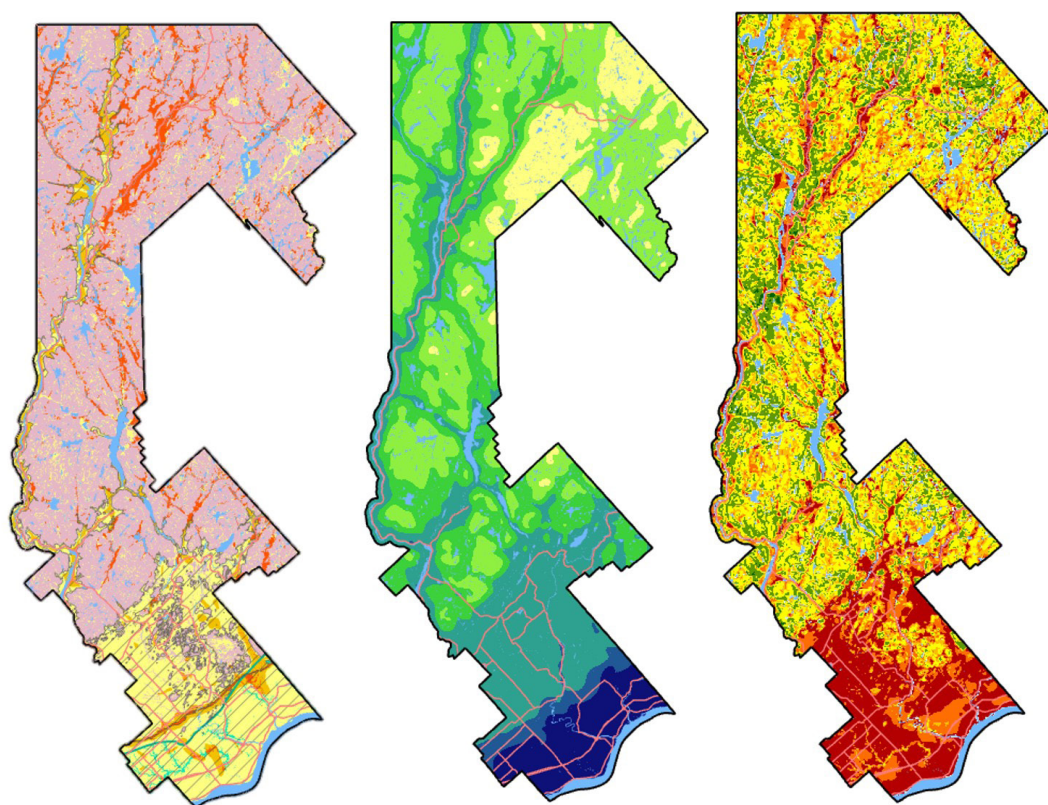


ATELIER 4

S'approprier les bases de données géomatiques du PACES

Mauricie-Est



CAHIER DU PARTICIPANT

21 juin 2022

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'Est de la Mauricie, 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'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC) et l'Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR) :

- Anne-Marie Decelles, directrice générale du RQES, conception, préparation et animation de l'atelier
- Miryane Ferlatte, coordonnatrice scientifique du RQES, conception, préparation et animation de l'atelier
- Julie Ruiz, professeure et co-directrice du centre de recherche RIVE de l'UQTR, conception de l'atelier
- Romain Chesnaux, professeur en hydrogéologie de l'UQAC, co-coordonnateur du PACES Mauricie-Est
- Julien Walter, professeur en hydrogéologie de l'UQAC, co-coordonnateur du PACES Mauricie-Est
- Mélanie Lambert, professionnelle de recherche de l'UQAC, chargée de projet du PACES Mauricie-Est
- Anouck Ferroud, professionnelle de recherche de l'UQAC, chargée de projet du PACES Mauricie-Est
- Alain Rouleau, professeur émérite de l'UQAC

Ce cahier est préparé exclusivement pour la réalisation de l'atelier du 21 juin 2022.

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 Mauricie Est (ME):

Decelles, A.M., Ferlatte, M. et Ruiz, J. 2022. Atelier 4- S'approprier les bases de données géomatiques du PACES Mauricie-Est, cahier du participant pour l'atelier. Document préparé par le RQES, avec la contribution de l'UQAC et de l'UQTR, pour les acteurs de l'aménagement du territoire, 90 p.

CERM-PACES 2022. Atlas des connaissances sur les eaux souterraines de l'est de la Mauricie. Centre d'études sur les ressources minérales, Université du Québec à Chicoutimi.

CERM-PACES, 2022. Résultats du programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du territoire municipalisé de l'est de la Mauricie, PACES-LAMEMCN. Centre d'études sur les ressources minérales, Université du Québec à Chicoutimi. 204 p.



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 d'études sur les ressources minérales (CERM)

Le Centre d'étude sur les Ressources minérales a pour mission de développer et de coordonner les activités de recherche dans le domaine des ressources minérales à l'Université du Québec à Chicoutimi.

La recherche au CERM porte sur les éléments suivants :

- l'exploration minérale et les processus métallogéniques;
- les eaux souterraines et l'hydrogéomécanique;
- la formation et l'évolution de la croûte précambrienne.

En plus de développer des connaissances sur les ressources minérales et de soutenir la formation de jeunes chercheurs, le CERM représente un acteur socio-économique important dans la région du Saguenay – Lac-Saint-Jean en participant aux différentes stratégies régionales visant le développement minéral, les eaux souterraines et les minéraux industriels.

Pour en savoir plus : cerm.uqac.ca

La plupart des figures et photographies reproduites dans ce document appartiennent à l'équipe de réalisation du PACES ou au Réseau québécois sur les eaux souterraines. Lorsque ce n'est pas le cas, le crédit photographique (source) est indiqué sous l'image.

Table des matières

Le déroulement de l'atelier	8
Votre équipe de formation	9
Résumé du PACES ME	10
1. Quelques notions de base en hydrogéologie	13
2. Présentation des données géospatiales	25
Restrictions d'utilisation des données, droits d'auteur à respecter et sources à citer	26
Les limites générales des données	26
Glossaire de quelques termes utilisés en géomatique	27
Les bases de données en format géodatabase	28
Retrouver les informations hydrogéologiques dans la géodatabase	32
Le projet mxd pour cet atelier	34
Préparer vos données : découpage de votre territoire	36
3. Interpréter les données disponibles pour comprendre l'hydrogéologie de votre territoire d'action	37
Épaisseur des dépôts meubles	38
Contextes hydrostratigraphiques	40
Conditions de confinement	42
Piézométrie	44
Recharge et résurgence	46
Vulnérabilité	48
Qualité de l'eau	50
Les autres résultats du PACES	52
4. Mon territoire d'action face à des enjeux de protection et de gestion des eaux souterraines	55
Déroulement	56
Question 1 : Recherche d'une nouvelle source d'eau potable souterraine	57
Synthèse du cheminement d'expert	58
1. Trouver de l'eau en quantité suffisante	59
2. Identifier les zones relativement protégées de la contamination	62
3. Faire le bilan des analyses faisant appel au géotraitement	64
4. Évaluer la qualité de l'eau	65
5. Identifier les zones en amont des sources potentielles de contamination actuelles et futures	66

Question 2 : Protection des zones de recharge	69
Synthèse du cheminement d'expert	70
1. Localiser les zones où la recharge est importante	71
2. Identifier les zones vulnérables à la contamination	72
3. Faire le bilan des analyses faisant appel au géotraitement	74
4. Évaluer la qualité de l'eau	75
5. Identifier les zones en amont des sources potentielles de contamination actuelles et futures	76
6. Identifier les zones en amont des puits d'approvisionnement pour la consommation humaine	78
 Question 3 : Implantation d'une nouvelle activité potentiellement polluante	 79
Synthèse du cheminement d'expert	80
1. Identifier les zones naturellement protégées de la contamination	81
2. Évaluer la qualité de l'eau	85
3. Identifier les zones en aval des puits d'approvisionnement en eau potable et les affectations compatibles	86
 5. Réfléchir à nos besoins pour la suite	 89
Déroulement	90

Le déroulement de l'atelier

Objectifs

1. S'approprier la base de données géospatiales sur les eaux souterraines de son territoire d'action
2. Mieux comprendre les caractéristiques hydrogéologiques spécifiques à son territoire d'action
3. Apprendre à analyser les données géospatiales sur les eaux souterraines de son territoire d'action afin de répondre à un enjeu de gestion et de protection des eaux souterraines
4. Réfléchir à nos besoins pour la suite

LES ACTIVITÉS

JOUR 1

1. Les notions de base en hydrogéologie
2. Présentation des données géospatiales
3. Interpréter les données pour comprendre l'hydrogéologie de votre territoire d'action

JOUR 2

4. Mon territoire d'action face à des enjeux de protection et de gestion des eaux souterraines
5. Réfléchir à nos besoins pour la suite

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



Stéphanie Lavoie

M.Sc. Environnement
Chargée de projet du RQES
Département des sciences de
l'environnement, Université du
Québec à Trois-Rivières
CP 500, Trois-Rivières (Qc) G9A 5H7
Stephanie.Lavoie4@uqtr.ca

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



Alain Rouleau

Ph.D. Hydrogéologie
Professeur émérite
Centre d'études sur les ressources
minérales, Université du Québec à
Chicoutimi
555, boulevard de l'Université
Chicoutimi (Québec) G7H 2B1
418-545-5011 poste 5213
Alain_Rouleau@uqac.ca



Julien Walter

Ph.D. Ing. Hydrogéologie
Professeur au département des
Sciences appliquées
Centre d'études sur les ressources
minérales, UQAC
555, boulevard de l'Université
Chicoutimi (Québec) G7H 2B1
418-545-5011 poste 2680
Julien_Walter@uqac.ca



Mélanie Lambert

M.Sc.A.
Professionnelle de recherche
Centre d'études sur les ressources
minérales
Université du Québec à Chicoutimi
555, boulevard de l'Université
Chicoutimi (Québec) G7H 2B1
418-545-5011 poste 2230
Melanie_Lambert@uqac.ca



Romain Chesnaux

Professeur au département des
Sciences appliquées, ing., Ph.D.
Centre d'études sur les ressources
minérales
Université du Québec à Chicoutimi
555, boulevard de l'Université
Chicoutimi (Québec) G7H 2B1
418-545-5011 poste 5426
Romain_Chesnaux@uqac.ca

Résumé du PACES Mauricie-Est

Le Centre d'études sur les ressources minérales (CERM) de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC) a réalisé la première caractérisation régionale des aquifères et des eaux souterraines du territoire municipalisé de la région de l'est de la Mauricie. Cette étude a été effectuée dans le cadre du projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines des territoires municipalisés de Lanaudière, de l'est de la Mauricie et de la Moyenne-Côte-Nord (PACES-LAMEMCN), géré par le ministère provincial de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). Ce rapport présente les résultats des trois phases du PACES-LAMEMCN section Mauricie-Est échelonnées sur quatre années de travail (2018 – 2022).

La phase 1 a porté sur l'inventaire, la collecte, l'évaluation, la numérisation et l'archivage des données hydrogéologiques existantes au sein de sources variées. Les données de 6 718 stations ponctuelles d'information géologique ou hydrogéologique (puits, piézomètres, forages, levés stratigraphiques ou géophysiques, etc.) ont été récupérées. Parmi ces dernières, 390 stations d'information ont été extraites de rapports spécialisés en hydrogéologie ou en géotechnique et localisées sur le territoire. Le processus de saisie et d'archivage des rapports spécialisés ont permis l'extraction de 414 descriptions stratigraphiques, 250 résultats d'analyses chimiques, plus de 171 estimations de propriétés hydrauliques, de 25 cartes piézométriques et de 5 coupes stratigraphiques. Aussi, deux protocoles garantissant la traçabilité et la fiabilité des données ont été appliqués. Les données ont été intégrées dans une base de données géospatiales implantée dans une géodatabase d'ESRI.

La phase 2 a permis de mener des travaux d'investigation sur le terrain. Les résultats incluent plus de 106 échantillons hydrogéochimiques, 114 levés stratigraphiques, 1 forage à percussion, 158 levés géophysiques et plusieurs données pour répondre aux objectifs de 4 projets de recherche. De plus, ces travaux ont permis l'installation d'un piézomètre dans le granulaire. Après la phase 2, la base de données géospatiales contenait 7 112 points d'information.

La phase 3 a mené à la synthèse de l'information sous la forme de 30 cartes (format A0). Les cartes représentent les milieux naturels et humains, et les contextes géologiques (roc et dépôts meubles). L'interprétation de 44 coupes stratigraphiques régionales créées à l'aide d'outils géomatiques a permis la mise en carte de la topographie du roc, de l'épaisseur des dépôts de surface, des limites des principaux milieux aquifères et des contextes hydrogéologiques du territoire à l'étude. D'autres cartes présentent une première version de la piézométrie régionale, des zones préférentielles de recharge et de résurgence, et de la vulnérabilité régionale des aquifères selon DRASTIC. Pour ces dernières, le résultat repose sur des méthodes de traitement originales faisant appel à des techniques d'interpolation adaptées aux fins du PACES-LAMEMCN. Enfin, certaines cartes montrent un premier portrait de l'utilisation et de la qualité de l'eau souterraine. Des recommandations ont été formulées spécifiquement aux suivis des résultats du PACES, relativement aux bonnes pratiques pour les forages et pour l'évaluation de la vulnérabilité, et pour une meilleure gestion régionale de la ressource en eau souterraine.

Quant à l'utilisation de l'eau, le PACES a montré que dans la région :

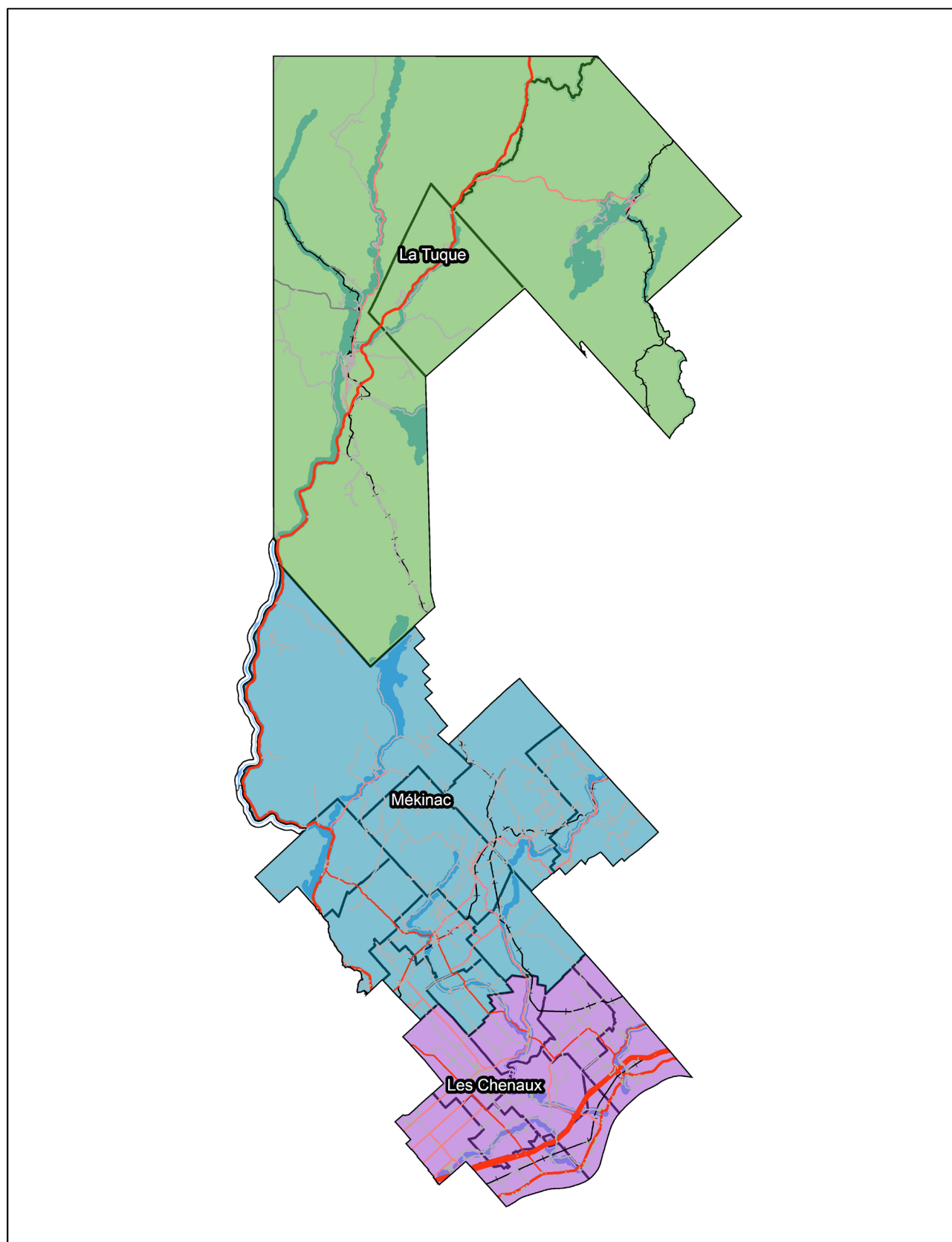
- 77% des municipalités alimentent leur réseau d'aqueduc municipal à partir d'eau souterraine
- 62% de la population est alimentée en eau potable à partir d'eau souterraine;
- 34% de l'eau souterraine est utilisée pour un usage domestique, 38% pour un usage agricole et 17% pour un usage industriel, commercial ou institutionnel (IC);
- 8% de l'eau utilisée provient d'eau souterraine et 92% d'eau de surface.

En ce qui concerne les connaissances hydrogéologiques, les résultats saillants de l'étude sont les suivants :

- La connaissance des systèmes aquifères de la région réside dans un grand nombre d'études locales autrefois difficilement accessibles et dont les résultats sont maintenant pour la plupart contenus dans une base de données géospatiales;
- Le territoire municipalisé présente plusieurs accumulations de dépôts de surface (sable et argile) pouvant dépasser 100 m d'épaisseur en divers endroits du territoire étudié;

- Les dépôts granulaires d'origine glaciaire ou postglaciaire sont le type de milieux aquifères principalement exploité pour l'alimentation en eau potable par les municipalités;
- Plusieurs secteurs sur le territoire sont susceptibles d'abriter d'importants réservoirs aquifères encore non exploités, notamment le secteur de la moraine de Saint-Narcisse et du piedmont;
- Les sables de surface d'origine deltaïque présentent des caractéristiques granulométriques et hydrauliques hétérogènes et l'eau souterraine qu'ils contiennent est aussi exploitée pour l'alimentation en eau potable des municipalités;
- La carte piézométrique élaborée dans ce projet suggère la faible profondeur de l'eau souterraine dans les Basses-Terres (comprise entre 0 et 20 m à partir de la surface);
- D'importantes variations de la topographie de surface suggèrent l'existence de plusieurs zones de résurgences;
- Le roc présente des élévations très variables spatialement attestant d'une topographie accidentée dont les vallées profondes peuvent contenir des accumulations granulaires importantes confinées ou libres (l'interprétation des linéaments présentée dans cette étude pourrait aider à les localiser);
- La carte de vulnérabilité de l'eau souterraine montre des secteurs, généralement associés aux importantes accumulations de sable de surface, où des études locales sont requises pour préciser les risques de contamination anthropique;
- Le portrait de la qualité de l'eau souterraine révèle globalement une eau souterraine douce de bonne qualité puisque près de 73% des échantillons prélevés sur le territoire n'affichent aucun dépassement des normes de potabilité. Cependant, il révèle aussi qu'environ 43% des échantillons prélevés dépassent les critères esthétiques pour le manganèse (16% dépassent aussi la nouvelle norme de potabilité), que les dépassements en fluorures sont omniprésents dans les Basses-Terres et qu'il existe localement une eau souterraine salée dans les Basses-Terres.

Le territoire du PACES Mauricie-Est



1

Quelques 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. 13 à 15)

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

Grains 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.

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

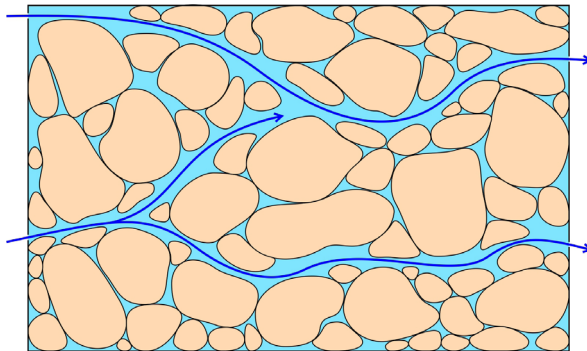
La **POROSITÉ** est le volume (en %) des pores, c'est-à-dire des espaces vides au sein de la matrice solide.

- 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.

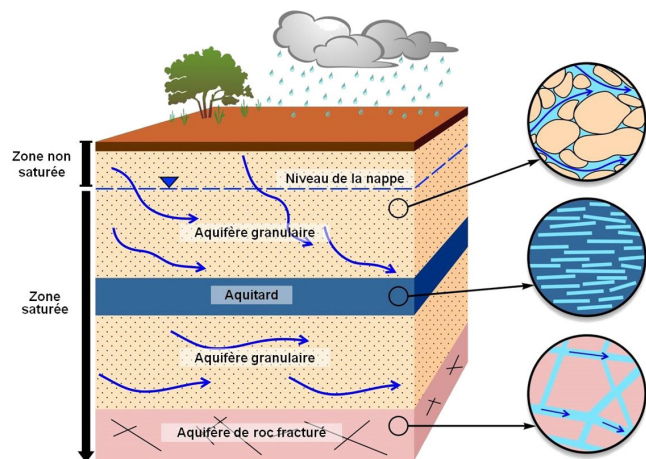
- C'est le **contenu**.

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 :

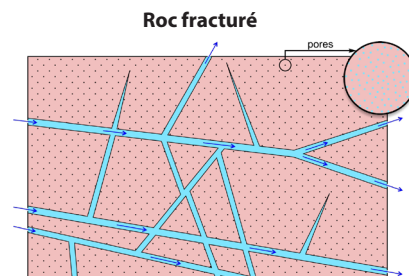
- le **ROC FRACTURÉ** qui constitue la partie supérieure de la croûte terrestre ;
- les **DÉPÔTS MEUBLES** qui sont l'ensemble des sédiments qui proviennent de l'érosion du socle rocheux et qui le recouvrent.

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.

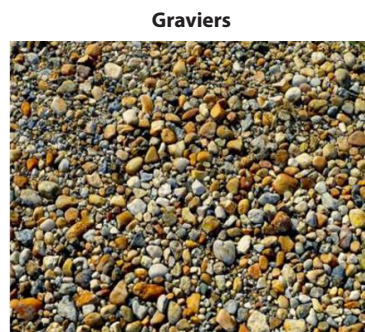


© Leblanc et coll. (2013)

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.



Graviers

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.



Argiles

© Siim-Sepp (2005)



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**.



Sédiments fluvioglaciaires



SÉDIMENTS FLUVIOGLACIAIRES

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

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

SÉDIMENTS GLACIOMARINS, GLACIOLACUSTRES et LACUSTRES

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



Sédiments alluviaux



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

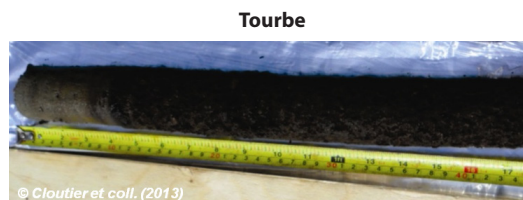
- Composés sable — **aquifère**.



