : Affleurements rocheux et till;
- 2- CH2 : Tourbières sur roc;
- 3- CH3 : Formations granulaires;
- 4- CH4 : Tourbières sur formations granulaires;
- 5- CH5 : Flancs d'eskers et environnements de transition;
- 6- CH6 : Tourbières sur argile;
- 7- CH7 : Plaine argileuse;

Ces contextes hydrogéologiques présentent des caractéristiques distinctes leur conférant des fonctions contrastées au sein du système hydrogéologique régional. Les **CH1 à CH4** constituent les principaux secteurs d'**aquifères à nappe libre** et occupent ensemble 43 % de la superficie de la région d'étude. De façon générale, ces CH réunissent des conditions favorables à la recharge de l'eau souterraine et occupent la portion amont des systèmes d'écoulement régionaux. La vulnérabilité de l'eau souterraine y est caractérisée par des indices DRASTIC compris entre 68 et 222. Les teneurs en matière dissoute totale (MDT) associées à ces contextes varient entre 19 et 942 mg/L, pour une moyenne régionale de 325 mg/L. Les **CH5 à CH7** constituent les principaux secteurs d'**aquifères à nappe captive** (aquifères sous-jacents à une couche d'argile dans le contexte régional) et occupent ensemble 57 % de la superficie de la région d'étude. De façon générale, ces CH réunissent des conditions défavorables à la recharge de l'eau souterraine et occupent la portion aval des systèmes d'écoulement régionaux. La vulnérabilité de l'eau souterraine y est caractérisée par des indices DRASTIC compris entre 45 et 150. Les teneurs en matière dissoute totale (MDT) associées à ces contextes varient entre 41 et 1 134 mg/L, pour une moyenne régionale de 448 mg/L. Les données disponibles tendent à indiquer que les lacs Abitibi (au nord) et Témiscamingue (au sud) constituent les principaux exutoires de la région, tant pour le réseau hydrographique que pour l'eau souterraine.

Les informations issues du PACES-AT2 supportent les recommandations déjà émises par Cloutier et al., (2013a) dans le cadre de la réalisation du PACES-AT1, bien que certains ajouts soient jugés pertinents. Les recommandations prioritaires émises par Cloutier et al. (2013) étaient regroupées en trois classes portant sur les thèmes (1) du transfert des connaissances, (2) de la protection des zones sensibles, (3) du suivi de la ressource. Ces recommandations sont réitérées ici. Trois recommandations additionnelles émergent de la présente étude. La **première recommandation prioritaire** concerne l'amélioration des connaissances relatives aux infrastructures de captage municipales. La réévaluation des aires de protection associées aux captages desservant plus de 20 personnes sur la base des données issues des PACES-AT est notamment identifiée comme un élément prioritaire. La **seconde recommandation prioritaire** concerne l'évaluation quantitative des impacts (sur l'eau souterraine) liés aux activités anthropiques et aux passifs environnementaux de la région. Les travaux issus des PACES-AT révèlent que la documentation de ces impacts sur les systèmes aquifères de la région est insuffisante. La **troisième recommandation prioritaire** concerne le développement de stratégies destinées à favoriser l'utilisation des données issues des PACES-AT à l'échelle locale. Les données rendues disponibles dans le cadre de la présente étude et des travaux PACES-AT antérieurs (Cloutier et al., 2013a) sont interprétées à l'échelle régionale. Or, certaines problématiques liées à l'eau souterraine s'observent à l'échelle locale. Le développement de stratégies permettant d'évaluer la qualité des données PACES-AT à l'échelle locale paraît donc prioritaire dans l'optique de favoriser leur utilisation concrète.

Bibliographie

Note : Les sources des données numériques sont citées directement sur les cartes thématiques (Annexe 1.1.1)

Agence de développement de réseaux locaux de services de santé et de services sociaux de l'Abitibi-Témiscamingue. 2004. Portrait de Beaudry : Dynamique communautaire. 16 p.

Agriculture Agro-Alimentaire Canada (AGR), Gouvernement du Canada. s.d.a. En ligne <http://www.agr.gc.ca/atlas/pvga?webmap=c1b454842d3748b0bb0807d7817d34c2>. Consulté le 16 janvier 2014.

Allard, M. 1974. Géomorphologie des eskers abitibiens. Cahiers de géographie du Québec, vol. 18, no 44. 271-296 p.

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.

Ancil, F., J. Rousseau et N. Lauzon. 2005. Hydrologie cheminements de l'eau. Presses internationales Polytechnique, Montréal. 317 p.

Annan, A. P. 2005. Ground-Penetrating Radar. In Near-surface geophysics, edited by Dwain K. Butler. Society of exploration geophysicists. Tulsa, Oklahoma (USA). 732 p.

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, no 6742. 344-348 p.

Blott, S.J. et Pye, K. 2001. Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. Earth Surface Processes and Landforms, 26, 1237 – 1248 p.

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.

Boisclair, G et Pagé, J. 1998. Guide des sciences expérimentales : observations, mesures, rédaction du rapport de laboratoire. 2^e édition, Éditions du Renouveau Pédagogique Inc., Saint-Laurent, Québec, 199 pages.

Boissonneau, A. N. 1968. Glacial history of northeastern Ontario, II. The Temiscaming-Algoma area; Canadian Journal of Earth Sciences, vol. 5. 97-109 p.

