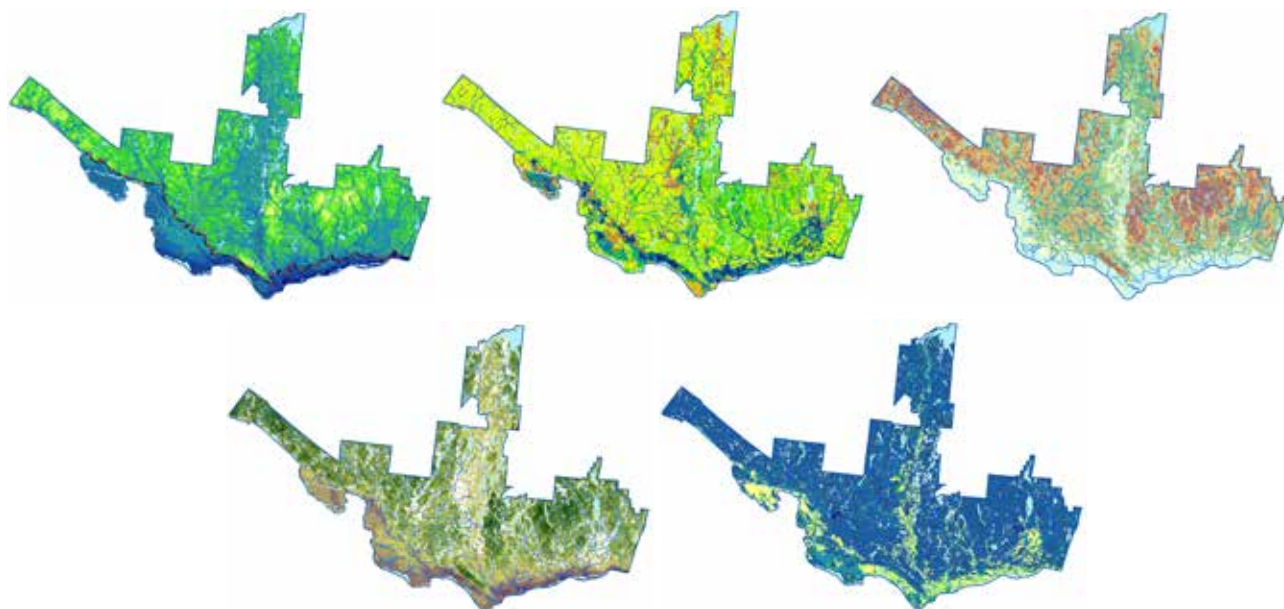


2^e atelier de transfert des connaissances sur les eaux souterraines en Outaouais

CAHIER DU PARTICIPANT



Atelier organisé par :
le Réseau québécois sur les eaux souterraines,
l'Université Laval
et l'Université du Québec à Trois-Rivières

Juin 2016

Ce 2^e atelier de transfert des connaissances issues du Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES) en Outaouais est mis en œuvre dans le cadre du projet **Protéger et gérer les eaux souterraines**, rendu possible grâce au financement du Programme de soutien à la valorisation et au transfert du ministère de l'Économie, de l'Innovation et des Exportations. Il est le résultat d'un travail conjoint entre le Réseau québécois sur les eaux souterraines (RQES), les chercheurs du Département de géologie et de génie géologique de l'Université Laval et la Chaire de recherche UQTR en écologie du paysage et aménagement :

- Marie-Catherine Talbot Poulin, professionnelle de recherche, équipe de recherche du PACES en Outaouais, Université Laval
- John Molson, professeur, coordonnateur du PACES en Outaouais, Université Laval
- Yohann Tremblay, professionnel de recherche, équipe de recherche du PACES en Outaouais, Université Laval et agent de transfert, RQES, organisateur et animateur de l'atelier de transfert
- Anne-Marie Decelles, agente de transfert, RQES, organisatrice et animatrice de l'atelier
- Sylvain Gagné, agent de transfert, RQES, animateur de l'atelier
- Julie Ruiz, professeure et titulaire de la Chaire de recherche UQTR en écologie du paysage et aménagement, conceptrice de l'atelier de transfert de connaissances

Références à citer

L'ensemble des informations hydrogéologiques provient du rapport final du PACES en Outaouais et des cartes associées. Ces documents doivent être cités comme suit :

Comeau, G., Talbot Poulin, M.C., Tremblay, Y., Ayotte, S., Molson, J., Lemieux, J.M., Montcoudiol, N., Therrien, R., Fortier, R., Therrien, P., Fabien-Ouellet, G. (2013). Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines en Outaouais, Rapport final. Département de géologie et de génie géologique, Université Laval, juillet 2013, 148 pages, 24 annexes, 25 cartes.

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 citer le document suivant :

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 cahier du participant du 1^{er} atelier de transfert des connaissances résulte d'un travail de vulgarisation des connaissances sur les eaux souterraines issues du PACES en Outaouais. Il doit être cité comme suit :

Tremblay, Y., Ruiz, J. et Comeau, G. 2015. 1er atelier de transfert des connaissances sur les eaux souterraines en Outaouais, cahier du participant. Document préparé par le RQES, avec la contribution de l'Université Laval et l'Agence de traitement de l'information numérique de l'Outaouais, pour les acteurs de l'aménagement du territoire.

Le présent document doit être cité comme suit :

Tremblay, Y., Ruiz, J., Decelles, A.M. et Gagné, S. 2016. 2^e atelier de transfert des connaissances sur les eaux souterraines en Outaouais, cahier du participant. Document préparé par le RQES, l'Université Laval et l'UQTR pour les acteurs de l'aménagement du territoire.

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 universitaires et le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) d'une part, et les autres organismes gouvernementaux et non gouvernementaux, les consultants, les établissements d'enseignement et autres organismes intéressés au domaine des eaux souterraines au Québec, en vue de la mobilisation des connaissances scientifiques sur les eaux souterraines.

Le RQES poursuit les objectifs spécifiques suivants :

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

Pour en savoir plus : rques.ca

Le Département de géologie et de génie géologique de l'Université Laval

La géologie et le génie géologique s'intéressent à l'histoire et l'évolution de la Terre pour comprendre et prédire les processus naturels. La compréhension de ces processus naturels est essentielle pour découvrir et exploiter les ressources en métaux, minéraux et matériaux industriels, eaux souterraines et hydrocarbures si importants pour le bien-être de notre société. La connaissance de ces processus naturels permet de guider la société vers une utilisation rationnelle de la masse continentale et des fonds océaniques. Elle offre les outils qui servent à prévoir les risques naturels (glissements de terrain, tremblements de terre, volcanisme) qui peuvent mettre en danger la vie et les biens de la société.

La mission du département est d'offrir aux étudiantes et étudiants des programmes de qualité, qui les prépareront adéquatement au marché du travail. Les membres du Département de géologie et de génie géologique sont également fortement impliqués en recherche.

Pour en savoir plus : www.ggl.ulaval.ca

Table des matières

Le déroulement de l'atelier	6
Votre équipe de formation	7
Résumé du projet PACES en Outaouais	8

1. Quelques notions de base en hydrogéologie **9**

Glossaire de quelques notions clés sur les eaux souterraines	10
Comprendre les eaux souterraines à l'aide d'une maquette hydrogéologique	13
Les éléments de la maquette hydrogéologique	13
L'écoulement de l'eau souterraine	14
La migration d'un contaminant dans l'eau souterraine	15

2. Présentation des données géospatiales **17**

Restrictions d'utilisation des données, droits d'auteur à respecter et sources à citer	18
Les limites générales des données	18
Glossaire de quelques termes utilisés en géomatique	19
Les bases de données en format géodatabase	20
Les données du MDDELCC	20
Les données de l'Université Laval	21
Les données confidentielles	22
Les données converties	22
Les données ponctuelles de base	23
Retrouver les informations hydrogéologiques	24
Par géotadabase	24
Par notion hydrogéologique	26
Le projet mxd pour cet atelier	28
Préparer vos données pour les exercices	29

3. Interpréter les données disponibles pour comprendre l'hydrogéologie de votre territoire d'action **31**

Épaisseur des dépôts meubles	32
Épaisseur des aquifères de dépôts meubles	34
Confinement	36
Piézométrie	38
Recharge	40
Vulnérabilité	42
Qualité de l'eau	44
Les autres résultats du PACES	46

4. Mon territoire d'action face à des enjeux de protection et de gestion des eaux souterraines 49

Question 1 : Recherche d'une nouvelle source d'eau potable souterraine 51

Les résultats du remue-méninge avec les participants	53
Synthèse du cheminement d'expert	54
1. Trouver de l'eau en quantité suffisante	56
2. Identifier les zones relativement protégées de la contamination	59
3. Faire le bilan des analyses faisant appel au géotraitement	61
4. Évaluer la qualité de l'eau	62
5. Identifier les zones en amont des sources potentielles de contamination actuelles et futures	63
Préparer la présentation de vos résultats	64
Intégration de connaissances du milieu humain	66

Question 2 : Protection des zones de recharge 69

Les résultats du remue-méninge avec les participants	71
Synthèse du cheminement d'expert	72
1. Localiser les zones où la recharge est importante	74
2. Identifier les zones vulnérables à la contamination	76
3. Faire le bilan des analyses faisant appel au géotraitement	78
4. Évaluer la qualité de l'eau	79
5. Identifier les zones en amont des sources potentielles de contamination actuelles et futures	80
6. Identifier les zones en amont des puits d'approvisionnement pour la consommation humaine	81
Préparer la présentation de vos résultats	82
Intégration de connaissances du milieu humain	84

Question 3 : Implantation d'une nouvelle activité potentiellement polluante 87

Les résultats du remue-méninge avec les participants	89
Synthèse du cheminement d'expert	90
1. Identifier les zones naturellement protégées de la contamination	92
2. Évaluer la qualité de l'eau	62
3. Identifier les zones en aval des puits d'approvisionnement pour la consommation humaine	81
Préparer la présentation de vos résultats	98
Intégration de connaissances du milieu humain	66

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

Les activités	Les sections du cahier
1. Quelques notions de base en hydrogéologie <i>(activité de groupe - présentation magistrale)</i>	Partie 1, 9 à 16
2. Présentation des données géospatiales <i>(activité de groupe - présentation magistrale)</i>	Partie 2, p. 17 à 30
3. Interpréter les données disponibles pour comprendre l'hydrogéologie de votre territoire d'action <i>(activité en binôme - exercices en laboratoire de géomatique)</i> Lire les données hydrogéologiques géospatiales de votre territoire d'action et chercher à les comprendre grâce au cahier du participant et aux experts en hydrogéologie	Partie 3, p. 31 à 48
4. Mon territoire d'action face à des enjeux de protection et de gestion des eaux souterraines Après avoir choisi une question de travail, analyser les données hydrogéologiques de votre territoire d'action en vue de protéger les eaux souterraines grâce à un exemple d'une démarche d'un expert en hydrogéologie 4.1 Remue-méninges et présentation de la démarche d'un expert en hydrogéologie <i>(activité en sous-groupe - échanges avec les experts en hydrogéologie)</i> 4.2 Application de la démarche sur mon territoire d'action <i>(activité en binôme - exercice en laboratoire de géomatique)</i> 4.3 Présentation des résultats des participants <i>(activité de groupe - présentation par les participants)</i>	Partie 4, p. 49 à 101

Votre équipe de formation

Vos animateurs

**Yohann Tremblay**

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

**Anne-Marie Decelles**

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

**Sylvain Gagné**

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

Vos experts en eaux souterraines

**John Molson**

Ing., Ph.D. Hydrogéologie
Professeur
Département de géologie et de
génie géologique
Université Laval
1065 av. de la Médecine
Québec (Qc) G1K 7P4
418-656-2131 poste 5713
John.Molson@ggl.ulaval.ca

**Yohann Tremblay**

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

Résumé du PACES en Outaouais

Le PACES en Outaouais dresse le portrait régional de la ressource en eau souterraine et permet ainsi de pallier le manque d'information sur cette ressource. Il s'intéresse au territoire municipalisé de la région administrative de l'Outaouais et couvre une superficie totale de 13 762 km². Le territoire se divise en quatre MRC (Collines-de-l'Outaouais, Vallée-de-la-Gatineau, Papineau et Pontiac) et une ville (Gatineau), réunissant 67 municipalités et représentant une population d'environ 367 770 habitants.

Les objectifs généraux de ce projet sont de :

- établir la connaissance sur les ressources en eau souterraine de la région d'étude,
- léguer des infrastructures de surveillance dans la région pour suivre l'évolution de la qualité et de la quantité des ressources en eau souterraine, et
- former du personnel hautement qualifié et bonifier la compréhension des contextes hydrogéologiques par des projets de recherche d'étudiants de 2^e et 3^e cycles et des stages d'étudiants du 1^{er} cycle.

Le projet détaille le milieu naturel et humain du territoire, présente les contextes géologiques et hydrogéologiques et évalue les réserves et les utilisations de la ressource en eau souterraine. Ces analyses sont représentées à l'aide de 25 cartes régionales. Une base de données hydrogéologiques régionale a été mise sur pied grâce à la cueillette d'information existante et la réalisation de travaux de terrain supplémentaires. L'ensemble de ces résultats vise à permettre la mise en place des pratiques d'exploitation durable de la ressource en eau souterraine en Outaouais.