SÉDIMENTS ORGANIQUES

Constituent les milieux humides, surtout des tourbières.

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



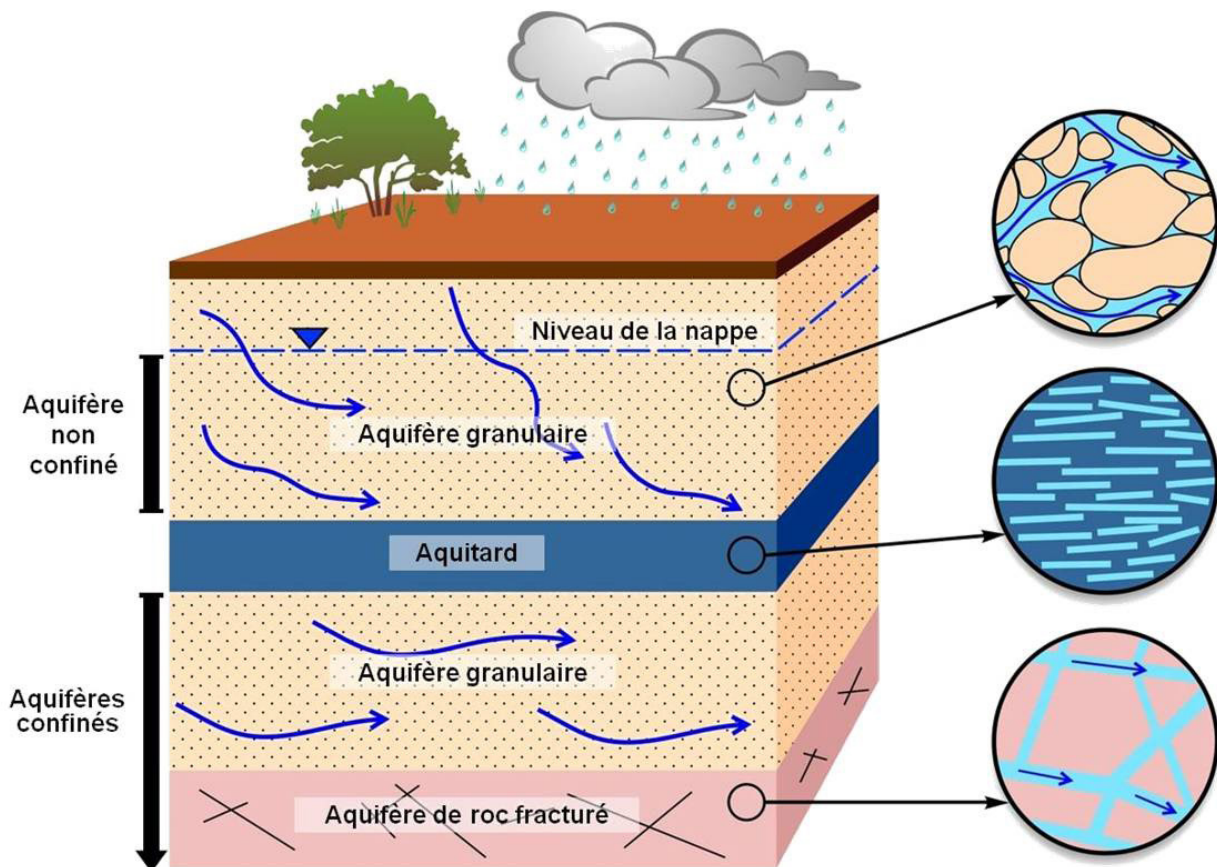


CONDITIONS DE CONFINEMENT

Un aquifère confiné (ou 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 non confiné (ou 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 semi-confiné (ou 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.

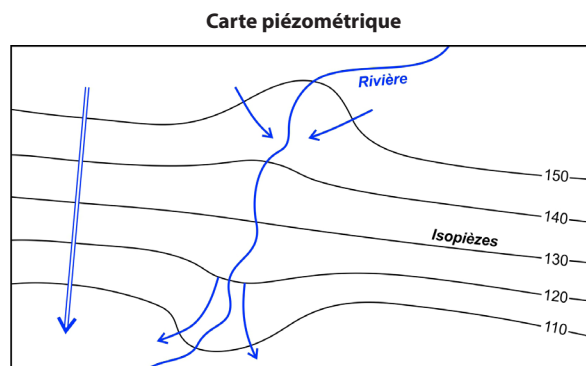




PIÉZOMÉTRIE

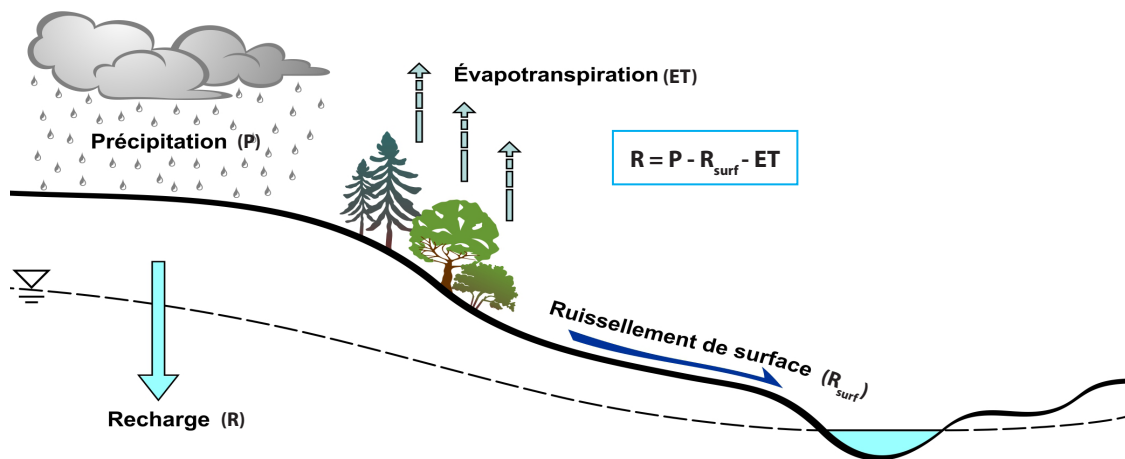
Le **NIVEAU PIÉZOMÉTRIQUE** (ou **charge hydraulique**) correspond à l'élévation que le niveau de l'eau souterraine mesurée dans un puits atteint pour être en équilibre avec la pression atmosphérique.

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** 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 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.



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.

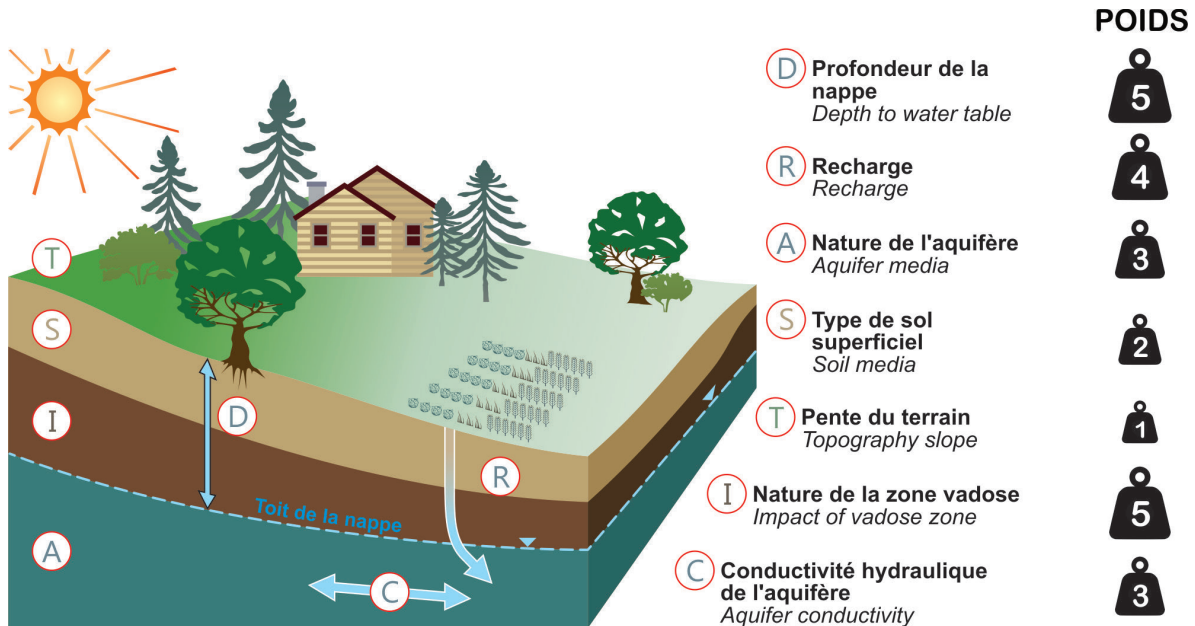


VULNÉRABILITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE

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 :



Voici comment ces différents paramètres influencent l'indice DRASTIC:

- **D** : profondeur de la nappe (Depth) – plus la nappe est profonde, plus l'indice est faible;
- **R** : Recharge – plus la recharge est importante, plus l'indice est élevé;
- **A** : nature de l'Aquifère – plus l'aquifère est composé de matériel grossier donc perméable, plus l'indice est élevé;
- **S** : type de Sol – plus le sol est composé de matériel grossier donc perméable, plus l'indice est élevé;
- **T** : pente du terrain (Topography) – plus la pente est accentuée, plus l'indice est faible;
- **I** : Impact de la zone vadose – plus la zone non saturée est composée de matériel grossier, plus l'indice est élevé;
- **C** : Conductivité hydraulique de l'aquifère – plus la conductivité hydraulique est importante, plus l'indice est élevé.

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.

Plusieurs **types d'eau** sont identifiés :

- **Type Ca-HCO_3** : eau récente, peu évoluée et minéralisée, signature géochimique se rapprochant de l'eau douce de recharge ;
- **Type Na-HCO_3 et Na-SO_4** : eau intermédiaire 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 ou témoignant d'une contamination au sel de déglacage.

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. : Arsenic $< 0,01 \text{ mg/L}$, pour éviter certains cancers et des effets cutanés, vasculaires et neurologiques.
- Ex. : Fluorures $< 1,5 \text{ mg/L}$, 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. : Fer $< 0,3 \text{ mg/L}$, fondé sur le goût et les taches sur la lessive et les accessoires de plomberie.
- Ex. : Sulfures $< 0,05 \text{ mg/L}$, fondé sur le goût et l'odeur.

2

Présentation des données géospatiales



Tout au long du cahier

Les mots ou expressions en **orange** sont définis dans le glossaire des termes utilisés en géomatique (p. 23)

Restrictions d'utilisation des données, droits d'auteur à respecter et sources à citer

L'ensemble des données géospatiales recueillies ou produites dans le cadre du PACES, ou qui sont utilisées dans le cadre de cet atelier de transfert, sont protégées par la Loi sur le droit d'auteur (L.R.C., 1985, c. C-452).

Les données utilisées pour cet atelier sont encore préliminaires dans la mesure où elles n'ont pas encore été validées par le MELCC. Le MELCC et l'UQAC ne peuvent être tenus responsables de l'utilisation qui est faite des données diffusées ni des dommages encourus par une utilisation incorrecte de ces mêmes données. Les données peuvent contenir certaines erreurs. De plus, ces données sont évolutives. Le MELCC et l'UQAC ne peuvent être tenus responsables de tout dommage causé par l'utilisation d'une donnée incorrecte.

L'utilisateur est aussi tenu de citer les propriétaires des données utilisées dans les cartes ou autres produits qui sont dérivés des données. Cela est nécessaire sur chaque copie où figure la totalité ou une partie du jeu de données d'un producteur.

La mention des droits d'auteur doit citer chaque producteur dont relèvent les données mises à contribution, et ce, sur chaque copie de la totalité ou d'une partie du jeu de données. Il en va de même pour tout autre produit créé en utilisant les données.

Les limites générales des données

- Les cartes réalisées dans le cadre du PACES Mauricie-Est ont été préparées pour représenter des conditions régionales (consultez les métadonnées pour connaître les mailles utilisées selon les cartes). Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement. Par conséquent, les résultats du projet ne peuvent remplacer les études requises pour définir les conditions réelles à l'échelle locale.
- La plupart des analyses hydrogéologiques réalisées dans le cadre de ce projet sont basées sur des méthodes de traitement impliquant des généralisations et une importante simplification de la complexité du milieu naturel.
- Les données de base utilisées (ex. : puits, forages, affleurements rocheux) ont une répartition non uniforme sur le territoire. L'incertitude des analyses hydrogéologiques augmente dans les secteurs où il y a peu de données.
- Les données de base utilisées proviennent de différentes sources (ex. : rapports de consultants, bases de données ministérielles, système d'information hydrogéologique (SIH)) pour lesquelles la qualité des données est variable. Une grande proportion des données proviennent du SIH et sont jugées de moins bonne qualité, tant au niveau des mesures géologiques et hydrogéologiques que des localisations rapportées. Ces données sont moins fiables individuellement, mais elles permettent de faire ressortir les tendances régionales des paramètres hydrogéologiques étudiés.
- Les valeurs de certaines données et les analyses en découlant (ex. : piézométrie, recharge, qualité de l'eau) pourraient varier temporellement (jours, saisons, années, changements climatiques).
- Les résultats des analyses de qualité de l'eau ne sont valides que pour le puits où l'échantillon a été récolté.

Glossaire de quelques termes utilisés en géomatique

ArcCatalog

Fournit une fenêtre de catalogue pour ArcGIS afin d'organiser dans une arborescence les différents types d'informations géographiques, dans le but de faciliter leur recherche, leur localisation et leur gestion.

ArcGIS

Système d'information géographique utilisé pour cet atelier.

ArcMap

C'est l'application fondamentale d'ArcGIS. Elle contient des boîtes à outils, organisées sous forme de modules indépendants (extensions), permettant de gérer, manipuler, analyser et éditer les différentes couches d'informations de la base de données. ArcMap est l'équivalent de l'ancienne version «ArcView».

ArcToolbox

Module d'ArcMap comprenant l'ensemble des outils de géotraitement.

Données géospatiales

Les données géospatiales fournissent de l'information sur la forme et la localisation d'objets et d'événements sur la surface terrestre. Elles comprennent l'ensemble des données géométriques (position et forme des objets), des attributs (caractéristiques des objets) et des métadonnées (informations sur la nature des données). Synonyme : Données géoréférencées, Données géographiques.

Couche

Une couche de données géospatiales ou d'information géographique est un ensemble d'entités spatiales avec leurs localisations, topologies (point, ligne, polygone) et attributs.

Format (de données)

Les données peuvent être en format vectoriel (point  ligne  ou polygone ) ou matriciel  (image ou raster composé de mailles (pixels ou cellules)).

Géodatabase

« Entrepôt » qui permet d'héberger un vaste assortiment de données géographiques et spatiales. Cette structure de données est propre à ArcGIS.

Géotraitement

Opérations sur des données géospatiales à l'aide d'un système d'information géographique permettant d'effectuer de l'analyse spatiale, c'est-à-dire de définir les caractéristiques d'un phénomène à partir des données géospatiales.

Layer file (lyr)

Ce type de fichier propre à ArcGIS enregistre la symbologie d'une couche de données et d'autres propriétés liées à son affichage dans ArcMap.

Métadonnées

Ce sont les données sur les données. Elles servent à définir ou à décrire les données. Les métadonnées devraient contenir l'origine, l'auteur, les détails de sa structure (codes, lexique, abréviations). Les métadonnées sont à la base de l'archivage et permettent à d'autres utilisateurs de comprendre et d'utiliser les données (en vue de leur partage).

Projet mxd

Document cartographique propre à ArcGIS dans lequel on peut « construire » l'assemblage des différentes couches avec leur symbologie.

Symbologie

Permet de conférer la signification appropriée des données géospatiales en les illustrant de manière à afficher les différences qualitatives (ex. : teinte, forme, disposition) ou quantitatives (taille, valeur, clarté), pour ainsi optimiser la communication de la carte.

Système d'information géographique (SIG)

Système de gestion de données par un logiciel permettant la superposition de différentes couches de caractéristiques géographiques sous forme de cartes issues des données et de modèles.

Table relationnelle

Le concept de base dans les bases de données relationnelles est la table (ou relation). Une table est un simple tableau bidimensionnel comprenant plusieurs rangées et plusieurs colonnes. Selon ce modèle relationnel, une base de données consiste en une ou plusieurs relations.

Les bases de données en format géodatabase

Les données du PACES Mauricie-Est

Le MELCC diffuse les données de tous les projets régionaux de caractérisation des [eaux souterraines](#) réalisés dans le cadre du PACES via Données Québec (accès au site depuis la page <https://www.donneesquebec.ca/recherche/fr/dataset/projets-d-acquisition-de-connaissances-sur-les-eaux-souterraines-paces>). Il est possible de visualiser une partie des données présentées dans le navigateur cartographique. Les données et rapports seront remis aux partenaires une fois que le MELCC en aura fait la validation.



Vos données pour cet atelier

Le dossier **PACES_LAMEMCN_LA** contient les données suivantes:

1_Donnees: contient les **données géospatiales** sous forme de **géodatabases** ou **shapefiles**.

1_GDB_PACES_LYR

- GDB: **PACES_LAMEMCN_ME.gdb**

Contient les données vectorielles ponctuelles , linéaires et polygonales dans des Feature dataset , des **tables relationnelles** ainsi que les données matricielles .

- LYR: contient les **Layer files** .

2_BD_SRC

- Donnees_Src_ME.gdb**

Base de données Source, contient des couches permettant la mise en page des cartes mais aussi certains livrables comme les courbes de niveau, le réseau hydrologique, le MNE, l'occupation du sol, les affectations du territoire, etc.

3_Sites_prelevements

Puits_domestiques.shp

Puits_municipaux.shp

Contient les données vectorielles ponctuelles de la localisation des prélèvements d'eau potable. À noter que ces couches vous sont fournies en bonus et ne font pas partie de la **géodatabase** du PACES.

3_References

1_Levees_PACES

- 5_Coupes Stratigraphiques

Contient les PDF des 44 coupes stratigraphiques interprétées en profondeur dans le cadre du PACES.

2_LISEZ-MOI

- Explique comment rendre fonctionnel les hyperliens des coupes stratigraphiques.

3_Metadonnées_GDB_PACES_LAMEMCN_V1

- Les **métadonnées** en fichiers Excel .



PACES_LAMEMCN_ME_V1_10_6.mxd

- Le **projet MXD** contient les données nécessaires à la réalisation des activités 3 et 4.



PACES_LAMEMCN_ME_V1.pmf

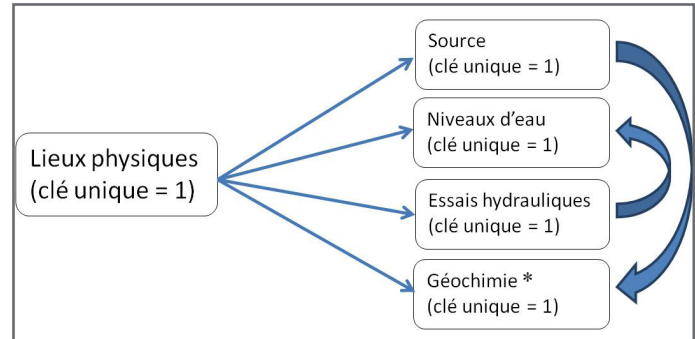
Un .pmf est un Published Map File qui s'ouvre avec ArcReader (un autre produit d'ArcGIS). Il permet de partager des cartes à ceux qui n'ont pas de licence ArcGIS. ArcReader permet de visualiser toutes les données, mais aucun traitement n'est possible.

Les données ponctuelles de base

Les livrables des projets du PACES ont été réalisés à partir de données ponctuelles pouvant être de diverses natures : forages, puits, piézomètres, trous non aménagés, [sources](#), affleurements rocheux, sondages géophysiques, etc. Ces données peuvent être consultées afin d'obtenir de l'information locale. Elles sont toutefois de nature technique et peuvent être difficiles à interpréter sans une certaine connaissance de base en géologie, hydrogéologie et géochimie. Ces données sont intégrées dans  PACES_LAMEMCN_ME.gdb et décrites dans le fichier Excel des métadonnées. Par contre, les données ponctuelles sont fournies au MELCC selon la structure suivante (non inclus dans le dossier pour cet atelier).

Dans les tables d'attribut de chaque **couche** de données ponctuelles de la **géodatabase**  **CH_BDTerrain.gdb**, on retrouve le champ commun **No DCH du lieu physique** qui permet de faire le lien entre les couches et obtenir toute l'information sur un point. Cette clé unique est un numéro séquentiel, déterminé par le MELCC, pour chaque lieu physique identifié par les projets du PACES du Québec. Par exemple, on peut extraire les données géochimiques et les données de niveau d'eau pour un même puits.

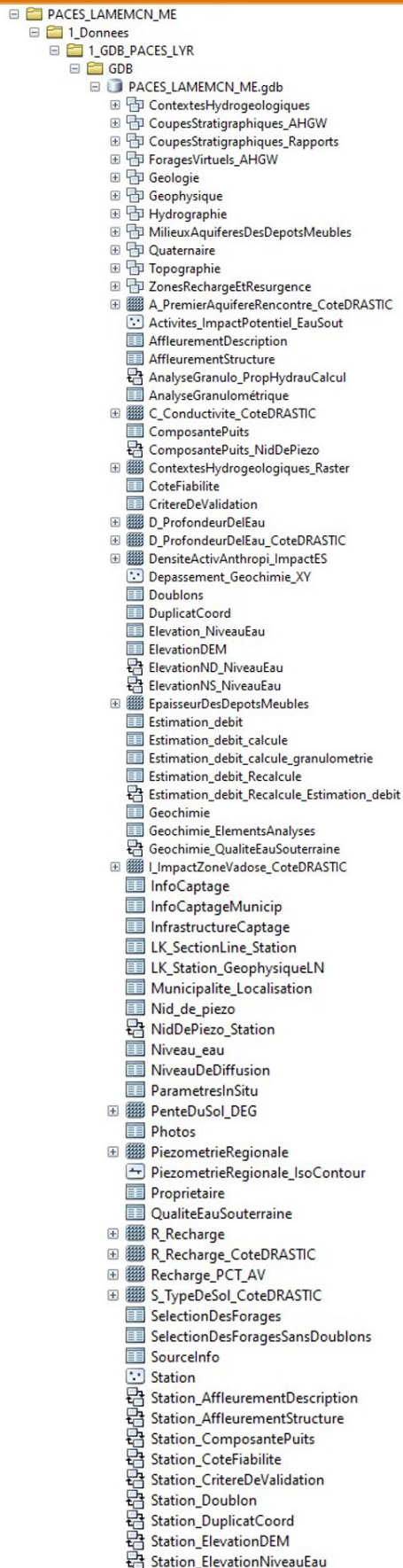
Pour chacune des **couches** de données ponctuelles de base, des **tables relationnelles**  de données non géoréférencées sont disponibles. C'est dans ces tables, par exemple, que l'on retrouve les valeurs de niveau d'eau des points de la **couche**  **CH_Niveau_eau** (alias: *CH_Niveau_eau*). Les données des **tables relationnelles** sont liées au lieu physique par la clé unique (No DCH du lieu physique). Plusieurs informations peuvent se rapporter à la même clé unique (ex. : plusieurs niveaux d'eau pour le même puits).



