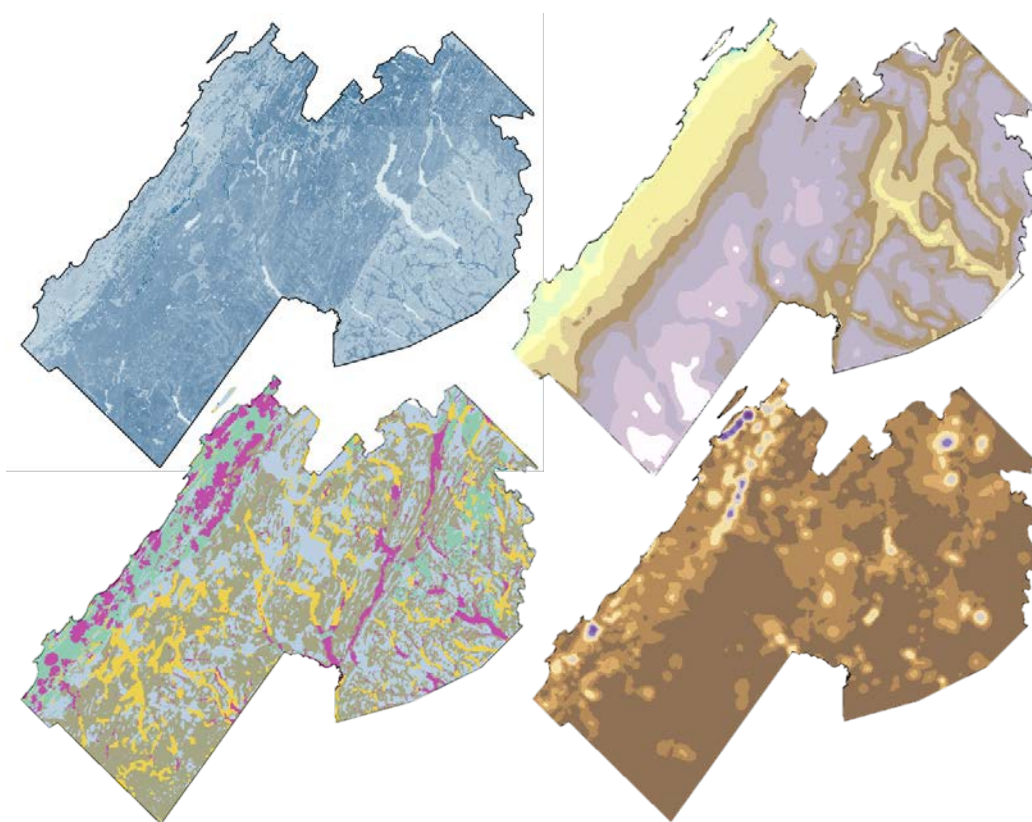


ATELIER 4

S'approprier les bases de données géomatiques du PACES

Kamouraska - Rivière-du-Loup - Témiscouata



CAHIER DU PARTICIPANT

12 septembre 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 Kamouraska – Rivière-du-Loup – Témiscouata (KRT) 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'UQAR et la Chaire de recherche Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR) en écologie du paysage et aménagement :

- Anne-Marie Decelles, directrice générale du RQES, conception, préparation et animation du webinaire
- Miryane Ferlatte, coordonnatrice scientifique du RQES, conception, préparation et animation du webinaire
- Julie Ruiz, professeure et co-directrice du centre de recherche RIVE de l'UQTR, conception du webinaire
- Thomas Buffin-Bélanger, professeur, UQAR, co-coordonnateur du PACES KRT
- Gwénaëlle Chaillou, professeure, UQAR, co-coordonnatrice du PACES KRT
- Gwendoline Tommi-Morin, professionnelle de recherche, UQAR, équipe de recherche du PACES-KRT

Ce cahier est préparé exclusivement pour la réalisation des exercices dans le cadre de l'atelier qui se tiendra le 12 septembre 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 KRT:

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

Tommi-Morin G., Deschamps C.-E., Dubé, J., Buffin-Bélanger T., Chaillou G. (2021) Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines – Kamouraska - Rivière-Du-Loup - Témiscouata. Rapport final 293p.



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

L'Université du Québec à Rimouski

L'Université du Québec à Rimouski (UQAR) a été fondée en 1969 et contribue depuis ce temps à la formation de personnel hautement qualifié et au développement des connaissances fondamentales et appliquées. L'UQAR a encouragé et supporté la mise en oeuvre du PACES-NEBSL par le Laboratoire de recherche en géomorphologie et dynamique fluviale et la Chaire de recherche en géochimie des hydrogéosystèmes côtiers.

Le Laboratoire de géomorphologie et dynamique fluviale (LGDF) développe les connaissances en lien avec la dynamique des cours d'eau dans le Bas-Saint-Laurent depuis 2003. Le LGDF a formé une trentaine d'étudiants et étudiantes à la maîtrise en géographie et au doctorat en sciences de l'environnement et comporte deux professionnels de recherche. Les échanges eaux de surface – eaux souterraines font partie des sujets de recherche du LGDF.

Pour en savoir plus : fluvial.uqar.ca

La Chaire de recherche en géochimie des hydrogéosystèmes côtiers développe les connaissances menant à une meilleure caractérisation et quantification des transformations géochimiques souterraines entre les nappes d'eau souterraine côtières et les océans. La Chaire a formé une douzaine d'étudiants et étudiantes à la maîtrise en géographie et en océanographie ainsi qu'au doctorat en sciences de l'environnement, en biologie et en océanographie. La caractérisation de l'évolution des signatures géochimiques ainsi que des échanges eaux de surface – eaux souterraines font partie des sujets de recherche de la Chaire.

Pour en savoir plus : www.uqar.ca/recherche/la-recherche-a-l-uqar/unites-de-recherche/geochimiehydrogeosystemes-cotiers/presentation-objectifs-et-mission-chaire-hydrogeosystemes-cotiers

Table des matières

Le déroulement de l'atelier	8
Votre équipe de formation	9
Résumé du PACES KRT	10
1. Quelques notions de base en hydrogéologie	12
2. Présentation des données géospatiales	23
Restrictions d'utilisation des données, droits d'auteur à respecter et sources à citer	25
Les limites générales des données	25
Glossaire de quelques termes utilisés en géomatique	26
Les données pour cet atelier	27
Les données ponctuelles de base	28
Les bases de données en format géodatabase	29
Retrouver les informations hydrogéologiques dans la géodatabase	30
Le projet mxd pour cet atelier	32
Préparer vos données : découpage de votre territoire	34
3. Interpréter les données disponibles pour comprendre l'hydrogéologie de votre territoire d'action	35
Épaisseur des dépôts meubles	36
Contextes hydrostratigraphiques	38
Conditions de confinement	40
Piézométrie	42
Recharge et résurgence	44
Vulnérabilité	46
Qualité de l'eau	48
Les autres résultats du PACES	50
4. Mon territoire d'action face à des enjeux de protection et de gestion des eaux souterraines	53
Déroulement	54
Question 1 : Recherche d'une nouvelle source d'eau potable souterraine	55
Synthèse du cheminement d'expert	56
1. Trouver de l'eau en quantité suffisante	57
2. Identifier les zones relativement protégées de la contamination	60
3. Faire le bilan des analyses faisant appel au géotraitement	62
4. Évaluer la qualité de l'eau	63

5. Identifier les zones en amont des sources potentielles de contamination actuelles et futures	64
Question 2 : Protection des zones de recharge	67
Synthèse du cheminement d'expert	68
1. Localiser les zones où la recharge est importante	69
2. Identifier les zones vulnérables à la contamination	70
3. Faire le bilan des analyses faisant appel au géotraitement	72
4. Évaluer la qualité de l'eau	73
5. Identifier les zones en amont des sources potentielles de contamination actuelles et futures	74
6. Identifier les zones en amont des puits d'approvisionnement pour la consommation humaine	76
Question 3 : Implantation d'une nouvelle activité potentiellement polluante	77
Synthèse du cheminement d'expert	78
1. Identifier les zones naturellement protégées de la contamination	79
2. Évaluer la qualité de l'eau	83
3. Identifier les zones en aval des puits d'approvisionnement en eau potable et les affectations compatibles	84
5. Réfléchir à nos besoins pour la suite	87
Déroulement	88

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

AM

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

PM

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 animatrices 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
514-987-3000 poste 0252
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

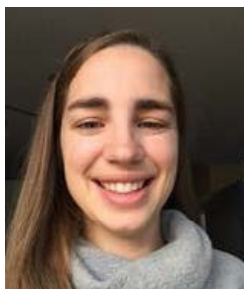
Vos experts en eaux souterraines - L'équipe de recherche de l'UQAR

**Thomas Buffin Bélanger**

Ph. D. en géographie
Professeur en hydrogéomorphologie
Département de biologie, chimie et
géographie
Université du Québec à Rimouski
300, allée des Ursulines
Rimouski (Qc) G5L 3A1
418 723-1986 poste 1577
thomas_buffin-belanger@uqar.ca

**Gwénaëlle Chaillou**

Ph. D. en océanographie
Professeure, titulaire de la chaire de
recherche du Canada sur la
géochimie des
hydrogéosystèmes côtiers
Département de biologie, chimie et
géographie
Université du Québec à Rimouski
300, allée des Ursulines
Rimouski (Qc) G5L 3A1
418 723-1986 poste 1950
gwenaelle_chaillou@uqar.ca

**Gwendoline Tommi-Morin**

Professionnelle de recherche
Département de biologie, chimie et
géographie
Université du Québec à Rimouski
300, allée des Ursulines
Rimouski (Qc) G5L 3A1
418 723-1986 poste 1733
paces@uqar.ca

Résumé du PACES KRT

Le Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Kamouraska, Rivière-du-Loup et Témiscouata (PACES-KRT) s'inscrit dans le cadre du Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES) développé par le Ministère de l'Environnement et de Lutte contre les Changements Climatiques (MELCC) afin d'établir une cartographie hydrogéologique du Québec municipalisé. Le PACES-KRT est réalisé par l'Université du Québec à Rimouski (UQAR) en collaboration avec les trois MRC incluses dans le territoire ciblé. Le projet compte également sur un appui et une implication significative de l'Organisme des bassins versants de Kamouraska, L'Islet et Rivière-du-Loup (OBAKIR), l'Organisme de bassins versants de la rivière Saint-Jean, le Conseil régional en environnement du Bas-Saint-Laurent (CRE) et le comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire (ZIPSE).

La troisième phase du PACES-KRT s'est déroulée entre avril 2020 et mars 2021 et s'est concentrée sur: - la finalisation des travaux de terrain durant l'été 2020 pour compléter ceux de l'année 2019 (installation et instrumentation de piézomètres, suivi hydrologique des cours d'eau, campagne d'échantillonnage ciblée des puits privés et sensibilisation des citoyens); - la consolidation des liens avec nos partenaires régionaux via l'organisation de rencontres et d'ateliers de transfert et d'appropriation des connaissances (ateliers 2 et 3 et ateliers RPEP du RQES, rencontres individuelles des MRC, rencontres avec les membres de l'OBAKIR, rencontre sur le terrain ES-KRT avec différents partenaires); - la recherche et développement en hydrogéologie régionale avec des projets de recherche ciblés; et - la production des livrables finaux.

La réalisation du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de Kamouraska, Rivière-du-Loup et Témiscouata aura permis de compléter et d'uniformiser les connaissances sur les eaux souterraines du Bas-Saint-Laurent. Ces connaissances se traduisent par des documents écrits et cartographiques ainsi qu'une base de données régionale. Les données acquises au cours des trois années du projet ainsi que les activités de transfert et d'appropriation des connaissances favoriseront une gestion pérenne des eaux souterraines dans la région du sud-ouest du Bas-Saint-Laurent. Le projet PACES-KRT complète ainsi le portrait régional, à l'échelle du Bas-Saint-Laurent, de la qualité, de la quantité et de la vulnérabilité des eaux souterraines.

Le territoire du PACES-KRT



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

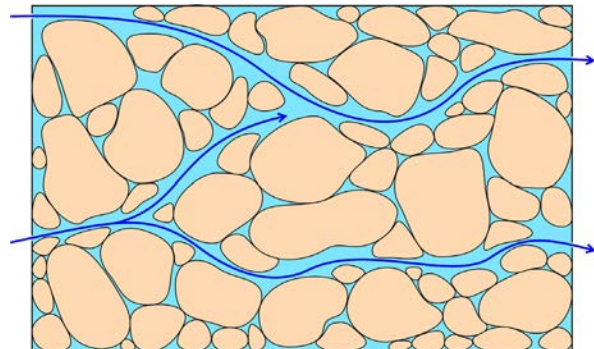
La **POROSITÉ** est le volume (en %) des pores, c'est-à-dire des espaces vides au sein de la matrice solide.

- 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.