Le projet s'est déroulé sur un peu plus de trois ans, soit d'avril 2010 à juillet 2013. La démarche générale du projet comprend trois phases :

- Phase I : Collecte des données existantes (2010-2011);
- Phase II : Travaux de terrain (2011-2012);
- Phase III : Synthèse et transfert des connaissances (2012-2013).

Le projet a été réalisé par le Département de géologie et de génie géologique de l'Université Laval en collaboration avec l'Agence de traitement de l'information numérique en Outaouais (LATINO) et principalement financé par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES). Toutefois, la réalisation du projet n'aurait pu avoir lieu sans la participation des partenaires régionaux :

- l'Agence de traitement de l'information numérique en Outaouais (LATINO);
- MRC des Collines-de-l'Outaouais;
- MRC de La Vallée-de-la-Gatineau;
- MRC Pontiac;
- MRC Papineau;
- Ville de Gatineau;
- Agence de bassins versants des 7 (ABV des 7);
- Comité du bassin versant de la rivière du Lièvre (COBALI);
- Organisme de bassins versants des rivières Rouge, Petite-Nation et Saumon (OBV-RPNS);
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC);
- Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ);
- Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (MAMOT);
- Conseil régional de l'environnement et du développement durable de l'Outaouais (CREDDO);
- Conférence régionale des élus de l'Outaouais (CRÉ-O).

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. 10 à 12)

Glossaire de quelques notions clés sur les **eaux souterraines**

Le glossaire de l'ensemble des notions clés est disponible au lien internet suivant : rqs.ca/fr/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 au confinement discontinu

Aquifère qui peut être **confiné** ou **non confiné** localement. L'**aquitard** qui le superpose est discontinu dans l'espace, laissant ainsi des « fenêtres » par lesquelles l'eau peut s'infiltrer.

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

Minéraux à 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.

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.

Contexte hydrostratigraphique

Séquence type d'unités géologiques stratifiées (ex. : **argile** en surface reposant sur du **till** qui à son tour repose sur le socle rocheux).

Débit de base

Part du débit d'un cours d'eau qui provient essentiellement de l'apport des **eaux souterraines** en période d'étiage.

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.

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.

Comprendre les eaux souterraines à l'aide d'une maquette hydrogéologique

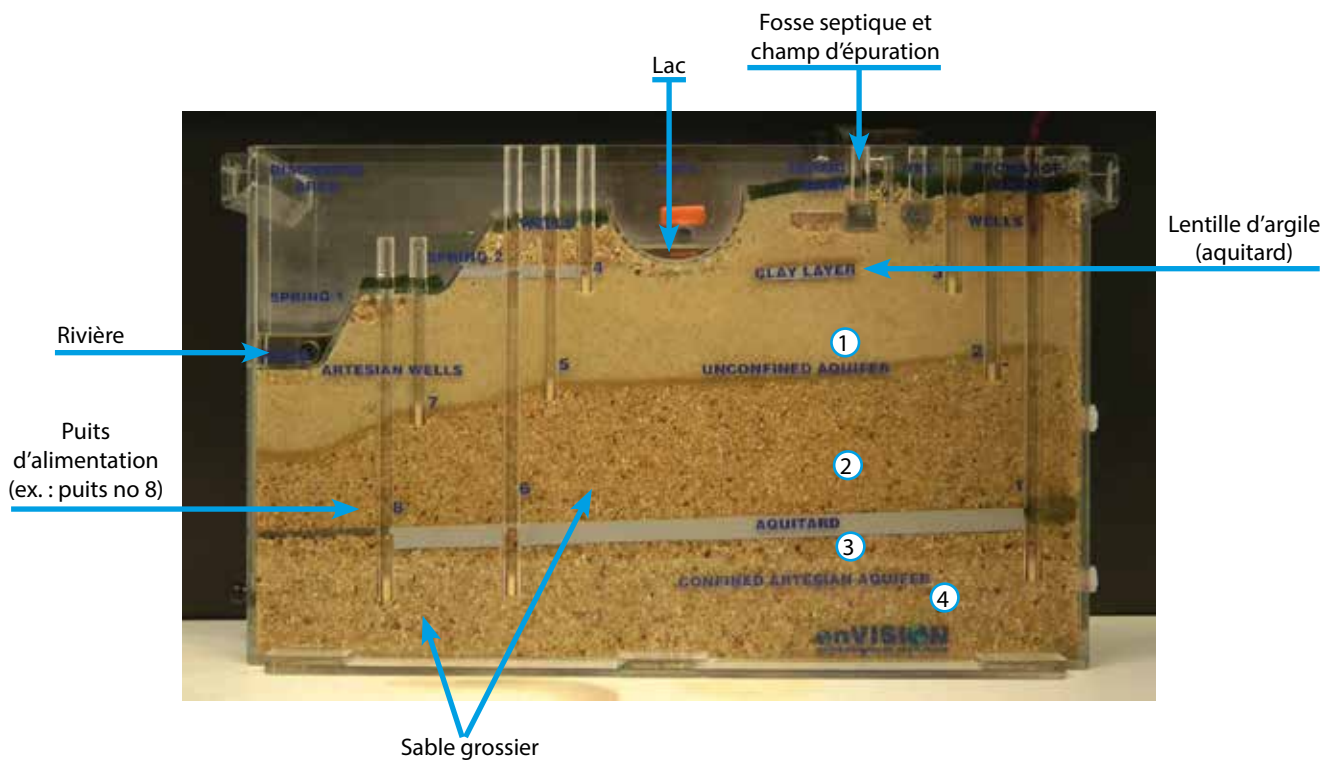
Comme l'eau de surface, l'eau souterraine s'écoule dans un **aquifère** d'un point haut vers un point bas, mais beaucoup plus lentement que dans les rivières. La maquette hydrogéologique illustrée ci-dessous permet de visualiser le cheminement de l'eau souterraine, contaminée ou non, dans des **aquifères** granulaires. Cette maquette hydrogéologique est une représentation miniaturisée d'une section verticale sous la surface du sol, qui permet d'illustrer plusieurs concepts liés à l'hydrogéologie.

Les éléments de la maquette hydrogéologique

La maquette mesure environ 50 cm de long, 30 cm de haut et a une profondeur de 20 cm. Les **aquifères** y sont représentés par un empilement de plusieurs types de sédiments. Ils correspondent aux **contextes hydrostratigraphiques** suivants :

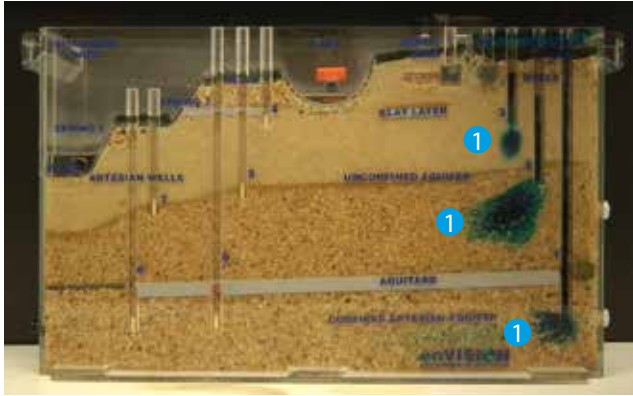
- ① Couche de **sable fin** dans la partie supérieure d'un **aquifère non confiné**, dans le premier tiers près de la surface,
- ② Couche de **sable grossier** dans la partie inférieure d'un **aquifère non confiné**, dans le deuxième tiers au centre,
- ③ Couche imperméable représentant un **aquitard**, qui pourrait être de l'**argile**,
- ④ Couche de **sable grossier** dans un **aquifère confiné**, dans le troisième tiers à la base de la maquette.

La maquette est remplie d'eau qui occupe les espaces vides des sédiments. Une pompe permet d'assurer un écoulement d'eau en continu à travers les sédiments. Afin de pouvoir visualiser différents scénarios d'écoulement de l'eau souterraine, la maquette est munie de huit puits de profondeurs variées, ainsi que d'une fosse septique et de son champ d'épuration dans lequel il est possible d'injecter du colorant et également de pomper l'eau. Le réseau hydrographique est représenté par un lac et une rivière



L'écoulement de l'eau souterraine

❶ Injection d'un «traceur» (colorant alimentaire) par trois puits pour visualiser l'écoulement de l'eau dans les aquifères. L'eau remplit les pores (espaces vides) entre les grains.



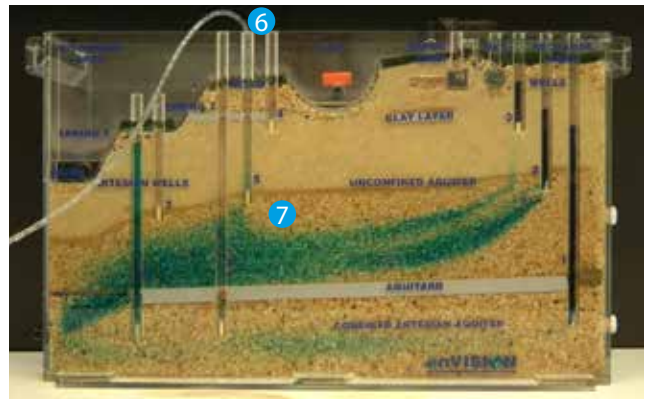
❷ L'écoulement progresse de l'amont vers l'aval. Les eaux des couches supérieures de sable fin et de sable grossier de l'aquifère non confiné se mélangent : ces couches sont en lien hydraulique. ❸ L'eau de l'aquifère confiné inférieur ne se mélange pas avec celle de l'aquifère supérieur. L'aquitard (en gris) agit comme une barrière naturelle qui isole l'eau de l'aquifère confiné.



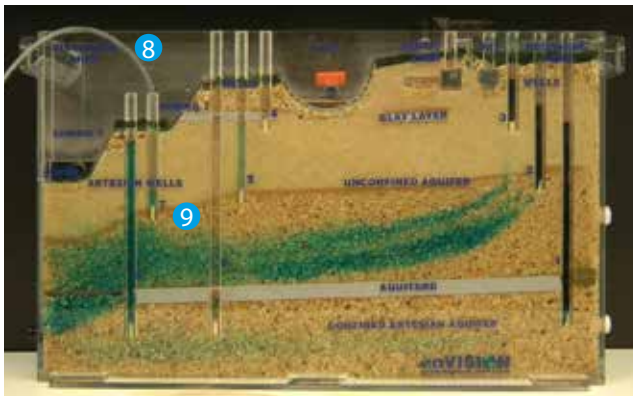
❹ Il y a pompage dans le puits d'alimentation n°8. L'eau puisée est colorée, indiquant qu'elle provient réellement de l'amont. ❺ L'écoulement est plus rapide dans l'aquifère confiné inférieur, indiquant une conductivité hydraulique plus élevée.



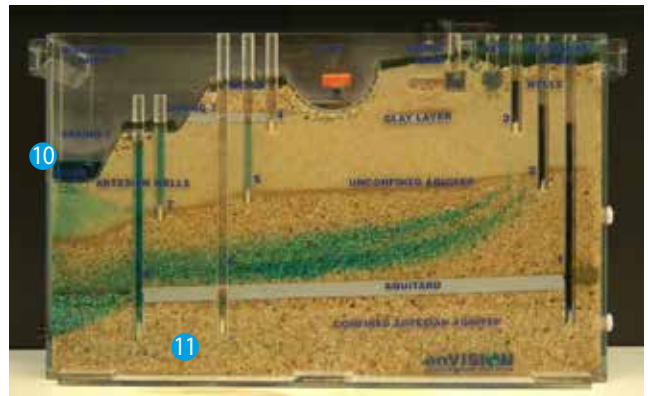
❻ Il y a pompage dans le puits d'alimentation n°5. ❼ Il y a un « appel » d'eau colorée qui était située plus profondément dans l'image précédente.



❽ Il y a pompage dans le puits d'alimentation n°7. ❾ Il y a aussi un « appel » d'eau colorée qui était située plus profondément dans l'image précédente.

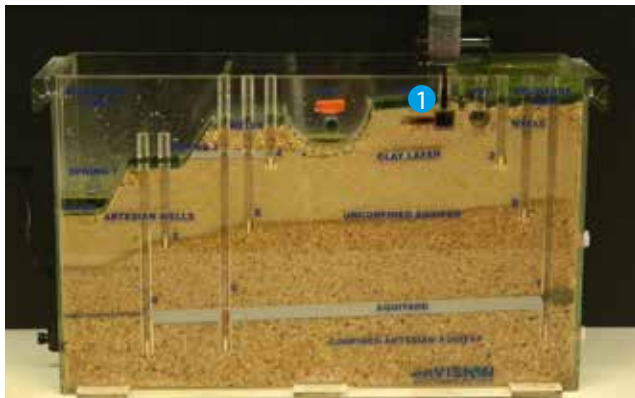


❿ L'eau souterraine fait ultimement résurgence dans la rivière, située en aval, qui devient colorée. 11 L'eau de l'aquifère confiné de sable grossier s'est presque totalement renouvelée (indiqué par la perte de coloration).



