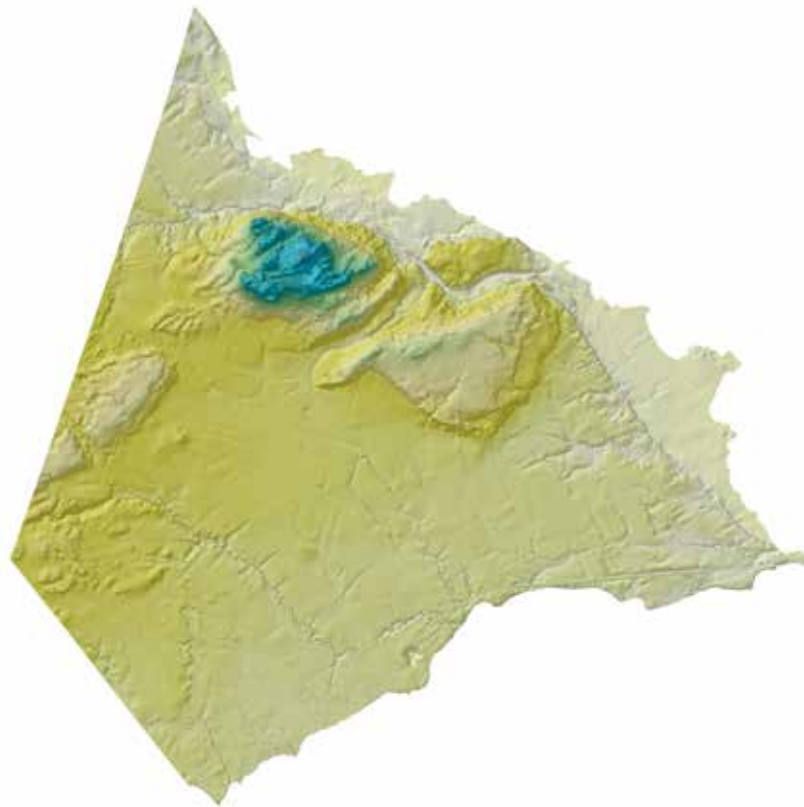


ATELIER A

Familiarisation avec les connaissances hydrogéologiques

Vaudreuil-Soulanges



CAHIER DU PARTICIPANT

Septembre 2017

Cet atelier de transfert des connaissances issues du Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES) de la zone Vaudreuil-Soulange est rendu possible grâce au financement du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). Il est le résultat d'un travail conjoint entre le Réseau québécois sur les eaux souterraines (RQES), l'Université du Québec à Montréal (UQAM) et la Chaire de recherche Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR) en écologie du paysage et aménagement :

- Marie Larocque, professeure en hydrogéologie, UQAM, coordonnatrice du PACES de la zone Vaudreuil-Soulanges
- Guillaume Meyzonnat, agent de recherche, UQAM, équipe de recherche du PACES de la zone Vaudreuil-Soulanges
- Sylvain Gagné, agent de recherche, UQAM, équipe de recherche du PACES de la zone Vaudreuil-Soulanges
- Yohann Tremblay, agent de transfert du RQES, préparation et animation de l'atelier
- Miryane Ferlatte, coordonnatrice scientifique du RQES, organisation et animation de l'atelier
- Anne-Marie Decelles, agente de transfert du RQES, animation de l'atelier
- Julie Ruiz, professeure et titulaire de la Chaire de recherche UQTR en écologie du paysage et aménagement, conception de l'atelier

Références à citer

L'ensemble des informations hydrogéologiques provient du rapport final du PACES de la zone Vaudreuil-Soulanges et des cartes associées. Ces documents doivent être cités comme suit :

Larocque, M., Meyzonnat, G., Ouellet, M. A., Graveline, M. H., Gagné, S., Barnetche, D. et Dorner, S. 2015. Projet de connaissance des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport scientifique. Rapport déposé au ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques. 201 p.

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 la zone Vaudreuil-Soulanges :

Tremblay, Y., Ruiz, J. et Gagné, S. 2017. Familiarisation avec les connaissances hydrogéologiques, Vaudreuil-Soulanges, cahier du participant. Document préparé par le RQES, avec la contribution de l'UQAM et de l'UQTR, pour les acteurs de l'aménagement du territoire.



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 MDDELCC 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 : rqes.ca

Le Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère de l'UQAM

Le Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère est né des départements des sciences de l'atmosphère (1973) et de géologie (1969), il y a une douzaine d'années. Il dispose de plusieurs chaires de recherche, de deux centres institutionnels et de plusieurs regroupements de recherche facultaires. Les étudiants au Département ont l'opportunité d'intégrer l'une ou l'autre de ces unités de recherche. Forts d'une formation pluridisciplinaire, les compétences des diplômés du Département sont recherchées dans les domaines des ressources, de l'aménagement, de l'adaptation aux changements climatiques et de la prévision des risques naturels.

Pour en savoir plus : www.scta.uqam.ca

Table des matières

Index des notions clés	7
Guide de lecture du cahier des participants	8
Votre équipe de formation	9
1. Les notions hydrogéologiques fondamentales	11
Nappe, aquifère et aquitard	12
Différents types d'aquifères	13
Types de dépôts meubles	14
Conditions de confinement	15
Piézométrie	16
Recharge et résurgence	16
Vulnérabilité de l'eau souterraine	17
Qualité de l'eau	18
2. Les caractéristiques régionales de l'eau souterraine	19
Résumé du PACES de la zone Vaudreuil-Soulanges	20
Synthèse des résultats	20
Limites générales de l'étude	21
Topographie du roc	22
Épaisseur des dépôts meubles	24
Contextes hydrogéologiques	26
Conditions de confinement	28
Piézométrie	30
Recharge et résurgence	32
Vulnérabilité	34
Qualité de l'eau – Critères pour l'eau potable	36
Qualité de l'eau - Critères esthétiques	38
Synthèse des contextes hydrogéologiques régionaux	40

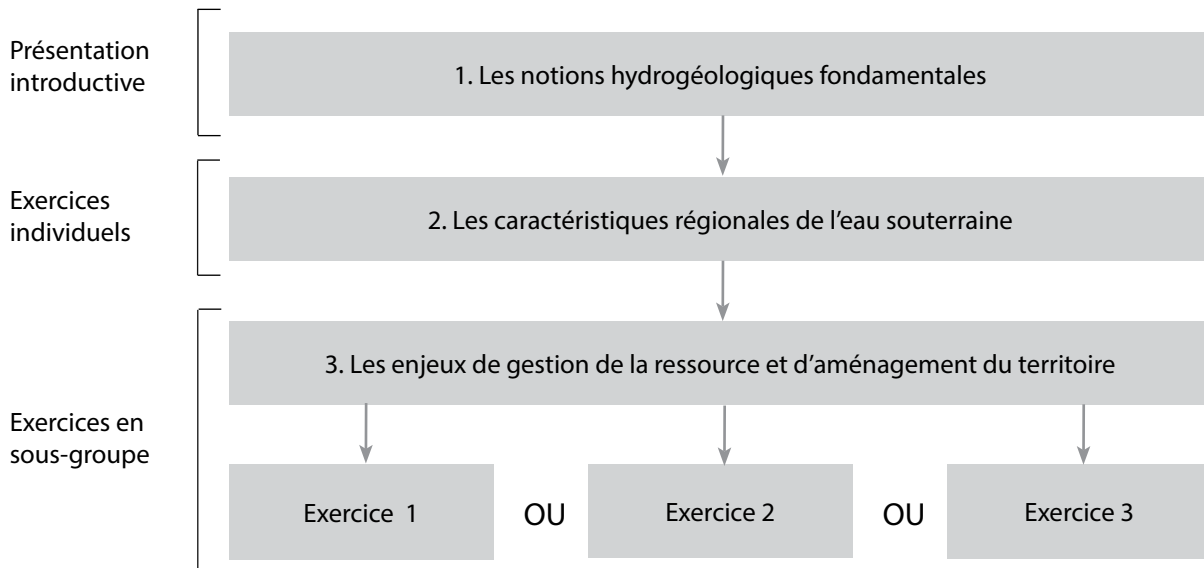
3. Les enjeux de gestion de la ressource et de l'aménagement du territoire	45
Occupation du sol	46
Affectation du territoire	47
Exercice de synthèse 1	48
Exercice de synthèse 2	49
Exercice de synthèse 3	50
Bibliographie	51
Mes notes personnelles	52

Index des notions clés

Aquifère	12
Aquifère de dépôts meubles	13
Aquifère de roc fracturé	13
Aquitard	12
Concentrations maximales acceptables	18
Conditions de confinement	15
Conductivité hydraulique	12
Dépôts meubles	13
DRASTIC	17
Eau souterraine	12
Évolution de l'eau	18
Minéralisation	18
Nappe	12
Nappe captive, libre et semi-captive	15
Niveau piézométrique	16
Objectifs esthétiques	18
Piézométrie	16
Porosité	12
Recharge	16
Résurgence	16
Roc fracturé	13
Sédiments alluviaux	14
Sédiments fluvioglaciaires	14
Sédiments glaciaires	14
Sédiments glaciomarins	14
Sédiments lacustres	14
Sédiments organiques	14
Sédiments quaternaires anciens	14
Till	14
Types d'eau	18
Vulnérabilité	17
Zone saturée et non saturée	12

Guide de lecture du cahier du participant

L'organisation du cahier en lien avec le déroulement de l'atelier



Tout au long du cahier



Définitions des **NOTIONS CLÉS** en hydrogéologie

on renvoie au numéro de page où se trouvent les définitions des notions clés



Exercices de compréhension des informations hydrogéologiques

Niveau de difficulté des questions :

- F** facile
- M** moyennement difficile
- D** difficile

Votre équipe de formation

Vos animateurs



Yohann Tremblay
M.Sc. Sciences de l'eau
Agent de transfert du RQES
Département de géologie et
génie géologique, Université Laval
1065 av. de la Médecine
Québec (Qc) G1K 7P4
418-656-2131 poste 5595
ytremblay.rques@gmail.com



Anne-Marie Decelles
M.A. Développement régional
Agente de transfert 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



Miryane Ferlatte
M.Sc. Hydrogéologie
Coordonnatrice scientifique du RQES
Département des sciences de la Terre
et de l'Atmosphère
Université du Québec à Montréal
CP 8888, succ. Centre-ville
Montréal (Qc) H3C 3P8
514-987-3000 poste 1648
miryanef.rques@gmail.com

Vos experts en eaux souterraines



Marie Larocque
Ph.D. Hydrogéologie
Professeure
Département des sciences de la Terre
et de l'atmosphère
Université du Québec à Montréal
CP 8888, succ. Centre-ville
Montréal (Qc) H3C 3P8
514-987-3000 poste 1515
larocque.marie@uqam.ca



Sylvain Gagné
M.Sc. Hydrogéologie
Agent de transfert du RQES
Département des sciences de la Terre
et de l'Atmosphère
Université du Québec à Montréal
CP 8888, succ. Centre-ville
Montréal (Qc) H3C 3P8
514-987-3000 poste 0252
gagne.sylvain@uqam.ca



Guillaume Meyzonnat
Ing., M.Sc, hydrogéologue
Étudiant au doctorat
Département des sciences de la
Terre de l'atmosphère
Université du Québec à Montréal
CP 8888, succ. Centre-ville
Montréal (Qc) H3C 3P8
514-987-3000 poste 3315
meyzonnat.guillaume@uqam.ca

1

Les notions hydrogéologiques fondamentales



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

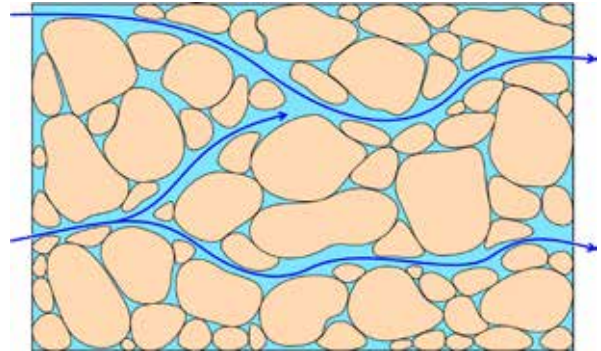
La **POROSITÉ** est le volume (en %) des pores, c'est-à-dire des espaces vides au sein de la matrice solide.

- 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.

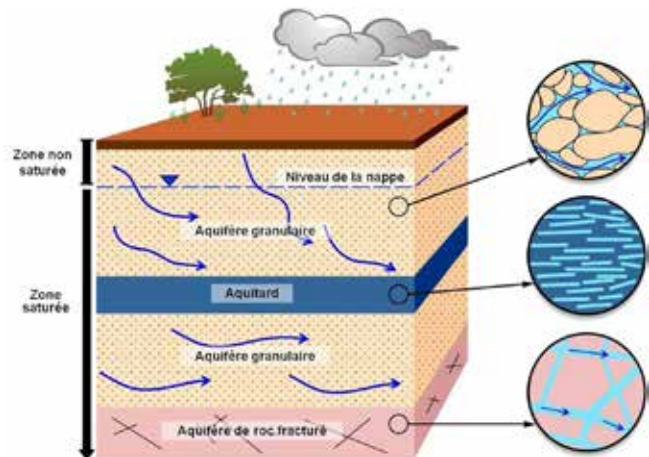
- C'est le **contenu**.

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'infiltré 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 :

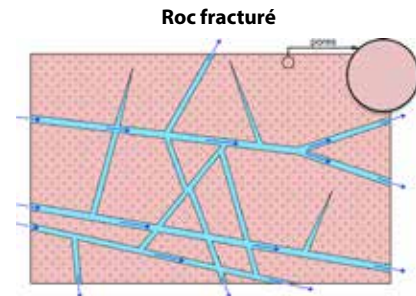
- le **ROC FRACTURÉ** qui constitue la partie supérieure de la croûte terrestre ;
- les **DÉPÔTS MEUBLES** qui sont l'ensemble des sédiments qui proviennent de l'érosion du socle rocheux et qui le recouvrent.

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.



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 QUATERNAIRES ANCIENS

Sédiments déposés avant la dernière glaciation, durant et entre les épisodes glaciaires antérieurs.

- Composition variable — **aquifère** ou **aquitard**.

SÉDIMENTS GLACIAIRES (TILL)

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

- Till compact ou continu : composé de grains de toutes tailles dans une matrice fine — **aquitard**.
- Till remanié : till dont les particules fines ont été lessivées par l'action des vagues — **aquifère**.

Till



Sédiments fluvioglaciaires



SÉDIMENTS FLUVIOGLACIAIRES

Mis en place par les eaux de fonte, pendant la déglaciation. Comprend les eskers.

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

SÉDIMENTS GLACIOMARINS et LACUSTRES

Mis en place dans la mer de Champlain ou dans le Lac à Lamspilis 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, sur le littoral ou dans des deltas : composés de sable et gravier — **aquifère**.

Argiles lacustres



Sédiments littoraux



SÉDIMENTS ALLUVIAUX

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

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

Sédiments alluviaux



SÉDIMENTS ORGANIQUES

Constituent les milieux humides, surtout des tourbières.

