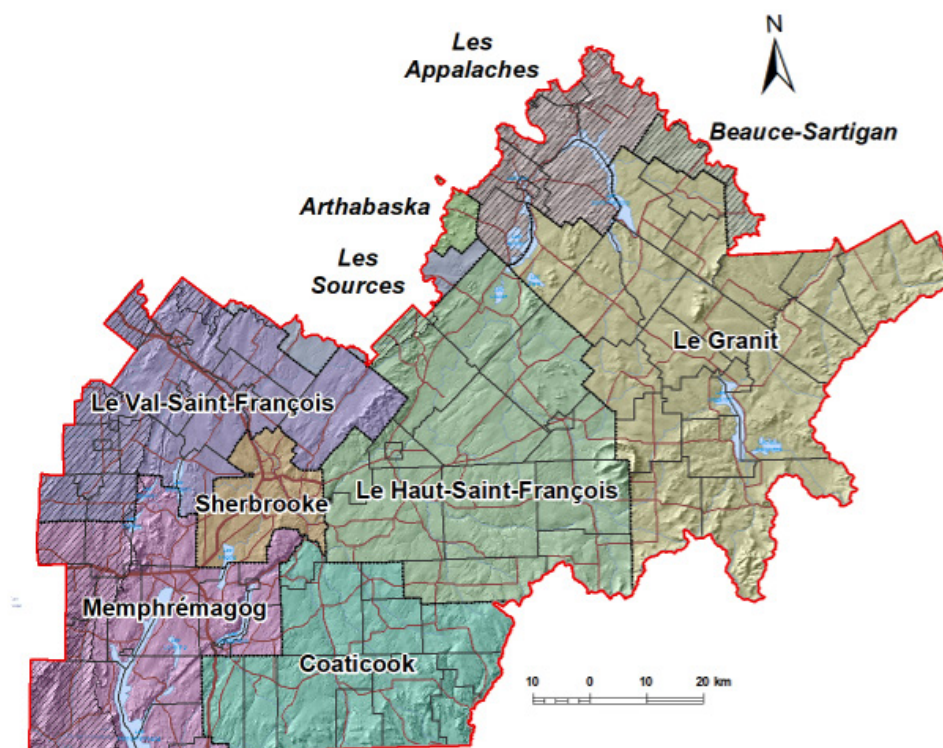


ATELIER 3

Comprendre le fonctionnement hydrogéologique de notre territoire

Estrie



CAHIER DU PARTICIPANT

webinaire, 30 novembre et 1er décembre 2021

Cet atelier de transfert et d'échange des connaissances issues du Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES) du territoire de l'Estrie, en formule webinaire, est rendu possible grâce au financement du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). Il est le résultat d'un travail conjoint entre le Réseau québécois sur les eaux souterraines (RQES), l'INRS-ETE et Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR) :

- Anne-Marie Decelles, directrice générale du RQES, conception, préparation et animation du webinaire
- Miryane Ferlatte, coordonnatrice scientifique du RQES, conception, préparation et animation du webinaire
- Julie Ruiz, professeure et co-directrice du centre de recherche RIVE de l'UQTR, conception du webinaire
- René Lefebvre, professeur en hydrogéologie, INRS-ETE, coordonnateur du PACES Estrie
- Jean-Marc Ballard, professionnel de recherche en hydrogéologie, INRS-ETE, chargé de projet pour le PACES Estrie
- Mélanie Raynauld, professionnelle de recherche en hydrogéologie, INRS-ETE, cartographie hydrogéologique pour le PACES Estrie
- François Huchet, professionnel de recherche, INRS-ETE, échantillonnage de l'eau souterraine et analyse de données pour le PACES Estrie
- Julie Grenier, chargée de projet COGESAF, coordinatrice des partenaires régionaux et support logistique pour le PACES Estrie

Ce cahier est préparé exclusivement pour la réalisation du webinaire des 30 novembre et 1er décembre 2021.

Références à citer

L'ensemble des informations sur les notions hydrogéologiques fondamentales provient d'un travail de vulgarisation réalisé par un comité de travail du RQES. Toute utilisation de ces notions doit être citée comme suit :

Ferlatte, M., Tremblay, Y., Rouleau, A. et Larouche, U. F. 2014. Notions d'hydrogéologie - Les eaux souterraines pour tous. Première Édition. Réseau québécois sur les eaux souterraines (RQES). 63 p.

Le présent document résulte d'un travail de vulgarisation des connaissances sur les eaux souterraines issues du PACES de l'Estrie:

Decelles, A.M., Ferlatte, M. et Ruiz, J. 2021. Atelier 3 - Comprendre le fonctionnement hydrogéologique de notre territoire, cahier du participant pour le webinaire. Document préparé par le RQES, avec la contribution de l'INRS-ETE et de l'UQTR, pour les acteurs de l'aménagement du territoire, 79p.

Le PACES Estrie est décrit au lien suivant où il est aussi possible de télécharger les deux rapports intermédiaires déjà produits : <https://cogesaf.qc.ca/paces-estrie/>



Ce document est sous licence Creative Commons Attribution - Pas d'utilisation commerciale - Partage dans les mêmes conditions 4.0 International. Pour accéder à une copie de cette licence, merci de vous rendre à l'adresse suivante <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> ou envoyez un courrier à Creative Commons, 444 Castro Street, Suite 900, Mountain View, California, 94041, USA.

Les organisateurs de l'atelier

Le Réseau québécois sur les eaux souterraines (RQES)

Le RQES a pour mission de consolider et d'étendre les collaborations entre les équipes de recherche universitaire et le MELCC d'une part, et les autres organismes gouvernementaux et non gouvernementaux, les consultants, les établissements d'enseignement et autres organismes intéressés au domaine des eaux souterraines au Québec, en vue de la mobilisation des connaissances scientifiques sur les eaux souterraines.

Le RQES poursuit les objectifs spécifiques suivants :

- Identifier les besoins des utilisateurs en matière de recherche, d'applications concrètes pour la gestion de la ressource en eau souterraine, et de formation;
- Faciliter le transfert des connaissances acquises vers les utilisateurs afin de soutenir la gestion et la protection de la ressource;
- Servir de support à la formation du personnel qualifié dans le domaine des eaux souterraines pouvant répondre aux exigences du marché du travail actuel et futur en recherche, en gestion et en consultation.

Pour en savoir plus : www.rques.ca

Le Centre Eau Terre Environnement de l'INRS

En 1969, le gouvernement du Québec a créé l'Institut national de la recherche scientifique (INRS), une des composantes du réseau de l'Université du Québec (UQ). L'INRS est composé de quatre centres de recherche et compte 150 professeurs. L'INRS est une université non conventionnelle dédiée à la recherche scientifique grâce à ses programmes de formation concentrés aux 2e et 3e cycles (maîtrise et doctorat). Les 33 professeurs du Centre Eau Terre Environnement (INRS-ETE), situé à Québec, contribuent à l'avancement des connaissances en vue d'améliorer la protection, la conservation et la mise en valeur des ressources naturelles. Les chercheurs du Centre concentrent leurs activités dans six axes de recherche : 1) Géomatique et télédétection, 2) Écologie, écotoxicologie et génomique environnementale, 3) Hydroclimatologie, 4) Technologies environnementales, 5) Géologie et ressources géologiques, et 6) Géosciences environnementales.

Pour en savoir plus : <https://inrs.ca/linrs/centres-de-recherche/centre-eau-terre-environnement/>

Table des matières

Le déroulement de l'atelier	5
Votre équipe de formation	6
1. Les notions de base en hydrogéologie	7
Glossaire	9
Quelques notions clés sur les eaux souterraines	12
2. Lecture des données cartographiques	15
Rappel des notions vues au dernier atelier	18
Recharge	23
Vulnérabilité	27
Types d'eau et eaux impactées	31
Vulnérabilité des puits, usagers et utilisation du territoire	35
3. L'eau souterraine de notre territoire	39
4. Synthèse des notions apprises	42
Interpréter les cartes pour répondre à une question en aménagement	45
5. Élaborer une stratégie de protection et de gestion des eaux souterraines	67
Des mesures multiples et complémentaires	69
Mise en situation	70
Gabarit	72
Exemple	74
Mes notes personnelles	75
ANNEXE - Description des groupes d'eau	76

Le déroulement de l'atelier

Objectifs

- 1-** Poursuivre l'acquisition des notions de base en hydrogéologie pour communiquer avec les chercheurs
- 2 -** Comprendre le fonctionnement des aquifères de notre région
- 3 -** Apprendre à lire et à interpréter les résultats PACES de notre région pour répondre à des enjeux de protection et de gestion de l'eau souterraine
- 4 -** Développer des pistes d'action pour la protection et la gestion des eaux souterraines (PGES)

LES ACTIVITÉS

JOUR 1

- 1. Les notions de base en hydrogéologie**
- 2. Lecture des données cartographiques**
- 3. L'eau souterraine de notre territoire**

JOUR 2

- 4. Synthèse des notions apprises**
- 5. Élaborer une stratégie de protection et de gestion des eaux souterraines**

Votre équipe de formation

Vos animateurs du RQES

**Miryane Ferlatte**

M.Sc. Hydrogéologie
Coordonnatrice scientifique du RQES
Département des sciences de la Terre
et de l'atmosphère, Université du
Québec à Montréal
rqes.coord@gmail.com

**Anne-Marie Decelles**

M.A. Développement régional
Directrice générale du RQES
Département des sciences de
l'environnement, Université du
Québec à Trois-Rivières
CP 500, Trois-Rivières (Qc) G9A 5H7
819-376-5011 poste 3238
Anne-Marie.Decelles1@uqtr.ca

Vos experts en eaux souterraines - L'équipe de recherche de l'INRS-ETE

**René Lefebvre**

Ph.D. Géologie
Professeur titulaire
Centre Eau Terre Environnement
Institut national de la recherche
scientifique
490 rue de la Couronne
Québec (Qc) G1K 9A9
418-654-2651
rene.lefebvre@inrs.ca

**Jean-Marc Ballard**

M.Sc. Hydrogéologie
Professionnel de recherche
Centre Eau Terre Environnement
Institut national de la recherche
scientifique
490 rue de la Couronne
Québec (Qc) G1K 9A9
418 654-2654
jean-marc.ballard@inrs.ca

**Mélanie Raynauld**

M.Sc. Hydrogéologie
Professionnelle de recherche
Centre Eau Terre Environnement
Institut national de la recherche
scientifique
490 rue de la Couronne
Québec (Qc) G1K 9A9
418-654-2034
Melanie.Raynauld@inrs.ca

**François Huchet**

M.Sc. Hydrogéologie
Professionnel de recherche
Centre Eau Terre Environnement
Institut national de la recherche
scientifique
490 rue de la Couronne
Québec (Qc) G1K 9A9
(418) 654-2524 Poste 4485
francois.huchet@inrs.ca

**Renaud Delisle**

Candidat à la maîtrise en Aménagement
du territoire et développement régional
Université Laval, École supérieure
d'aménagement du territoire et de
développement régional (ÉSAD)
Pavillon Félix-Antoine-Savard 2325, allée
des Bibliothèques Local FAS-1616, Québec,
QC G1V 0A6
renaud.delisle.1@ulaval.ca

**Jimmy Mayrand**

Candidat à la maîtrise en
aménagement du territoire et
développement régional
Université Laval, École supérieure
d'aménagement du territoire et de
développement régional (ÉSAD)
Pavillon Félix-Antoine-Savard 2325,
allée des Bibliothèques
Québec (Québec) G1V 0A6
jimmy.mayrand.1@ulaval

Activité 1

Les notions de base en hydrogéologie



Tout au long du cahier

Les mots ou expressions en **BLEU** sont définis dans le glossaire des notions clés sur les [eaux souterraines](#) (p. 9 à 11)

Explication activité 1

Objectif



Poursuivre l'acquisition des notions de base en hydrogéologie pour communiquer avec les chercheurs.

Déroulement



Les animatrices dirigent l'activité.

+



Les participants peuvent poser des questions dans le clavardage.

Glossaire de quelques notions clés sur les eaux souterraines

Le glossaire de l'ensemble des notions clés est disponible au lien internet suivant : rques.ca/glossaire/

Aire d'alimentation

Portion du territoire à l'intérieur de laquelle toute l'eau souterraine qui y circule aboutira tôt ou tard au point de captage.

Aquifère

Unité géologique perméable comportant une zone saturée qui conduit suffisamment d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe et le captage de quantités d'eau appréciables à un puits ou à une source. C'est le contenant.

Aquifère confiné

Aquifère isolé de l'atmosphère par un aquitard. Il contient une nappe captive. Il n'est pas directement rechargé par l'infiltration verticale et se retrouve ainsi protégé des contaminants provenant directement de la surface.

Aquifère de roc fracturé

Aquifère constitué de roche et rendu perméable par les fractures qui le traversent. Le pompage de débits importants est parfois difficile.

Aquifère granulaire

Aquifère constitué de dépôts meubles. Généralement, plus les particules sont grossières (ex. : sable et gravier), plus les pores sont gros, plus ils sont interconnectés et plus l'aquifère granulaire est perméable. Le pompage de débits importants est souvent possible.

Aquifère non confiné

Aquifère près de la surface des terrains, en contact avec l'atmosphère (pas isolé par un aquitard). Il contient une nappe libre. Il peut être directement rechargé par l'infiltration verticale et est généralement plus vulnérable à la contamination.

Aquifère semi-confiné

Cas intermédiaire entre l'aquifère confiné et l'aquifère non confiné, il est partiellement isolé de l'atmosphère par une unité géologique peu perméable, discontinue ou de faible épaisseur. Il contient une nappe semi-captive. Il est modérément rechargé et protégé.

Aquitard

Unité géologique très peu perméable, c'est-à-dire de très faible conductivité hydraulique, dans laquelle l'eau souterraine s'écoule difficilement. Généralement, plus les particules d'un dépôt meuble sont fines (ex. : argile et silt), plus les pores sont petits, moins l'eau est accessible et moins le dépôt meuble est perméable. L'aquitard agit comme barrière naturelle à l'écoulement et protège ainsi l'aquifère sous-jacent des contaminants venant de la surface.

Argile

Grain très fin, de taille inférieure à 0,002 mm; les pores sont également très petits, rendant les dépôts meubles argileux très peu perméables.

Charge hydraulique

Hauteur atteinte par l'eau souterraine dans un puits pour atteindre l'équilibre avec la pression atmosphérique; généralement exprimée par rapport au niveau moyen de la mer. L'eau souterraine s'écoule d'un point où la charge hydraulique est la plus élevée vers un point où elle est la plus basse. Voir Niveau piézométrique.

Concentration maximale acceptable (CMA)

Seuil de paramètres bactériologiques, physiques ou chimiques que l'eau potable ne doit pas dépasser afin d'éviter des risques pour la santé humaine (provient du Règlement sur la qualité de l'eau potable du Gouvernement du Québec).

Conductivité hydraulique

Aptitude d'un milieu poreux à se laisser traverser par l'eau sous l'effet d'un gradient de charge hydraulique. Plus les pores sont interconnectés, plus le milieu géologique est perméable et plus l'eau peut pénétrer et circuler facilement.

Débit de base

Part du débit d'un cours d'eau qui provient essentiellement de l'apport des eaux souterraines. En période d'étiage la grande majorité du débit des cours d'eau est constitué d'eau souterraine.

Dépôt meuble

Matériau non consolidé qui provient de l'érosion du socle rocheux et qui le recouvre (ex. : sable, silt, argile, etc.). Synonymes : Mort terrain, Dépôt quaternaire, Dépôt non consolidé, Formation superficielle, Sédiment.

DRASTIC

Système de cotation numérique utilisé pour évaluer la **vulnérabilité** intrinsèque d'un **aquifère**, soit sa susceptibilité de se voir affecter par une contamination provenant directement de la surface. Les sept facteurs considérés sont : la profondeur du toit de la **nappe**, la **recharge**, la nature de l'**aquifère**, le type de sol, la pente du terrain, l'impact de la zone vadose et la **conductivité hydraulique** de l'**aquifère**. L'indice **DRASTIC** peut varier entre 23 et 226; plus l'indice est élevé, plus l'**aquifère** est vulnérable à la contamination.

Eau souterraine

Toute eau présente dans le sous-sol et qui remplit les **pores** des unités géologiques (à l'exception de l'eau de constitution, c'est-à-dire entrant dans la composition chimique des minéraux).

Fracture

Terme général désignant toute cassure, souvent d'origine tectonique, de terrains, de roches, voire de minéraux, avec ou sans déplacement relatif des parois. Ces ouvertures peuvent être occupées par de l'air, de l'eau, ou d'autres matières gazeuses ou liquides.

Gradient hydraulique

Différence de **charge hydraulique** entre deux points, divisée par la distance entre ces deux points. L'**eau souterraine** s'écoule d'un point où la **charge hydraulique** est la plus élevée vers un point où elle est la plus basse.

Gravier

Grain grossier, d'un diamètre compris entre 2 et 75 mm.

Hydrostratigraphie

Représente un arrangement des unités de dépôts meubles et de roches en profondeur en considérant leur perméabilité respective.

Nappe (ou nappe phréatique)

Ensemble des **eaux souterraines** comprises dans la **zone saturée** d'un **aquifère** et accessibles par des puits. C'est le contenu de l'**aquifère**.

Nappe captive

Nappe d'eau souterraine limitée au-dessus par une unité géologique imperméable. Elle est soumise à une pression supérieure à la pression atmosphérique, ce qui fait que lorsqu'un forage perce cette couche, le niveau de l'eau monte dans le tubage, et parfois dépasse le niveau du sol (puits artésien jaillissant). Elle n'est pas directement rechargée par l'infiltration verticale et se retrouve ainsi protégée des contaminants provenant directement de la surface.

Nappe libre

Nappe d'eau souterraine située la plus près de la surface des terrains, qui n'est pas couverte par une unité géologique imperméable. Elle est en contact avec l'atmosphère à travers la zone non saturée des terrains. Elle peut être directement rechargée par l'infiltration verticale et est généralement plus vulnérable à la contamination.

Nappe semi-captive

Cas intermédiaire entre la **nappe libre** et la **nappe captive**, elle est partiellement limitée au-dessus par une unité géologique peu perméable, discontinue ou de faible épaisseur. Elle est modérément rechargée et protégée.

Niveau piézométrique

Hauteur atteinte par l'**eau souterraine** dans un puits pour atteindre l'équilibre avec la pression atmosphérique; généralement exprimée par rapport au niveau moyen de la mer. L'**eau souterraine** s'écoule d'un point où le **niveau piézométrique** est le plus élevé vers un point où il est le plus bas. Voir **Charge hydraulique**.

Objectifs esthétiques (OE)

Recommandation pour des paramètres physiques ou chimiques ayant un impact sur les caractéristiques esthétiques de l'eau (couleur, odeur, goût, etc.), mais n'ayant pas d'effet néfaste reconnu sur la santé humaine (publiés par Santé Canada). Les paramètres dont la présence peut entraîner la corrosion ou l'entartrage des puits ou des réseaux d'alimentation en eau sont aussi visés par ces objectifs.

Pore

Interstice dans une unité géologique qui n'est occupé par aucune matière minérale solide. Cet espace vide peut être occupé par de l'air, de l'eau, ou d'autres matières gazeuses ou liquides.

Porosité

Rapport, exprimé en pourcentage, du volume des pores d'un matériau sur son volume total. Plus la porosité est élevée, plus il y a d'espace disponible pour emmagasiner de l'eau.

Potentiel aquifère

La capacité d'un système aquifère à fournir un débit d'eau souterraine important de manière soutenue.

Propriétés (ou paramètres) hydrauliques

L'ensemble des paramètres quantifiables permettant de caractériser l'aptitude d'une unité géologique à contenir de l'eau et à la laisser circuler (ex. : porosité, conductivité hydraulique, etc.).

Recharge

Renouvellement en eau de la nappe, par infiltration de l'eau des précipitations dans le sol et percolation jusqu'à la zone saturée.

Résurgence

Émergence en surface de l'eau, au terme de son parcours dans l'aquifère, lorsque le niveau piézométrique de la nappe dépasse le niveau de la surface du sol. Les résurgences sont généralement diffuses, c'est-à-dire largement étendues (ex. : cours d'eau, lacs et milieux humides), et sont parfois ponctuelles, c'est-à-dire localisées en un point précis (source).

Sable

Grain d'un diamètre compris entre 0,05 et 2 mm.

Silt

Grain d'un diamètre compris entre 0,002 et 0,05 mm, soit plus large que l'argile et plus petit que le sable. Synonyme: Limon.

Source

Eau souterraine émergeant naturellement à la surface de la Terre.

Surface piézométrique

Surface représentant la charge hydraulique en tout point de l'eau souterraine.

Temps de résidence

Durée pendant laquelle l'eau demeure sous terre, depuis son infiltration jusqu'à sa résurgence. Plus son temps de résidence est long, plus l'eau sera évoluée et minéralisée, c'est-à-dire concentrée en minéraux dissous.

Till

Matériau granulaire mis en place à la base d'un glacier, composé de sédiments de toutes tailles dans n'importe quelle proportion, généralement dans une matrice de sédiments fins.

Transmissivité

Aptitude d'un aquifère à se laisser traverser par l'eau sous l'effet d'un gradient de charge hydraulique; c'est le produit de la conductivité hydraulique par l'épaisseur de l'aquifère; exprimée en L²/t (ex. : en mètres carrés par seconde).

Vulnérabilité

Sensibilité d'un aquifère à la pollution de l'eau souterraine à partir de l'émission de contaminants à la surface du sol.

Zone non saturée

Zone comprise entre la surface du sol et le toit de la nappe dans laquelle les pores de l'unité géologique contiennent de l'air et ne sont pas entièrement remplis d'eau. Synonyme : Zone vadose.

Zone saturée

Zone située sous le toit de la nappe dans laquelle les pores de l'unité géologique sont entièrement remplis d'eau.

Zone vadose

Voir Zone non saturée.



Nappe, aquifère et aquitard

L'**EAU SOUTERRAINE** est l'eau qui se trouve sous la surface du sol et qui remplit les espaces vides du milieu géologique.

Définitions de base

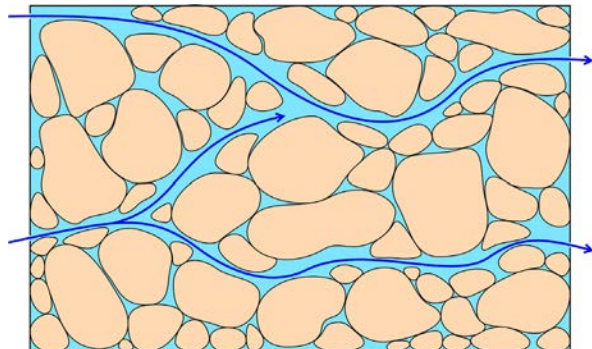
La **POROSITÉ** est le volume (en %) des pores, c'est-à-dire des espaces vides au sein de la matrice solide.

- Plus la porosité est élevée, plus il y a d'espace disponible pour emmagasiner de l'eau.

La **CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE** est l'habileté du milieu à transmettre l'eau.

- Plus les pores sont interconnectés, plus le milieu géologique est perméable et plus l'eau peut pénétrer et circuler facilement.

Circulation de l'eau souterraine entre les pores



NAPPE et AQUIFÈRE, de quoi parle-t-on ?

La **NAPPE** représente l'eau souterraine qui circule dans un aquifère.

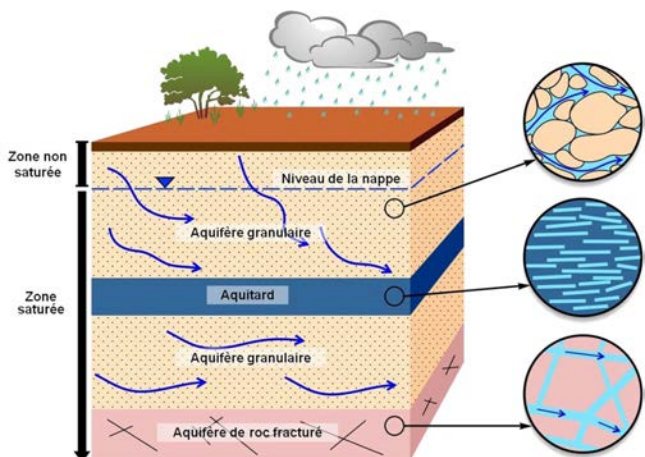
- C'est le **contenu**.

Un **AQUIFÈRE** est un milieu géologique perméable comportant une zone saturée qui permet le pompage de quantités d'eau appréciables à un puits ou à une source.

- C'est le **contenant**.

Comment cela fonctionne-t-il ?

L'eau qui s'infiltre dans le sol percole verticalement et traverse la **zone vadose** (ou **zone non saturée**) pour atteindre la **nappe** phréatique (**zone saturée**), et ainsi contribuer à la **recharge** de l'aquifère. Comme pour l'eau en surface, l'eau souterraine s'écoule dans l'aquifère, mais beaucoup plus lentement que dans les rivières.



Qu'est-ce qu'un AQUITARD ?

L'**AQUITARD** est un milieu géologique très peu perméable, c'est-à-dire de très faible conductivité hydraulique, dans lequel l'eau souterraine s'écoule difficilement. Il agit comme **barrière naturelle** à l'écoulement et protège ainsi l'aquifère sous-jacent des contaminants venant de la surface.



Différents types d'aquifères

Quels sont les milieux géologiques qui constituent des aquifères ?