La migration d'un contaminant dans l'eau souterraine

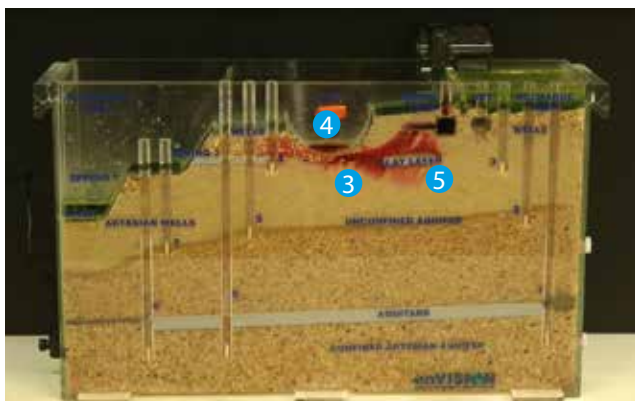
❶ Injection d'un «contaminant» (colorant alimentaire) dans la fosse septique pour visualiser la migration d'un contaminant dans les aquifères.



❷ Depuis le champ d'épuration, le contaminant migre vers le bas dans la couche de sable fin de l'aquifère non confiné.



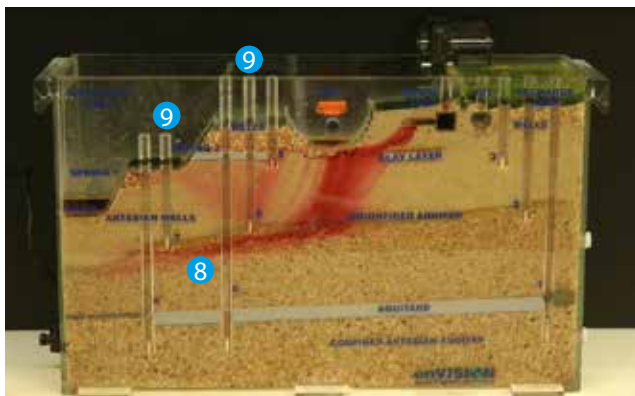
❸ Le contaminant poursuit sa migration vers le bas, mais aussi latéralement, vers l'aval. ❹ De l'eau souterraine contaminée fait résurgence dans le lac, qui devient coloré. ❺ La petite lentille d'argile n'a pas protégé efficacement la portion de l'aquifère située en dessous.



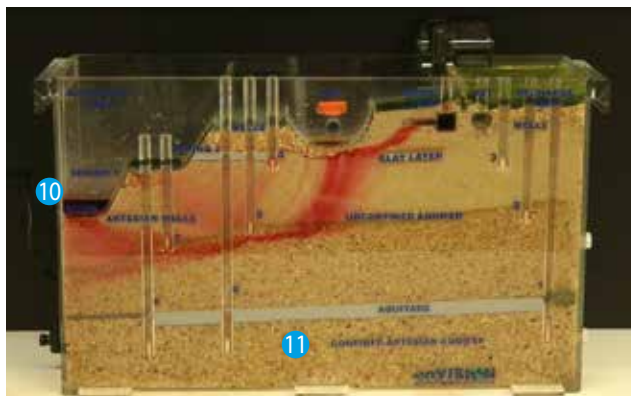
❻ Le volume d'eau souterraine contaminée est de plus en plus important. ❼ Le puits no 4 est maintenant contaminé.



❽ En atteignant la couche de sable plus grossier à la base de l'aquifère non confiné, l'écoulement de l'eau contaminée se fait plus rapidement. ❾ Les puits no 5 et no 7 sont maintenant contaminés.



❿ L'eau souterraine contaminée fait ultimement résurgence dans la rivière (en aval), qui devient colorée. ⓫ L'aquifère confiné situé sous l'aquitard est demeuré protégé de la contamination.



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. 19)

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).

Une part appréciable des données diffusées par le MDDELCC et l'Université Laval n'appartient pas à ces deux organismes. Les droits d'utilisation et de diffusion sont autorisés en vertu des diverses licences, ententes et conventions signées entre le MDDELCC, l'Université Laval et ces organismes propriétaires d'information géographique. Conséquemment, des conditions légales régissent l'utilisation des données et des produits que l'utilisateur pourrait en dériver. Le détenteur des données est donc tenu d'accepter et de se conformer aux conditions d'utilisation qui suivent.

Le MDDELCC et l'Université Laval 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 MDDELCC et l'Université Laval 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 en Outaouais ont été préparées pour représenter des conditions régionales à l'échelle 1/250 000. 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. Les contaminants bactériologiques, les pesticides et les contaminants organiques (hydrocarbures) n'ont pas été mesurés dans le cadre de l'étude, car ils correspondent généralement à des problématiques locales.

La profondeur d'investigation considérée se limite à une centaine de mètres, profondeur maximale à laquelle les puits de captage sont généralement aménagés en Outaouais.

L'architecture et les propriétés des dépôts meubles sont considérées comme bien connues, à l'exception des dépôts d'origine deltaïque, alluvionnaire et éolienne car ils sont hétérogènes et la présence d'argile ou de silt en profondeur est souvent discontinue. Étant normalement plus difficiles à caractériser, les propriétés hydrauliques du roc ainsi que son degré de fracturation sont moins bien connus.

Glossaire de quelques termes utilisés en géomatique

ArcCatalog

Fournit une fenêtre de catalogue utilisée pour organiser dans une arborescence et faciliter la recherche, la localisation et la gestion des différents types d'informations géographiques pour ArcGIS.

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 d'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 (information 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, topologie (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

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

Métadonnées

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

Projet mxd

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

Symbologie

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

Système d'information géographique (SIG)

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

Table relationnelle

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

Les bases de données en format géodatabase

Les données du MDDELCC

Le MDDELCC diffuse les données de tous les projets régionaux de caractérisation des [eaux souterraines](#) réalisés dans le cadre du PACES via son navigateur cartographique disponible en extranet (accès au site depuis la page www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/souterraines/diffusion-carto-hydrogeologique.htm). L'utilisateur doit préalablement demander un identifiant et un mot de passe à l'adresse dch@mddelcc.gouv.qc.ca. Il est possible d'extraire une partie des données présentées dans le navigateur cartographique, mais pas de façon exhaustive.

Les données diffusées par le MDDELCC ne comprennent pas l'ensemble de l'information produite par le PACES. Certaines données sont exclues de par leur caractère confidentiel. Toutefois, la plupart des données résultantes des analyses hydrogéologiques du PACES et nécessaires pour traiter des enjeux d'aménagement sont incluses.



Vos données pour cet atelier

- Les **données géospatiales** sous forme de **géodatabase**, dans le dossier **MDDELCC** :

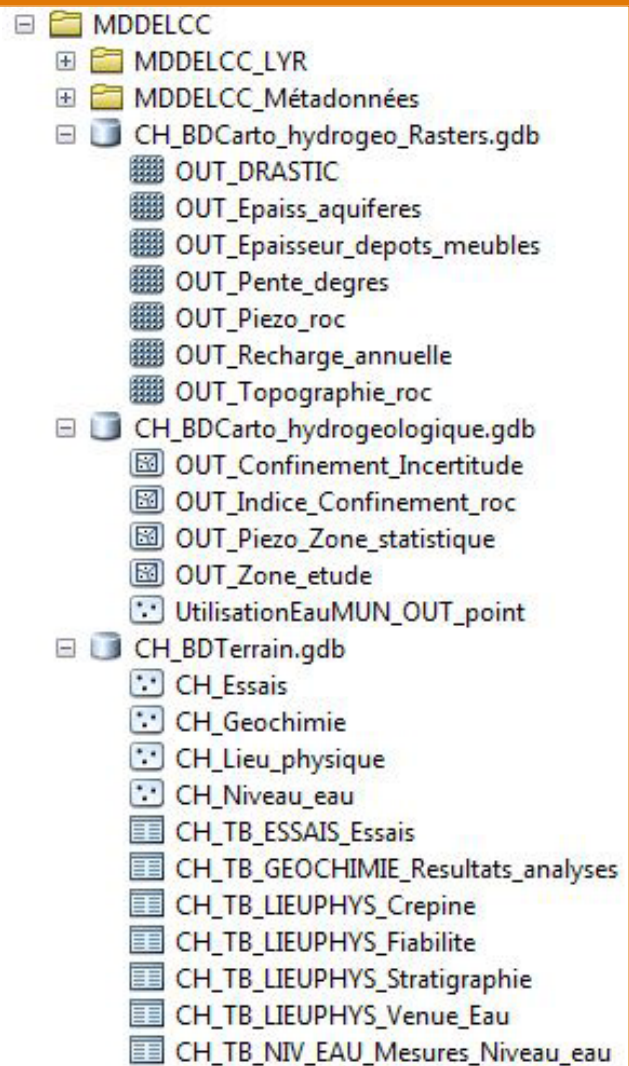
- CH_BDTerrain.gdb** : contient les données ponctuelles de base et les **tables relationnelles**
- CH_BDCarto_hydrogeologique.gdb** : contient les données vectorielles de point, de lignes et de polygones
- CH_BDCarto_hydrogeo_Rasters.gdb** : contient les données matricielles

- Des **Layer files** dans le dossier **MDDELCC_LYR**
 - à l'exception des **couches** des données ponctuelles de base de la **géodatabase** **CH_BDTerrain.gdb**.

- Des **métadonnées** en **format** html ou pdf pour chaque couche dans le dossier **MDDELCC_Métadonnées**

- Les **métadonnées** des **tables relationnelles** sont intégrées à celles des **couches** associées.
- Les **métadonnées** intrinsèques à **ArcGIS**, que l'on peut normalement consulter dans **ArcMap** en ouvrant la fenêtre **View item description**, ou dans **ArcCatalog** sous l'onglet **Description**, sont incomplètes.
- L'utilisateur est parfois référé aux rapports scientifiques des projets régionaux du PACES, spécifiquement pour la généalogie des données. Les rapports sont disponibles sur le site internet du RQES à l'adresse suivante : rqes.ca/fr/archives-et-documents/rapports-memoires-et-cartes.

Arborescence des bases de données du MDDELCC



Les données de l'Université Laval

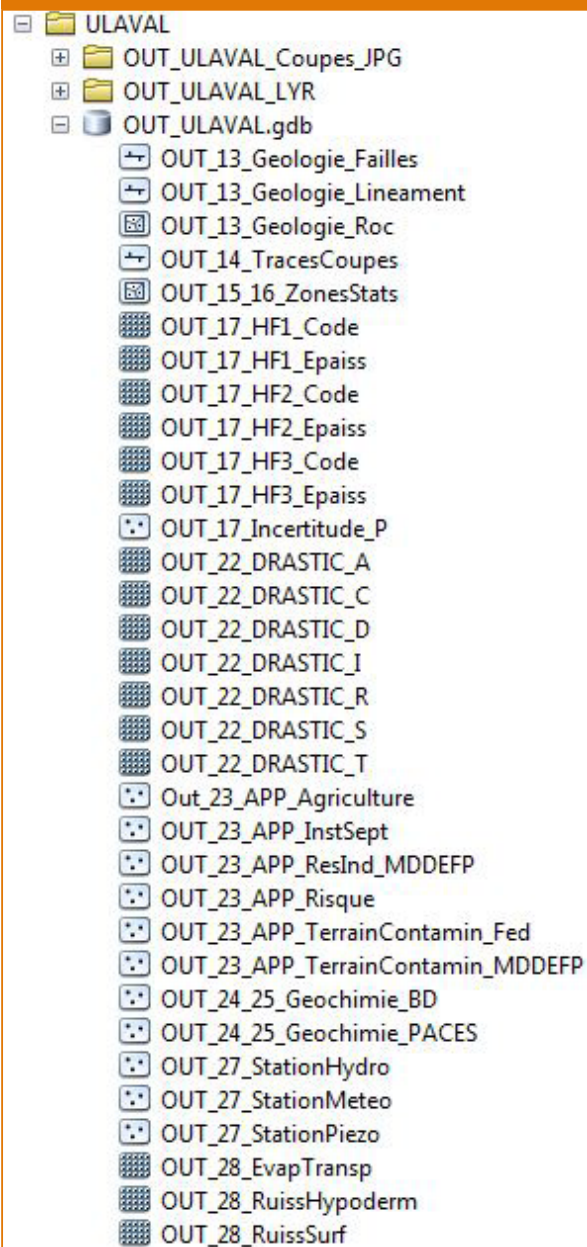
Des données additionnelles non diffusées par le MDDELCC, mais dont l'Université Laval détient les droits à titre de producteur du projet PACES en Outaouais, peuvent être diffusées librement.