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

Tourbe



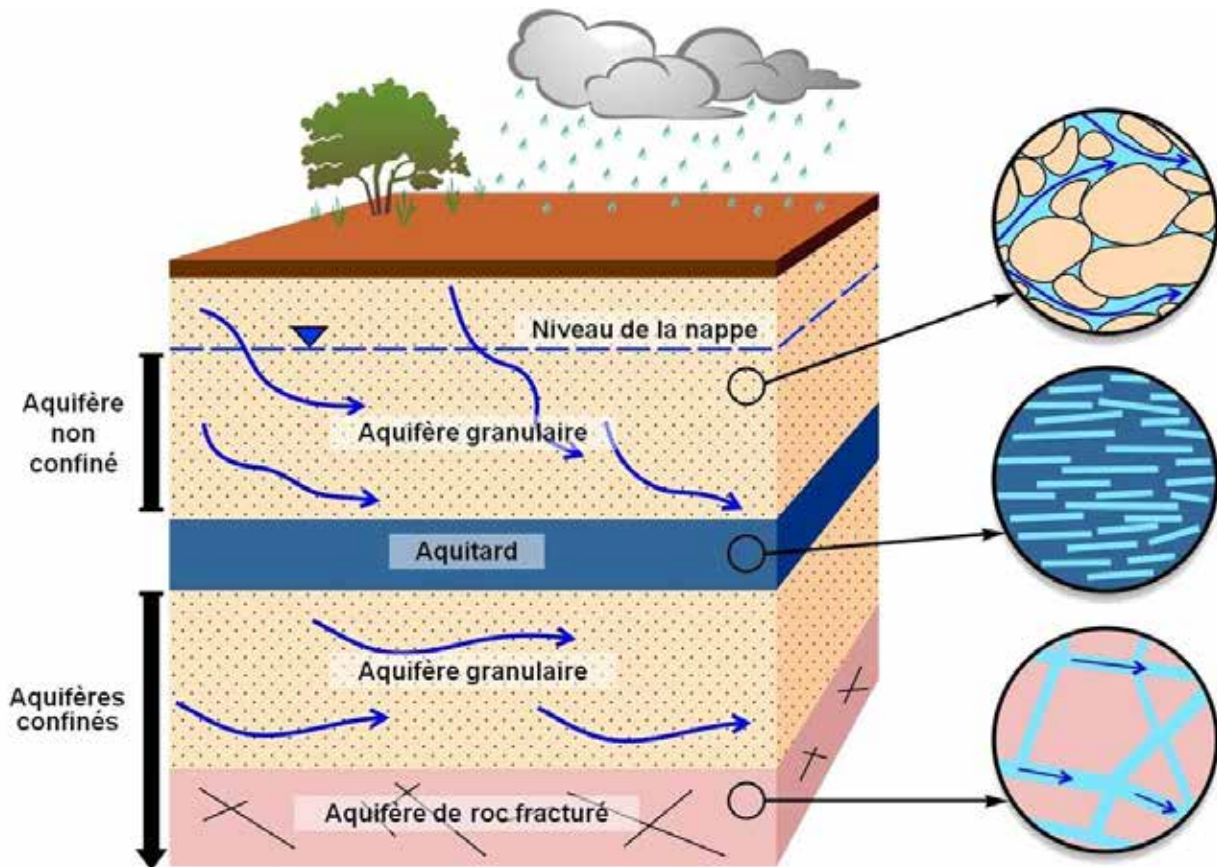


CONDITIONS DE CONFINEMENT

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**.

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.

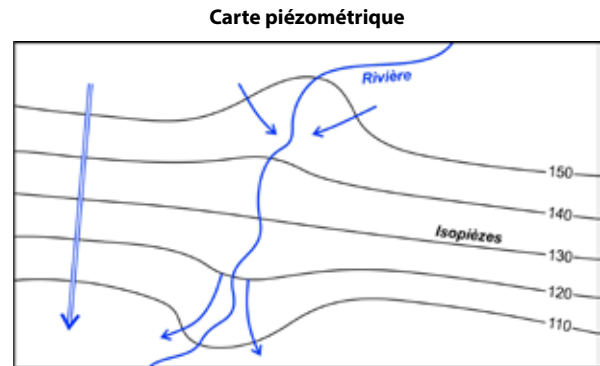




PIÉZOMÉTRIE

Le **NIVEAU PIÉZOMÉTRIQUE** (ou **charge hydraulique**) correspond à l'élévation que le niveau de l'eau souterraine mesurée dans un puits atteint pour être en équilibre avec la pression atmosphérique.

La **piézométrie** représente l'élévation du niveau de l'eau souterraine dans un aquifère, tout comme la topographie représente l'altitude du sol. Elle indique le sens de l'écoulement de l'eau souterraine dans l'aquifère, qui va des zones à piézométrie plus élevée vers celles où la piézométrie est plus basse.



RECHARGE ET RÉSURGENCE

La **RECHARGE** contribue au renouvellement de l'eau souterraine en alimentant l'aquifère par l'infiltration des précipitations depuis la surface.

Le taux de recharge dépend des conditions climatiques, de l'occupation du sol, de la topographie et des propriétés physiques du sol. Elle varie donc sur le territoire.

- Un climat sec, le confinement, un terrain pentu ou l'imperméabilisation des surfaces en milieu urbain limitent la recharge.

Une **RÉSURGENCE** correspond à l'exutoire de l'eau souterraine qui refait surface, lorsque le niveau piézométrique de la nappe dépasse le niveau de la surface du sol.

- Les résurgences sont généralement diffuses, c'est-à-dire qu'elles s'étendent sur une assez grande surface. Par exemple, les cours d'eau constituent souvent des zones de résurgence, tout comme les milieux humides.
- Elles sont parfois ponctuelles, c'est-à-dire localisées en un point précis, et constituent alors des sources.

En période d'étiage, l'essentiel de l'eau qui s'écoule dans les cours d'eau provient de l'apport des eaux souterraines. Cette eau contribue alors au débit de base des cours d'eau.

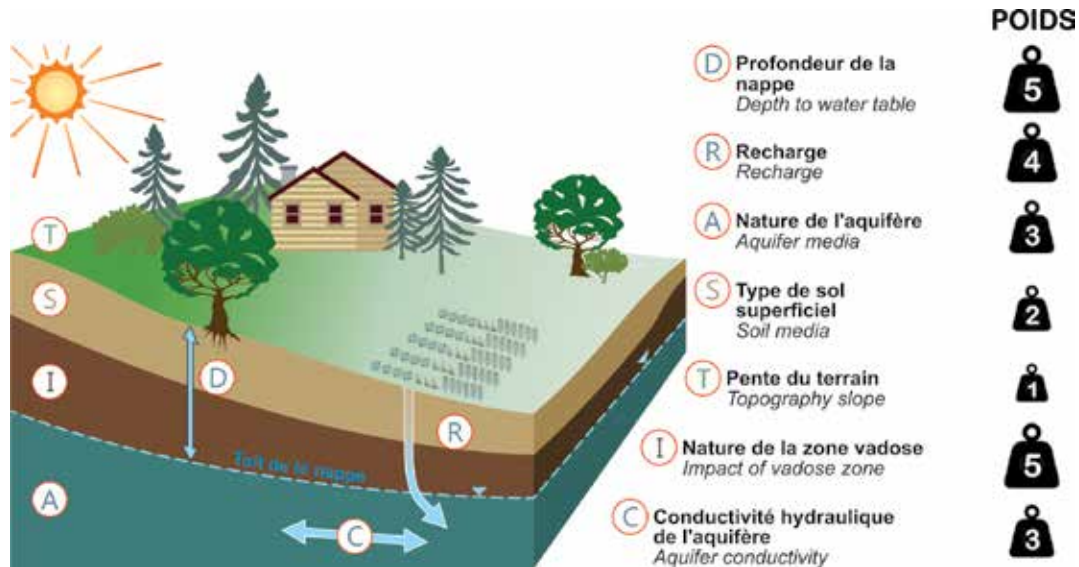


VULNÉRABILITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE

La méthode **DRASTIC** fournit une évaluation relative de la vulnérabilité intrinsèque d'un aquifère, soit sa **susceptibilité à être affecté par une contamination provenant de la surface**.

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

Le calcul de l'indice **DRASTIC** tient compte de sept paramètres physiques et hydrogéologiques :



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.

Le potentiel de contamination de chaque activité humaine dépend de plusieurs facteurs, dont la nature et la quantité de contaminants, la superficie de la zone touchée et la récurrence du rejet.



Géochimie de l'eau

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.

Trois principaux **types d'eau** sont identifiés :

- **Type Ca-HCO₃** : eau récente, peu évoluée et minéralisée, signature géochimique se rapprochant de l'eau douce de recharge ;
- **Type Na-HCO₃** : eau plus ancienne, plus évoluée et minéralisée, signature géochimique montrant une salinité plus élevée ;
- **Type Na-Cl** : eau ancienne, évoluée et minéralisée, avec influence saline de l'eau interstitielle des argiles marines de la mer de Champlain.

Critères de qualité de l'eau

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** du Gouvernement du Québec (2015a).

- Ex. : Fluorures < 1,5 mg/L, afin de prévenir la fluorose dentaire.

Les **OBJECTIFS ESTHÉTIQUES (OE)** sont des **recommandations** pour les paramètres ayant un impact sur les caractéristiques organoleptiques de l'eau (couleur, odeur, goût), mais n'ayant pas d'effet néfaste reconnu 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. Ils sont publiés par Santé Canada (2014).

- Ex. : Manganèse < 0,05 mg/L, fondé sur le goût et les taches sur la lessive et les accessoires de plomberie.
- Ex. : Sulfures < 0,05 mg/L, fondé sur le goût et l'odeur.

2

Les caractéristiques régionales de l'eau souterraine

Résumé du PACES de la zone Vaudreuil-Soulanges

Ce projet avait pour but d'établir la cartographie hydrogéologique de la Zone de gestion intégrée de l'eau de Vaudreuil-Soulanges sur une superficie totale de 814 km². Il a été réalisé par l'Université du Québec à Montréal, avec la collaboration de l'École Polytechnique de Montréal, qui ont mis en place une équipe formée de professeurs, d'un agent de recherche, d'étudiants de maîtrise et de doctorat, et de stagiaires de premier cycle. Le projet a été mené en collaboration avec les partenaires régionaux suivants : la MRC de Vaudreuil-Soulanges, l'organisme de bassin versant COBAVER-VS et l'Agence de géomatique Montérégienne (GéoMont).

Objectifs de l'étude

Les objectifs généraux du projet étaient les suivants :

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

Plus spécifiquement, le projet visait à :

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

SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

Nature des formations aquifères

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

Origine et directions d'écoulement de l'eau souterraine

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

Qualité de l'eau souterraine

L'eau souterraine de la zone d'étude est de bonne qualité de manière générale. Un nombre limité de dépassements des normes pour la qualité de l'eau potable ou pour les critères esthétiques ont été identifiés. Très peu de nitrates ont été détectés dans l'eau souterraine et les concentrations mesurées sont bien en deçà de la norme pour l'eau potable. Les concentrations mesurées dépassent toutefois le seuil d'impact anthropique dans certains cas. Les problématiques identifiées dans la région concernent les concentrations en manganèse qui dépassent le critère esthétique et pourraient être une préoccupation pour la santé des enfants.

Bilan hydrique de l'aquifère

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

Vulnérabilité de l'aquifère

Les zones où l'aquifère est le plus vulnérable sont localisées sur les principaux dépôts granulaires ou sur les reliefs couverts par des dépôts quaternaires minces ou de till sur roc. Ces zones correspondent également aux zones de recharge préférentielles pour l'aquifère fracturé : buttes de Saint-Lazare et de Hudson, mont Rigaud, crêtes de till étendues. L'ensemble des détections en nitrates est situé sur ces zones de recharge. Les zones les plus vulnérables sont généralement celles où l'activité agricole est la plus faible, tandis que l'agriculture intensive est principalement localisée dans la plaine argileuse, zone où l'aquifère est peu vulnérable.

Utilisation de l'eau

Sur la zone d'étude, 54 % de l'eau consommée est de l'eau souterraine, ce qui correspond à un total de 11 194 395 m³/an. Les municipalités de Saint-Lazare, Vaudreuil-Dorion, Rigaud et Hudson utilisent 65 % de toute l'eau souterraine prélevée. Les municipalités de Saint-Lazare, Rigaud et Hudson s'alimentent exclusivement à partir d'eau souterraine, tandis que la municipalité de Vaudreuil-Dorion dispose d'une alimentation mixte où 37 % de la population serait alimentée par le réseau de surface. La consommation d'eau par type d'utilisation pour l'ensemble de la zone d'étude se répartit de la manière suivante : 56% pour l'utilisation résidentielle, 33% pour les utilisations industrielles commerciales et institutionnelles (ICI - incluant les pertes dans le réseau de distribution) et 11% pour l'utilisation agricole.

LIMITES GÉNÉRALES DE L'ÉTUDE

Les cartes réalisées dans le cadre du PACES de la zone Vaudreuil-Soulanges sont représentatives des conditions régionales à l'échelle 1/70 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional qui en découle 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, ces cartes ne peuvent remplacer les études requises pour définir les conditions réelles à l'échelle locale et n'offrent aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'intégralité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attache ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adaptation à une fin particulière de toute oeuvre dérivée des cartes produites dans ce projet et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles oeuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de ces cartes, des conditions présentées par les cartes ou des données 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 MDDELCC 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).

Topographie du roc

Définition

La topographie du roc représente l'élévation de la surface du roc qui est souvent enfoui sous les **DÉPÔTS MEUBLES**. Elle sert à identifier les dépressions (creux) importantes du roc où peuvent s'accumuler une grande quantité de dépôts meubles qui peuvent constituer un **AQUIFÈRE** s'ils sont grossiers (sables et graviers) et que leur épaisseur est suffisamment importante. Cependant, si les dépôts meubles sont fins (argile et silt) et donc peu perméables et suffisamment épais, ils formeront plutôt un **AQUITARD**.



AQUIFÈRE,
AQUITARD page 12,
DÉPÔTS MEUBLES,
page 14

Méthode utilisée

Un total de 3 250 points ont été utilisés comme source d'information concernant l'élévation du roc. Ces points proviennent principalement de données de forages, d'affleurements du roc et de relevés sismiques. À l'emplacement de chaque forage, l'élévation du roc a été calculée en soustrayant la valeur du modèle altimétrique numérique à celle de l'épaisseur des dépôts meubles traversés par le forage avant d'atteindre le roc. L'élévation du roc a été interpolée partout sur le territoire, sur des mailles de 250 m x 250 m.

Interprétation pour la zone Vaudreuil-Soulanges

Le roc suit la même tendance que la topographie de surface pour les principaux reliefs constitués par le mont Rigaud (élévation 220 m), par une remontée du roc sur les extrémités nord et est de la butte de Saint-Lazare, et par des crêtes topographiques orientées nord-est/sud-ouest vers la ville de Sainte-Justine-de-Newton (élévation 105 m). Pour le restant de la région, incluant les buttes de Saint-Lazare et de Hudson et l'ensemble de la plaine argileuse, la topographie du roc est masquée par une épaisseur importante des dépôts quaternaires qui a comblé les vallées existantes. Une dépression du roc de près de 30 km de long est présente dans la plaine centrale depuis le contrebas de Saint-Justine-de-Newton vers Saint-Clet puis Saint-Lazare, et une autre longe la rivière des Outaouais depuis le sud-est de Pointe-Fortune vers Hudson. Celles-ci comportent des segments dont l'élévation se maintient sous le niveau de la mer, marquant sans doute l'emplacement de paléo-chenaux du fleuve Saint-Laurent.



F La topographie du roc est plus adoucie que la topographie de surface.