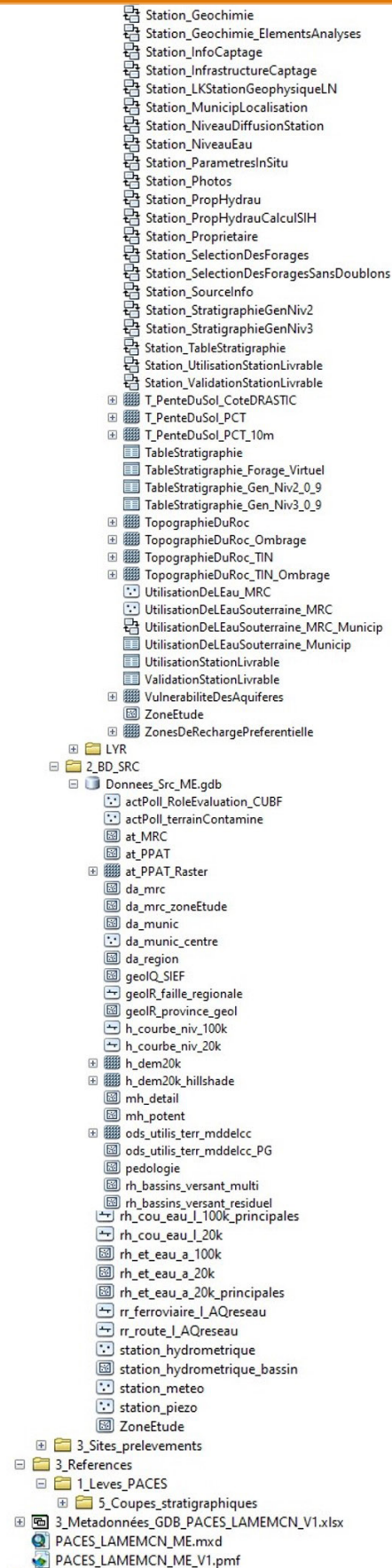
Nom de la couche	Alias	Contenu de la couche	Nom de la table relationnelle associée	Contenu de la table
 CH_Lieu_physique	CH_Lieu_physique	Lieux d'observation (puits, forages, piézomètres, sondages géophysiques, carrières, sablières, etc.) des caractéristiques du sous-sol et/ou de l'eau souterraine répertoriés dans le cadre du PACES.	 CH_TB_LIEUPHYS_Stratigraphie	Description des matériaux géologiques (dépôts meubles ou roc) observés (Table vide).
			 UtilisationStation Livrable	Identifie les données de quel lieu a servi à produire quel livrable.
			 CH_TB_LIEUPHYS_Crépine	Information relative à la crépine (profondeur du début et de la fin et le type de crépine).
			 CH_TB_LIEUPHYS_Fiabilite	Appréciation de la fiabilité de la localisation géographique du lieu physique attribuée par le projet du PACES.
 CH_TB_LIEUPHYS_Venue_Eau				Profondeur de la venue d'eau (Table vide).
 CH_Niveau_eau	CH_Niveau_eau	Lieux physiques où un ou plusieurs niveaux d'eau ont été mesurés.	 CH_TB_NIV_EAU_Mesures_Niveau_eau	Contient les données des mesures de niveau d'eau par rapport à la surface du sol.
 CH_Geochemie	CH_Geochemie	Lieux physiques où un ou plusieurs échantillonnages ont été réalisés.	 CH_TB_GEOCHIMIE_Resultats_analyses	Contient les données des échantillons prélevés pour les analyses géochimiques.
 CH_Essais	CH_Essais	Lieux physiques où un ou plusieurs essais hydrauliques ont été réalisés.	 CH_TB_ESSAIS_Essais	Contient les données des essais de pompage ou de conductivité hydraulique .
 CH_Source	CH_Sources	Localisation des sources	Tables vides	Sources (résurgences d'eau souterraine ponctuelles)

Les bases de données en format géodatabase

Arborescence de la base de données



Arborescence de la base de données



Notes

Retrouver les informations hydrogéologiques dans la géodatabase

Les couches d'information géospatiale par notion hydrogéologique

Livrable	Utilité*	Nom de la couche ou de la table	Description (Alias)
1. Topographie		 h_courbe_niv_100k	Courbe de niveau BDAT100k
2. Routes, limites municipales et toponymie		 rr_route_I_AQreseau	Réseau routier
		 rr_ferroviaire_I_AQreseau	Réseau ferroviaire
	X	 da_munic	Limites municipales
	X	 da_mrc	Municipalité régionale de comté (MRC)
3. Modèle numérique de terrain (MNT)		 h_dem20k	Élévation p/r au NMM (m)
4. Pente du sol		 PenteDuSol_DEG	Pente du sol (en °)
		 T_PenteDuSol_PCT	Pente du sol (en %)
5. Hydrographie	X	 rh_et_eau_a_20k	Réseau hydrographique surfacique
		 rh_et_eau_a_20k_principales	Rivières principales
	X	 rh_cou_eau_I_20k	Réseau hydrographique linéaire
		 rh_cou_eau_I_100k_principales	Rivières principales
6. Bassins versants		 rh_bassin_versant_multi	Bassin versant principal (Niveau 1)
		 rh_bassins_versant_multi_zoneEtude	Limite des bassins de niveau 2
7. Occupation du sol	X	 ods_utilis_terr_mddelcc	#7 - Occupation du sol
8. Couverture végétale		 geoIQ_SIEF	Couverture végétale
		 ods_utils_terr_mddelcc_PG	Zone agricole
9. Milieux humides		 mh_detail	Milieux humides détaillés
		 mh_potent	Milieux humides potentiels
10. Affectation du territoire	X	 at_PPAT	Vocation du territoire
11. Pédologie		 pedologie	Type de sol (Classification IRDA)
12. Géologie Quaternaire		 Quaternaire	Géologie du quaternaire
	X	 Depots_Surface_EraseHydro	Dépôts de surface (MRN' 2020)
		 Symbologie_In	Symboles linéaires (formes de versant, les formes glaciaire, fluvioglaciaires et du socle rocheux)
		 Symbologie_pg	Carrières, sablière et mines
		 Symbologie_pt	Symboles ponctuels pour les forme anthropiques (carrières-sablières actives ou abandonnées) et fluvioglaciaires (kettles)
	X	 MoraineStNarcisse	Tracé de la moraine Saint-Narcisse
13. Géologie du socle rocheux		 Geologie	Géologie du roc
		 ZonesGéologiques	Zone géologique
		 Affleurement	Affleurement
		 FaillesDuctiles	Failles et linéaments
		 FaillesFragiles	
		 Lineaments	
		 LineamentsGrainLitho	
14. Coupes stratigraphiques	X	 CoupesStratigraphiques_AHGW	#14 - Coupes stratigraphiques
		 SectionLine	
15. Épaisseur des dépôts meubles	X	 EpaisseurDesDepotsMeubles	Épaisseur des dépôts meubles (m)
	X	 Station	Station
		 Forage_Virtuel	Forage virtuel

* Les couches d'information géospatiale les plus utiles en aménagement du territoire et nécessaires pour réaliser les exercices en cours d'atelier

À noter que certains des livrables contiennent plus de couches que celles présentées dans le tableau.

Les couches en vert se trouvent dans la géodatabase  Donnees_Src_ME.gdb. Les autres sont dans  PACES_LAMEMCN_ME.gdb.

Retrouver les informations hydrogéologiques dans la géodatabase

Les couches d'information géospatiale par notion hydrogéologique

Livrable	Utilité*	Nom de la couche ou de la table	Description (Alias)
16. Topographie du roc		TopographieDuRoc TopographieDuRoc_TIN TopographieDuRoc_Ombre TopographieDuRoc_TIN_Ombre	Élévation du roc par rapport au niveau moyen des mers - NMM (m) Topographie du roc (ombrage)
17. Conditions de confinement		VOIR CONTEXTES HYDROGÉOLOGIQUES	
17. Contextes hydrogéologiques	X	Contextes hydrogéologiques ContextesHydrogeologiques LimiteArgile LimiteRochesSedimentaires	#17 - Contextes hydrogéologiques Contextes hydrogéologiques Argile Limite des roches sédimentaires
18. Limite des milieux aquifères régionaux	X	MilieuxAquiferesDesDepotsMeubles MilieuxAquiferes_Fluvioglaciaire MilieuxAquiferes_Fluvioglaciaire_Interpretes MilieuxAquiferes_NonDifferencies MilieuxImpermeables MilieuxImpermeables_Interpretes ContextesHydrogeologiques	#18a - Limites des aquifères des dépôts meubles Milieu aquifère (fluvioglaciaire) Milieu aquifère interprété (fluvioglaciaire) Milieu aquifère (non différencié) Milieu imperméable Milieu imperméable interprété #18b - Limites des aquifères fracturés
20. Piézométrie	X	PiezometrieRegionale	Élévation p/r au NMM (m)
	X	PiezometrieRegionale_IsoContour	Lignes piézométriques
22. Vulnérabilité	X	VulnerabiliteDesAquiferes D_ProfondeurDelEau_CoteDRASTIC R_Recharge_CoteDRASTIC A_PremierAquifereRencontre_CoteDRASTIC S_TypeDeSol_CoteDRASTIC T_PenteDuSol_CoteDRASTIC I_ImpactZoneVadose_CoteDRASTIC C_Conductivite_CoteDRASTIC	Indice DRASTIC D: Profondeur de la nappe (m) R: Recharge en eau A: Nature du milieu aquifère S: Type de sol T: Topographie (pente) I: Nature de la zone vadose C: Conductivité hydraulique
23. Activités potentiellement polluantes	X	DensiteActivAnthropi_ImpactES ods_utils_terr_mddelcc_PG actPoll_terrainContamine	Densité des activités anthropiques pondérée selon leur impact potentiel sur l'eau souterraine Zone agricole LA_23-Terrain_contaminé
24. Qualité de l'eau: critères eau potable	X	Depassement_Geochemie_XY	#24 - Qualité de l'eau (CMA)
25. Qualité de l'eau: objectifs esthétiques	X	Depassement_Geochemie_XY	#25 - Qualité de l'eau (OE)
26. Utilisation de l'eau		UtilisationDelEau_MRC UtilisationDelEauSouterraine_MRC	Consommation de l'eau (m³/an) Consommation de l'eau souterraine (m³/an)
27. Stations de mesures		station_hydrometrique station_meteo station_piezo	Stations hydrométriques Station météorologique Piézomètre RSESQ
28. Recharge et résurgence		ZonesRechargeEtResurgence	#28 - Zones de recharge préférentielle et de résurgence
	X	R_Recharge	#28b - Recharge annuelle (mm/an)
	X	Zones_de_recharge_preferentielle	Zones de recharge préférentielles
	X	Zones_de_resurgence	Zone de résurgence
		Station	Source
29. Délimitation de la zone d'étude	X	ZoneEtude	Limite de la zone d'étude

Le projet mxd pour cet atelier

Afin de faciliter l'utilisation des **données géospatiales**, dans l'interface **ArcMap**, le **projet mxd** **PACES_LAMEMCN_ME.mxd** a été préparé par l'équipe de recherche de l'UQAC.

Présentation générale

Les différentes couches ont été classées par numéro de livrables pour faciliter les manipulations lors des exercices des activités 3 et 4. Les couches de la zone d'étude sont affichées par défaut.

Échelle d'affichage

Les étiquettes des noms des municipalités n'apparaissent qu'à partir d'une échelle inférieure à 1 : 250 000.

Conversion de couches

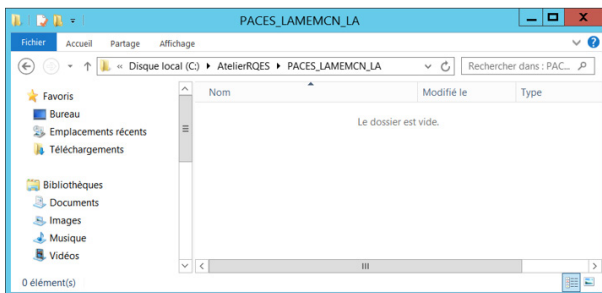
Certaines données vectorielles polygonales ont été converties en données matricielles pour que les géotraitements soient possibles.

Hyperliens

Des hyperliens ont été préparés afin d'afficher dans l'interface **ArcMap** les images des coupes hydrostratigraphiques interprétées en profondeur contenues dans le dossier **3_Reference/1_Levees PACES/ 5_Coupes_Stratigraphiques**.

Pour rendre fonctionnel les liens hypertexte, suivre les étapes suivantes (fichier **2_LISEZ-MOI**):

1. Ouvrir l'explorateur de fichier Windows en cliquant sur l'icône Ce PC.
2. Parcourir les dossiers jusqu'au dossier **PACES_LAMEMCN_ME**

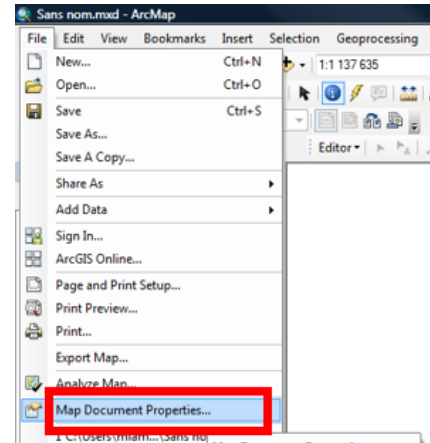


3. Sélectionner et copier l'adresse fournie en haut de la fenêtre

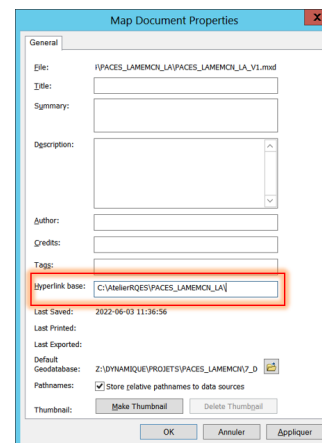


4. Ouvrir le projet ArcMap **PACES_LAMEMCN_ME_V1_10_6.mxd**

5. Dans le menu File choisir Map Document Properties...



6. Dans la fenêtre Map Document Properties inscrire dans le champ Hyperlink base le chemin d'accès permettant d'accéder au dossier **PACES_LAMEMCN_ME** et que vous avez copiez à l'étape #3. Normalement vous l'avez encore en mémoire dans le presse papier de l'ordinateur et n'avez qu'à faire Coller. Ajouter à la fin une barre oblique vers l'arrière (\ ou ALT + 92), Ex : **C:\AtelierRQES\PACES_LAMEMCN_ME**



7. Cliquer sur le bouton Appliquer et ensuite OK
8. Enregistrer le projet ArcMap.
NB. Si vous faites un sauvegarder sous... assurez-vous de sauvegarder votre nouveau fichier MXD dans le même dossier que le projet **PACES_LAMEMCN_ME_V1_10_6.mxd**
9. À l'aide de l'outil **Hyperlink** de la barre d'outils Tools, cliquez sur la trace d'une coupe de la **couche** **SectionLine** (*alias #14-Coupes stratigraphiques*).

Le projet mxd pour cet atelier

Table des matières de votre projet mxd pour cet atelier

Table Of Contents

		Carte principale
		Limite de la zone d'étude
		LES STATIONS
		Stations hydrogéologiques (Puits, Forages, Trou, etc.)
		Type (Link: Diagraphie)
		Source (Link: Rapport)
		Station (au roc vs dépôts)
		Type d'aquifère exploité (Station avec un niveau d'eau)
		Type de nappe exploitée (Station avec un niveau d'eau)
		Piézomètre RSESQ (2)
		Station météorologique (20)
		Stations hydrométriques (13)
		LES MILIEUX AQUIFÈRES (CONTENANT)
		Propriétés hydrauliques
		Station avec propriétés hydrauliques
		Conductivité hydraulique (m/s)
		Transmissivité (m2/s)
		Coupes stratigraphiques (PACES)
		Levés géophysiques
		Station de géophysique (Link: Figure)
		Ligne de géophysique (Link: Image)
		Dépôts meubles
		Moraine de St-Narcisse
		Esker (MRN, 2021)
		Dépôts de surface
		Dépôt de surface (MRN, 2021)
		Dépôt de surface (SIEF)
		Dépôts de surface (50k-100k-125k)
		Cartes géologiques
		Aires désignés_20k
		Aires désignés_100k
		Roc
		Affleurement
		Faïlles
		Faïlle régionale
		Faïlle fragile
		Faïlle ductile
		Lineaments
		Linéament
		Grain
		Socle rocheux
		Province géologique
		LA NAPPE PHRÉATIQUE (CONTENU)
		LA QUALITÉ
		Analyses géochimiques disponibles (Link: Rapport d'analyse)
		Campagne hydrogéochimie du PACES
		Type d'aménagement échantillonné (Link: Fiche de terrain)
		Type d'aquifère échantillonné (Link: Fiche de terrain)
		Dépassements et résultats d'analyse
		Niveau d'eau
		Niveau d'eau statique
		Niveau d'eau statique
		PHOTOS
		Quaternaire (2021)
		Section (Terrain 2018)
		Hydrogéochimie
		Forage
		Géophysique
		Toutes les photos
		APPROVISIONNEMENT EN EAU
		Type d'approvisionnement
		Milieu humain
		Agglomération
		Réseau routier
		Réseau routier principal
		Réseau routier (AQRéseau)
		Limite municipale
		Municipalité régionale de comté
		Milieu naturel
		Division topographique
		Réseau hydrographique (20k)
		Réseau hydrographique surfacique
		Réseau hydrographique linéaire
		Bassin versant principal (Niveau 1)
		DEM
		MNA 20k
		Sites de prélèvements
		Puits_municipaux_ME
		Puits_domestiques
		Exercices
		Question 1 - Puits
		Question 2 - Recharge
		Question 3 - Activité polluante

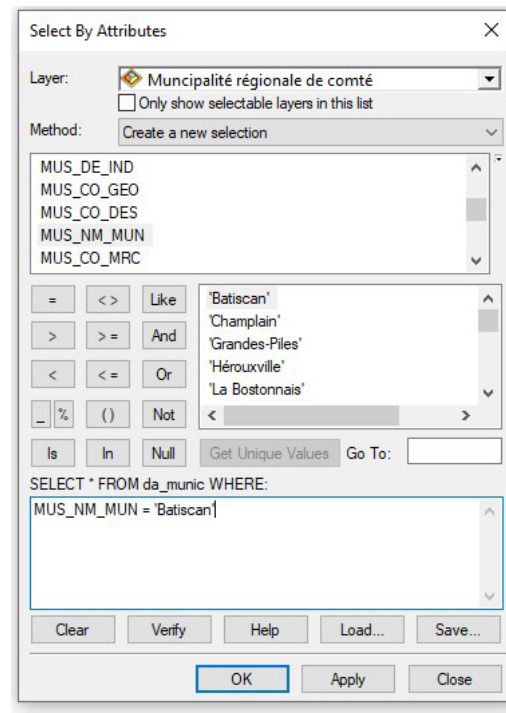
Table des matières de votre projet mxd pour cet atelier



Préparez vos données : découpage de votre territoire

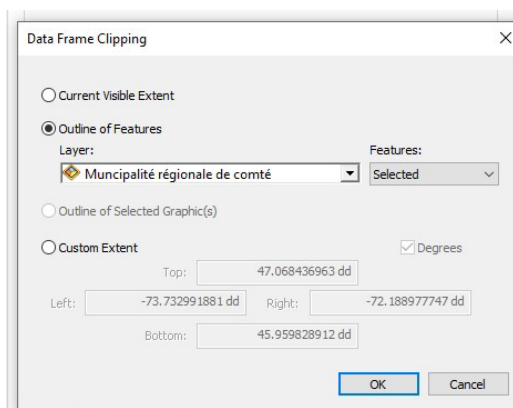
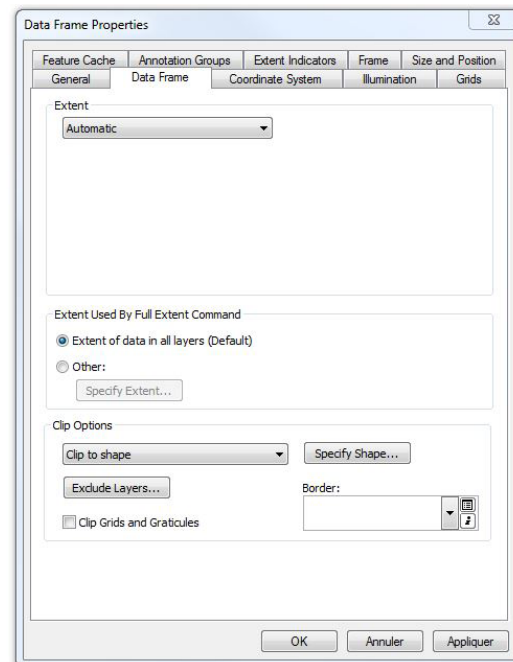
Sélectionnez votre territoire

1. Dans la barre de menu de l'interface ArcMap, ouvrez la fenêtre Select By Attributes du menu Selection.
2. Choisir la **couche** de la limite administrative contenant votre territoire dans le menu déroulant de Layer.
3. Sous Method, double cliquer sur l'attribut contenant le nom des territoires, cliquer sur le signe =, cliquer sur Get Unique Values, puis double cliquer sur le nom de votre territoire.
4. Faire OK.
5. En affichant la **couche** de la limite administrative contenant votre territoire dans ArcMap, votre territoire devrait maintenant être en surbrillance.



Découpez votre territoire

1. Ouvrez la fenêtre Data Frame Properties en cliquant avec le bouton droit de la souris sur le bloc de données **Carte principale** dans la table des matières du **projet mxd** et en sélectionnant Propriétés (aussi accessible via le menu View).
2. Sous l'onglet Data Frame, sélectionnez Clip to shape du menu déroulant de Clip Options puis cliquez sur Specify Shape.
3. Dans la fenêtre Data Frame Clipping, cochez Outline of Features, puis choisissez la couche contenant votre territoire dans le menu déroulant de Layer.
4. Dans le menu déroulant de Feature, choisissez Selected.
5. Faites OK deux fois.
6. Seules les données de votre territoire d'action devraient alors être affichables dans ArcMap.



La procédure ci-contre est montrée, à titre d'exemple, pour la MRC Batiscan.

3

**Interpréter les données
disponibles pour comprendre
l'hydrogéologie de votre
territoire d'action**

Épaisseur des dépôts meubles

Description

Le terme «**dépôt meuble**» renvoie à tout matériau granulaire ou sédiment (**sable**, **gravier**, **argile**, dépôts organiques, etc.) reposant sur la roche en place. Leur épaisseur est estimée en interpolant les données ponctuelles (provenant de forages, levés géophysiques, affleurements rocheux) pour lesquelles de l'information concernant la profondeur du socle rocheux sous les dépôts meubles est disponible. La qualité de l'estimation dans un secteur dépend en grande partie de la densité des données disponibles à proximité.