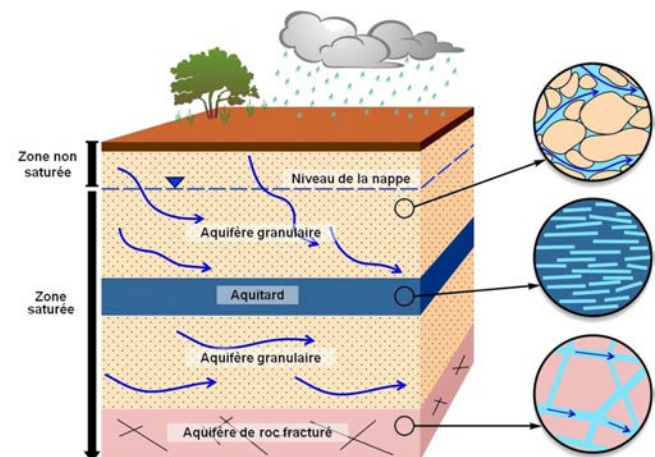
- C'est le **contenu**.

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 :

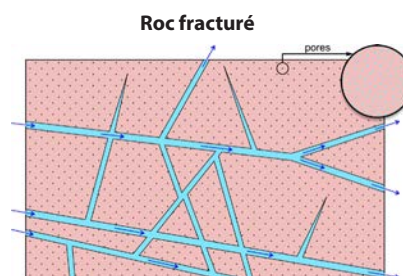
- le **ROC FRACTURÉ** qui constitue la partie supérieure de la croûte terrestre ;
- les **DÉPÔTS MEUBLES** qui sont l'ensemble des sédiments qui proviennent de l'érosion du socle rocheux et qui le recouvrent.

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.



AQUIFÈRE DE DÉPÔTS MEUBLES

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

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

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

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

Graviers



Argiles





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

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

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**.

Till



Sédiments fluvio-glaciaires



Argiles lacustres



Sédiments littoraux



Sédiments alluviaux



Sédiments éoliens



Tourbe



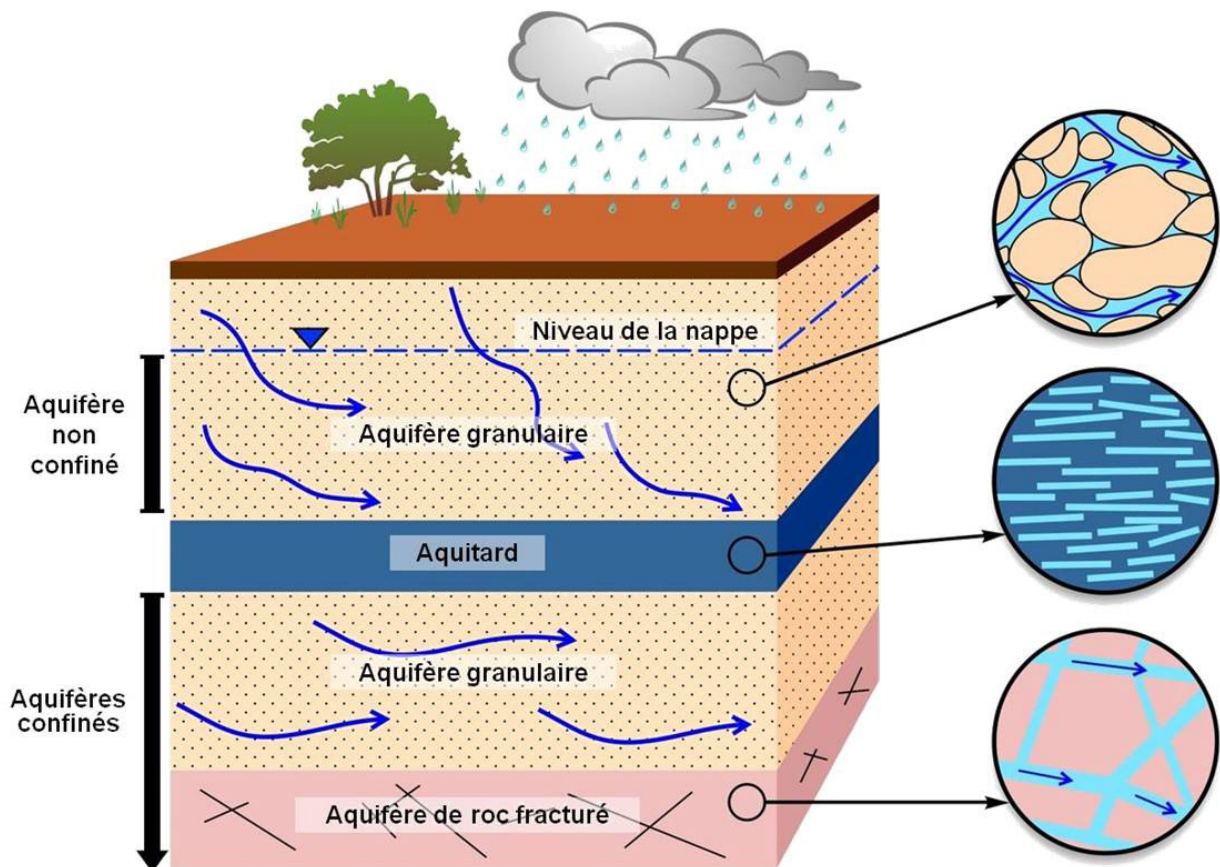


CONDITIONS DE CONFINEMENT

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.

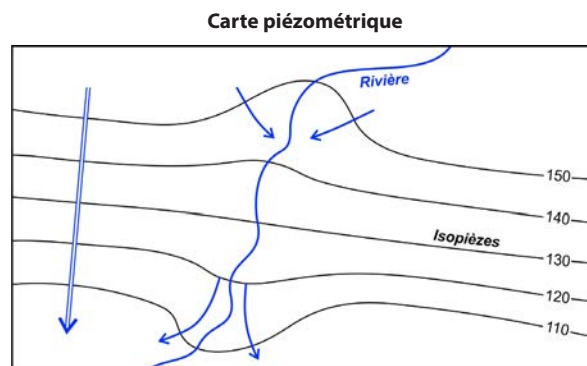




PIÉZOMÉTRIE

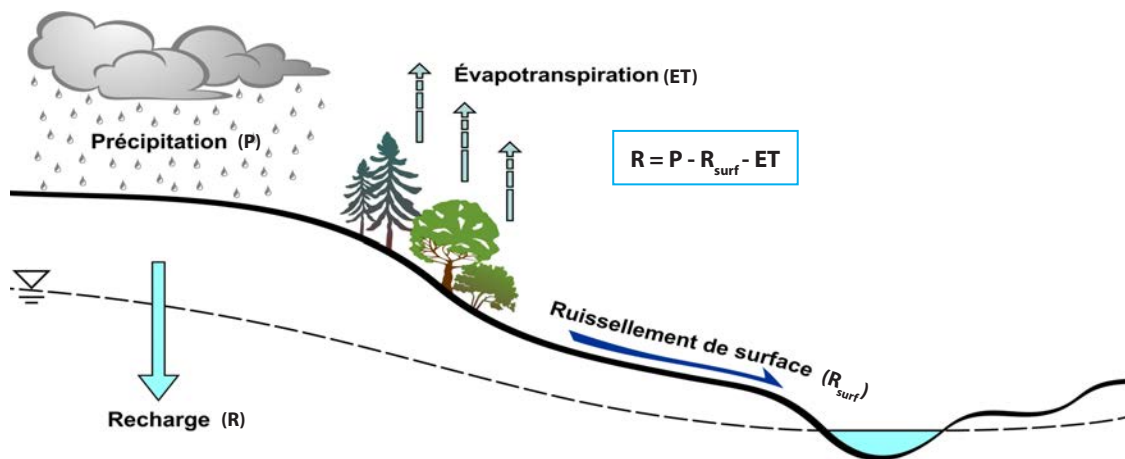
Le **NIVEAU PIÉZOMÉTRIQUE** (ou **charge hydraulique**) correspond à l'élévation que le niveau de l'eau souterraine mesurée dans un puits atteint pour être en équilibre avec la pression atmosphérique.

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'infiltrer 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.

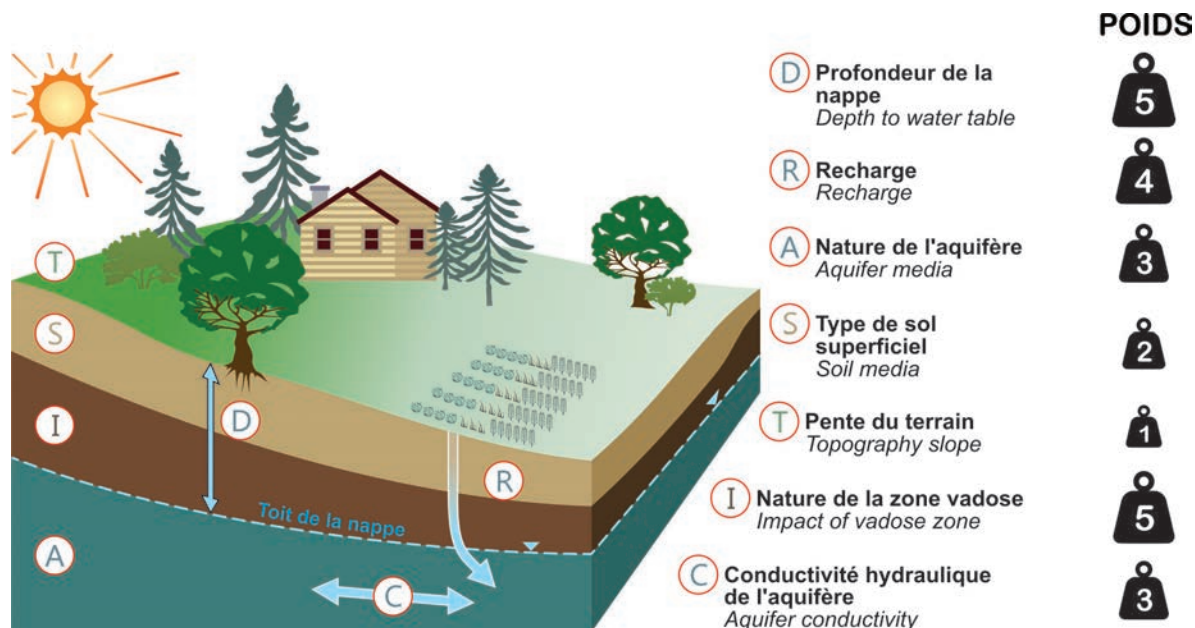


VULNÉRABILITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE

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-HCO₃** : eau récente, peu évoluée et minéralisée, signature géochimique se rapprochant de l'eau douce de recharge ;
- **Type Na-HCO₃** et **Na-SO₄** : 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 mg/L, pour éviter certains cancers et des effets cutanés, vasculaires et neurologiques.
- Ex. : Fluorures < 1,5 mg/L, afin de prévenir la fluorose dentaire.

Les **OBJECTIFS ESTHÉTIQUES (OE)** sont des **recommandations** pour les paramètres ayant un impact sur les caractéristiques organoleptiques de l'eau (couleur, odeur, goût), mais n'ayant pas d'effet néfaste reconnu sur la santé humaine. Les paramètres dont la présence peut entraîner la corrosion ou l'entartrage des puits ou des réseaux d'alimentation en eau sont aussi visés par ces objectifs. Ils sont publiés par Santé Canada (2014).

- Ex. : Fer < 0,3 mg/L, fondé sur le goût et les taches sur la lessive et les accessoires de plomberie.
- Ex. : Sulfures < 0,05 mg/L, fondé sur le goût et l'odeur.

2

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. 26)

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'UQAR 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'UQAR 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 KRT 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 **symbolologie** 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 **symbolologie**.

Symbolologie

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 données pour cet atelier

Les données du PACES KRT

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_KRT** contient les données suivantes:

1_Geodatabase

- GDB: **Exercices.gdb**
Ce fichier sert à enregistrer les nouvelles couches qui seront créées lors des géotraitements de l'activité 4.
- GDB: **GDB_PACES_KRT.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](#) .
- Sites_prelevements
 - SIH_KRT.shp
 - Sites_prelevement_eau_sout_KRT.shpContient 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.
- **Atelier 4_KRT.mxd**
Le [projet MXD](#) contient les données nécessaires à la réalisation des activités 3 et 4.

2_Coupes stratigraphiques

- Contient les PDF des 6 coupes stratigraphiques interprétées en profondeur dans le cadre du PACES.

3_Metadonnees

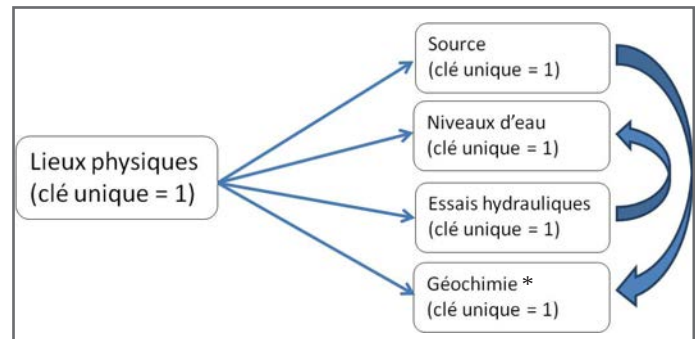
- Les [métadonnées](#) en fichier Word.