Vrai Faux

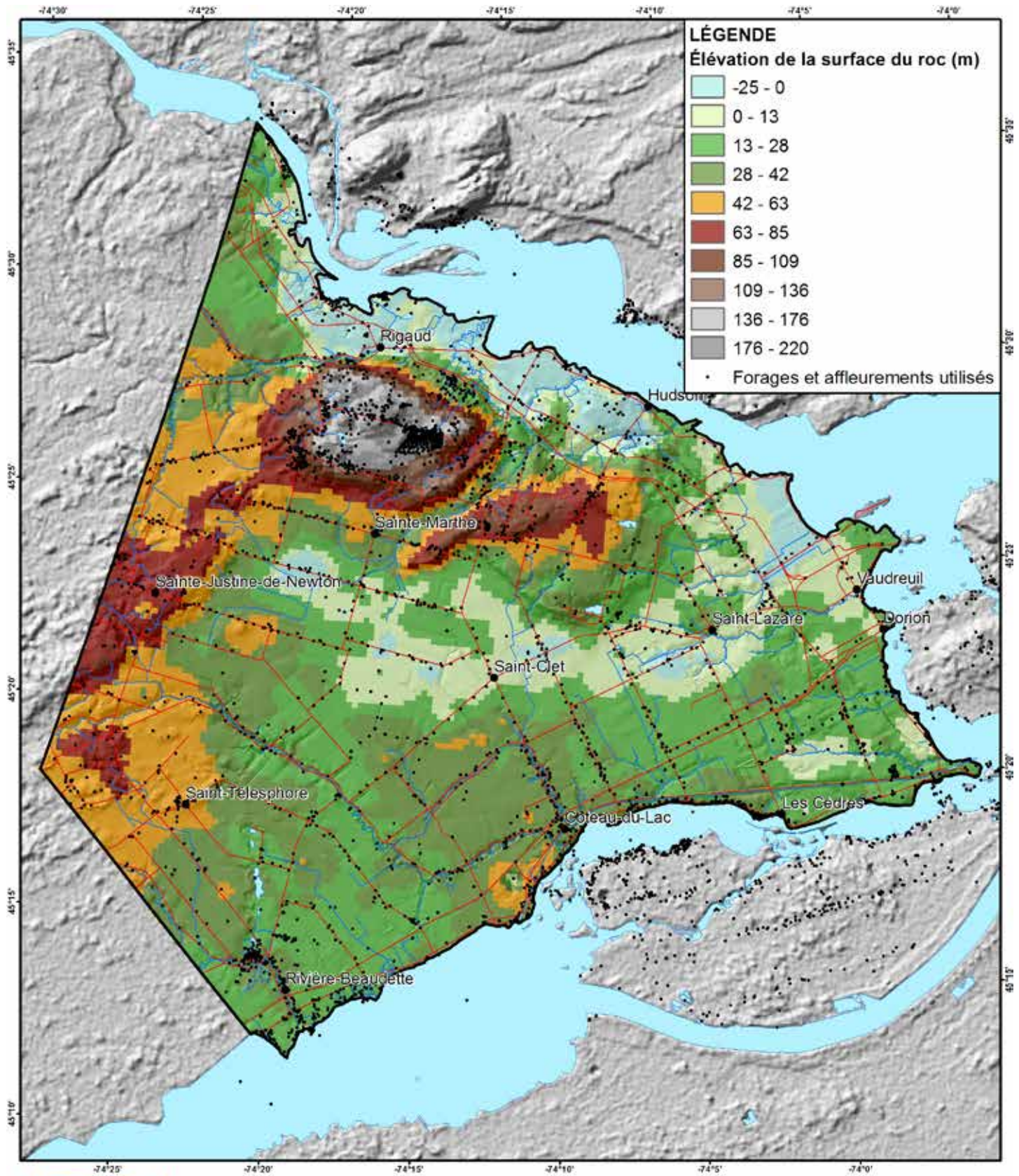
F Pour les principaux reliefs (ex. : mont Rigaud), la topographie du roc suit les mêmes tendances que la topographie de surface.

Vrai Faux

M L'élévation du roc est plus faible à l'emplacement de Saint-Clet qu'à l'emplacement de Coteau-du-Lac, malgré le fait que ce dernier soit en bordure du St-Laurent et donc plus bas en altitude.

Vrai Faux

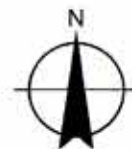
M Où est-on susceptible de retrouver les épaisseurs de dépôts meubles les plus importantes selon la topographie du roc?



Topographie du roc
Zone Vaudreuil-Soulanges

0 2 4 6 8 10 Km

1 / 225 000



Épaisseur des dépôts meubles

Définition

La connaissance sur l'épaisseur et la texture des sédiments est nécessaire pour localiser les **AQUIFÈRES** de **DÉPÔTS MEUBLES** et les **AQUITARDS**. Ces informations peuvent aussi s'avérer utiles dans d'autres domaines que l'hydrogéologie comme la géotechnique et la construction de bâtiments et d'infrastructures.



AQUIFÈRE,
AQUITARD page 12,
DÉPÔTS MEUBLES,
page 14

Méthode utilisée

La surface isopaque des dépôts meubles a été générée, sur des mailles de 250 m sur 250 m, en soustrayant la surface du modèle altimétrique numérique avec celle de la topographie du roc.

Interprétation pour la zone Vaudreuil-Soulanges

L'épaisseur des dépôts meubles sur la zone d'étude varie de 0 à 86 m, avec une moyenne de 26 m. Les épaisseurs les plus faibles (< 5 m) se retrouvent principalement sur le mont Rigaud, à l'ouest de Sainte-Justine-de-Newton et à l'est de Saint-Lazare. Des épaisseurs relativement faibles (< 10 m) se retrouvent sur les crêtes topographiques situées à l'ouest de la zone d'étude, près de la frontière avec l'Ontario, sur l'extrémité est vers Vaudreuil-Dorion au contrebas de la terrasse d'érosion des argiles de la mer de Champlain, ainsi qu'à l'est de Coteau-du-Lac où il y a une remontée progressive du roc. Sur le reste de la zone d'étude, l'épaisseur dépasse majoritairement 15 m. Ainsi les dépôts meubles les plus épais (> 80 m) se retrouvent à l'emplacement d'une dépression particulièrement profonde du roc comblée de sédiments entre Sainte-Justine-de-Newton et Sainte-Marthe, ainsi qu'à l'emplacement de la butte de Hudson.



F On retrouve les dépôts meubles les plus épais près de Saint-Télesphore.

Vrai Faux

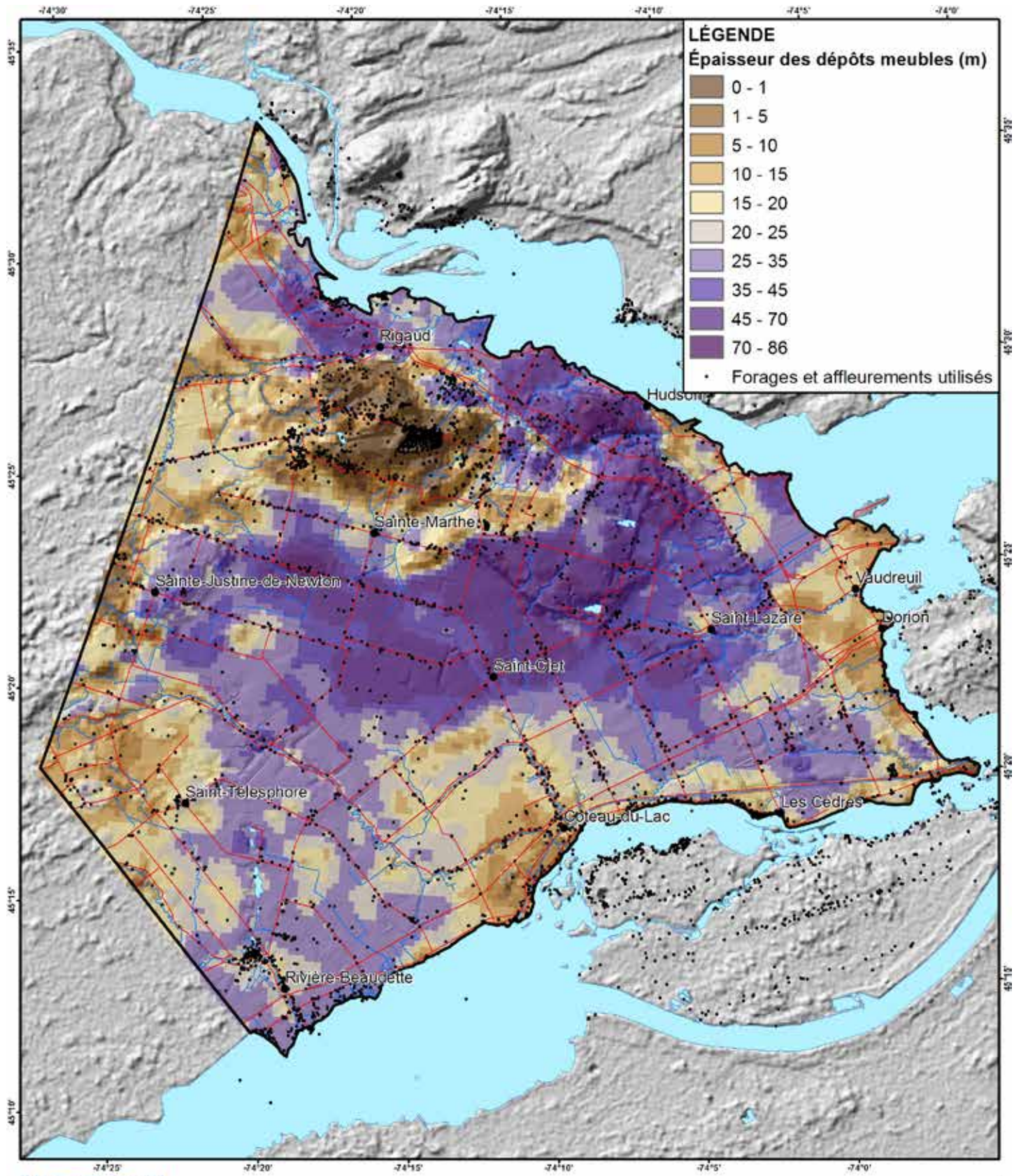
F Les dépôts meubles sont quasi inexistantes sur le mont Rigaud.

Vrai Faux

M La fiabilité de l'estimation de l'épaisseur des dépôts meubles est similaire sur l'ensemble du territoire.

Vrai Faux

M Est-ce que la carte de l'épaisseur des dépôts meubles permet de localiser les milieux aquifères de dépôts meubles (expliquez votre raisonnement)?



Épaisseur des dépôts meubles
Zone Vaudreuil-Soulanges

0 2 4 6 8 10 Km

1 / 225 000



Contextes hydrogéologiques

Définition

Les contextes hydrogéologiques sont définis sur la base des séquences d'empilement vertical des **DÉPÔTS MEUBLES** recouvrant le **ROC FRACTURÉ**. Ces séquences hydrostratigraphiques exercent une influence sur les conditions d'écoulement et la qualité de l'eau souterraine, et peuvent fournir des informations d'intérêt pour l'exploitation et la gestion des ressources en eau souterraine.



**DÉPÔTS MEUBLES,
ROC FRACTURÉ**
page 14

Méthode utilisée

L'agencement stratigraphique des unités quaternaires avec la profondeur est connu à partir des forages. La compilation, l'analyse et le traitement de ces informations géologiques permettent de produire un modèle en trois dimensions des unités quaternaires. La représentation des contextes hydrogéologiques est toutefois faite sur une carte en deux dimensions, en regroupant les successions d'unités quaternaires typiquement rencontrées. Dix (10) séquences hydrostratigraphiques typiques ont été identifiées sur la zone à l'étude.

Interprétation pour la zone Vaudreuil-Soulanges

Les zones où le roc affleure (0,3 % de la superficie) et les zones de till mince (1 % de la superficie) se retrouvent essentiellement au sommet du mont Rigaud. Les zones de till en couverture continue sur roc (11 % de la superficie) se trouvent sur les flancs du mont Rigaud, sur les crêtes topographiques frontalières avec l'Ontario à l'ouest, ainsi qu'au nord-ouest et au sud-ouest de Coteau-du-Lac. Les dépôts granulaires (1 % de la superficie) affleurent par endroits le long du complexe fluvioglaciaire qui longe la rivière des Outaouais entre Pointe-Fortune et Hudson, au sommet de la crête de Sainte-Justine-de-Newton, ainsi qu'à l'esker de Saint-Télesphore/Rivière-Beaudette. Du fait de leur origine fluvioglaciaire, ces dépôts reposent généralement sur le roc et leur épaisseur est supérieure à 2 m. Les complexes fluvioglaciaires de Saint-Lazare et de Hudson couvrent 6 % de la superficie de la zone d'étude et sont localisés à l'emplacement des buttes correspondantes. Les zones de sables minces (épaisseur généralement < 1 m) sur till (4 % de la superficie) proviennent généralement de zones littorales de la mer de Champlain situées sur les hauts topographiques de la zone d'étude. Ce contexte se trouve sur les flancs du mont Rigaud, sur l'extrémité nord-ouest de la butte de Saint-Lazare et sur la crête de Sainte-Justine-de-Newton. Pour les élévations inférieures à 75 m, les dépôts épais d'argiles marines sont majoritaires en plaine. Les argiles déposées sur le till affleurent sur 64 % de la zone d'étude. À certains endroits, ce contexte hydrogéologique est couvert par de minces dépôts sableux littoraux (13 % de la superficie) de l'épisode du lac à Lampsilis. Sous-jacents à ces derniers contextes hydrogéologiques, les sables captifs sous l'argile comblant les vallées enfouies sont présents pour 10 % de la superficie. L'étendue de l'esker de Saint-Télesphore/Rivière-Beaudette, partie enfouie incluse, est estimée à 12,2 km², soit 1 % du territoire.



F Les dépôts argileux sont rencontrés sous l'élévation de 75 m et majoritairement concentrés en zone de plaine.

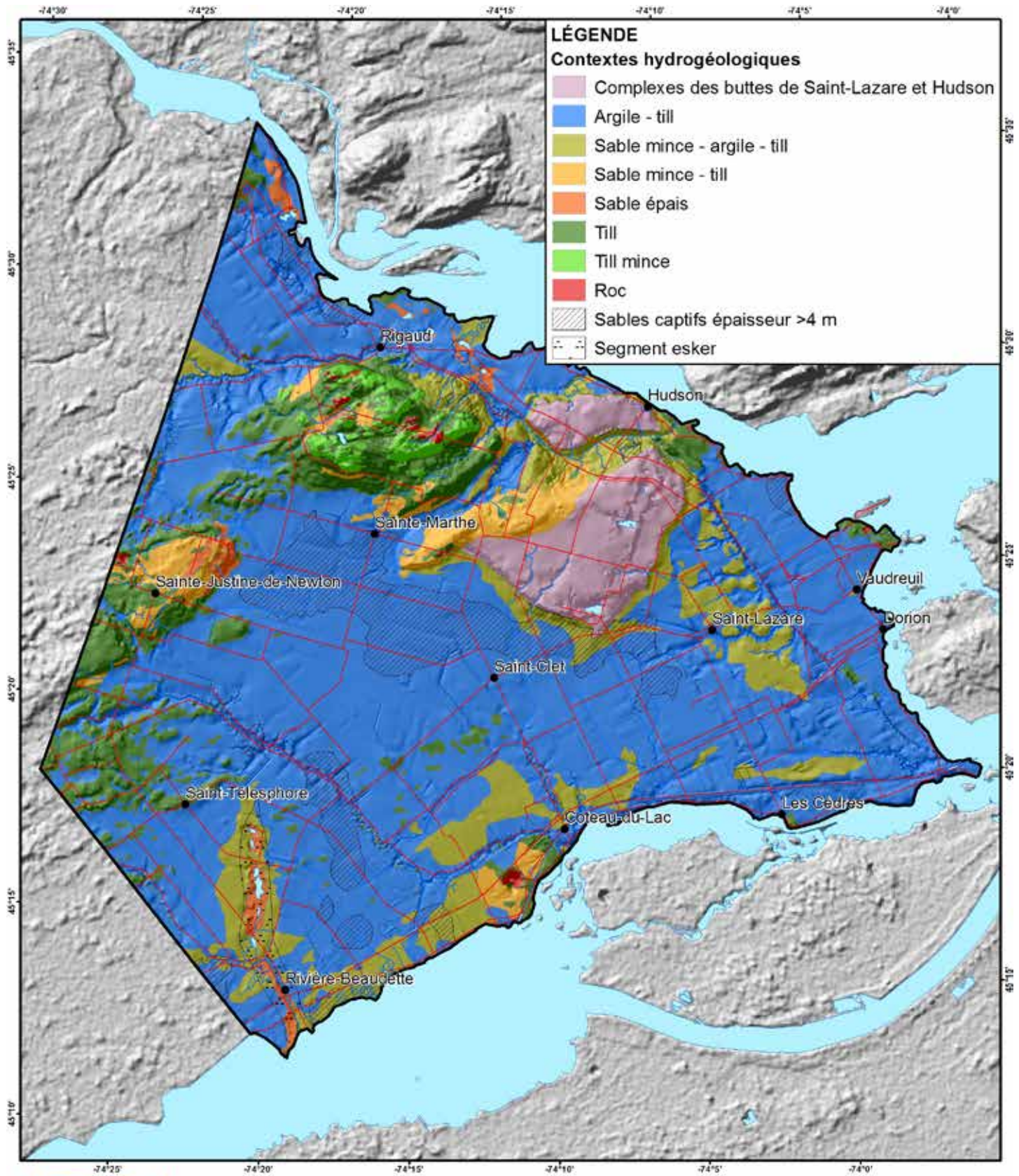
Vrai Faux

M On retrouve des aquifère de dépôts meubles dans la portion est du territoire situé entre Saint-Lazare, Vaudreuil et Les Cèdres.