Vos données pour cet atelier

- Les **données géospatiales** sous forme de **géodatabase** dans le dossier **ULAVAL** :
 - OUT_ULAVAL.gdb** : contient les données vectorielles de points, de lignes et de polygones, ainsi que les données matricielles
- Des **Layer files** dans le dossier **OUT_ULAVAL_LYR**
- Des **métadonnées** pour chaque couche dans le fichier **OUT_ULAVAL_Metadonnees.pdf**
- Les images des coupes hydrostratigraphiques interprétées en profondeur dans le cadre du PACES dans le dossier **OUT_ULAVAL_Coupes_JPG**

Arborescence de la base de données de l'Université Laval



Les données confidentielles

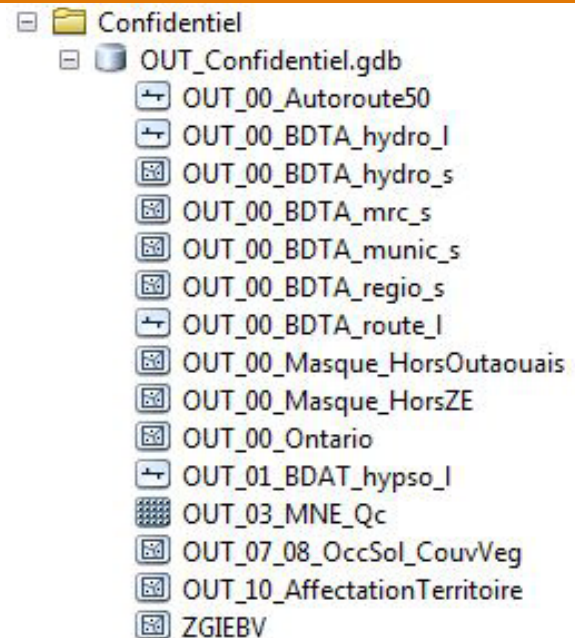
Afin de faciliter la réalisation des exercices pour cet atelier, d'autres données sont mises à votre disposition, telles que les limites administratives, l'hydrographie, les voies de communication, la topographie, l'occupation du sol et l'affectation du territoire. Elles sont toutefois protégées par des droits qui empêchent leur diffusion. Aussi, il ne vous est pas permis de les extraire ou de les utiliser à d'autres fins que cet atelier.



Vos données pour cet atelier

- La **géodatabase** **Confidentiel.gdb** dans le dossier **Confidentiel**
- Il n'y a pas de **Layer file** ni de **métadonnée** pour les données confidentielles

Arborescence de la base de données confidentielles



Les données converties

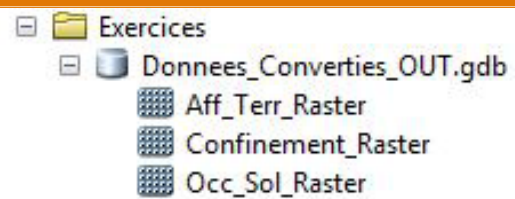
Afin de faciliter le **géotraitement** des **données géospatiales** lors des exercices, certaines **couches** ont été converties depuis un **format** vectoriel de polygones vers un **format** matriciel . Le **géotraitement** de **couches** vectorielles exige un temps de calcul qui peut être considérable lorsque les couches contiennent de nombreuses entités. Le **géotraitement** de **couches** matricielles est beaucoup plus rapide à l'aide des outils de la boîte à outils Spatial Analyst.



Vos données pour cet atelier

- La **géodatabase** **Donnees_Converties_OUT.gdb** dans le dossier **Exercices**
 - La **couche** libre de diffusion **Confinement_Raster**
 - Les **couches** confidentielles **Occ_Sol_Raster** et **Aff_Terr_Raster** (peuvent être diffusées sous leur forme matricielle, car modifiée de leur forme originale en vectorielle)

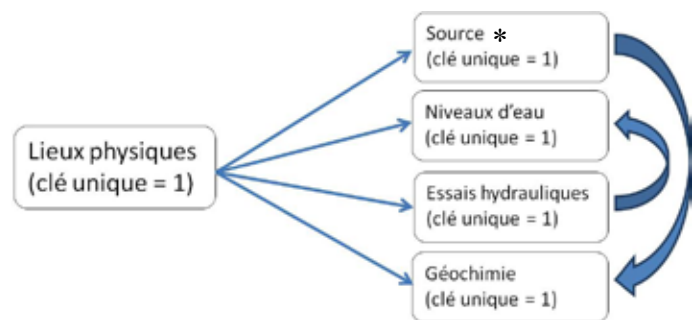
Arborescence de la base de données converties



Les données ponctuelles de base

Les livrables des projets 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.

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 MDDELCC, 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.



* Il n'y a pas d'information concernant les [sources](#) pour le PACES en Outaouais, cette [couche](#) n'existe pas pour ce projet.

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: *Niveau d'eau*). Les données des [tables relationnelles](#) sont liées au lieu physique par la clé unique. 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	Lieux physiques	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_Crepine	Caractéristiques physiques de la crépine. La crépine est la partie perforée du tubage permettant à l'eau souterraine de pénétrer dans le puits. Elle sert aussi de filtre pour empêcher les particules fines d'entrer dans le puits.
			CH_TB_LIEUPHYS_Stratigraphie	Description des matériaux géologiques (dépôts meubles ou roc) observés.
			CH_TB_LIEUPHYS_Fiabilite	Appréciation de la fiabilité de la localisation géographique du lieu physique attribuée par le projet du PACES.
			CH_TB_LIEUPHYS_Venue_eau	Renseignements sur la profondeur des fractures produisant de l'eau.
CH_ Niveau_eau	Niveau d'eau	Lieux physiques où un ou plusieurs niveaux d'eau ont été mesurés.	CH_TB_NIV_EAU_Mesures_Niveau_eau	Contient les données des mesures de niveau d'eau par rapport à la surface du sol
CH_Essais	Essais hydrauliques	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_ Géochimie	Géochimie	Lieux physiques où un ou plusieurs échantillons d'eau souterraine ont été prélevés.	CH_TB_GEOCHIMIE_Resultats_analyses	Contient les résultats des analyses chimiques.

Retrouver les informations hydrogéologiques

Par géodatabase

Les couches d'information géospatiale par géodatabase				
Géodatabase	Nom de la couche ou de la table	Description (Alias)	Notion hydrogéologique	Utilité*
 CH_BDTerrain.gdb	 CH_Lieu_Physique	Lieux physiques	s.o.	
	 CH_TB_LIEUPHYS_Stratigraphie	id.	s.o.	
	 CH_TB_LIEUPHYS_Crepine	id.	s.o.	
	 CH_TB_LIEUPHYS_Fiabilite	id.	s.o.	
	 CH_TB_LIEUPHYS_Venue_eau	id.	s.o.	
	 CH_Niveau_eau	Niveau d'eau	s.o.	
	 CH_TB_NIV_EAU_Mesures_Niveau_eau	id.	s.o.	
	 CH_Essais	Essais hydrauliques	s.o.	
	 CH_TB_ESSAIS_Essais	id.	s.o.	
	 CH_Geochimie	Géochimie	s.o.	
 CH_BDCarto_hydrogeologie.gdb	 CH_TB_GEOCHIMIE_Resultats_analyses	id.	s.o.	
	 OUT_Zone_etude	Zone d'étude - OUT	s.o.	
	 OUT_Indice_Confinement_roc	Confinement roc - OUT	Confinement	X
	 OUT_Confinement_Incertitude	Confinement incertitude - OUT	Confinement	X
	 OUT_Piezo_Zone_statistique	Piézo. zones statistiques - OUT	Piézométrie	X
	 UtilisationEauMUN_OUT_point	Utilisation eau-MUN - OUT	Utilisation de l'eau souterraine	
	 OUT_Epaisseur_depots_meubles	Épaisseur dépôts meubles - OUT	Épaisseur des dépôts meubles	X
 CH_BDCarto_hydrogeo_Rasters.gdb	 OUT_Epaiss_aquiferes	Épaisseur aquifères - OUT	Épaisseur des aquifères de dépôts meubles	X
	 OUT_Piezo_Roc	Piézométrie - OUT	Piézométrie	X
	 OUT_Recharge_annuelle	Recharge annuelle - OUT	Recharge	X
	 OUT_DRASTIC	Indice DRASTIC - OUT	Vulnérabilité DRASTIC	X
	 OUT_Pente_degrees	Pente (degrés) - OUT	Pente	
	 OUT_Topographie_roc	Topographie roc - OUT	Topographie du roc	

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

Les couches d'information géospatiale par géodatabase

Géodatabase	Nom de la couche ou de la table	Description (Alias)	Notion hydrogéologique	Utilité*
OUT_ULAVAL.gdb	OUT_13_Geologie_Failles	Failles	Géologie du roc	
	OUT_13_Geologie_Lineament	Linéaments	Géologie du roc	
	OUT_13_Geologie_Roc	Plate-forme du Saint-Laurent ou Province de Grenville	Géologie du roc	
	OUT_14_TracesCoupes	Coupes hydrostratigraphiques	Coupes hydrostratigraphiques	
	OUT_15_16_ZonesStats	Sous-zones statistiques	Épaisseur de dépôts meubles	X
	OUT_17_HF1_Code	Hydrofaciès 1 - Code	Contextes hydrostratigraphiques	
	OUT_17_HF1_Epaiss	Hydrofaciès 1 - Épaisseur (m)	Contextes hydrostratigraphiques	
	OUT_17_HF2_Code	Hydrofaciès 2 - Code	Contextes hydrostratigraphiques	
	OUT_17_HF2_Epaiss	Hydrofaciès 2 - Épaisseur (m)	Contextes hydrostratigraphiques	
	OUT_17_HF3_Code	Hydrofaciès 3 - Code	Contextes hydrostratigraphiques	
	OUT_17_HF3_Epaiss	Hydrofaciès 3 - Épaisseur (m)	Contextes hydrostratigraphiques	
	OUT_17_Incertitude_P	Points de contrôle	Confinement	X
	OUT_22_DRASTIC_D	Cote « D »	Vulnérabilité DRASTIC	
	OUT_22_DRASTIC_R	Cote « R »	Vulnérabilité DRASTIC	
	OUT_22_DRASTIC_A	Cote « A »	Vulnérabilité DRASTIC	
	OUT_22_DRASTIC_S	Cote « S »	Vulnérabilité DRASTIC	
	OUT_22_DRASTIC_T	Cote « T »	Vulnérabilité DRASTIC	
	OUT_22_DRASTIC_I	Cote « I »	Vulnérabilité DRASTIC	
	OUT_22_DRASTIC_C	Cote « C »	Vulnérabilité DRASTIC	
	OUT_23_APP_ResInd_MDDEFP	Résidus industriels (MDDELCC)	Activités potentiellement polluantes	
	OUT_23_APP_TerrainContamin_Fed	Sites contaminés (fédéral)	Activités potentiellement polluantes	
	OUT_23_APP_TerrainContamin_MDDEFP	Sites contaminés (MDDELCC)	Activités potentiellement polluantes	
	OUT_23_APP_Risque	Activités potentiellement polluantes	Activités potentiellement polluantes	
	OUT_23_APP_Agriculture	Lots agricoles	Activités potentiellement polluantes	
	OUT_23_APP_InstSept	Installations septiques résidentielles	Activités potentiellement polluantes	
	OUT_24_25_Geochemie_PACES	Puits PACES	Qualité de l'eau	X
	OUT_24_25_Geochemie_BD	Puits pré-PACES	Qualité de l'eau	X
	OUT_27_StationsHydro	Stations hydrométriques	Stations de mesure	
	OUT_27_StationsMeteo	Stations météorologiques	Stations de mesure	
	OUT_27_StationsSuiviPiezo	Stations piézométriques	Stations de mesure	
	OUT_28_EvapTransp	Évapotranspiration (mm/an)	Bilan hydrique	
	OUT_28_RuissHypoderm	Ruissellement hypodermique (mm/an)	Bilan hydrique	
	OUT_28_RuissSurf	Ruissellement de surface (mm/an)	Bilan hydrique	

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

Retrouver les informations hydrogéologiques

Par notion hydrogéologique

Les couches d'information géospatiale par notion hydrogéologique				
Notion hydrogéologique	Utilité*	Nom de la couche ou de la table	Description (Alias)	Géodatabase
Épaisseur des dépôts meubles	X	 OUT_Epaisseur_depots_meubles	Épaisseur dépôts meubles - OUT	 CH_BDCarto_hydrogeo_Rasters.gdb
	X	 OUT_15_16_ZonesStats	Sous-zones statistiques	 OUT_ULAVAL.gdb
Épaisseur des aquifères de dépôts meubles	X	 OUT_Epaiss_aquiferes	Épaisseur aquifères - OUT	 CH_BDCarto_hydrogeo_Rasters.gdb
Confinement	X	 OUT_Index_Confinement_roc	Confinement roc - OUT	 CH_BDCarto_hydrogeologique.gdb
	X	 OUT_Confinement_Incertitude	Confinement incertitude - OUT	 CH_BDCarto_hydrogeologique.gdb
	X	 OUT_17_Incertitude_P	Points de contrôle	 OUT_ULAVAL.gdb
	X	 OUT_Piezo_Roc	Piezométrie - OUT	 CH_BDCarto_hydrogeo_Rasters.gdb
Piezométrie	X	 OUT_Piezo_Zone_statistique	Piézo. zones statistiques - OUT	 CH_BDCarto_hydrogeologique.gdb
Recharge	X	 OUT_Recharge_annuelle	Recharge annuelle - OUT	 CH_BDCarto_hydrogeo_Rasters.gdb
	X	 OUT_DRASTIC	Indice DRASTIC - OUT	 CH_BDCarto_hydrogeo_Rasters.gdb
		 OUT_22_DRASTIC_D	Cote « D »	 OUT_ULAVAL.gdb
		 OUT_22_DRASTIC_R	Cote « R »	 OUT_ULAVAL.gdb
		 OUT_22_DRASTIC_A	Cote « A »	 OUT_ULAVAL.gdb
		 OUT_22_DRASTIC_S	Cote « S »	 OUT_ULAVAL.gdb
		 OUT_22_DRASTIC_T	Cote « T »	 OUT_ULAVAL.gdb
		 OUT_22_DRASTIC_J	Cote « I »	 OUT_ULAVAL.gdb
		 OUT_22_DRASTIC_C	Cote « C »	 OUT_ULAVAL.gdb
	X	 OUT_24_25_Geochemie_PACES	Puits PACES	 OUT_ULAVAL.gdb
	X	 OUT_24_25_Geochemie_BD	Puits pré-PACES	 OUT_ULAVAL.gdb
		 OUT_Pente_degrees	Pente (degrés) - OUT	 CH_BDCarto_hydrogeo_Rasters.gdb
		 OUT_13_Geologie_Failles	Faïlles	 OUT_ULAVAL.gdb
		 OUT_13_Geologie_Lineament	Linéaments	 OUT_ULAVAL.gdb
Topographie du roc		 OUT_13_Geologie_Roc	Plate-forme du Saint-Laurent ou Province de Grenville	 OUT_ULAVAL.gdb
Coupes hydrostratigraphiques		 OUT_Topographie_roc	Topographie roc - OUT	 CH_BDCarto_hydrogeo_Rasters.gdb
		 OUT_14_TracesCoupes	Coupes hydrostratigraphiques	 OUT_ULAVAL.gdb