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 ne sont pas intégrées dans la base de données fournie pour l'atelier. Par contre, les données ponctuelles seront disponibles sur Données Québec 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_Fiabilité	Appréciation de la fiabilité de la localisation géographique du lieu physique attribuée par le projet du PACES.
CH_Niveau_eau	CH_Niveau_eau	Lieux physiques où un ou plusieurs niveaux d'eau ont été mesurés.	CH_TB_LIEUPHYS_Venue_Eau	Profondeur de la venue d'eau (Table vide).
			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		Sources (résurgences d'eau souterraine ponctuelles)

Les bases de données en format géodatabase

Arborescence de la base de données

- GBD_PACES_KRT.gdb
 - Carton
 - Anno_16_396
 - Anno_17_394
 - Anno_Rivieres
 - Annotation_divers
 - FeatTopoint
 - Hydro_L_Anno
 - L00_Fleuve
 - L00_hls_cotenord
 - L00_hls_gaspesie
 - L00_hls_hudsonie
 - L00_hls_laurentie
 - L00_Zone_PACES_inversee
 - L00_Zone_PACES_KRT
 - L01_Topographie
 - L02_AQ_Routes_202106
 - L02_AQ_Routes_202106Anno
 - L02_Lim_mrc
 - L02_Lim_mrcAnno
 - L02_Lim_munic
 - L02_Lim_municAnno
 - L02_Lim_region
 - L02_Reseau_routier
 - L03_MNE
 - L03_MNE_Hillshade
 - L04_Pente_deg_10m
 - L05_C_hyd_L
 - L05_C_hyd_P
 - L05_C_hyd_S
 - L05_RH_L
 - L05_RH_S
 - L06_Bassins_Versants_KRT
 - L07_Occupation_du_sol
 - L08a_Couverture_veget_forestiere
 - L08b_Couverture_agricole
 - L09_Milieus_humides
 - L10_Affectation_territoire
 - L11_Pedologie
 - L12_GeologieQuaternaire
 - L13_Faille
 - L13_Faille_SIGEOM
 - L13_Zone_geologique
 - L14_Coupes_stratigraphiques

Arborescence de la base de données

- L15_EpDepot_point
- L15_EpDepot_Raster
- L15b_Ep_Argile
- L16_topographie_roc
- L17_Confinement
- L17_confinement_raster
- L18_Contextes_hydro
- L18_Contextes_hydro_raster
- L20_Isopiezies
- L20_Piezo_KRT
- L20_Regions_hydro
- L20_Regions_hydro_L
- L22_A_Type_Aquifere
- L22_C_Conductivite
- L22_D_Prof_nappe
- L22_DRASTIC
- L22_I_Vadose
- L22_R_Recharge
- L22_S_Type_sol
- L22_T_Pente
- L23_L24_Qualite_eau_potable
- L23_L24_Qualite_eau_potable_valeurs
- L25_Repartition
- L25_Reseaux_municipaux
- L25_utilisation_eau_graphique
- L26_Station_Hydrometrie
- L26_Station_meteo
- L26_Suivi_ES
- L27_Recharge
- L27_Resurgence
- L28_Zone_etude_KRT

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		 L01_Topographie	Courbe de niveau (élévation en m)
2. Routes, limites municipales et toponymie	X	 L02_AQ_Routes_202106	Réseau routier
		 L02_Reseau_routier	Réseau routier par type de route
		 L02_Lim_munic	Limites municipales
		 L02_Lim_mrc	Municipalité régionale de comté (MRC)
		 L02_Lim_region	Limites de la région KRT
3. Modèle numérique d'élévation (MNE)		 L03_MNE  L03_MNE_Hillshade	Élévation p/r au NMM (m) Élévation p/r au NMM (m) en ombrage
4. Pente du sol		 L04_Pente_deg_10m	Pente du sol (en °)
		 L22_T_Pente	Pente du sol (en %)
5. Hydrographie	X	 L05_RH_S	Réseau hydrographique surfacique
	X	 L05_RH_L	Réseau hydrographique linéaire
		 L05_C_hyd_L	Obstacles (chutes, barrages, quais)
		 L05_C_hyd_P	Chutes
6. Bassins versants		 L06_Bassins_Versants_KRT	Bassins versants principaux (Niveau 1)
7. Occupation du sol	X	 L07_Occupation_du_sol	Occupation du sol
8. Couverture végétale		 L08a_Couverture_veget_forestiere	Types de couvert forestier
		 L08b_Couverture_agricole	Types de cultures
9. Milieux humides		 L09_Milieux_humides	Milieux humides potentiels
10. Affectation du territoire	X	 L10_Affectation_territoire	Affectation du territoire
11. Pédologie		 L11_Pedologie	Types de sol (Classification IRDA)
12. Géologie Quaternaire	X	 L12_GeologieQuaternaire	Géologie du quaternaire (dépôts de surface)
13. Géologie du roc		 L13_Zone_geologique	Zone géologique (géologie du roc)
		 L13_Faille_SIGEOM	Failles régionales
14. Coupes stratigraphiques	X	 L14_Coupes_stratigraphiques	Coupes stratigraphiques
15. Épaisseur des dépôts meubles	X	 L15_EpDepot_Raster	Épaisseur totale des dépôts meubles (m)
	X	 L15b_Ep_Argile	Épaisseur des dépôts d'argile (m)
	X	 L15_EpDepot_point	Points de mesure des épaisseurs
16. Topographie du roc		 L16_topographie_roc	Élévation du roc par rapport au niveau moyen des mers - NMM (m)
17. Conditions de confinement		 L17_Confinement	Confinement
18. Contextes hydrogéologiques	X	 L18_Contextes_hydro	Contextes hydrostratigraphiques

* 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.

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)
20. Piézométrie	X	 L20_Piezo_KRT	Piézométrie (m)
	X	 L20_Isopiezes	Lignes piézométriques
22. Vulnérabilité	X	 L22_DRASTIC	Indice de vulnérabilité
	X	 L22_D_Prof_nappe	D: Profondeur de la nappe (m)
		 L22_R_Recharge	R: Recharge en eau
		 L22_A_Type_Aquifere	A: Nature du milieu aquifère
		 L22_S_Type_sol	S: Type de sol
		 L22_T_Pente	T: Topographie (pente)
		 L22_I_Vadose	I: Nature de la zone vadose
		 L22_C_Conductivite	C: Conductivité hydraulique
23. Qualité de l'eau: critères eau potable	X	 L23_L24_Qualite_eau_potable	Géochimie - Concentrations maximales acceptables(CMA)
24. Qualité de l'eau: objectifs esthétiques	X	 L23_L24_Qualite_eau_potable	Géochimie - Objectifs esthétiques (OE)
25. Utilisation de l'eau		 L25_Repartition	Consommation de l'eau par secteur (m³/an)
		 L25_utilisation_eau_graphique	Consommation de l'eau par secteur (m³/an)
		 L25_Reseaux_municipaux	Type d'approvisionnement par municipalité
26. Stations de mesures		 L26_Station_Hydrometrie	Stations hydrométriques
		 L26_Station_meteo	Stations météorologiques
		 L26_Suivi_ES	Stations piézométriques
27. Recharge et résurgence		 L27_Recharge	Recharge annuelle (mm/an) - dégradé
	X	 L22_R_Recharge	Recharge en eau (mm/an) - intervalles
	X	 L27_Resurgence	Types de zone de résurgence
28. Délimitation de la zone d'étude	X	 L28_Zone_etude_KRT	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**  **Atelier4_KRT.mxd** a été préparé.

Présentation générale

Les différentes couches ont été classées 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

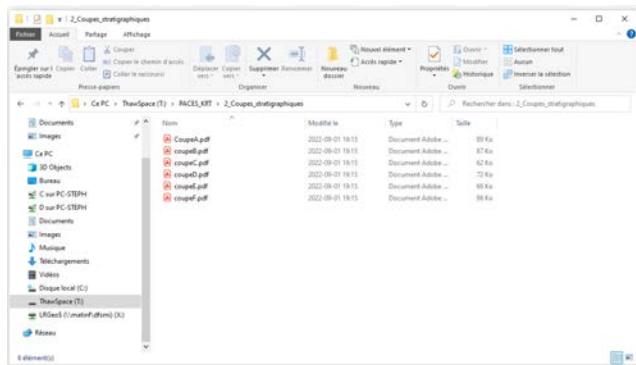
Certaines données vectorielles polygonales  ont été converties en données matricielles  pour que les géotraitements soient possibles.

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  **2_Coupes_Stratigraphiques**.

Pour rendre fonctionnel les liens hypertexte, suivre les étapes suivantes:

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

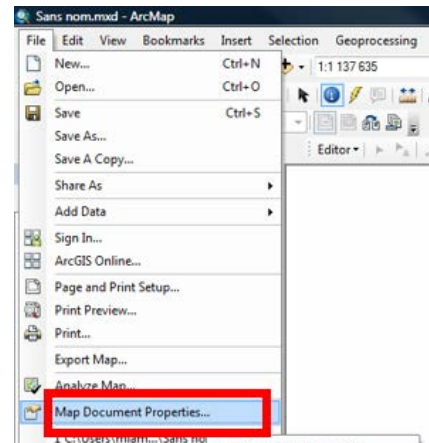


3. Sélectionner et copier l'adresse fournie en haut de la fenêtre

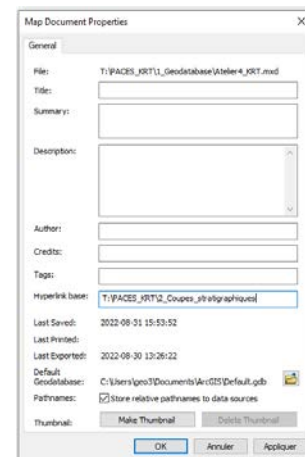


4. Ouvrir le projet ArcMap Atelier4_KRT.mxd

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_KRT et que vous avez copié 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).



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 Atelier4_KRT.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**  **L14_Coupes_stratigraphiques** (*alias Coupes stratigraphiques*).

Le projet mxd pour cet atelier

Table des matières de votre projet mxd pour cet atelier

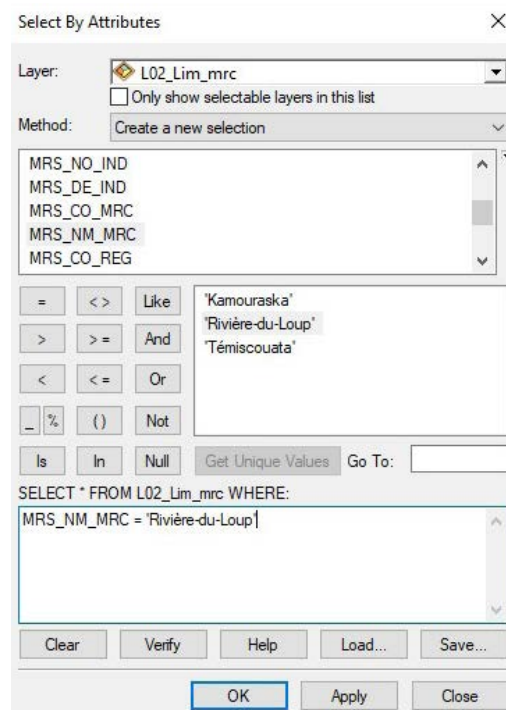
- ☐ **PACES - KRT**
 - ☐ ZONE ETUDE
 - ☐ L28_Zone_etude_KRT
 - ☐ L02_Lim_mrc
 - ☐ Limites administratives
 - ☐ Réseau routier
 - ☐ L02_Reseau_routier
 - ☐ EXERCICES
 - ☐ Question 1 - Puits
 - ☐ Question 2 - Recharge
 - ☐ Question 3 - Activité polluante
 - ☐ HYDROGRAPHIE
 - ☐ Cours d'eau
 - ☐ L05_RH_S
 - ☐ L06_Bassins_Versants_KRT
 - ☐ Obstacles
 - ☐ DONNEES UTILES EN AMENAGEMENT
 - ☐ Epaisseur des depots meubles
 - ☐ Épaisseur des dépôts meubles (m)
 - ☐ Épaisseur des dépôts d'argile (m)
 - ☐ Épaisseur des dépôts sans argile (m)
 - ☐ Contextes hydrostratigraphiques
 - ☐ Contextes hydrostratigraphiques
 - ☐ L18_Contextes_hydro_raster
 - ☐ Coupes stratigraphiques
 - ☐ Indice de confinement de surface
 - ☐ L17_Confinement
 - ☐ L17_confinement_raster
 - ☐ Piezometrie
 - ☐ Piézométrie (m)
 - ☐ Isopièzes
 - ☐ Ligne de partage des eaux
 - ☐ Recharge et resurgence
 - ☐ Recharge annuelle
 - ☐ Recharge en eau
 - ☐ resurg_fin
 - ☐ Vulnerabilite
 - ☐ Indice de vulnérabilité
 - ☐ Nature du milieu aquifère
 - ☐ Conductivité
 - ☐ Profondeur de la nappe (m)
 - ☐ Nature de la zone vadose
 - ☐ Recharge en eau
 - ☐ L22_S_Type_sol
 - ☐ Pente (%)
 - ☐ Qualite
 - ☐ Criteres potabilite
 - ☐ Criteres esthetiques
 - ☐ Activite anthropique
 - ☐ AffectationTerritoire
 - ☐ Occupation du sol
 - ☐ Occupation du sol
 - ☐ DONNEES PONCTUELLES
 - ☐ Sites_prelevement_eau_sout_KRT
 - ☐ SIH_KRT
 - ☐ AUTRES DONNEES PACES
 - ☐ Élévation (m)
 - ☐ MH_Potentiel_KRT
 - ☐ L12_GeologieQuaternaire