Couches de données géospatiales concernées

Nom de la couche	Description (Alias)	Contenu de la couche
 Station	<i>Sations et forages virtuels utilisés pour produire la couche Épaisseur des dépôts meubles</i>	Mesures d'épaisseur des dépôts meubles (points de contrôle) provenant des forages, des données géophysiques, des affleurements rocheux et des distributions de sédiments du Quaternaire
 Forage_Virtuel		
 EpaisseurDesDepotsMeubles	<i>Épaisseur des dépôts meubles</i>	Épaisseur totale en mètres des dépôts meubles

Interprétation générale de la couche d'informations

Légende : Épaisseur des dépôts meubles (m)		
Épaisseur des dépôts meubles (m)	Signification	Clés d'interprétation
 [0 - 1]	Épaisseur nulle ou très faible 1 m et moins	- Pas d'aquifère de dépôts meubles possible - Pas de couche imperméable (aquitard) qui protège les aquifères Aquifère de roc fracturé toujours présent
] 1 - 10]	Épaisseur faible 1 à 10 m	Aquifère de dépôts meubles au potentiel limité possible si les sédiments sont grossiers et suffisamment épais (ex. : + de 5 m de sable ou gravier) Aquitard pouvant causer des conditions de nappe semi-captive possible si des sédiments imperméables sont présents, mais peu épais (ex. : de 1 à 3 m d'argile ou de 3 à 5 m de sédiments fins) Aquifère de roc fracturé toujours présent sous les dépôts meubles
] 10 - 25]	Épaisseur moyenne 10 à 25 m	Aquifère de dépôts meubles au potentiel élevé possible si les sédiments sont grossiers et suffisamment épais (ex. : + de 10 m de sable ou gravier) Aquitard pouvant causer des conditions de nappe captive possible si des sédiments imperméables sont présents et suffisamment épais (ex. : + de 3 m d'argile ou + de 5 m de sédiments fins) Aquifère de roc fracturé toujours présent sous les dépôts meubles
] 25 - 50]	Épaisseur élevée 25 à 50 m	Aquifère de dépôts meubles au potentiel élevé possible si les sédiments sont grossiers et suffisamment épais (ex. : + de 10 m de sable ou gravier) Aquitard pouvant causer des conditions de nappe captive possible si des sédiments imperméables sont présents et suffisamment épais (ex. : + de 3 m d'argile ou + de 5 m de sédiments fins) Aquifère de roc fracturé toujours présent sous les dépôts meubles
] 50 - 75] ] 75 - 100] ] 100 - 205]	Épaisseur très élevée 50 m et plus	Aquifère de dépôts meubles au potentiel très élevé possible si les sédiments sont grossiers et relativement épais (ex. : + de 20 m de sable ou gravier) Aquitard pouvant causer des conditions de nappe captive possible si des sédiments imperméables sont présents et suffisamment épais (ex. : + de 3 m d'argile ou + de 5 m de sédiments fins) Aquifère de roc fracturé toujours présent sous les dépôts meubles



Questions d'interprétation

Où pourraient se situer les **aquifères** de **dépôts meubles** au potentiel élevé et très élevé sur mon territoire ? Quelle information principale est manquante pour confirmer la présence de ces **aquifères** ?

Où pourraient se situer les **aquitards** suffisamment épais pour causer des conditions d'**aquifère** à **nappe captive** sur mon territoire ? Quelle information principale est manquante pour confirmer la présence de ces **aquitards** ?

Y a-t-il des secteurs de mon territoire où l'estimation des épaisseurs des **dépôts meubles** est plus incertaine ? Si oui, lesquels ?

Les autres observations sur mon territoire d'action

Contextes hydrogéologiques et conditions de confinement

Description

Les contextes hydrostratigraphiques sont définis sur la base des séquences d'empilement vertical des **dépôts meubles** recouvrant le **roc fracturé**. La combinaison des données de forages, de la géologie des **dépôts meubles** et du roc, des épaisseurs de sédiments et des levés géophysiques permet de déterminer des séquences hydrostratigraphiques typiques qui exercent une influence sur les conditions d'écoulement et la qualité de l'**eau souterraine**. Ces séquences déterminent les **conditions de confinement** des aquifères et permettent de distinguer les aquifères à **nappe libre** des aquifères à **nappe captive** selon leur position par rapport à une unité imperméable constituée de sédiments fins (argile, silts ou till).

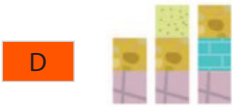
Tout autre paramètre étant égal, les **dépôts meubles** grossiers (de **sable** ou **gravier**) ont généralement un **potentiel aquifère** plus élevé que le **roc fracturé** et permettent ainsi le pompage d'un débit plus important d'eau souterraine.

Les images des coupes stratigraphiques interprétées en profondeur, que l'on peut consulter directement dans le **projet mxd** grâce aux hyperliens, permettent aussi d'avoir une meilleure compréhension des séquences hydrostratigraphiques.

Couches de données géospatiales concernées

Nom de la couche	Description (Alias)	Contenu de la couche
 ContextesHydrogeologiques_Raster	Contextes hydrogeologiques	Répartition spatiale de séquences hydrostratigraphiques-types de dépôts meubles sur le roc fracturé
 ContextesHydrogeologiques	Limite des roches sédimentaires	Limite des aquifères de roc fracturés sédimentaire
 LimiteArgile*	Argile	Limites des couches confinantes (aquitards)
 SectionLine	#14-Coupes stratigraphiques	Localisation des coupes stratigraphiques régionales

Interprétation générale de la couche d'informations

Légende : Contextes hydrogéologiques	Signification	Clés d'interprétation
	Roche cristalline affleurante	Aquifère semi-perméable en milieu fracturé à nappe libre**
	Roche sédimentaire sur roche cristalline	Deux aquifères semi-perméable en milieu fracturé et mixte à nappe libre
	Sable, gravier indifférencié sur roc	- Aquifère perméable en milieu poreux à nappe libre - Sur roche cristalline ou sédimentaire selon la limite spatiale de cette dernière
	Sable, gravier fluvioglaciaire sur roc	- Aquifère perméable d'origine fluvioglaciaire en milieu poreux à nappe libre - Sur roche cristalline ou sédimentaire selon la limite spatiale de cette dernière - Avec parfois un couche mince de sable au-dessus
	Argile, silt ou till (couche confinante aquitard) sur sable, gravier fluvioglaciaire sur roc	- Aquifère perméable d'origine fluvioglaciaire en milieu poreux à nappe captive*** - Sur roche cristalline ou sédimentaire selon la limite spatiale de cette dernière

Limite des milieux aquifères régionaux

Description

Les contextes hydrogéologiques sont obtenus à partir des séquences d'empilement possibles des milieux aquifères régionaux présents dans les dépôts meubles avec ceux du roc fracturé. Les limites de ces deux types de milieux aquifères ont été établies dans le cadre du PACES. Les limites des milieux aquifères sont définies selon la nature et la perméabilité des unités hydrostratigraphiques rencontrées.

Couches de données géospatiales concernées

Nom de la couche	Description (Alias)	Contenu de la couche
 MilieuxAquiferes_Fluvioglaciaire	Milieu aquifère (fluvioglaciaire)	Localisation des aquifères de sédiments fluvioglaciaires en surface
 MilieuxAquiferes_Fluvioglaciaire_Interpretes	Milieu aquifère interprété (fluvioglaciaire)	Localisation des aquifères de sédiments fluvioglaciaires en profondeur
 MilieuxAquiferes_NonDifferencies	Milieu aquifère (non différencié)	Localisation des aquifères de sédiments granulaires non différenciés
 MilieuxImpermeables	Milieu imperméable	Localisation des aquitards en surface
 MilieuxImpermeables_Interpretes	Milieu imperméable interprété	Localisation des aquitards en profondeur
 ContextesHydrogeologiques_Raster	#18b - Limites des aquifères fracturés	Limites des aquifères de roches cristallines et sédimentaires

Interprétation générale de la couche d'informations

Légende : Limite des aquifères de dépôts meubles	Signification	Clés d'interprétation
 Milieu aquifère (fluvioglaciaire)	Aquifère granulaire de sable, gravier fluvioglaciaires en surface	• Aquifère à nappe libre • Recharge moyenne à élevée • Vulnérabilité moyenne à élevée
 Milieu aquifère interprété (fluvioglaciaire)	Aquifère granulaire de sable, gravier fluvioglaciaires en profondeur	• Aquifère potentiellement à nappe captive • Recharge faible à moyenne • Vulnérabilité faible à moyenne
 Milieu aquifère (non différencié)	Aquifère granulaire de sable et gravier non différencié	• Aquifère à nappe libre • Recharge moyenne à élevée • Vulnérabilité moyenne à élevée
 Milieu imperméable	Aquitard en surface	• Unité imperméable constituée de sédiments fins (argile, silts ou till) • Couche confinante en surface qui confère des conditions de nappe captive • Recharge faible • Vulnérabilité faible
 Milieu imperméable interprété	Aquitard en profondeur	• Unité imperméable constituée de sédiments fins (argile, silts ou till) • Couche confinante en profondeur qui confère des conditions de nappe captive aux unités sous-jacentes

Légende : Limite des aquifères fracturés		Signification	Clés d'interprétation
 Affleurantes  Sous couverture		Aquifère de roche sédimentaire affleurant (en surface) et sous couverture (en profondeur)	• Aquifère à nappe libre avec recharge et vulnérabilité moyenne à élevée si affleurant • Aquifère potentiellement à nappe captive avec recharge et vulnérabilité faible si sous une couche confinante
 Affleurantes  Sous couverture		Aquifère de roche cristalline affleurant (en surface) et sous couverture (en profondeur)	• Aquifère à nappe libre avec recharge et vulnérabilité moyenne à élevée si affleurant • Aquifère potentiellement à nappe captive avec recharge et vulnérabilité faible si sous une couche confinante



Questions d'interprétation

Où se situent les aquifères granulaires en condition de **nappe libre** sur mon territoire ?

Où se situent les **aquitards** pouvant causer des conditions de **nappe captive** sur mon territoire ?

Où se situent les **aquifères de roc fracturé** sur mon territoire ?

Les autres observations sur mon territoire d'action

Piézométrie

Description

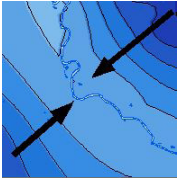
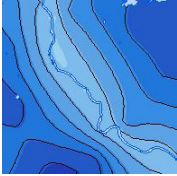
Le **niveau piézométrique** (ou **charge hydraulique**) correspond à l'élévation du niveau d'eau mesuré dans un puits. Dans un **aquifère à nappe libre**, le **niveau piézométrique** correspond à la surface de la **nappe** dans l'**aquifère**. Dans le cas d'un **aquifère à nappe captive**, le **niveau piézométrique** est différent de la surface de la **nappe** et représente l'élévation de la pression d'eau au sein de l'**aquifère**. Par exemple, si l'**aquifère** est situé sous 20 m d'**argile**, la surface de la **nappe** est limitée à 20 m de profondeur par la base de la couche d'**argile**. Le **niveau piézométrique** pourrait toutefois correspondre à une profondeur de 1 m sous la surface du sol, soit 19 m au-dessus de l'**aquifère**.

La **surface piézométrique** est interprétée en interpolant les données ponctuelles qui possèdent de l'information sur le niveau d'eau. Elle permet de connaître le sens de l'écoulement de l'**eau souterraine** dans l'**aquifère**, qui s'écoule des zones à piézométrie plus élevée vers celles où la piézométrie est plus basse et perpendiculairement aux lignes piézométriques.

Couches de données géospatiales concernées

Nom de la couche	Description (Alias)	Contenu de la couche
 PiezometrieRegionale	Élévation p/r au NMM (m)	Estimation des niveaux piézométriques (en mètres par rapport au niveau moyen de la mer)
 PiezometrieRegionale_IsoContour	Lignes piézométriques	Estimation des niveaux piézométriques représentés en courbes aux intervalles de 100 m (Hautes Terres) ou 20 m (Basses-Terres)

Interprétation générale de la couche d'informations

Légende : Niveau piézométrique (m)	Signification	Clés d'interprétation
	Niveau piézométrique et direction d'écoulement de l' eau souterraine	• Niveau piézométrique par rapport au niveau moyen de la mer (différent de la profondeur de la nappe) • Écoulement de l'eau souterraine depuis les élévations piézométriques plus élevées (amont) vers les plus faibles (aval) • Direction d'écoulement généralement vers les cours d'eau • Surface piézométrique souvent semblable à la topographie, mais adoucie (plus plane) • Renouvellement en eau des aquifères provient de l'écoulement souterrain depuis l'amont et non seulement de la recharge directement depuis la surface • Contamination possible depuis l'amont
	Forte pente de la surface piézométrique	• Isopièzes rapprochées • Écoulement souterrain rapide si la conductivité hydraulique de l'aquifère est élevée (ex. : composé de sable et de gravier) • Temps de résidence court de l'eau souterraine si la conductivité hydraulique de l'aquifère est élevée • Eau souterraine possiblement faiblement minéralisée, de bonne qualité probable, si la conductivité hydraulique de l'aquifère est élevée
	Faible pente de la surface piézométrique	• Isopièzes espacées • Écoulement souterrain lent si la conductivité hydraulique de l'aquifère est faible (ex. : composé de silt et d'argile) • Temps de résidence long de l'eau souterraine si la conductivité hydraulique de l'aquifère est faible • Eau souterraine possiblement minéralisée, de mauvaise qualité possible, si la conductivité hydraulique de l'aquifère est faible



Questions d'interprétation

Depuis et vers quel(s) territoire(s) s'écoule en général l'eau souterraine de mon territoire ?

Y a-t-il des secteurs qui montrent un écoulement plus rapide ou plus lent de l'eau souterraine sur mon territoire ?
Quelles sont les conséquences potentielles de cette vitesse d'écoulement sur la qualité de mon eau souterraine ?

Les autres observations sur mon territoire d'action

Recharge et résurgence

Description

La **recharge** annuelle (en mm/an) représente la quantité d'eau qui alimente l'**aquifère** depuis l'infiltration des précipitations en surface. Les principaux paramètres qui influencent la **recharge** sont les précipitations, l'évapotranspiration, la pente et les propriétés hydrogéologiques du sol. Le taux de **recharge** influence généralement la géochimie de l'**eau souterraine** de même que les **niveaux piézométriques**. Au Québec, on retrouve deux périodes importantes de **recharge**, soit la fonte printanière et la période automnale. Durant le reste de l'année, la **recharge** est plutôt ponctuelle suite à des événements importants de précipitation ou de fonte. Pour des précipitations similaires, des taux de **recharge** élevés sont généralement rencontrés dans les secteurs où la pente est faible et les dépôts meubles sont grossiers (**sable** et **gravier**) tandis que des taux de **recharge** faibles sont rencontrés dans les secteurs argileux.

Au terme de leur parcours souterrain, les eaux souterraines font **résurgence** en surface. Ces zones de résurgence sont en bonne partie diffuses (c.à.d. largement étendue), et se traduisent par la formation de milieux humides ou par l'exfiltration d'eau souterraine en bordure ou même au fond des cours d'eau. Elles peuvent aussi parfois être ponctuelles (c.à.d. en un point précis) et ainsi former des **sources** ou des têtes de ruisseaux situés en pied de talus.

Couches de données géospatiales concernées

Nom de la couche	Description (Alias)	Contenu de la couche
 R_Recharge	Recharge annuelle (mm/an)	Estimation de la recharge dans l' aquifère de roc fracturé en millimètres par an
 Zones_de_recharge_preferentielle	Zones de recharge préférentielles	Zones de recharge préférentielles, cad où plus de 25% des précipitations peuvent s'infiltrer
 Zones_de_resurgence	Zone de résurgence	Zones de résurgence de l' eau souterraine
 Station	Localisation des sources	Sources (résurgences d'eau souterraine ponctuelles)

Interprétation générale de la couche d'informations

Légende : Recharge (mm/an)	Signification	Clés d'interprétation
 [81 - 100]	Recharge nulle ou faible 0 à 100 mm/an	- Présence probable de dépôts meubles peu perméables en surface - Renouvellement de l'eau souterraine très lent Vulnérabilité probablement faible Eau souterraine possiblement minéralisée, de mauvaise qualité possible
] 100 - 180] ] 180 - 250]	Recharge moyenne 100 à 250 mm/an	- Présence probable de dépôts meubles modérément perméables en surface - Renouvellement de l'eau souterraine peu rapide Vulnérabilité probablement moyenne Eau souterraine possiblement modérément minéralisée, de qualité potentielle passable
] 250 - 442]	Recharge élevée 250 mm/an et plus	- Présence probable de dépôts meubles perméables en surface, ou affleurement rocheux - Renouvellement de l'eau souterraine rapide Vulnérabilité probablement élevée Eau souterraine possiblement peu minéralisée, de bonne qualité potentielle
	Recharge préférentielle	- Présence probable de dépôts meubles perméables en surface, ou affleurement rocheux - Renouvellement de l'eau souterraine rapide Vulnérabilité probablement élevée Eau souterraine possiblement peu minéralisée, de bonne qualité potentielle

Légende : Résurgence	Signification	Information générale à tirer de la notion
 Zone de résurgence	Zones de résurgence diffuses	• Pas de recharge • Le niveau piézométrique est au-dessus de la surface topographique
	Zones de résurgence ponctuelles	• Pas de recharge • Source d'eau souterraine

NOTE: Comment les zones de recharge peuvent-elles être à la fois des zones de résurgence?

Étant donné que les deux types de zones ont été établis selon deux méthodes distinctes, sur la carte, un secteur peut se retrouver à la fois dans une zone de recharge préférentielle et de résurgence. Ce résultat illustre bien les limites de certaines approches utilisées pour produire des livrables à une échelle régionale. Entre autres, la présence de l'argile, surtout en profondeur, est souvent oubliée. Dans les Basses-Terres, l'argile est omniprésente et le gradient de charge hydraulique est probablement vers le haut (contexte de résurgence) principalement pour les écoulements arrivant des Hautes-Terres, et circulant dans le roc. Par contre, la couche de sables littoraux de surface, présente au-dessus de l'argile, implique un contexte favorable à l'infiltration des précipitations, et donc constitue aussi une zone de recharge préférentielle pour l'aquifère de surface.

Questions d'interprétation

Où se situent les zones de renouvellement rapide de l'[eau souterraine](#) sur mon territoire ? Quels facteurs en sont principalement responsables ?

Où se situent les zones de renouvellement très lent de l'[eau souterraine](#) sur mon territoire ? Quels facteurs en sont principalement responsables ?

Où se situent les zones de [résurgence](#) sur mon territoire ? Quelles en sont les causes principales ?

Les autres observations sur mon territoire d'action

Vulnérabilité

Description

La méthode la plus utilisée pour évaluer la **vulnérabilité** des **aquifères** est la méthode **DRASTIC**, qui permet d'évaluer la sensibilité à la pollution de l'**eau souterraine** à partir de l'émission de contaminants à la surface du sol. Sept paramètres sont interprétés individuellement, puis combinés pour obtenir un indice de **vulnérabilité DRASTIC** : la profondeur de la **nappe**, la **recharge**, la nature de l'**aquifère**, la texture du sol en surface, la topographie, la nature de la **zone vadose** et la **conductivité hydraulique** de l'**aquifère**. L'indice **DRASTIC** peut varier de 23 à 226. Plus l'indice est élevé, plus l'aquifère est vulnérable à la contamination.

Couches de données géospatiales concernées

Nom de la couche	Description (Alias)	Contenu de la couche
 VulnerabiliteDesAquiferes	Indice DRASTIC	Indice de vulnérabilité DRASTIC des eaux souterraines appliqué au premier aquifère rencontré en surface

Interprétation générale de la couche d'informations

Légende : Indice DRASTIC	Signification	Clés d'interprétation**
 [52 - 75]  [75 - 100]	Vulnérabilité faible indice de 100 ou moins*	• Aquifère bien protégé de la contamination provenant directement de la surface • On retrouve plusieurs des caractéristiques suivantes : • (D) Profondeur de la nappe élevée • (R) Recharge faible • (A) Aquifère peu perméable • (S) Sol en surface peu perméable • (T) Forte pente du sol • (I) Zone vadose peu perméable • (C) Faible conductivité hydraulique de l'aquifère
 [100 - 125]  [125 - 150]  [150 - 180]	Vulnérabilité moyenne indice entre 100 et 180*	• Aquifère modérément protégé de la contamination provenant directement de la surface • On retrouve plusieurs des caractéristiques suivantes : • (D) Profondeur de la nappe moyenne • (R) Recharge moyenne • (A) Aquifère modérément perméable • (S) Sol en surface modérément perméable • (T) Pente du sol moyenne • (I) Zone vadose modérément perméable • (C) Conductivité hydraulique de l'aquifère moyenne
 [180 - 204]	Vulnérabilité élevée indice de 180 ou plus*	• Aquifère peu protégé de la contamination provenant directement de la surface • On retrouve plusieurs des caractéristiques suivantes : • (D) Profondeur de la nappe faible • (R) Recharge élevée • (A) Aquifère très perméable • (S) Sol en surface très perméable • (T) Faible pente du sol • (I) Zone vadose très perméable • (C) Conductivité hydraulique de l'aquifère élevée

* Limites définies en fonction du Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (Q-2, r 35.2, Article 53).

** Aucun indice sur la protection d'une contamination provenant de l'écoulement souterrain latéral



Questions d'interprétation

Où se situent les zones à **vulnérabilité** élevée sur mon territoire ? Quelles caractéristiques du milieu en sont principalement responsables ?

Où se situent les zones à faible **vulnérabilité** sur mon territoire ? Quelles caractéristiques du milieu en sont principalement responsables ?

Pourquoi la méthode **DRASTIC** est-elle imparfaite pour estimer la **vulnérabilité** des **aquifères** de mon territoire ? Quels autres facteurs dois-je surveiller pour juger du risque de contamination de mon **eau souterraine** ?

Les autres observations sur mon territoire d'action

Qualité de l'eau

Description

La qualité de l'eau s'évalue en comparant les constituants physicochimiques de l'eau aux normes et recommandations existantes. Les **concentrations maximales acceptables (CMA)** sont des normes visant à éviter des risques pour la santé humaine. Les **objectifs esthétiques (OE)** sont des recommandations concernant les caractéristiques esthétiques de l'eau (couleur, odeur, goût et autres désagréments), mais n'ayant pas d'effet néfaste reconnu sur la santé humaine.

Couches de données géospatiales concernées

Nom de la couche	Description (Alias)	Contenu de la couche
 Depassement_Geochimie_XY	#24 - Qualité de l'eau (CMA) Dépassement CMA (x) Selon le type d'aquifère	Dépassements des concentrations maximales acceptables (CMA) Le nombre de dépassements est indiqué entre parenthèses (x).
 Depassement_Geochimie_XY	#25 - Qualité de l'eau (OE) Dépassement OE (x) Selon le type d'aquifère	Dépassements des objectifs esthétiques (OE) . Le nombre de dépassements est indiqué entre parenthèses (x).

Interprétation générale des couches d'informations

Légende : Dépassement des critères de qualité de l'eau	Signification	Clés d'interprétation
Dépassement CMA  aucun  nitrites-nitrates (NO ₂ -NO ₃)  Manganèse (Mn)  Fluor (F)  Plomb (Pb)  Strontium (Sr)	En blanc: aucun dépassement des concentrations maximales acceptables (CMA) En couleur : dépassement de la concentration maximale acceptable (CMA) La forme indique le type d'aquifère dans lequel l'échantillon a été prélevé: △ inconnu, ○ granulaire ou □ roc fracturé	• Eau souterraine de bonne qualité • Potable • Sans risque pour la santé
Dépassement OE*  (0)  (1)  (2)  (3)  (4)  (5)  (6)  (7)	En blanc : aucun dépassement de l' objectif esthétique (OE) En rouge: dépassement de l' objectif esthétique (OE) Le nombre de dépassements est indiqué entre parenthèses. La forme indique le type d'aquifère dans lequel l'échantillon a été prélevé: △ inconnu, ○ granulaire ou □ roc fracturé	• Eau souterraine de bonne qualité • Potable • Sans risque pour la santé

*Pour connaître les paramètres des OE dépassés, consulter la table d'attributs.



Questions d'interprétation

Les puits ayant une eau non potable sont-ils nombreux sur mon territoire? Dans quel(s) secteur(s) sont-ils concentrés?