Deux types de milieux géologiques constituent des aquifères :

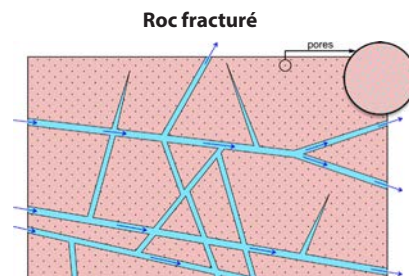
- le **ROC FRACTURÉ** qui constitue la partie supérieure de la croûte terrestre ;
- les **DÉPÔTS MEUBLES** qui sont l'ensemble des sédiments qui proviennent de l'érosion du socle rocheux et qui le recouvrent.

AQUIFÈRE DE ROC FRACTURÉ

Les **pores** de la roche contiennent de l'eau souterraine et forment ainsi un grand réservoir. Leur faible interconnexion ne permet cependant pas une circulation efficace de l'eau.

Les **fractures**, qui ne représentent en général qu'un faible pourcentage en volume par rapport aux pores, permettent toutefois une circulation plus efficace de l'eau, parfois suffisante pour le captage.

En forant un puits dans ce type d'aquifère, on cherche à rencontrer le plus de fractures possible.



Graviers



Argiles



AQUIFÈRE DE DÉPÔTS MEUBLES

Lorsqu'un dépôt meuble est **constitué de particules grossières** (ex.: sables et graviers), il forme un **AQUIFÈRE**.

- Plus les pores sont gros, plus ils sont interconnectés et plus l'aquifère de dépôts meubles est perméable.
- Des débits importants peuvent y être pompés à condition que l'épaisseur saturée soit suffisante.

Lorsqu'un dépôt meuble est **constitué de particules fines** (ex.: argiles et silts), il forme un **AQUITARD**.

- Plus les pores sont petits, moins l'eau est accessible et moins le dépôt meuble est perméable.



Types de dépôts meubles

SÉDIMENTS GLACIAIRES (TILL)

Résulte du transport par les glaciers de fragments arrachés au socle rocheux et la reprise en charge de dépôts meubles anciens.

- Composé de grains de toutes tailles dans une matrice fine — ni **aquifère** ni **aquitard**.

SÉDIMENTS FLUVIOGLACIAIRES

Mis en place par les eaux de fonte, pendant la déglaciation. Comprend les eskers, les kames et la moraine de Saint-Antoine.

- Composés de sables et graviers — **aquifère**.

SÉDIMENTS MARINS, GLACIOMARINS et GLACIOLACUSTRES

Mis en place dans la mer de Goldwaith ou de Champlain, ou dans des lacs alimentés par les eaux de fonte, pendant et après la déglaciation.

- Lorsque déposés en eau profonde : composés de silt et d'argile — **aquitard**.
- Lorsque déposés en eau peu profonde, près du littoral ou dans des deltas : composés de sable et gravier — **aquifère**.

SÉDIMENTS ALLUVIAUX

Mis en place par les cours d'eau actuels ou anciens.

- Composés de silt, sable ou gravier — **aquifère**.

SÉDIMENTS ÉOLIENS

Mis en place par l'action du vent, sous forme de dune.

- Composés de sable — **aquifère**.

SÉDIMENTS ORGANIQUES

Constituent les milieux humides.

- Composés de matière organique — **dynamique d'écoulement des eaux souterraines complexe**.

Till mince



Till continu



Sédiments fluvio-glaciaires



Sédiments littoraux



Argiles glaciomarines



Sédiments deltaïques



Sédiments alluviaux



Sédiments éoliens



Tourbe



Activité 2

Lecture des données cartographiques

IMPORTANT:

Les cartes et interprétations présentées ici sont PRÉLIMINAIRES et ne représentent pas les conclusions et résultats finaux du PACES Estrie.

Explication activité 2

Objectif



Apprendre à lire et interpréter les données hydrogéologiques à l'aide de cartes.

Déroulement



Après un rappel des notions vues au dernier atelier, les participants approfondissent 4 nouvelles notions en hydrogéologie à l'aide de cartes thématiques de leur territoire.

+



Les participants testent leurs connaissances en répondant à des questions à l'aide des sondages en direct.



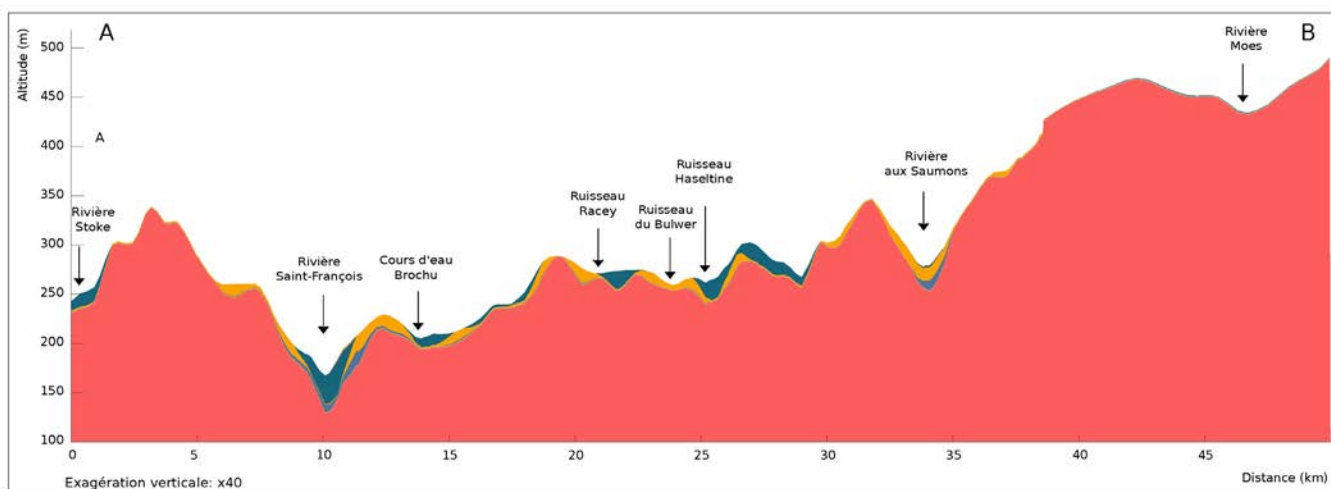
Les notions vues au dernier atelier: rappel

1- Coupes et contextes hydrostratigraphiques

Un contexte hydrogéologique représente un arrangement des unités de dépôts meubles et de roches, en considérant leur perméabilité respective. La superposition des unités géologiques est aussi désignée par le terme stratigraphie. Ils permettent de visualiser comment sont organisées les unités géologiques en profondeur afin d'en apprécier leur continuité, leur étendue et leur épaisseur, et d'identifier quelle séquence de dépôts meubles peut être rencontrée dans un secteur donné. On parle aussi d'**HYDROSTRATIGRAPHIE**. Par exemple, un contexte hydrostratigraphique pourrait être une zone définie par une couche de silts ou d'argile en surface, reposant sur des sédiments fluvioglaciaires en contact avec l'aquifère de roc fracturé.

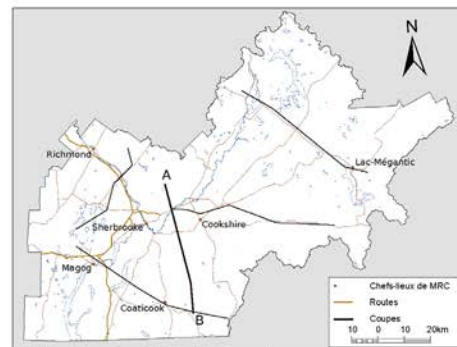
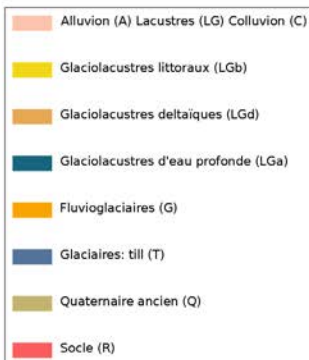
Ces contextes exercent une influence sur l'écoulement et la qualité de l'eau souterraine. Ils sont établis dans le but de servir d'indicateurs régionaux des conditions hydrogéologiques présentes sur un territoire. Ces séquences déterminent les **CONDITIONS DE CONFINEMENT** des aquifères.

Exemple pour le secteur sud-ouest de l'Estrie



COUPE STRATIGRAPHIQUE SIMPLIFIEE DES DEPÔTS MEUBLES

COUPES N°4 NORD-OUEST - SUD-EST



Position de la coupe n°4 des dépôts meubles

Les notions vues au dernier atelier: rappel

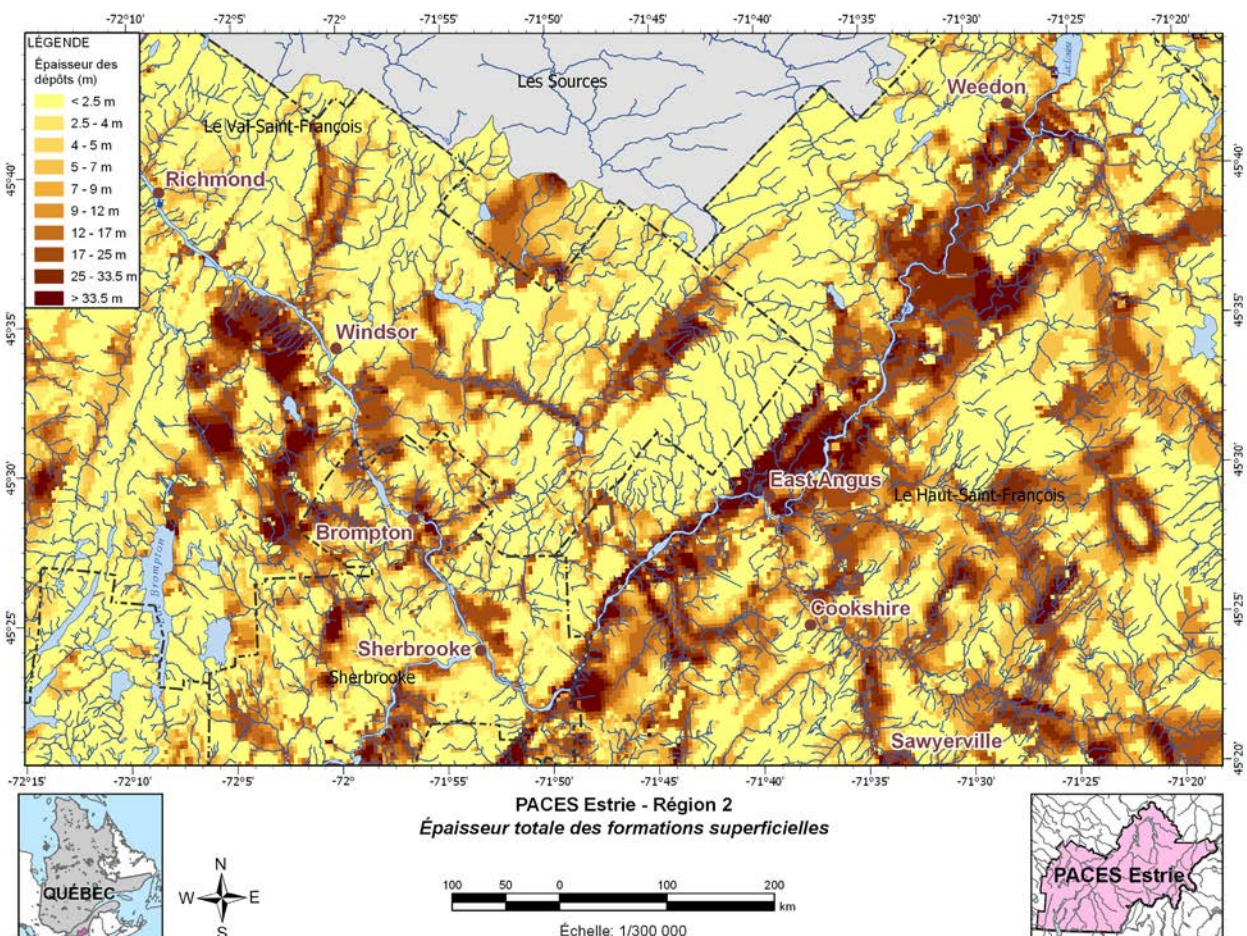
2- Épaisseur des dépôts meubles

Les dépôts meubles sont l'ensemble des sédiments qui recouvrent le socle rocheux. Ils proviennent généralement de l'érosion de la roche, mais aussi parfois de la matière organique ou des volcans. Les dépôts meubles possèdent généralement une **POROSITÉ** importante. Ils peuvent contenir entre 30 et 50% de leur volume en eau.

L'épaisseur et les propriétés des dépôts meubles qui recouvrent le roc influencent l'écoulement de l'eau souterraine à l'échelle régionale. Lorsque les **DÉPÔTS MEUBLES** sont grossiers (sables et graviers) et que leur épaisseur est suffisamment importante, ils peuvent constituer un **AQUIFÈRE**. Cependant, si les dépôts meubles sont fins (argile et silt) et donc peu perméables et suffisamment épais, ils formeront plutôt un **AQUITARD**.

La carte de l'épaisseur des dépôts meubles ne permet pas de distinguer les sédiments perméables des sédiments imperméables. L'agencement stratigraphique avec la profondeur peut être connu à partir des forages qui constituent pour l'expert en hydrogéologie des fenêtres indispensables pour « voir » ce qui se retrouve sous terre.

Exemple pour le secteur nord-ouest de l'Estrie



Les notions vues au dernier atelier: rappel

3- Conditions de confinement

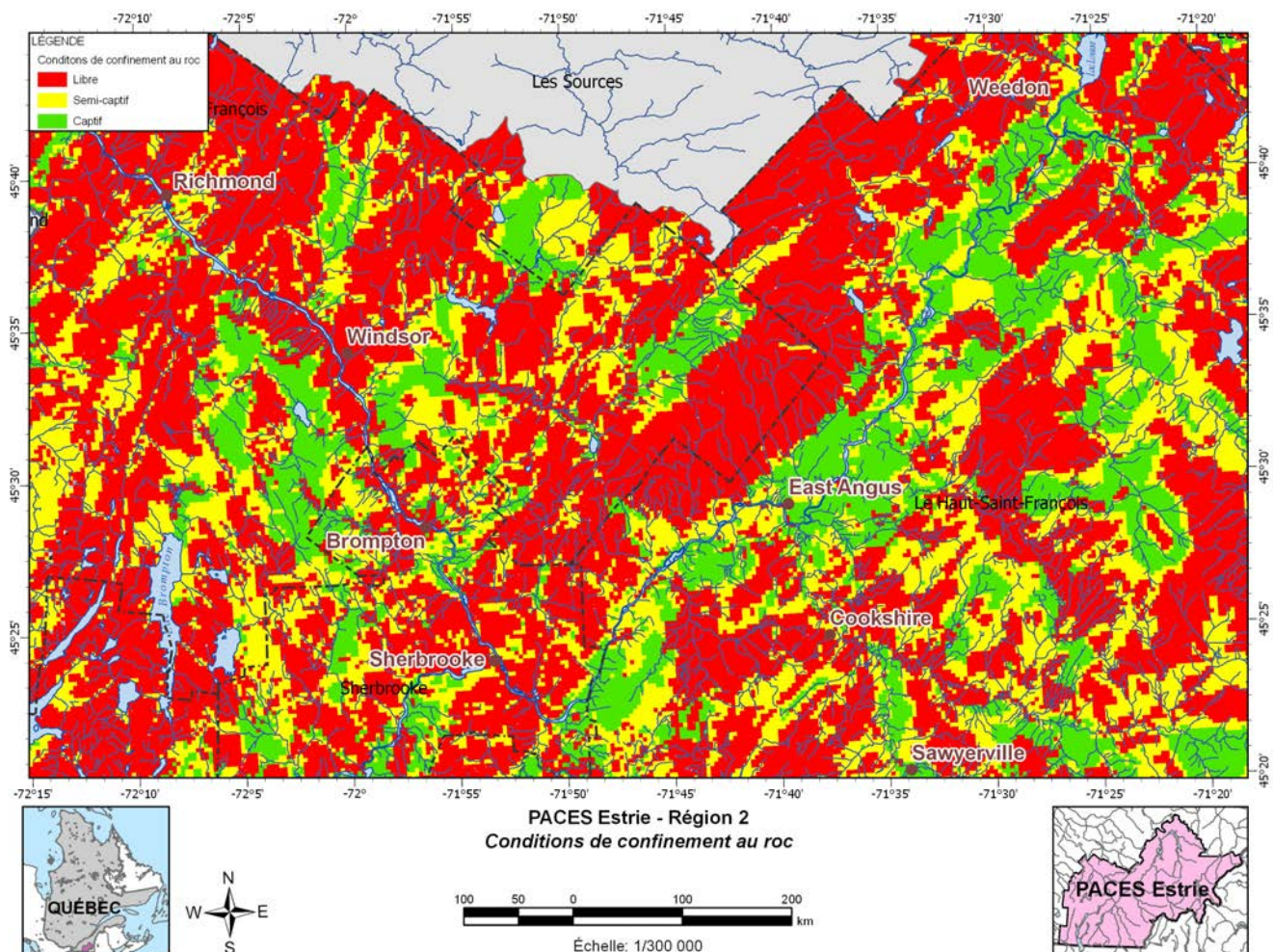
Le confinement d'un aquifère est lié à son recouvrement par une couche de matériaux peu perméables (**AQUITARD**) qui isole de la surface l'eau souterraine qu'il contient. La nature et l'épaisseur des dépôts meubles déterminent ainsi le niveau de confinement. Le confinement influence les divers processus dynamiques et chimiques de l'eau souterraine, en limitant ou favorisant la **RECHARGE** de l'aquifère ou encore sa protection par rapport à une contamination provenant de la surface.

Un aquifère à **NAPPE CAPTIVE** est « emprisonné » sous un aquitard. Il n'est pas directement rechargé par l'infiltration verticale et se retrouve ainsi **protégé des contaminants** provenant directement de la surface. Sa zone de recharge est située plus loin en amont, là où la couche imperméable n'est plus présente. L'eau souterraine y est sous pression plus élevée que celle de l'atmosphère.

Un aquifère à **NAPPE LIBRE** n'est pas recouvert par un aquitard et est en contact direct avec l'atmosphère. Il peut être directement rechargé par l'infiltration verticale et est donc généralement **plus vulnérable à la contamination depuis la surface**.

Un aquifère à **NAPPE SEMI-CAPTIVE** est un cas intermédiaire pour lequel les couches sus-jacentes ne sont pas complètement imperméables, dû à leur composition ou leur faible épaisseur. Il est **modérément protégé d'une contamination** par la surface.

Exemple pour le secteur nord-ouest de l'Estrie



Les notions vues au dernier atelier: rappel

4- Qualité de l'eau

Tout au long de son cycle, l'eau est soumise à des processus successifs qui modifient sa composition chimique et affectent ainsi sa qualité. La composition géochimique de l'eau souterraine est influencée en grande partie par la dissolution de certains minéraux présents dans les matériaux géologiques. Plus la distance parcourue par l'eau souterraine dans l'aquifère est grande, plus son **TEMPS DE RÉSIDENCE** est long, et plus elle sera évoluée et minéralisée, c'est-à-dire concentrée en minéraux dissous. La géochimie des eaux peut être classifiée en types d'eau. Les types d'eau sont indicateurs de l'origine des eaux souterraines.

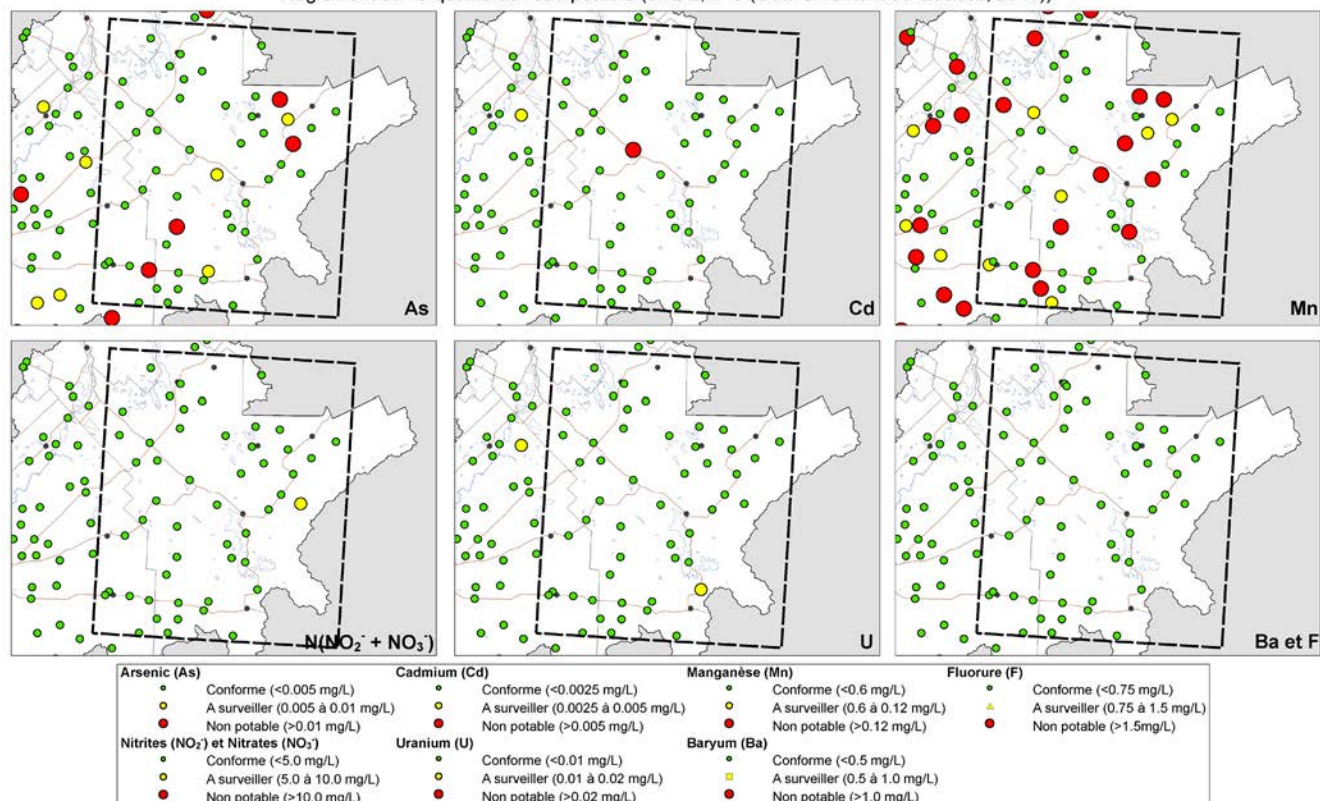
La qualité de l'eau potable s'évalue en comparant les constituants physicochimiques de l'eau aux normes et recommandations existantes. Les **CONCENTRATIONS MAXIMALES ACCEPTABLES** (CMA) sont des normes bactériologiques et physicochimiques visant à éviter des risques pour la santé humaine. Elles proviennent du Règlement sur la qualité de l'eau potable (Q-2, r. 40).

Les **OBJECTIFS ESTHÉTIQUES** (OE) sont des recommandations de Santé Canada concernant les caractéristiques esthétiques de l'eau potable (couleur, odeur, goût et autres désagréments), mais n'ayant pas d'effets néfastes reconnus sur la santé humaine. Les paramètres dont la présence peut entraîner la corrosion ou l'entartrage des puits ou des réseaux d'alimentation en eau sont aussi visés par ces objectifs.

Exemple pour les critères de potabilité dans le secteur du nord-est de l'Erie

RÉGION 3

G.14 : Géochimie des eaux souterraines - Critères pour la santé
Règlement sur la qualité de l'eau potable (c. Q-2, r.40 (Gouvernement du Québec, 2019))



Dans les prochaines pages, nous introduirons 4 nouvelles notions:

1. La recharge
2. La vulnérabilité
3. Les types d'eau et les eaux impactées
4. La vulnérabilité des puits, les usagers et l'utilisation du territoire

Limites générales de l'étude

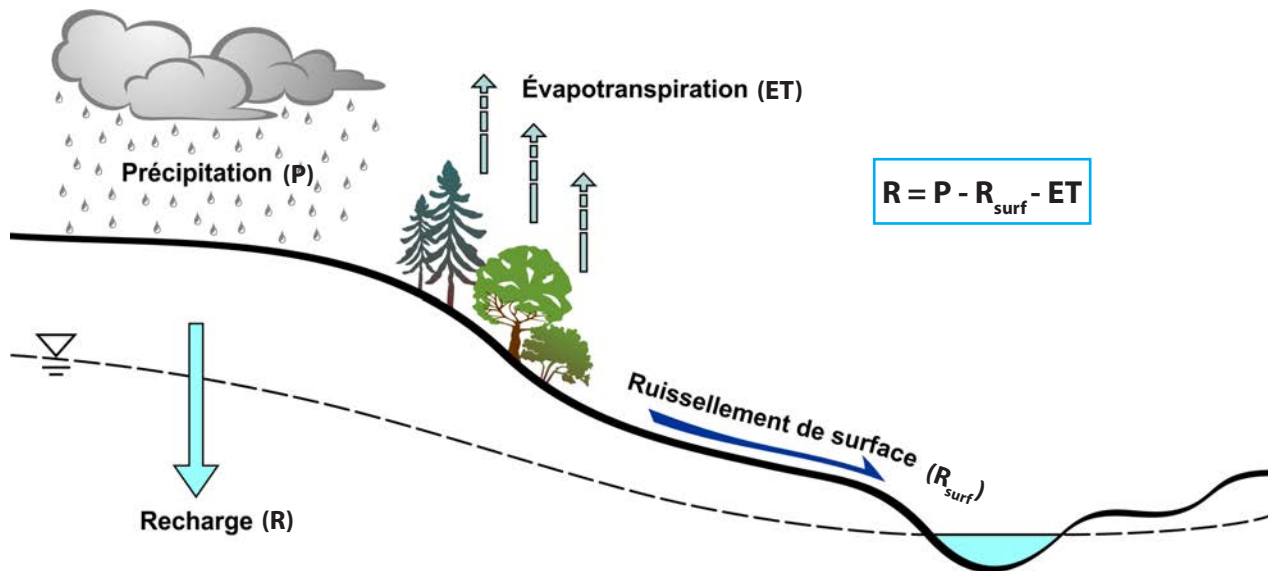
Les cartes réalisées dans le cadre du PACES Estrie sont représentatives des conditions régionales. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données sources utilisées pour réaliser les travaux d'analyse et d'interprétation des données ainsi que la production des cartes, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, les résultats du projet présentés dans le rapport et les cartes associées 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'intégrité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attache ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adaptation à une fin particulière de toute œuvre dérivée et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de ces données, des conditions présentées par les données ou des données sources y étant rattachées.