- 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^e décennal et la réalité terrain pour la donnée de type écologique dans l'UAF 061-52 (2e année). Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO). Rapport 2010-18. 52 p.
- Brady, N. C. et R. R. Weil. 2008. The Nature and properties of Soils. 14^e édition, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New jersey, Columbus, Ohio. 965 p.
- Brazeau, A. 2001a. Inventaire des ressources en granulats de la région de Lac Kinojévis (32D/02). MB 99-05. Géologie Québec. Ministère des Ressources naturelles. 29 p.
- Brazeau, A. 2001b. Inventaire des ressources en granulats de la région de Rouyn (32D/03). MB 99-06. Géologie Québec. Ministère des Ressources naturelles. 34 p.
- Brazeau, A. 2001c. Inventaire des ressources en granulats de la région de Rivière Kanasuta (32D/06). MB 99-07. Géologie Québec. Ministère des Ressources naturelles. 29 p.
- Brazeau, A. 2001d. Inventaire des ressources en granulats de la région de Cléricy (32D/07). MB 99-08. Géologie Québec. Ministère des Ressources naturelles. 32 p.
- Burke, M. J. 2008. GPR Investigations of the Sedimentary Architecture of Jökulhlaup Eskers : Skeioararjökull, Iceland and Bering Glacier, Alaska. Thèse de Doctorat, University of Northumbria, Newcastle, U.K., 313 pages.
- Bussière, B. (s.d.a). Base de données des Sites miniers abandonnés du Québec. Chaire de recherche du Canada sur la restauration des sites miniers abandonnés. Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (accès web non public).
- Buteau, Pierre, Norman Dignard et Pierre Grondin. 1994. Système de classification des milieux humides du Québec. Ministère des Ressources naturelles. 25 p.
- Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), Gouvernement du Québec. s.d.a. Suivi hydrologique de différentes stations hydrométriques. En ligne <http://www.cehq.gouv.qc.ca/suivihydro/default.asp>. Consulté le 22 janvier 2015.
- 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, no 3, p. 401-434.
- Clark, I. D. et Fritz P. 1997. *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Lewis Publishers. 328 p.
- Cloutier, V., D. Blanchette, P.-L. Dallaire, S. Nadeau, E. Rosa et M. Roy. 2013a. 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).
- Cloutier, V., P.-L. Dallaire, S. Nadeau, M. Roy et E Rosa. 2013b. 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, Institut de recherche en mines et en environnement, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 74 p., 5 Annexes, 22 cartes thématiques (1:100 000).
- Cloutier, V., Pitre O., Blanchette D., Dallaire P.-L., Gourde-Bureau C., Nadeau S. et E. Rosa. 2013c. Recherche sur les impacts de l'exploitation des ressources naturelles et des dépôts en tranchée sur l'eau souterraine des eskers et moraines de l'Abitibi-Témiscamingue. Rapport final présenté à la Conférence régionale des élus de l'Abitibi-Témiscamingue dans le cadre du Plan régional de développement intégré des ressources et du territoire (PRDIRT) de la Commission régionale sur les ressources naturelles et le territoire (CRRNT) (051-2012-CRRNT). Rapport de recherche P004.R2. Groupe de recherche sur l'eau souterraine, Institut de recherche en mines et en environnement, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 96 p.
- Cloutier V., Blanchette D., Dallaire P.-L., Nadeau S., Roy M. 2014. Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de l'Abitibi-Témiscamingue (partie 2). Rapport de phase 2 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.R2. Groupe de recherche sur l'eau souterraine, Institut de recherche en mines et en environnement, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue. 101 pages, 9 annexes.
- Daigneault, R.-A. 1986. Aspects de la géologie quaternaire au Témiscamingue (Québec): lithostratigraphie, sédimentologie et dispersion glaciaire. Montréal, Département des sciences de la Terre, Université du Québec à Montréal. 137 p.
- Dallaire, P.-L. 2010. Utilisation d'un géoradar afin de caractériser la stratigraphie de la tourbière et estimer le carbone organique accumulé dans une tourbière boréale, région d'Eastmain, Baie James, Québec. Mémoire de Maîtrise. Montréal, Département de Géographie, Université du Québec à Montréal. 132 p.
- Eijkelkamp Agrisearch Equipment. 2012. Double Ring Infiltrometer operating instructions. 9 p.

- Ferland, P. 2006. L'irrigation : portrait pour le Québec. Colloque sur l'irrigation : L'eau, source de qualité et de rendement. 6 pages. http://www.agrireseau.qc.ca/horticulture-pepinier/documents/Ferland_Pierrot_9h.pdf. Consulté le 24 mars 2015.
- Fetter, C. W. 2001. Applied Hydrogeology. 4^{ième} édition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey. 598 p.
- Foucault, A. et J.-F. Raoult (2005). Dictionnaire de Géologie. Dunod. Paris, UniverSciences.
- Francez, A.-J., 2000, «La dynamique du carbone dans les tourbières à Sphagnum, de la sphaigne à l'effet de serre», Année Biologique, vol, 39, p. 205-270.
- Freeze, R. A. et J. A. Cherry. 1979. Groundwater. Englewood Cliffs (New Jersey): Prentice Hall, 604 p.
- Gélinas, P. et R. Therrien. 2001. GGL-10355 Hydrogéologie. Notes de cours. Département de Géologie et de Génie géologique, Université Laval, Repro Laval.
- Green H. W., Ampt G.A. 1911. Studies on soil physics, Part I, The flow of air and water through soils. J. Agri. Sci. 4, no 1, pp 1-24.
- 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^e édition. Direction générale de la recherche, Ministère de l'Agriculture et de l'Agro-Alimentaire du Canada (AGR). Publication 1646. Ottawa (On). 196 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>.
- Hocq, M. 1994. La province de Grenville. In Géologie du Québec, p. 75 – 94. Les publications du Québec.
- Hocq, M. et P. Verpaerst. 1994. Les sous-provinces de l'Abitibi et du Pontiac. In Géologie du Québec, p. 21 – 47. Les publications du Québec.
- Holtz, R. D. et W.D. Kovacs. 1991. Introduction à la géotechnique. Éditions de l'école Polytechnique de Montréal, Montréal, 808 p.
- Kalff J. 2001. Limnology. Ed. Prentice Hall inc. 592 p.
- Knight, R. J. et A. L. Enders. 2005. An introduction to rock physics principles for near-surface geophysics. In Near-surface geophysics, edited by Dwain K. Butler. Society of exploration geophysicists. Tulsa, Oklahoma (USA). 732 p.
- Krankina, O.N., D. Pflugmacher, M. Friedl, W.B. Cohen, P. Nelson et A. Baccini. 2008. «Meeting the challenge of mapping peatlands with remotely sensed data». Biogeosciences. 12 p.