Quels sont les paramètres pour lesquels les **concentrations maximales acceptables** et les **objectifs esthétiques** sont souvent dépassés sur mon territoire ?

Quels sont les paramètres liés à un impact anthropique sur la qualité de l'eau?

Quels sont les secteurs où l'évolution de la qualité de l'eau devrait être surveillée de plus près?

Les autres résultats du PACES

Résultat du PACES	Description	Intérêt	Clés d'interprétation
Topographie	Variation de l'élévation de la surface du sol.	À l'échelle régionale, la topographie influence le bilan hydrique, les directions d'écoulement des eaux souterraines et les zones de recharge et de résurgence des aquifères .	En général, l'écoulement souterrain régional se fait depuis les hauts topographiques (qui sont souvent des zones de recharge des aquifères) vers les bas topographiques.
Routes et limites municipales	Limites de la zone d'étude du PACES, des MRC et des municipalités. Autoroutes, routes et rues.	Permet de localiser les données acquises sur l' eau souterraine et les points d'intérêt avoisinants.	s.o.
Modèle numérique de terrain	Voir Topographie		
Pente du sol	Pente de la surface du sol exprimée en degrés.	La pente du sol influence le bilan hydrique, dont la recharge des aquifères , et la vulnérabilité .	Une pente forte signifie plus de ruissellement à la surface du sol, moins d'infiltration d'eau dans le sol pour recharger les aquifères et une vulnérabilité potentiellement plus faible.
Hydrographie	Distribution spatiale des cours d'eau (ruisseaux, rivières et fleuve) et des plans d'eau (lacs).	Les cours d'eau et les plans d'eau de surface correspondent habituellement à des zones de résurgence de l' eau souterraine .	Au Québec, ce sont les eaux souterraines qui alimentent les cours d'eau et les plans d'eau, et non le contraire.
Limite de bassins versants	Territoire délimité par les crêtes topographiques à l'intérieur duquel l'eau s'écoule vers le même exutoire.	Cette délimitation du territoire permet une gestion intégrée de l'eau de surface et de l' eau souterraine .	À l'échelle régionale, les bassins versants des eaux souterraines sont très semblables à ceux des eaux de surface.
Occupation du sol	Usages qui sont faits de la surface du territoire.	Une connaissance de l'occupation du sol est utile pour cibler les secteurs où les activités sont susceptibles d'exercer une pression sur la ressource en eaux souterraines et d'en modifier la qualité ou la quantité. L'occupation du sol influence aussi le cycle de l'eau.	Par exemple, en zone urbaine dense, le ruissellement de l'eau à la surface du terrain est généralement élevé, réduisant ainsi la recharge . Le risque de contamination des aquifères est plus élevé là où les activités humaines sont plus nombreuses.
Couverture végétale	L'ensemble des végétaux qui recouvrent le sol.	Les plantes jouent un rôle significatif sur le cycle de l'eau en réduisant le ruissellement de surface et en retournant une portion des précipitations vers l'atmosphère par évapotranspiration. Une part des précipitations est interceptée par le feuillage des plantes et est directement évaporée vers l'atmosphère. Aussi, les végétaux retirent une partie de l'eau contenue dans le sol et l'accumulent dans leurs tissus ou la retournent vers l'atmosphère par transpiration.	En zone de couvert forestier, l'évapotranspiration des plantes est importante, réduisant ainsi la recharge en période estivale. Par contre, le couvert forestier diminue le ruissellement et favorise l'infiltration de l'eau, et donc la recharge , au printemps et à l'automne.
Milieux humides	Terres qui sont inondées ou saturées en eau assez longtemps pour modifier la composition du sol ou de la végétation.	Au même titre que les cours d'eau ou les plans d'eau, les milieux humides peuvent être des lieux d'échanges importants entre l'eau de surface et l' eau souterraine .	Les échanges avec l' eau souterraine sont complexes. Les milieux humides sont parfois des zones de résurgence .
Affectation du territoire	Attribution à un territoire d'une utilisation, d'une fonction ou d'une vocation déterminée.	L'affectation du territoire peut servir à protéger les aquifères et à gérer durablement les eaux souterraines .	Par exemple, la protection des aquifères pourrait être priorisée dans les zones de recharge préférentielle et de vulnérabilité élevée des aquifères .
Pédologie	Les types de sol et leurs propriétés (généralement le premier mètre sous la surface).	La connaissance de la composition des sols aide à la compréhension de plusieurs processus dynamiques liés à l'eau, notamment l'infiltration de l'eau dans le sol et la vulnérabilité des nappes souterraines .	Un sol peu perméable contribue à limiter la recharge et à diminuer la vulnérabilité des aquifères .

Résultat du PACES	Description	Intérêt	Clés d'interprétation
Géologie du roc	Distribution spatiale des différentes formations rocheuses et des principales failles et autres caractéristiques structurales.	Lorsque les réseaux de fractures dans les roches sont suffisamment interconnectés, la formation géologique constitue un aquifère et des puits peuvent y être aménagés pour exploiter la ressource.	L' aquifère de roc fracturé couvre l'ensemble de la zone d'étude. L' eau souterraine peut y résider suffisamment longtemps pour dissoudre une partie des minéraux contenus dans la roche, affectant ainsi à la baisse la qualité de l' eau souterraine .
Géologie du Quaternaire	Distribution spatiale des dépôts meubles en surface.	Selon leur nature, les dépôts meubles ont des propriétés hydrauliques variables qui influencent l'écoulement de l' eau souterraine .	Les dépôts meubles peu perméables, comme l' argile , confinent les aquifères sous-jacents, limitant leur recharge , mais diminuant leur vulnérabilité .
Coupes hydro-stratigraphiques	Représentation de la superposition des différentes couches géologiques (dépôts meubles et roc) rencontrées en profondeur.	Permet d'apprécier la continuité, l'étendue et l'épaisseur des unités géologiques ayant des propriétés hydrauliques similaires.	Permet de localiser les milieux desquelles l' eau souterraine peut facilement être extraite (aquifères) des milieux qui permettent difficilement à l'eau d'y circuler (aquitards).
Topographie du roc	Variation de l'altitude du toit du socle rocheux.	La topographie du roc sert, entre autres, à identifier les dépressions (creux) importantes du roc où peut s'accumuler une grande quantité de dépôts meubles .	Potentiel aquifère intéressant si les sédiments accumulés dans les dépressions du roc sont grossiers (sables et graviers).
Propriétés hydrauliques	Paramètres permettant de caractériser l'aptitude d'une unité géologique à contenir de l'eau et à la laisser circuler (ex. : porosité , conductivité hydraulique).	Permet de déterminer le caractère aquifère ou aquitard du milieu.	La perméabilité diminue généralement avec la profondeur dans le roc, car la fracturation du roc devient de moins en moins importante avec la profondeur.
Activités potentiellement polluantes	Densité des activités potentiellement polluantes, pondérée par le poids de l'impact de ces activités.	Fait ressortir les tendances régionales de la pression que ces activités pourraient exercer sur la qualité de l' eau souterraine .	Les activités polluantes devraient être évitées le plus possible dans les zones de recharge et de vulnérabilité élevée.
Utilisation de l'eau	Volumes d'eau consommée annuellement pour chaque MRC par type d'eau (de surface ou souterraine) et par type d'utilisation (résidentielle, agricole, industrielle/commerciale/institutionnelle).	Utile pour la gestion durable de l' eau souterraine et pour estimer les besoins futurs.	Les interventions pour l'augmentation des prélèvements et la protection de l' eau souterraine devraient refléter l'utilisation de la ressource.
Stations de mesure/Travaux de terrain/Lieux physiques	Répartition spatiale des stations de mesures en continu pour la météorologie, l'hydrométrie (débit des principaux cours d'eau) et le niveau piézométrique .	Permet de visualiser la disponibilité de ce type de données utiles pour les études hydrogéologiques.	Permet par exemple de voir où des mesures sont prises pour pouvoir suivre les débits des rivières et les niveaux d' eau souterraine dans le temps pour étudier les changements.

4

**Mon territoire d'action face
à des enjeux de protection
et de gestion des eaux
souterraines**

Déroulement

Vous devrez choisir une des trois questions suivantes et y répondre à l'aide des critères d'analyse proposés:

1. Si demain vous devez rechercher une nouvelle source d'eau potable souterraine, quelle zone serait la plus propice sur votre territoire d'action? (p.57)
2. Quelles zones devraient être protégées en priorité pour la recharge? (p.69)
3. Où pourrait-on implanter une nouvelle activité potentiellement polluante afin de minimiser son impact sur la qualité des eaux souterraines? (p.79)

Application d'une procédure d'analyse spatiale sur son territoire d'action

L'objectif de cette activité est d'apprendre à analyser les données géospatiales sur les eaux souterraines de votre territoire afin de répondre à un enjeu de gestion et de protection des eaux souterraines.

Cette activité se déroule en binômes, à l'aide du logiciel ArcGIS. Vous devez appliquer sur votre territoire d'action la démarche décrite dans le cahier du participant. Les animateurs et les experts pourront répondre à vos questions techniques de géomatique ou qui portent sur l'hydrogéologie.

Question 1

Si demain vous devez rechercher une nouvelle source d'eau potable souterraine, quelle zone serait la plus propice sur votre territoire d'action ?

Synthèse du cheminement d'expert

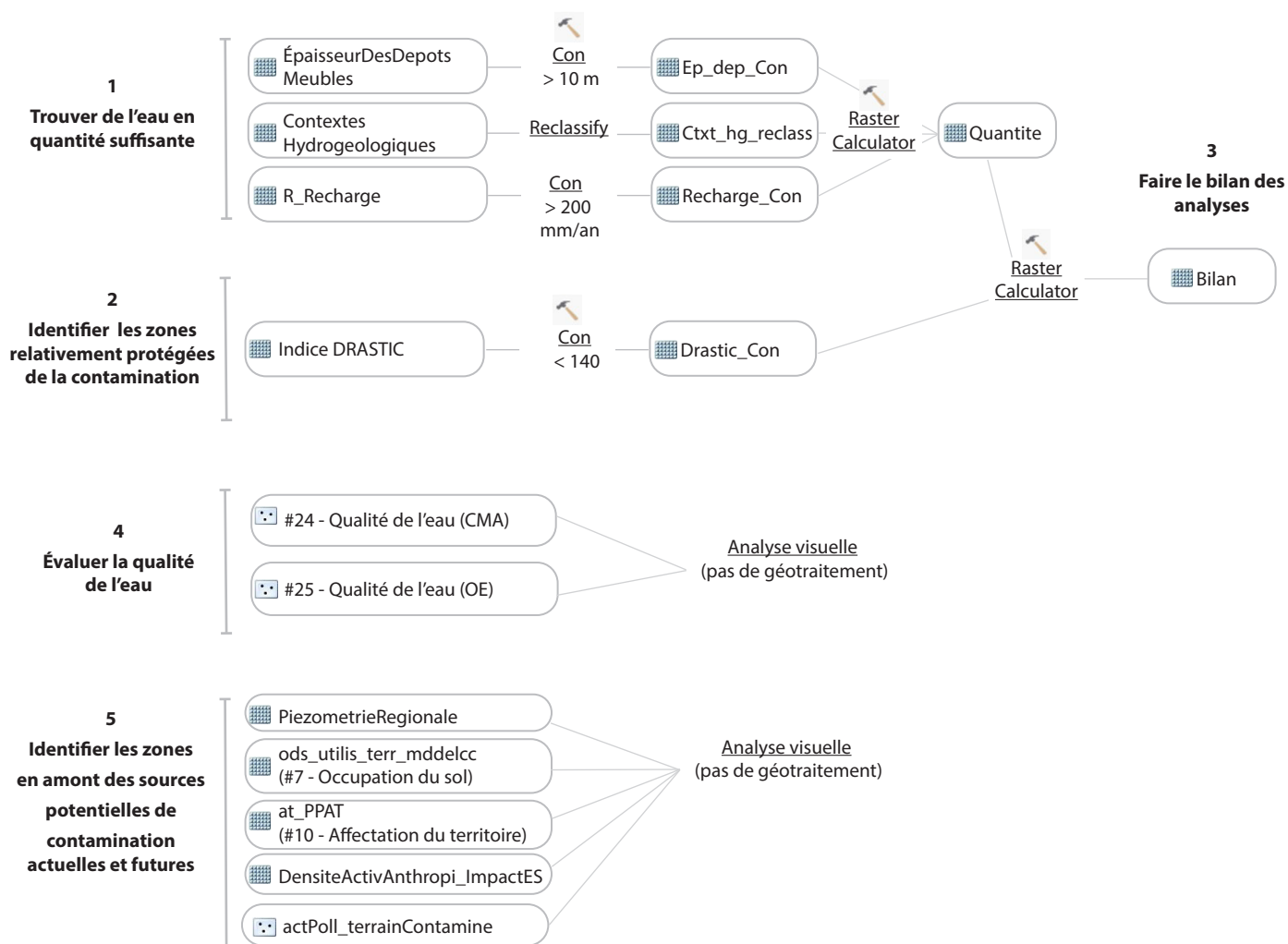
Question

Si demain vous devez rechercher une nouvelle source d'eau potable souterraine, quelle zone serait la plus propice sur votre territoire d'action ?

Ce qui est recherché

1. Trouver de l'eau en quantité suffisante
2. Identifier les zones relativement protégées de la contamination
3. Faire le bilan des analyses faisant appel au géotraitement
4. Évaluer la qualité de l'eau
5. Identifier les zones en amont des sources potentielles de contamination actuelles et futures

Le géotraitement proposé avec les données disponibles



1. Trouver de l'eau en quantité suffisante

Les paramètres d'analyse proposés

Paramètres d'analyse	Pourquoi ?	Limites et commentaires
Présence d'aquifères granulaires d'épaisseur suffisante	- Les aquifères granulaires ont généralement une conductivité hydraulique assez élevée pour permettre le pompage d'un débit adéquat pour alimenter un réseau d'aqueduc. - Les aquifères de roc fracturé ont souvent une conductivité hydraulique relativement faible qui permet difficilement le pompage d'un débit supérieur à celui nécessaire pour alimenter une résidence isolée.	- Contrairement à l'aquifère de roc fracturé que l'on retrouve partout sur le territoire, les aquifères granulaires sont plus rares. - Une épaisseur de dépôts meubles minimale est nécessaire, car le pompage induit un cône de dépression dans le niveau de la nappe. Une épaisseur trop faible, combinée à un pompage relativement important, peut résulter en un assèchement du puits.
Recharge élevée	Pour s'assurer que le prélèvement de l'eau soit durable dans le temps, le débit pompé doit être inférieur à la recharge de l'aquifère.	- Plus la quantité de personnes à alimenter sera élevée, plus la recharge dans l'aire d'alimentation du puits devra être élevée. - La superficie de l'aire d'alimentation d'un puits dépend du débit pompé : plus le débit est important, plus la superficie de l'aire d'alimentation sera grande.

Les critères d'analyse proposés pour le traitement des données géospatiales

Paramètres d'analyse	Notions hydrogéologiques	Données à utiliser	Description (<i>Alias</i>)	Critères
Présence potentielle d'aquifères granulaires d'épaisseur suffisante	Épaisseur des dépôts meubles	 <i>EpaisseurDesDepots meubles</i>	<i>Épaisseur des dépôts meubles</i>	- Épaisseur moyenne : 10 à 25 m - Épaisseur élevée : 25 à 50 m - Épaisseur très élevée : 50 m et plus
	Contextes hydrogéologiques	 Contextes Hydrogeologiques_Raster	<i>Contextes hydrogéologiques</i>	Présence de sédiments granulaires dans la séquence hydrostratigraphique (contextes C, D, E, F, G)
Recharge élevée	Recharge et résurgence	 R_Recharge	<i>#28b - Recharge annuelle</i>	- Recharge moyenne : 100 à 250 mm/an - Recharge élevée : 250 mm/an et plus



Procédure étape par étape

À chacune des étapes suivantes, allez chercher le Input raster dans le fichier mxd et enregistrez les couches créées dans **Exercice.gdb**. Glissez les ensuite dans le dossier **Exercices / Question 1 - Puits** de la Table contents et mettre les valeurs de 0 de la légende en transparence pour faciliter l'affichage des résultats.

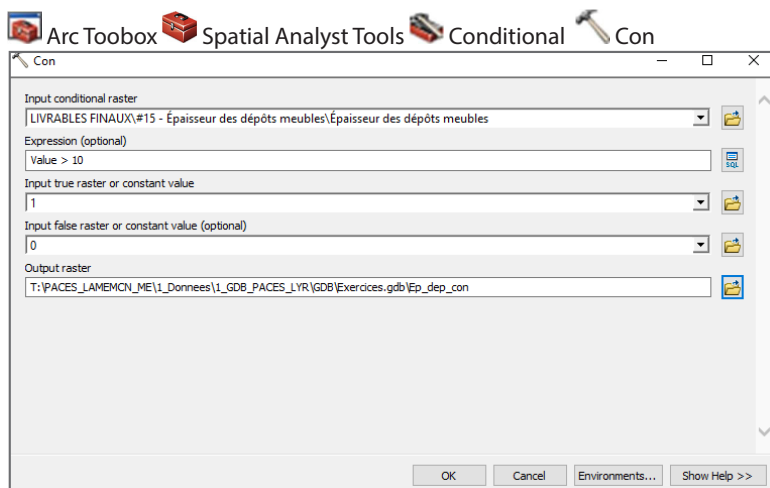
ÉPAISSEUR DES DÉPÔTS MEUBLES

Identifier les cellules de **Épaisseur DesDepôtsMeubles** (*alias: Épaisseur des dépôts meubles*) qui répondent au critère en effectuant le géotraitement ci-contre.

Enregistrer la nouvelle couche **Ep_dep_Con** sous **Exercice.gdb**.

Les cellules de **Ep_dep_Con** ayant une valeur de 1 correspondent au critère.

Les cellules de **Ep_dep_Con** ayant une valeur de 0 ne correspondent pas au critère.

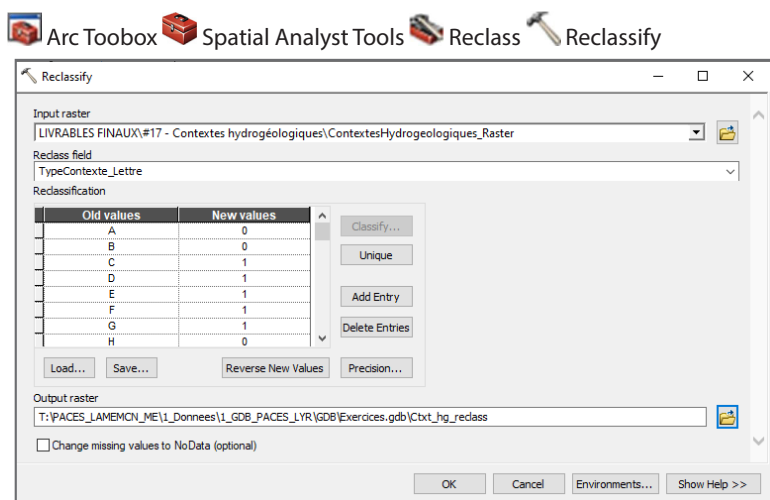


CONTEXTES HYDROSTRATIGRAPHIQUES

Identifier les cellules de **ContextesHydrogeologiques** (*alias: Contextes hydrogeologiques*) qui répondent aux critères en effectuant le géotraitement ci-contre.

Enregistrer la nouvelle couche **Ctxt_hg_reclass** sous **Exercice.gdb**.

Les cellules de **Ctxt_hg_reclass** ayant une valeur de 1 correspondent aux critères.

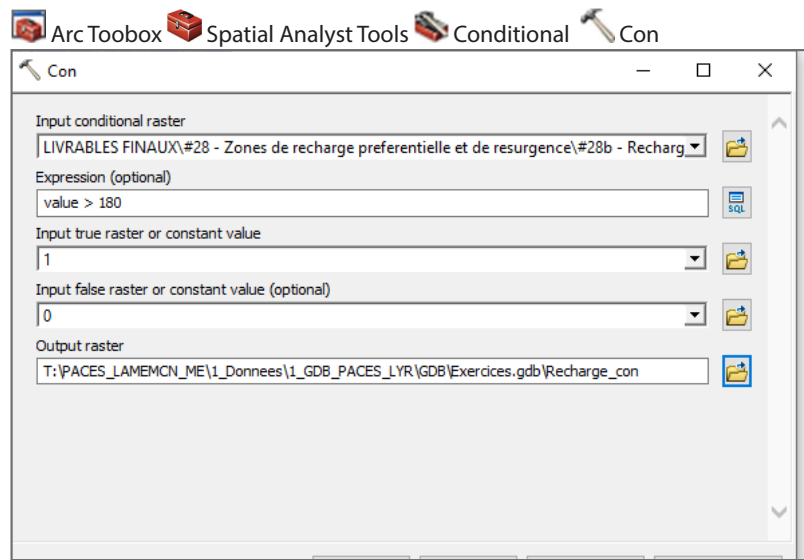


RECHARGE ET RÉSURGENCE

Identifier les cellules de **R_Recharge** (*alias: Recharge annuelle*) qui répondent aux critères en effectuant le géotraitement ci-contre.

Enregistrer la nouvelle couche **Recharge_Con** sous **Exercice.gdb**.

Les cellules de **Recharge_Con** ayant une valeur de 1 correspondent aux critères.



BILAN

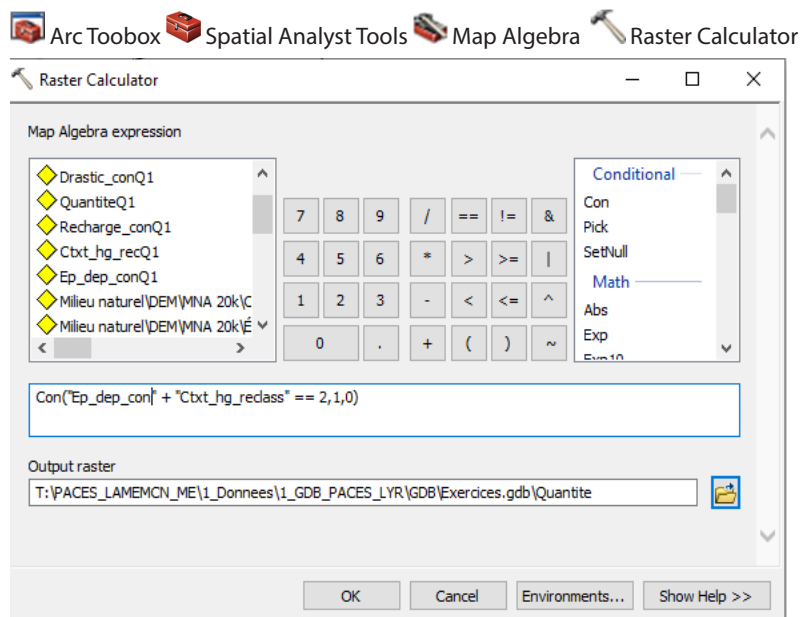
Puisque les contextes hydrostratigraphiques retenus pour leur potentiel aquifère sont majoritairement en zones captives, cela implique que la recharge ne peut pas y être élevée. On se retrouve donc avec très peu de résultats pour la couche **Quantite**. Pour cette raison, nous n'utiliserons pas la couche **Recharge_Con** dans le géotraitement suivant.

Combiner les résultats des couches **Ep_dep_Con** et **Ctxt_hg_reclass** en effectuant le calcul ci-contre.