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

Les couches d'information géospatiale par notion hydrogéologique			
Notion hydrogéologique	Utilité*	Nom de la couche ou de la table	Description (Alias) Géodatabase
Contextes hydrostratigraphiques		 OUT_17_HF1_Code	Hydrofaciès 1 - Code  OUT_ULAVAL.gdb
		 OUT_17_HF1_Epaiss	Hydrofaciès 1 - Épaisseur (m)  OUT_ULAVAL.gdb
		 OUT_17_HF2_Code	Hydrofaciès 2 - Code  OUT_ULAVAL.gdb
		 OUT_17_HF2_Epaiss	Hydrofaciès 2 - Épaisseur (m)  OUT_ULAVAL.gdb
		 OUT_17_HF3_Code	Hydrofaciès 3 - Code  OUT_ULAVAL.gdb
		 OUT_17_HF3_Epaiss	Hydrofaciès 3 - Épaisseur (m)  OUT_ULAVAL.gdb
Activités potentiellement polluantes		 OUT_23_APP_Resind_MDDEFP	Résidus industriels (MDDELCC)  OUT_ULAVAL.gdb
		 OUT_23_APP_TerrainContamin_Fed	Sites contaminés (fédéral)  OUT_ULAVAL.gdb
		 OUT_23_APP_TerrainContamin_MDDEFP	Sites contaminés (MDDELCC)  OUT_ULAVAL.gdb
		 OUT_23_APP_Risque	Activités potentiellement polluantes  OUT_ULAVAL.gdb
		 OUT_23_APP_Agriculture	Lots agricoles  OUT_ULAVAL.gdb
		 OUT_23_APP_InstSept	Installations septiques résidentielles  OUT_ULAVAL.gdb
Utilisation de l'eau souterraine		 UtilisationEauMUN_OUT_point	Utilisation eau-MUN – OUT  CH_BDCarto_hydrogeologique.gdb
Stations de mesure		 OUT_27_StationsHydro	Stations hydrométriques  OUT_ULAVAL.gdb
		 OUT_27_StationsMeteo	Stations météorologiques  OUT_ULAVAL.gdb
		 OUT_27_StationsSuiviPiezo	Stations piézométriques  OUT_ULAVAL.gdb
Bilan hydrique		 OUT_28_EvapTransp	Évapotranspiration (mm/an)  OUT_ULAVAL.gdb
		 OUT_28_RuissHypoderm	Ruissellement hypodermique (mm/an)  OUT_ULAVAL.gdb
		 OUT_28_RuissSurf	Ruissellement de surface (mm/an)  OUT_ULAVAL.gdb
		 OUT_Zone_etude	Zone d'étude - OUT  CH_BDCarto_hydrogeologique.gdb
S.O.		 CH_Lieu_Physique	Lieux physiques  CH_BDTerrain.gdb
		 CH_TB_LIEUPHYS_Stratigraphie	id.  CH_BDTerrain.gdb
		 CH_TB_LIEUPHYS_Crepine	id.  CH_BDTerrain.gdb
		 CH_TB_LIEUPHYS_Fiabilite	id.  CH_BDTerrain.gdb
		 CH_TB_LIEUPHYS_Venue_eau	id.  CH_BDTerrain.gdb
		 CH_Niveau_eau	Niveau d'eau  CH_BDTerrain.gdb
		 CH_TB_NIV_EAU_Mesures_Niveau_eau	id.  CH_BDTerrain.gdb
		 CH_Essais	Essais hydrauliques  CH_BDTerrain.gdb
		 CH_TB_ESSAIS_Essais	id.  CH_BDTerrain.gdb
		 CH_Geochimie	Géochimie  CH_BDTerrain.gdb
		 CH_TB_GEOCHIMIE_Resultats_analyses	id.  CH_BDTerrain.gdb

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

Le projet mxd pour cet atelier

Afin de faciliter l'utilisation des **données géospatiales**, dans l'interface  **ArcMap**, le **projet mxd**  **AtelierB_OUT.mxd** a été préparé.

Présentation générale

Échelles d'affichage

Afin de réduire les erreurs d'interprétation, les données ont pour la plupart une restriction au niveau de leur échelle d'affichage :

- Pour les données vectorielles de lignes et de polygones et les données matricielles, la restriction de l'échelle d'affichage est fixée entre 1 : 1 800 000 et 1 : 5 000.

Relations avec les tables relationnelles

Les **tables relationnelles** sont déjà reliées aux couches de données ponctuelles de base auxquelles elles sont associées dans le **projet mxd**. La clé unique **No DCH du lieu physique** relie les attributs à son objet.

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  **OUT_ULAVAL_Coupes_JPG**. À l'aide de l'outil  Hyperlink de la barre d'outils Tools, cliquez sur la trace d'une coupe de la **couche**  **OUT_14_TracesCoupes** (*alias* : *Coupes hydrostratigraphiques*).

Table des matières de votre projet mxd pour cet atelier

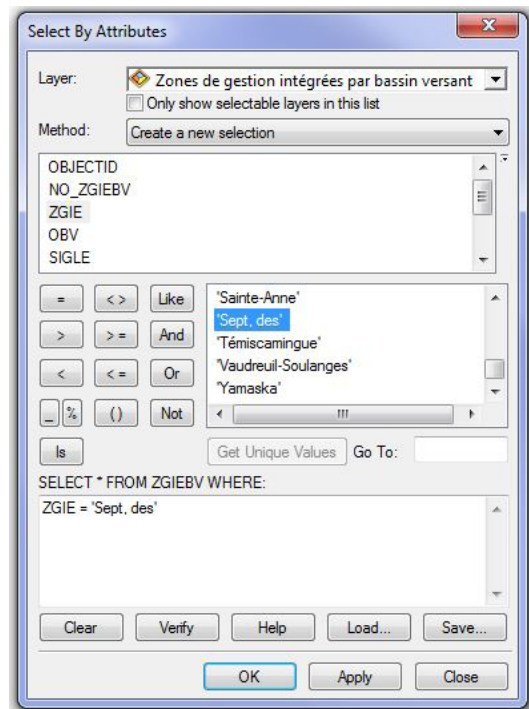
-  **PACES - OUT**
 -  ☐ Zone d'étude - OUT
 -  ☐ DONNEES PONCTUELLES DE BASE
 -  ☐ Lieux physiques
 -  ☐ Niveau d'eau
 -  ☐ Essais hydrauliques
 -  ☐ Géochimie
 -  ☐ DONNEES CONFIDENTIELLES
 -  ☐ Masques
 -  ☐ Limites administratives
 -  ☐ Voies de communication
 -  ☐ Hydrographie
 -  ☐ Topographie
 -  ☐ Occupation du sol
 -  ☐ Affectation du territoire
 -  ☐ DONNEES UTILES EN AMENAGEMENT
 -  ☐ Epaisseur depots meubles
 -  ☐ Epaisseur aquiferes depots meubles
 -  ☐ Confinement
 -  ☐ Piezometrie
 -  ☐ Recharge
 -  ☐ Vulnerabilite DRASIC
 -  ☐ Qualite eau
 -  ☐ AUTRES DONNEES
 -  ☐ Pente du sol
 -  ☐ Geologie roc
 -  ☐ Coupes hydrostratigraphiques
 -  ☐ Topographie roc
 -  ☐ Contextes hydrostratigraphiques
 -  ☐ Activites potentiellement polluantes
 -  ☐ Utilisation eau
 -  ☐ Stations mesure
 -  ☐ Bilan hydrique
 -  ☐ EXERCICES
 -  ☐ Donnees converties
 -  ☐ Confinement_Raster
 -  ☐ Occ_Sol_Raster
 -  ☐ Aff_Terr_Raster
 -  ☐ Exercice 1 - Puits
 -  ☐ Exercice 2 - Recharge
 - ☐ Exercice 3 - Activite polluante



Préparez vos données : découpage de votre territoire

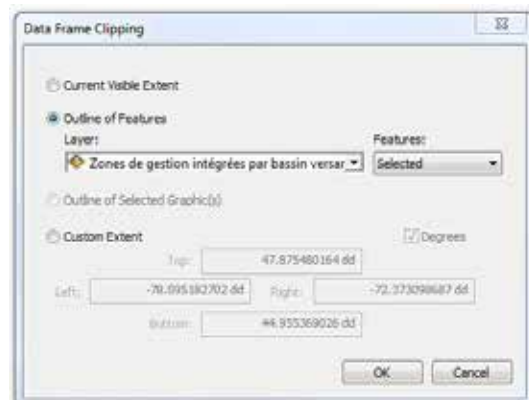
Sélectionnez votre territoire

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



La procédure ci-contre est montrée, à titre d'exemple, pour l'ABV des 7.

3

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

Le déroulement de cet exercice s'étendra durant tout le reste de l'avant-midi. Vous devrez manipuler les données géospatiales disponibles afin de comprendre les contextes hydrogéologiques que l'on retrouve sur votre territoire.

Cet exercice se déroule en binôme, dans le local de géomatique, à l'aide du logiciel  ArcGIS. Vous devrez visualiser les **aquifères** et leurs caractéristiques pour votre territoire. Vous devrez lire les données géospatiales correspondant à plusieurs notions hydrogéologiques et chercher à les comprendre en répondant à des questions d'interprétation proposée dans le cahier du participant. Vous travaillerez ainsi directement sur les pages du cahier du participant.

Vous pourrez poser des questions et valider vos réponses avec un des experts en hydrogéologie qui circulera dans le local informatique durant toute la durée de l'exercice. Certains animateurs spécialisés en géomatique pourront aussi vous guider dans les aspects techniques du logiciel.

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.

Atelier A, cahier du participant, pp. 26-27 et 48-49

Couches de données géospatiales concernées

Nom de la couche ou de la table	Description (Alias)	Contenu de la couche	Géodatabase
 OUT_Epaisseur_depots_meubles	Épaisseur dépôts meubles - OUT	Estimation de l'épaisseur des dépôts meubles en mètres par rapport au niveau moyen de la mer	 CH_BDCarto_hydrogeo_Rasters.gdb
 OUT_15_16_ZonesStats	Sous-zones statistiques	Sous-zones aux contextes hydrogéologiques différents, pour lesquels une analyse statistique a été réalisée pour les données validées d'épaisseur de dépôts meubles	 OUT_ULAAVAL.gdb

Interprétation générale de la couche d'informations

Légende : Épaisseur des dépôts meubles (m)	Signification	Information générale à tirer de la notion
 0 - 10	Épaisseur nulle à faible 0 à 5 m	- Pas d'aquifère de dépôts meubles possible - Pas de couche imperméable (aquitard) qui protège les aquifères Aquifère de roc fracturé toujours présent
 0 - 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) - Couche imperméable (aquitard) possible si des sédiments fins sont présents et suffisamment épais (ex. : + de 5 m de silt et d'argile) 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 relativement épais (ex. : + de 10 m de sable ou gravier) - Couche imperméable (aquitard) possible si des sédiments fins sont présents et suffisamment épais (ex. : + de 5 m de silt et d'argile) Aquifère de roc fracturé toujours présent sous les dépôts meubles
 20 - 40  40 - 60  60 - 80  80 - 100  100 - 140	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) - Couche imperméable (aquitard) possible si des sédiments fins sont présents et suffisamment épais (ex. : + de 5 m de silt et d'argile) Aquifère de roc fracturé toujours présent sous les dépôts meubles



Questions d'interprétation

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

Où pourraient se situer les **aquitards** suffisamment épais pour causer des conditions d'**aquifère confiné** 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

Épaisseur des aquifères de dépôts meubles

Description

Un **aquifère** est une formation géologique saturée en eau et suffisamment perméable pour permettre son pompage. Les **fractures** du socle rocheux permettent une circulation d'**eau souterraine** parfois suffisante pour son captage. Le pompage de débits plus importants est souvent possible dans les sédiments grossiers (**sables** et **graviers**). La délimitation des **aquifères** de **dépôts meubles** d'intérêt régional a été déterminée grâce à la localisation et l'épaisseur des couches de **sable** ou de **gravier** situées sous le niveau piézométrique. Dans le cas de l'**aquifère** contenu dans le socle rocheux, il couvre l'ensemble du territoire.