- Larose-Charette, D. 2000. Modélisation hydrogéologique des aquifères libres de la MRC de Portneuf. Mémoire de maîtrise. Institut national de la recherche scientifique - Géoressources, Québec. 308 p.
- Levison, J., Larocque, M., Fournier, V., Gagné, S., Pellerin, S. et M. A. Ouellet. 2014. Dynamics of a headwater system and peatland under current conditions and with climate change. *Hydrological Processes*, 28, p. 4808-4822.
- Loke, M. H. 2011. Tutorial : 2-D and 3-D electrical imaging surveys. Guide du logiciel RES2D (www.geotomosoft.com). 150 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^e inventaire décennal. Rapport technique N° Q2006-3, Canards Illimités Canada-Québec. 19 p.
- Ministère des Affaires autochtones et Développement du Nord Canada (AADNC), Gouvernement du Canada. 2011. Évaluation nationale des systèmes d'aqueduc et d'égout dans les collectivités des Premières nations – Rapport de synthèse régional – Québec. En ligne <https://www.aadnc-aandc.gc.ca/fra/1314805074731/1314805140046>. Consulté le 24 mars 2015. 6 pages.
- Ministère des Affaires Municipales, Région et Occupation du Territoire (MAMROT), Gouvernement du Québec. s.d.a. Répertoire des municipalités. En ligne <http://www.mamrot.gouv.qc.ca/repertoire-des-municipalites/>. Consulté le 10 février 2015.
- Ministère des Affaires Municipales, Région et Occupation du Territoire (MAMROT), Gouvernement du Québec. s.d.b. La prise de décision en urbanisme. 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 16 janvier 2015.
- Ministère des Affaires Municipales, Région et Occupation du Territoire (MAMROT), Gouvernement du Québec. 2012. Rapport annuel de l'usage de l'eau potable. En ligne http://www.mamrot.gouv.qc.ca/publications/?tx_solr%5Bq%5D=&tx_solr%5Bfilter%5D%5B0%5D=cat%3A7&id=918&L=0. Consulté le 24 mars 2015.
- Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), Gouvernement du Québec. 2012. Nombres de têtes par municipalité par territoire de MRC de l'Abitibi-Témiscamingue
- Ministère du Développement durable, Environnement et Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), Gouvernement du Québec. s.d.a. Réseau du suivi des eaux souterraines du Québec. En ligne. <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/Eau/piezo/index.htm>. Consulté en mars 2015.

- Ministère du Développement durable, Environnement et Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), Gouvernement du Québec. s.d.b. Données climatiques – Programme de surveillance du climat. En ligne. <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/climat/donnees/>. Consulté le 24 mars 2015.
- Ministère du Développement durable, Environnement et Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), Gouvernement du Québec. s.d.c. Règlement sur la qualité de l'eau potable. Dernière mise à jour le 14 août 2014. En ligne. <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/potable/brochure/parties-1-2-3.htm#12>
- Ministère du Développement durable, Environnement et Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), Gouvernement du Québec. s.d.d. Réseaux municipaux de distribution d'eau potable. En ligne. <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/potable/distribution/resultats.asp>. Consulté le 24 mars 2015.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP), Gouvernement du Québec. 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 de l'Environnement, Gouvernement du Canada. s.d.a. Climat. En ligne <http://climat.meteo.gc.ca/>. Consulté le 26 mars 2015.
- Ministère de l'Environnement, Gouvernement du Canada. s.d.b. Eau. En ligne <http://eau.ec.gc.ca/>. Consulté le 26 mars 2015.
- Ministère des Ressources Naturelles et de la faune (MRNF), Gouvernement du Québec. s.d.a. Le bouleau jaune, arbre emblématique du Québec. 5 p.
- Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune (MRNF). 2008a. Norme de stratification écoforestière Quatrième inventaire écoforestier. Forêt Québec - Direction des inventaires forestiers. 62 p.
- Ministère des ressources naturelles et de la Faune (MRNF), Gouvernement du Québec. 2008b. La Base de données topographiques du Québec à l'échelle de 1/20 000 (BDTQ 20k). En ligne. https://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/territoire/expertise/08_BDTQ_mai2008.pdf
- Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune (MRNF), Forêt Québec et Direction des inventaires forestiers, Gouvernement du Québec. 2011. Norme de stratification écoforestière, Quatrième inventaire écoforestier. 92 p.
- Ministère des Ressources Naturelles (MRN), Gouvernement du Québec. s.d.a. Zones de végétation et domaines bioclimatiques du Québec. En ligne <http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-inventaire-zones-carte.jsp>. Consulté le 16 janvier 2015.

- Ministère des Transports du Québec (MTQ), Gouvernement du Québec. 2004. Manuel de conception des ponceaux. Guide et manuels des techniques. Service de l'hydraulique. Québec, Publications du Québec, 501 p.
- Mitsch, W. J. et J. G. Gosselink. 2000. Wetlands. 3^{ième} édition, John Wiley and Sons, Inc., New York. 920 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. Montréal, Département de Géographie, Université du Québec à Montréal. 145 p.
- Neal, A. 2004. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. Earth-Sciences Reviews, no 66. p. 261-330.
- Observatoire de l'Abitibi-Témiscamingue. 2007. Portrait des ressources hydriques. Rouyn-Noranda. 47 p.
- Observatoire de l'Abitibi-Témiscamingue. Population des quartiers regroupés de Rouyn-Noranda, recensements de 1991, 1996, 2001, 2006 et 2011. s.d.a. En ligne <http://www.observat.qc.ca/Tableaux-statistiques/demographie/population/population-des-quartiers-regroupes-de-rouyn-noranda-recensements-de-1991-1996-2001-2006-et-2011#.VNpxVC6auTI>. Consulté le 10 février 2015.
- Olayinka, A. I. et A. O. Sogbetum . 2002. Laboratory measurement of the electrical resistivity of some Nigerian crystalline basement complex rocks. African Journal of Science and Technology. Vol. 3 No. 1. p. 93-97.
- Parent, M., S.J. Paradis et R. Boivin. 2010. Formations superficielles - Légende & notes descriptives 1/50 000 à 1/125 000. Version 11. CGC - Québec.
- Payette, S. et L. Rochefort. 2001. Écologie des tourbières du Québec-Labrador. Les Presses de l'Université Laval. Saint-Nicolas (Qc). 621 p.
- Piper, A.M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. Transactions of the American Geophysical Union 25. p. 914-923.
- Poirier, C., T.-C. Fortier Fillion, R. Turcotte et 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.