Préparez vos données : découpage de votre territoire

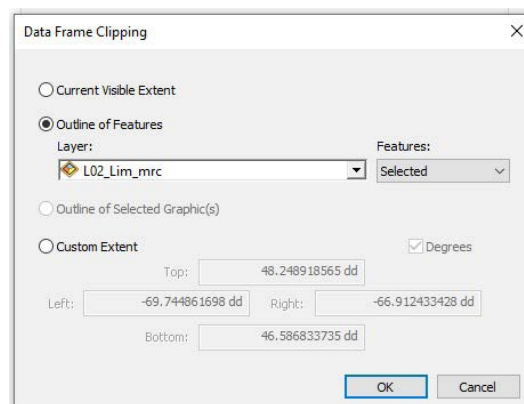
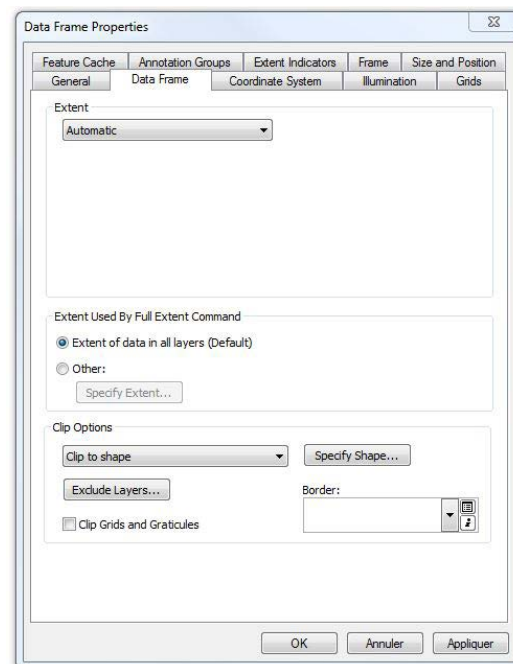
Sélectionnez votre territoire

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 **Paces_KRT** dans la table des matières du **projet mxd** et en sélectionnant Properties (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 Rivière-du-Loup

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
 L15_EpDepot_point	L15_EpDepot_point	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
 L15_EpDepot_Raster	Épaisseur des dépôts meubles	Épaisseur totale en mètres des dépôts meubles
 L15b_Ep_Argile	Épaisseur des dépôts d'argile	Épaisseur en mètres des sédiments argileux
 Ep_dep_SANS_ARGILE*	Épaisseur des dépôts sans argile	Épaisseur en mètres des sédiments sans les dépôts argileux

*Cette couche a été créée par le RQES pour la réalisation de l'activité 4: elle ne fait pas partie de la base de données du PACES-KRT.

Interprétation générale de la couche d'informations

Légende : Épaisseur des dépôts meubles (m)	Signification	Information générale à tirer de la notion
 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 - 5	Épaisseur faible 1 à 5 m	- Pas d'aquifère de dépôts meubles possible 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
 5 - 10	Épaisseur moyenne 5 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 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
 10 - 20	Épaisseur élevée 10 à 20 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
 20 - 30  30 - 40  40 - 50  50 et +	Épaisseur très élevée 20 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

Légende : Épaisseur des dépôts d'argile (m)		
Épaisseur des dépôts d'argile (m)	Signification	Information générale à tirer de la notion
 0 - 1	Épaisseur nulle ou très faible 1 m et moins	- Pas de couche imperméable (aquitard) Nappe sous-jacente libre, vulnérable à la contamination depuis la surface
 1 - 5	Épaisseur moyenne 1 à 5 m	- Couche imperméable (aquitard) de faible épaisseur Nappe sous-jacente semi-captive, modérément protégée de la contamination depuis la surface
 5 - 10  10 - 20  20 - 30  30 - 40  40 - 50	Épaisseur élevée 5 m et plus	- Couche imperméable (aquitard) d'épaisseur élevée Nappe sous-jacente captive, bien protégée de la contamination depuis la surface

? 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 hydrostratigraphiques

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](#).

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
 L18_Contextes_hydro_raster	<i>Contextes hydrostratigraphiques</i>	Répartition spatiale de séquences hydrostratigraphiques-types de dépôts meubles
 L14_Coupes_stratigraphiques	<i>Coupes stratigraphiques</i>	Localisation des coupes stratigraphiques

Interprétation générale de la couche d'informations

Légende : Contextes hydrostratigraphiques	Signification	Information générale à tirer de la notion
 Sable et gravier sur roc	Sédiments granulaires	Aquifère granulaire potentiel dans la séquence hydrostratigraphique - Possible si les sédiments grossiers sont suffisamment épais (ex. : + de 5 m) Aquifère d'extension limité
 Sable et gravier sur sédiments argileux sur roc		
 Sable et gravier sur sédiments argileux sur sédiments indifférenciés sur roc		
 Sable et gravier sur sédiments argileux sur roc	Argile	Aquitard potentiel dans la séquence hydrostratigraphique - Peut causer des conditions de nappe semi-captive si l'argile est peu épaisse (ex. : de 1 à 3 m) - Peut causer des conditions de nappe captive si l'argile est suffisamment épaisse (ex. : + de 3 m)
 Sable et gravier sur sédiments argileux sur sédiments indifférenciés		
 Till sur roc	Sédiments fins	Aquitard potentiel dans la séquence hydrostratigraphique - Peut causer des conditions de nappe semi-captive si les sédiments fins sont peu épais (ex. : de 3 à 5 m) - Peut causer des conditions de nappe captive si les sédiments fins sont suffisamment épais (ex. : + de 5 m)
 Roc affleurant	Roc	Aquifère de roc fracturé toujours présent à la base des séquences hydrostratigraphiques - Présent dans tous les contextes hydrostratigraphiques Aquifère d'extension régionale



Questions d'interprétation

Où se situent les **aquifères** de **dépôts meubles** potentiels sur mon territoire ?

Où se situent les **aquitards** potentiels 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

Conditions de confinement

Description

Les contextes hydrostratigraphiques 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).

Les conditions de confinement des [aquifères](#) indiquent le degré de connexion hydraulique de l'[aquifère](#) avec l'hydrologie de surface (précipitations et cours d'eau) et les unités géologiques sus-jacentes, ce qui limite ou favorise la [recharge](#) de l'[aquifère](#) ou encore sa protection par rapport à une contamination provenant de la surface. Les conditions de confinement sont déterminées selon l'épaisseur des [dépôts meubles](#) qui sont peu perméables à l'écoulement de l'eau (ex. : [silt](#) et [argile](#)).

Couches de données géospatiales concernées

Nom de la couche	Description (Alias)	Contenu de la couche
 L17_confinement_raster	L17_Confinement	Distribution spatiale du confinement des aquifères de roc fracturé

Interprétation générale de la couche d'informations

Légende : Conditions de confinement	Signification	Informations générales à tirer de la notion
 Nappe captive > 3 m d'argile ou > 5 m de sédiments fins	Aquifère à nappe captive	• Recharge faible • Vulnérabilité faible • Variations du niveau de la nappe faibles* • Eau souterraine possiblement minéralisée, dont la qualité pourrait être mauvaise**
 Nappe semi-captive 1 à 3 m d'argile ou 3 à 5 m de sédiments fins	Aquifère à nappe semi-captive	• Recharge faible à moyenne • Vulnérabilité faible à moyenne • Variations de niveau de la nappe moyennes* • Eau souterraine possiblement légèrement minéralisée, probablement de qualité passable**
 Nappe libre < 1 m d'argile ou < 3 m de sédiments fins	Aquifère à nappe libre	• Recharge moyenne à élevée • Vulnérabilité moyenne à élevée • Variations de niveau de la nappe moyennes à élevées* • Eau souterraine possiblement faiblement minéralisée, probablement de bonne qualité**

*La fluctuation des niveaux de la [nappe](#) est aussi influencée par les [propriétés hydrauliques](#) d'un [aquifère](#), notamment sa [porosité](#).

**La minéralisation de l'[eau souterraine](#) est aussi grandement influencée par le type d'[aquifère](#) (granulaire ou fracturé) et sa composition minéralogique.



Questions d'interprétation

Où se situent les **aquifères** à **nappe captive** sur mon territoire ? Quels sont les effets sur les autres paramètres hydrogéologiques (**recharge**, **vulnérabilité**, niveau de la **nappe**, qualité de l'eau) ?

Où se situent les **aquifères** à **nappe libre** sur mon territoire ? Quels sont les effets sur les autres paramètres hydrogéologiques (**recharge**, **vulnérabilité**, niveau de la **nappe**, qualité de l'eau) ?

Où se situent les **aquifères** à **nappe semi-captive** sur mon territoire ? Quels sont les effets sur les autres paramètres hydrogéologiques (**recharge**, **vulnérabilité**, niveau de la **nappe**, qualité de l'eau) ?

Les autres observations sur mon territoire d'action

Piézométrie

Description

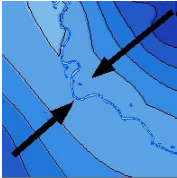
Le **niveau piézométrique** (ou **charge hydraulique**) correspond à l'élévation du niveau d'eau mesuré dans un puits. Dans un **aquifère à nappe libre**, le **niveau piézométrique** correspond à la surface de la **nappe** dans l'**aquifère**. Dans le cas d'un **aquifère à nappe captive**, le **niveau 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
 L20_Piezo_KRT	Piézométrie (m)	Estimation des niveaux piézométriques (en mètres par rapport au niveau moyen de la mer) pour l'aquifère régional de roc fracturé
 L22_D_Prof_nappe	Profondeur de la nappe (m)	Profondeur de la nappe par rapport à la surface
 L20_Isopiezes	Isopiezes	Estimation des niveaux piézométriques représentés en courbes aux intervalles de 20 m

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	• Isopiezes 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	• Isopiezes 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

Légende : Profondeur de la nappe (m)			Signification	Informations générales à tirer de la notion
	0 - 1,5	Profondeur faible 0 à 1,5 m		- Les précipitations atteindront rapidement la nappe, particulièrement si le matériau de la zone vadose est perméable - Peut indiquer des zones de résurgence en surface de l'eau souterraine - Contribue à une hausse de la vulnérabilité
	1,5 - 4,6	Profondeur moyenne 1,5 à 9,1 m		- Les précipitations atteindront modérément rapidement la nappe, particulièrement si le matériau de la zone vadose est perméable - Contribue à une hausse de la vulnérabilité
	4,6 - 9,1			
	9,1 - 15,2	Profondeur élevée 9,1 m et plus		- Les précipitations atteindront peu rapidement la nappe (quelques jours, voire semaines), en fonction du matériau de la zone vadose - Contribue à une diminution de la vulnérabilité
	15,2 - 22,8			
	22,8 - 30,5			
	30,5 et +			

? 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** ?

Sur mon territoire, où se situent les zones où la **nappe d'eau souterraine** est profonde et inversement, où il pourrait y avoir **résurgence d'eau souterraine** ? De quelle façon les précipitations atteindront la **nappe** (rapidement, lentement) dans ces deux cas ?

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
 L27_Recharge	<i>Recharge annuelle</i>	Estimation de la recharge en millimètres par an
 L27_Resurgence	<i>resurg_fin</i>	Résurgences de l' eau souterraine

Interprétation générale de la couche d'informations

Légende : Recharge (mm/an)	Signification	Clés d'interprétation
 0 - 50  50 - 102	Recharge nulle ou faible 0 à 102 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
 102 - 178  178 - 254	Recharge moyenne 102 à 254 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
 254 et +	Recharge élevée 254 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

Légende : Résurgences (types)	Signification	Information générale à tirer de la notion
	Résurgence diffuse	• Pas de recharge • Crée parfois ou maintient des milieux humides
	Résurgence ponctuelle en bris de pente piézométrique	• Pas de recharge • Sources
	Lien hydraulique entre l'eau souterraine et les cours d'eau de surface	• Pas de recharge • Mélange d'eau souterraine dans l'eau de surface • Assure le débit de base des cours d'eau



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
 L22_DRASTIC**	Indice de vulnérabilité	Indice de vulnérabilité DRASTIC des eaux souterraines appliqué pour les aquifères de roc fracturé*

* Dans la région, il n'y a pas d'aquifère granulaire suffisamment étendu pour en déterminer leur vulnérabilité. Il est tout de même possible d'utiliser la carte de l'épaisseur de sédiments argileux pour avoir une indication de la vulnérabilité de ces aquifères granulaires.

** Une carte de la distribution spatiale de chacun des sept paramètres (L22_D(...), L22_R(...), etc) a également été produite en format matriciel (raster).