Atelier A, cahier du participant, pp. 28-29 et 50-51

Couches de données géospatiales concernées

Nom de la couche ou de la table	Description (Alias)	Contenu de la couche	Géodatabase
 OUT_Epaiss_aquiferes	Épaisseur aquifères - OUT	Estimation de l'épaisseur (en mètres) des aquifères de dépôts meubles	 CH_BDCarto_hydrogeo_Rasters.gdb

Interprétation générale de la couche d'informations

Légende : Épaisseur des aquifères de dépôts meubles (m)		
	Signification	Information générale à tirer de la notion
 0,3 - 5	Épaisseur faible 0,3 à 5 m	- Pas d'aquifère situé dans les dépôts meubles Aquifère de roc fracturé toujours présent
 5 - 10	Épaisseur moyenne 5 à 10 m	Aquifère au potentiel limité situé dans les dépôts meubles Recharge élevée possible Vulnérabilité élevée possible - Variations importantes possibles du niveau de la nappe Eau souterraine faiblement minéralisée, de bonne qualité probable Aquifère de roc fracturé toujours présent sous les dépôts meubles
 10 - 20	Épaisseur élevée 10 à 20 m	Aquifère au potentiel élevé situé dans les dépôts meubles Recharge élevée possible Vulnérabilité élevée possible - Variations importantes possibles du niveau de la nappe Eau souterraine faiblement minéralisée, de bonne qualité probable Aquifère de roc fracturé toujours présent sous les dépôts meubles
 20 - 30  30 - 80	Épaisseur très élevée 20 m et plus	Aquifère au potentiel très élevé situé dans les dépôts meubles Recharge élevée possible Vulnérabilité élevée possible - Variations importantes possibles du niveau de la nappe Eau souterraine faiblement minéralisée, de bonne qualité probable Aquifère de roc fracturé toujours présent sous les dépôts meubles



Questions d'interprétation

Où se situent les **aquifères de dépôts meubles** au potentiel élevé ou très élevé sur mon territoire ?

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

Comment pourraient possiblement être qualifiés les paramètres hydrogéologiques des **aquifères de dépôts meubles** (**recharge**, **vulnérabilité**, niveau de la **nappe**, qualité de l'eau)? Quelle information principale est manquante pour le confirmer ?

Les autres observations sur mon territoire d'action

Confinement

Description

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**).

Atelier A, cahier du participant, pp. 30-31 et 52-53

Couches de données géospatiales concernées

Nom de la couche ou de la table	Description (Alias)	Contenu de la couche	Géodatabase
 OUT_Indice_Confinement_roc	Confinement roc - OUT	Confinement des aquifères de roc fracturé selon quatre différents niveaux : confiné , semi-confiné , non confiné ou indéterminé	 CH_BDCarto_hydrogeologique.gdb
 OUT_Confinement_Incertitude	Confinement incertitude - OUT	Zone d'empilements complexes de dépôts meubles augmentant l'incertitude sur l'indice de confinement	 CH_BDCarto_hydrogeologique.gdb
 OUT_17_Incertitude_P	Points de contrôle	Emplacement des forages avec description stratigraphique ayant servi à réaliser le modèle hydrostratigraphique. Une forte densité diminue l'incertitude sur l'indice de confinement.	 OUT_ULAAVAL.gdb

Interprétation générale de la couche d'informations

Légende : Degrés de confinement	Signification	Informations générales à tirer de la notion
 Confiné	Aquifère confiné	Recharge faible Vulnérabilité faible - Variations du niveau de la nappe faibles* Eau souterraine possiblement très minéralisée, de qualité potentielle douteuse**
 Semi-confiné	Aquifère semi-confiné	Recharge faible à moyenne Vulnérabilité faible à moyenne - Variations de niveau de la nappe moyennes* Eau souterraine possiblement modérément minéralisée, de qualité potentielle moyenne à douteuse**
 Non confiné	Aquifère non confiné	Recharge moyenne à élevée Vulnérabilité moyenne à élevée - Variations de niveau de la nappe moyennes à élevées* Eau souterraine possiblement faiblement minéralisée, de qualité probablement bonne**
 Indéterminé	Confinement indéterminé	Impossible de prévoir les paramètres hydrogéologiques à partir de la carte du confinement

*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 confinés** 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 non confinés** 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 non confiné**, le **niveau piézométrique** correspond à la surface de la **nappe** dans l'**aquifère**. Dans le cas d'un **aquifère confiné**, 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**.

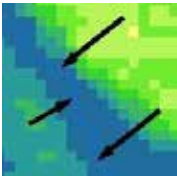
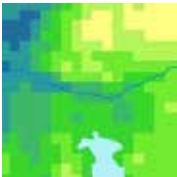
Atelier A, cahier du participant, pp. 32-33 et 54-55

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.

Couches de données géospatiales concernées

Nom de la couche	Description (Alias)	Contenu de la couche	Géodatabase
 OUT_Piezo_Roc	Piézométrie - OUT	Estimation de l'élévation de la piézométrie (en mètres par rapport au niveau moyen de la mer) des aquifères de roc fracturé et de dépôts meubles	 CH_BDCarto_hydrogeo_Rasters.gdb
 OUT_Piezo_Zone_statistique	Piézo. zones statistiques - OUT	Sous-zones aux contextes hydrogéologiques différents, pour lesquels une analyse statistique a été réalisée pour les données validées de niveau piézométrique	 CH_BDCarto_hydrogeologie.gdb

Interprétation générale de la couche d'informations

Légende : Niveau piézométrique (m)	Signification	Information générale à tirer de la notion
	Élévation de la piézométrie et direction d'écoulement de l' eau souterraine	• Élévation de la piézométrie par rapport au niveau moyen de la mer (différent de la profondeur) • 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 la recharge depuis la surface • Contamination potentielle depuis l'amont
	Forte pente de la surface piézométrique	• 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	• 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 fortement minéralisée, de qualité possible douteuse, si la conductivité hydraulique de l'aquifère est faible



Questions d'interprétation

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

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

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

Les autres observations sur mon territoire d'action

Recharge

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.

Atelier A, cahier du participant, pp. 34-35 et 56-57

Couches de données géospatiales concernées

Nom de la couche	Description (Alias)	Contenu de la couche	Géodatabase
 OUT_Recharge_annuelle	<i>Recharge annuelle - OUT</i>	Estimation de la recharge en millimètres par an (estimée pour les aquifères de roc fracturé, à moins qu'un aquifère de dépôts meubles ne soit présent)	 CH_BDCarto_hydrogeo_Rasters.gdb

Interprétation générale de la couche d'informations

Légende : Recharge (mm/an)	Signification	Information générale à tirer de la notion
 0 - 50  50 - 100	Recharge nulle ou faible 0 à 100 mm/an	- Présence probable de dépôts meubles peu perméables en surface - Renouvellement de l'eau souterraine très lent Vulnérabilité probablement faible Eau souterraine possiblement très minéralisée, de qualité potentielle douteuse
 100 - 200	Recharge moyenne 100 à 200 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 moyenne
 200 - 300  300 - 400	Recharge élevée 200 à 400 mm/an	- Présence probable de dépôts meubles perméables en surface, ou affleurement rocheux - Renouvellement de l'eau souterraine rapide Vulnérabilité probablement moyenne à élevée Eau souterraine possiblement peu minéralisée, de bonne qualité potentielle
 400 - 500	Recharge très élevée 400 mm/an et plus	- Présence probable de dépôts meubles très perméables en surface, ou affleurement rocheux - Renouvellement de l'eau souterraine très rapide Vulnérabilité probablement élevée Eau souterraine possiblement peu minéralisée, de bonne qualité potentielle



Questions d'interprétation

Où se situent les zones de renouvellement rapide ou très 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 ?

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**.

Atelier A, cahier du participant, pp. 36-37 et 58-59

Couches de données géospatiales concernées

Nom de la couche	Description (Alias)	Contenu de la couche	Géodatabase
 OUT_DRASTIC	Indice DRASTIC - OUT	Indice de vulnérabilité DRASTIC des eaux souterraines appliqué pour les aquifères rocheux, à moins qu'un aquifère de dépôt meuble ne soit présent	 CH_BDCarto_hydrogeo_Rasters.gdb

Interprétation générale de la couche d'informations

Légende : Indice DRASTIC	Signification	Information générale à tirer de la notion
 30 - 60  60 - 80  80 - 100	Vulnérabilité faible indice de 100 ou moins*	• Bien protégé de la contamination provenant directement de la surface • On retrouve une ou 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 • Aucun indice sur la protection d'une contamination provenant de l'écoulement souterrain latéral
 100 - 120  120 - 140  140 - 160  160 - 180	Vulnérabilité moyenne indice entre 100 et 180*	• Modérément protégé de la contamination provenant directement de la surface • On retrouve une ou 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 • Aucun indice sur la protection d'une contamination provenant de l'écoulement souterrain latéral
 180 - 200	Vulnérabilité élevée indice de 180 ou plus*	• Peu protégé de la contamination provenant directement de la surface • On retrouve une ou 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 • Aucun indice sur la protection d'une contamination provenant de l'écoulement souterrain latéral

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



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.

Atelier A, cahier du participant, pp. 38-39 et 60-61

Couches de données géospatiales concernées

Nom de la couche	Description (Alias)	Contenu de la couche	Géodatabase
 OUT_24_25_Geochimie_PACES	Puits PACES	Observations des données géochimiques (échantillons d'eau récoltés dans le cadre du PACES)	 OUT_ULAAVAL.gdb
 OUT_24_25_Geochimie_BD	Puits pré-PACES	Observations des données géochimiques (échantillons d'eau compilés de différentes sources, non récoltés dans le cadre du PACES)	 OUT_ULAAVAL.gdb

Interprétation générale des couches d'informations

Légende : Dépassement des critères de qualité de l'eau	Signification	Informations générales à tirer de la notion
■ Aquifère au roc (F) ▲ Aquifère dans les dépôts meubles (G) ★ Aquifère d'origine inconnue (I)	Dépassement d'au moins une concentration maximale acceptable (CMA)	• Eau souterraine de qualité douteuse • Non potable • Risque pour la santé
■ Aquifère au roc (F) ▲ Aquifère dans les dépôts meubles (G) ★ Aquifère d'origine inconnue (I)	Dépassement d'au moins un objectif esthétique (OE)	• Eau souterraine de qualité moyenne • Potable • Avec désagrément esthétique (couleur, odeur, goût), mais sans danger pour la santé
• Absence de dépassement • Absence de dépassement	Aucun dépassement	• Eau souterraine de bonne qualité • Potable • Sans désagrément esthétique et 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 ?

Les autres observations sur mon territoire d'action

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 administratives	Limites de la zone d'étude du PACES, des régions, des MRC et des municipalités. Autoroutes, routes, rues et chemins de fer.	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 et de sous-bassins	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 sera importante, réduisant ainsi la recharge.
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 quaternaire	Distribution spatiale des dépôts meubles en surface.	Selon leur nature, les dépôts meubles ont des propriétés hydrogéologiques 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.
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.
Coupes stratigraphiques	Représentation verticale de la distribution spatiale des unités géologiques retrouvées en profondeur, afin d'en apprécier la continuité, l'étendue et l'épaisseur.	Permet de distinguer les hydrofaciès qui correspondent à des unités géologiques aux 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).
Contextes hydrostratigraphiques	Généralisation des empilements d'hydrofaciès de dépôts meubles sur le roc.	Servent d'indicateurs régionaux des conditions hydrogéologiques pouvant être rencontrées dans un secteur.	On retrouve cinq hydrofaciès différents qui peuvent s'empiler en Outaouais.
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 souterraine	Volumes d'eau souterraine prélevés annuellement pour chaque municipalité en réseau et hors réseau, par les utilisations résidentielle, agricole et 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 météorologiques, hydrométriques et piézométriques	Répartition spatiale des stations de mesures en continu pour la météorologie, l'hydrométrie (débit des principaux cours d'eau) et la piézométrie (niveau de l'eau souterraine).	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.
Bilan hydrique	Répartition spatiale de l'évapotranspiration, du ruissellement de surface, du ruissellement hypodermique et de la recharge.	Lorsqu'on connaît les valeurs de précipitation, d'évapotranspiration et de ruissellement, on peut déduire la recharge.	Connaître les bilans de chacun des réservoirs du cycle de l'eau permet de mieux gérer la ressource.

4

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

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 ?

Le déroulement de cet exercice s'étendra sur tout l'après-midi. Vous devrez choisir un des trois enjeux suivants et y répondre :

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

L'exercice comprend trois activités distinctes :

Activité 1 – Remue-méninge sur les notions hydrogéologiques utiles aux enjeux d'aménagement

L'objectif de cette activité est de réfléchir au cheminement d'analyse que vous pourriez appliquer sur votre territoire pour répondre à l'enjeu ciblé. Voici quelques questions pour vous aider dans votre réflexion :

- *Selon vous, qu'est-ce que l'on cherche?*
- *Quelles sont les caractéristiques des aquifères que nous devrions rechercher?*
- *Quels sont les critères d'analyse?*
- *Quelles sont les informations hydrogéologiques que l'on devrait utiliser?*

Pour réaliser cette activité, vous serez divisés en trois sous-groupes de dix participants maximum. Vous serez accompagnés par un animateur du RQES qui mènera les discussions et sollicitera vos réponses. Un expert en hydrogéologie sera également présent pour répondre à vos questions d'expertise scientifique. Il sera aussi invité à commenter le résultat du remue-méninge.