- Price, J. S., B. A. Branfireum, J. M. Waddington et K. J. Devito. 2005. Advances in Canadian wetland hydrology, 1999-2003. *Hydrological Processes*, 19. p.201-214.
- Regroupement des Organismes de Bassin Versant du Québec (ROBVQ). s.d.a. En ligne <http://www.robvq.qc.ca/>. Consulté le 16 janvier 2015.
- Richardson, M., S. Ketcheson, P. Whittington et J. Price. 2012. The influences of catchment geomorphology and scale on runoff generation a northern peatland complex. *Hydrological processes*, 26. p. 1805-1817.
- 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 (MAPAQ). 126 p.
- Rouleau, Alain, J. Guha, G. Archambault et A. Benlahcen. 1999. Aperçu de l'hydrogéologie en socle précambrien au Québec et des problématiques minières. *Hydrogéologie*, vol. 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.
- Sandmeier, K. J. 2008. ReflexW (version 5.0.) program for processing and interpretation of reflection and transmission data. Karlsruhe, Germany, Sandmeier Software.
- Santé Canada, s.d.a. 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/sum_guide-res_recom/index_fra.php. Date de modification : 2014-11-26.
- Schwartz, F.W. et H. Zhang. 2003. *Fundamentals of groundwater*. John Wiley & Sons Inc. 583 p.
- Secrétariat aux affaires autochtones, Gouvernement du Québec. Statistiques des populations autochtones du Québec 2012. En ligne <http://www.autochtones.gouv.qc.ca/nations/population.htm>. Consulté le 10 février 2015.
- Soilmoisture Equipment corporation. 2010. Model 2800K1 Guelph Permeameter Operating instructions. 52 p.
- Thibaudeau, P. et J. J. Veillette. 2005. Géologie des formations en surface et histoire glaciaire, Lac Chicobi, Québec. Carte 1996A. Commission géologique du Canada.
- Thornthwait, C. W.. 1944. Report of committee on transpiration and evaporation. *Am. Geophys. Union Trans.*, part 5. p. 686-693.
- 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. Carte 1639A. Commission géologique du Canada.
- Veillette, J. J. 1986b. Géologie des formations en surface, Haileybury, Ontario-Québec. Carte 1642A. Commission géologique du Canada.
- Veillette, J. J. 1986c. 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. Carte 1640A. Commission géologique du Canada.
- Veillette, J. J. 1987b. Géologie des formations en surface, Belleterre, Québec. Carte 1643A. Commission géologique du Canada.
- 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. J. 2004. Géologie des formations en surface et histoire glaciaire, Cadillac, Québec. Carte 2019A. Commission géologique du Canada.
- Veillette, J., A. Maqsood, H. De Corta et D. Bois. 2004. Hydrogéologie des eskers de la MRC d'Abitibi, Québec. 57e congrès canadien de géotechnique et 5e congrès conjoint SGC/AIH/CNN, Ville de Québec, octobre 2004, session 3B2, p. 6-13.
- Veillette, J. J. et R.-A. Daigneault. 1987. Géologie des formations en surface, Lac Kipawa, Québec-Ontario. Carte 1644A. Commission géologique du Canada.
- Ville de Rouyn-Noranda. 2010. Schéma d'aménagement et de développement révisé 2010. 249 p.
- Ville de Rouyn-Noranda. 2013. Bilan annuel- eau potable. En ligne. <http://www.ville.rouyn-noranda.qc.ca/fr/page/bilan-annuel-eau-potable/>. Consulté le 24 mars 2015.
- Victorin, Frère Marie, E. Rouleau, L. Brouillet et collaborateurs. 2002. Flore laurentienne, 3^e édition. Gaëtan Morin éditeur. Boucherville (Qc). 1093 p.
- Vincent, J. -S. 1971. Le Quaternaire des cantons de Guigues, Baby, Duhamel et Laverlochère, comté de Témiscamingue, Québec. Maîtrise. Ottawa, Département de géographie Université d'Ottawa. 146 p.

Woodward, J., P. J. Ashworth, J. L. Best, G. H. Sambrook Smith et C. J. Simpson. 2003. The use and application of GPR in sandy fluvial environments: methodological considerations. In Ground Penetrating Radar in Sediments, C. S. Bristow & H. M. Jol (eds), p. 127-142. London: The Geological Society of London, Special Publication 211.