Les données de base utilisées proviennent de différentes sources (ex. : données de terrain récoltées dans le cadre du PACES, rapports de consultants, bases de données ministérielles) pour lesquelles la qualité des données est variable. Une grande proportion des données proviennent du Système d'information hydrogéologique (SIH) du MELCC et sont jugés de moins bonne qualité, tant en ce qui concerne les mesures géologiques et hydrogéologiques que les localisations rapportées. Ces données sont moins fiables individuellement, mais elles permettent de faire ressortir les tendances régionales des paramètres hydrogéologiques étudiés. Les résultats des analyses de qualité de l'eau ne sont valides que pour le puits où l'échantillon a été récolté. Les valeurs des paramètres pourraient aussi varier temporellement (jours, saisons ou années).

1- Recharge

Définition

La **RECHARGE** correspond à la quantité d'eau (en mm/an) qui s'infiltre dans le sol et atteint la nappe phréatique. L'estimation de la recharge est nécessaire pour évaluer les ressources disponibles en eau souterraine, car les débits qui peuvent être exploités de façon durable dépendent du renouvellement de l'eau souterraine. Un niveau d'exploitation de l'eau souterraine inférieur à 20% de la recharge est généralement jugé durable. La recharge est liée aux conditions climatiques, à l'occupation du sol et aux propriétés physiques du sol, soit sa capacité à laisser s'infiltre l'eau. Comme ces facteurs varient d'un endroit à l'autre, la recharge n'est pas uniforme sur l'ensemble du territoire. Elle se produit également de façon saisonnière, principalement au printemps lors de la fonte des neiges, et à l'automne lorsque l'évapotranspiration diminue.



Méthode utilisée

La carte préliminaire a été produite à partir du niveau de confinement estimé à partir du modèle quaternaire 3D. Une plage de recharge a été attribuée aux différents niveaux de confinement (carte de confinement de l'atelier 2) : plus le confinement est important, moins il y a de recharge et plus l'aquifère est libre, plus grande est la recharge.

La quantité d'eau qui s'infiltre pour recharger les aquifères est un des paramètres hydrogéologiques les plus difficiles à évaluer. La carte finale de la recharge de l'aquifère rocheux régional sera estimée à l'aide du logiciel HELP (Hydrological Evaluation of Landfill Performance). Ce logiciel intègre plusieurs données sur le climat, la végétation, l'occupation du territoire et sur les propriétés des sols, des dépôts et du roc. En plus d'estimer la recharge sur l'ensemble du territoire, HELP calcule aussi les autres paramètres du bilan hydrologique, soient l'évapotranspiration des végétaux, le ruissellement de l'eau à la surface du sol et en profondeur.

Interprétation pour la région

En Estrie, il y a localement des aquifères granulaires dans les sédiments accumulés dans des vallées enfouies et plusieurs puits municipaux exploitent ces aquifères. Toutefois, c'est l'aquifère rocheux fracturé qui est présent régionalement et qui est exploité par les puits résidentiels et par certains puits municipaux. C'est pour cette raison que la recharge a été estimée au roc. Globalement, la recharge moyenne est de l'ordre de 200 mm/an en Estrie. Toutefois, dans les secteurs où l'aquifère rocheux est confiné, notamment dans les vallées, la recharge est inférieure à 100 mm/an, alors que dans les hauts topographiques où l'aquifère rocheux est libre, la recharge peut excéder 300 mm/an. En Estrie, les zones de recharge préférentielle (excédant 200 mm/an) sont étendues parce que l'aquifère rocheux est généralement en condition libre. Ces vastes zones de recharge se retrouvent dans les trois sous-régions considérées pour l'atelier.



Qu'est-ce qui influence le plus le taux de recharge ?



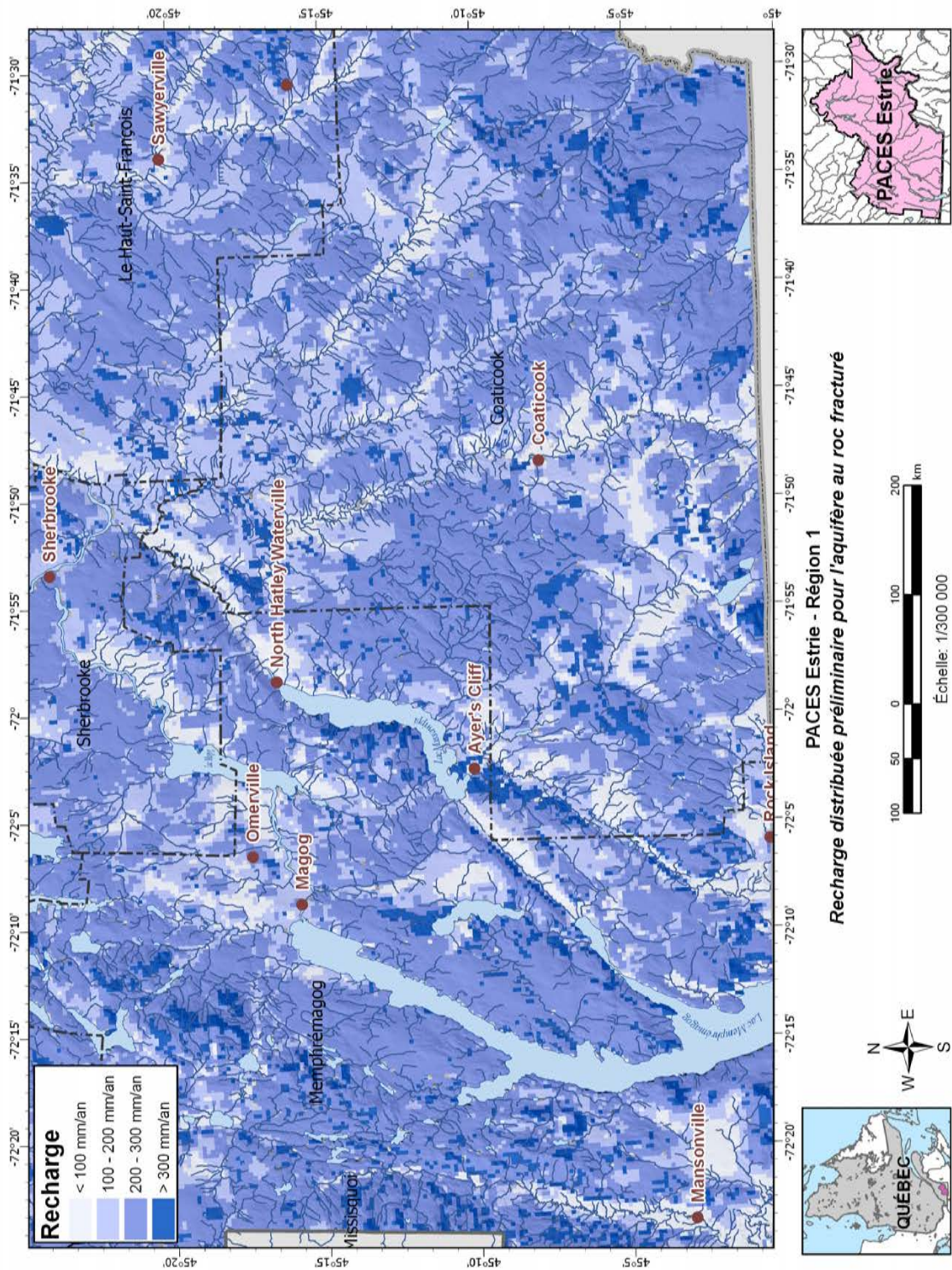
Secteur sud-ouest de l'Estrie



La recharge autour du centre villageois de Mansonville oscille entre 200 et 300 mm/an.

Vrai

Faux

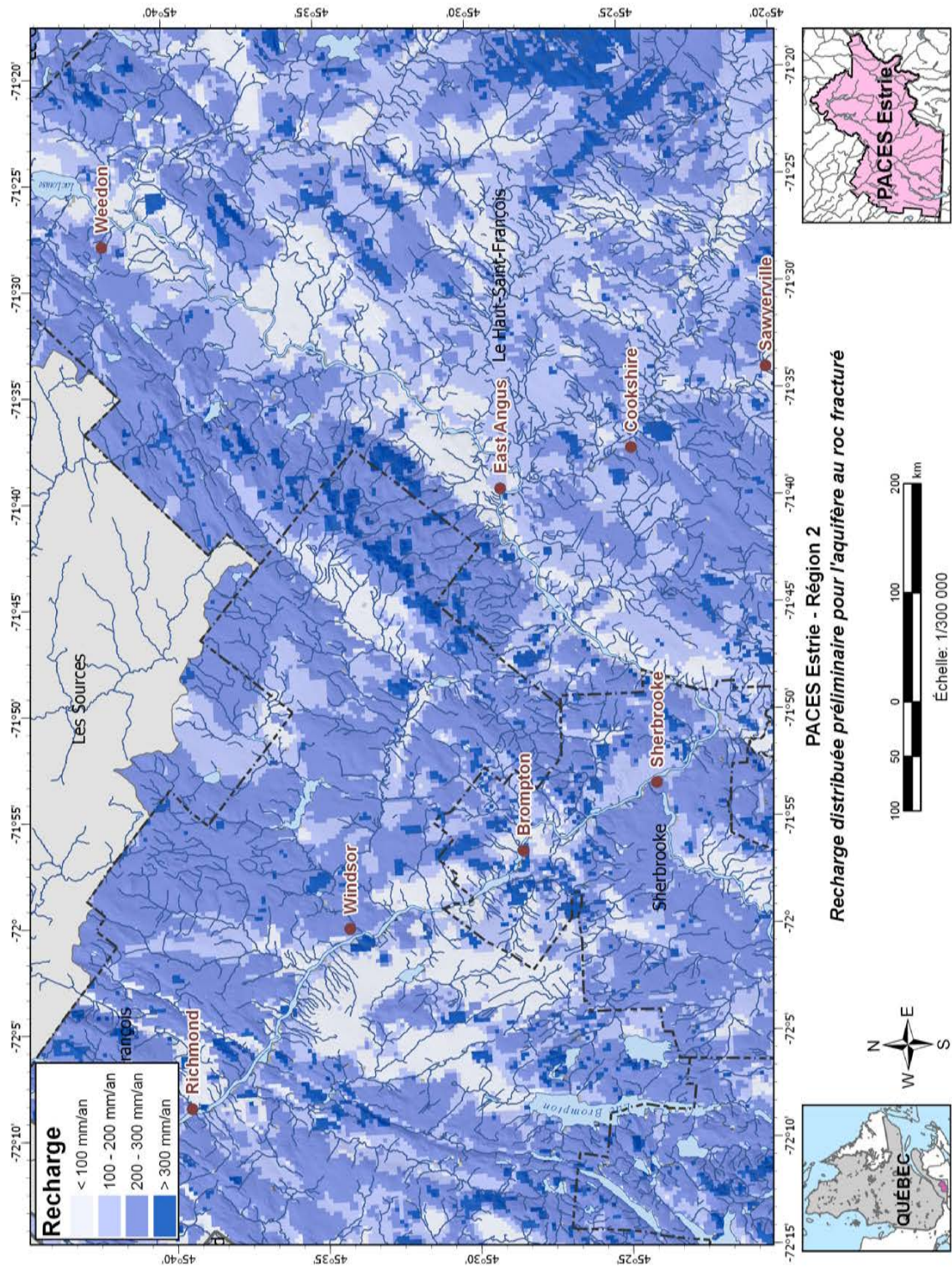


Secteur nord-ouest de l'Estrie

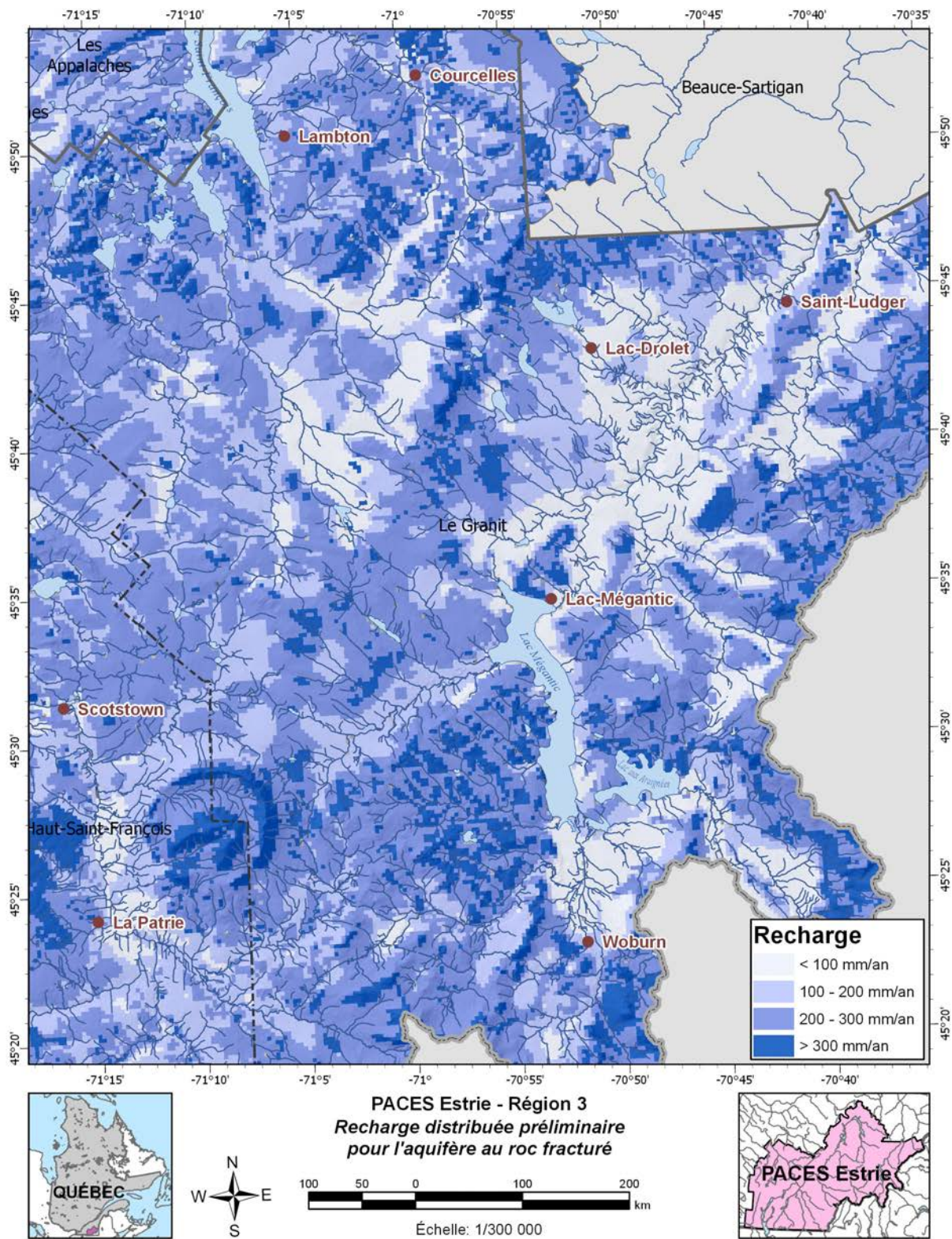


Le secteur de Windsor reçoit plus de recharge que celui de East Angus.

Vrai ☐ Faux ☐



Secteur nord-est de l'Estrie



La recharge est généralement faible dans les vallées parce qu'on y retrouve des aquifères à nappe captive.

Vrai ☐ Faux ☐

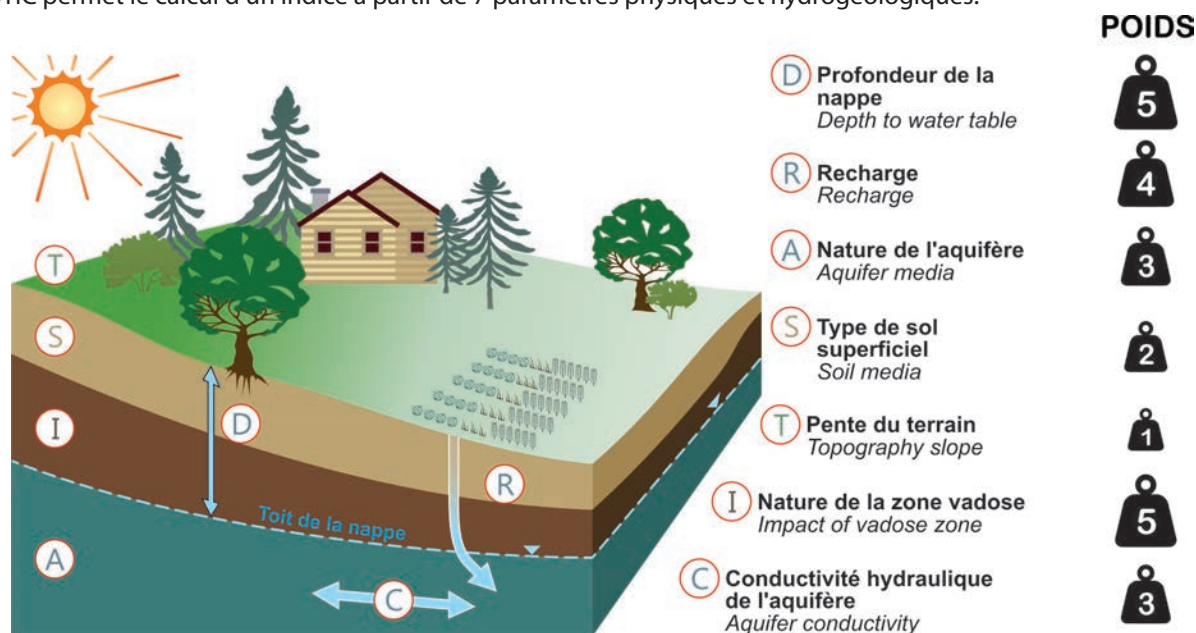
2- Vulnérabilité

Définition

La **VULNÉRABILITÉ** d'un aquifère est sa sensibilité à la pollution de l'eau souterraine à partir de l'émission de contaminants à la surface du sol. Une carte de vulnérabilité permet donc d'identifier les zones les plus vulnérables à la contamination et de fournir un outil d'aide à la prise de décision pour aménager le territoire tout en protégeant la ressource en eau souterraine. La carte de vulnérabilité permet d'intégrer un ensemble de conditions qui contribuent à la vulnérabilité d'un aquifère, « traduisant » ainsi la connaissance hydrogéologique en un outil facilement applicable par des non spécialistes. Les secteurs où la vulnérabilité est élevée sont à prioriser pour prévenir une éventuelle contamination de l'eau souterraine par des activités anthropiques potentiellement polluantes.

Méthode

En Estrie, la méthode **DRASTIC** a été appliquée uniquement pour l'aquifère rocheux régional puisque les aquifères granulaires n'y sont pas assez étendus pour être cartographiés à l'échelle régionale. Pour les livrables PACES, deux présentations différentes des cartes de vulnérabilité sont produites : 1) en utilisant les intervalles de valeurs des indices DRASTIC et les couleurs standards de la méthode (carte 22A), et 2) en utilisant des plages de valeurs relatives basées sur les percentiles des indices DRASTIC rencontrés dans la région, ce qui permet de représenter la vulnérabilité relative des conditions de la région (carte 22B). Dans le cadre de la détermination des périmètres de protection des puits municipaux de catégorie 1, le MELCC ne considère que trois niveaux de vulnérabilité sur la base des indices DRASTIC : faible (indice inférieur ou égal à 100), moyen (indice supérieur à 100 et inférieur à 180), et élevé (indice égal ou supérieur à 180). La méthode DRASTIC permet le calcul d'un indice à partir de 7 paramètres physiques et hydrogéologiques :



L'indice DRASTIC peut varier de 23 à 226. Plus l'indice est élevé, plus l'aquifère est vulnérable à la contamination.

Interprétation pour la région

De façon générale, les hauts topographiques montrent les niveaux de vulnérabilité les plus importants, alors que les vallées ont les niveaux les plus faibles. Ainsi, dans la sous-région 1, la vulnérabilité est généralement aux niveaux intermédiaires ou élevés alors que les secteurs à de plus faibles niveaux de vulnérabilité sont peu étendus. La situation est un peu différente dans la région 2 où deux assez vastes étendues entre Brompton et Windsor ainsi qu'entre Sherbrooke et Weedon présentent de faibles niveaux de vulnérabilité. Dans la région 3, plus de secteurs montrent des niveaux élevés de vulnérabilité, mais le niveau de vulnérabilité est faible sur un vaste secteur entourant la vallée de la rivière Chaudière.



Bien qu'on retrouve des aquifères superficiels de sable et gravier dans certaines vallées, pourquoi l'indice DRASTIC indique généralement une vulnérabilité plutôt faible dans les vallées?

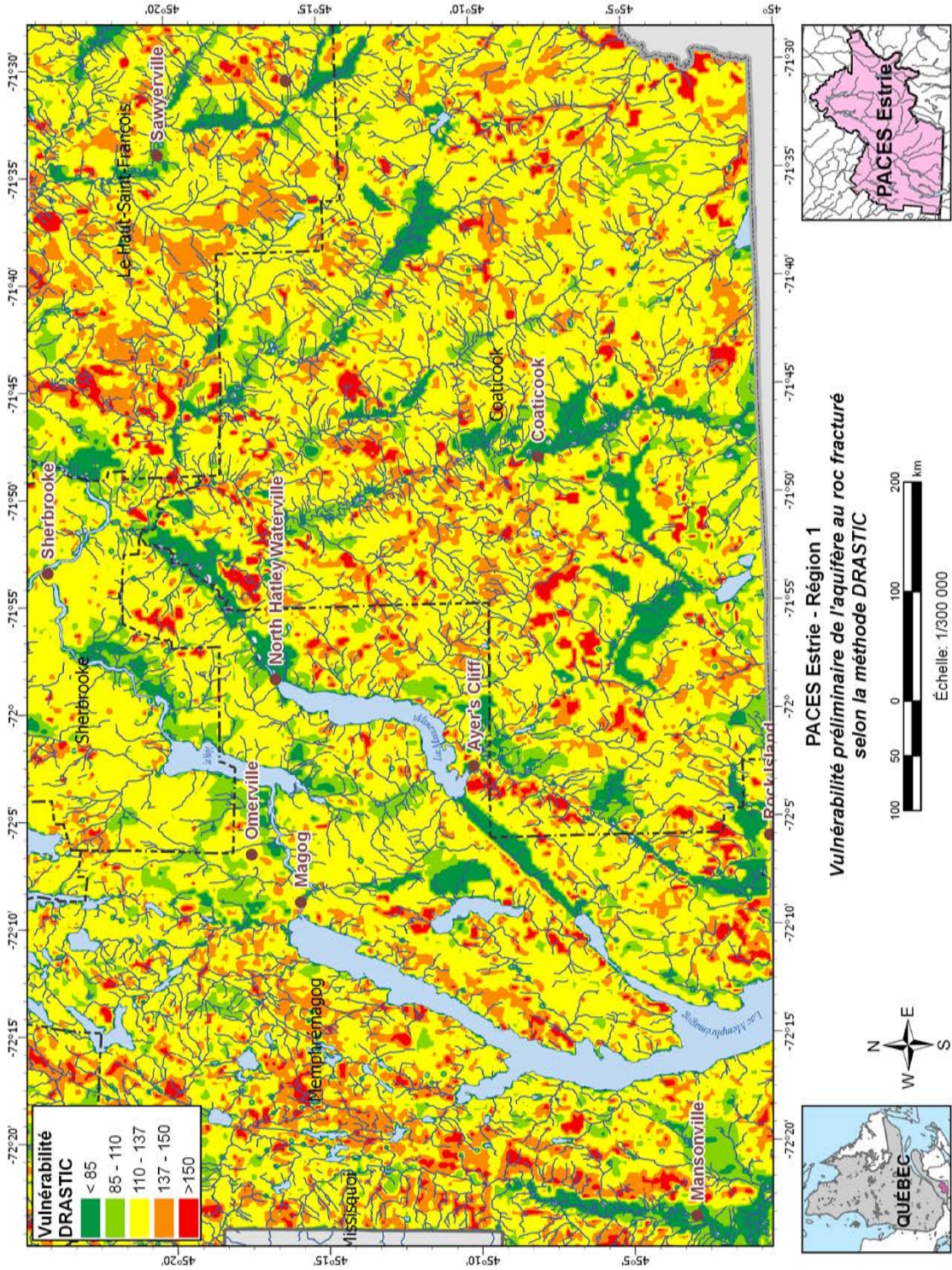


?