Vrai Faux

M Quels sont les dépôts meubles suffisamment perméables pour pouvoir constituer des aquifères selon la légende de la carte des contextes hydrogéologiques?

D Quelles sont les séquences d'empilement des dépôts meubles les plus complexes et où les retrouve-t-on?



Contextes hydrogéologiques
Zone Vaudreuil-Soulanges

0 2 4 6 8 10 Km

1 / 225 000



Conditions de confinement

Définition

Les conditions de confinement d'un aquifère sont liées 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 ou des unités géologiques déterminent le niveau de confinement des aquifères, qui va de non confiné (**NAPPE LIBRE**), à semi-confiné (**NAPPE SEMI-CAPTIVE**) et jusqu'à confiné (**NAPPE CAPTIVE**). 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.



**NAPPE LIBRE,
NAPPE CAPTIVE,
NAPPE SEMI-
CAPTIVE** page 15

Méthode utilisée

Les zones de confinement ont été déterminées suite à l'interpolation de l'épaisseur des différentes unités quaternaires imperméables. Les conditions de confinement de l'écoulement souterrain dans le roc ont été classées en fonction de trois contextes hydrogéologiques distincts :

- **Nappe captive** : roc recouvert par une couche d'argile et/ou silt d'épaisseur supérieure à 3 m;
- **Nappe semi-captive** : roc recouvert par une couche de till compact de 3 à 5 m d'épaisseur ou par une couche argileuse de 1 à 3 m d'épaisseur;
- **Nappe libre** : roc affleurant en surface ou recouvert par une couche de till d'épaisseur inférieure à 3 m ou d'une couche d'argile inférieure à 1 m.

Interprétation pour la zone Vaudreuil-Soulanges

Les zones d'aquifère de roc fracturé à nappe libre représentent 9 % de la superficie étudiée. Ces zones libres sont situées aux endroits où le roc affleure, sur les zones de till mince (i.e. sommet du mont Rigaud) et aux zones de dépôts sableux épais (e.g. esker de Saint-Télesphore, buttes de Saint-Lazare et de Hudson).

Les zones de nappe semi-captive représentent 15 % de la superficie étudiée et sont constituées par des zones de till en couverture continue et suffisamment épaisse pour limiter la recharge sans l'empêcher totalement (i.e. crêtes de till autour de Sainte-Justine-de-Newton).

Les zones de nappe captive représentent 76 % de la superficie étudiée et correspondent à la plaine argileuse, dès que l'épaisseur des dépôts fins dépasse 3 m et empêche l'infiltration de l'eau vers l'aquifère au roc.



F La carte de l'Indice de confinement n'indique pas les conditions de confinement des aquifères granulaires.

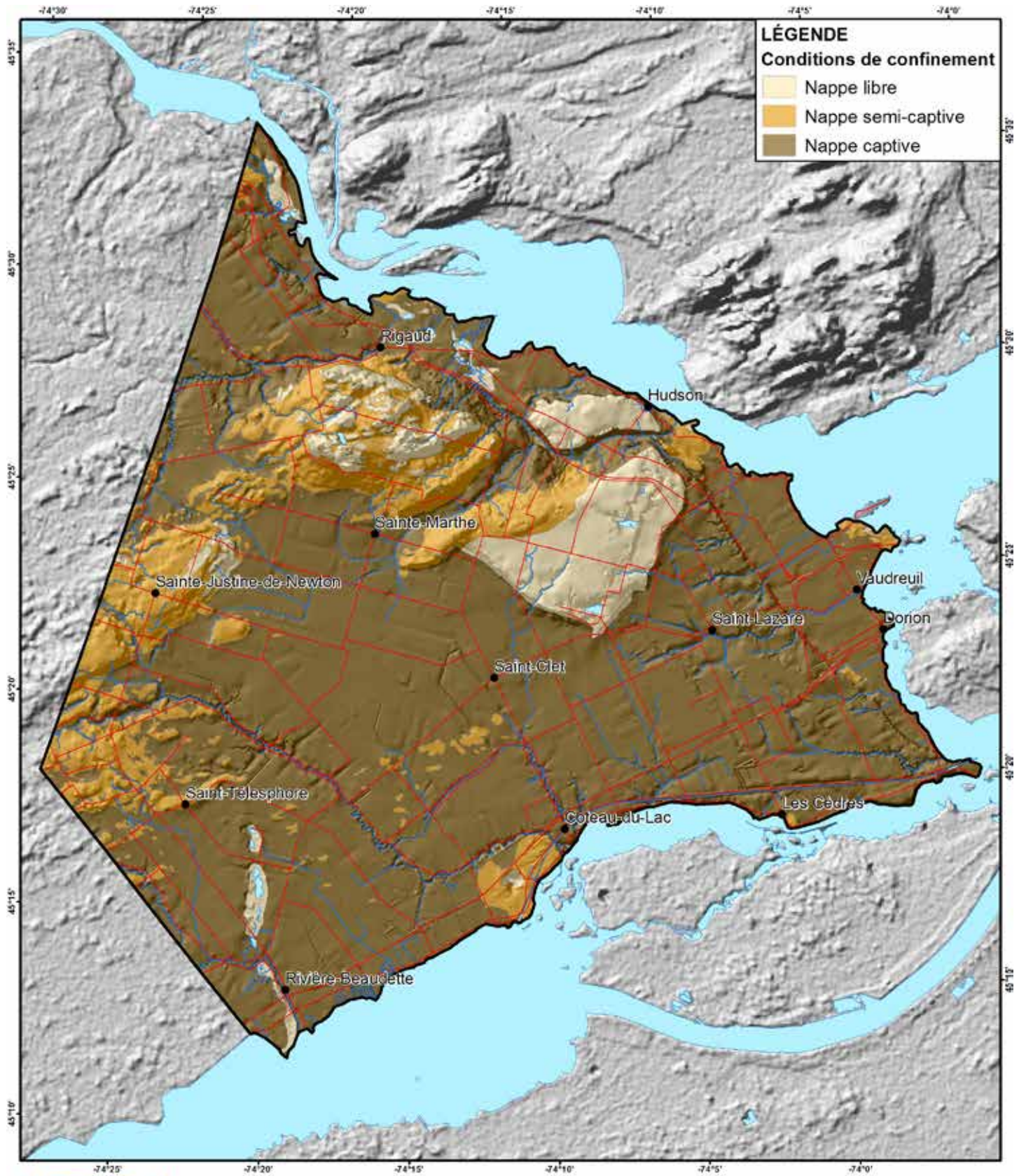
Vrai Faux

F Sur les flancs du mont Rigaud, la couche d'argile est responsable des conditions de nappe semi-captive.

Vrai Faux

F Pourquoi retrouve-t-on des zones à nappe libre entre Saint-Télesphore et Rivière-Beaudette?

M Lorsqu'il y a présence d'argile, les conditions de confinement sont-elles nécessairement à nappe captive?



LÉGENDE
Conditions de confinement

- Nappe libre
- Nappe semi-captive
- Nappe captive



Indice de confinement
Zone Vaudreuil-Soulanges



1 / 225 000



Piézométrie

Définition

Le **NIVEAU PIÉZOMÉTRIQUE** correspond à l'élévation du niveau d'eau mesuré dans un puits. Si l'aquifère est à nappe libre, ce niveau correspond également à l'élévation de la **NAPPE** dans l'aquifère. Si l'aquifère est à nappe captive, le niveau d'eau dans le puits se trouve au-dessus du toit de l'aquifère, puisque celui-ci est sous pression. La carte piézométrique représente l'élévation de la nappe dans un aquifère à nappe libre et la pression dans un aquifère à nappe captive. La **PIÉZOMÉTRIE** indique le sens de l'écoulement de l'eau souterraine dans l'aquifère, qui va des zones à piézométrie plus élevée vers celles où la piézométrie est plus basse. On obtient ainsi une vue d'ensemble de la dynamique de l'écoulement de l'eau souterraine dans l'aquifère.



NAPPE page 12,
PIÉZOMÉTRIE,
NIVEAU
PIÉZOMÉTRIQUE
page 16,

Méthode utilisée

Les données piézométriques au roc proviennent de 1991 niveaux mesurés dans les puits forés dans le cadre de ce projet, des puits qui ont été échantillonnés pour la géochimie et des niveaux piézométriques provenant de rapports de consultants ainsi que du Système d'information hydrogéologique (SIH) du MDDELCC. Les niveaux piézométriques ponctuels ont été interpolés pour obtenir la surface piézométrique sur des mailles de 10 m x 10 m.

Interprétation pour la zone Vaudreuil-Soulanges

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



F L'eau souterraine s'écoule régionalement des zones de relief vers le fleuve Saint-Laurent et la rivière des Outaouais.

Vrai Faux

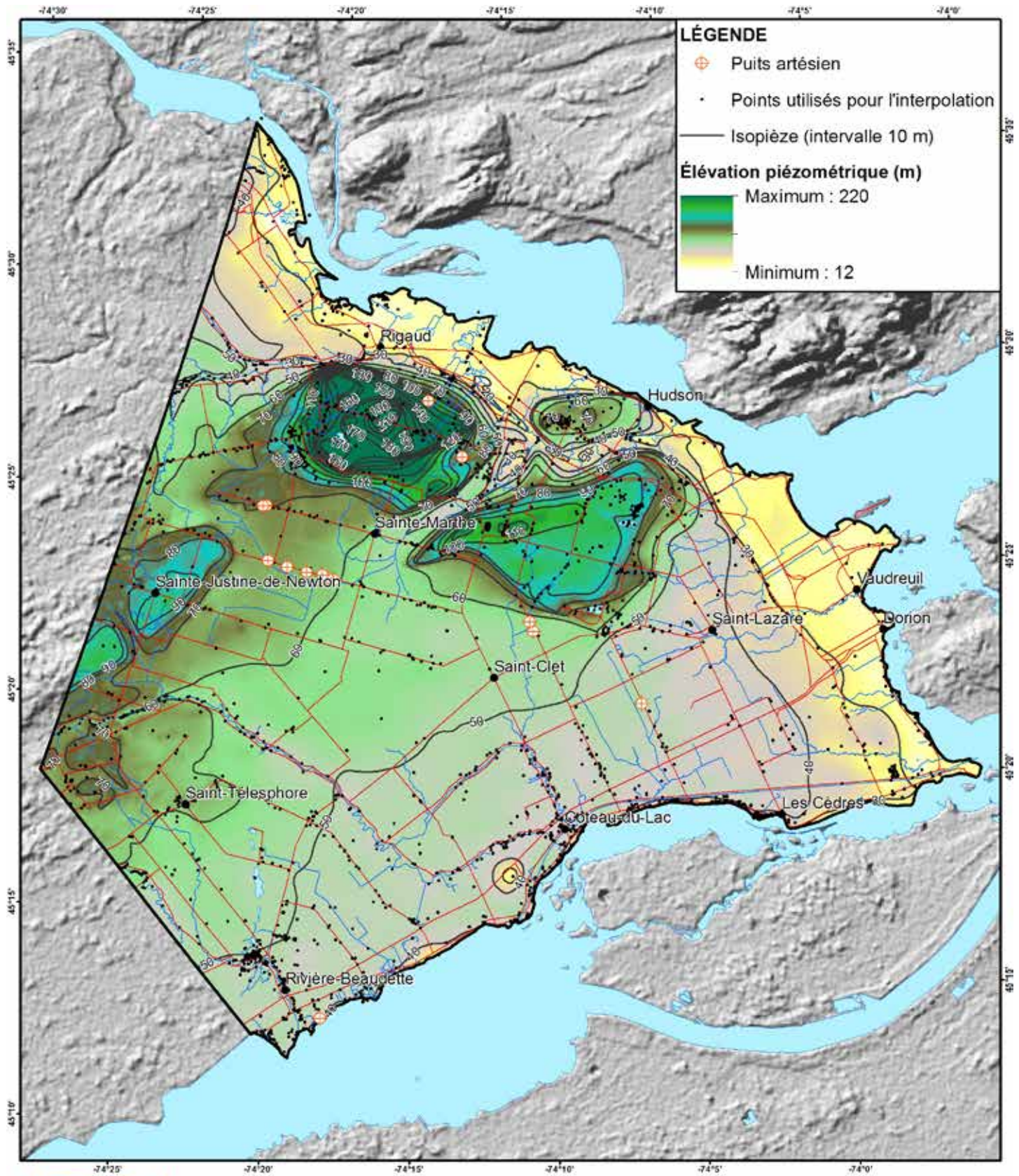
F Sainte-Justine-de-Newton reçoit son eau souterraine majoritairement depuis Sainte-Marthe.

Vrai Faux

F L'estimation du niveau piézométrique est plus fiable le long des routes.

Vrai Faux

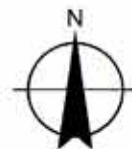
M Quel phénomène observe-t-on lorsque le niveau piézométrique est supérieur au niveau du sol?



Piezométrie régionale
Zone Vaudreuil-Soulanges

0 2 4 6 8 10 Km

1 / 225 000



Recharge et résurgence

Définition

La **RECHARGE** correspond à la quantité d'eau qui alimente l'aquifère depuis l'infiltration en surface. 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. Une **RÉSURGENCE** correspond à l'exutoire de l'eau souterraine qui refait surface, soit sous forme de source, soit dans les cours d'eau ou les milieux humides. Les résurgences peuvent se produire lorsque le niveau (ou la pression) de la nappe d'un aquifère dépasse le niveau de la surface du sol.



**RECHARGE,
RÉSURGENCE**
page 16

Méthode utilisée

La recharge de l'aquifère au roc a été estimée sur des mailles de 250 x 250 m à l'aide du modèle d'infiltration HydroBudget qui a permis de réaliser des bilans hydriques journaliers pour une période de 20 ans (1989-2009). Les zones de recharge supérieures à 200 mm/an ont été identifiées comme zones de recharge préférentielle de l'aquifère au roc.