Le calcul conditionnel est inscrit en langage de programmation Python supporté par ArcGIS. Il peut être décrit ainsi : pour une cellule de la matrice, si la condition avant la première virgule est vraie, alors la cellule prend la valeur indiquée après la première virgule, sinon elle prend la valeur indiquée après la deuxième virgule. Dans ce cas-ci, si la somme de l'addition des trois couches est 3, alors la cellule prend la valeur de 1, sinon elle prend la valeur de 0.

Enregistrer la nouvelle couche **Quantite** sous **Exercice.gdb**.

Les cellules de **Quantite** ayant une valeur de 1 correspondent aux zones où il y aurait présence d'eau souterraine en quantité suffisante.



2. Identifier les zones relativement protégées de la contamination

Les paramètres d'analyse proposés

Paramètres d'analyse	Pourquoi ?	Limites et commentaires
Aquifère peu vulnérable	En s'assurant que l'aquifère est relativement protégé de potentielles contaminations provenant des activités humaines en surface, les interventions nécessaires pour diminuer le risque de contamination sont diminuées.	- Un aquifère à vulnérabilité élevée pourrait être considéré, mais il faudra accorder une attention rigoureuse aux sources de contamination dans l'aire d'alimentation et l'eau prélevée pourrait potentiellement devoir être traitée. - Un indice de vulnérabilité est subjectif. Il faut être prudent dans l'interprétation de son résultat. - La vulnérabilité DRASTIC ne considère que ce qui provient par infiltration depuis la surface, sans considérer ce qui peut provenir de l'écoulement souterrain latéral. - Pour tenir compte du risque de contamination, la vulnérabilité n'est pas suffisante : il faut y jumeler l'impact des activités humaines présentant un danger potentiel de contamination, incluant la toxicité du contaminant, la quantité de contaminants associés à l'activité, la zone d'impact et la fréquence du rejet. Il faut donc inventorier les activités potentiellement polluantes sur le territoire de l'aquifère et qualifier leur impact potentiel sur la qualité de l'eau souterraine.
Toutes les conditions de confinement	- Il peut être plus avantageux d'exploiter un aquifère à nappe captive, car grâce à l'aquitard sus-jacent, il est protégé de la contamination provenant de la surface. - Les aquifères à nappe libre ont l'avantage de recevoir plus de recharge et l'eau y est typiquement de bonne qualité.	- L'eau de l'aquifère à nappe captive est possiblement de moins bonne qualité, car son temps de résidence peut être élevé, se chargeant ainsi en minéraux. Aussi, sa recharge est plus faible. - Les aquifères à nappe libre sont plus vulnérables à la contamination provenant de la surface.

Les critères d'analyse proposés pour le traitement des données géospatiales

Paramètres d'analyse	Notions hydrogéologiques	Données à utiliser	Description (<i>Alias</i>)	Critères
Aquifère peu vulnérable	Vulnérabilité	 VulnérabilitéDesAquiferes	<i>Indice DRASTIC</i>	- Vulnérabilité faible : indice de 100 ou moins - Vulnérabilité moyenne : indice entre 100 et 180
Toutes les conditions de confinement	Conditions de confinement	 ContextesHydrogeologiques	<i>Contextes hydrogéologiques</i>	Toutes les conditions de confinement



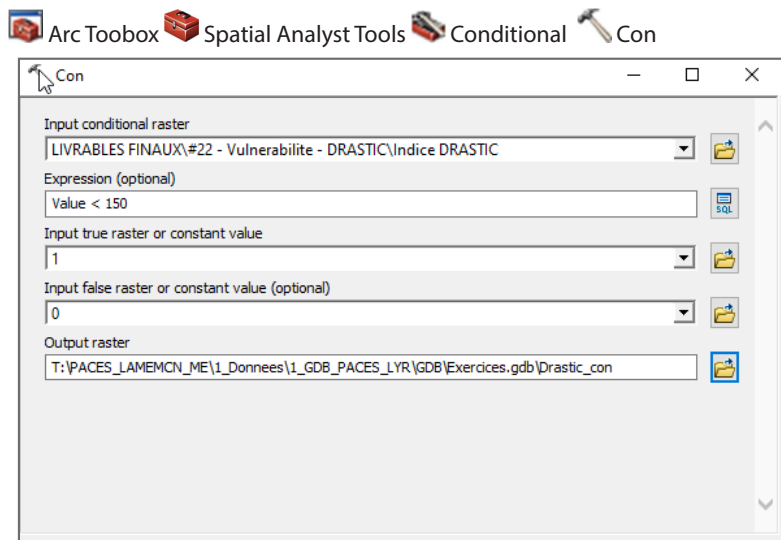
Procédure étape par étape

VULNÉRABILITÉ

Identifier les cellules de  **Vulnerabilite DesAquiferes** (alias : *Indice DRASTIC*) qui répondent aux critères en effectuant le géotraitement ci-contre.

Enregistrer la nouvelle couche  **Drastic_Con** sous  **Exercice.gdb**.

Les cellules de  **Drastic_Con** ayant une valeur de 1 correspondent aux zones où les aquifères seraient relativement protégés de la contamination.



CONDITIONS DE CONFINEMENT

Aucune analyse à faire puisque toutes les conditions de confinement sont considérées par les critères.

3. Faire le bilan des analyses faisant appel au géotraitement



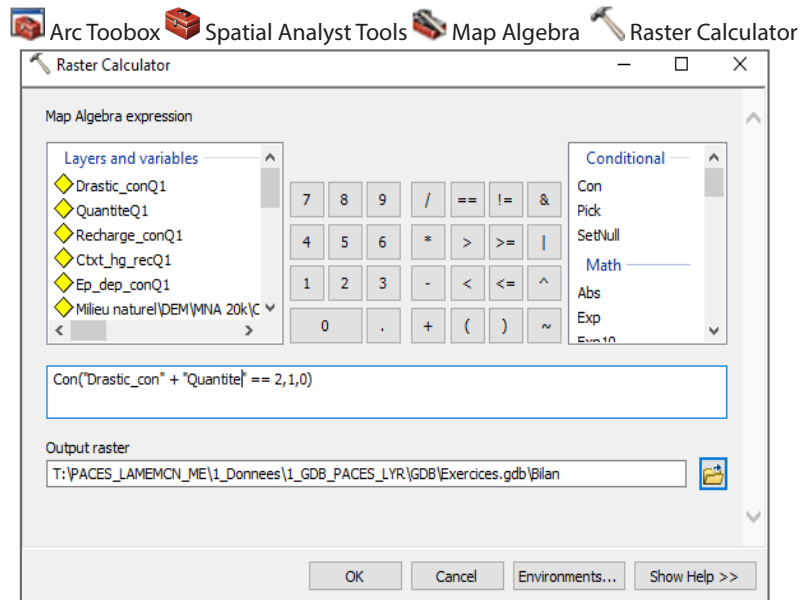
Procédure étape par étape

Combiner les résultats des couches  **Quantite** et  **Drastic_con** en effectuant le calcul ci-contre.

Le calcul conditionnel est inscrit en langage de programmation Python supporté par ArcGIS. Il peut être décrit ainsi : pour une cellule de la matrice, si la condition avant la première virgule est vraie, alors la cellule prend la valeur indiquée après la première virgule, sinon elle prend la valeur indiquée après la deuxième virgule. Dans ce cas-ci, si la somme de l'addition des deux couches est 2, alors la cellule prend la valeur de 1, sinon elle prend la valeur de 0.

Enregistrer la nouvelle couche  **Bilan** sous  **Exercice.gdb**.

Les cellules de  **Bilan** ayant une valeur de 1 correspondent aux zones où les aquifères pourraient fournir de l'eau souterraine en quantité suffisante et qui seraient relativement protégées de la contamination. À l'inverse, les cellules ayant une valeur de 0 correspondent aux zones où au moins un des critères n'est pas rencontré : il y aurait présence d'eau en quantité insuffisante et/ou les aquifères seraient trop vulnérables à la contamination.



4. Évaluer la qualité de l'eau

Les paramètres d'analyse proposés

Paramètres d'analyse	Pourquoi ?	Limites et commentaires
Eau de qualité passable à bonne	Idéalement, l'eau doit être potable naturellement sans nécessiter de traitement.	- Des problèmes présentant un danger pour la santé ne sont pas acceptables, mais certains traitements pourraient être considérés. - Un trop grand nombre de problèmes d'ordre esthétique pourraient être inacceptables, car ils génèreraient des coûts de traitement trop élevés. - Les contaminants microbiologiques, les pesticides et les hydrocarbures sont dangereux, mais ne sont pas considérés à l'échelle régionale puisque ce sont des cas de contamination locaux.

Les critères d'analyse proposés pour le traitement des données géospatiales

Paramètres d'analyse	Notions hydrogéologiques	Données à utiliser	Description (<i>Alias</i>)	Critères
Eau de qualité passable à bonne	Qualité de l'eau	 Depassement_Geochemie_XY	#24 - Qualité de l'eau (CMA)	Eau souterraine de bonne qualité : aucun dépassement de CMA et d'OE dans l'aquifère
		 Depassement_Geochemie_XY	#25 - Qualité de l'eau (OE)	Eau souterraine de qualité passable : au moins un dépassement d'OE dans l'aquifère



Procédure étape par étape

QUALITÉ DE L'EAU :

Afficher les couches de la qualité de l'eau souterraine:

-  **Depassement CMA**
-  **Depassement OE**

Analyse visuelle

Identifier les zones de  **Bilan** sans dépassements à proximité. La qualité de l'eau des aquifères des zones de  **Bilan** est potentiellement bonne si on n'y retrouve aucun puits avec dépassements de concentrations maximales acceptables et d'objectifs esthétiques. La qualité est potentiellement passable si on y retrouve au moins un puits avec dépassements d'objectifs esthétiques, mais sans dépassements de concentrations maximales acceptables.

5. Identifier les zones en amont des sources potentielles de contamination actuelles et futures

Les paramètres d’analyse proposés

Paramètres d'analyse	Pourquoi ?	Limites et commentaires
En amont des activités humaines représentant un danger pour la qualité de l'eau	Afin de prévenir la contamination, la recharge de l'eau qui atteint le puits ou l'aquifère ne doit pas se faire à un endroit où il y a des activités humaines en surface pouvant représenter un danger pour la qualité de l'eau. Le sens d'écoulement est donc à considérer pour déterminer le type d'activités humaines exercées en amont hydraulique du puits ou de l'aquifère.	- Il faut faire l'inventaire des activités potentiellement polluantes en amont hydraulique de l'aquifère et qualifier leur impact potentiel. - La piézométrie régionale, qui détermine le sens d'écoulement de l'eau souterraine, a ses limites. Dans le cas d'un puits, une étude hydrogéologique locale devrait être réalisée pour bien délimiter son aire d'alimentation et identifier les menaces qui existent à l'intérieur de ce territoire.

Les critères d’analyse proposés pour le traitement des données géospatiales

Paramètres d'analyse	Notions hydrogéologiques	Données à utiliser	Description (<i>Alias</i>)	Critères
En amont des activités humaines représentant un danger pour la qualité de l'eau	Piézométrie	 PiezometrieRegionale	Élévation p/r au NMM (m)	En amont des activités humaines pouvant représenter un danger pour la qualité de l'eau
	Occupation du sol	 ods_utilis_terr_mdde1cc	#7 - Occupation du sol	
	Affectation du territoire	 at_PPAT	Vocation du territoire	



Procédure étape par étape

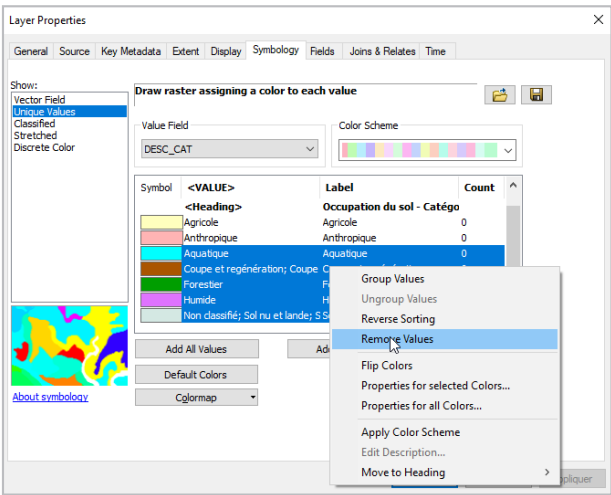
OCCUPATION DU SOL

Pour identifier des sources potentielles de contamination actuelles, dans la couche  **ods_utilis_terr_mdde1cc** (*alias* : #7 - Occupation du sol), sous l'onglet Symbology de la fenêtre Layer Properties, sélectionner les types d'occupations qui ne représentent pas un risque pour la qualité de l'eau et les retirer de la liste (Étape 1).

Puis regrouper les valeurs des occupations correspondantes à des activités humaines pouvant représenter un danger pour la qualité de l'eau souterraine (Étape 2).

Nommer l'étiquette de ce regroupement **Contamination potentielle actuelle** et changer la couleur du symbole en une couleur bien visible (par exemple en jaune).

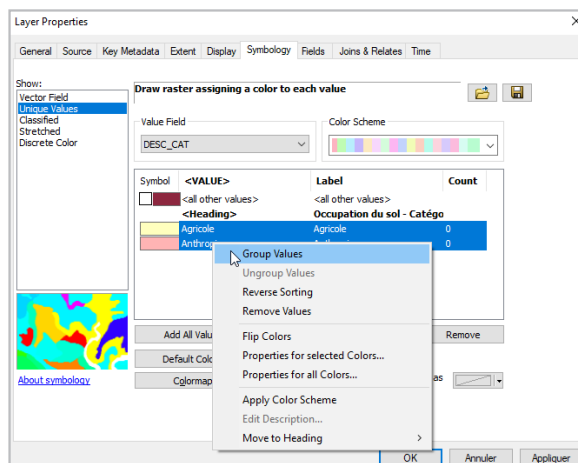
Étape 1: Ctrl+clik, clic droit, Remove values



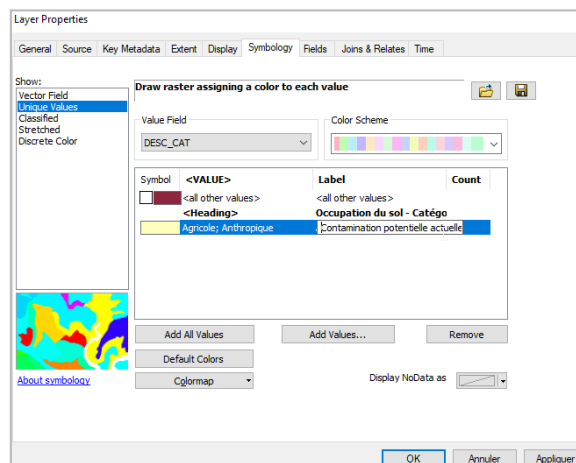


Procédure étape par étape

Étape 2: Ctrl+clic, clic droit, Group Values



Étape 3: Double-clic Label, renommer Double-clic Symbol, changer couleur



AFFECTATION DU TERRITOIRE

Pour identifier des sources potentielles de contamination futures, dans la couche **at_PPAT** (alias: #10 - Affectation du territoire), répéter les étapes 1 à 3. Nommer l'étiquette de ce regroupement **Contamination potentielle future**.

PIÉZOMÉTRIE

Ensuite, dans le projet mxd, superposer les deux couches précédentes aux couches de piézométrie **PiezometrieRegionale** (alias: Élévation p/r au NMM (m)). Les aquifères des zones de **Bilan** localisées en aval d'un nombre significatif de cellules des regroupements **Contamination potentielle actuelle** ou **future** sont potentiellement plus à risque de contamination que celles en amont. L'écoulement se fait des zones d'élévations piézométriques élevées vers les zones d'élévations piézométriques faibles.

Question 2

Quelles zones devraient être protégées en priorité pour la recharge ?

Synthèse du cheminement d'expert

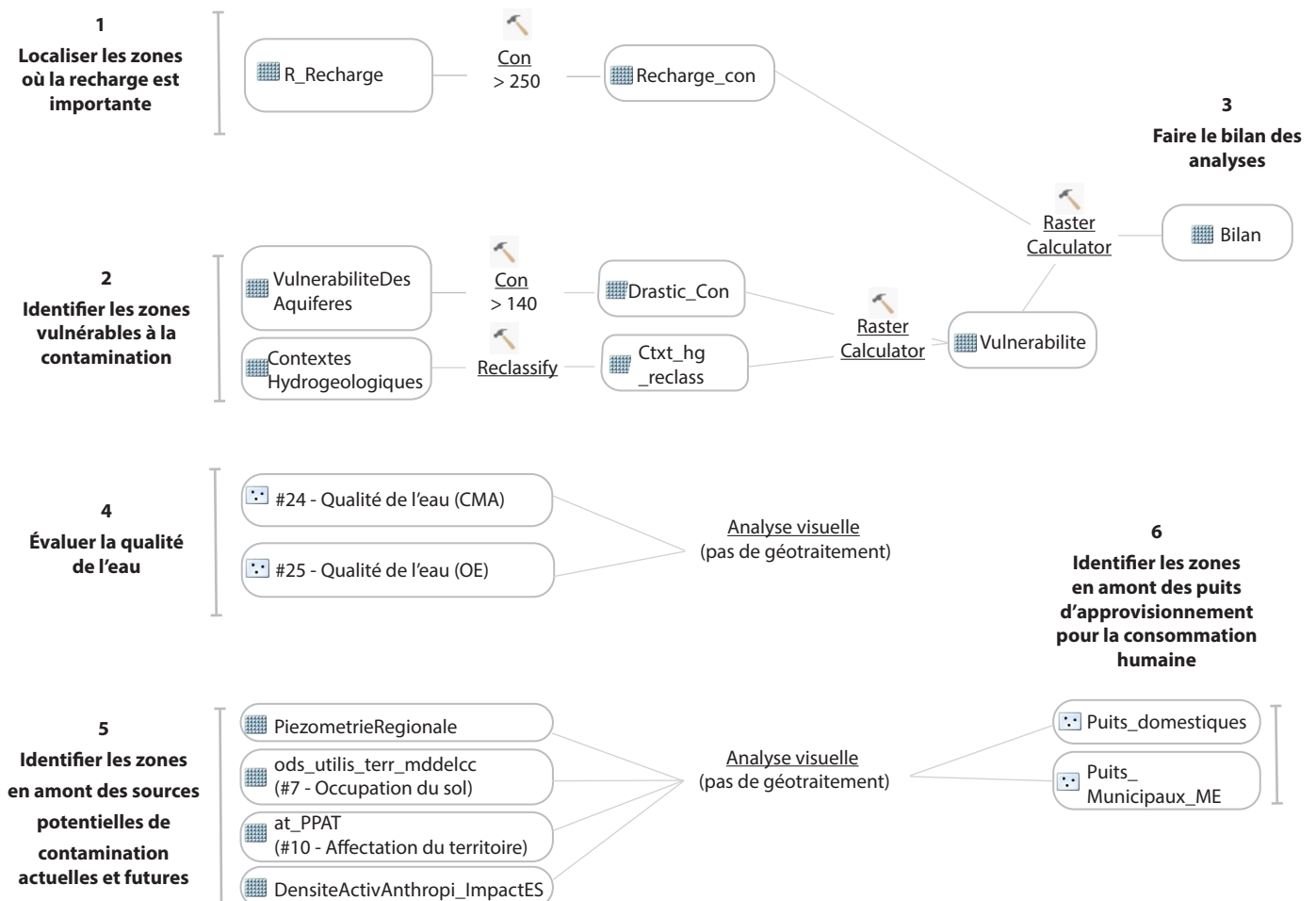
Question

Quelles zones devraient être protégées en priorité pour la recharge ?

Ce qui est recherché

1. Localiser les zones où la recharge est importante
2. Identifier les zones vulnérables à la contamination
3. Faire le bilan des analyses faisant appel au géotraitement
4. Évaluer la qualité de l'eau
5. Identifier les zones en amont des sources potentielles de contamination actuelles et futures
6. Identifier les zones en amont des puits d'approvisionnement pour la consommation humaine

Le géotraitement proposé avec les données disponibles



1. Localiser les zones où la recharge est importante

Les paramètres d'analyse proposés

Paramètres d'analyse	Pourquoi ?	Limites et commentaires
Taux de recharge annuelle important	Les zones où la recharge est élevée devraient être considérées prioritaires pour la protection.	- Le taux de recharge peut changer d'une année à l'autre en fonction des variations climatiques ou des modifications de l'occupation du sol. Il restera toutefois dans le même ordre de grandeur. - La recharge varie au cours de l'année. Elle est la plus faible, voire nulle, en hiver, lorsqu'il y a peu de précipitations liquides et que le sol est gelé, et la plus élevée au printemps, lors de la fonte des neiges. - Bien que la recharge ne soit évaluée que pour l'aquifère de roc fracturé, elle peut donner une bonne idée de la recharge dans les aquifères de dépôts meubles susjacentes, excepté lorsque les deux types d'aquifères sont séparés par un aquitard.

Les critères d'analyse proposés pour le traitement des données géospatiales

Paramètres d'analyse	Notions hydrogéologiques	Données à utiliser	Description (Alias)	Critères
Taux de recharge annuelle important	Recharge et résurgence	 R_Recharge	#28 - Recharge annuelle (mm/an)	Recharge élevée: 250 mm/an et plus



Procédure étape par étape

À chacune des étapes suivantes, allez chercher le Input raster dans le fichier mxd et enregistrez les couches créées dans  **Exercice.gdb**. Glissez-les ensuite dans le dossier  **Exercices / Question 2 - Recharge** de la Table contents et mettre les valeurs de 0 de la légende en transparence (sans couleur) pour faciliter l'affichage des résultats.

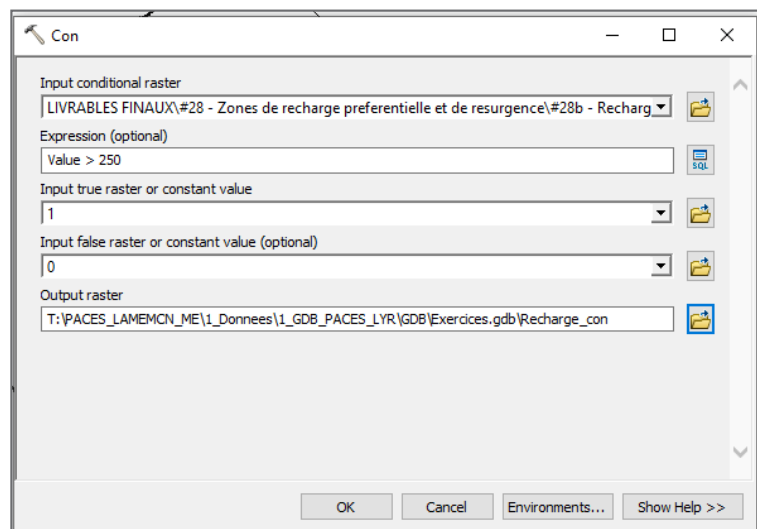
RECHARGE ET RÉSURGENCE

Identifier les cellules de  **R_Recharge** (alias: Recharge annuelle (mm/an)) qui répondent aux critères en effectuant le géotraitement ci-contre.

Enregistrer la nouvelle couche  **Recharge_Con** sous  **Exercice.gdb**.

Les cellules de  **Recharge_Con** ayant une valeur de 1 correspondent aux critères.