Vrai

Faux

Le niveau de vulnérabilité « élevée » est dominant sur le secteur sud-ouest de l'Etrie.

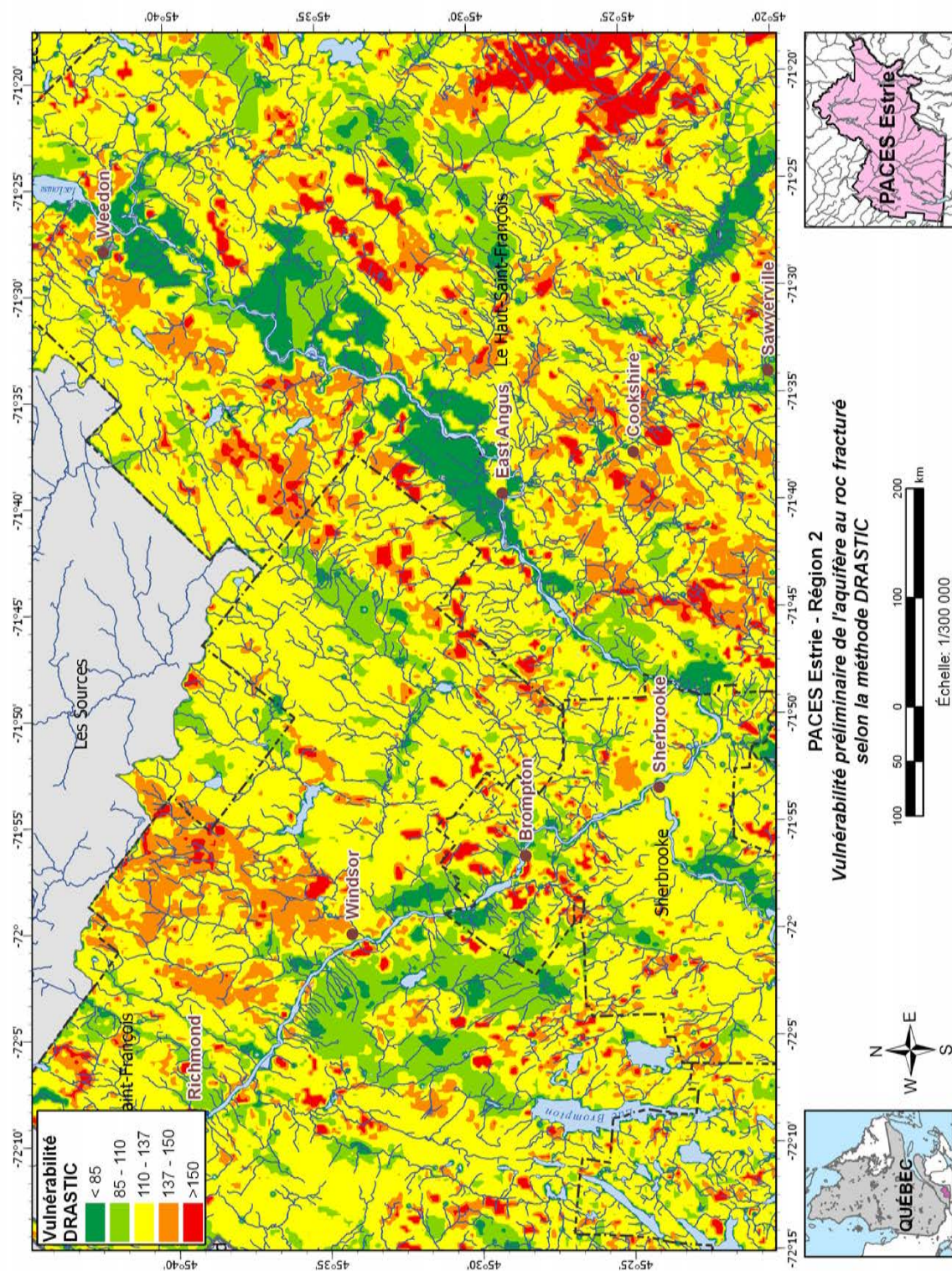


Secteur nord-ouest de l'Estrie

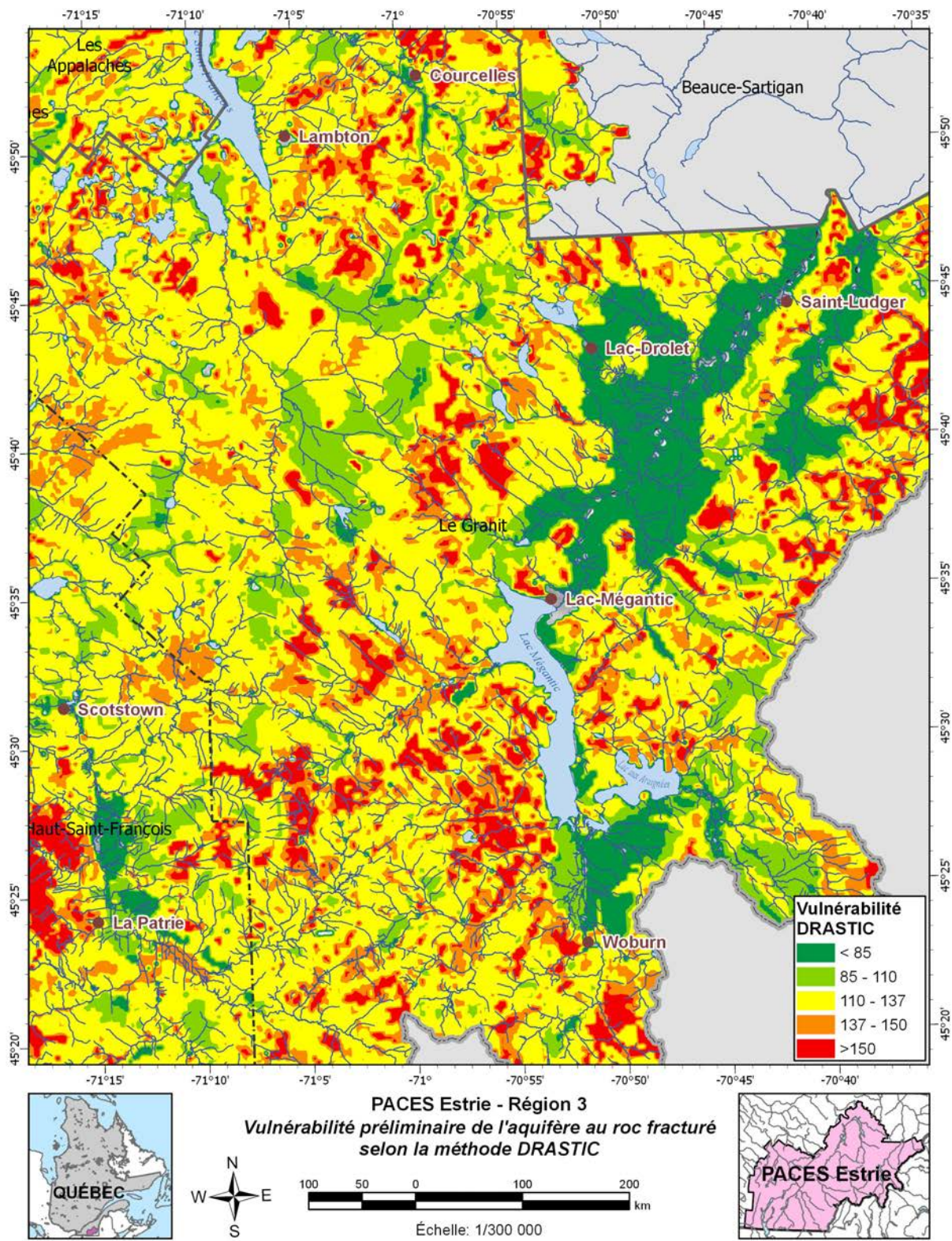
Le secteur au nord de East Angus est parfois très vulnérable à la contamination qui pourrait provenir de la surface.



Vrai ☐ Faux ☐



Secteur nord-est de l'Estrie



Les aquifères granulaire sont bien protégés des contaminations issues de la surface entre Lac-Mégantic et Saint-Ludger.

Vrai ☐ Faux ☐

3- Types d'eau et eaux impactées

Définition

Tout au long de son cycle, l'eau est soumise à des processus successifs qui modifient sa composition chimique et affectent ainsi sa qualité. La composition géochimique de l'eau souterraine est influencée en grande partie par la dissolution de certains minéraux présents dans les matériaux géologiques. Plus la distance parcourue par l'eau souterraine dans l'aquifère est grande, plus son **TEMPS DE RÉSIDENCE** est long, et plus elle sera évoluée et minéralisée, c'est-à-dire concentrée en minéraux dissous. La géochimie des eaux peut être classifiée en types d'eau. Les types d'eau sont indicateurs du niveau d'évolution des eaux souterraines. La composition géochimique de l'eau souterraine peut aussi indiquer l'occurrence d'un impact anthropique sur la qualité de l'eau.

Méthode utilisée

Les analyses géochimiques ont été fait à partir de 180 échantillons dont 163 prélevés dans le roc et 17 prélevés dans le granulaire au cours de l'été 2019. Des analyses statistiques ont été faites à partir des résultats pour déterminer les différents types et groupes d'eau représentés sur la carte. Les courbes de niveau y sont superposées afin d'avoir une idée du sens de l'écoulement des eaux souterraines, qui va des points hauts vers les points bas.

Interprétation pour la région

La caractérisation de la géochimie et des temps de résidence des eaux souterraines en Estrie a permis d'améliorer la compréhension de ce système aquifère régional appalachien. Huit groupes d'eau ayant des compositions distinctes ont été définis à partir des analyses chimiques. Ces groupes d'eau forment deux types d'eau distincts : les eaux de recharge et les eaux évoluées géochimiquement. Les eaux de recharge sont récentes (moins de 50 ans) et indiquent les secteurs où il y a une recharge active de l'aquifère rocheux, mais aussi où cet aquifère est vulnérable. Certains groupes d'eau de recharge sont impactés par les activités anthropiques (urbaines et agricoles). Cet impact augmente du groupe A2b au groupe B1a, qui représente les eaux récentes les plus impactées. Pour les eaux évoluées, l'ordre de présentation reflète le temps de résidence relatif et la proportion d'échantillons où l'eau « très ancienne » domine. Les eaux évoluées ont un long temps de résidence (plusieurs milliers d'années) et risquent peu d'être affectées par une contamination en surface. Toutefois, les eaux plus évoluées, ainsi que l'eau de recharge la plus impactée par les activités anthropiques, présentent des teneurs naturellement élevées en arsenic et manganèse. La description des groupes d'eau et des problématiques d'arsenic et manganèse associées est détaillée en annexe.

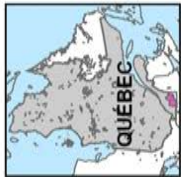
À l'intérieur de la région 1, dans la MRC de Coaticook on retrouve plusieurs échantillons du groupe A2a qui reflète une dégradation de la qualité de l'eau de type recharge. Ces échantillons se retrouvent dans un secteur agricole où l'aquifère rocheux est en condition libre et relativement vulnérable par endroits. Dans la région 2, la MRC du Val-Saint-François, qui est aussi très agricole, montre relativement peu d'échantillons d'eau de recharge dégradée car ce sont les eaux évoluées qui dominent dans ce secteur. Dans la région 3, les vastes étendues avec des eaux de type recharge montrent peu d'échantillons reflétant une dégradation de qualité.



Pourquoi les types d'eau de recharge ne concordent pas nécessairement avec les zones où la recharge est plus élevée ?



1833



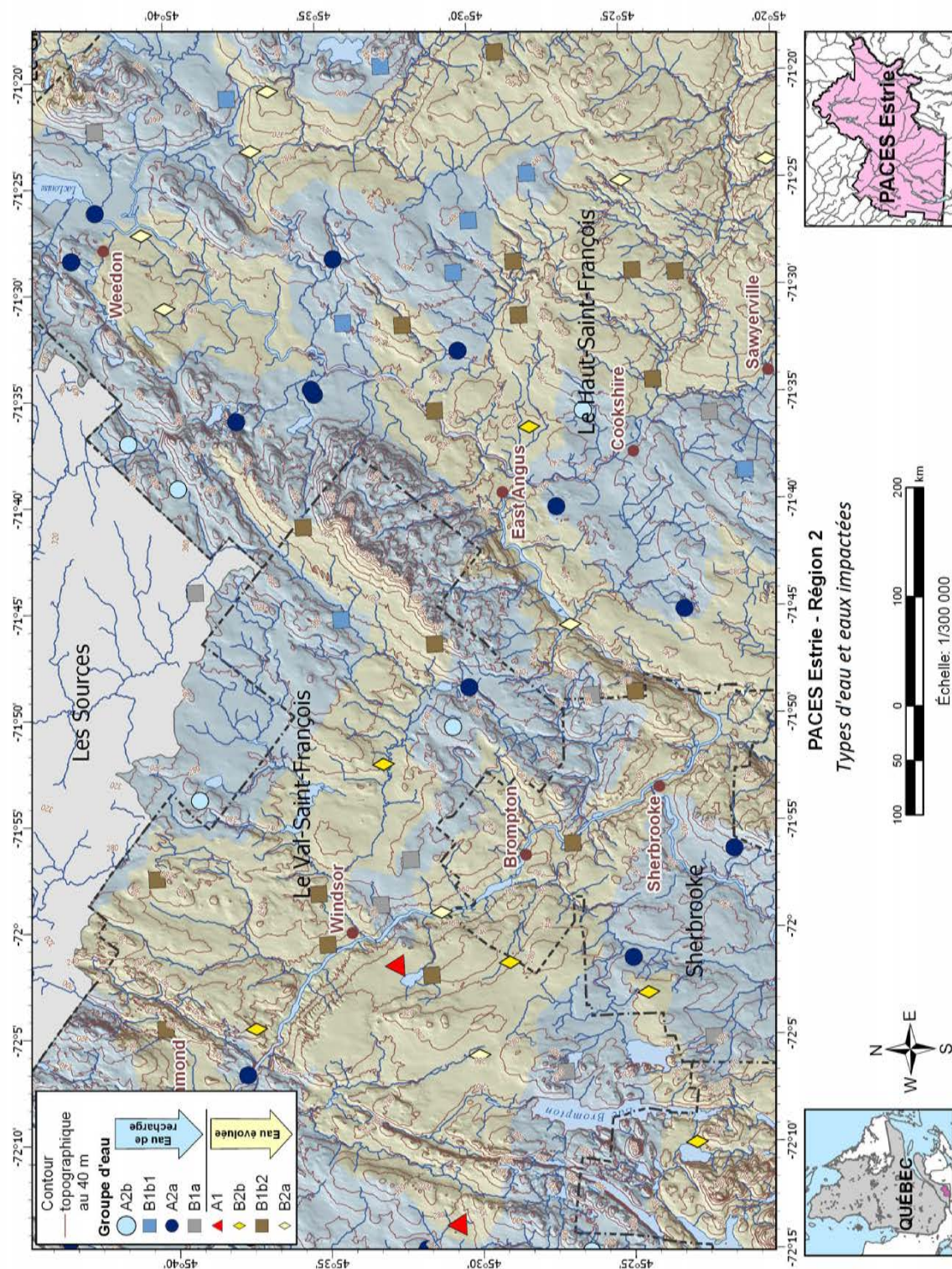
Secteur nord-ouest de l'Estrie



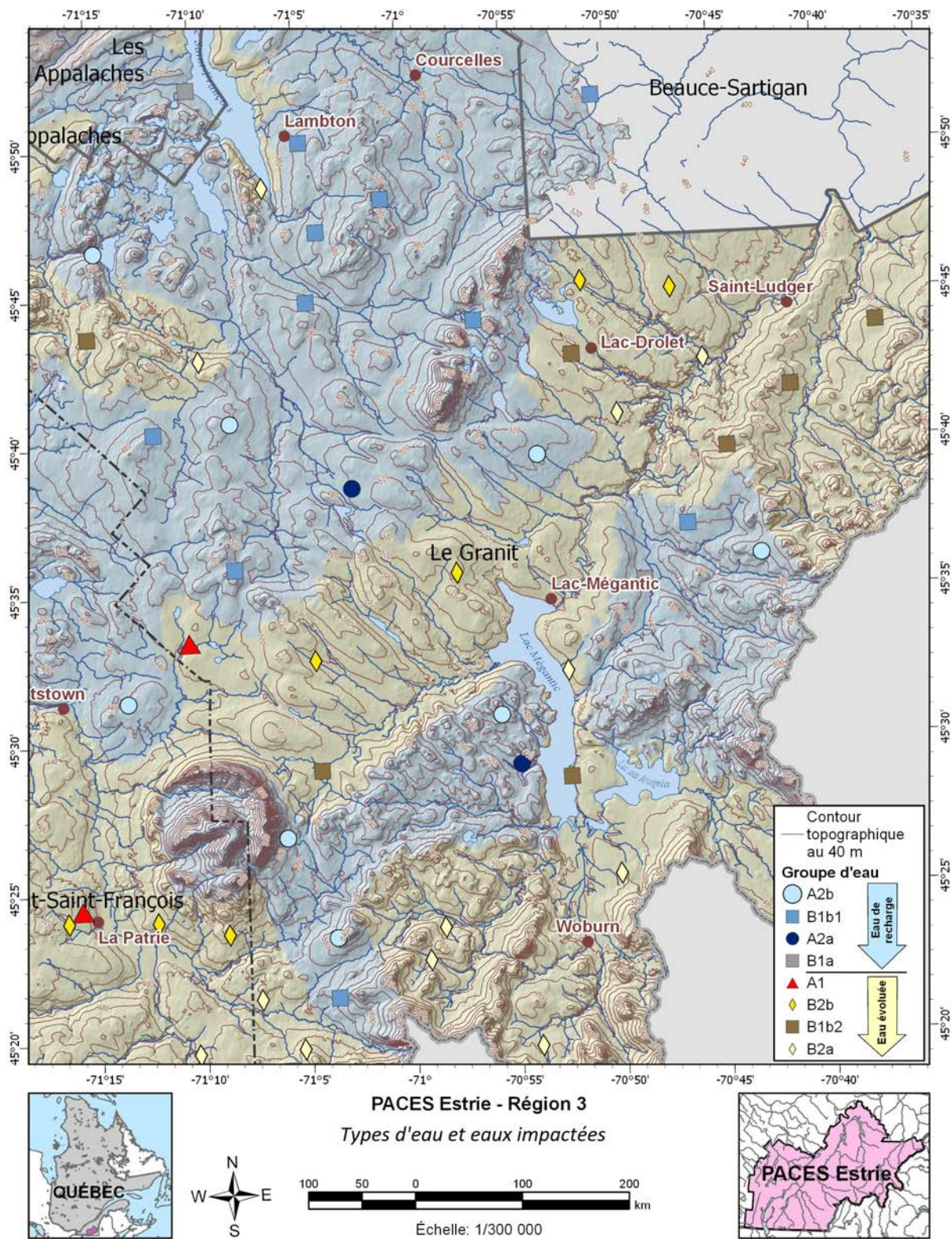
Les eaux souterraines sont particulièrement impactées par les activités anthropiques au sud-est de Windsor.

Vrai

Faux



Secteur nord-est de l'Estrie



Entre Lac-Drolet et Lambton la qualité de l'eau de type recharge est fortement dégradée.

Vrai ☐ Faux ☐

4- Vulnérabilité des puits, usagers et utilisation du territoire

Description

Contrairement à la vulnérabilité basée sur la méthode DRASTIC, la vulnérabilité des puits basée sur les méthodes géochimiques permet de considérer le potentiel de contamination provenant de l'écoulement latéral depuis l'amont hydraulique.

Les usagers de l'eau souterraines comprennent principalement les résidents qui ont des puits (incluant les agriculteurs) ainsi que les municipalités. Les puits résidentiels sont de faible débit, mais les puits privés peuvent avoir des débits plus élevés lorsqu'ils sont liés à des activités agricoles, industrielles ou commerciales. Sur la carte, les puits sont indiqués par des points dans les secteurs avec une faible densité de puits, alors que les zones où on compte plus de 20 puits par km² sont indiquées avec différentes trames hachurées selon la densité des puits.

Les puits municipaux sont des prélèvements d'eau beaucoup plus importants. Les prélèvements municipaux desservant plus de 500 personnes doivent évaluer l'**AIRE D'ALIMENTATION** du prélèvement qui est représentée par le polygone au contour rouge sur la carte. Théoriquement, l'eau qui s'infiltre dans l'aire d'alimentation d'un puits sera ultimement pompée par ce puits. L'aire d'alimentation montre le sens de l'écoulement de l'eau souterraine en amont du puits.

Méthode utilisée

La géochimie et les indicateurs d'âge (radiocarbone ¹⁴C, tritium ³H et CFCs/SF₆) ont permis d'évaluer la vulnérabilité et le risque de contamination pour 27 puits, dont 15 puits municipaux. Le niveau de vulnérabilité des puits est indiqué par la couleur du cercle autour des puits qui ont fait l'objet de cette évaluation. Les données sur les prélèvements d'eau souterraine municipaux et non municipaux en Estrie ont été fournies par le MELCC et sont collectées dans le cadre du Règlement sur la qualité de l'eau potable pour tous les réseaux de distribution d'eau potable desservant plus de 20 personnes. Ces données ont été superposées à la carte de l'utilisation du territoire. Les niveaux de vulnérabilité des puits y sont également affichés, de même que les aires d'alimentation. Les aires d'alimentation présentées sur la carte sont tirées de travaux généralement réalisés avant le Règlement sur les prélèvements d'eau et leur protection (RPEP). Les aires d'alimentation définies dans le cadre des analyses de vulnérabilité des approvisionnements en eau souterraine complétées en 2021 pourraient être différentes de celles montrées sur la carte.

Interprétation pour la région

La carte montre des cercles indiquant le niveau de vulnérabilité de certains puits qui a été évalué à l'aide de la géochimie et du temps de résidence de l'eau souterraine captée par ces puits. De façon générale, les puits ayant un groupe d'eau de recharge sont plus vulnérables et le niveau de vulnérabilité augmente avec le niveau d'impact anthropique relié au groupe d'eau. La présence d'une forte proportion d'eau moderne captée par un puits indique qu'il peut être impacté par une contamination à la surface du sol. Le fond de la carte montrant l'utilisation du territoire permet d'observer un fort usage agricole ainsi que de grandes étendues forestières dans la région.

Le risque de dégradation de la qualité de l'eau souterraine peut être estimé en jumelant la vulnérabilité, l'impact des activités humaines présentant un danger potentiel de contamination et l'importance de l'exploitation de l'aquifère. La présence d'activités potentiellement polluantes en amont d'un puits jugé vulnérable va augmenter le risque de dégradation de la qualité de l'eau captée. Les puits municipaux plus vulnérables, particulièrement ceux captant des eaux montrant déjà des signes de dégradation de la qualité d'eau, exigent une gestion plus active des activités dans l'aire d'alimentation du puits.



De quelle façon cette carte peut aider à prioriser des actions de protection et de gestion des eaux souterraines ?



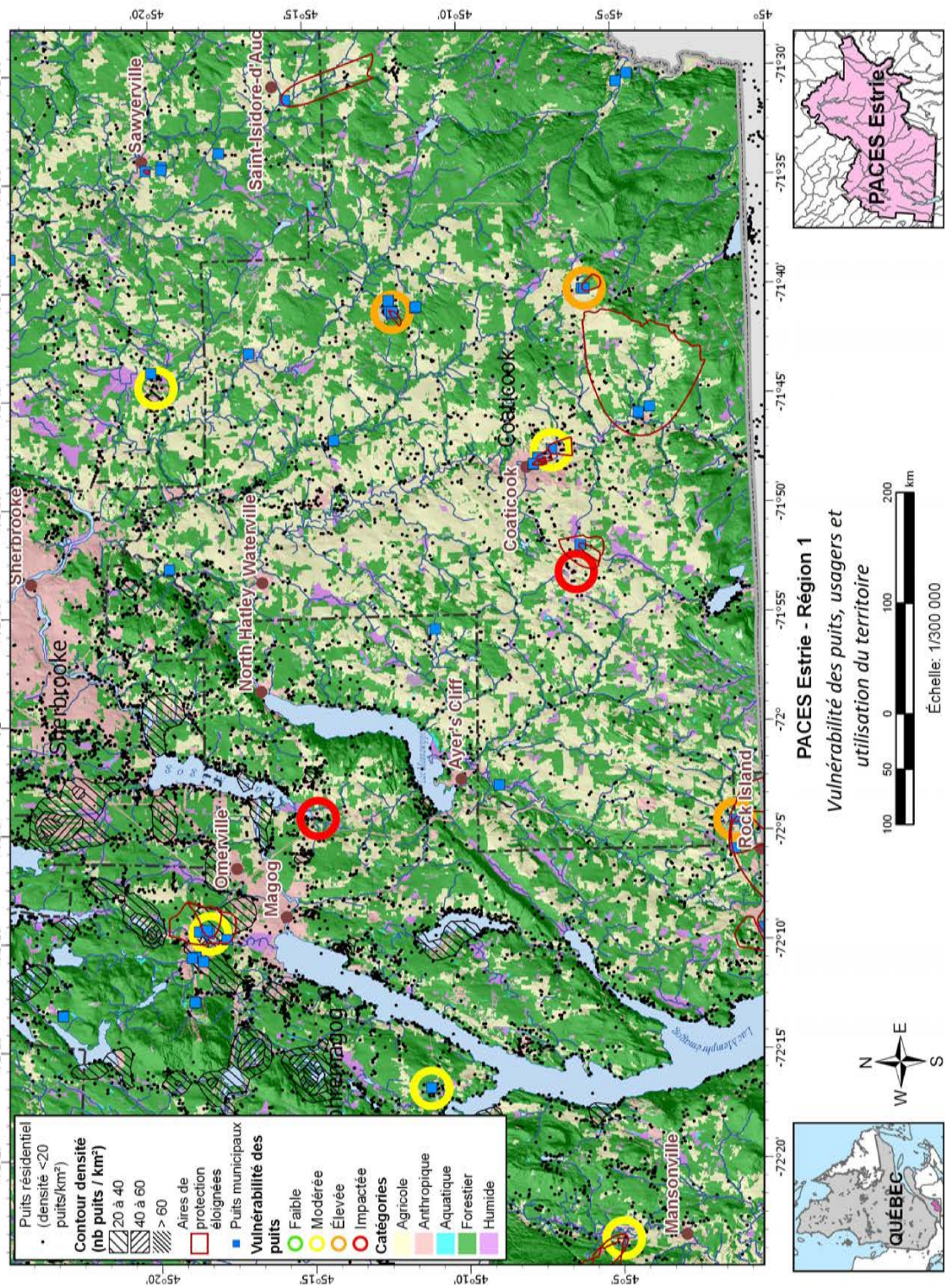
Secteur sud-ouest de l'Estrée

?