Bibliographie des rapports

- Ancil Conrad et Dupont Claudette. 1978. Eau potable des municipalités de Rouyn-Noranda. 7 p + annexes. (2VRN0014).
- Auteur inconnue. 1971. Essai de pompage sur le puits de 12" (diam) Ville-Marie Cte Témiscamingue. 6 p. (2VVM0002).
- Auteur inconnue. 1972. Épreuve de pompage et Mesures du niveau de l'eau. 8 p. (2MND0003).
- Azzaria M. Louis et Lefebvre Marc. 1983. Qualité chimique d'échantillons d'eau de consommation des villes de Rouyn et Noranda au printemps 1983. 5 p. (2VRN0013).
- Bilodeau, Colin. 1974. Étude des possibilités d'alimentation de votre municipalité par eau souterraine. 2 p + annexe. (2MSH0001).
- Bilodeau, Colin. 1978. Approvisionnement en eau souterraine pour Rouyn-Noranda, comté Témiscamingue. 2 p. (2VRN0021).
- Compagnie internationale des eaux (québec) ltée. 1979. Forage d'exploration de la capacité aquifère du site. 4 p. (2VRN0007).
- Compagnie internationale des eaux (québec) ltée. 1980a. Construction du puits d'essai et expertise de pompage 72 heures. (2VRN0005).
- Compagnie internationale des eaux (québec) ltée. 1980b. Recherche en eau souterraine. 6 p. (2VRN0006).
- Compagnie internationale des eaux (québec) ltée. 1982. St-Guillaume de Granada Étude hydrogéologique. 15 p + annexe. (2VRN0008).
- Compagnie internationale des eaux (québec) ltée. 1984. Rapport sur la construction du puits Layne 1/83 pour la municipalité de Beaudry. 5 p + annexe. (2QBE0004).
- Compagnie internationale des eaux (québec) ltée. 1986. Alimentation en eau à partir des eaux souterraines. 7 p +annexe. (2VRN0017).
- Compagnie internationale des eaux ltée. 1976. Approvisionnement en eau souterraine. 5 p. (2VLAS0006).
- Compagnie internationale des eaux ltée. 1977a. Étude hydrogéologique pour l'alimentation en eau de la municipalité de St-Eugène-de-Guigues, Québec. 12 p + annexe. (2MSE0003).
- Compagnie internationale des eaux ltée. 1977b. Étude hydrogéologique pour l'alimentation en eau de la municipalité de St. Eugène de Guigues, Québec. 12 p + annexe. (2MSE0001).
- Compagnie internationale des eaux ltée. 1978. Rapport de forage. 1 p. (2MSL0003).

- Compagnie internationale des eaux ltée. 1979a. Construction d'un nouveau puits, Ville de La Sarre. 3 p. (2VLAS0005).
- Compagnie internationale des eaux ltée. 1979b. Vérification de la capacité d'un aquifère dans l'esker de La Sarre. 12 p + annexe. (2VLAS0004).
- Consultants H.G.E. inc. 1990. Étude hydrogéologique Puits PE-1. 13 p. + annexe. (MMC0001)
- Côté Langlois et Associés. 1970. Nouvelle source d'approvisionnement en eau potable pour la Municipalité de Palmarolle, Comté Abitibi-Ouest. 1 p + annexe. (2MPA0001).
- Dessau. 2009b. Recherche en eau souterraine - Travaux exploratoires. 20 p + annexe. (2VBE0003).
- Dessau. 2010. Construction et aménagement d'un puits d'eau potable et réalisation d'essais de pompage. 23 p + annexe. (2MAN0002).
- Donat Bilodeau Experts-Conseils inc. 1999. J.M. Massé et Fils Inc. Municipalité de Palmarolle, Recherche en eau souterraine. 18 p. + annexe. (2MPA0002).
- Eau Claire Québec. 2012. Débit d'un puits (Fiche technique). (2QLB0001).
- Environex Laboratoires Environnementaux. 2012. Fiche de résultats d'analyses chimiques. 1 p. (2MBE0016)
- EWA International inc. 2001a. Étude hydrogéologique Phase 2. 18 p + annexe. (2VLAS0002).
- EWA International inc. 2001b. Visite exploratoire et Évaluation hydrogéologique préliminaire. 44 p + annexe. (2VLAS0001).
- EWA International inc. 2002. Étude hydrogéologique Phase 3. 23 p + annexe. (2VLAS0003).
- Foratek Inc. 1989. Municipalité du Village de Lorrainville, Forage d'un puits pour l'approvisionnement en eau potable. Rapport no 89044. 24 p + Annexe.
- Genivar. 2008. Ville de Témiscaming - Usine de production d'eau potable. 26 p + annexe. (2VTE0002).
- Gouvernement du Québec. Regroupement de plusieurs lettres et dossiers de Ville-Marie. (2VVM0005).
- Gouvernement du Québec. 1956. Relevé hydrologique à St-Placide de Béarn, comté de Témiscamingue. Ministère des Mines, Gouvernement du Québec. Service de la Carte Géologique, Section de l'Hydrologie. 5 p. (2MBE0007).
- Gouvernement du Québec. 1959. Relevé hydrologique à Lorrainville, district électoral de Témiscamingue. Ministère des Mines, Gouvernement du Québec. 9 p. (2MLO0001).
- Gouvernement du Québec. 1962. Levé hydrogéologique à Lorrainville, district électoral de Témiscamingue. Ministère des Richesses Naturelles, Gouvernement du Québec. Service des Eaux, Gaz et Pétrole. 5 p. (2MLO0002).

- Gouvernement du Québec. 1963. Rapport sur un levé hydrogéologique à Ste-Rose-de-Pouliaries, comté d'Abitibi-Ouest. Ministère des Richesses Naturelles. Service des Eaux, Gaz et Pétrole. 6 p. (2MPO0002).
- Gouvernement du Québec. 1966a. Levé hydrogéologique à Angliers, comté municipal de Témiscamingue. Ministère des Richesses Naturelles, Gouvernement du Québec. Service des eaux, gaz et pétrole. 4 p + annexe. (2MAN0001).
- Gouvernement du Québec. 1966b. Levé hydrogéologique à Notre-Dame-du-Nord. Ministère des Richesses Naturelles, Gouvernement du Québec. Service des eaux, gaz et pétrole. 8 p + annexe. (2MND0002).
- Gouvernement du Québec. 1966c. Rapport de forage pour l'eau. 1 p. (2MSH0002).
- Gouvernement du Québec. 1967. Résumé. Ministère des Richesses Naturelles, Gouvernement du Québec. 2 p. (2MND0005).
- Gouvernement du Québec. 1968a. Ministère de la Santé, Gouvernement du Québec. Service du génie sanitaire et de l'hygiène industrielle. 3 p. (2MNE0003).
- Gouvernement du Québec. 1968b. Levé hydrogéologique à Nédelec, comté municipal de Témiscamingue. Ministère des Richesses Naturelles, Gouvernement du Québec. Service de l'Hydrogéologie. 7 p. (2MNE0002).
- Gouvernement du Québec. 1968c. Levé hydrogéologique à Notre-Dame-du-Nord, comté municipal de Témiscamingue. Ministère des Richesses Naturelles, Gouvernement du Québec. Service de l'Hydrogéologie. 23 p + annexe. (2MND0004).
- Gouvernement du Québec. 1968d. Levé hydrogéologique à Saint-Bruno-de-Guigues, comté municipal de Témiscamingue. Ministère des Richesses Naturelles, Gouvernement du Québec. Service de l'hydrogéologie. 8 p + annexe. (2MSB0001).
- Gouvernement du Québec. 1968e. Levé hydrogéologique de la ville de La Sarre, comté municipal d'Abitibi. Ministère des Richesses Naturelles, Gouvernement du Québec. Service de l'hydrogéologie. 4 p. (2VLAS0007).
- Gouvernement du Québec. 1971a. Levé hydrogéologique à Cléricy, comté municipal d'Abitibi. Ministère des Richesses Naturelles, Gouvernement du Québec. Service de l'Hydrogéologie. 2 p. (2QCL0001).
- Gouvernement du Québec. 1971b. Levé hydrogéologique à La Reine, comté municipal d'Abitibi. Ministère des Richesses Naturelles, Gouvernement du Québec. Service de l'hydrogéologie. 3 p. (2MLR0001).
- Gouvernement du Québec. 1974. Levé hydrogéologique préliminaire à Saint-Lambert de Desmeloizes, comté d'Abitibi. Ministère des Richesses Naturelles, Gouvernement du Québec. Service des Eaux souterraines. 3 p + annexe. (2MSL0002 / 2SLM0002).