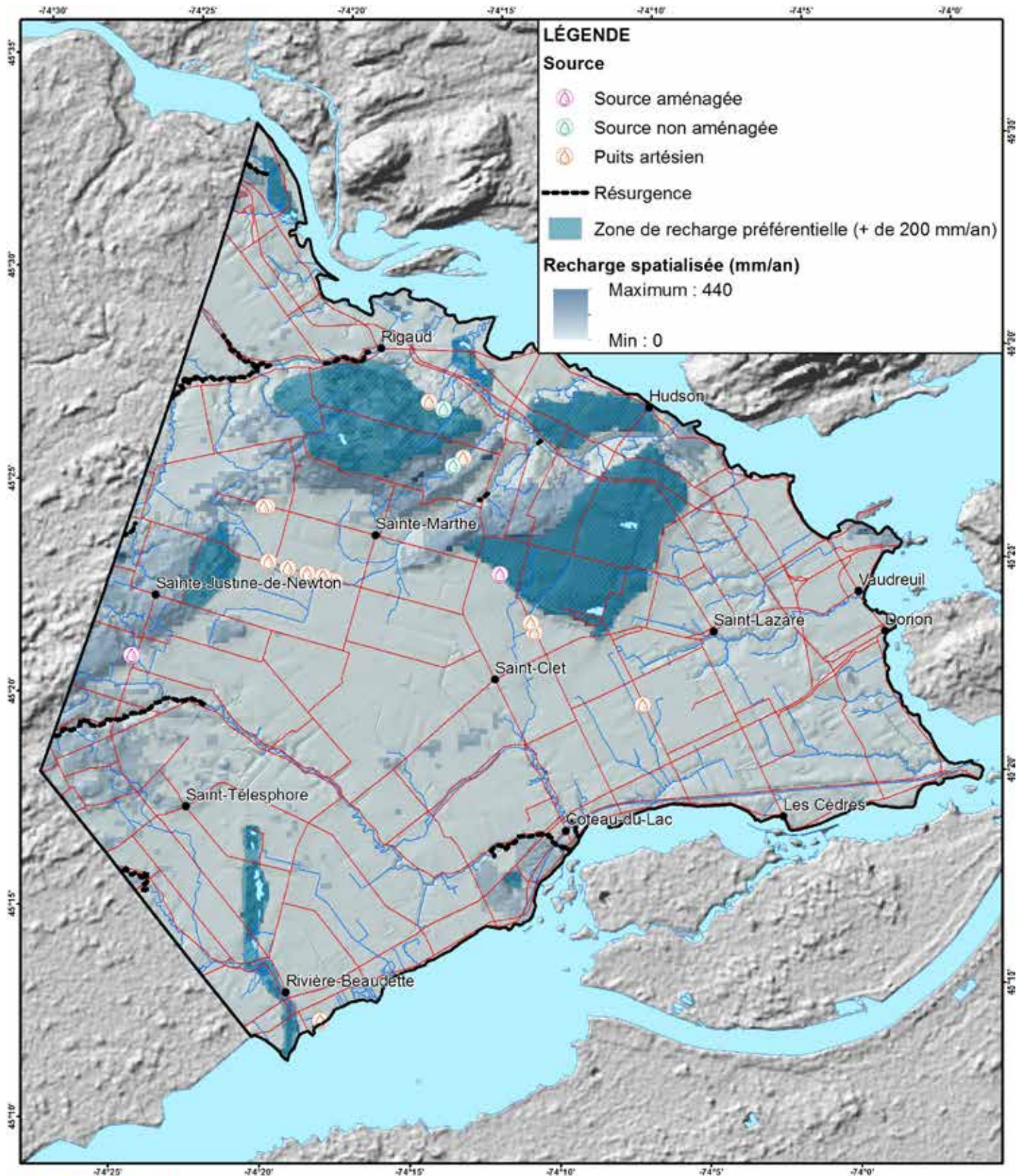
Interprétation pour la zone Vaudreuil-Soulanges

La recharge moyenne de l'aquifère fracturé pour l'ensemble de la zone d'étude est de 48 mm/an, soit 5 % des précipitations. La recharge varie entre 0 et 400 mm/an. Les zones de recharge préférentielles sont situées sur les principaux reliefs, soit sur le mont Rigaud en raison de la faible épaisseur des dépôts quaternaires. Dans ce secteur, les zones de till mince et de roc affleurant génèrent une recharge de 259 mm/an en moyenne sur une superficie de 14 km², contribuant ainsi à 9 % de la recharge régionale. Les buttes de Saint-Lazare et de Hudson, grâce au fait que leur surface est constituée par d'importants dépôts quaternaires perméables, atteignent les taux de recharge moyens les plus élevés de 356 mm/an. Totalisant une superficie de 46 km², le contexte hydrogéologique des buttes contribuerait ainsi à 41 % de la recharge régionale. Les autres dépôts fluvioglaciaires présents sur des superficies plus petites, soit le long de la rivière des Outaouais, sur la crête de Sainte-Justine-de-Newton, ainsi que pour la partie non confinée de l'esker de Saint-Télesphore, atteignent un taux de recharge moyen de 256 mm/an. Les zones de till semi-captif (superficie de 93 km²) ont une recharge appréciable (moyenne 108 mm/an) et contribuent de par leur étendue à un apport non négligeable à la recharge régionale (26 %).

Les zones de résurgence des eaux souterraines correspondent principalement aux portions de rivières qui coulent sur le roc. Les premiers 7,5 km amont de la rivière Deslisle sinuent sur un secteur couvert de till, dont les fonds de vallées sont sur le roc, ainsi que les derniers 4 km avant l'embouchure vers Coteau-du-Lac. Les deux premiers affluents en amont de la rivière Rigaud s'écoulent également sur le roc sur des longueurs respectives de 3,0 et 3,8 km. Pour la rivière à la Raquette, seulement deux zones restreintes d'affleurements du roc ont été identifiées dans le couloir de Sainte-Marthe. Il existe très peu de sources répertoriées sur la zone d'étude et aucune source importante n'a été identifiée pendant les travaux de terrain. Les municipalités de Saint-Clet et de Justine-de-Newton exploitent des sources aménagées. D'autres résurgences sont mises en évidence sur une série de petits lacs présents sur les flancs du Mont-Rigaud dont la surface ne gèle pas en hiver. Les secteurs au sud du Mont-Rigaud et au sud de la butte de Saint-Lazare sont identifiés comme des zones de résurgence potentielles dues à la présence de puits artésiens.



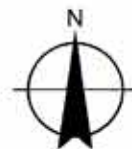
- F** Les zones de recharge préférentielles sont situées sur les principaux reliefs puisqu'on n'y retrouve pas de sédiments imperméables. Vrai Faux
- F** Les cours d'eau principaux (rivières Deslisle, Beaudette, à la Raquette et Rigaud) constituent des zones de résurgence sur toute leur longueur. Vrai Faux
- M** Qu'est-ce qui indique que les secteurs au sud du Mont-Rigaud et au sud de la butte de Saint-Lazare seraient des zones de résurgence potentielles?
- M** Pourquoi est-ce important de protéger en priorité les zones où la recharge de l'eau souterraine est plus élevée?



**Zones de recharge préférentielle
et de résurgences
Zone Vaudreuil-Soulanges**

0 2 4 6 8 10 Km

1 / 225 000



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. La carte de vulnérabilité permet d'intégrer un ensemble de propriétés hydrogéologiques de l'aquifère, intégrant ainsi les connaissances de la région en un indice pouvant servir d'outil pour la prise de décision en matière d'aménagement et de gestion du territoire en vue de prévenir une éventuelle contamination de l'eau souterraine par des activités anthropiques potentiellement polluantes.



**VULNÉRABILITÉ,
DRASTIC** page 17

Méthode utilisée

La vulnérabilité a été évaluée à l'aide de la méthode **DRASTIC**, qui permet le calcul d'un indice à partir de 7 paramètres physiques et hydrogéologiques. L'indice DRASTIC peut varier de 23 à 226. Trois niveaux de vulnérabilité ont été définis dans le Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (Gouvernement du Québec, 2015b) :

- « Faible » : indice de 100 ou moins,
- « Moyen » : indice de plus de 100 et de moins de 180,
- « Élevé » : indice de 180 ou plus.

L'indice DRASTIC a été calculé en considérant le premier aquifère rencontré. Ainsi, dans des conditions de nappe libre, la vulnérabilité de l'aquifère superficiel a été évaluée (granulaire ou roc). Dans des conditions de nappe captive ou semi-captive, la vulnérabilité a été estimée pour l'aquifère se trouvant directement sous l'aquitard (granulaire ou roc).

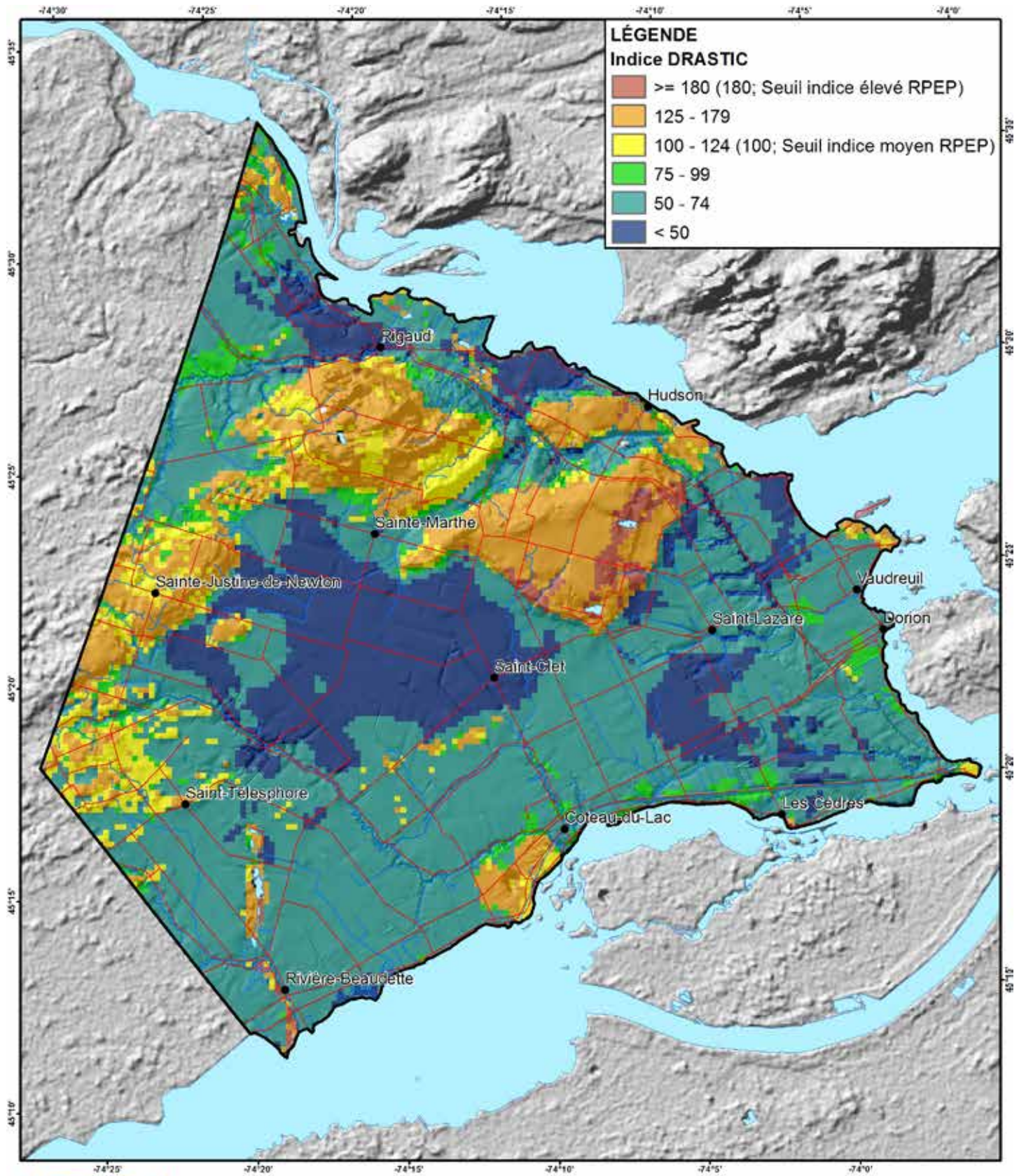
Interprétation pour la zone Vaudreuil-Soulanges

Sur 75% de la zone d'étude, la vulnérabilité est faible (indice DRASTIC < 100) pour les secteurs où l'aquifère est en conditions captives, soit dans la plaine argileuse où les dépôts sont importants tant en superficie qu'en épaisseur. La plaine est effectivement associée à la présence de dépôts argileux qui fournissent peu de points au paramètre relié à la profondeur de la nappe d'eau (profondeur élevée du toit de l'aquifère au roc en présence d'argile), au paramètre de la recharge (recharge nulle en présence d'argile), au paramètre lié aux sols (cote minimale quand l'argile se trouve à la surface du sol) et au paramètre de la zone vadose (cote minimale pour la zone non saturée considérée comme inexistante en présence d'argile).

Les principaux reliefs de la zone d'étude (mont Rigaud, complexe des buttes de Saint-Lazare et de Hudson, crêtes de Sainte-Justine-de-Newton) présentent une vulnérabilité plus élevée. La vulnérabilité y est généralement moyenne (indice DRASTIC entre 100 et 180; 23% de la zone d'étude) à élevée (indice DRASTIC > 180; 2% de la zone d'étude). Les zones les plus vulnérables sont associées à une sensibilité plus élevée pour les paramètres les plus influents de la cote DRASTIC, soit pour la profondeur de la nappe, le taux de recharge, la nature de la zone vadose et le milieu aquifère. Tous ces paramètres sont particulièrement sensibles pour les buttes de Saint-Lazare et de Hudson, car elles sont constituées par d'importants aquifères granulaires en contexte libre.



- F** On retrouve en majorité des zones à vulnérabilité « moyenne » selon le RPEP. Vrai Faux
- F** Les buttes de Saint-Lazare et Hudson sont caractérisées par une vulnérabilité relativement élevée à cause des sédiments granulaires en surface. Vrai Faux
- M** Cette carte permet de déterminer la vulnérabilité de l'aire d'alimentation d'un puits. Vrai Faux
- D** Parmi les 7 paramètres physiques et hydrogéologiques utilisés pour le calcul de l'indice DRASTIC, lesquels influencent le plus le résultat de DRASTIC dans la plaine argileuse?

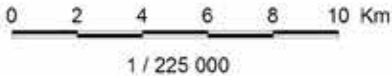


LÉGENDE
Indice DRASTIC

■	>= 180 (180; Seuil indice élevé RPEP)
■	125 - 179
■	100 - 124 (100; Seuil indice moyen RPEP)
■	75 - 99
■	50 - 74
■	< 50



Indice DRASTIC des aquifères
Zone Vaudreuil-Soulanges



Qualité de l'eau – Critères pour l'eau potable

Définition

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.



**CONCENTRATIONS
MAXIMALES
ACCEPTABLES**

page 18

Méthode utilisée

Sur la zone d'étude, 48 échantillons d'eau souterraine ont été prélevés, soit 40 dans l'aquifère de roc fracturé et 8 dans des aquifères granulaires.