Les puits situés à l'ouest du lac Memphrémagog ont une vulnérabilité élevée.

Vrai

Faux

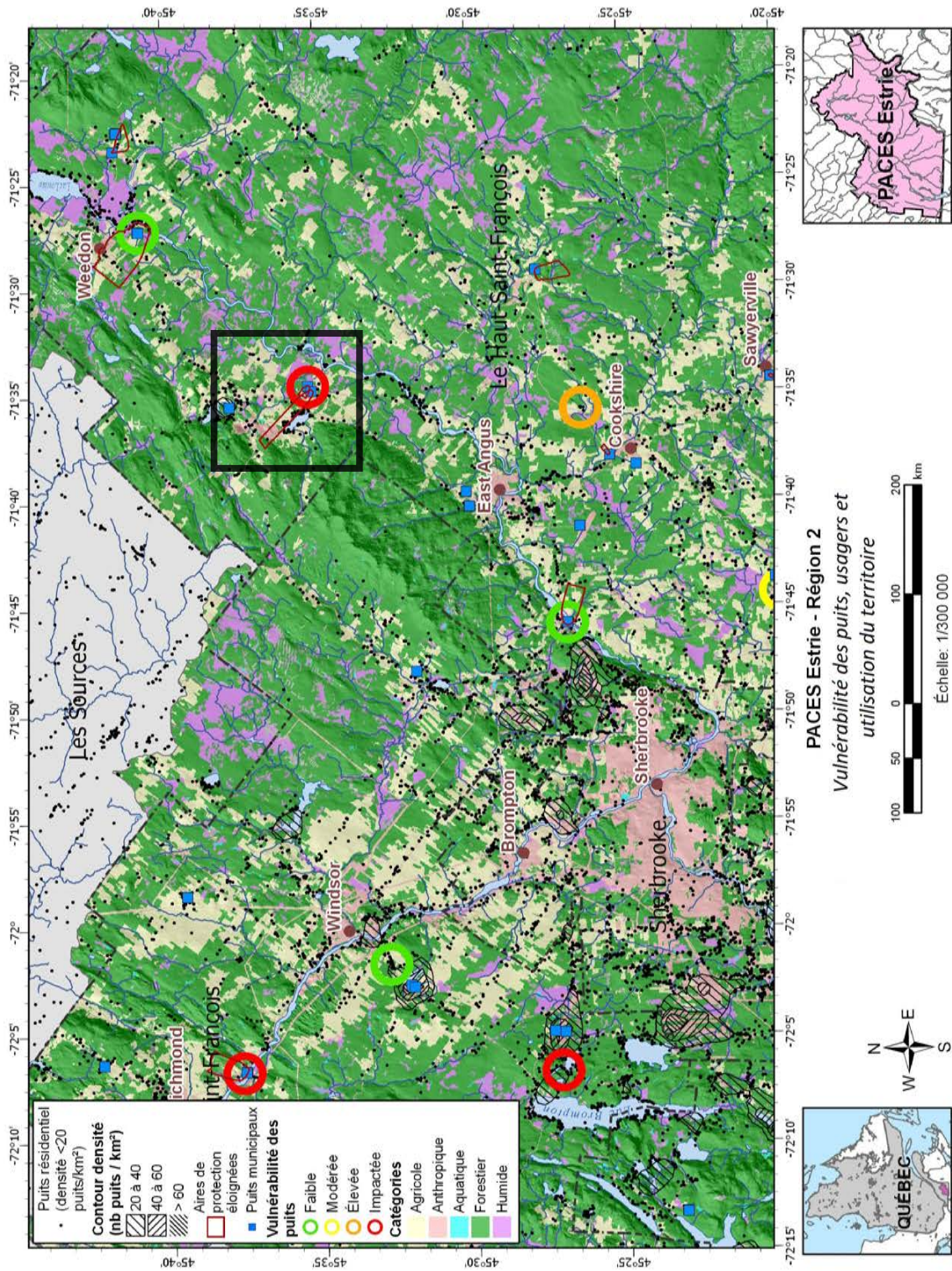


Secteur nord-ouest de l'Estrie

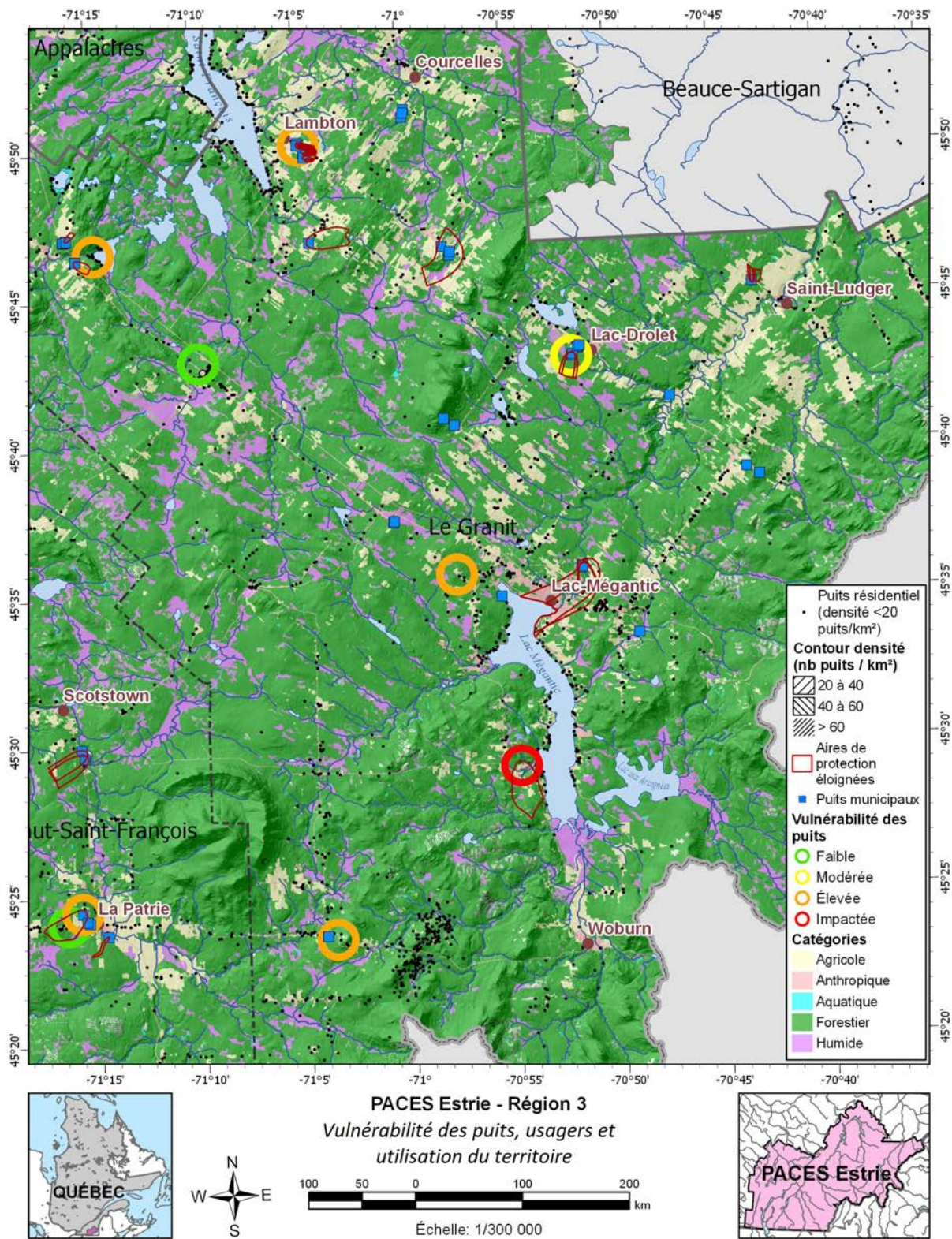
La qualité des eaux souterraines du secteur encadré est impactée par les activités agricoles et urbaines situées en amont.

Vrai ☐

Faux ☐



Secteur nord-est de l'Estrée



Dans ce secteur, la densité des puits qui alimentent en eau souterraine est relativement faible.

Vrai ☐ Faux ☐

3

L'eau souterraine de notre territoire

Explication activité 3

Objectif



Comprendre le fonctionnement des aquifères de notre région

Déroulement



Les membres de l'équipe de recherche présentent les faits saillants des résultats du PACES Estrie:

- Évaluation géochimique du risque de contamination des puits municipaux (travaux M.Sc. d'Élise Colléau)
- Modélisation de l'écoulement régional de l'eau souterraine (travaux M.Sc. de Raphaël Mathis)
- Actions du plan directeur de l'eau des OBV en relation avec l'eau souterraine (travaux M.Sc. de Renaud Delisle)
- Accompagnement des MRC dans l'intégration de l'eau souterraine dans leur SAD (travaux M.Sc. de Jimmy Mayrand)
- Estimation de la recharge et évaluation de la vulnérabilité DRASTIC (travaux de Mélanie Raynauld)
- Travaux à compléter avant la fin du projet

+



Les participants posent leurs questions dans le clavardage.

+

OU



Les participants lèvent la main pour poser leurs questions au micro.

JOUR 2

4

Synthèse des notions appprises

Explication activité 4

Objectif



Apprendre à lire et à interpréter les résultats PACES de notre région pour répondre à des enjeux de protection et de gestion de l'eau souterraine

Déroulement



Les participants travaillent en sous-groupes et répondent à une des deux questions d'aménagement du territoire en faisant une lecture transversale des cartes des notions apprises et en utilisant les cartes de l'occupation du sol et de l'affectation territoire.

Question 1 : Quelles zones de recharge devraient être protégées en priorité?

OU

Question 2 : Quelles sont les secteurs plus propices à l'implantation d'une nouvelle activité potentiellement polluante afin de minimiser son impact sur la qualité des eaux souterraines?

+



Les participants partagent leurs résultats avec tous les participants et discutent avec l'équipe de recherche.

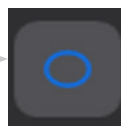
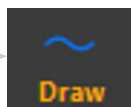
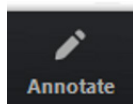
Exercice de synthèse

Consignes

Vous êtes dans une salle virtuelle avec d'autres participants (environ 5-6 participants) selon une division préétablie par les organisatrices en fonction de votre territoire d'action, dans la mesure du possible. Vous devez répondre à une des deux questions d'aménagement du territoire (voir p. 45).

Une fois dans votre salle virtuelle:

1. Présentez-vous;
2. Identifiez un porte-parole responsable de prendre des notes et de retranscrire les résultats sur la carte;
3. Consultez les cartes de votre secteur;
4. Pour chaque notion (carte), déterminez les critères sur lesquels vous vous basez pour localiser les zones qui répondent à votre question d'aménagement (*référez-vous aux légendes des cartes*);
5. Inscrivez vos critères dans le tableau de la page ci-contre;
6. Encerclez de façon approximative les zones qui répondent à l'ensemble de vos critères sur une des cartes de votre secteur (n'importe laquelle);
7. De retour en grand groupe, les porte-paroles encerclent les zones ciblées avec les outils d'annotation de Zoom;



10 min.

35 min.

30 min.

8. Les zones ciblées sont ensuite discutées et comparées avec les résultats de l'équipe de recherche pour chaque question dans chaque secteur.

Important

Conservez votre carte avec le résultat des zones ciblées, elle constitue votre étude de cas pour l'élaboration d'une stratégie de protection et de gestion des eaux souterraines de l'activité 5.

Interpréter les cartes pour répondre à une question en aménagement

Question 1 : Quelles zones de recharge devraient être protégées en priorité?

OU

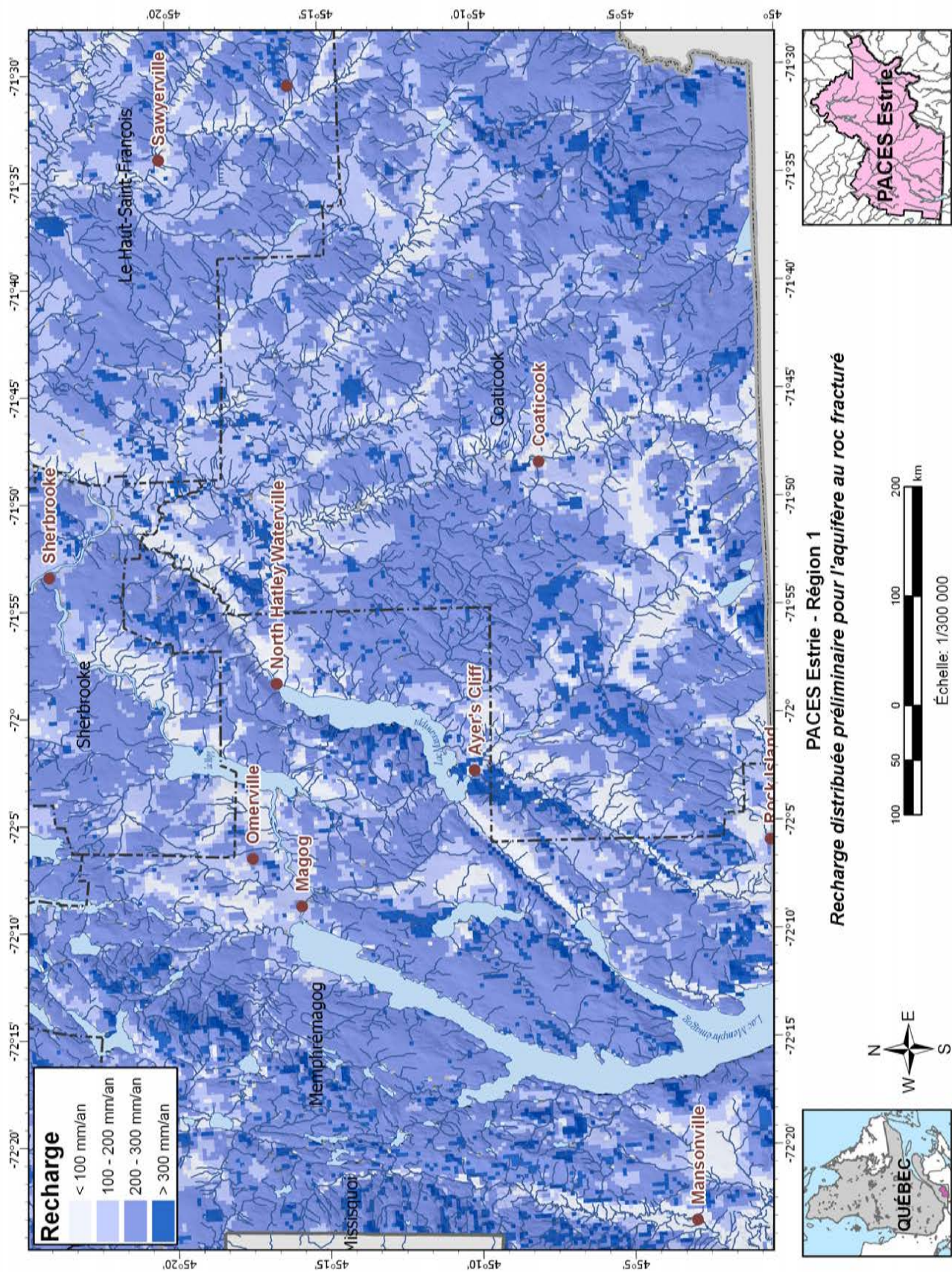
Question 2 : Quelles sont les secteurs plus propices à l'implantation d'une nouvelle activité potentiellement polluante afin de minimiser son impact sur la qualité des eaux souterraines?

Votre secteur: _____

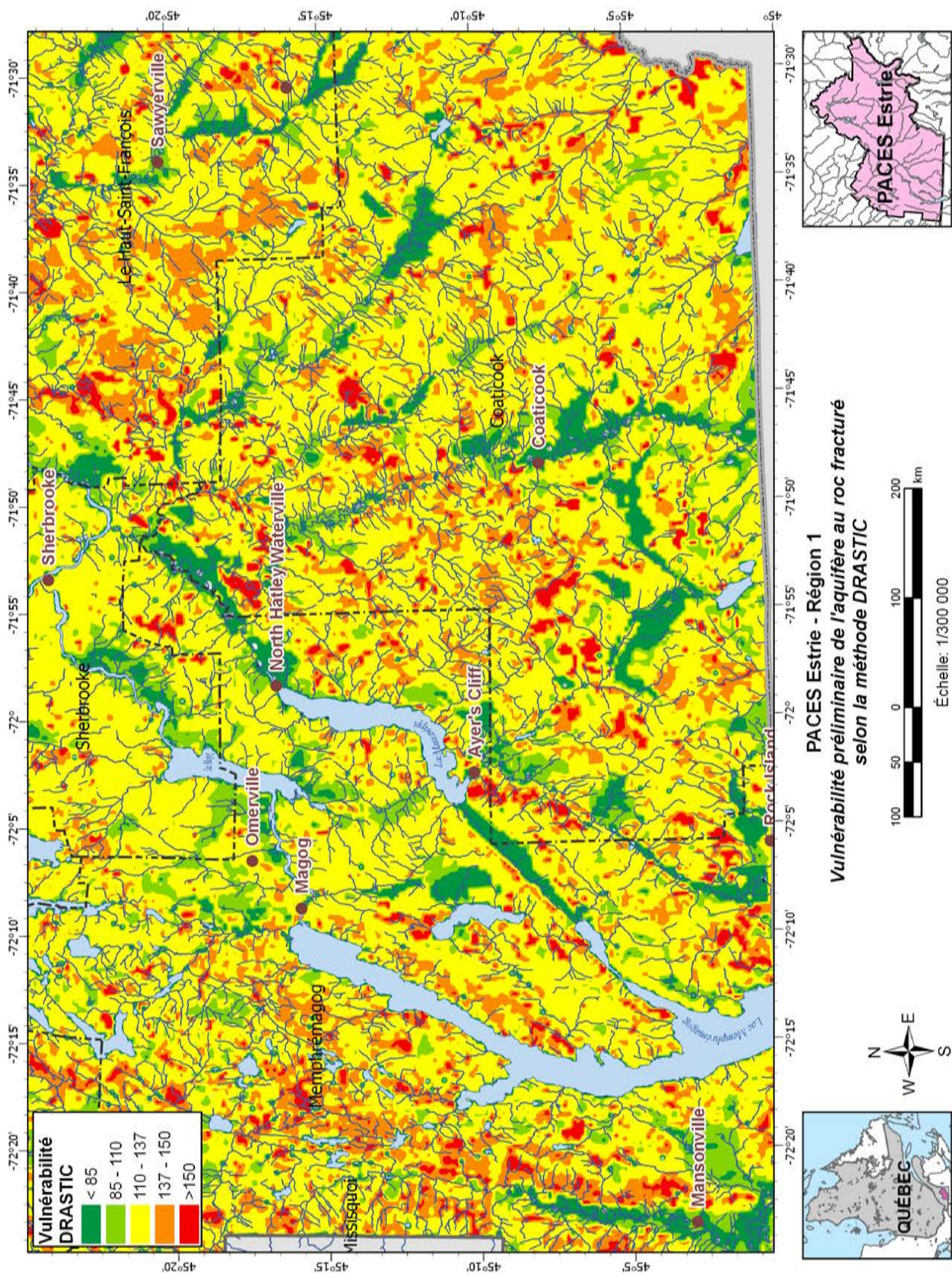
Cartographie	Critères
Recharge	
Vulnérabilité	
Types d'eau et eaux impactées	
Vulnérabilité des puits, usagers et utilisation du territoire	
Utilisation du sol	
Affectation du territoire	
Autres considérations (ex. économique, politique)	