Interprétation générale de la couche d'informations

Légende : Indice DRASTIC	Signification	Clés d'interprétation**
 < 60  60 -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
 100-140  140-180	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	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
 L23_L24_Qualite_eau_potable	Geochimie_CMA	Dépassements des concentrations maximales acceptables (CMA)
 L23_L24_Qualite_eau_potable	Geochimie_OE	Dépassements des objectifs esthétiques (OE)

Interprétation générale des couches d'informations

Légende : Dépassement des critères de qualité de l'eau		Signification	Informations générales à tirer de la notion
         		Dépassement de la concentration maximale acceptable (CMA)	• Eau souterraine de mauvaise qualité • Non potable • Risque pour la santé
		Pour le manganèse, dépassement de la recommandation de Santé Canada de 0,12 mg/L	
       		Dépassement de l' objectif esthétique (OE)	• Eau souterraine de qualité passable • Potable • Avec désagrément esthétique (couleur, odeur, goût), mais sans danger pour la santé
		Aucun dépassement	• Eau souterraine de bonne qualité • Potable • Sans désagrément esthétique ni risque pour la santé



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.55)
2. Quelles zones devraient être protégées en priorité pour la recharge? (p.67)
3. Où pourrait-on implanter une nouvelle activité potentiellement polluante afin de minimiser son impact sur la qualité des eaux souterraines? (p.77)

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

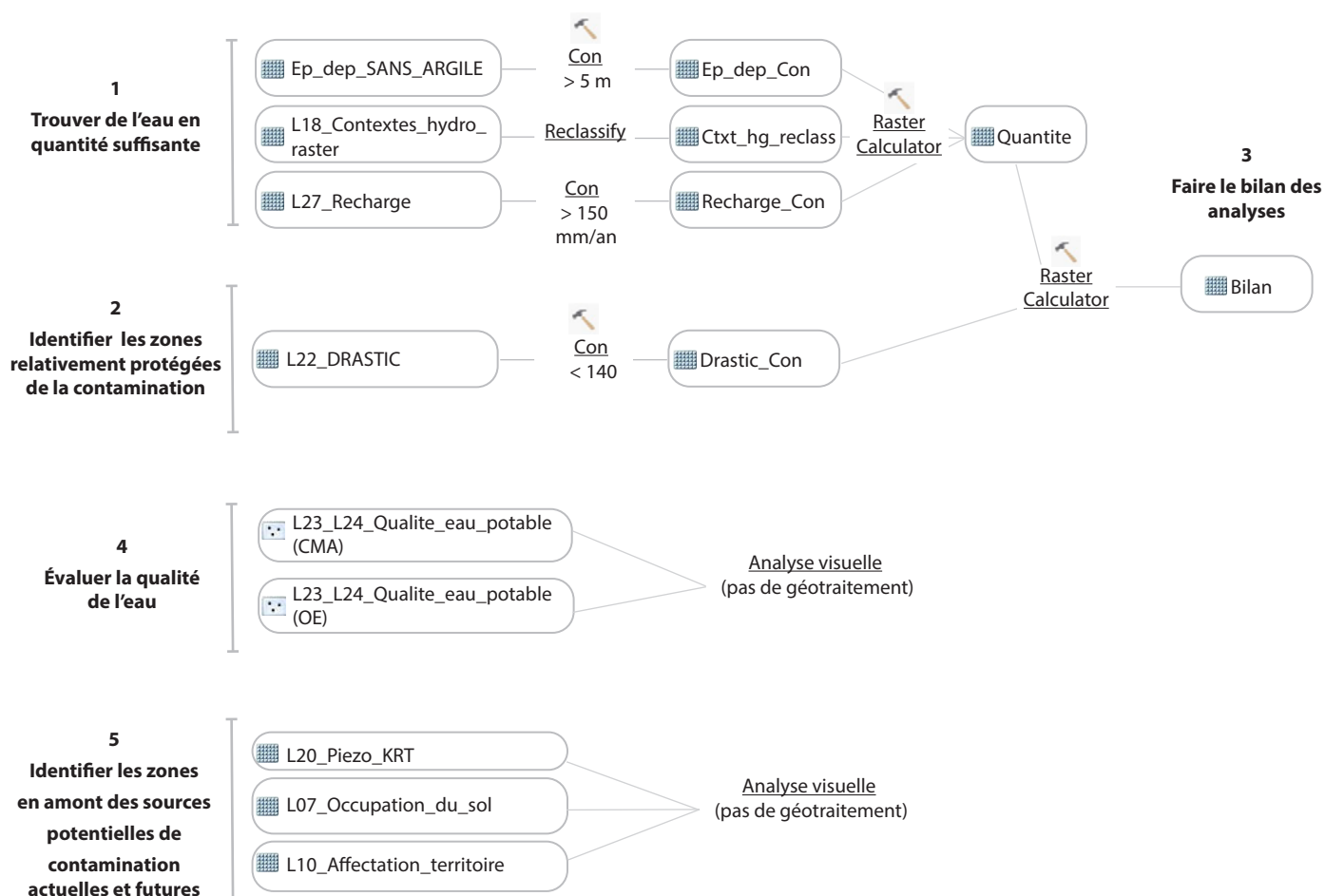
Question

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	 Ep_dep_SANS_ARGILE	<i>Épaisseur des dépôts meubles sans l'argile</i>	- Épaisseur moyenne : 5 à 10 m - Épaisseur élevée : 10 à 20 m - Épaisseur très élevée : 20 m et plus
	Contextes hydrogéologiques	 L18_Contextes_hydro_raster	<i>Contextes hydrostratigraphiques</i>	Présence de sédiments granulaires dans la séquence hydrostratigraphique
Recharge élevée	Recharge et résurgence	 R_Recharge	<i>Recharge annuelle (mm/an)</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** de la Table contents et mettre les valeurs de 0 de la légende en transparence pour faciliter l'affichage des résultats.

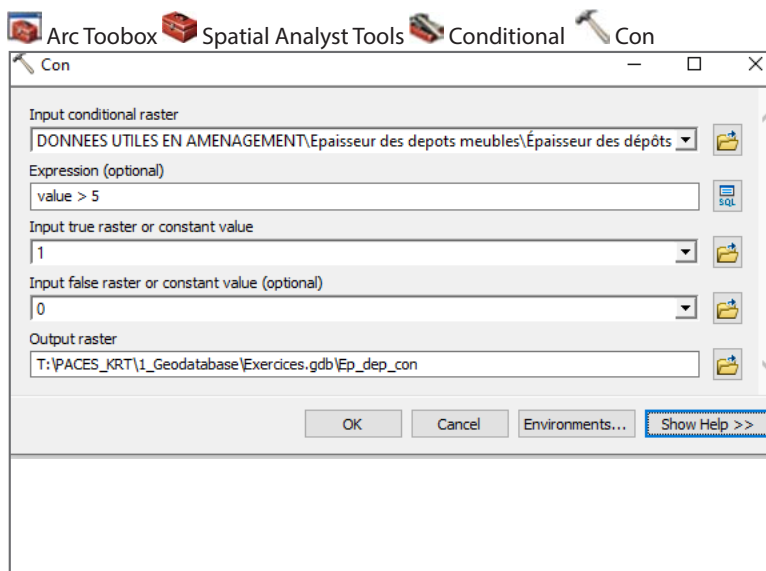
ÉPAISSEUR DES DÉPÔTS MEUBLES

Identifier les cellules de **Ep_dep_SANS_ARGILE** (*alias: Épaisseur des dépôts meubles sans argile*) 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.

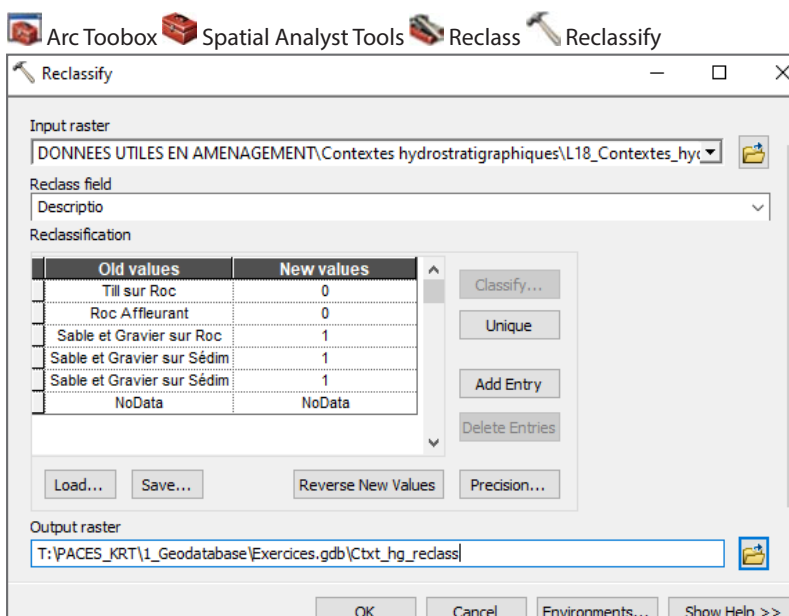


CONTEXTES HYDROSTRATIGRAPHIQUES

Identifier les cellules de **L18_Contextes_hydro** (*alias: Contextes hydrostratigraphiques*) 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.

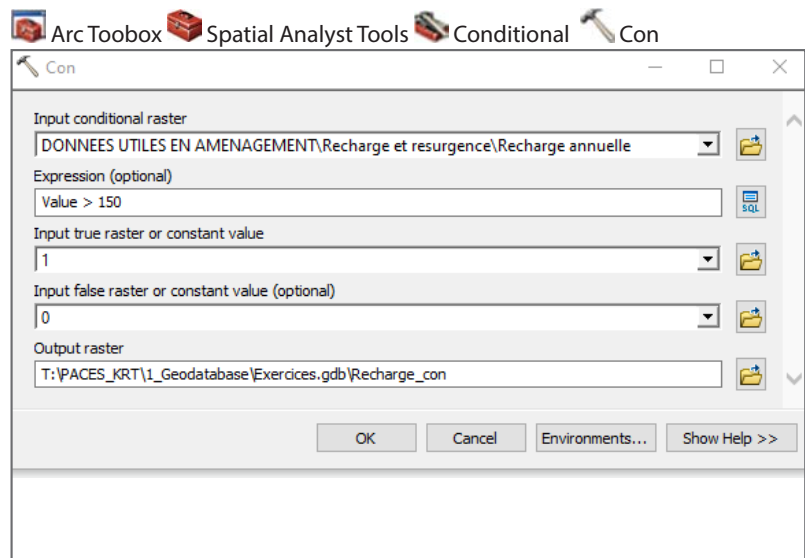


RECHARGE ET RÉSURGENCE

Identifier les cellules de **L27_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.



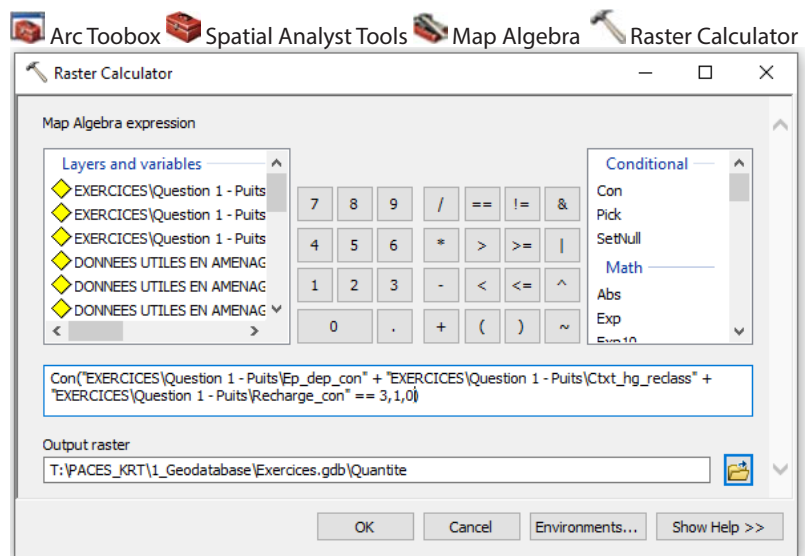
BILAN

Combiner les résultats des couches **Ep_dep_Con**, **Ctxt_hg_reclass** et **Recharge_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 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 potentiellement la 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	 L22_DRASTIC	<i>Indice de vulnérabilité</i>	- Vulnérabilité faible : indice de 100 ou moins - Vulnérabilité moyenne : indice entre 100 et 180
Toutes les conditions de confinement	Conditions de confinement	 L17_Confinement	<i>Confinement</i>	Toutes les conditions de confinement