 Arc Toolbox  Spatial Analyst Tools  Conditional  Con



2. Identifier les zones vulnérables à la contamination

Les paramètres d'analyse proposés

Paramètres d'analyse	Pourquoi ?	Limites et commentaires
Aquifère vulnérable	Il faut consacrer les efforts à protéger les aquifères susceptibles d'être affectés par une contamination provenant de la surface, et non ceux qui sont déjà protégés naturellement.	- Un indice de vulnérabilité est subjectif. Il faut être prudent dans l'interprétation de son résultat. - La vulnérabilité DRASTIC ne considère que ce qui provient par infiltration de la surface, sans considérer ce qui peut provenir de l'écoulement souterrain latéral. - Pour tenir compte du risque de contamination, la vulnérabilité n'est pas suffisante : il faut y jumeler l'impact des activités humaines présentant un danger potentiel de contamination, incluant la toxicité du contaminant, la quantité de contaminants associés à l'activité, la zone d'impact et la fréquence du rejet. Il faut donc inventorier les activités potentiellement polluantes sur le territoire de l'aquifère et qualifier leur impact potentiel sur la qualité de l'eau souterraine.
Aquifère à nappe libre	Les aquifères à nappe libre ne sont pas protégés par un aquitard de la contamination qui proviendrait de la surface.	- La recharge est élevée dans les aquifères à nappe libre. - La vulnérabilité est élevée dans les aquifères à nappe libre.

Les critères d'analyse proposés pour le traitement des données géospatiales

Paramètres d'analyse	Notions hydrogéologiques	Données à utiliser	Description (Alias)	Critères
Aquifère vulnérable	Vulnérabilité	 VulnerabiliteDesAquiferes	Indice DRASTIC	- Les aquifères plus vulnérables - Indices supérieurs à 140
Aquifère à nappe libre	Contextes hydrogéologiques	 ContextesHydrogéologiques_Raster	Contextes hydrogéologiques	Aquifère à nappe libre (contextes A, B, C, D, F, G)



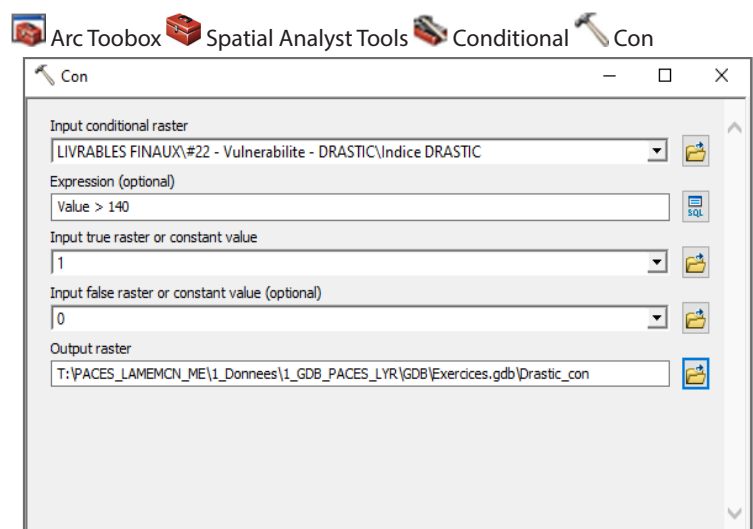
Procédure étape par étape

VULNÉRABILITÉ

Identifier les cellules de  **VulnerabiliteDesAquiferes** (alias : *Indice DRASTIC*) qui répondent aux critères en effectuant le géotraitement ci-contre.

Enregistrer la nouvelle couche  **Drastic_con** sous  **Exercice.gdb**.

Les cellules de  **Drastic_Con** ayant une valeur de 1 correspondent aux critères.



CONTEXTES HYDROSTRATIGRAPHIQUES

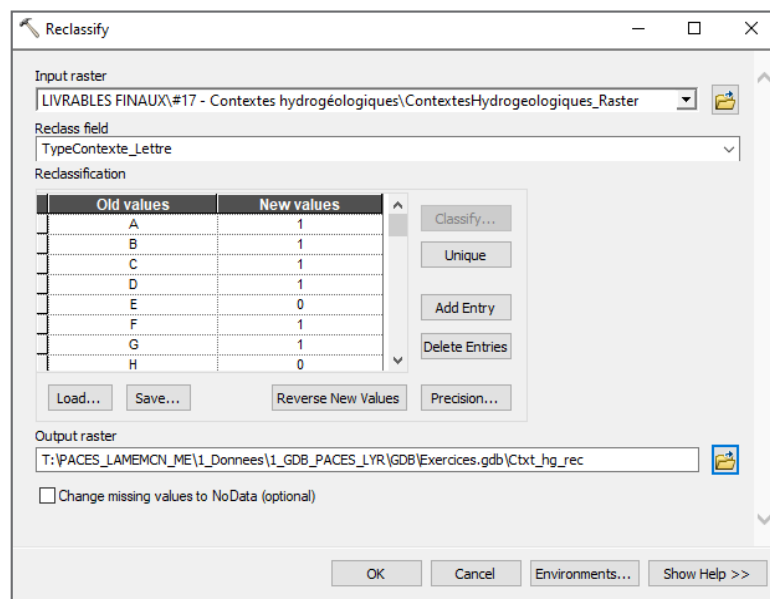
Identifier les cellules de 

ContextesHydrogeologiques (*alias: Contextes hydrogeologiques*) qui répondent aux critères en effectuant le géotraitement ci-contre.

Enregistrer la nouvelle couche  **Ctxt_hg_reclass** sous  **Exercice.gdb**.

Les cellules de  **Ctxt_hg_reclass** ayant une valeur de 1 correspondent aux critères.

 Arc Toolbox  Spatial Analyst Tools  Reclass  Reclassify



BILAN

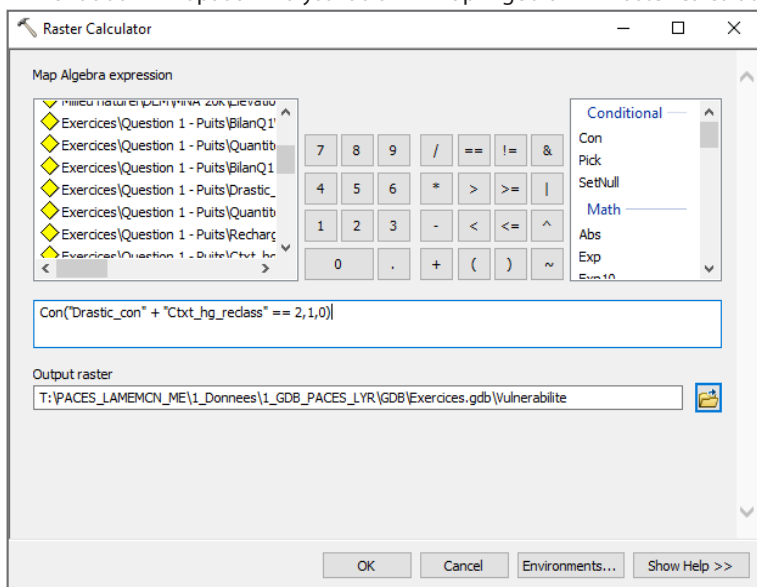
Combiner les résultats des couches  **Drastic_Con** et  **Ctxt_hg_reclass** en effectuant le calcul ci-contre.

Enregistrer la nouvelle couche  **Vulnerabilite** sous  **Exercice.gdb**.

Le calcul conditionnel est inscrit en langage de programmation Python supporté par ArcGIS. Il peut être décrit ainsi : pour une cellule de la matrice, si la condition avant la première virgule est vraie, alors la cellule prend la valeur indiquée après la première virgule, sinon elle prend la valeur indiquée après la deuxième virgule. Dans ce cas-ci, si la somme de l'addition des deux couches est 2, alors la cellule prend la valeur de 1, sinon elle prend la valeur de 0.

Les cellules de  **Vulnerabilite** ayant une valeur de 1 correspondent aux zones où les aquifères seraient vulnérables à la contamination.

 Arc Toolbox  Spatial Analyst Tools  Map Algebra  Raster Calculator



3. Faire le bilan des analyses faisant appel au géotraitement



Procédure étape par étape

Combiner les résultats des couches



Recharge_con et



Vulnerabilite en

effectuant le calcul ci-contre.

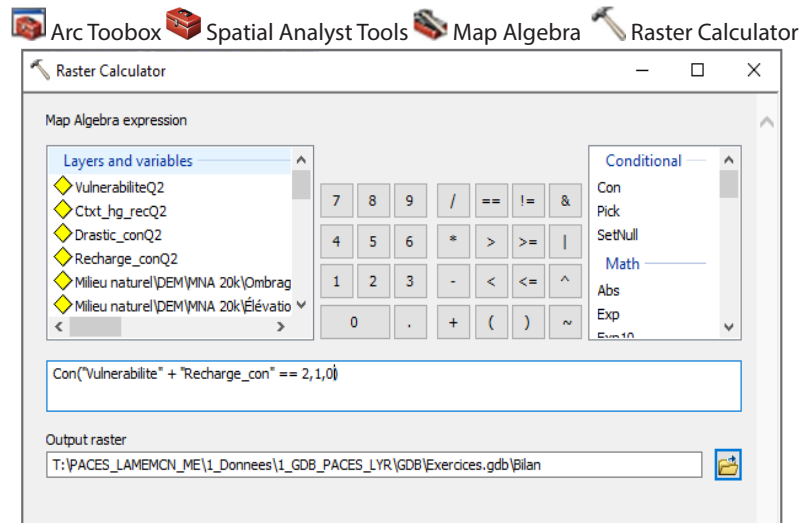
Enregistrer la nouvelle couche



Bilan

sous **Exercice.gdb**.

Les cellules de **Bilan** ayant une valeur de 1 correspondent aux zones où la quantité de recharge serait importante et les aquifères seraient vulnérables à la contamination. À l'inverse, les cellules ayant une valeur de 0 correspondent aux zones où au moins un des critères n'est pas rencontré: la recharge ne serait pas suffisamment élevée et/ou les aquifères ne seraient pas vulnérables.



4. Évaluer la qualité de l'eau

Les paramètres d'analyse proposés

Paramètres d'analyse	Pourquoi ?	Limites et commentaires
A. PROTÉGER Eau de qualité passable à bonne	L'eau doit être de bonne qualité naturelle pour considérer sa protection.	- Quelques problèmes d'ordre esthétique peuvent être acceptables. - Des problèmes présentant un danger pour la santé ne sont pas acceptables, mais pourraient tout de même être considérés si des traitements efficaces et peu coûteux existent. - Les contaminants microbiologiques, les pesticides et les hydrocarbures sont dangereux, mais ne sont pas considérés à l'échelle régionale puisque ce sont des cas de contamination locaux.
B. GÉRER LES RISQUES Eau de qualité passable à mauvaise	Si la qualité de l'eau indique un impact anthropique, il faudrait mieux gérer les activités potentiellement polluantes.	- Les paramètres comme les nitrates, le sodium et le chlore peuvent être indicateurs d'un impact anthropique sur la qualité de l'eau. - Ce n'est pas parce qu'un paramètre ne dépasse pas les critères de potabilité (CMA) ou les objectifs esthétiques (OE) qu'il n'y a pas un impact anthropique sur la qualité de l'eau.

Les critères d'analyse proposés pour le traitement des données géospatiales

Paramètres	Notions	Données à utiliser	Description (<i>Alias</i>)	Critères
A. PROTÉGER Eau de qualité passable à bonne	Qualité de l'eau	 Depassement_Geochemie_XY	<i>Dépassements critères de potabilité (CMA)</i> <i>Dépassements critères esthétiques (OE)</i>	- Eau souterraine de bonne qualité : aucun dépassement de CMA - Eau souterraine de qualité passable : au moins un dépassement d'OE dans l'aquifère, mais aucun dépassement de CMA
B. GÉRER LES RISQUES Eau de qualité passable à mauvaise	Qualité de l'eau	 Depassement_Geochemie_XY	<i>Dépassements critères de potabilité (CMA)</i> <i>Dépassements critères esthétiques (OE)</i>	- Eau souterraine de mauvaise qualité : dépassement de CMA ou OE pour les nitrates, le sodium et le chlore* - Eau souterraine de qualité passable : au moins un dépassement d'OE dans l'aquifère, mais aucun dépassement de CMA

*À noter que les concentrations élevées en sodium (Na) et en chlore (Cl) pourrait aussi être liées à la présence des argiles marines de la Mer de Champlain dans les Basses-Terres.



Procédure étape par étape

QUALITÉ DE L'EAU :

Afficher les couches de la qualité de l'eau souterraine:

-  **Dépassement CMA**
-  **Dépassement OE**

Analyse visuelle

A. Identifier les zones de  **Bilan** sans dépassement à proximité. Ces zones de recharge devraient être protégées en priorité pour prévenir toute contamination future.

B. Identifier les zones de  **Bilan** avec dépassements pour les nitrates, le sodium et le chlore à proximité. Ces zones de recharge sont potentiellement impactées par les activités anthropiques et les risques de contamination devraient y être surveillés de plus près.

5. Identifier les zones en amont/au niveau des sources potentielles de contamination actuelles et futures

Les paramètres d'analyse proposés

Paramètres d'analyse	Pourquoi ?	Limites et commentaires
En amont (protection) ou au niveau (gestion des risques) des activités humaines représentant un danger pour la qualité de l'eau	Afin de prévenir la contamination, la recharge de l'eau qui atteint le puits ou l'aquifère ne doit pas se faire à un endroit où il y a des activités humaines en surface pouvant représenter un danger pour la qualité de l'eau. Le sens d'écoulement est donc à considérer pour déterminer le type d'activités humaines exercées en amont hydraulique du puits ou de l'aquifère.	- Il faut faire l'inventaire des activités potentiellement polluantes en amont hydraulique au au niveau des zones de recharge prioritaires et qualifier leur impact potentiel. - La piézométrie régionale, qui détermine le sens d'écoulement de l'eau souterraine, a ses limites. Dans le cas d'un puits, une étude hydrogéologique locale devrait être réalisée pour bien délimiter son aire d'alimentation et identifier les menaces qui existent à l'intérieur de ce territoire.

Les critères d'analyse proposés pour le traitement des données géospatiales

Paramètres d'analyse	Notions hydrogéologiques	Données à utiliser	Description (Alias)	Critères
En amont (protection) ou au niveau (gestion des risques) des activités humaines représentant un danger pour la qualité de l'eau	Piezométrie	 PiezometrieRegionale	Élévation p/r au NMM (m)	Les zones de recharge en amont (protection) ou au niveau (gestion des risques) des activités humaines représentant un danger pour la qualité de l'eau
	Occupation du sol	 ods_utilis_terr_mddecc	#7 - Occupation du sol	
	Affectation du territoire	 at_PPAT	#10 - Affectation du territoire	

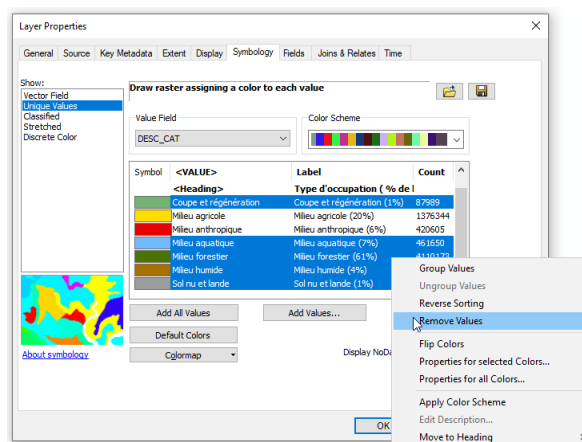


Procédure étape par étape

OCCUPATION DU SOL

Pour identifier des sources potentielles de contamination actuelles, dans la couche  **ods_utilis_terr_mddecc** (alias : #7 - Occupation du sol), sous l'onglet Symbology de la fenêtre Layer Properties, sélectionner les types d'occupations qui ne représentent pas un risque pour la qualité de l'eau et les retirer de la liste (Étape 1). Puis regrouper les valeurs des occupations correspondantes à des activités humaines pouvant représenter un danger pour la qualité de l'eau souterraine (Étape 2). Nommer l'étiquette de ce regroupement **Contamination potentielle actuelle** et changer la couleur du symbole en une couleur bien visible (Étape 3).

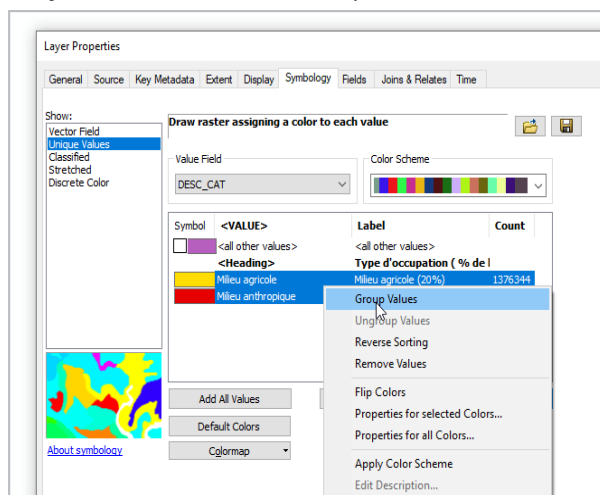
Étape 1: Shift+clik, clic droit, Remove values



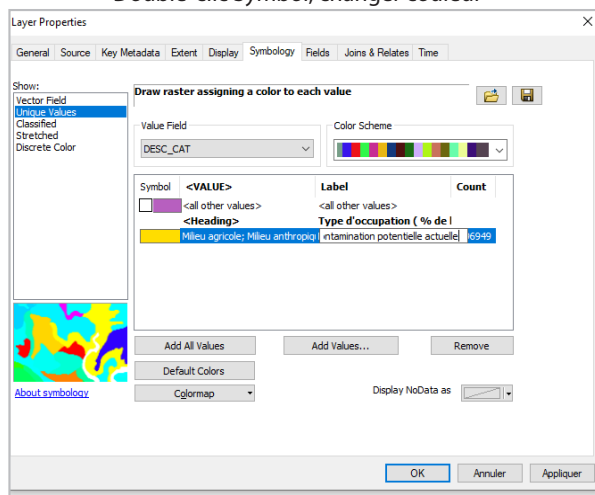


Procédure étape par étape

Étape 2: Shift+clik, clic droit, Group Values



Étape 3: Double-clik Label, renommer Double-clik Symbol, changer couleur



AFFECTATION DU TERRITOIRE

Pour identifier des sources potentielles de contamination futures, dans la couche **at_PPAT** (alias: #10 - Affectation du territoire), répéter les étapes 1 à 3. Nommer l'étiquette de ce regroupement **Contamination potentielle future**.

PIÉZOMÉTRIE

Ensuite, dans le projet mxd, superposer les deux couches précédentes aux couches de piézométrie **Piezometrie Regionale** (alias: Élévation p/r au NMM (m)). Les zones de recharge prioritaires de la couche **Bilan** localisées en aval ou au niveau d'un nombre significatif de cellules des regroupements **Contamination potentielle actuelle** ou **future** sont potentiellement plus à risque de contamination que les autres. L'écoulement se fait des zones d'élévations piézométriques élevées vers les zones d'élévations piézométriques faibles.

6. Identifier les zones en amont des puits d'approvisionnement pour la consommation humaine

Les paramètres d'analyse proposés

Paramètres d'analyse	Pourquoi ?	Limites et commentaires
En amont des puits d'approvisionnement pour la consommation humaine	Afin de favoriser la protection de zones de recharge d'aquifères exploités et prévenir la contamination des puits d'approvisionnement, les zones de recharge protégées en priorité pourraient être situées en amont des puits d'alimentation en eau potable.	- Plus la densité de puits est élevée, plus la gravité potentielle de la contamination peut être importante dû au grand nombre de personnes pouvant être affectés, et plus l'intérêt de protéger la zone de recharge de l'aquifère exploité est élevé. - Les données du PACES donnent une bonne idée des secteurs où il y a une grande densité de puits d'approvisionnement, mais ne correspond pas à un inventaire exhaustif. - Un inventaire exhaustif des puits municipaux ou alimentant un réseau d'aqueduc devrait être effectué, car la contamination d'un seul de ces puits risque d'affecter beaucoup de personnes, augmentant ainsi la gravité. - Bien que la piézométrie ne soit déterminée que pour l'aquifère de roc fracturé, elle peut donner une bonne idée de la piézométrie dans les aquifères de dépôts meubles sus-jacents, excepté lorsque les deux types d'aquifère sont séparés par un aquitard.

Les critères d'analyse proposés pour le traitement des données géospatiales

Paramètres d'analyse	Notions hydrogéologiques	Données à utiliser	Description (Alias)	Critères
En amont des puits d'approvisionnement pour la consommation humaine	Piézométrie	 Piezometrie Regionale	<i>Élévation p/r au NMM (m)</i>	En amont des puits d'alimentation
	Utilisation de l'eau	 Puits_municipaux_ME	<i>Puits d'approvisionnement en eau potable municipaux</i>	
	Utilisation de l'eau	 Puits_domestiques	<i>Puits d'approvisionnement en eau potable domestiques</i>	



Procédure étape par étape

PIÉZOMÉTRIE

Afficher les puits d'alimentation individuels - couche  **Puits_domestiques** et collectifs -  **Puits_municipaux_ME**. Superposer les couches ci-dessus à la couche piézométrie  **PiezometrieRegionale** (alias : *Élévation p/r au NMM (m)*), puis visualiser les puits d'approvisionnement en aval des zones où la quantité de recharge serait importante et les aquifères vulnérables, tels que définis par la couche  **Bilan**.

L'intérêt de protéger les zones de recharge correspondant aux cellules contigües ayant une valeur de 1 dans la couche **Bilan** serait potentiellement élevé si on y retrouve un nombre significatif de puits d'approvisionnement en eau potable en aval de celles-ci. L'écoulement se fait des zones d'élévations piézométriques élevées vers les zones d'élévations piézométriques faibles.