Interprétation pour la zone Vaudreuil-Soulanges

Les dépassements de CMA pour les paramètres inorganiques suivants ont été relevés sur la zone d'étude :

Paramètre	Concentration maximale acceptable (CMA)	Nombre de dépassements de la CMA	Proportion des échantillons	Norme fondée sur :
Fluor (F)	1,5 mg/L	4	8,3 %	Fluorose dentaire modérée (effet cosmétique)

Les dépassements de CMA pour les paramètres bactériologiques suivants ont été relevés sur la zone d'étude :

Paramètre	Concentration maximale acceptable (CMA)	Nombre de dépassements de la CMA	Proportion des échantillons	Norme fondée sur :
Bactéries atypiques	200 unités/100 mL	10	20,8 %	Masque le comptage des bactéries pathogènes dans l'eau
Coliformes totaux	10 unités/100 mL	5	10,4 %	Indique un système vulnérable à la contamination ou un signe de recroissance bactérienne
Entérocoques fécaux	0 unité/100 mL	7	14,5 %	Troubles gastro-intestinaux (nausées, vomissements, diarrhée)

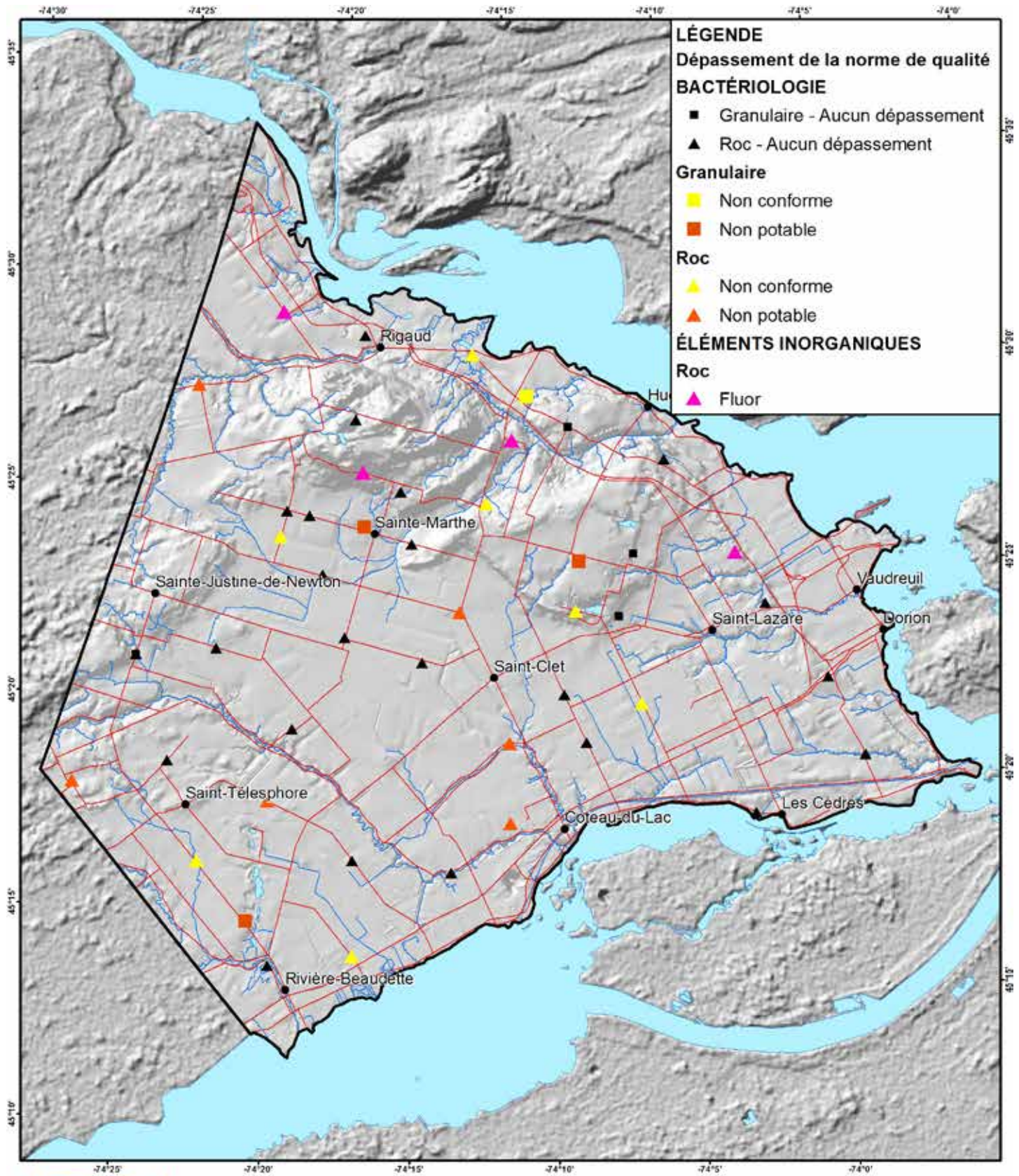
Les quatre dépassements de normes pour les paramètres inorganiques concernent uniquement le fluor provenant de puits qui captent l'aquifère de roc fracturé. L'occurrence du fluor était déjà connue pour l'aquifère fracturé dans le secteur du mont Rigaud. Les plus fortes concentrations en fluor seraient d'origine naturelle, dépendantes de la géologie du roc.

Très peu de nitrates ont été détectés dans l'eau souterraine et aucun dépassement de norme (10 mg/L N-NO₃) n'a été observé. Même si l'agriculture intensive est présente dans la plaine argileuse, l'aquifère captif sous l'argile est naturellement bien protégé par le contexte géologique. Les seules concentrations en nitrates observés dans le projet sont rencontrées dans des contextes d'aquifère libre et semi-captif (buttes de Saint-Lazare et de Hudson, mont Rigaud et crêtes de Sainte-Justine), où il n'y a pas d'agriculture intensive, mais où se trouve un développement résidentiel parfois assez dense (e.g. Saint-Lazare et Hudson).

Les 22 dépassements de normes bactériologiques se répartissent sur 16 puits, soit 33 % des puits analysés.



- F** Les dépassements en fluor seraient d'origine naturelle. Vrai Faux
- F** Aucune problématique de contamination bactériologique n'existe sur le territoire. Vrai Faux
- M** Des concentrations en azote sous forme de nitrites et nitrates (NO₂-NO₃) d'origine anthropique, associée à l'agriculture ou aux traitements des eaux usées, ont été identifiées dans quelques puits. Vrai Faux
- M** Pourquoi les dépassements en fluor sont-ils problématiques?



LÉGENDE
Dépassement de la norme de qualité
BACTÉRIOLOGIE

- Granulaire - Aucun dépassement
- ▲ Roc - Aucun dépassement

Granulaire

- Non conforme
- Non potable

Roc

- ▲ Non conforme
- ▲ Non potable

ÉLÉMENTS INORGANIQUES

Roc

- ▲ Fluor



Critères de qualité de l'eau potable
Zone Vaudreuil-Soulanges



1 / 225 000



Qualité de l'eau - Critères esthétiques

Définition

Les **OBJECTIFS ESTHÉTIQUES** (OE) sont des recommandations 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.



OBJECTIFS ESTHÉTIQUES
page 18

Méthode utilisée

Sur la zone d'étude, 48 échantillons d'eau souterraine ont été prélevés, soit 40 dans l'aquifère de roc fracturé et 8 dans des aquifères granulaires.

Interprétation pour la zone Vaudreuil-Soulanges

Les dépassements d'OE pour les paramètres physicochimiques suivants ont été relevés sur la zone d'étude :

Paramètre	Objectif esthétique (OE)	Nombre de dépassements de l'OE	Proportion des échantillons	Recommandation fondée sur :
Aluminium (Al)	≤ 0,1 mg/L	1	2,1 %	Considérations opérationnelles du traitement de l'eau
Chlore (Cl)	≤ 250 mg/L	7	14,6 %	Goût et possibilité de corrosion du réseau de distribution
Dureté totale	≤ 200 CaCO ₃ mg/L	16	34,8 %	Corrosion et entartrage
Fer (Fe)	≤ 0,3 mg/L	14	31,3 %	Goût et taches sur la lessive et les accessoires de plomberie
Manganèse (Mn)	≤ 0,05 mg/L	14	29,2 %	Goût et taches sur la lessive et les accessoires de plomberie
Matière dissoute totale	≤ 500 mg/L	26	56,5 %	Goût et entartrage
pH	entre 6,5 et 8,5	4	8,3 %	Influence sur la formation des sous-produits de la désinfection et l'efficacité du traitement
Sodium (Na)	≤ 200 mg/L	12	25,0 %	Goût
Sulfate (SO ₄)	≤ 500 mg/L	2	4,2 %	Goût
Sulfure (S)	≤ 0,05 mg/L	2	4,2 %	Goût et odeur

Dans le cas du manganèse, un lien entre des concentrations élevées de manganèse et une diminution du quotient intellectuel chez les enfants en bas âge a récemment été découvert (Bouchard et al., 2011). Ce paramètre n'est toutefois pas normé pour l'eau potable au Québec. L'occurrence du manganèse dans l'eau souterraine est vraisemblablement d'origine naturelle. Les concentrations en manganèse relevées dans l'eau souterraine sur la zone de Vaudreuil-Soulanges ne permettent pas d'associer l'occurrence particulière du manganèse pour un certain type de roc, mais par contre des conditions semi-captives, avec de l'eau souterraine légèrement évoluée constitue la condition favorable à l'obtention de fortes concentrations.

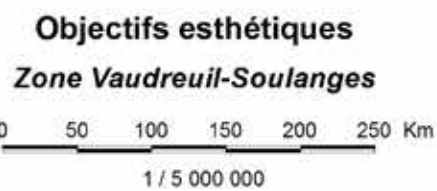
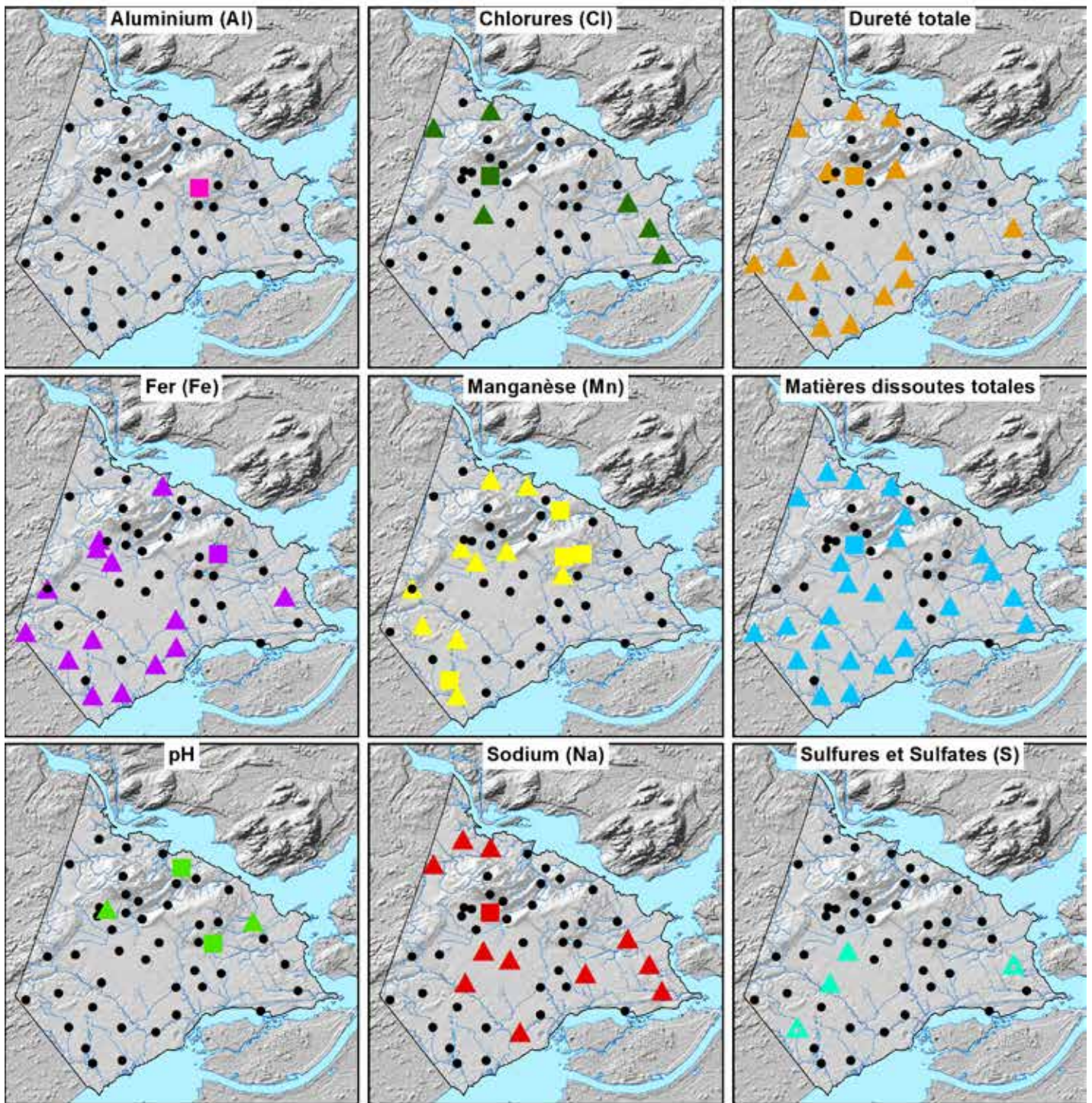
Les dépassements en sodium et en chlorures sont observés dans les aquifères captifs où l'argile marine est présente. Le nombre de dépassements pour le sodium est en revanche plus élevé que pour les chlorures, car les eaux évoluées en conditions captives s'enrichissent en sodium par échange cationique.



- F** L'eau souterraine présente rarement une odeur d'œufs pourris dans la zone d'étude. Vrai Faux
- F** Les problématiques de fer semblent affecter de manière plus fréquente les aquifères de dépôts meubles. Vrai Faux
- M** Des vestiges de l'eau salée de la mer de Champlain pourraient être responsables des dépassements en sodium, en chlorures et en matières dissoutes totales. Vrai Faux
- D** Pourquoi les dépassements en manganèse sont-ils problématiques?

LÉGENDE

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



Synthèse des contextes hydrogéologiques régionaux

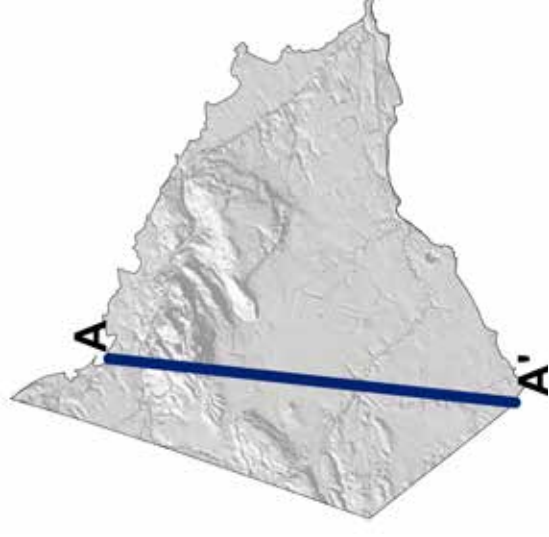
Coupe A-A' : contexte mont Rigaud, plaine argileuse et esker de Saint-Télesphore

La coupe hydrostratigraphique A-A' s'étend de la rivière des Outaouais au nord, vers le fleuve Saint-Laurent au sud. Elle permet de recouper le mont Rigaud sur un axe nord-sud, une dépression importante du roc entre Sainte-Justine-de-Newton et Sainte-Marthe, ainsi que l'esker de Saint-Télesphore/Rivière-Beaudette au sud. Au nord, on retrouve un exemple du complexe fluvioglacière qui suit la rivière des Outaouais enfouis sous l'argile. Le mont Rigaud est couvert par du till de couverture généralement mince. En plaine, les épaisseurs d'argile atteignent 30 m et couvrent des vallées enfouies dont le fond est comblé par des dépôts quaternaires anciens, dont une partie est granulaire. Vers le sud de la plaine argileuse, des remontées du roc sont mises en évidence par des moraines de till qui affleurent en surface. Enfin, le cœur de l'esker de Saint-Télesphore/Rivière-Beaudette est situé à l'extrémité sud de la coupe et présente des épaisseurs maximales de plus de 30 m de dépôts granulaires qui reposent directement sur le roc en ayant érodé les sédiments plus anciens.