SECTEUR SUD-OUEST DE L'ESTRIE

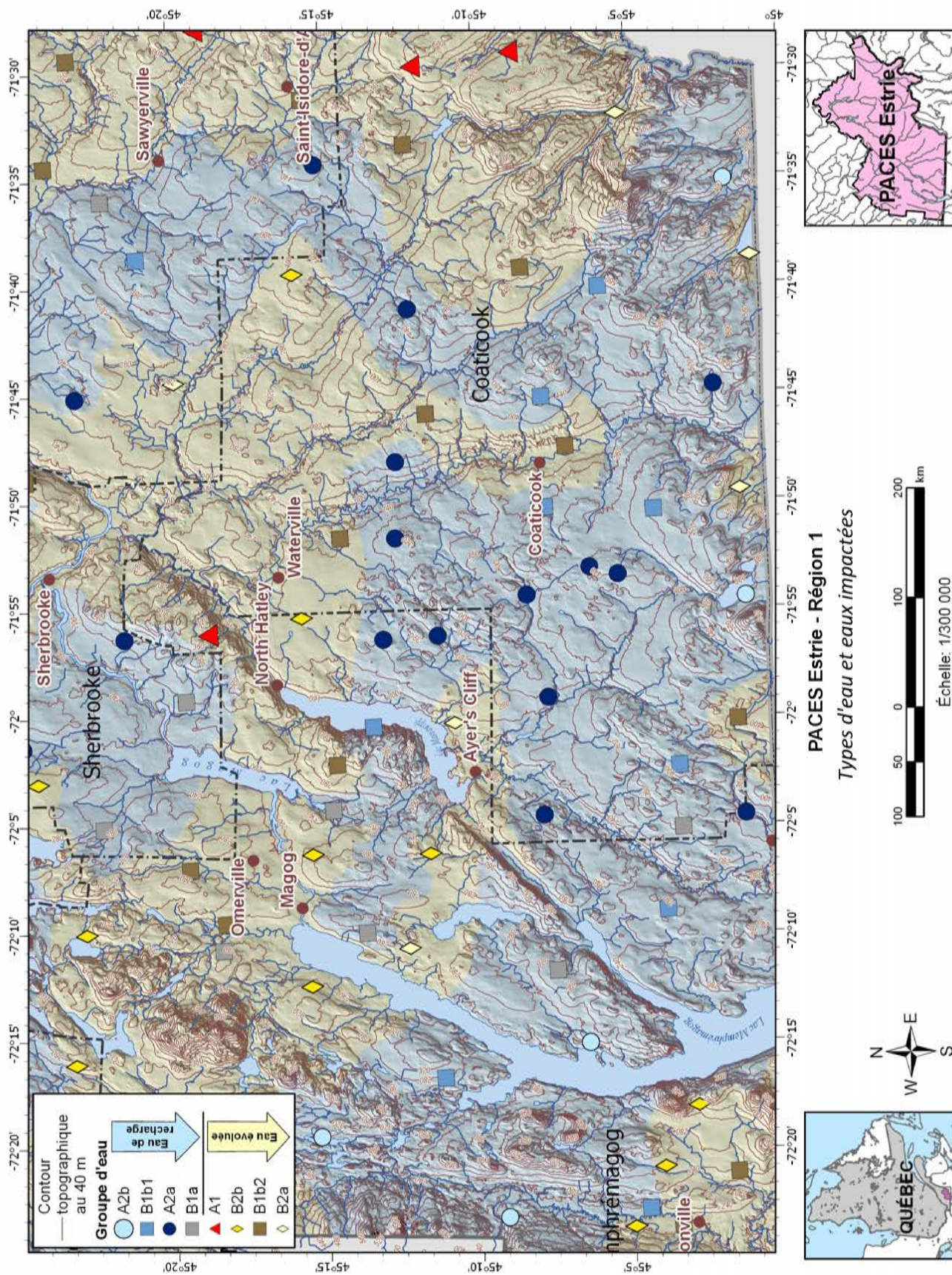
Secteur sud-ouest: Recharge



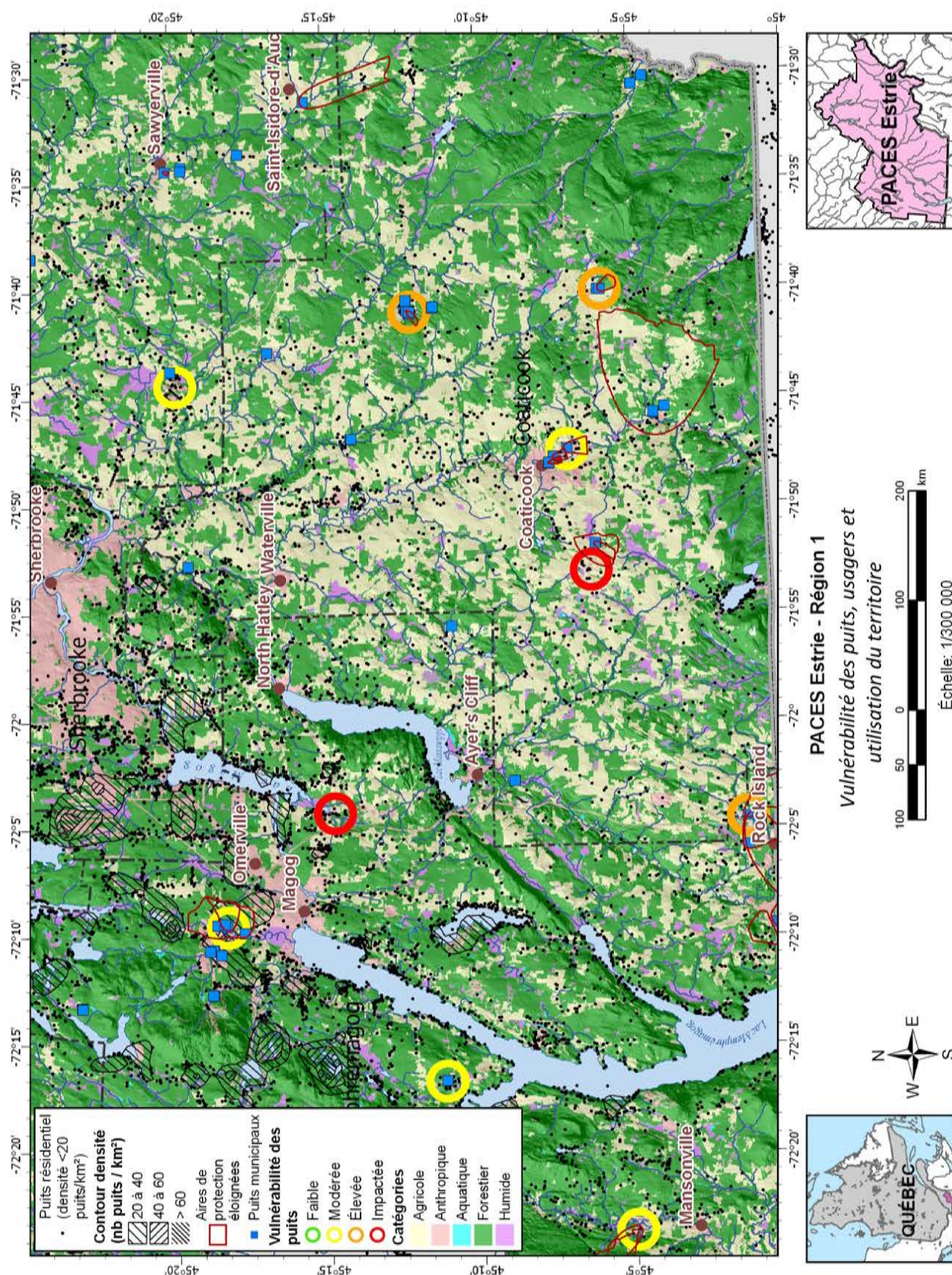
Secteur sud-ouest: Vulnérabilité



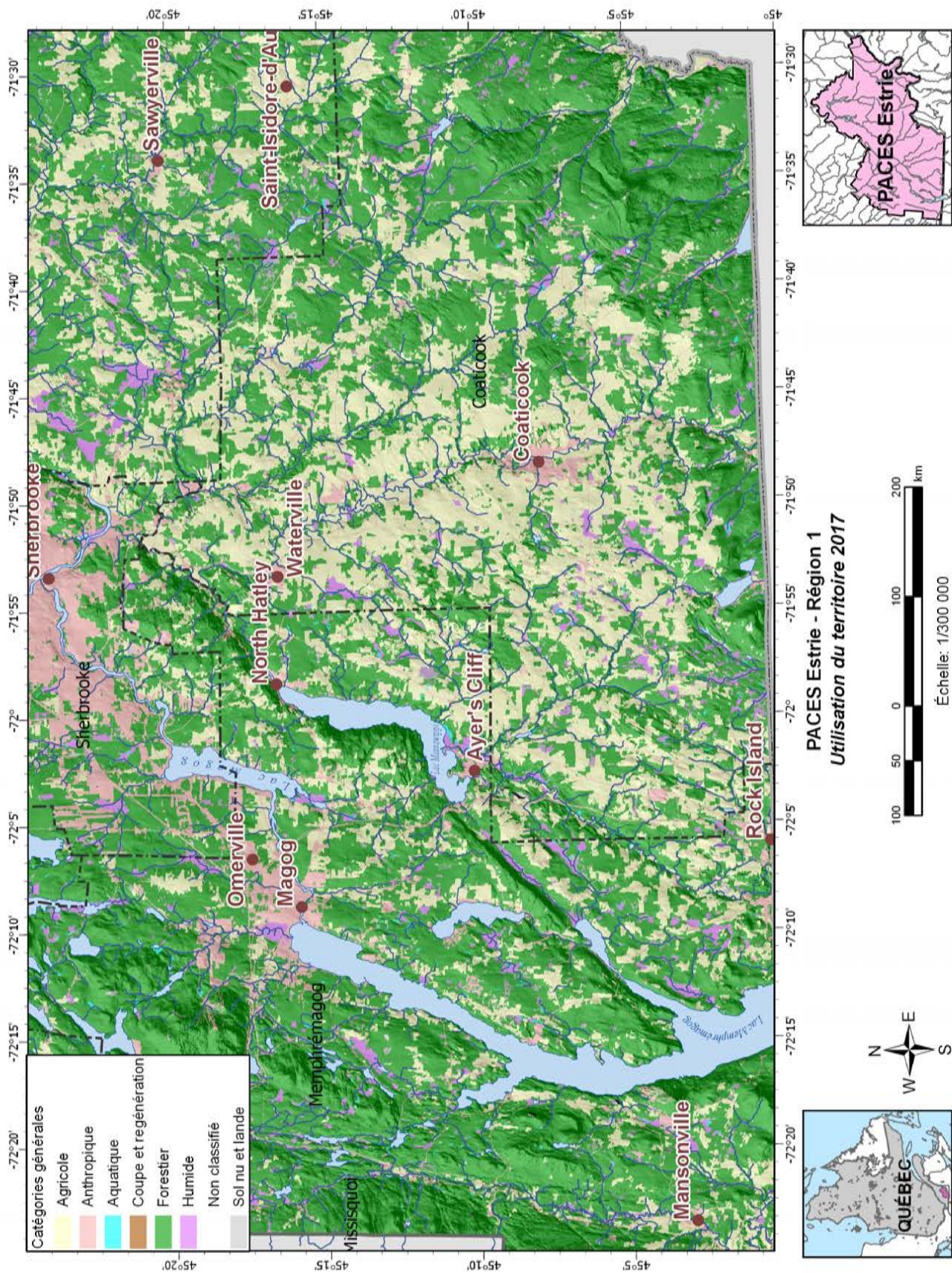
Secteur sud-ouest: Types d'eau et eaux impactées



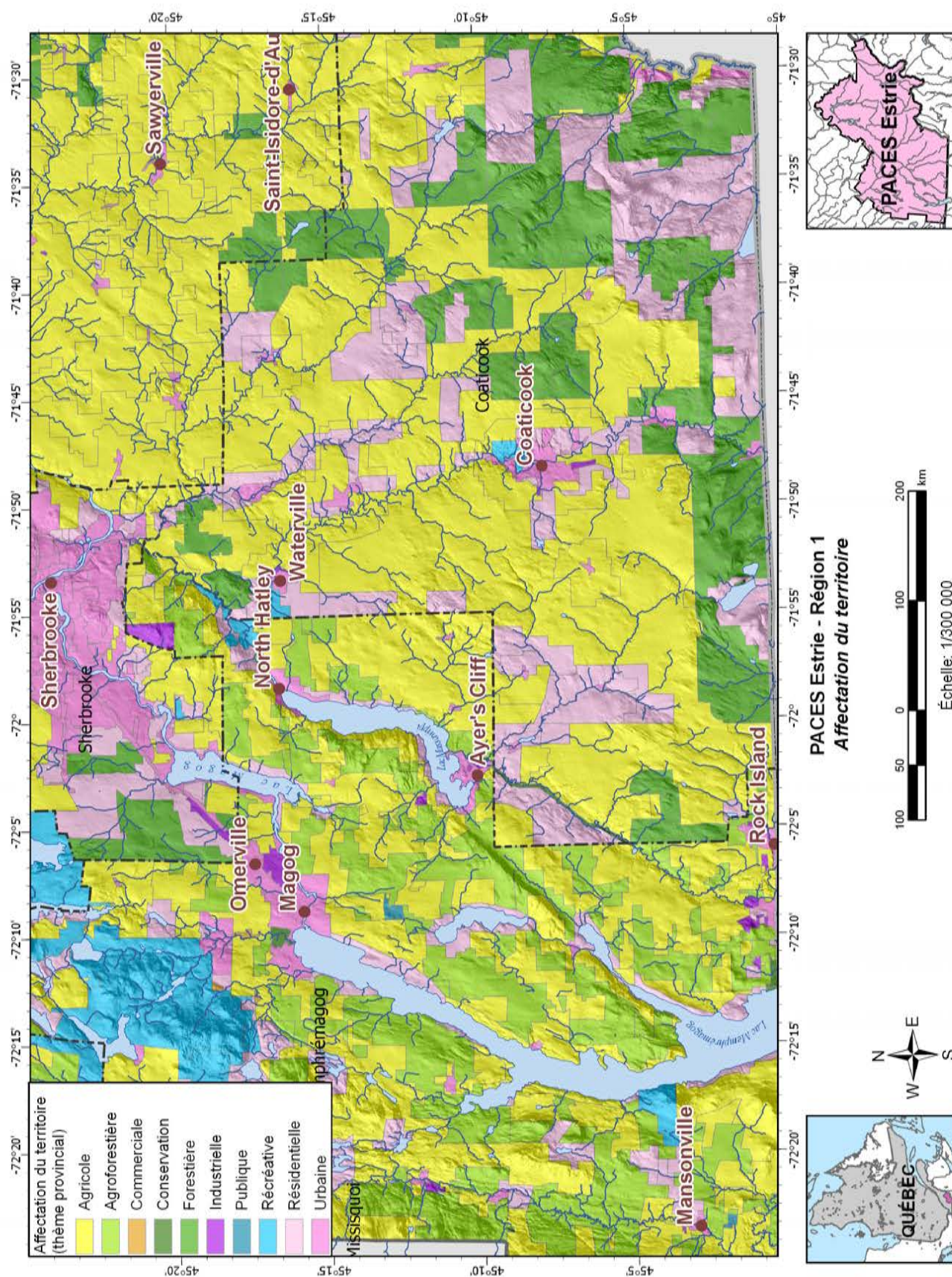
Secteur sud-ouest: Vulnérabilité des puits, usagers et utilisation du territoire