Question 3

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

Synthèse du cheminement d'expert

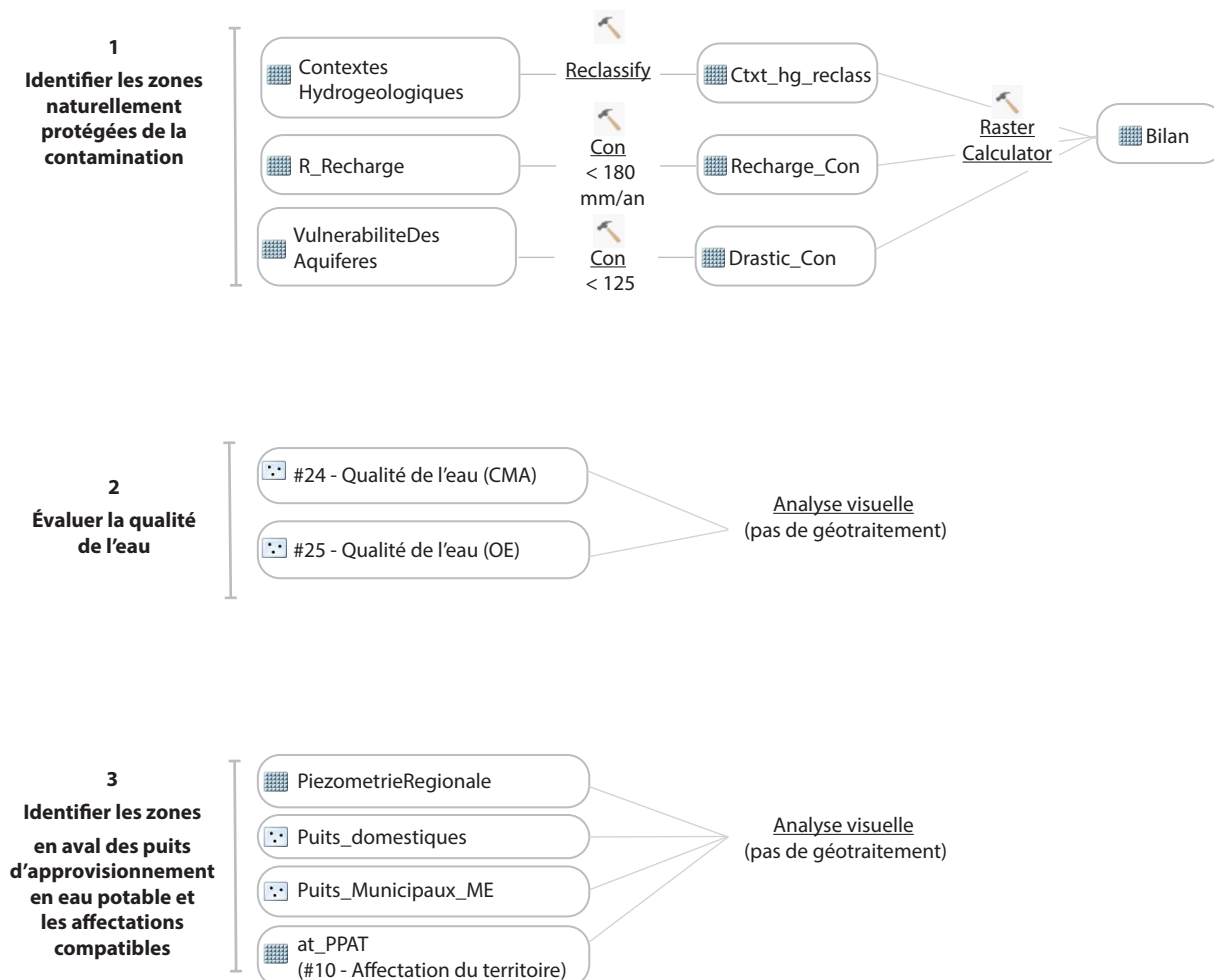
Question

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

Ce qui est recherché

1. Identifier les zones naturellement protégées de la contamination
2. Évaluer la qualité de l'eau
3. Identifier les zones en aval des puits d'approvisionnement en eau potable et les affectations compatibles

Le géotraitement proposé avec les données disponibles



1. Identifier les zones naturellement protégées de la contamination

Les paramètres d'analyse proposés

Paramètres d'analyse	Pourquoi ?	Limites et commentaires
Présence d'un aquitard	Les aquitards confinent les aquifères sous-jacents et limitent leur recharge, soit le volume d'eau des précipitations qui s'infiltre et atteint ces aquifères.	L'épaisseur des sédiments constituant les aquitards devrait être considérée, car par exemple, une couverture d'argile de moins de 3 m d'épaisseur ne confine pas complètement les aquifères sous-jacents et peut laisser passer l'eau et donc, les contaminants.
Aquifères à nappe captive et semi-captive	- Les aquifères à nappe captive sont bien protégés de la contamination provenant de la surface. - Leur eau est possiblement de moins bonne qualité, ce qui peut diminuer la gravité d'une contamination potentielle. - Les aquifères à nappe semi-captive sont moyennement protégés de la contamination provenant de la surface.	Les aquifères à nappe captive et semi-captive ne sont pas protégés d'une contamination provenant de l'écoulement souterrain latéral.
Taux de recharge annuel faible	La recharge doit être faible pour limiter le volume d'eau des précipitations atteignant l'aquifère et qui peut mobiliser les contaminants depuis de la surface.	- L'occupation du sol a un effet significatif sur l'infiltration des précipitations dans le sol (ex. : pavage en milieu urbain ou sol à nu versus champ cultivé ou forêt). - Un terrain pentu favorise le ruissellement de surface plutôt que la recharge.
Vulnérabilité faible	Les aquifères peu vulnérables sont bien protégés de la contamination provenant de la surface.	- Un indice de vulnérabilité est subjectif. Il faut être prudent dans l'interprétation de son résultat. - La vulnérabilité DRASTIC ne considère que ce qui provient par infiltration de la surface, sans considérer ce qui peut provenir de l'écoulement souterrain latéral. - Pour tenir compte du risque de contamination, la vulnérabilité n'est pas suffisante : il faut y jumeler l'impact des activités humaines présentant un danger potentiel de contamination, incluant la toxicité du contaminant, la quantité de contaminants associés à l'activité, la zone d'impact et la fréquence du rejet. Il faut donc inventorier les activités potentiellement polluantes sur le territoire de l'aquifère et qualifier leur impact potentiel sur la qualité de l'eau souterraine.
Toutes épaisseurs de dépôts meubles	Pas nécessaire pour répondre à l'enjeu, car ne prend pas en compte le type de dépôts meubles et donc leur caractère aquifère ou aquitard.	

Les critères d'analyse proposés pour le traitement des données géospatiales

Paramètres d'analyse	Notions hydrogéologiques	Données à utiliser	Description (<i>Alias</i>)	Critères
Présence d'un aquitard	Contextes hydrogéologiques	 Contextes Hydrogeologiques_Raster	<i>Contextes hydrogeologiques</i>	Présence d'une couche confinante (contextes E, F, G, H, I)
Taux de recharge annuel faible	Recharge et résurgence	 R_Recharge	<i>#28 - Recharge annuelle (mm/an)</i>	Recharge faible à moyenne : 0 à 180 mm/an
Vulnérabilité faible	Vulnérabilité	 VulnerabiliteDesAquiferes	<i>Indice DRASTIC</i>	Vulnérabilité faible : indice de 125 ou moins
Toutes épaisseurs de dépôts meubles	Épaisseur des dépôts meubles	 EpaisseurDes DepotsMeubles	<i>Épaisseur des dépôts meubles (m)</i>	Toutes épaisseurs



Procédure étape par étape

À chacune des étapes suivantes, allez chercher le Input raster dans le fichier mxd et enregistrez les couches créées dans  **Exercice.gdb**. Glissez-les ensuite dans le dossier  **Exercices / Question 3 - Activité polluante** de la Table contents et mettre les valeurs de 0 de la légende en transparence (sans couleur) pour faciliter l'affichage des résultats.

CONTEXTES HYDROSTRATIGRAPHIQUES

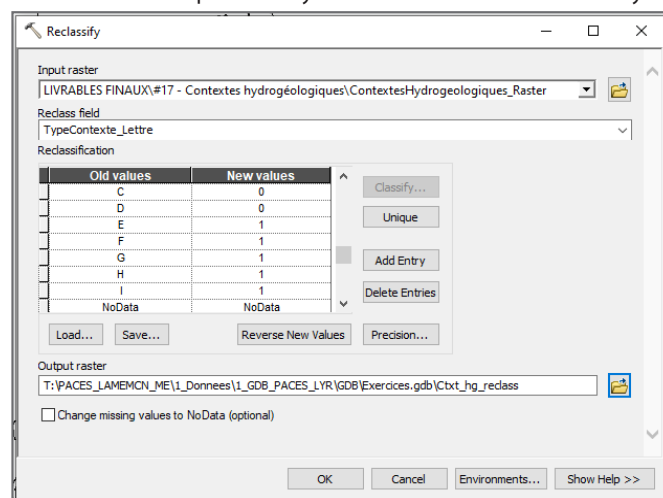
Identifier les cellules de 

ContextesHydrogeologiques (*alias: Contextes hydrogeologiques*) qui répondent aux critères en effectuant le géotraitement ci-contre.

Enregistrer la nouvelle couche  **Ctxt_hg_reclass** sous  **Exercice.gdb**.

Les cellules de  **Ctxt_hg_reclass** ayant une valeur de 1 correspondent aux critères.

 Arc Toolbox  Spatial Analyst Tools  Reclass  Reclassify

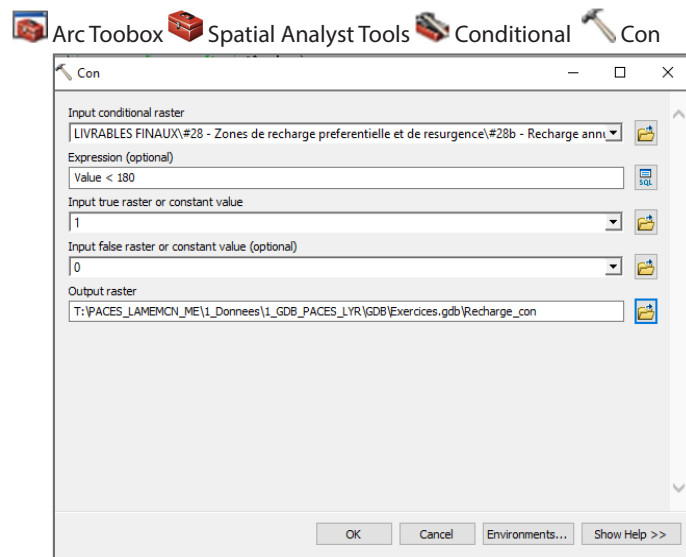


RECHARGE ET RÉSURGENCE

Identifier les cellules de **R_Recharge** (alias : *Recharge annuelle (mm/an)*) qui répondent aux critères en effectuant le géotraitement ci-contre.

Enregistrer la nouvelle couche **Recharge_con** sous **Exercice.gdb**.

Les cellules de **Recharge_Con** ayant une valeur de 1 correspondent aux critères.

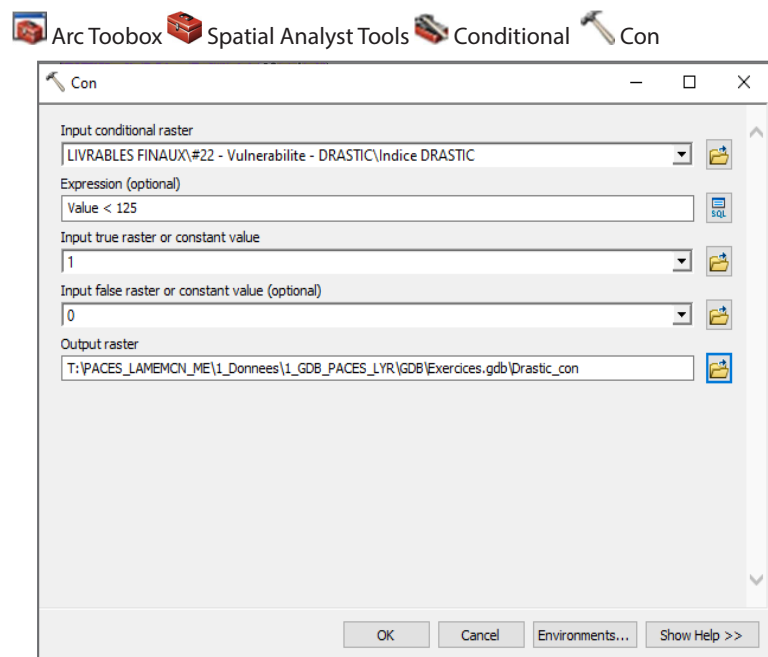


VULNÉRABILITÉ

Identifier les cellules de **Vulnerabilite DesAquiferes** (alias : *Indice DRASTIC*) qui répondent aux critères en effectuant le géotraitement ci-contre.

Enregistrer la nouvelle couche **Drastic_con** sous **Exercice.gdb**.

Les cellules de **Drastic_con** ayant une valeur de 1 correspondent aux critères.



ÉPAISSEUR DES DÉPÔTS MEUBLES

Aucune analyse à faire puisque toutes les épaisseurs de dépôts meubles sont considérées par les critères.

BILAN

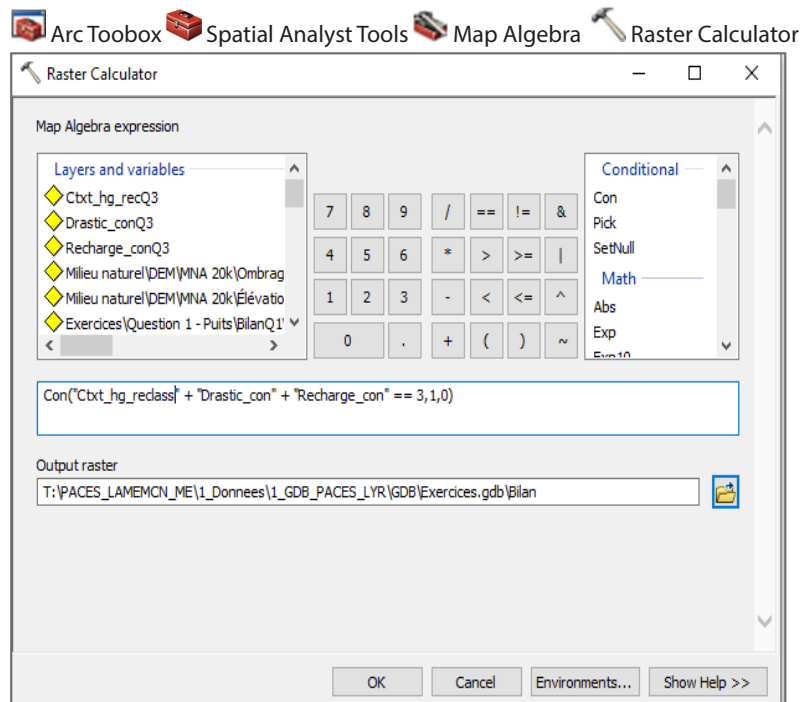
Combiner les résultats des couches

 **Ctxt_hg_reclass**,
 **Recharge_con** et  **Drastic_con**
en effectuant le calcul ci-contre.

Enregistrer la nouvelle couche  **Bilan**
sous  **Exercice.gdb**.

Le calcul conditionnel est inscrit en langage de programmation Python supporté par ArcGIS. Il peut être décrit ainsi : pour une cellule de la matrice, si la condition avant la première virgule est vraie, alors la cellule prend la valeur indiquée après la première virgule, sinon elle prend la valeur indiquée après la deuxième virgule. Dans ce cas-ci, si la somme de l'addition des quatre couches est 4, alors la cellule prend la valeur de 1, sinon elle prend la valeur de 0.

Les cellules de  **Bilan** ayant une valeur de 1 correspondent aux zones où les aquifères seraient protégés naturellement de la contamination.



2. Évaluer la qualité de l'eau

Les paramètres d'analyse proposés

Paramètres d'analyse	Pourquoi ?	Limites et commentaires
Toutes les qualités de l'eau	- La gravité de la contamination d'une eau de bonne qualité naturelle est très élevée. - La contamination d'une eau de mauvaise qualité naturelle est potentiellement moins grave, mais la contamination anthropique la dégradant davantage n'est pas souhaitable.	- La qualité naturelle de l'aquifère en aval de l'activité à implanter doit être caractérisée au préalable pour déterminer les causes d'une contamination, le cas échéant. - Un suivi de la qualité de l'eau de l'aquifère en aval de l'activité via des puits de surveillance devrait être effectué suite à l'implantation de l'activité pour suivre l'évolution de la qualité de l'eau souterraine.

Les critères d'analyse proposés pour le traitement des données géospatiales

Paramètres d'analyse	Notions hydrogéologiques	Données à utiliser	Description (<i>Alias</i>)	Critères
Eau de qualité passable à bonne	Qualité de l'eau	 Depassement_Geochemie_XY	<i>Dépassements critères de potabilité (CMA)</i> <i>Dépassements critères esthétiques (OE)</i>	- Eau souterraine de bonne qualité (aucun dépassement de CMA et d'OE dans l'aquifère) : gravité de contamination très élevée - Eau souterraine de qualité passable (au moins un dépassement d'OE) : gravité de contamination élevée - Eau souterraine de mauvaise qualité (au moins un dépassement de CMA dans l'aquifère) : gravité de contamination modérée



Procédure étape par étape

QUALITÉ DE L'EAU :

Afficher les couches de la qualité de l'eau souterraine:

-  **Dépassement CMA**
-  **Dépassement OE**

Analyse visuelle

Identifier les zones de  **Bilan** avec dépassements à proximité. La qualité de l'eau des aquifères à proximité des zones de  **Bilan** est potentiellement mauvaise si on y retrouve des puits avec dépassements de concentrations maximales acceptables et d'objectifs esthétiques. La gravité d'une contamination issue d'une activité polluante est alors potentiellement modérée.

3. Identifier les zones en aval des puits d'approvisionnement en eau potable et les affectations compatibles

Les paramètres d'analyse proposés

Paramètres d'analyse	Pourquoi ?	Limites et commentaires
En aval des puits d'approvisionnement pour la consommation humaine	Afin de prévenir la contamination des puits d'approvisionnement, l'activité potentiellement polluante devrait être située en aval des puits d'alimentation en eau potable.	- Plus la densité de puits est élevée, plus la gravité potentielle de la contamination peut être importante dû au grand nombre de personnes pouvant être affectées. - Les données du PACES donnent une bonne idée des secteurs où il y a une grande densité de puits d'approvisionnement, mais ne correspondent pas à un inventaire exhaustif. - Un inventaire exhaustif des puits municipaux ou alimentant un réseau d'aqueduc devrait être effectué, car la contamination d'un seul de ces puits risque d'affecter beaucoup de personnes, augmentant ainsi la gravité. - Bien que la piézométrie ne soit déterminée que pour l'aquifère de roc fracturé, elle peut donner une bonne idée de la piézométrie dans les aquifères de dépôts meubles sus-jacents, excepté lorsque les deux types d'aquifères sont séparés par un aquitard.

Les critères d'analyse proposés pour le traitement des données géospatiales

Paramètres d'analyse	Notions hydrogéologiques	Données à utiliser	Description (<i>Alias</i>)	Critères
En aval des puits d'approvisionnement pour la consommation humaine	Piézométrie	 Piezometrie Regionale	Élévation p/r au NMM (m)	En aval des puits d'alimentation en eau potable
	Utilisation de l'eau	 Puits_municipaux_ME	Puits municipaux	
	Utilisation de l'eau	 Puits_domestiques	Puits domestiques	
Dans des affectations du territoire compatibles avec l'implantation d'une activité polluante	Affectation du territoire	 at_PPAT	#10 - Affectation du territoire	- Agricole - Industrielle - Urbaine

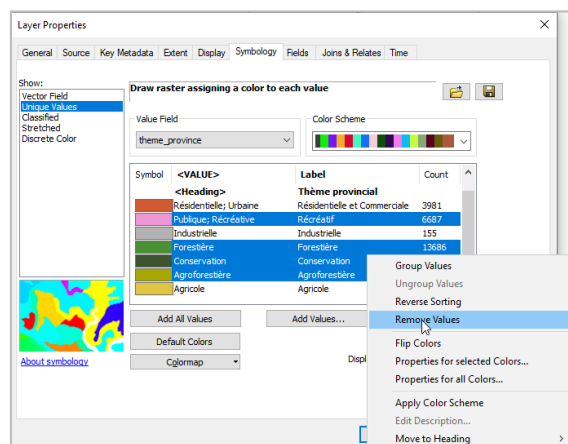


Procédure étape par étape

AFFECTATION DU TERRITOIRE

Pour identifier des sources potentielles de contamination futures, dans la couche  **L10_AffectationsTerritoire_Raster** (*alias: Affectations du territoire*), sous l'onglet Symbology de la fenêtre Layer Properties, sélectionner les types d'affectation incompatibles avec l'implantation d'une activité polluante et les retirer de la liste (Étape 1). Puis regrouper les types d'affectation compatibles avec l'implantation d'une activité polluante (Étape 2). Nommer l'étiquette de ce regroupement **Affectations compatibles** et changer la couleur du symbole en une couleur bien visible (Étape 3).

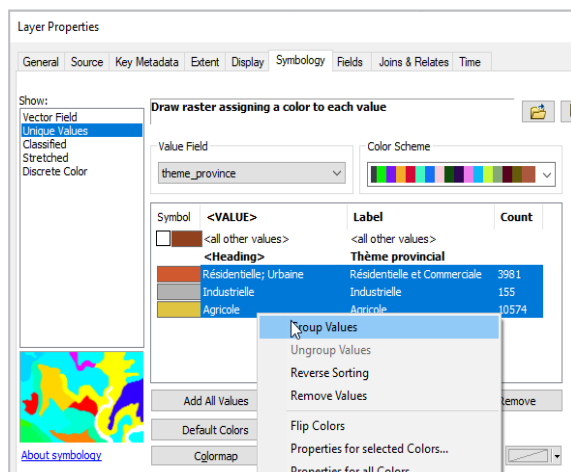
Étape 1: Shift+clik, clic droit, Remove values



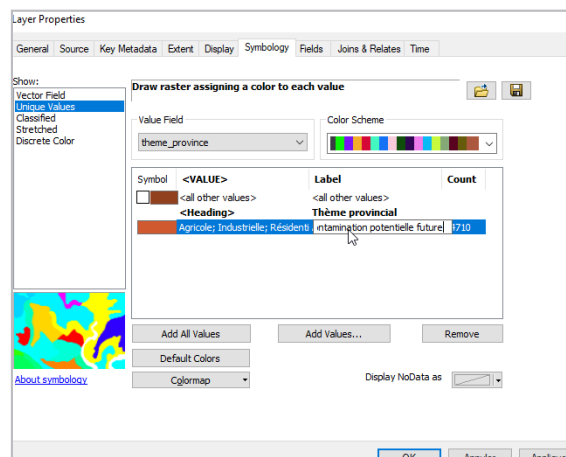


Procédure étape par étape

Étape 2: Shift+clik, clic droit, Group Values



Étape 3: Double-clic Label, renommer Double-clic Symbol, changer couleur



PIÉZOMÉTRIE

Afficher les puits d'alimentation individuels - couche **Puits_domestiques** et collectifs - **Puits_municipaux_ME**. Superposer les couches ci-dessus à la couche piézométrie **Piezometrie Regionale** (*alias* : *Élévation p/r au NMM (m)*), puis visualiser les puits d'approvisionnement en aval des zones où les aquifères sont protégés naturellement, tels que définis par la couche **Bilan**.

La gravité d'une contamination potentielle des aquifères des zones protégées représentées par des cellules contigües ayant une valeur de 1 dans la couche **Bilan** serait potentiellement élevée si y on retrouve en aval un nombre significatif de puits d'approvisionnement. L'écoulement se fait des zones d'élévations piézométriques élevées vers les zones d'élévations piézométriques faibles.

5

**Réfléchir à nos besoins
pour la suite**

Déroulement

Suite aux 4 ateliers d'échange et de transfert de connaissances, l'équipe de recherche et le ministère souhaitent que les connaissances générées dans le cadre du PACES soient utiles et utilisées par les différents acteurs de l'aménagement du territoire et de la gestion de l'eau afin de protéger la ressource et d'assurer sa pérennité.

Êtes-vous prêts à voler de vos propres ailes ? Et surtout, vous sentez-vous capables de répondre à un enjeu de protection et de gestion des eaux souterraines (PGES) seul ?

Présentation

Exemples de projets post PACES

Discussion

En grand groupe, faire le point et réfléchir à nos besoins pour la suite en répondant à ces questions :

- Quelles sont les connaissances (informations, données) qui seront utiles pour vous à court ou moyen terme ?
- Si le temps, l'expertise et le budget y étaient, est-ce que des données ou des informations complémentaires pourraient être générées ?
- De quelles façons, dans le cadre de quels projets ou pour répondre à quels enjeux pourriez-vous les utiliser (données et informations du PACES et/ou complémentaires) ?
- Quels types d'accompagnements seraient nécessaires pour aller plus loin, pour passer à l'action ?

Les partenaires du Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de l'est de la Mauricie:



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