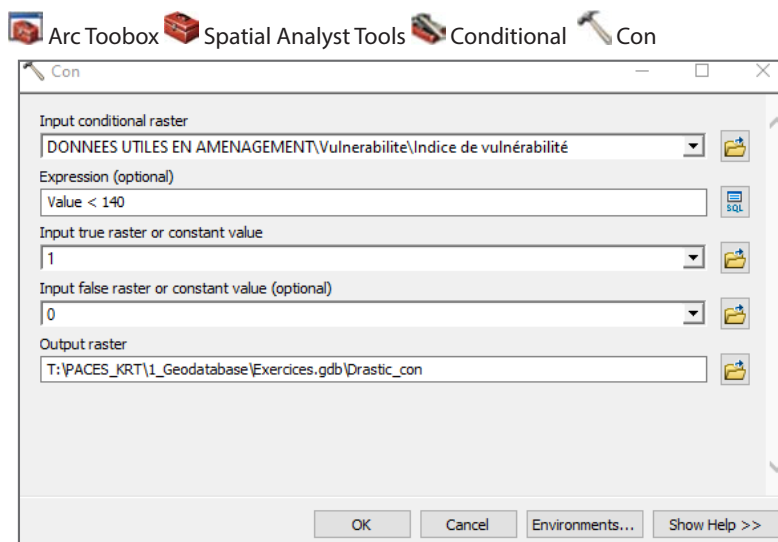
Procédure étape par étape

VULNÉRABILITÉ

Identifier les cellules de **L22_DRASTIC** (alias : *Indice de vulnérabilité*) 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



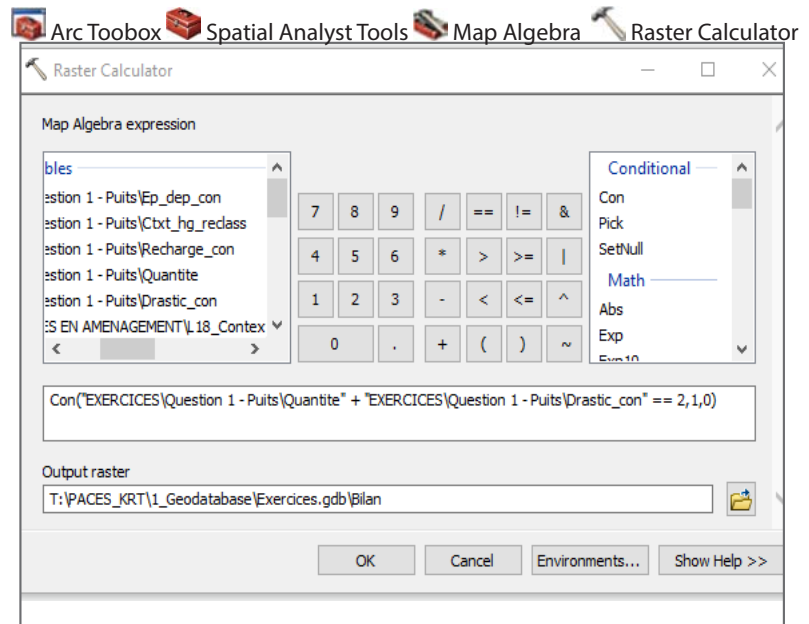
Procédure étape par étape

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 (Alias)	Critères
Eau de qualité passable à bonne	Qualité de l'eau	 L23_L24_Qualite_eau_potable	Geochimie_CMA	Eau souterraine de bonne qualité : aucun dépassement de CMA et d'OE dans l'aquifère
		 L23_L24_Qualite_eau_potable	Geochimie_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:

-  **L23_L24_Qualite_eau_potable** (alias Geochimie_CMA)
-  **L23_L24_Qualite_eau_potable** (alias Geochimie_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	 L20_Piezo_KRT	<i>Piézométrie (m)</i>	En amont des activités humaines pouvant représenter un danger pour la qualité de l'eau
	Occupation du sol	 L07_Occupation_du_sol	<i>Occupation du sol</i>	
	Affectation du territoire	 L10_Affectation_territoire	<i>Affectation du territoire</i>	



Procédure étape par étape

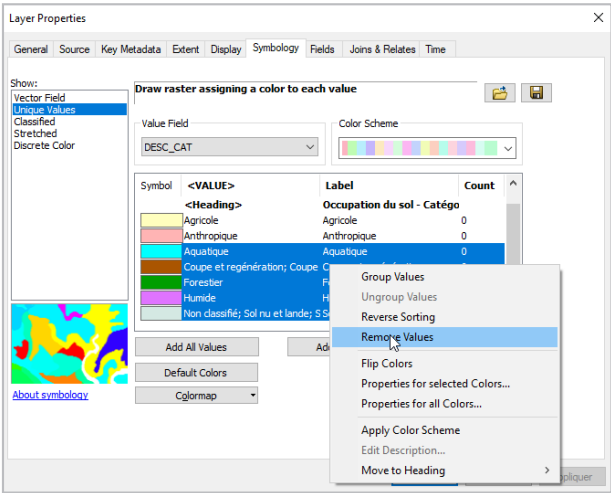
OCCUPATION DU SOL

Pour identifier des sources potentielles de contamination actuelles, dans la couche  **L07_Occupation_du_sol** (*alias: 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).

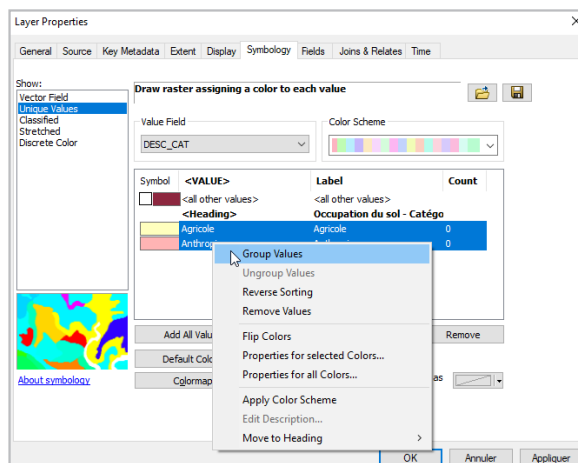
Étape 1: Ctrl+clik, clic droit, Remove values



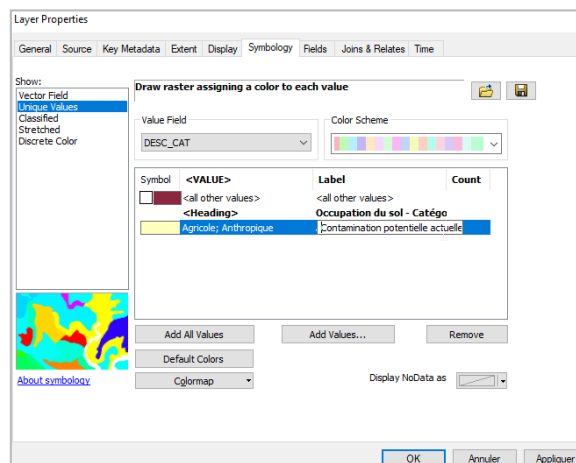


Procédure étape par étape

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 **L10_Affectation_territoire** (*alias: 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 **L20_Piezo_KRT** (*alias : Piézométrie (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

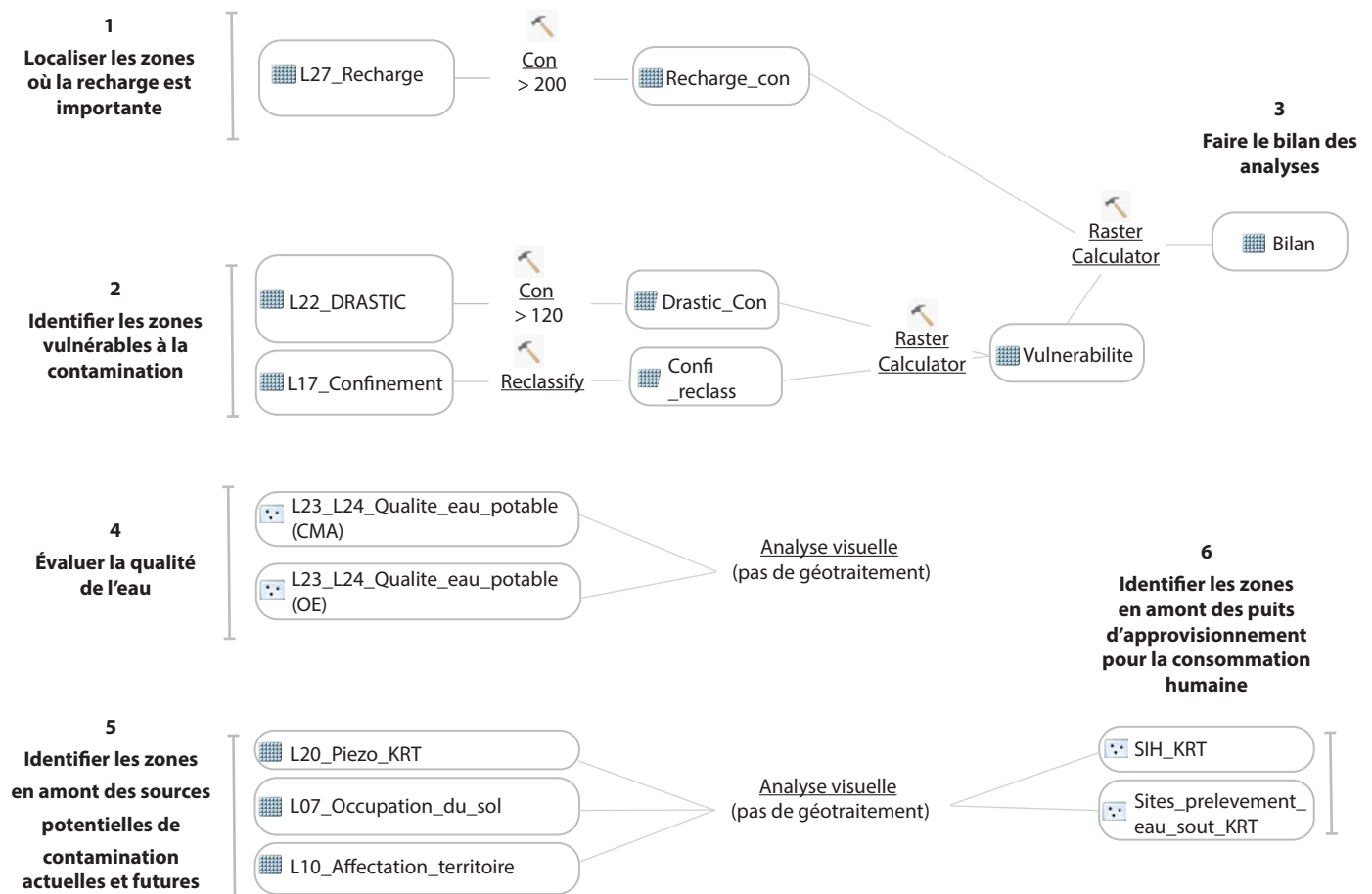
Question

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	 L27_Recharge	Recharge annuelle (mm/an)	Recharge élevée: 200 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** de la Table contents et mettre les valeurs de 0 de la légende en transparence (sans couleur) pour faciliter l'affichage des résultats.

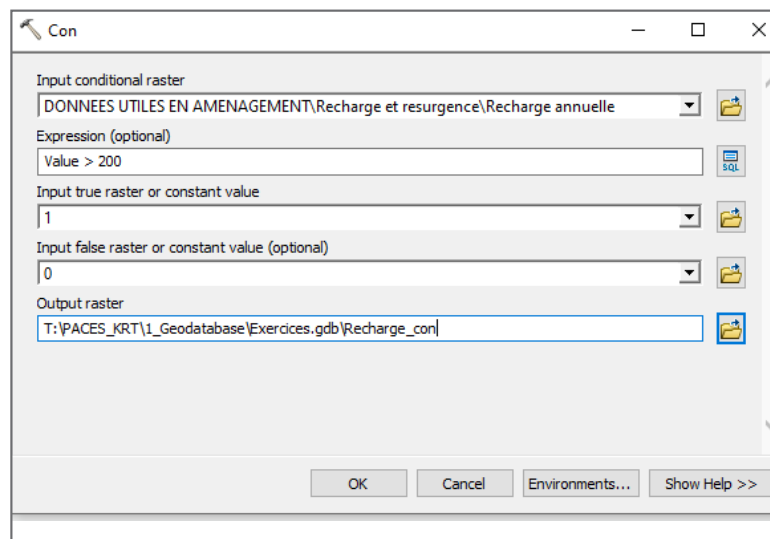
RECHARGE ET RÉSURGENCE

Identifier les cellules de  **L27_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



Con

Input conditional raster
DONNEES UTILES EN AMENAGEMENT\Recharge et resurgence\Recharge annuelle

Expression (optional)
Value > 200

Input true raster or constant value
1

Input false raster or constant value (optional)
0

Output raster
T:\PACES_KRT\1_Geodatabase\Exercices.gdb\Recharge_con

OK Cancel Environments... Show Help >>

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	 L22_DRASTIC	<i>Indice de vulnérabilité</i>	- Les aquifères plus vulnérables - Indices supérieurs à 120
Aquifère à nappe libre	Confinement	 L17_Confinement	<i>Confinement</i>	Aquifère à nappe libre



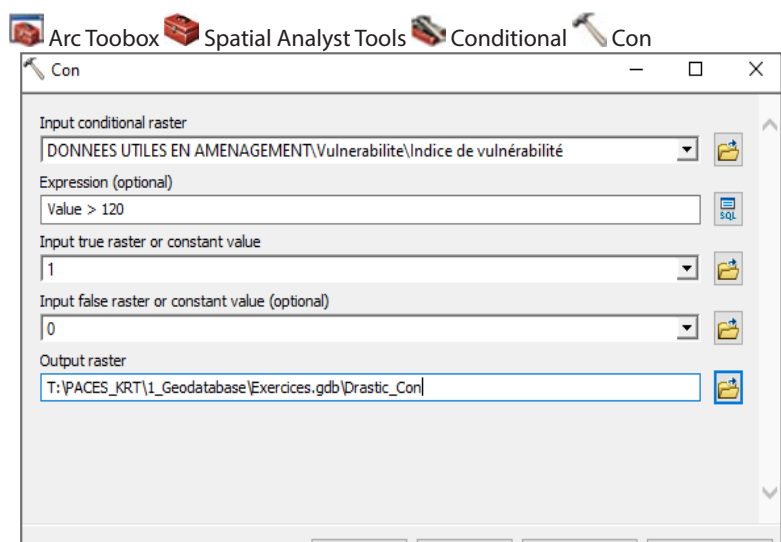
Procédure étape par étape

VULNÉRABILITÉ

Identifier les cellules de  **L22_DRASTIC** (alias : *Indice de vulnérabilité*) 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.