Secteur sud-ouest: Occupation du sol

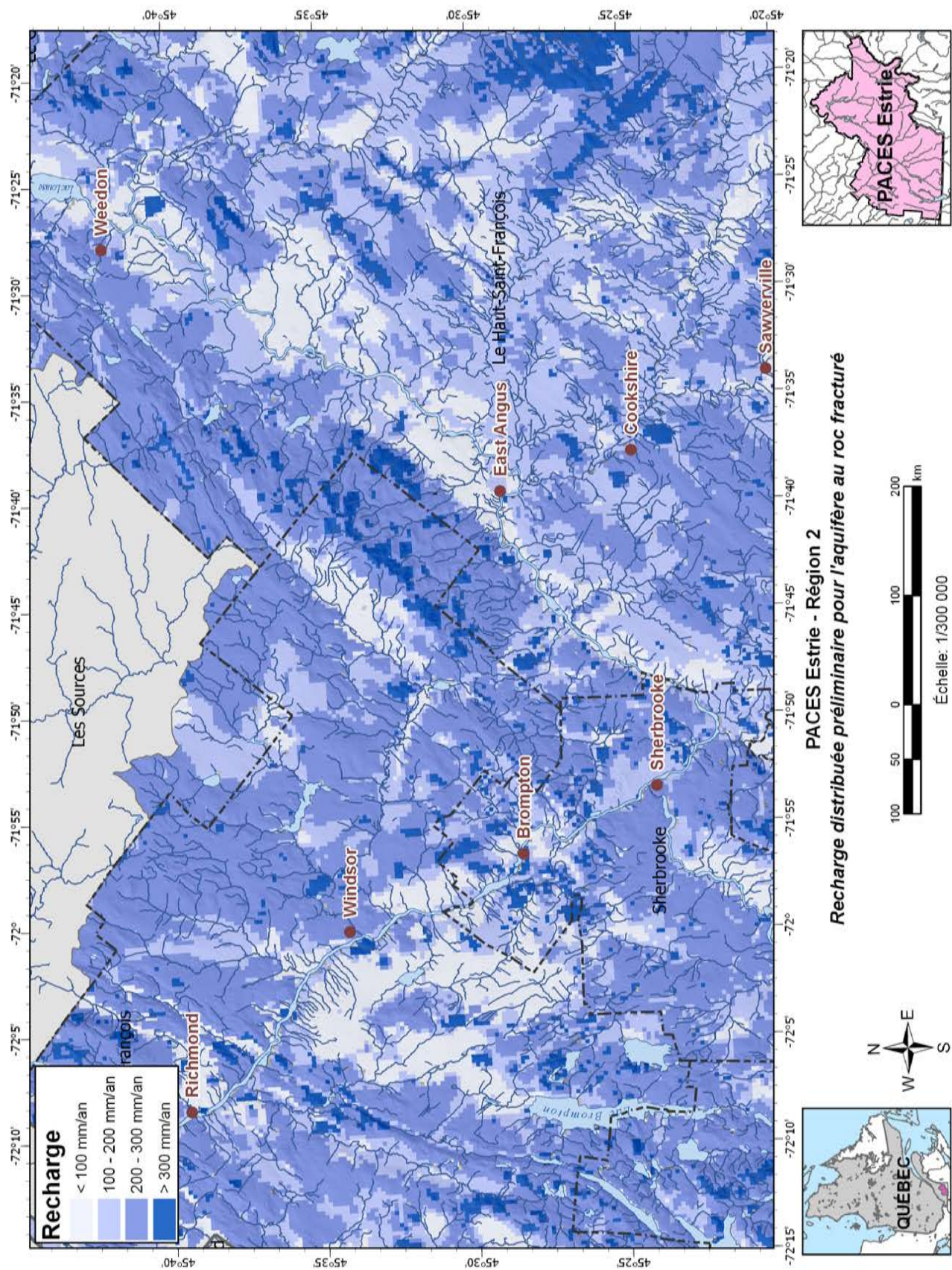


Secteur sud-ouest: Affectation du territoire

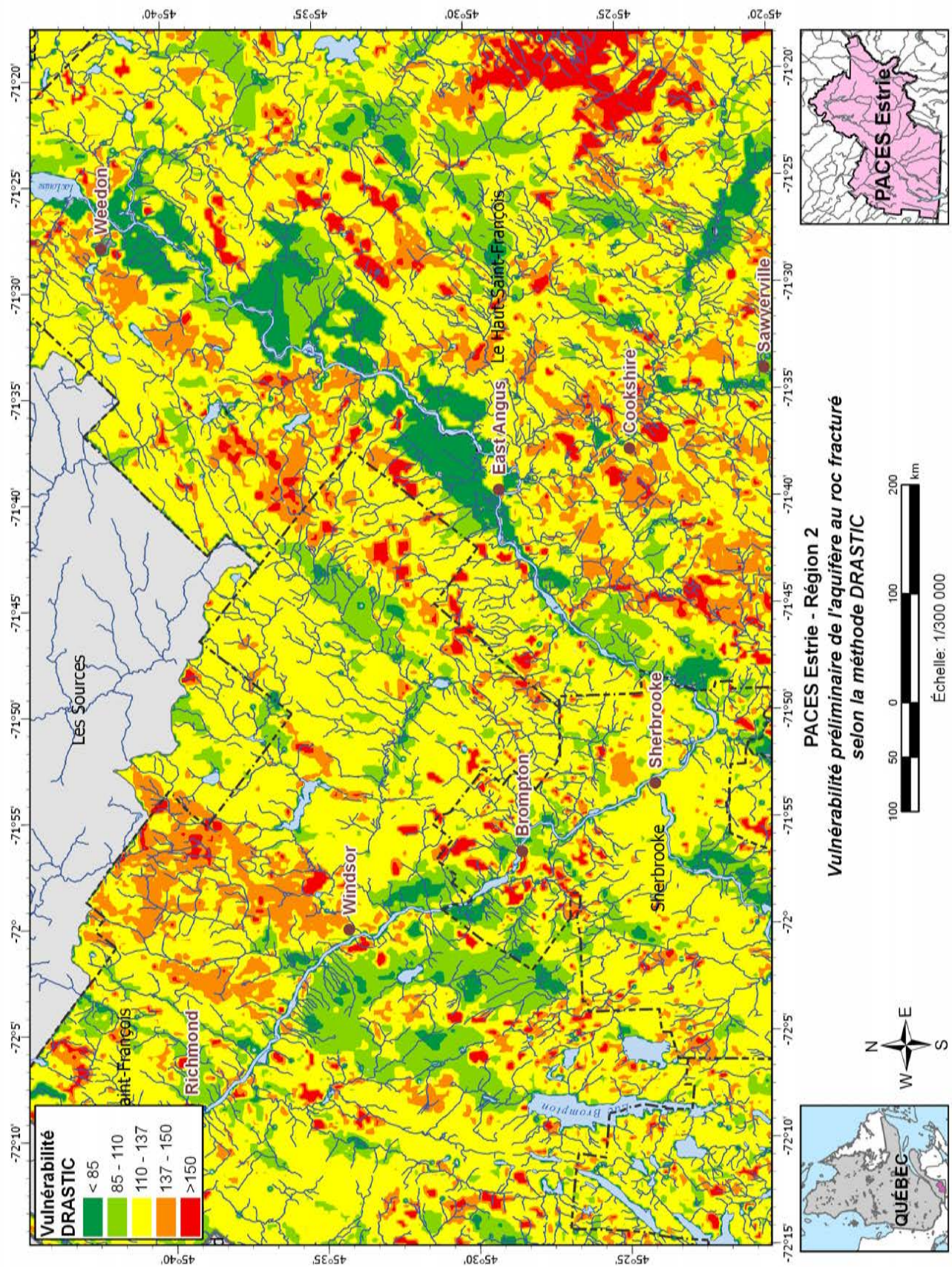


SECTEUR NORD-OUEST DE L'ESTRIE

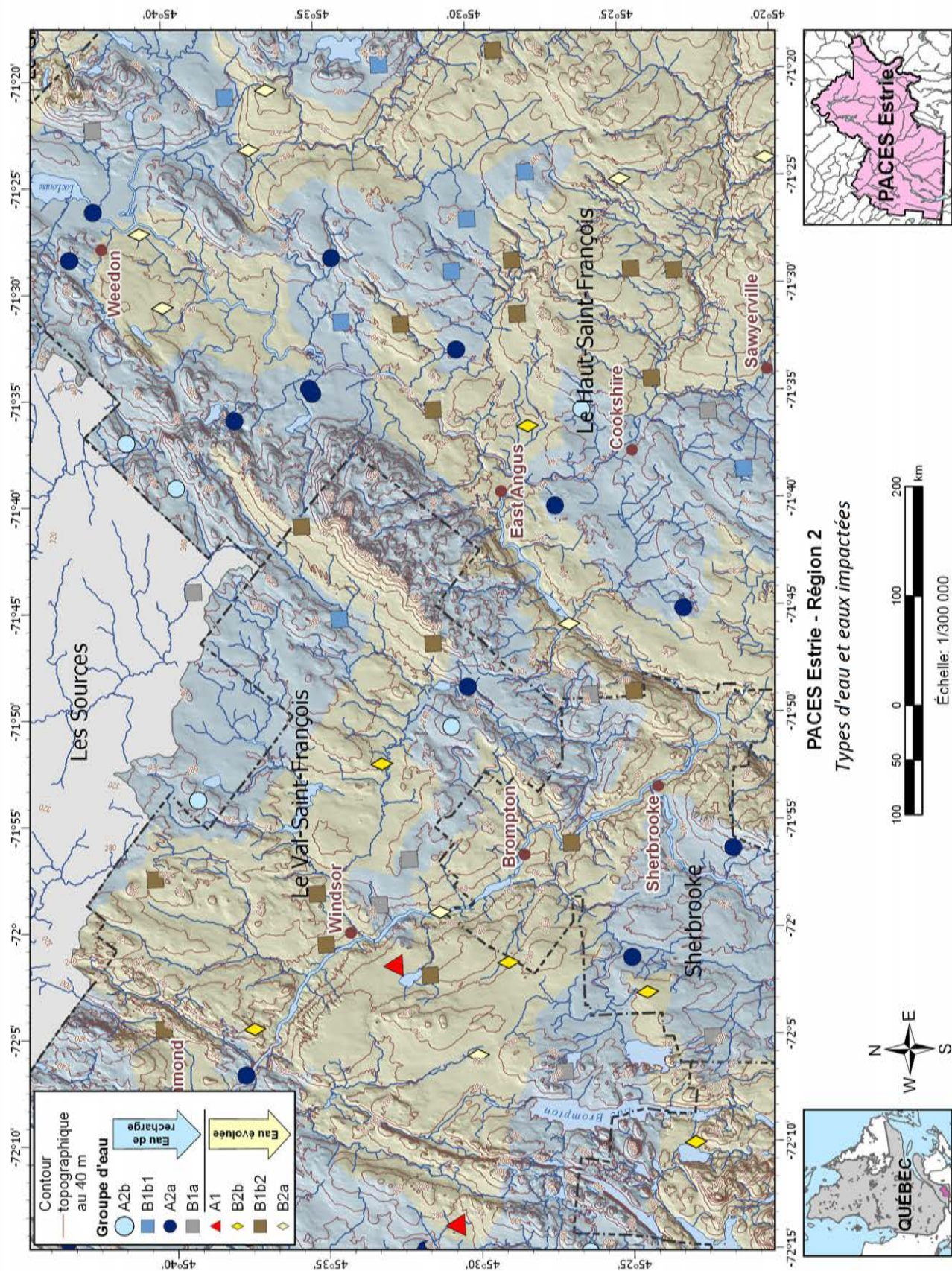
Secteur nord-ouest: Recharge



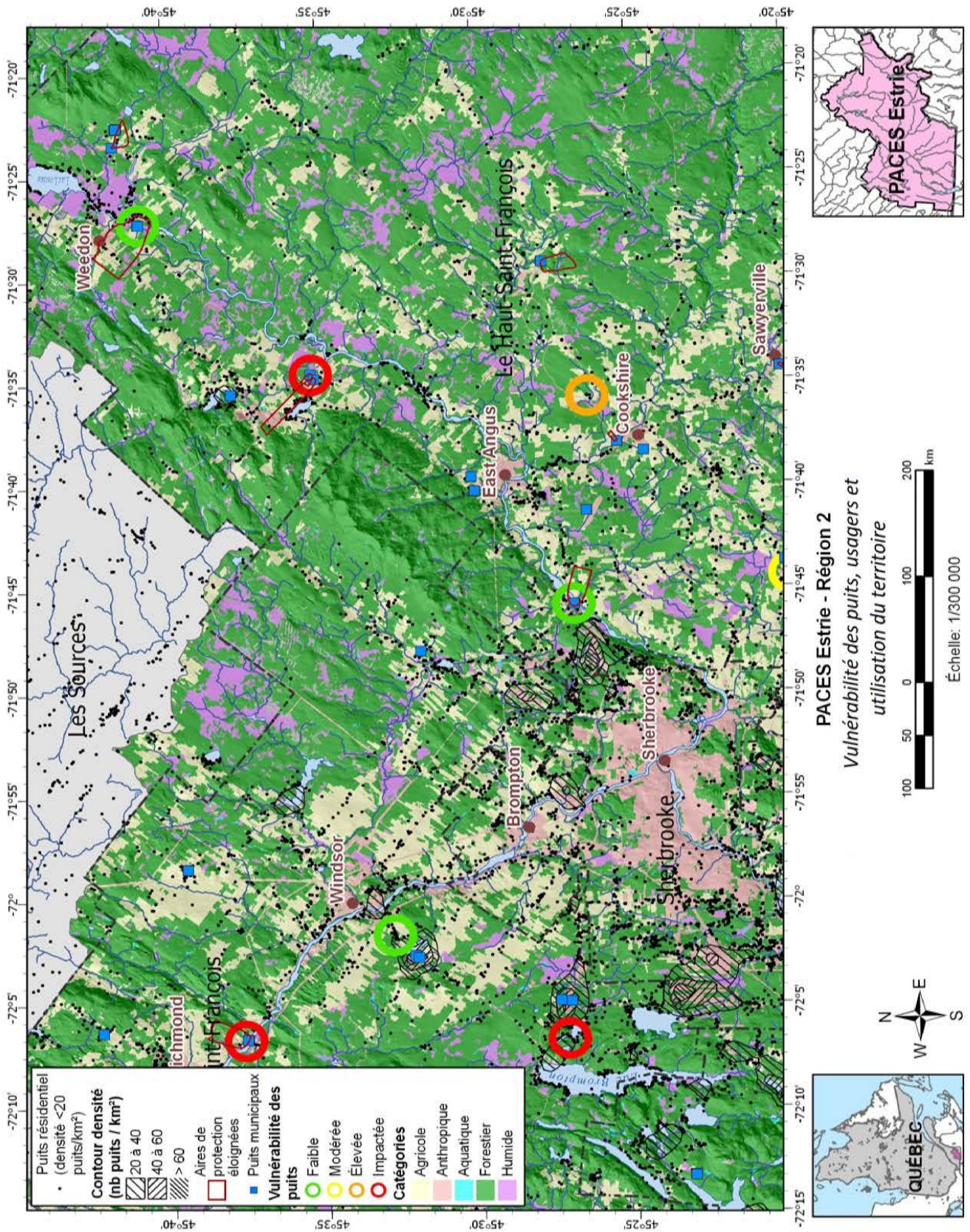
Secteur nord-ouest: Vulnérabilité



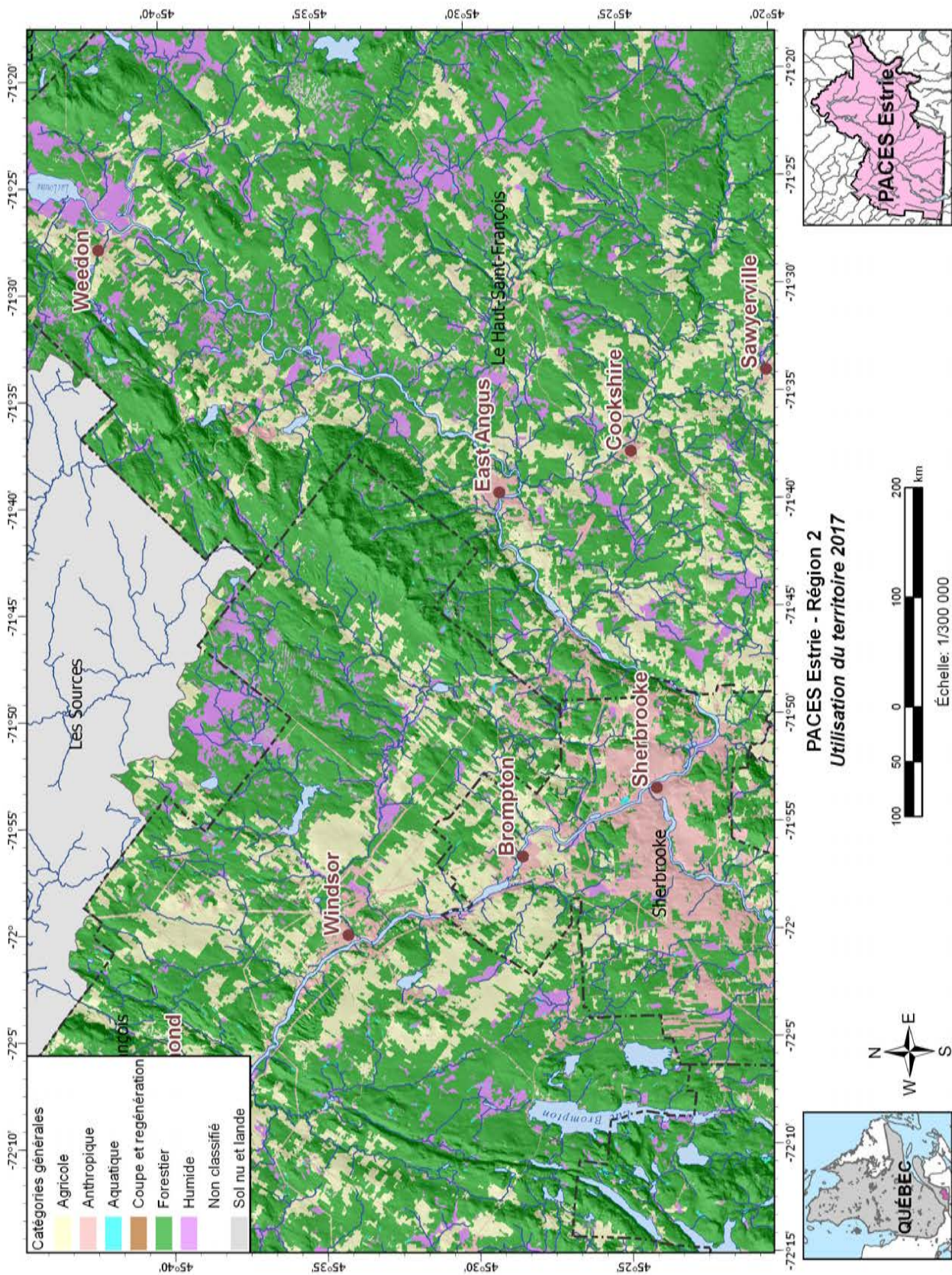
Secteur nord-ouest: Types d'eau et eaux impactées



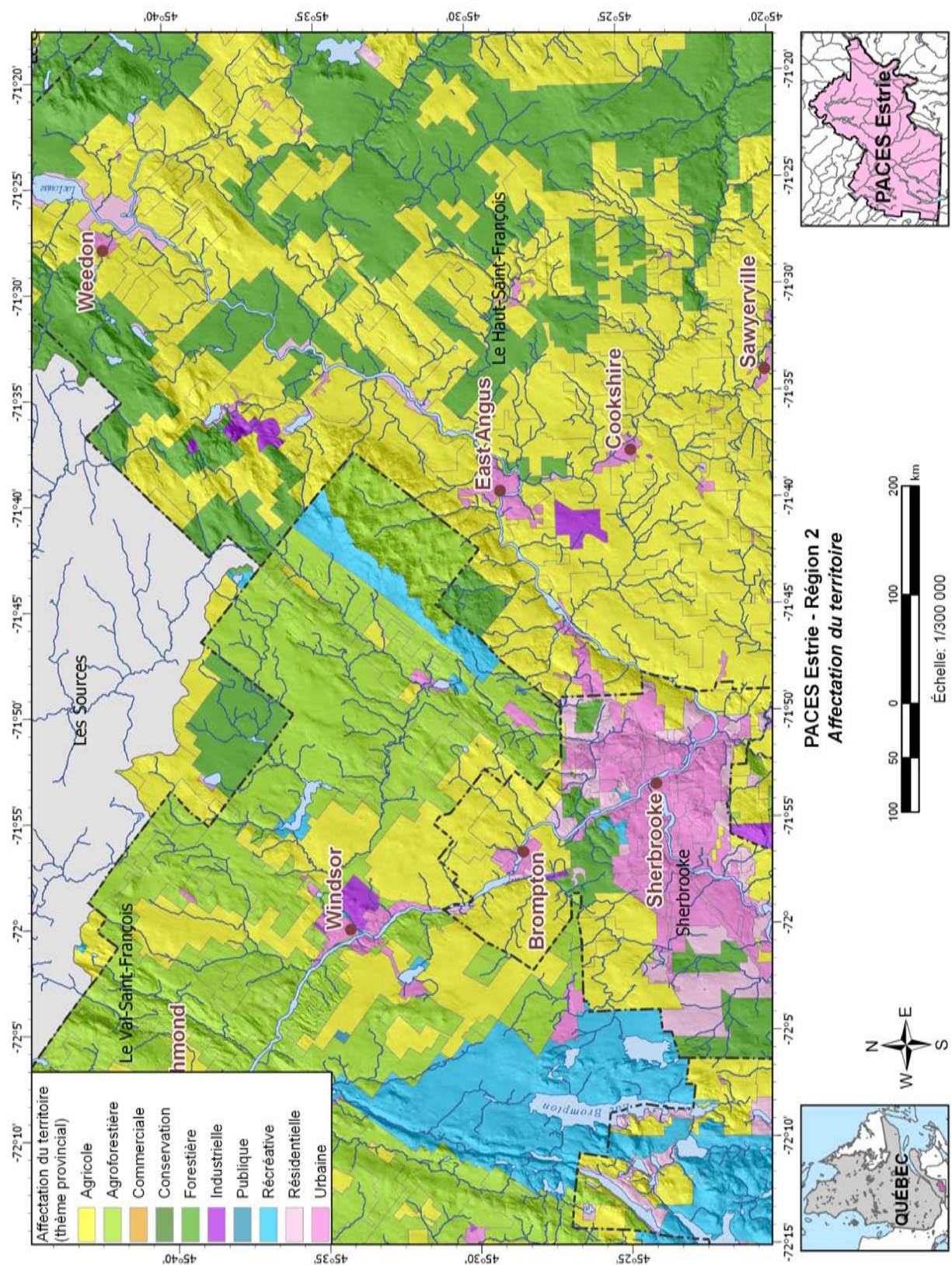
Secteur nord-ouest: Vulnérabilité des puits, usagers et utilisation du territoire



Secteur nord-ouest: Occupation du sol

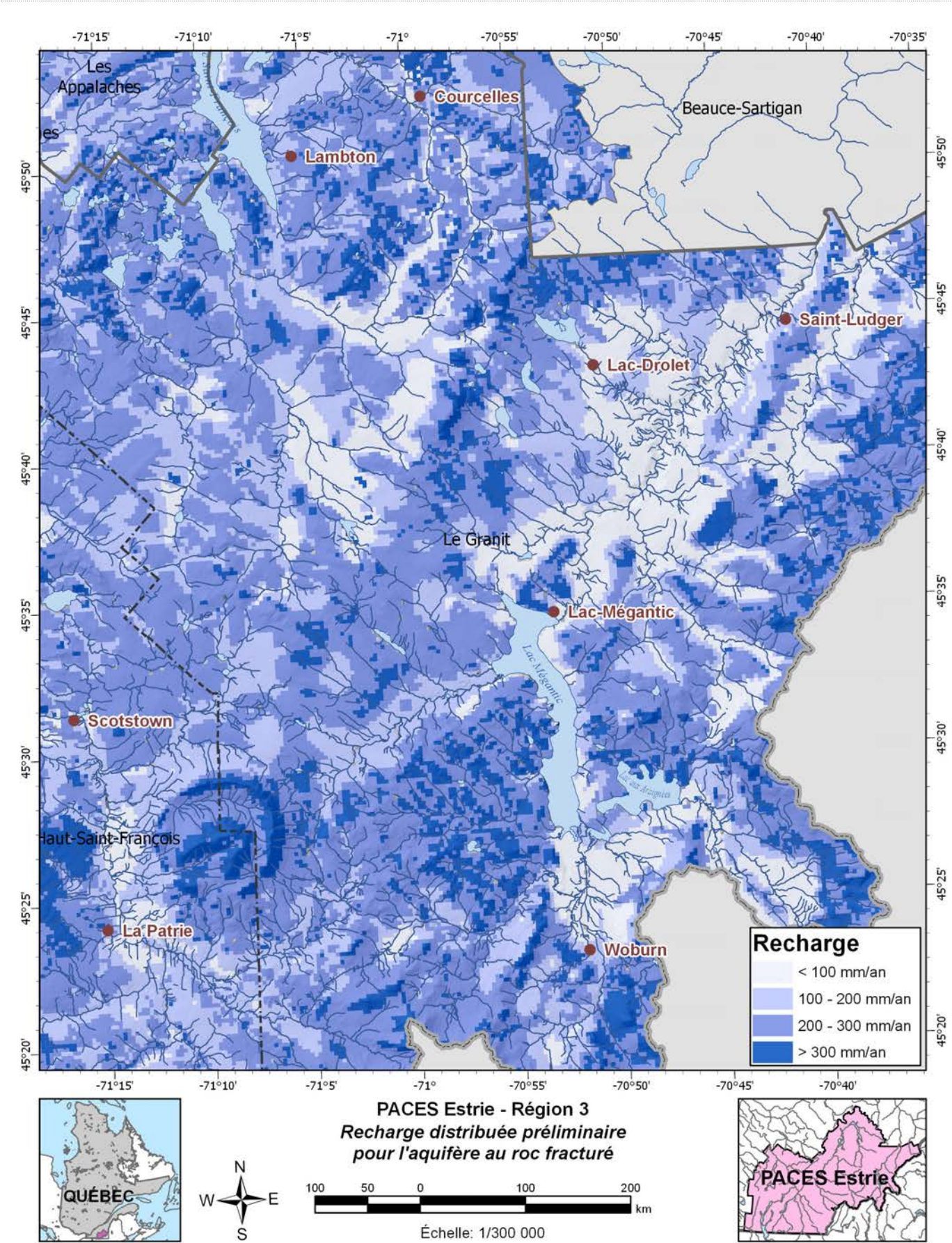


Secteur nord-ouest: Affectation du territoire

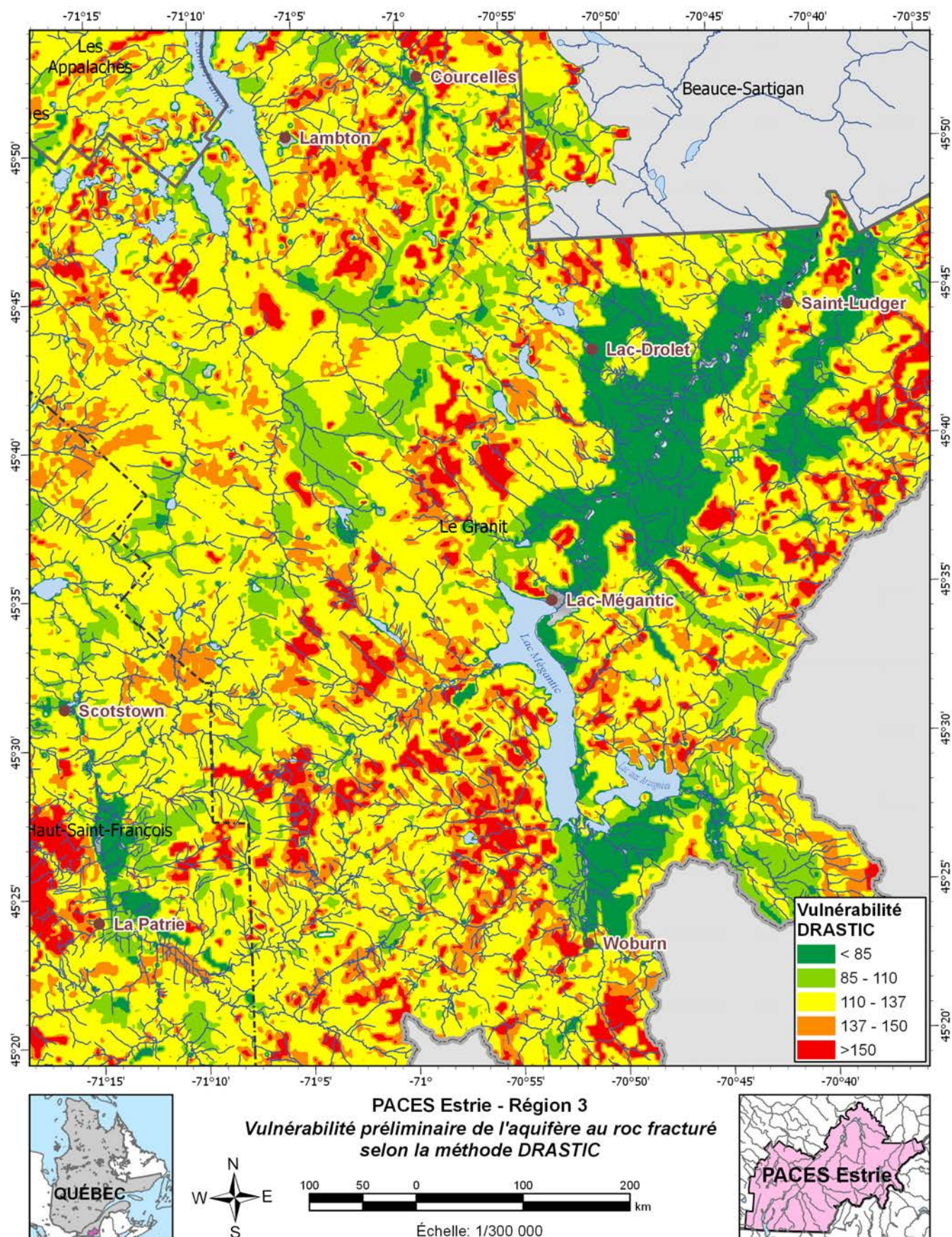


SECTEUR NORD-EST DE L'ESTRIE

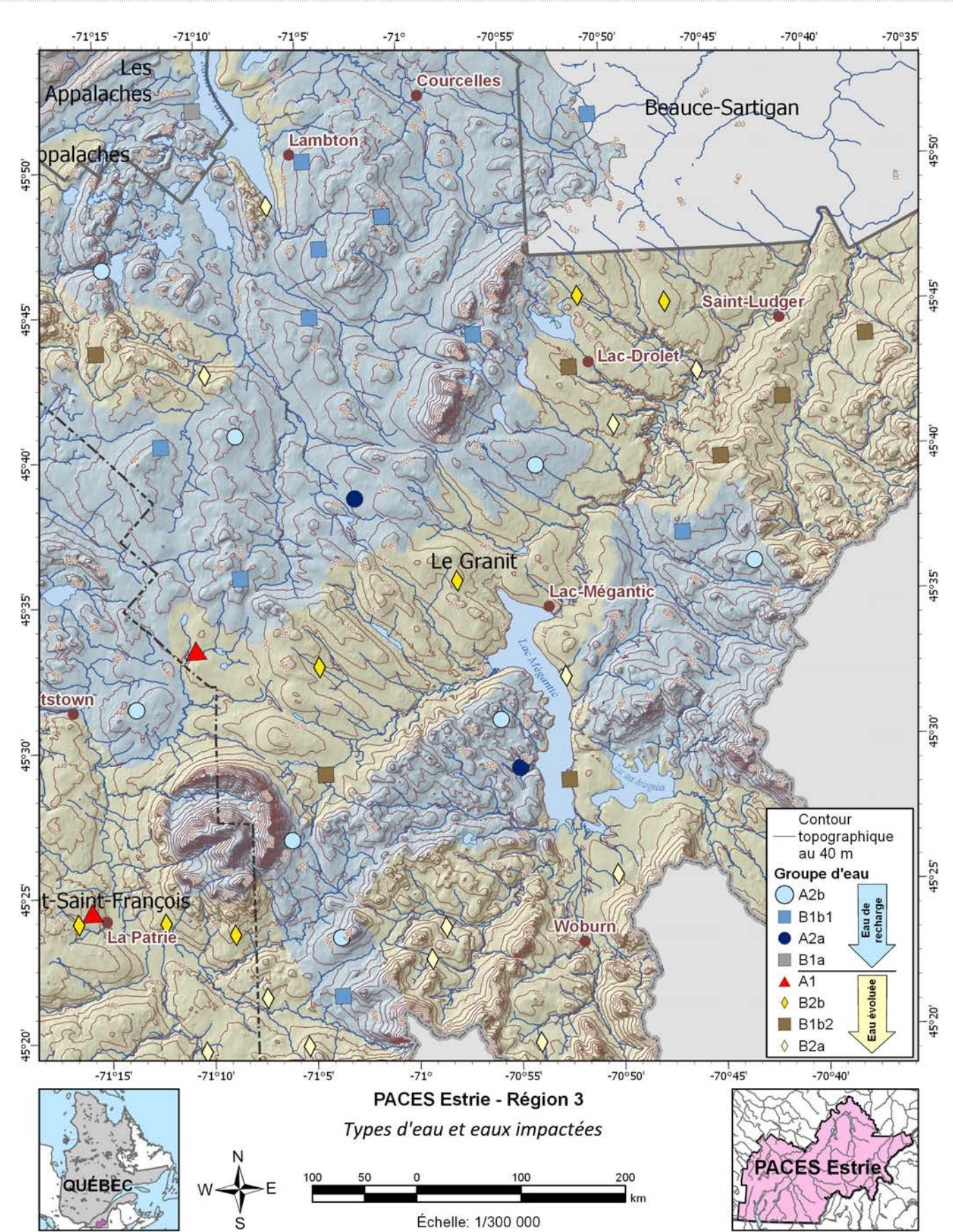
Secteur nord-est: Recharge



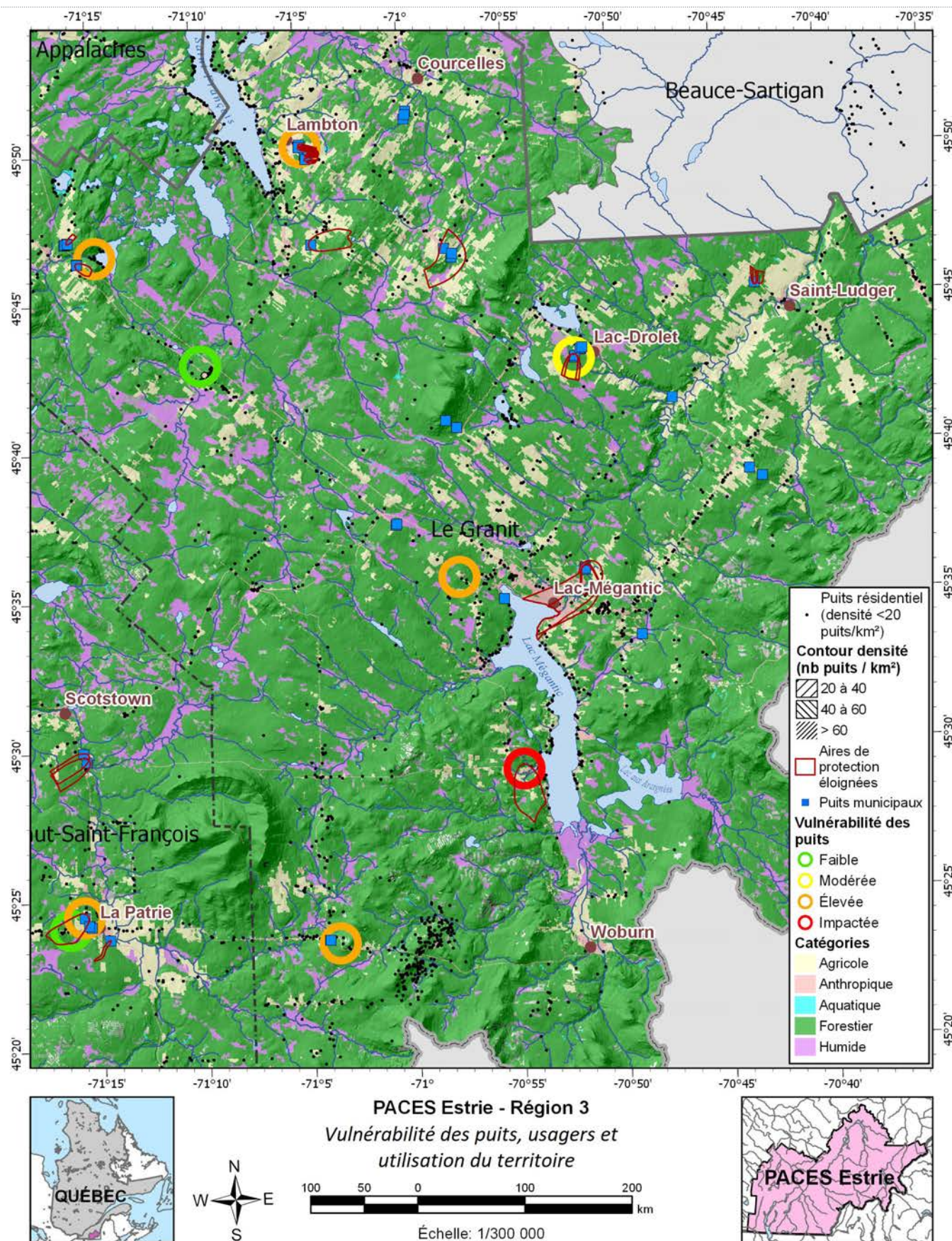
Secteur nord-est: Vulnérabilité



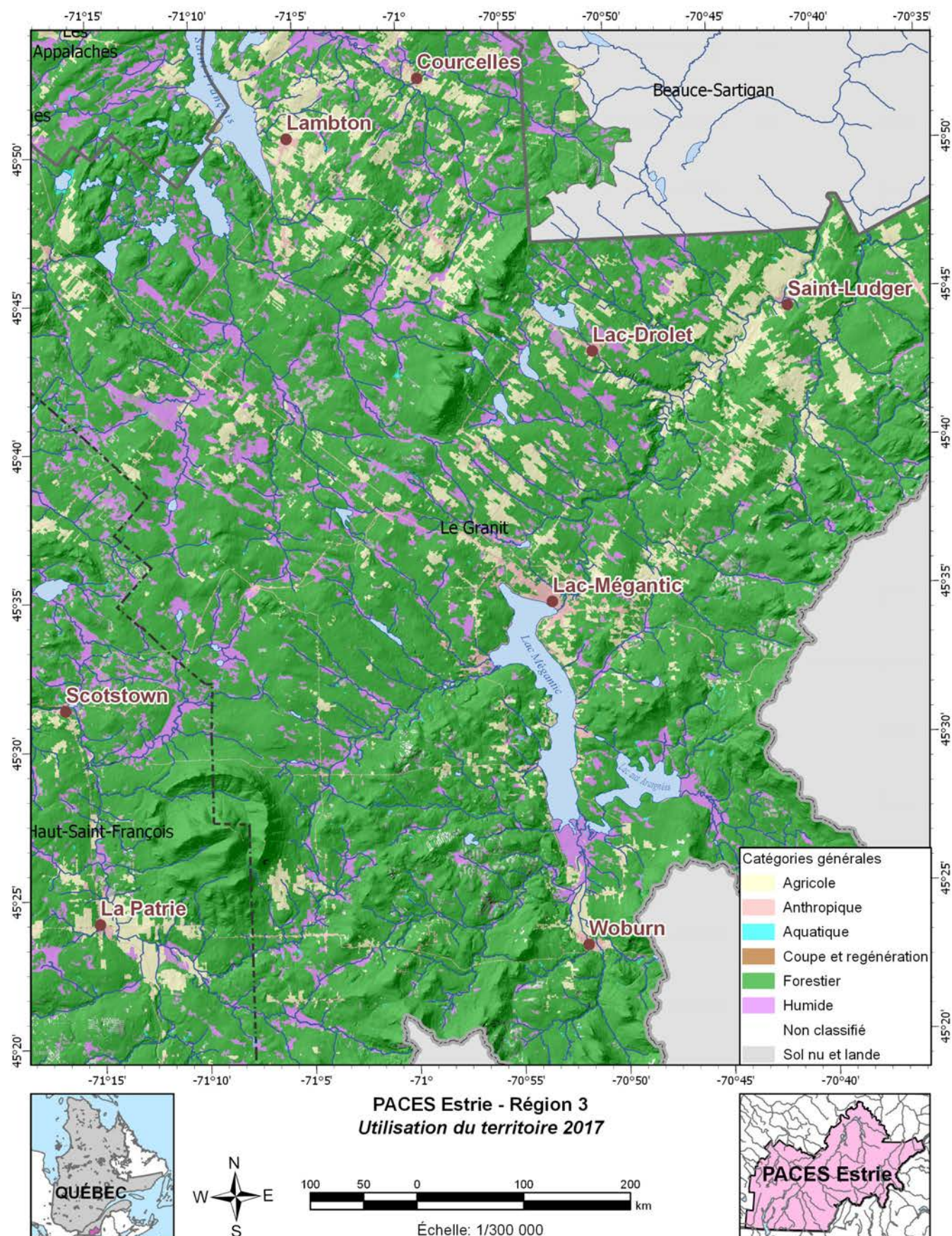
Secteur nord-est: Types d'eau et eaux impactées