Le mont Rigaud constitue une des singularités dans le paysage hydrogéologique de la zone d'étude. C'est en effet à son emplacement que l'on retrouve les gradients topographiques les plus élevés, la plupart de zones de till mince et de roc affleurant, ainsi que la présence de roche cristalline précambrienne. Sur le mont Rigaud, les gradients hydrauliques élevés induisent des zones de résurgence dans certains lacs présents sur son flanc. Les dépôts quaternaires sont majoritairement des tills et se retrouvent généralement en couverture mince sur le mont Rigaud, créant ainsi des conditions libres pour l'aquifère fracturé et des zones de recharge préférentielles avec une vulnérabilité élevée pour l'indice DRASTIC. Sur le mont Rigaud, les puits échantillonnés montrent des eaux souterraines de type recharge (Ca-HCO_3) ou de type Na-HCO_3 ayant séjourné un peu plus longtemps dans l'aquifère. Du fait de la faible transmissivité du roc cristallin, l'influence de la recharge du mont Rigaud peut être limitée d'un point de vue régional par rapport à d'autres zones préférentielles comme les buttes de Saint-Lazare et de Hudson ainsi que les zones de till étendues à l'ouest.

En contrebas du mont Rigaud, les conditions de confinement changent brusquement du contexte d'aquifère à nappe libre à un contexte strictement captif en raison de la présence de dépôts massifs d'argile marine caractérisant tout le reste de la plaine. Ces changements brusques du contexte hydrogéologique et de la topographie créent des conditions artésiennes sur la zone argileuse en aval hydraulique du mont Rigaud. On trouve ainsi des puits artésiens sur une distance de 4 km au sud du mont Rigaud, contexte probablement favorisées par la présence de grès et de sables captifs très transmissifs sous l'argile. Ces aquifères captifs productifs contribuent à étendre l'influence des zones de recharge sur les types d'eau souterraine situées en plaine. Ainsi, il est possible de rencontrer des eaux assez peu évoluées (type Na-HCO_3), mais non saumâtres (Na-Cl) en conditions strictement captives et à des distances de 3 à 5 km des zones de recharge. Au nord du mont Rigaud, des conditions artésiennes doivent exister ponctuellement à l'intérieur de la plaine argileuse, mais aucun puits artésien n'a été identifié à cet endroit pendant l'étude. Pour la zone nord, il existe également des sables captifs (d'origine fluvioglacière) sous l'argile, mais l'extension de ces dépôts granulaires serait limitée et discontinue comme elle peut l'être plus au sud. À l'inverse de la zone sud du mont Rigaud, le type d'eau rencontré ne montre pas une influence étendue des zones de recharge au nord, et les puits échantillonnés montrent des eaux captives de type Na-Cl .

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





F Les dépôts meubles sont partout présents en surface.

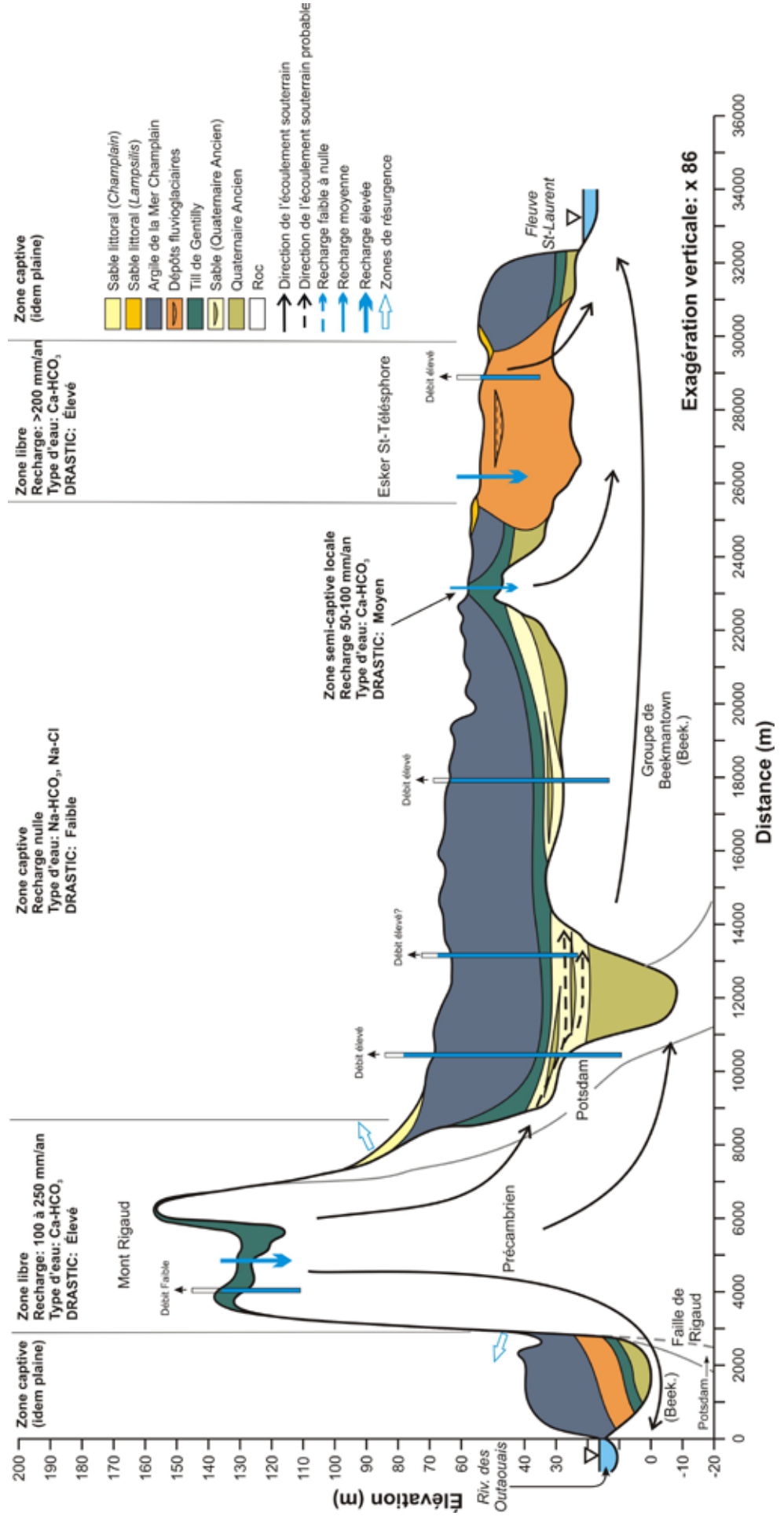
Vrai Faux

F Sur cette coupe, où retrouve-t-on les dépôts meubles les plus épais et quelle est cette épaisseur?

F Les zones à nappe libre avec recharge et vulnérabilité élevées se retrouvent exclusivement sur le mont Rigaud.

Vrai Faux

F Sur cette coupe, l'eau souterraine s'écoule d'où et vers où?



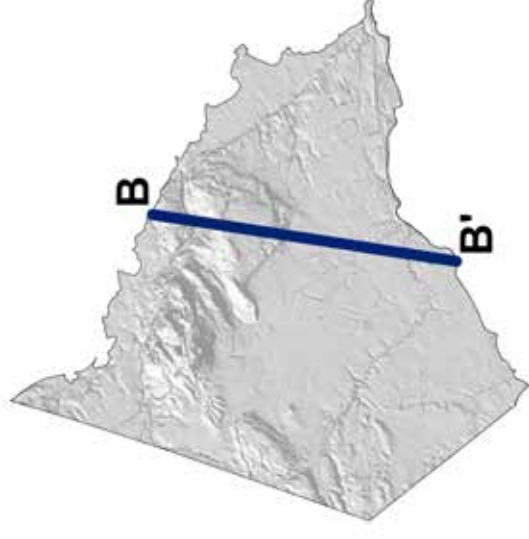
Synthèse des contextes hydrogéologiques régionaux

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

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

Deuxièmes plus hauts reliefs de la zone d'étude, les plateaux sableux de Saint-Lazare et de Hudson constituent le contexte hydrogéologique le plus influent de la zone d'étude en termes de recharge. Ces plateaux sableux reçoivent le taux de recharge moyen le plus élevé, estimé à près de 356 mm/an sur 45,7 km², participant ainsi à près de 41 % de la recharge régionale. L'hydrostratigraphie des buttes est complexe et hétérogène, mais celles-ci sont considérées comme des zones généralement libres, sur la base des données recueillies au moment de la réalisation du forage F1, par le suivi piézométrique en continu sur ce forage, et au moyen des données hydrogéochimiques dans ce secteur. Toutes ces données mettent en évidence une circulation continue de l'eau dans les dépôts jusqu'au roc, plutôt que des contextes captifs successifs avant d'atteindre le roc. Dans les sables fluvioglaciers supérieurs, l'écoulement souterrain en contexte libre se dirigerait des hauts topographiques vers les bas topographiques, induisant des zones de résurgence sur les flancs des buttes. Des écoulements locaux induits par des lentilles silteuses peuvent créer çà et là des nappes perchées, maintenant globalement un niveau piézométrique proche de la surface du sol. En raison de la présence d'une eau de type recharge (Ca-HCO₃) dans le roc sous plus de 50 m de dépôts meubles, l'aquitard de till argileux n'est probablement pas présent en couverture continue et une connexion hydraulique existe entre les sables fluvioglaciers supérieurs et ceux plus anciens en contact avec le roc. La présence de dépôts granulaires anciens pourrait ainsi favoriser la circulation de l'eau souterraine en profondeur et les échanges avec le roc. Les puits installés dans ce contexte, soit dans le roc (grès de Potsdam) ou dans les dépôts sableux, sont généralement très productifs. En raison de forts taux de recharge et d'un contexte hydrogéologique de nappe libre ou semi-captive, l'ensemble du système aquifère des buttes de Saint-Lazare et de Hudson (aquifère granulaire et fracturé) est considéré vulnérable. L'indice DRASTIC calculé pour le premier aquifère rencontré (sables fluvioglaciers récents) est généralement supérieur à 150.

Au sud de la butte de Saint-Lazare, les dépôts argileux créent brusquement des conditions de confinement. Comme pour le sud du mont Rigaud, cette baisse rapide de l'élévation crée des conditions artésiennes pour les puits situés à moins de 1 km de la base du plateau sableux, au commencement de la plaine argileuse. L'influence des zones de recharge des plateaux sableux semble également s'étendre en aval dans l'eau souterraine qui s'écoule en complexe strictement captif est peu évoluée (type Na-HCO₃). L'aquifère rocheux de la plaine argileuse, rejoint les mêmes caractéristiques que celles décrites sur la coupe A-A', soit strictement captif, ne reçoit aucune recharge et caractérisé par une vulnérabilité faible. Au sud de la plaine argileuse, une remontée progressive du roc crée des conditions semi-captives pour l'aquifère au roc, avec diminution progressive des dépôts meubles, la disparition progressive des dépôts argileux et une augmentation de la recharge. Ces zones semi-captives sont associées à une vulnérabilité moyenne (indice DRASTIC supérieur à 100).





F La surface du roc enfouie sous les sédiments est plane.

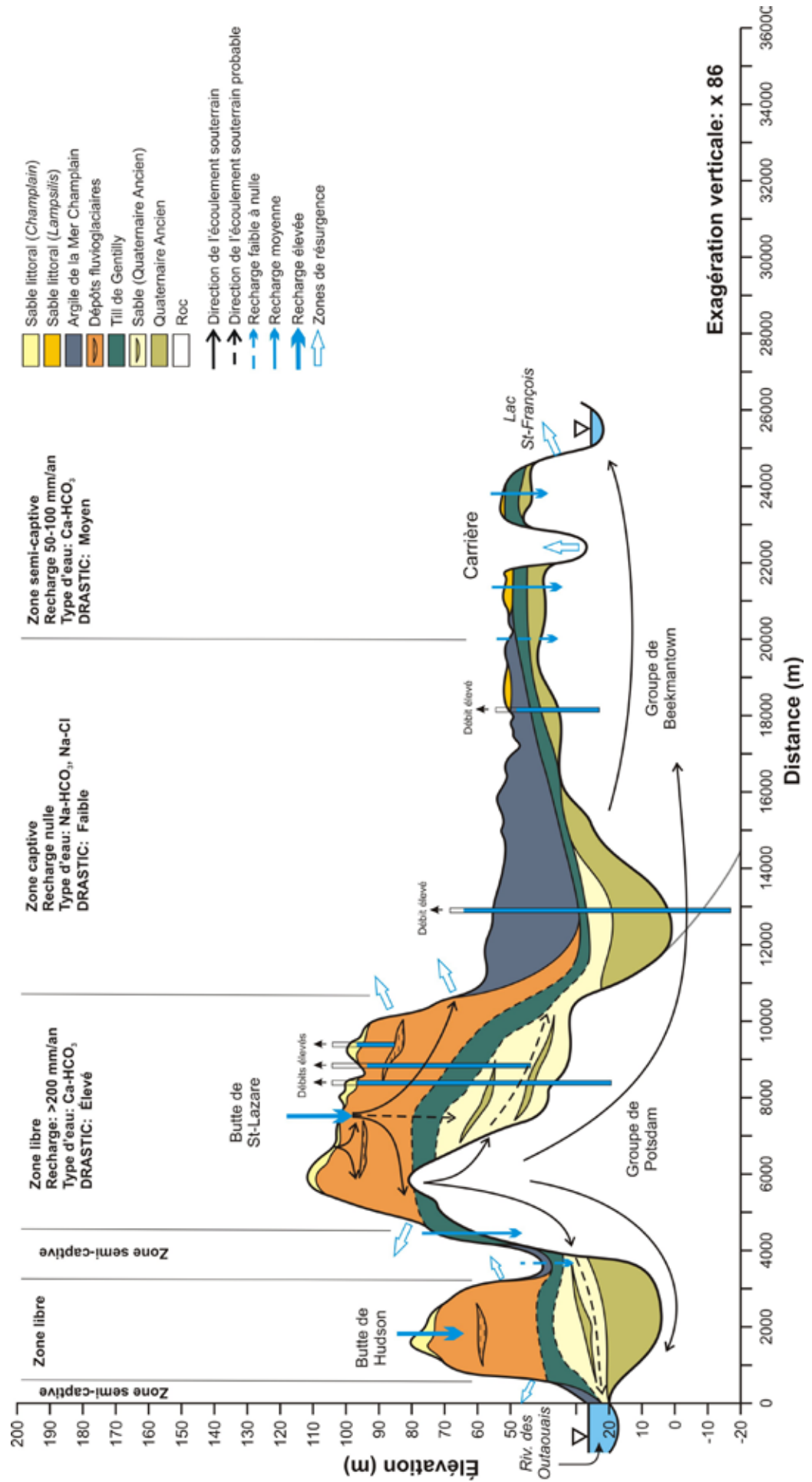
Vrai Faux

F L'eau souterraine de la plaine argileuse est parfois évoluée et minéralisée de type Na-Cl et présente de nombreux dépassements d'OE.