Vos réponses seront inscrites par l'animateur sur une grande feuille blanche qui sera ensuite affichée dans le local informatique. Ainsi, vous pourrez bénéficier des résultats des remue-ménings des autres sous-groupes qui répondent aux deux autres enjeux.

Une démarche d'un expert en hydrogéologie vous sera ensuite proposée. Elle est décrite en détail dans le cahier du participant. Un survol de cette démarche vous sera présenté, avec des explications sur la procédure de géotraitement. C'est cette démarche que vous appliquerez lors de la prochaine activité dans le local informatique. Nous vous prions de garder vos commentaires sur cette démarche pour la fin de la journée, car ils pourront enrichir tous les participants et pas seulement votre sous-groupe de travail.

Activité 2 – 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 binôme dans le local informatique, à l'aide du logiciel ArcGIS. Vous devez appliquer sur votre territoire d'action la démarche présentée à l'activité précédente et décrite dans le cahier du participant. Les animateurs et les experts seront présents en tout temps et pourront répondre à vos questions techniques de géomatique ou qui portent sur l'hydrogéologie.

Si vous terminez l'activité avant le temps alloué, nous vous demandons soit de modifier certains critères d'analyse et d'évaluer leur sensibilité sur votre résultat final, ou bien de travailler sur un deuxième enjeu.

Il est important de remplir le questionnaire final pour la présentation de vos résultats, car celui-ci servira lors de l'activité suivante.

Activité 3 – Présentation des résultats des exercices d'aménagement

L'objectif de cette activité est de partager vos résultats avec tous les participants et d'échanger avec les experts en hydrogéologie.

Au moins une équipe par enjeu sera invitée à discuter de leurs résultats en se basant sur le questionnaire final présent dans le cahier des participants. Les résultats cartographiques seront affichés à l'écran afin que tous puissent les voir.

Les résultats du remue-méninges avec les participants

CE QUE L'ON CHERCHE	LES CRITÈRES D'ANALYSE

Synthèse du cheminement d'expert

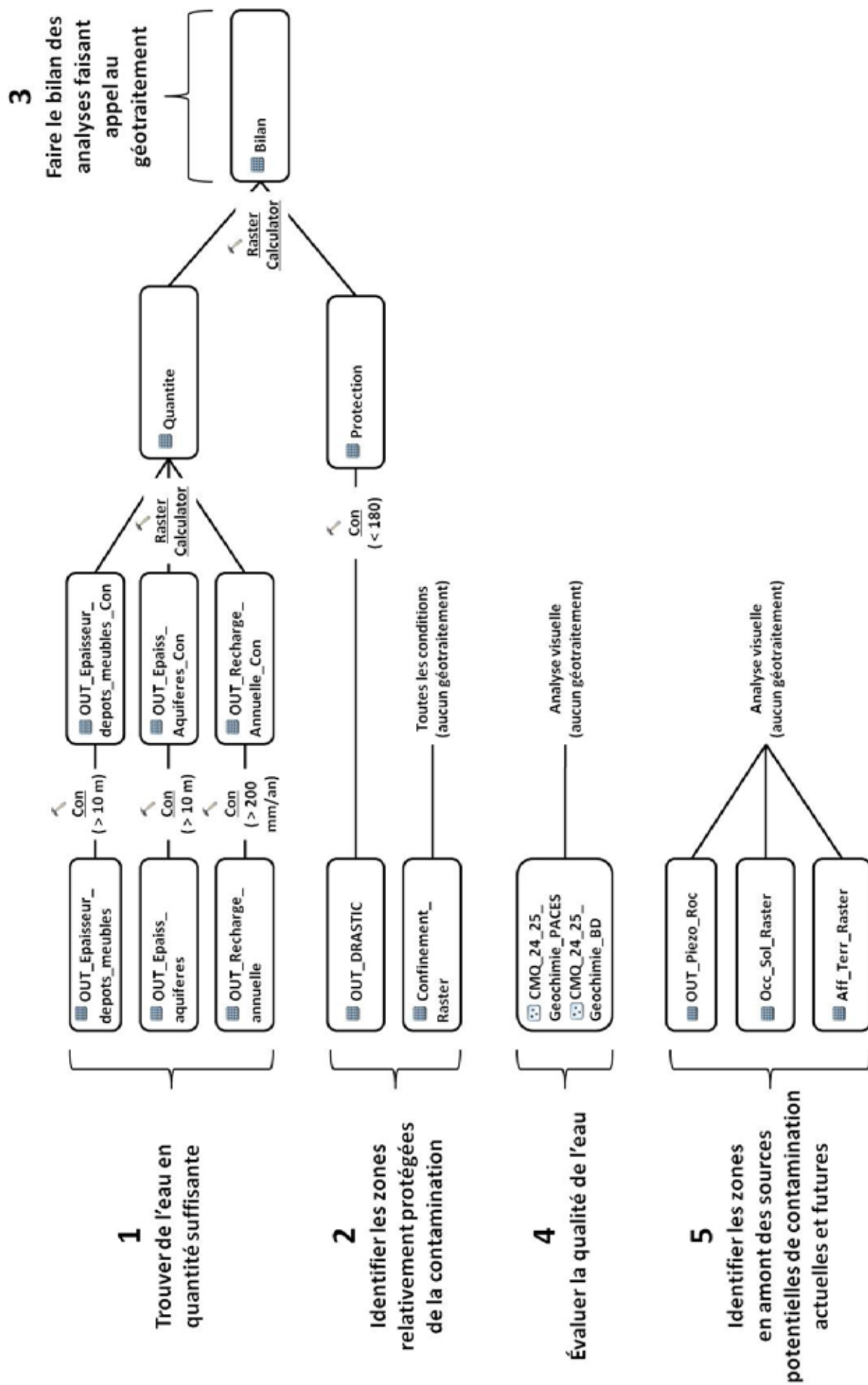
Question

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 d'aquifères granulaires d'épaisseur suffisante	Épaisseur des dépôts meubles	 OUT_Epaisseur_depots_meubles	<i>Épaisseur dépôts meubles - OUT</i>	- Épaisseur élevée : 10 à 20 m - Épaisseur très élevée : 20 m et plus
	Épaisseur des aquifères de dépôts meubles	 OUT_Epaiss_aquiferes	<i>Épaisseur aquifères - OUT</i>	- Épaisseur élevée : 10 à 20 m - Épaisseur très élevée : 20 m et plus
Recharge élevée	Recharge	 OUT_Recharge_annuelle	<i>Recharge annuelle - OUT</i>	- Recharge élevée : 200 à 400 mm/an - Recharge très élevée : 400 mm/an et plus

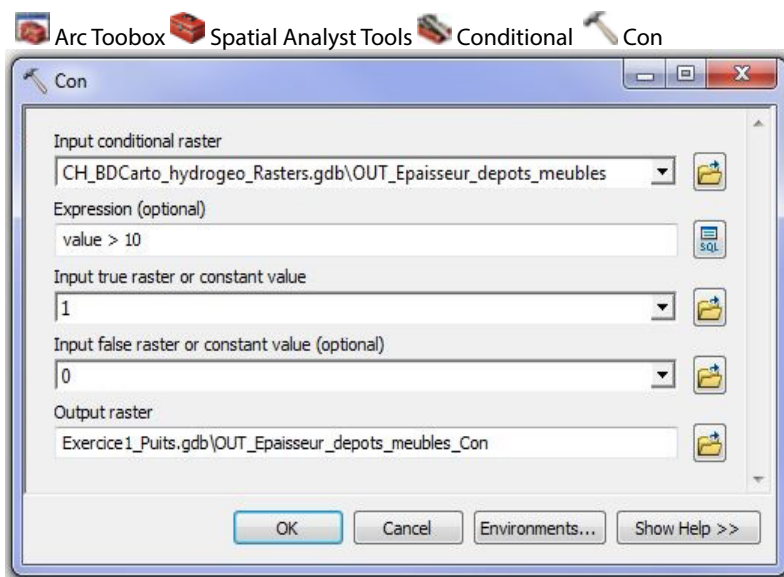


Procédure étape par étape

ÉPAISSEUR DES DÉPÔTS MEUBLES

Identifier les cellules de **OUT_Epaisseur_depots_meubles** (*alias: Épaisseur dépôts meubles - OUT*) qui répondent aux critères en effectuant le géotraitement ci-contre.

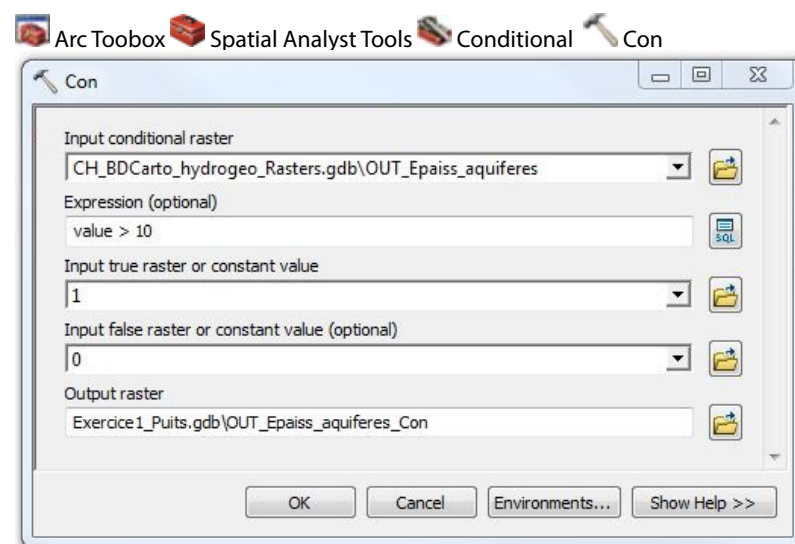
Les cellules de **OUT_Epaisseur_depots_meubles_Con** ayant une valeur de 1 correspondent aux critères.



ÉPAISSEUR DES AQUIFÈRES DE DÉPÔTS MEUBLES

Identifier les cellules de **OUT_Epaiss_aquiferes** (*alias: Épaisseur aquifères - OUT*) qui répondent aux critères en effectuant le géotraitement ci-contre.

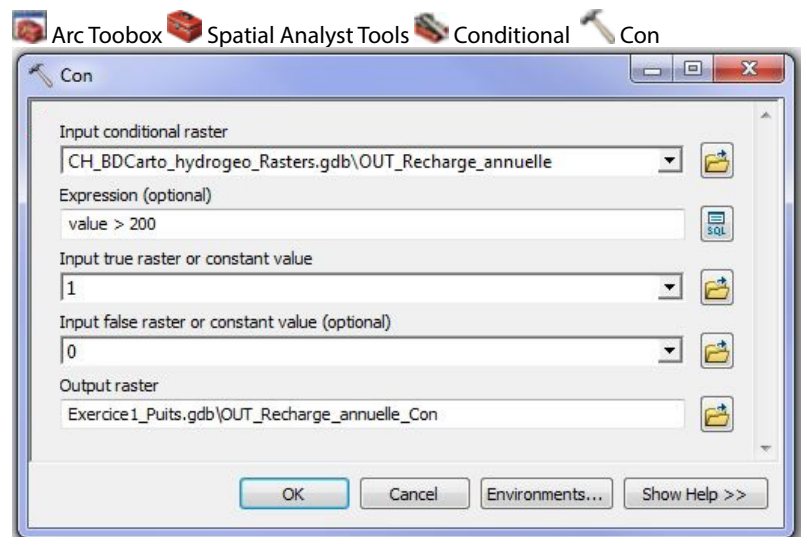
Les cellules de **OUT_Epaiss_aquiferes_Con** ayant une valeur de 1 correspondent aux critères.



RECHARGE

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

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



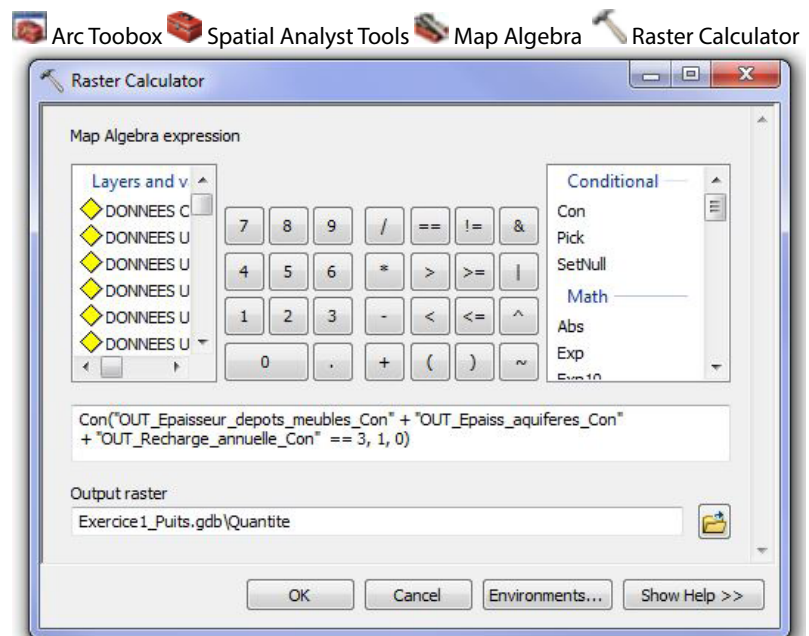
BILAN

Combiner les résultats des couches **OUT_Epaisseur_depots_meubles_Con**, **OUT_Epaisseur_aquiferes_Con** et **OUT_Recharge_annuelle_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.