- Gouvernement du Québec. 1975. Levé hydrogéologique à Beaudry, comté de Témiscamingue. Ministère des Richesses Naturelles, Gouvernement du Québec. Service des Eaux souterraines. 2 p + annexe. (2QBE0001).
- Gouvernement du Québec. 1976a. Approvisionnement en eau d'un terrain de camping à Laforce, comté de Témiscamingue. Ministère des Richesses Naturelles, Gouvernement du Québec. Service des Eaux souterraines. 2 p. (2MLF0001).
- Gouvernement du Québec. 1976b. Hydrogéologie de la région de Ville-Marie, comté de Témiscamingue. Ministère des Richesses Naturelles, Gouvernement du Québec. Service des Eaux souterraines. 23 p + annexe. (2VVM0004).
- Gouvernement du Québec. 1976c. Levé hydrogéologique à Sainte-Rose-de-Pouliaries, comté d'Abitibi. Ministère des Richesses Naturelles, Gouvernement du Québec. Service des Eaux souterraines. 2 p + annexe. (2MPO0001).
- Gouvernement du Québec. 1977. Compte rendu d'une visite à Granada, comté de Témiscamingue. Ministère des Richesses Naturelles, Gouvernement du Québec. Service des Eaux souterraines. 3 p. (2VRN0022).
- Gouvernement du Québec. 1978a. Étude du régime hydrique du Lac Laperrrière. Direction générale de la nature, Gouvernement du Québec. Service de protection de l'environnement. (2MDO0001).
- Gouvernement du Québec. 1978b. Recherche en eau souterraine à Granada. Ministère des Richesses Naturelles, Gouvernement du Québec. Service des Eaux souterraines. 3 p + annexe. (2VRN0004).
- Gouvernement du Québec. 1980. Teneur d'arsenic élevée dans certains puits souterrains alimentant des résidents de Granada. Gouvernement du Québec. Service de protection de l'environnement. 3 p. (2VRN0025).
- Gouvernement du Québec. 1982. Présence d'éléments toxiques dans les eaux souterraines de l'Abitibi. Ministère de l'Environnement, Gouvernement du Québec. Service des eaux souterraines. 5 p. (2RAT0001).
- Gouvernement du Québec. 1984a. Commentaires sur un rapport hydrogéologique préparé pour les Explorations Augmitto Ltée sur leur développement minier dans le canton de Beauchastel, Saint-Guillaume-de-Granada, comté de Témiscamingue. Ministère de l'Environnement, Gouvernement du Québec. Service des eaux souterraines. 3 p. (2VRN0026).
- Gouvernement du Québec. 1984b. Évaluation de l'impact de l'exploitation d'une sablière dans le secteur des sources alternatives d'eau potable à Évain-Granada. Ministère de l'Environnement, Gouvernement du Québec. Service des eaux souterraines. 6 p + annexe. (2VRN0009).
- Gouvernement du Québec. 1984c. Levé hydrogéologique à Latulipe, comté de Témiscamingue. Ministère de l'Environnement, Gouvernement du Québec. Service des eaux souterraines. 5 p + annexe. (2MLT0001).