F L'argile se retrouve partout sous la limite de leur mise en place dans la mer de Champlain (75 m).

Vrai Faux

F Quels sont les aquifères de dépôts meubles au plus grand potentiel d'exploitation, quelle est leur épaisseur approximative et où les retrouve-t-on sur cette coupe?



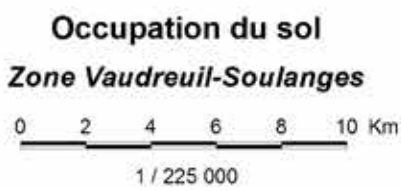
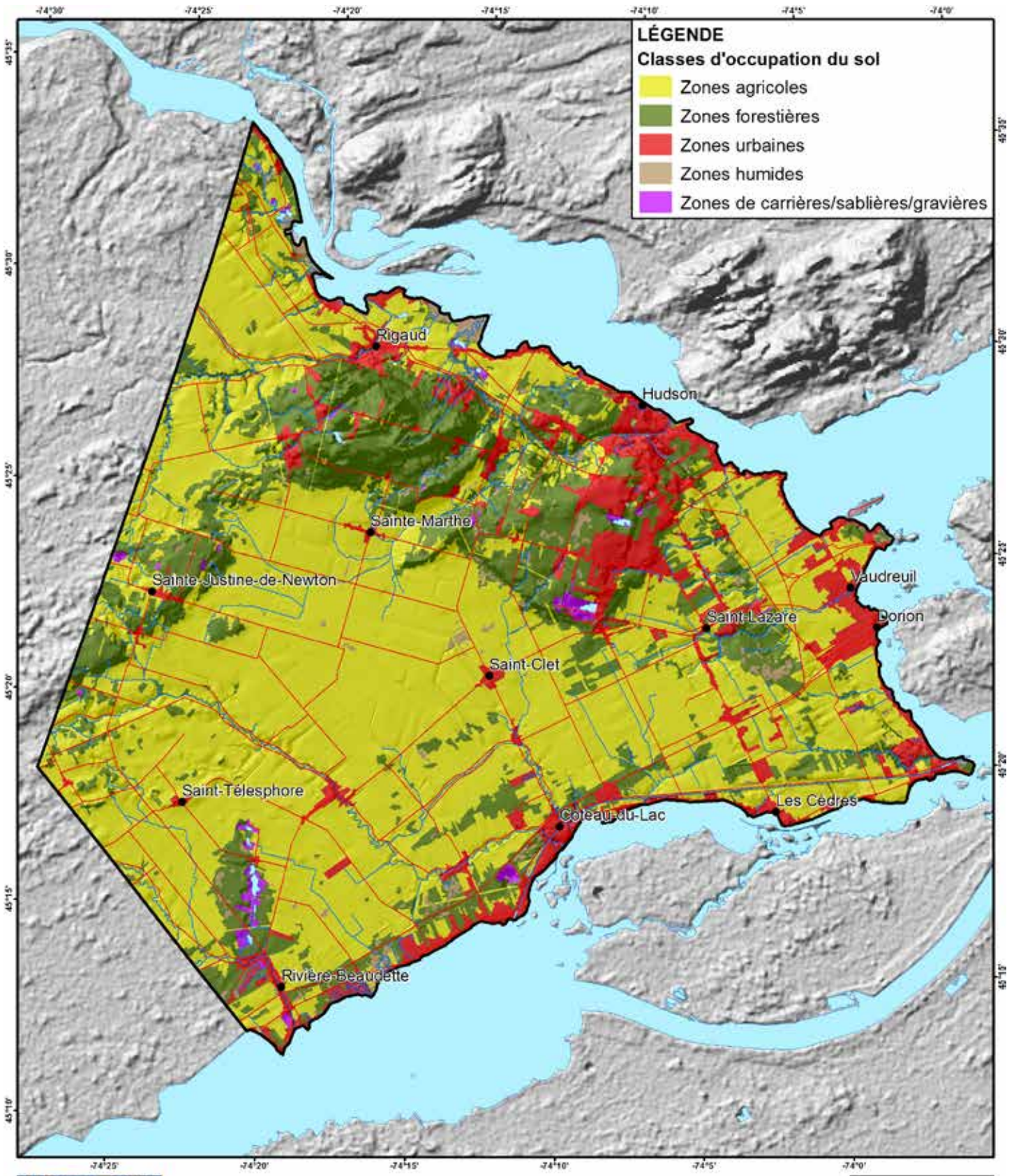
Questions de synthèse

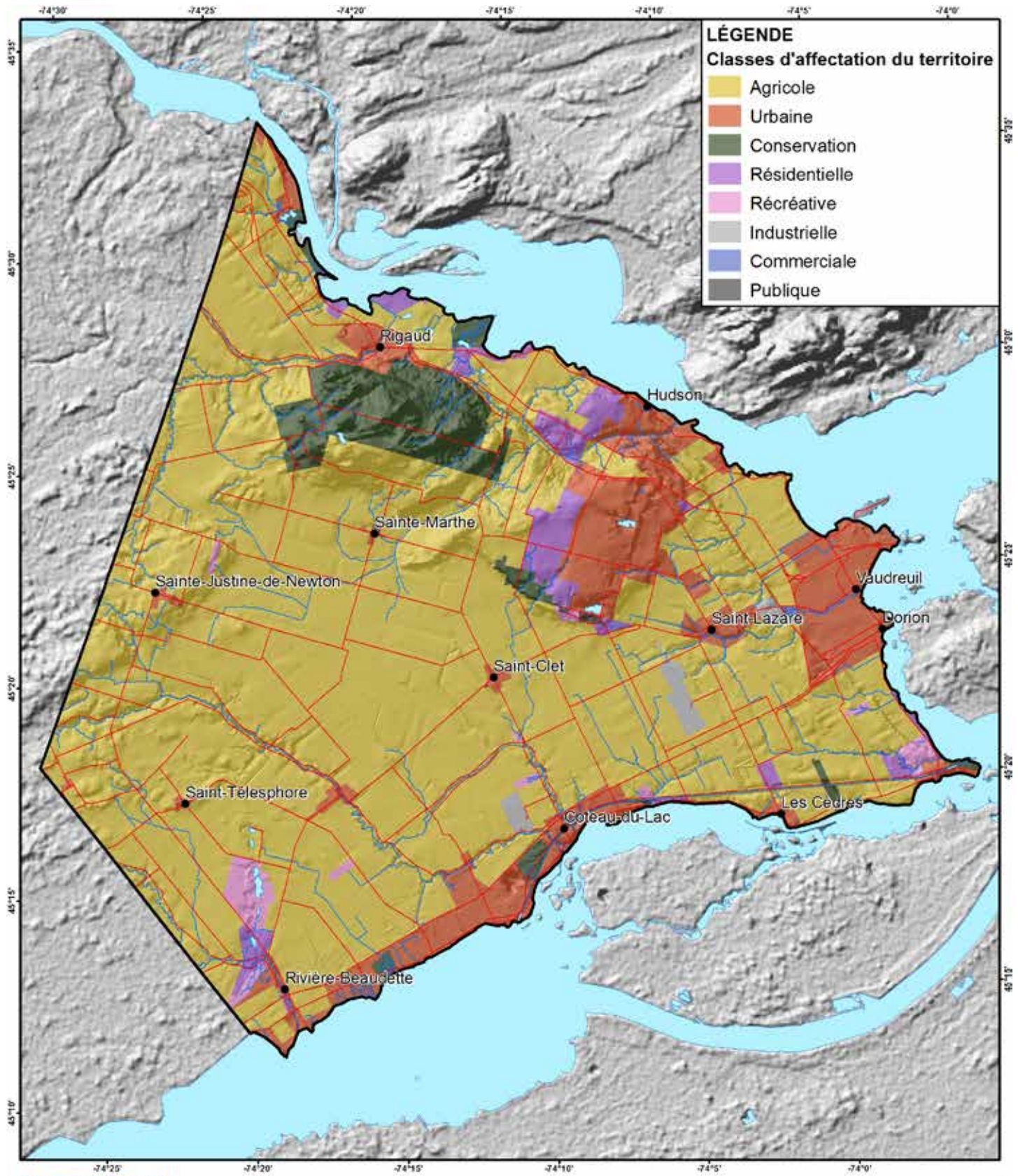


- F** La recharge est nulle au niveau des zones à nappe captive et semi-captive.
Vrai Faux
- F** La corrélation est forte entre la carte de la vulnérabilité et celles des contextes hydrogéologiques, du confinement, de la piézométrie et de la recharge.
Vrai Faux
- M** Comment les aquifères à nappe captive sont-ils alimentés en eau souterraine?
- M** Comment peut-on obtenir la profondeur de la nappe depuis le niveau piézométrique?
- M** Puisque les aquifères ayant une vulnérabilité faible sont peu sensibles à la pollution de l'eau souterraine à partir d'une contamination en surface, comment peuvent-ils être contaminés?
- M** Pour les puits d'alimentation où aucun problème lié à la potabilité de l'eau n'a été identifié, pourquoi est-il tout de même recommandé de faire un suivi de la qualité de l'eau?
- D** Plus l'épaisseur des dépôts meubles est importante, et plus il y a de chance que l'aquifère de dépôts meubles soit perméable.
Vrai Faux
- D** La moins bonne qualité de l'eau de la plaine argileuse est due à une surface piézométrique relativement plane responsable de l'écoulement rapide de l'eau souterraine et d'un temps de résidence court dans l'aquifère.
Vrai Faux
- D** Pourquoi retrouve-t-on des dépressions du roc remplies de grandes quantités de dépôts meubles dans la plaine centrale et en bordure de la rivière des Outaouais?
- D** Pourquoi la présence d'un dépôt meuble perméable sur la carte des contextes hydrogéologiques n'assure-t-elle pas nécessairement la présence d'un aquifère ayant un bon potentiel d'exploitation?
- D** Est-il plus avantageux d'exploiter un aquifère en condition de nappe libre ou de nappe captive?
- D** Comment les eaux souterraines sont-elles en lien avec les milieux humides?

3

Les enjeux de gestion de la ressource et d'aménagement du territoire



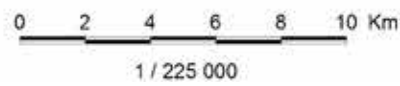


LÉGENDE
Classes d'affectation du territoire

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



Affectation du territoire
Zone Vaudreuil-Soulanges



Exercice 1 : Si demain une municipalité devait rechercher une nouvelle source d'eau potable souterraine, quelles zones seraient les plus propices?

Exercice 2 : Quelles zones devraient être protégées en priorité pour la recharge?

Exercice 3 : Où pourrait-on implanter une nouvelle activité potentiellement polluante afin de minimiser son impact sur la qualité des eaux souterraines?

Bibliographie

- Bouchard, M.F., Sauvé, S., Barbeau, B., Legrand, M., Brodeur, M. E., Bouffard, T., Limoges, E., Bellinger, D. C. et Mergler, D. 2011. Intellectual impairment in school-age children exposed to manganese from drinking water. *Environmental Health Perspectives*, 119(1):138-43.
- Buffin-Bélanger, T., Chaillou, G., Cloutier, C-A., Touchette, M., Hétu, B. et McCormack, R. 2015. Programme d'acquisition de connaissance sur les eaux souterraines du nord-est du Bas-Saint-Laurent (PACES-NEBSL) : Rapport final. 199p. [En ligne], (http://rqes.ca/rqes/wp-content/uploads/sites/72/2016/08/rapport3_PACES-NEBSL.pdf). Page consultée le 11 mai 2017.
- CERM-PACES. 2013. Résultats du programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de la région Saguenay-Lac-Saint-Jean. Centre d'études sur les ressources minérales, Université du Québec à Chicoutimi. [En ligne], (http://pcdt.uqac.ca/pcdt/rapport_sc/Rap_scienti_SLSJ_VF_20130719.pdf). Page consultée le 11 mai 2017.
- CERM-PACES, 2015. Résultats du programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du territoire de Charlevoix, Charlevoix-Est et La Haute-Côte-Nord. Centre d'études sur les ressources minérales, Université du Québec à Chicoutimi. [En ligne], (http://pcdt.uqac.ca/pcdtchcn/rapport_scientifique/CHCN_Rapport_Scientifique.pdf). Page consultée le 11 mai 2017.
- Cloutier, V., Blanchette, D., Dallaire, P.-L., Nadeau, S., Rosa, E., et Roy, M. 2013. Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de l'Abitibi-Témiscamingue (partie 1). Rapport final déposé au Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec. Rapport de recherche P001. Groupe de recherche sur l'eau souterraine, Institut de recherche en mines et en environnement, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 135 p., 26 annexes, 25 cartes thématiques (1:100 000). [En ligne], (http://rqes.ca/rqes/wp-content/uploads/sites/72/2016/08/PACES-AT1_Rapport_Final_GRES-UQAT.pdf). Page consultée le 11 mai 2017.
- 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. [En ligne], (http://rqes.ca/wp-content/uploads/sites/72/2016/08/HYDROGEOLOGIE_notions_et_figures_oct2014.pdf). Page consultée le 11 mai 2017.
- Gouvernement du Québec (2015a). Règlement sur la qualité de l'eau potable. Loi sur la qualité de l'environnement. Q-2, r. 40. [En ligne], (<http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/Q-2,%20r.%2040/>). Page consultée le 11 mai 2017.
- Gouvernement du Québec (2015b). Règlement sur le prélèvement des sources et leur protection. Loi sur la qualité de l'environnement. Q-2, r. 35.2. [En ligne], (<http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/Q-2,%20r.%2035.2/>). Page consultée le 11 mai 2017.
- Larocque, M., Gagné, S., Tremblay, L. et Meyzonat, G. 2013. Projet de connaissances des eaux souterraines du bassin versant de la rivière Bécancour et de la MRC de Bécancour - Rapport scientifique. Rapport déposé au ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs. 213 p. [En ligne], (http://rqes.ca/rqes/wp-content/uploads/sites/72/2016/08/Rapport_final_PACES_Becancour_2013.pdf). Page consultée le 11 mai 2017.
- Larocque, M., Meyzonat, G., Ouellet, M. A., Graveline, M. H., Gagné, S., Barnette, D. et Dorner, S. 2015. Projet de connaissance des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport scientifique. Rapport déposé au ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques. 201 p. [En ligne], (http://rqes.ca/rqes/wp-content/uploads/sites/72/2016/08/Rapport_VS_Phase_III_FINAL_10juin2015_tailleurédite.pdf). Page consultée le 11 mai 2017.
- Leblanc, Y., Légaré, G., Lacasse, K., Parent, M. et Campeau, S. (2013). Caractérisation hydrogéologique du sud-ouest de la Mauricie. Rapport 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. Département des sciences de l'environnement, Université du Québec à Trois-Rivières, 134 p., 15 annexes et 30 documents cartographiques (1:100 000). [En ligne], (https://oraprdnt.uqtr.quebec.ca/pls/public/docs/GSC1456/F1542720878_Rapport_final_05juin.pdf). Page consultée le 11 mai 2017.
- Santé Canada (2014). Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada. Tableau sommaire. Préparé par le Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable du Comité fédéral-provincial-territorial sur la santé et l'environnement. [En ligne], (http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/sum_guide-res_recom/index-fra.php). Page consultée le 11 mai 2017.
- Siim Sepp (2005). Wikipédia – Argile. Argilite en Estonie. [En ligne], (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Argile>). Page consultée le 11 mai 2017.

Mes notes personnelles

Les partenaires du Projet de connaissances sur les eaux souterraines de la zone Vaudreuil-Soulanges :



Les partenaires du projet de transfert des connaissances sur les eaux souterraines :