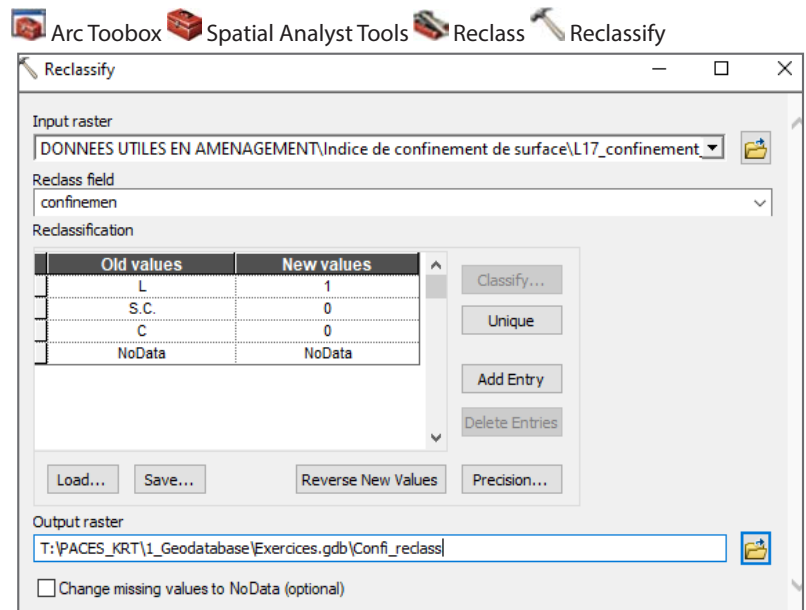


CONFINEMENT

Identifier les cellules de **L17_Confinement** (alias: *Confinement*) qui répondent aux critères en effectuant le géotraitement ci-contre.

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

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



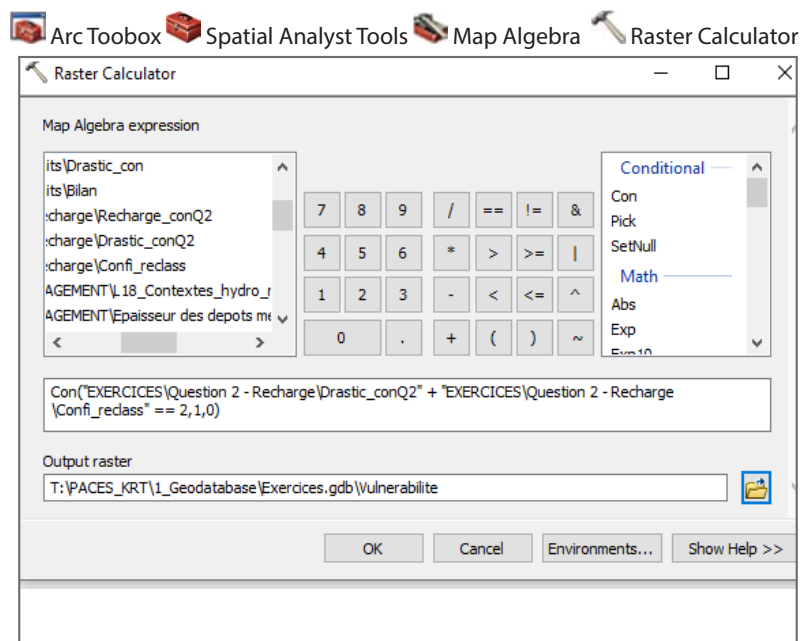
BILAN

Combiner les résultats des couches **Drastic_Con** et **Confi_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.



3. Faire le bilan des analyses faisant appel au géotraitement



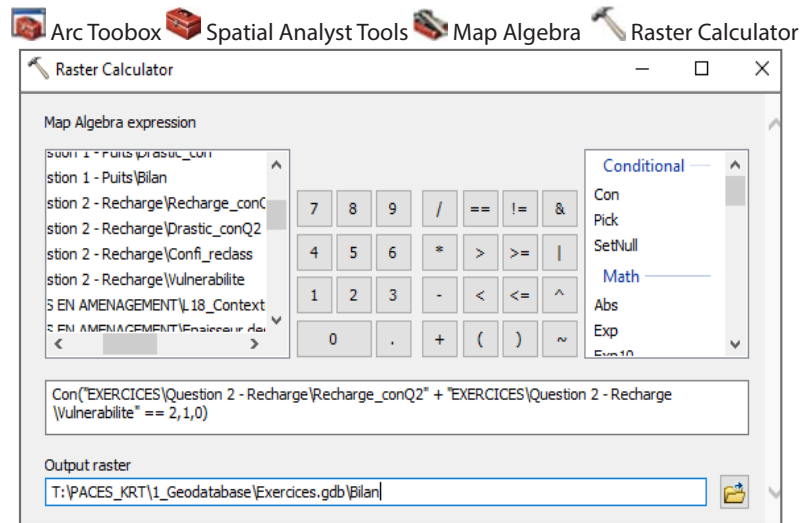
Procédure étape par étape

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.

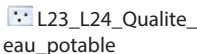
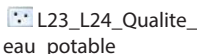


4. Évaluer la qualité de l'eau

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 d'analyse	Notions hydrogéologiques	Données à utiliser	Description (<i>Alias</i>)	Critères
A. PROTÉGER Eau de qualité passable à bonne	Qualité de l'eau	 L23_L24_Qualite_eau_potable	<i>Geochimie_CMA</i> <i>Geochimie_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	 L23_L24_Qualite_eau_potable	<i>Geochimie_CMA</i> <i>Geochimie_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. Autrement ils peuvent être liés aux sels de déglacage.



Procédure étape par étape

QUALITÉ DE L'EAU :

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

-  **L23_L24_Qualite_eau_potable** (*alias Geochimie_CMA*)
-  **L23_L24_Qualite_eau_potable** (*alias Geochimie_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	Piézométrie	L20_Piezo_KRT	Piézométrie (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	L07_Occupation_du_sol	Occupation du sol	
	Affectation du territoire	L10_Affectation_territoire	Affectation du territoire	

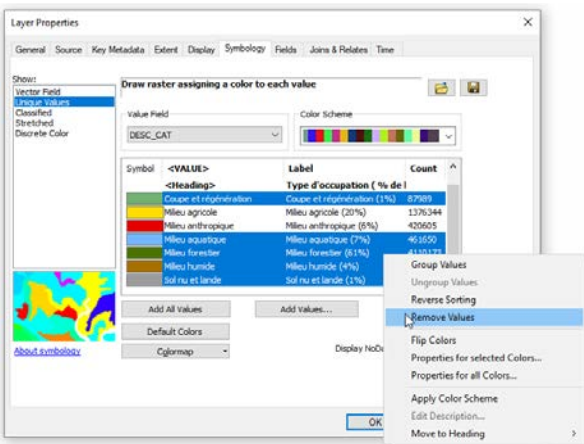


Procédure étape par étape

OCCUPATION DU SOL

Pour identifier des sources potentielles de contamination actuelles, dans la couche **L07_Occupation_du_sol** (alias : *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).

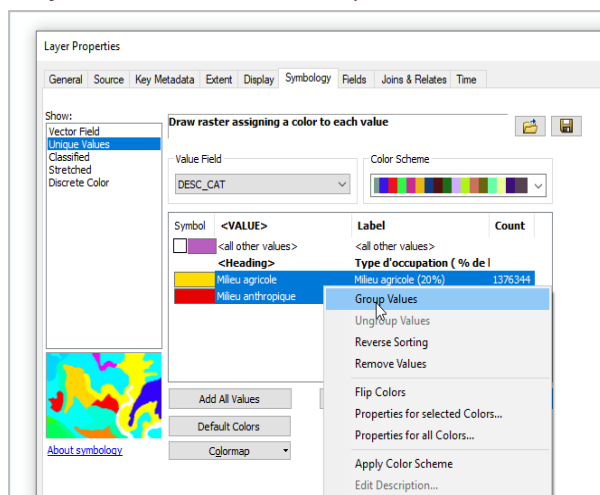
Étape 1: Shift+clik, clic droit, Remove values



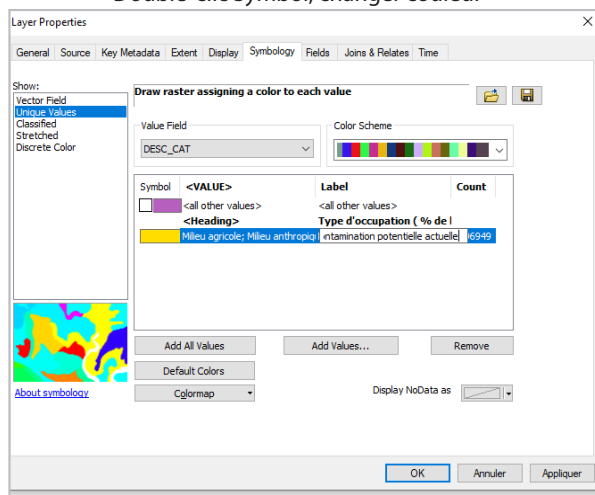


Procédure étape par étape

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 **L10_Affectation_territoire** (*alias: 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 **L20_Piezo_KRT** (*alias: Piézométrie (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	 L20_Piezo_KRT	Piézométrie (m)	En amont des puits d'alimentation en eau potable à densité élevée
	Utilisation de l'eau	 Sites_prelevement_eau_sout_KRT	Puits d'approvisionnement en eau potable municipaux	
	Utilisation de l'eau	 SIH_KRT	Puits d'approvisionnement en eau potable domestiques tirés du SIH	



Procédure étape par étape

PIÉZOMÉTRIE

Afficher les puits d'alimentation individuels - couche  **SIH_KRT** et collectifs -  **Sites_prelevement_eau_sout_KRT**. Superposer les couches ci-dessus à la couche piézométrie  **L20_Piezo_KRT** (alias : Piézométrie (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