- Gouvernement du Québec. 1985. Note sur le risque de contamination de la source d'approvisionnement en eau de la municipalité de Laverlochère (Témiscamingue) par l'exploitation de la gravière Falardeau. Ministère de l'Environnement, Gouvernement du Québec. Direction des eaux souterraines et de consommation. 13 p + annexe. (2MLV0002).
- Gouvernement du Québec. 1986a. Liste condensée des puits et forages. Ministère des Communications, Gouvernement du Québec. 3 p. (2MRCT0001).
- Gouvernement du Québec. 1986b. Notes supplémentaires sur le risque de contamination de la source d'approvisionnement en eau potable de la municipalité de Laverlochère (Témiscamingue) par l'exploitation de la gravière Falardeau. Ministère de l'Environnement, Gouvernement du Québec. Direction des eaux souterraines et de consommation. 4 p + annexe. (2MLV0001).
- Gouvernement du Québec. 1987a. Cas de contamination de la nappe souterraine par le lessivage d'un amas de sels de déglacage à Nédelec, MRC Témiscamingue. Gouvernement du Québec. Direction des eaux souterraines et de consommation. 6 p + annexe. (2MNE0001).
- Gouvernement du Québec. 1987b. Contamination d'hydrocarbure Mc Watters. Ministère de l'Environnement, Gouvernement du Québec. Direction régionales de l'Abitibi-Témiscamingue et du Nord québécois. 3 p. (2QMC0003).
- Gouvernement du Québec. 1997a. Programme de suivi environnemental des puits d'eau potable, Route : 117-09-090, Municipalités : Rouyn-Noranda – Mc Watters. Ministère des Transports, Gouvernement du Québec. Service géotechnique & Géologie - Groupe mécanique des roches. 5 p + annexe. (2QMC0001).
- Gouvernement du Québec. 1997b. Puits contaminés par l'arsenic, Endroit : Route 117, Municipalité : Rouyn-Noranda et Mc Watters. Ministère des Transports, Gouvernement du Québec. Direction du laboratoire des chaussées. 2 p + annexe. (2QMC0002).
- Gouvernement du Québec. 2000. Projet Ced-Or Béarn, Réponses aux questions du BAPE. Ministère de l'Environnement, Gouvernement du Canada. Direction des politiques du secteur municipal, Service de l'expertise technique en eau. 8 p + annexe. (2MBE0001).
- Gouvernement du Québec. 2001. Avis sur l'usine de panneaux de cèdre de Ced-Or à Béarn, au Témiscamingue. Ministère de l'Environnement, Gouvernement du Québec. Direction des politiques du secteur municipal. 12 p. (2MBE0005).
- Gouvernement du Québec. 2002a. Eldorado - Échantillonnage des piézomètres autour du réservoir no 1. Ministère de l'Environnement, Gouvernement du Québec. Direction régionale de l'Abitibi-Témiscamingue. 2 p. (2MDU0004).
- Gouvernement du Québec. 2002b. Mine Eldorado, Municipalité de Duparquet. Ministère de l'Environnement, Gouvernement du Québec. Direction des politiques du secteur municipal. 4 p. (2MDU0002).

- Grenier Claude. Commentaires sur un rapport hydrogéologique préparé dans le cadre du programme de subventions PAIRA pour la municipalité de Saint-Guillaume de Granada, comté de Témiscamingue. 3 p. (2VRN0024).
- Groupe Qualitas. 2009. Mise aux normes du puits municipal. 24 p + annexe. (2MDU0003).
- Hydro-Ressources Inc. 2012. Alimentation en eau souterraine 18 p + annexe. (2MFA0001).
- Hydro-Ressources Inc. 2013. Alimentation en eau souterraine, Ville-Marie. 16 p. (2VVM0006).
- Hydrogéolo Canada inc. 1977. Alimentation en eau. 20 p + annexe. (2VVM0001).
- IEC Beak. 1984. Étude des répercussions environnementales du développement de la mine Augmitto, canton de Beauchastel, comté de Témiscamingue, Québec. 37 p + annexe. (2VRN0020).
- International water supply ltd. 1955. Études des Nappes d'Eau souterraines. Ville de Rouyn-Noranda. 10 p. (2VRN0018).
- International water supply ltd. 1966. Expertise de forages. Municipalité de Notre-Dame-du-Nord. 5 p + annexe. (2MND0001).
- International water supply ltd. 1975. Projet d'aqueduc municipal - Rapport sur l'expertise hydrogéologique. Municipalité de St-Lambert. 4 p + annexe. (2MSL0001 / 2SLM0001).
- Jean-R. Côté & Associés. 1968. Vos recherches de abattoir. Ministère des Richesses Naturelles du Québec - Service de l'Hydrogéologie. 2 p. (2QEV0001).
- Laforest Experts-Conseils. 2003. Détermination de l'aire d'alimentation et des périmètres de protection de la source. Municipalité de Béarn. 6 p. (2MBE0011).
- Laforest Experts-Conseils. 2003. Détermination de l'aire d'alimentation et des périmètres de protection de la source. Municipalité de Béarn. 39 p + annexe. (2MBE0015).
- Laforest Nova Aqua. 2008. Mise aux normes du puits municipal suivant le règlement sur le captage des eaux souterraines - Détermination des aires de protection. Municipalité de Saint-Bruno-de-Guigues. 32 p + annexe. (2MSB0002).
- Laforest Nova Aqua. 2010. Graphique des niveaux d'eau du puits municipal de Juin 2008 à Novembre 2009, interprétation des résultats. Municipalité de Notre-Dame-du-Nord. 3 p + annexe. (2MND0006).
- Langlois et Gagné, Consultants inc. 1982. Étude exhaustive traitant de l'approvisionnement en eau potable pour desservir les résidents du village de Granada. Corporation municipale de St-Guillaume de Granada. 29 (manque des pages) p. (2VRN0023).
- Les laboratoires S.L. inc. 2007a. Avis technique, Recherche en eau potable. Municipalité de Laverlochère. 5 + Annexes p. (2MLV0004).