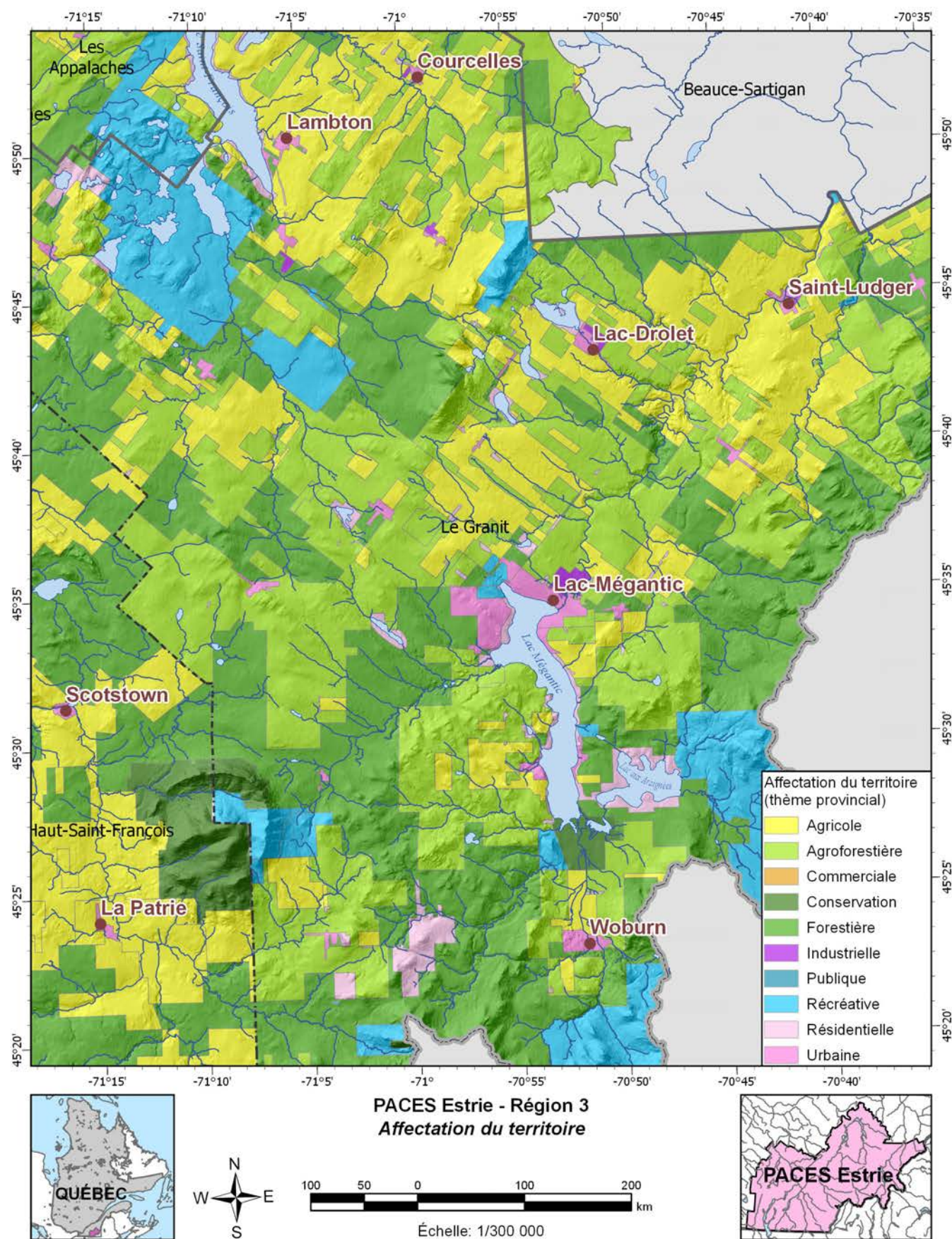
Secteur nord-est: Vulnérabilité des puits, usagers et utilisation du territoire



Secteur nord-est: Occupation du sol



Secteur nord-est: Affectation du territoire



5

Élaborer une stratégie de protection et de gestion des eaux souterraines

Explication activité 5

Objectif



Élaborer une stratégie d'action pour répondre à un enjeu de protection et de gestion des eaux souterraines (PGES)

Déroulement



Présentation des différents types de mesures de PGES et exemples.

Retour sur les mesures de PGES identifiées à l'atelier 2.

+



En sous-groupes, les participants imaginent une stratégie d'action pour répondre à un enjeu de PGES sur une partie du territoire en mobilisant différentes mesures (volontaires, incitatives, etc.). Un gabarit est prévu pour guider les participants.

+



Un porte-parole par sous-groupe vient «vendre» sa stratégie en 3 minutes au reste du groupe.

Des mesures multiples et complémentaires



MESURES RÉGLEMENTAIRES

DÉFINITION

Édition de normes opposables aux citoyens ou aux entreprises pour le contrôle des activités humaines

EXEMPLES

- Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (RPEP)
- Règlement sur les carrières et les sablières
- Document complémentaire des schémas d'aménagement et de développement
- Règlement de zonage
- Etc.



MESURES NON RÉGLEMENTAIRES



Mesures de planification et de concertation

DÉFINITION

Stratégies, plans de gestion, plan d'action qui définissent des orientations à travers une concertation entre acteurs

EXEMPLES

- Schéma d'aménagement et de développement et son plan d'action
- Plan directeur de l'eau



Mesures volontaires

Encouragent des changements de pratiques sur une base volontaire

- Campagne de sensibilisation sur l'économie d'eau potable



Mesures incitatives

Mesures économiques qui activent un changement de pratiques, une autre manière d'aménager.

- Prime Vert (MAPAQ)
- Redevances sur l'eau
- Remboursement de taxes foncières



Mesures de suivi

DÉFINITION

Suivi de paramètres indicateurs dans le temps

EXEMPLES

- Suivi des nitrates
- Suivi des niveaux d'eau



Mesures d'urgence

Rôles, pratiques et procédures en cas de déversement accidentel, d'inondations, de pénuries d'eau, etc.

- Protocoles d'intervention



Mesures d'acquisition de connaissances

Formation du personnel, étude sur des enjeux spécifiques

- Utilisation des données du PACES pour la prise de décisions
- Étude sur le rôle des milieux humides, les zones à surveiller

Les enjeux de protection et de gestion des eaux souterraines

Mise en situation

Vous formez un comité de travail responsable de protéger et d'assurer une gestion durable des eaux souterraines de votre territoire. Vous êtes reconnus pour être créatifs et innovants.

Vous devez élaborer une stratégie d'actions afin de répondre à un des enjeux ci-dessous et le présenter au conseil des maires de la MRC. Ces recommandations serviront également pour la mise à jour du SAD et des usages permis dans les différentes affectations.

En vous basant sur les résultats de l'activité 4, sur les capacités et expertises de votre comité (membres de votre sous-groupe) et sur les mesures existantes (ou non), vous élaborerez le squelette de votre stratégie lors d'une première rencontre.

Enjeu 1 : Protéger une zone de recharge

Choisissez une ou des zones de recharge à protéger et moduler les activités qui y sont permises à l'aide des différents types de mesures.

- *Quelle zone allez-vous protéger en priorité?*
- *De quelle façon allez-vous procéder?*
- *Quels seront les impacts?*

Enjeu 2 : Planter une activité polluante

Choisissez une zone pour planter une nouvelle activité potentiellement polluante et définissez des actions pour diminuer les risques à l'aide des différents types de mesures.

- *Quelle zone est plus propice pour planter cette activité ?*
- *Quels seront les impacts ?*
- *Quelles sont les mesures qui permettent de minimiser ces impacts ?*

Élaborer une stratégie de PGES

Consignes

1. En sous-groupes, imaginez votre projet (remue-méninges).

10 min.

2. Complétez le gabarit de projet en remplissant les questions A à E sur la plateforme partagée.

Utilisez la carte du résultat de l'activité 4 ainsi que les cartes de l'occupation du sol et de l'affectation du territoire de votre secteur (p.54-55, 61-62 et 68-69).

45 min.

3. De retour en grand groupe, vous avez 3 minutes pour présenter votre projet/ idée/mesure. Choisissez un porte-parole.

3 min.

Soyez créatifs, innovants et n'ayez pas peur de proposer des nouvelles choses !

A

VOTRE ENJEU (zone de recharge ou activité polluante)

Quel est le problème ? Décrivez la situation.

Exemples pour l'enjeu **zone de recharge** :

1. Est-ce que l'étalement urbain empiète sur la zone de recharge (imperméabilisation de la zone de recharge) ?
2. Est-ce que le développement urbain futur ou les activités actuelles menacent les quantités d'eau disponibles (la demande est trop grande par rapport au taux de renouvellement) ?
3. Est-ce que la zone de recharge à protéger dépasse les limites administratives (MRC, municipalité) ?
4. Est-ce que des activités potentiellement polluantes se trouvent sur la zone de recharge
5. Est-ce que l'affectation du territoire et les usages permis est en conflit avec la protection de la zone de recharge?

Exemples pour l'enjeu **activité polluante** :

1. Est-ce que l'activité menace la qualité de l'eau ?
2. Est-ce que l'activité consomme beaucoup d'eau ou amène des conflits d'usage?
3. Est-ce que l'activité nécessite un plan de mesures d'urgence ?

B

VOTRE PROJET

En lien avec le problème identifié, quelle(s) solutions pourriez-vous apporter?

Donnez un titre à votre projet. Soyez créatif !

Décrivez votre projet en une phrase (quel est l'objectif principal?).

C

LES ACTIONS ET LES MESURES

Quelles sont les trois premières actions à mettre en place pour démarrer votre projet ?

Quels types de mesures allez-vous mobiliser ?

Les types de mesures



Réglementaires



Planification et concertation



Volontaires



Incitatives



Suivi



Urgences



Acquisition de connaissances

Vos actions

D

LE FONCTIONNEMENT DE VOTRE PROJET

Comment allez-vous mettre en oeuvre vos actions (qui? quoi? quel financement?)

E

UN BOND DANS LE FUTUR

Nous sommes en 2025, quels sont les éléments importants de votre projet qui ont assuré sa réussite?

Témoignage d'une mairesse satisfaite ou d'un maire satisfait du projet.

Exemple

A VOTRE ENJEU (zone de recharge)

Situation : Le haut pays agroforestier constitue la zone de recharge pour toute la zone côtière: le renouvellement des sources d'eau potable souterraines des municipalités localisées le long du fleuve dépend donc de ce qui se passe dans les municipalités situées en amont. Certaines activités pourraient avoir un impact sur la recharge.

B VOTRE PROJET

Solution : Créer une table de concertation régionale sur l'enjeu de la recharge.

Titre : L'EAUASIS

Objectif: Développer une stratégie de protection de la zone de recharge du haut pays forestier.

C LES ACTIONS ET LES MESURES



Règlementation: Limiter la superficie des coupes forestières et retirer les permis de drainage



Planification et concertation: Former un comité de vigilance pour la protection du territoire



Volontaires (sensibilisation): Identifier clairement les zones de recharges sur les plans d'aménagement (info-sol)



Acquisition de connaissances: Faire une étude de vulnérabilité de la zone de recharge (identification des activités pouvant impacter la recharge)

D LE FONCTIONNEMENT DE VOTRE PROJET

Les deux MRC touchées par le territoire à protéger sont responsables du projet. Elles financent le projet, en plus d'une subvention du MELCC. L'OBV de la région coordonne le projet et assure la concertation entre tous les acteurs concernés. Les actions identifiées par la table de concertation sont intégrées dans le PDE de l'OBV et le SAD des MRC.

E UN BON DANS LE FUTUR

La clé du succès: L'implication de tous les acteurs concernés dans l'identification et la mise en oeuvre des actions.

" Avec ce projet, on a réussi à trouver un bel équilibre entre la protection de nos sources d'eau potable et le développement du territoire! J'en suis très fier! "

Mes notes personnelles

ANNEXE - Description des groupes d'eau

Tiré de: Colléau, É., 2020. Géochimie et âge de l'eau souterraine en Estrie en relation avec les problématiques d'arsenic et de manganèse et la vulnérabilité des puits d'approvisionnement. Mémoire de maîtrise en sciences de la terre, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, Québec, 298 p., <http://espace.inrs.ca/id/eprint/11234/>

Tableau 3. 17 Description des groupes d'eau.

Type d'eau	Groupe d'eau	N	Description géochimique	N ³ H et ¹⁴ C	N CFCs et SF ₆	Description datation
Eaux de recharge	A2b	22	Eau à pH acide, oxydante et en système ouvert au CO ₂ ; la moins chargée (MTD) et affectée par les effets anthropiques mais la plus riche en Al, Cu, Pb, Zn et la plus pauvre en As, Si, SO ₄ .	6	4	Eau la plus riche en ³ H avec un âge ¹⁴ C corrigé moderne (0 yBP); entièrement constituée d'une prédominance d'eau moderne.
	B1b1	30	Eau à pH neutre, oxydante et en système ouvert au CO ₂ ; un peu d'effets anthropiques (NO ₃) et d'évolution géochimique (Ca, K). Groupe d'eau pauvre en Mn et Si.	4	3	Eau avec une teneur en ³ H élevée et un temps de résidence ¹⁴ C intermédiaire (2394 yBP). Présence d'eau moderne à 50% et d'eau de mélange entre un pôle moderne et ancien à 50%.
	A2a	33	Eau à pH neutre, oxydante et en système ouvert au CO ₂ ; eau chargée (TDS) avec un effet anthropique important (Cl, COD, NO ₃ , SO ₄) et concentration totale élevée (Ca, Mg, Sr). Moyenne élevée en N-NH ₃ .	10	6	Eau avec une teneur en ³ H élevée et un temps de résidence ¹⁴ C court (1074 yBP); majoritairement constituée d'une prédominance d'eau moderne.
	B1a	20	Eau à pH neutre, réductrice et en système ouvert au CO ₂ ; la plus concentrée (Ba, Ca, K, Mg, Mn, Na, Si, Sr, U). Eau dégradée avec un fort impact de l'activité anthropique (Cl, COD, SO ₄) et contient les plus fortes concentrations en Fe, SO ₄ et N-NH ₃ avec une faible teneur en NO ₃ (suspicion de dénitrification autotrophe). Moyenne élevée en B, Br-.	8	2	Eau avec une teneur en ³ H élevée et un temps de résidence ¹⁴ C court (951 yBP); majoritairement constituée d'une prédominance d'eau moderne.
Eaux évoluées	A1	8	Eau à pH neutre, oxydante et en système ouvert au CO ₂ ; eau purement sodique la plus riche en As.	4	2	Eau avec une teneur en ³ H élevée et un temps de résidence ¹⁴ C intermédiaire (3594 yBP); la moitié des échantillons correspondent à un mélange d'eau entre un pôle moderne et ancien.
	B2b	36	Eau un peu alcaline, réductrice et en système fermé pour le CO ₂ ; avec de fortes concentrations en Mn, Fe et contient aussi beaucoup de F, Si. Moyenne élevée en P inorg et S ²⁻ .	10	3	Eau avec une teneur en ³ H élevée et un temps de résidence ¹⁴ C intermédiaire (3561 yBP); la moitié des échantillons correspondent à un mélange d'eau entre un pôle moderne et ancien.
	B1b2	41	Eau alcaline, réductrice et en système fermé pour le CO ₂ ; se distingue par des concentrations élevées en As, B, Ba, F, Mg, Sr, S ²⁻ .	16	3	Eau avec peu de ³ H et un temps de résidence ¹⁴ C intermédiaire (3780 yBP); constituée d'une prédominance d'eau ancienne mais également d'un mélange d'eau entre un pôle moderne et ancien.
	B2a	29	Eau très alcaline, réductrice et en système fermé pour le CO ₂ mais très peu concentrée. Eau la plus riche en F, Mo et P inorg.	12	4	Eau la plus pauvre en ³ H et un temps de résidence ¹⁴ C long (6398 yBP); majoritairement constituée d'une prédominance d'eau ancienne.

ANNEXE - Description des groupes d'eau

Le pourcentage de dépassements par rapport au nombre de dépassements total a été calculé pour chaque groupe. Des dépassements en nitrites-nitrates, fer et pH (<7) sont observés dans les groupes d'eau de recharge. En revanche, les eaux évoluées géochimiquement présentent la majorité des dépassements en arsenic, en manganèse et en fer (tableau 3.19).

Tableau 3. 19 Pourcentage de dépassements par groupe d'eau par rapport au nombre de dépassements total (en gras : % le plus élevé).

Critère	Paramètres	Norme (mg/L)	Nombre dépassements	% dépassements par rapport au nombre de dépassement total							
				A2b	B1b1	A2a	B1a	A1	B2b	B1b2	B2a
CMA	As	0.01	18	0	0	0	16.7	5.6	27.8	38.9	11.1
	Cd	0.005	1	0	0	100	0	0	0	0	0
	Mn	0.12	57	1.8	0	1.8	28.1	0	33.3	24.6	10.5
	NO ₂ ⁻ et NO ₃ ⁻	10	2	0	50	50	0	0	0	0	0
	U	0.02	3	0	0	0	0	0	0	66.7	33.3
OE	Cl ⁻	250	2	0	0	0	100	0	0	0	0
	Fe	0.3	37	0	0	0	37.8	0	32.4	18.9	10.8
	Mn	0.02	111	1.8	0	8.1	16.2	0	30.6	26.1	17.1
	S ²⁻	0.05	9	0	0	0	0	11.1	33.3	44.4	11.1
	pH	<7	47	42.6	12.8	12.8	14.9	0	12.8	4.3	0

3.3.2 Contrôles sur les problématiques d'arsenic et de manganèse

3.3.2.1 Conditions et secteurs favorables à la présence d'arsenic et de manganèse

Les eaux souterraines dans la région de l'Estrie présentent de fortes teneurs en arsenic et manganèse au-delà des normes de potabilité. Le tableau 3.20 répertorie les statistiques descriptives de ces 2 composés selon les groupes d'eau.

Tableau 3. 20 Statistiques descriptives (10, 25, 50, 75, 90^e centiles ; min et max) de l'arsenic et du manganèse (mg/L) des groupes d'eau (en rouge: concentration dépassant la CMA).

Paramètres	Centile	A2b	B1b1	A2a	B1a	A1	B2b	B1b2	B2a
		N=22	N=30	N=33	N=20	N=8	N=36	N=41	N=29
Arsenic (As) (mg/L) CMA = 0.01 mg/L	Min	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
	10	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0005	0.0002	0.0002	0.0002
	25	0.0002	0.0002	0.0002	0.0004	0.0011	0.0004	0.0010	0.0005
	50	0.0002	0.0002	0.0004	0.0024	0.0043	0.0015	0.0030	0.0019
	75	0.0004	0.0008	0.0008	0.0066	0.0080	0.0047	0.0049	0.0040
	90	0.0005	0.0010	0.0018	0.0150	0.0134	0.0145	0.0120	0.0066
	Max	0.0009	0.0030	0.0072	0.0180	0.0240	0.0360	0.0290	0.0680
Manganèse (Mn) (mg/L) CMA = 0.12 mg/L	Min	0.0002	0.0002	0.0002	0.0016	0.0002	0.0140	0.0002	0.0002
	10	0.0002	0.0002	0.0002	0.0353	0.0002	0.0365	0.0036	0.0019
	25	0.0005	0.0002	0.0002	0.1675	0.0002	0.0678	0.0130	0.0130
	50	0.0013	0.0002	0.0026	0.3850	0.0002	0.1450	0.0760	0.0460
	75	0.0029	0.0006	0.0220	0.9050	0.0003	0.2825	0.1500	0.1100
	90	0.0097	0.0014	0.0376	2.2200	0.0012	0.7950	0.3500	0.2080
	Max	1.1000	0.0130	0.1600	6.2000	0.0021	1.5000	0.4900	0.4500

ANNEXE - Description des groupes d'eau

Les eaux de recharge les moins impactées par les activités anthropiques (A2b et B1b1) possèdent les plus faibles teneurs en arsenic. Les eaux évoluées géochimiquement ont les teneurs maximales les plus élevées avec une concentration médiane plus importante dans les eaux purement sodiques (A1) (figure 3.23.A). Le manganèse est présent en plus forte concentration dans les eaux souterraines impactées par les activités anthropiques (B1a) ou dans les eaux avec un temps de résidence plus important (B2b, B1b2 et B2a) (figure 3.23.B).

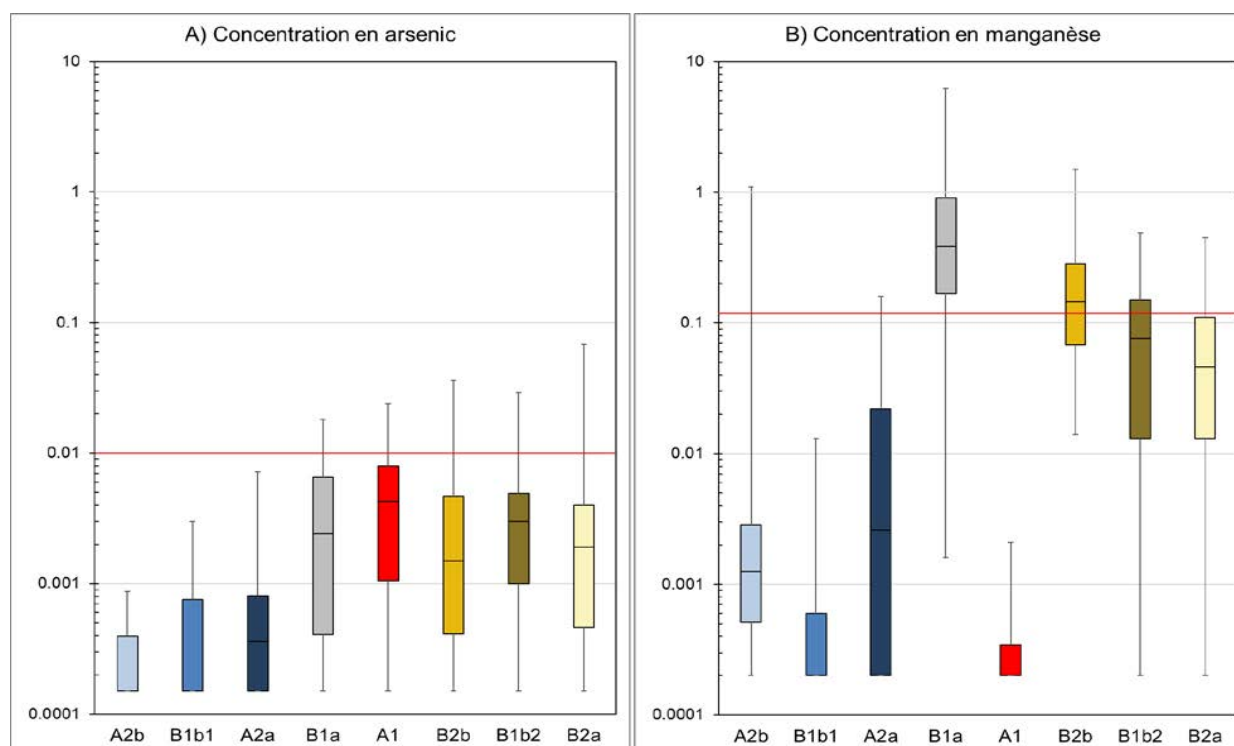


Figure 3. 23 A) Concentration en arsenic (A) et en manganèse (B) des groupes d'eau (CMA en rouge : As = 0.01 mg/L et Mn = 0.12 mg/L).

L'un des groupes impactés (B1a) et les groupes évolués géochimiquement (B2b, B1b2 et B2a) sont à la fois enrichis en arsenic et en manganèse, sauf les eaux purement sodiques (A1) qui sont uniquement riches en arsenic. Cette tendance est également visible sur la figure 3.24 qui met en évidence la relation entre l'arsenic et le manganèse. Les eaux de recharge non impactées (A2b et B1b1) sont enrichies soit en arsenic soit en manganèse. Les eaux les plus impactées B1a sont les plus riches en manganèse.

Les partenaires du 3^e atelier de transfert et d'échange des connaissances sur les eaux souterraines du RQES:



Grâce au support financier de :