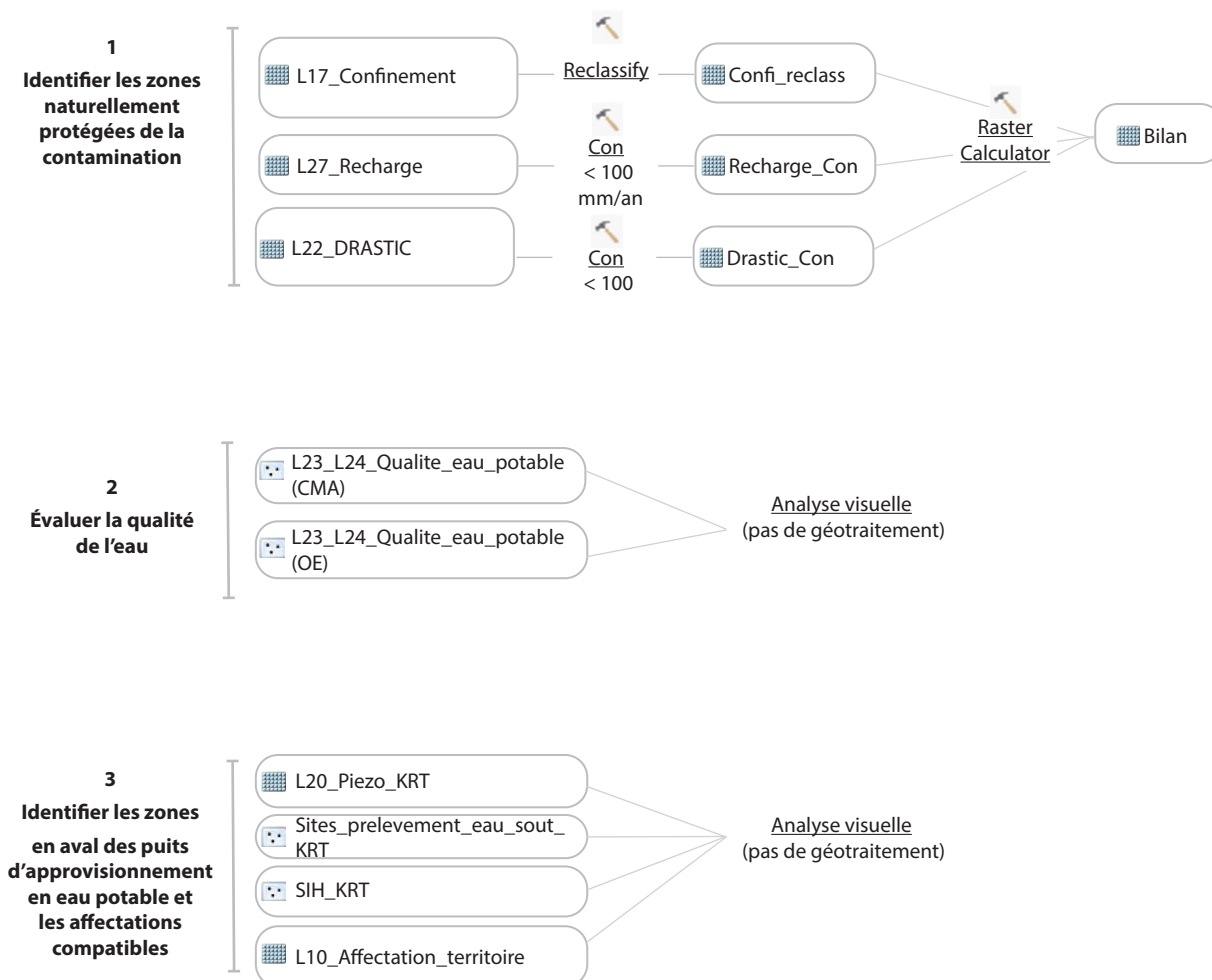
Question

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
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 aquifères à nappe captive ou semi-captive	Conditions de confinement	 L17_Confinement	<i>Confinement</i>	Aquifères à nappe captive et semi-captive
Taux de recharge annuel faible	Recharge et résurgence	 L27_Recharge	<i>Recharge annuelle (mm/an)</i>	Recharge faible : 0 à 100 mm/an
Vulnérabilité faible	Vulnérabilité	 L22_DRASIC	<i>Indice de vulnérabilité</i>	Vulnérabilité faible : indice de 100 ou moins
Toutes épaisseurs de dépôts meubles	Épaisseur des dépôts meubles	 L15_EpDepot_Raster	<i>Épaisseur des dépôts meubles (m)</i>	Toutes épaisseurs



Procédure étape par étape

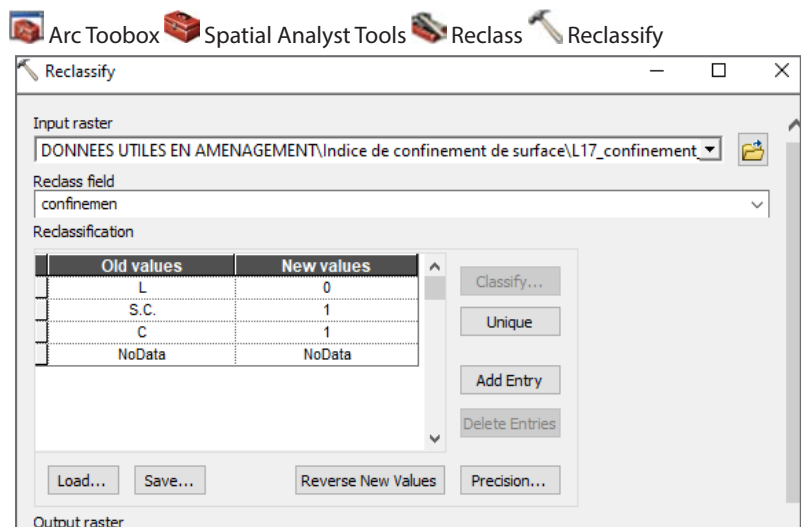
À chacune des étapes suivantes, allez chercher le Input raster dans le fichier mxd et enregistrez les couches créées dans  **Exercice.gdb**. Glissez-les ensuite dans le dossier  **Exercices** de la Table contents et mettre les valeurs de 0 de la légende en transparence (sans couleur) pour faciliter l'affichage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

CONDITIONS DE CONFINEMENT

Identifier les cellules de  **L17_Confinement** (*alias: Confinement*) qui répondent aux critères en effectuant le géotraitement ci-contre.

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

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

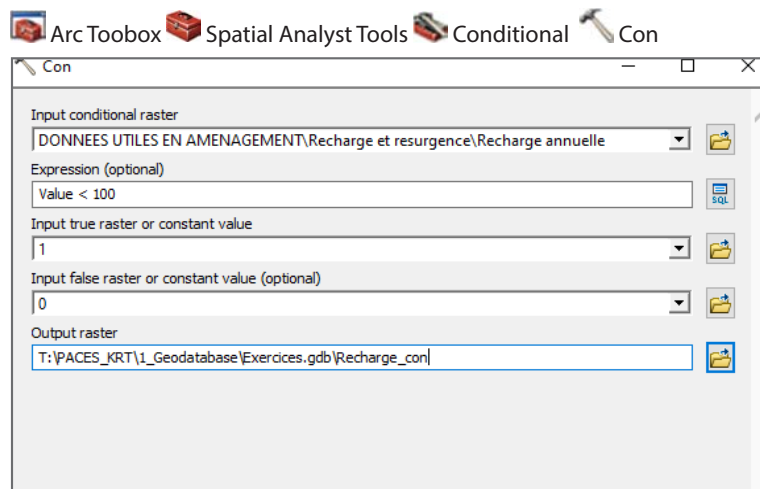


RECHARGE ET RÉSURGENCE

Identifier les cellules de **L27_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.

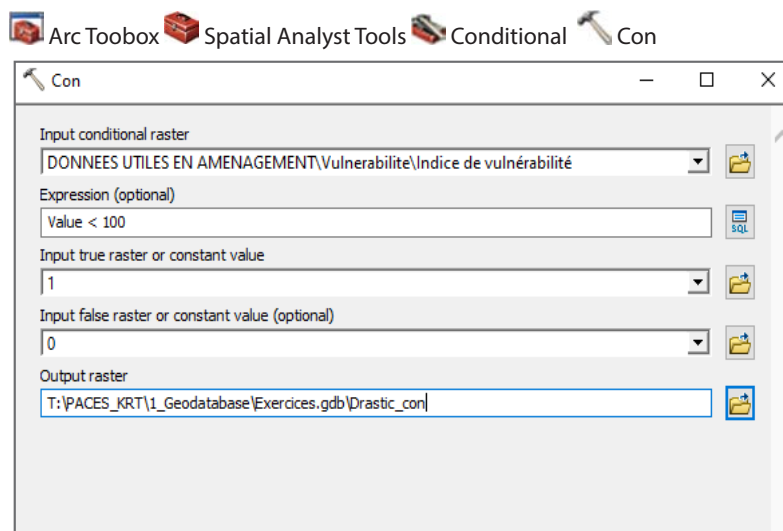


VULNÉRABILITÉ

Identifier les cellules de **L22_DRASTIC** (alias : *Indice de vulnérabilité*) 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

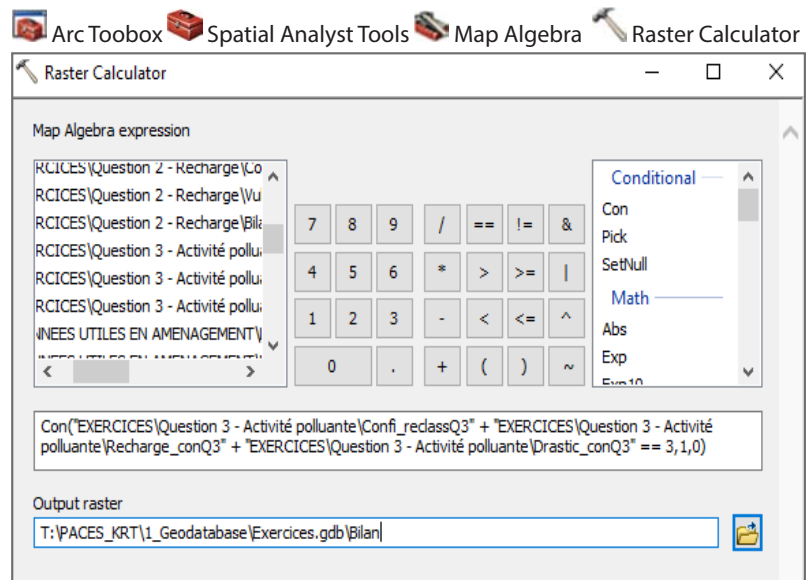
Combiner les résultats des couches

 **Confi_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.

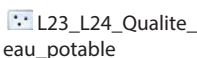


2. Évaluer la qualité de l'eau

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	 L23_L24_Qualite_eau_potable	<i>Geochimie_CMA</i> Dépassements critères de potabilité (CMA) <i>Geochimie_OE</i> Dépassements critères esthétiques (OE)	- 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:

-  **L23_L24_Qualite_eau_potable** (*alias Geochimie_CMA*)
-  **L23_L24_Qualite_eau_potable** (*alias Geochimie_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	L20_Piezo_KRT	Piézométrie (m)	En aval des puits d'alimentation en eau potable
	Utilisation de l'eau	Sites_prelevement_eau_sout_KRT	Puits d'approvisionnement en eau potable municipaux	
	Utilisation de l'eau	SIH_KRT	Puits d'approvisionnement en eau potable domestiques tirés du SIH	
Dans des affectations du territoire compatibles avec l'implantation d'une activité polluante	Affectation du territoire	L10_Affectation_territoire	Affectation du territoire	- Agricole - Industrielle - Urbaine

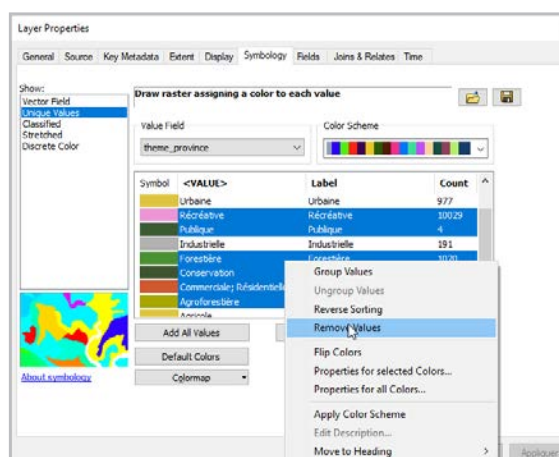


Procédure étape par étape

AFFECTATION DU TERRITOIRE

Pour identifier des sources potentielles de contamination futures, dans la couche **L10_AffectationsTerritoire** (*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).

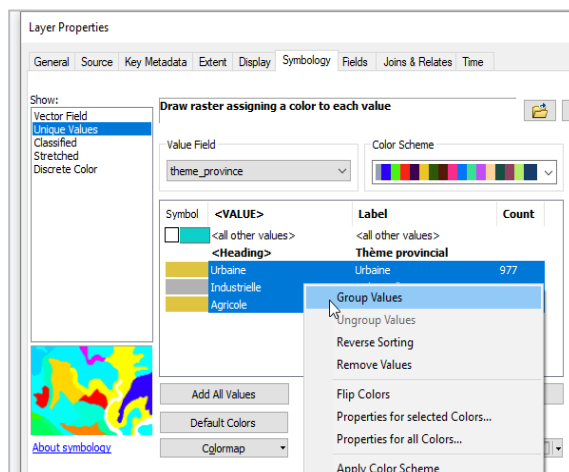
Étape 1: Shift+clik, clic droit, Remove values



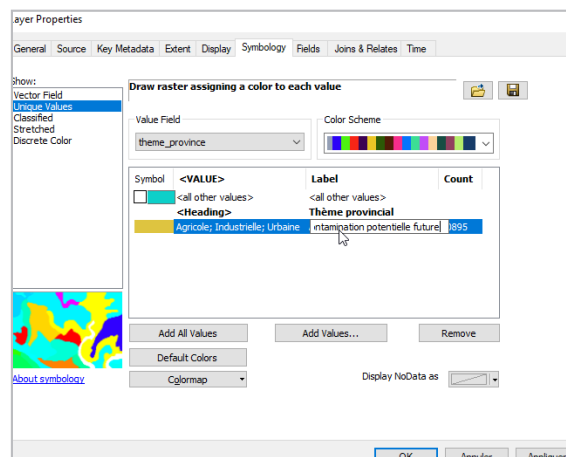


Procédure étape par étape

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



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



PIÉZOMÉTRIE

Afficher les puits d'alimentation individuels - couche **SIH_KRT** et collectifs - **Sites_prelevement_eau_sout_KRT**. Superposer les couches ci-dessus à la couche piézométrie **L20_Piezo_KRT** (*alias* : Piézométrie (m)), puis visualiser les puits d'approvisionnement en eau potable situés 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 principaux partenaires du Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de KRT:



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