- Les laboratoires S.L. inc. 2007b. Rapport technique, étude hydrogéologique Phase II, Laverlochère. Municipalité de Laverlochère. 9 p + annexe. (2MLV0003).
- Les laboratoires S.L. inc. 2007c. Rapport technique, Étude hydrogéologique, Laverlochère. Municipalité de Laverlochère. 25 p + annexe. (2MLV0005).
- Les laboratoires Ville Marie Inc. 1988. Fosse septique et élément épurateur, travaux d'interception et de traitement. Étude géotechnique - Société Québécoise d'Assainissement des Eaux. 14 p + annexe. (2QDE0001).
- LVM-Technisol. 2008. Recherche en eau souterraine - Ville de Belleterre - Résultats du levé de géophysique par sismique réfraction Phase II. Ville de Belleterre - Rapport d'étape. 8 p + annexe. (2VBE0004).
- LVM-Technisol. 2010a. Recherche en eau souterraine - Construction du puits P-1. Ville de Belleterre - Rapport hydrogéologique. 20 p + annexe. (2VBE0005).
- LVM-Technisol. 2010b. Recherche en eau souterraine - Rédaction d'un rapport hydrogéologique final. Ville de Belleterre - Rapport hydrogéologique. 42 p + annexe. (2VBE0006).
- LVM-Technisol. 2011. Recherche en eau souterraine phase II - Ville de Belleterre. Rapport hydrogéologique. 25 p. (2VBE0001).
- Monterval. 2002. Étude hydrogéologique préliminaire. 23 p + annexe. (G02402-B).
- Monterval. S.D. Rapports de forage et sondage. Municipalité de Beaudry. 13 p. (2QBE0003).
- Multitech inc. 1992. Projet site d'enfouissement sanitaire ville de Rouyn-Noranda, Canton Rouyn, Québec. Ville de Rouyn-Noranda. (2VRN0016).
- Municipalité de Beaudry. 1981. Demande de subvention PAIRA. Municipalité de Beaudry (ville de Rouyn-Noranda). 1 p + annexe. (2QBE0002).
- Municipalité de Chazel. 2012. Annexe – A: Résultats d'analyses chimiques Projet C-112149. 12 p. (2MCH0001).
- RE consultants, TechnoRem. 2007. Expertise hydrogéologique en vue de conformer l'ouvrage de captage municipal aux exigences du RCES. Municipalité de Nédelec - Rapport final. 24 p + annexe. (2MNE0004).
- Régie des eaux du Québec. 1970. Rapport d'enquête sur la qualité des eaux du lac Dufault comté de Rouyn-Noranda. 36 p. (2VRN0010).
- ROCHE. 2002a. Argumentation environnementale de changement de site - Usine de panneaux de cèdre. 6 p. (2MBE0010).
- ROCHE. 2002b. Projet d'usine de panneaux de cèdre Ced-Or - Mise à jour des impacts environnementaux découlant du changement de site. 7 p. (2MBE0009).

- Rouyn, Cité de. 1980. Rapport-synthèse. 8 p. (2VRN0019).
- Service de protection de l'environnement. 1977. Étude des caractéristiques physico-chimiques des eaux brutes et traitées de l'aqueduc de la ville de Rouyn-Noranda. Ville de Rouyn-Noranda - Évaluation du danger pour la consommation et Évaluation de l'efficacité du traitement et proposition d'amélioration. 33 p. (2VRN0011).
- Service de protection de l'environnement. 1978. Étude de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques des eaux brutes et traitées de l'aqueduc de la ville de Rouyn-Noranda. Ville de Rouyn-Noranda. 43 p. (2VRN0015).
- Services techniques en eau souterraine inc. 1969. Rapport hydrogéologique sur un programme de forage et des puits de production avec essai de pompage pour la ville de Ville-Marie comté de Témiscamingue, Québec. ville de Ville-Marie. 31 p + annexe. (2VVM0003).
- SNC Lavalin. 1995. Travaux de caractérisation réalisés à Duparquet dans le cadre de l'entente hors cours entre les mines d'Or Eldorado et le Ministère de l'Environnement et de la Faune. Rapport préliminaire. p. (2MDU0001).
- SNC Lavalin. 1999a. Étude d'impact sur l'environnement. Usine de panneaux de cèdre. Corporation Ced-Or - Résumé - version finale. p. (2MBE0006).
- SNC Lavalin. 1999b. Étude hydrogéologie. Usine de panneaux de cèdre. Document de support à l'étude d'impact sur l'environnement. Corporation Ced-Or - Version finale. 32 p + annexe. (2MBE0008).
- SNC Lavalin. 1999c. Projet Ced-Or/ Béarn, Québec, Étude hydrogéologique. Document de support à l'étude d'impact sur l'environnement, Notre dossier : 013418. 4 p. (2MBE0003).
- SNC Lavalin. 1999d. Projet Ced-Or/Béarn, Québec - Étude d'impact sur l'environnement. (2MBE0013).
- SNC Lavalin. 1999e. Réponses aux questions et commentaires du MENV - version finale. Corporation Ced-Or - Étude d'impact sur l'environnement. (2MBE0012).
- SNC Lavalin. 2000. Projet Ced-Or / Béarn, Québec - Modification agencement du site. 2 p + annexe. (2MBE0014).
- SNC Lavalin. 2001. Projet Ced-Or/Béarn, Québec, Étude hydrogéologique / Addenda Notre projet : 013418. 1 p + annexe. (2MBE0002).
- Stavibel. Municipalité de La Reine, amélioration du service d'eau potable (LS319-000-RE-01). 2010. Rapport partiel (incomplet). (2MLR0002).
- Stavibel. 2010. Approvisionnement en eau potable. Ville de Belleterre - Rapport de l'ingénieur - Rapport de deuxième étape. 10 p + annexe. (2VBE0002).
- Stavibel. 2011. Municipalité de Normétal, Infrastructures d'alimentation et de distribution d'eau potable, Étude préliminaire (LS350-000-RE-001). 14 p + Annexe. (2MNO0001).

- TechnoRem. 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. Rapport Préliminaire. 53 p. + annexe. (VRN0003).
- TechnoRem. 2006a. Amélioration des connaissances sur la prise d'eau potable communautaire du secteur de Beaudry, Rouyn-Noranda, Québec. Ville de Rouyn-Noranda - Projet de rapport. 53 p + annexe. (2VRN0001).
- TechnoRem. 2006b. Amélioration des connaissances sur la prise d'eau potable communautaire du secteur de Destor, Rouyn-Noranda, Québec. ville de Rouyn-Noranda - projet de rapport. 52 p + annexe. (2VRN0003).
- TechnoRem. 2006c. Amélioration des connaissances sur la prise d'eau potable communautaire du secteur d'Évain, Rouyn-Noranda, Québec. Ville de Rouyn-Noranda - Projet de rapport. 61 p + annexe. (2VRN0002).
- TechnoRem. 2006d. Amélioration des connaissances sur la prise d'eau potable communautaire de l'aéroport de Rouyn-Noranda. Projet de rapport. 56 p. + annexe. (VRN0002).
- TEK-EAU. 1982. Aménagement d'un puits permanent. Municipalité de Saint-Eugène-de-Guigues. 17 p + annexe. (2MSE0002).
- Terratech. 2000. Usine de panneaux OSB de cèdre. Produits Forestiers Ced-Or inc. Rapport d'étude géotechnique. 32 p + annexe. (2MBE0004).