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



2. Identifier les zones relativement protégées de la contamination

Les paramètres d'analyse proposés

Paramètres d'analyse	Pourquoi ?	Limites et commentaires
Aquifère peu vulnérable	En s'assurant que l'aquifère est relativement protégé de potentielles contaminations provenant des activités humaines en surface, les interventions nécessaires pour diminuer le risque de contamination sont diminuées.	- Un aquifère à vulnérabilité élevée pourrait être considéré, mais il faudra accorder une attention rigoureuse aux sources de contamination dans l'aire d'alimentation et l'eau prélevée pourrait potentiellement devoir être traitée. - Un indice de vulnérabilité est subjectif. Il faut être prudent dans l'interprétation de son résultat. - La vulnérabilité DRASTIC ne considère que ce qui provient par infiltration depuis la surface, sans considérer ce qui peut provenir de l'écoulement souterrain latéral. - Pour tenir compte du risque de contamination, la vulnérabilité n'est pas suffisante : il faut y jumeler l'impact des activités humaines présentant un danger potentiel de contamination, incluant la toxicité du contaminant, la quantité de contaminants associés à l'activité, la zone d'impact et la fréquence du rejet. Il faut donc inventorier les activités potentiellement polluantes sur le territoire de l'aquifère et qualifier leur impact potentiel sur la qualité de l'eau souterraine.
Toutes les conditions de confinement	- Il peut être plus avantageux d'exploiter un aquifère confiné, car grâce à l'aquitard sus-jacent, il est protégé de la contamination provenant de la surface. - Les aquifères non confinés ont l'avantage de recevoir plus de recharge et l'eau y est typiquement de bonne qualité	- L'eau de l'aquifère confiné 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 non confinés 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	 OUT_DRASTIC	<i>Indice DRASTIC - OUT</i>	- Vulnérabilité faible : indice de 100 ou moins - Vulnérabilité moyenne : indice entre 100 et 180
Toutes les conditions de confinement	Confinement	 Confinement_Raster	<i>Confinement roc - OUT - converti</i>	Toutes les conditions de confinement

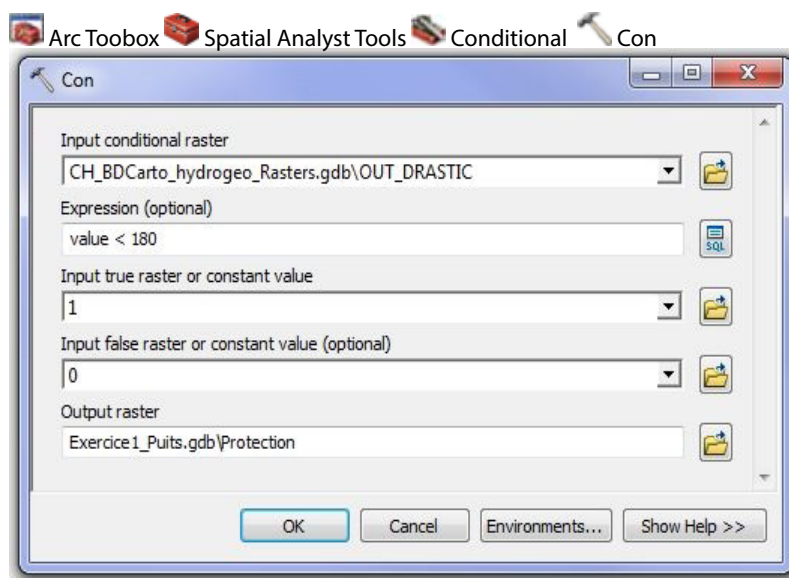


Procédure étape par étape

VULNÉRABILITÉ

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

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



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

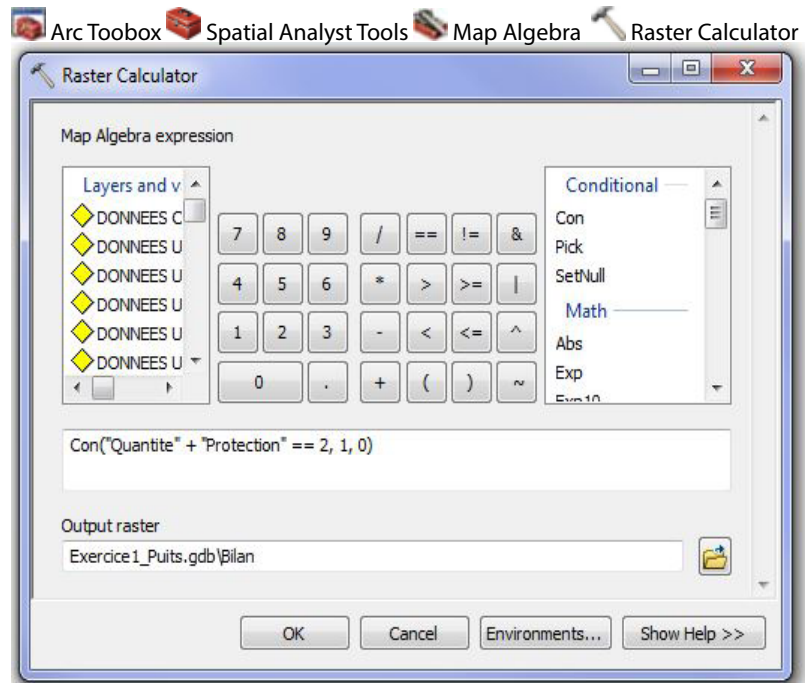


Procédure étape par étape

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

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 protégés 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 moyenne 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 généreraient des coûts de traitement trop élevés. - Les contaminants microbiologiques, les pesticides et les hydrocarbures sont dangereux, mais ne sont pas être 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 moyenne à bonne	Qualité de l'eau	 OUT_24_25_Geochimie_PACES	Puits PACES	Eau souterraine de bonne qualité : aucun dépassement de CMA et d'OE dans l'aquifère
		 OUT_24_25_Geochimie_BD	Puits pré-PACES	Eau souterraine de qualité moyenne : au moins un dépassement d'OE dans l'aquifère (mais aucun dépassement de CMA)



Procédure étape par étape

QUALITÉ DE L'EAU

Pour n'afficher que les puits de la couche  **OUT_24_25_Geochimie_PACES** (alias : Puits PACES) pour lesquels au moins une concentration maximale acceptable a été dépassée, faire la requête suivante sous l'onglet Definition Query de la fenêtre Layer Properties :

U > 0.02 OR FLUORURES > 1.5

Pour n'afficher que les puits de la couche  **OUT_24_25_Geochimie_BD** (alias : Puits pré-PACES) pour lesquels au moins une concentration maximale acceptable a été dépassée, faire la requête suivante sous l'onglet Definition Query de la fenêtre Layer Properties :

(Element = 'U' AND concentr_1 > 0.02) OR (Element = 'U-d' AND concentr_1 > 0.02) OR (Element = 'Fluorures' AND concentr_1 > 1.5)

Pour n'afficher que les puits de la couche  **OUT_24_25_Geochimie_PACES** (alias : Puits PACES) pour lesquels au moins un objectif esthétique a été dépassé, faire la requête suivante sous l'onglet Definition Query de la fenêtre Layer Properties:

FE > 0.3 OR CL_ > 250 OR MN > 0.05 OR NA > 200 OR TDS__MG_L_ > 500 OR PH > 8.5 OR PH < 6.5

Pour n'afficher que les puits de la couche  **OUT_24_25_Geochimie_BD** (alias : Puits pré-PACES) pour lesquels au moins un objectif esthétique a été dépassé, faire la requête suivante sous l'onglet Definition Query de la fenêtre Layer Properties:

(Element = 'Fe' AND concentr_1 > 0.3) OR (Element = 'Fe-d' AND concentr_1 > 0.3) OR
(Element = 'Cl-' AND concentr_1 > 250) OR (Element = 'Cl-d' AND concentr_1 > 250) OR
(Element = 'Mn' AND concentr_1 > 0.05) OR (Element = 'Mn-d' AND concentr_1 > 0.05) OR
(Element = 'Na' AND concentr_1 > 200) OR (Element = 'Na-d' AND concentr_1 > 200) OR
(Element = 'MDT/TDS' AND concentr_1 > 500) OR
(Element = 'pH' AND concentr_1 > 8.5) OR (Element = 'pH' AND concentr_1 < 6.5)

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 moyenne si on y retrouve au moins un puits avec dépassements d'objectifs esthétiques, mais sans dépassements de concentrations maximales acceptables.

Les requêtes peuvent être copiées depuis le fichier texte **Requêtes** dans le dossier  **Exercices**.

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	 OUT_Piezo_Roc  Occ_Sol_Raster  Aff_Terr_Raster	Piézométrie - OUT Occupation du sol - converti Affectations du territoire - converti	En amont des activités humaines pouvant représenter un danger pour la qualité de l'eau



Procédure étape par étape

PIÉZOMÉTRIE

Pour identifier des sources potentielles de contamination actuelles, dans la couche  **Occ_Sol_Raster** (*alias* : *Occupation du sol - converti*), sous l'onglet *Symbology* de la fenêtre *Layer Properties*, regrouper les valeurs des occupations correspondantes à des activités humaines pouvant représenter un danger pour la qualité de l'eau souterraine (ex. : anthropique et cultures agricoles). Nommer l'étiquette de ce regroupement **Contamination potentielle actuelle**.

Pour identifier des sources potentielles de contamination futures, dans la couche  **Aff_Terr_Raster** (*alias* : *Affectations du territoire - converti*), sous l'onglet *Symbology* de la fenêtre *Layer Properties*, regrouper les valeurs des affectations correspondantes à des activités humaines pouvant représenter un danger pour la qualité de l'eau souterraine (ex. : agricole, commerciale, industrielle et urbaine). Nommer l'étiquette de ce regroupement **Contamination potentielle future**.

Ensuite, dans le projet mxd, superposer les deux couches précédentes à la couche de piézométrie  **OUT_Piezo_Roc** (*alias* : *Piézométrie - OUT*). 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 les autres.

Préparer la présentation de vos résultats

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

Nom de votre territoire d'action :

En appliquant les critères hydrogéologiques fournis, décrivez le résultat obtenu sur votre territoire d'action (ex. : localisation, superficie, caractéristiques hydrogéologiques des zones sélectionnées) ?

Avez-vous modifié les critères hydrogéologiques proposés par le cheminement d'expert ? Si oui, pourquoi et de quelle manière ? Reportez dans le tableau de la page suivante les critères hydrogéologiques utilisés.

Quels sont les problèmes de qualité d'eau que vous avez détectés ? Quelle(s) conclusion(s) en tirez-vous ?

Dans votre pratique professionnelle, quelles sont les autres informations que vous utiliseriez pour répondre à la question posée (ex. : distance aux noyaux urbains, occupation des sols, zonage agricole, affectations du territoire, informations sur des activités ponctuelles, etc.) ?

Compte tenu de l'échelle des données hydrogéologiques actuelles, existent-ils des secteurs sur lesquels vous auriez besoin de données hydrogéologiques plus locales ?

Dans votre pratique professionnelle, de quelle manière pourriez-vous assurer une protection et une gestion durable de l'eau souterraine sur les zones qui ressortent de votre analyse ?

Votre cheminement sur votre territoire d'action

Ce qui est recherché	Clés d'interprétation spécifiques à l'enjeu		Traitement des données géospatiales			
	Paramètre d'analyse	Pourquoi ?	Notions hydrogéologiques	Données à utiliser	Description (<i>Alias</i>)	Critères
Trouver de l'eau en quantité suffisante			Épaisseur des dépôts meubles	 OUT_Epaisseur_depots_meubles	Épaisseur dépôts meubles - OUT	
			Épaisseur des aquifères de dépôts meubles	 OUT_Epaiss_aquiferes	Épaisseur aquifères - OUT	
			Recharge	 OUT_Recharge_annuelle	Recharge annuelle - OUT	
Identifier les zones relativement protégées de la contamination			Vulnérabilité	 OUT_DRASTIC	Indice DRASTIC - OUT	
			Confinement	 Confinement_Raster	Confinement roc - OUT - converti	
Évaluer la qualité de l'eau			Qualité de l'eau	 OUT_24_25_Geochemie_PACES	Puits PACES	
				 OUT_24_25_Geochemie_BD	Puits pré-PACES	
Identifier les zones en amont des sources potentielles de contamination			Piézométrie	 OUT_Piezo_Roc	Piézométrie - OUT	
				 Occ_Sol_Raster	Occupation du sol - modifié	
				 Aff_Terr_Raster	Affectations du territoire - modifié	

Intégration des connaissances du milieu humain

Dans la pratique, de nombreuses connaissances sur le milieu humain devraient être intégrées à la recherche d'une nouvelle source d'eau potable souterraine (ex. : l'emplacement du réseau d'aqueduc existant, la distance aux noyaux urbains, les propriétaires terriens, l'occupation du sol, l'affectation du territoire, etc.). Pour compléter l'exercice en cours d'atelier, les informations sur l'occupation du sol et l'affectation du territoire sont fournies avec les données du PACES. Les clés d'interprétation et les critères ne sont toutefois pas proposés par l'exemple d'un cheminement d'expert. Ils sont choisis par les participants. Le déroulement ci-dessous montre un exemple d'opérations de géotraitement qu'il est possible de faire.

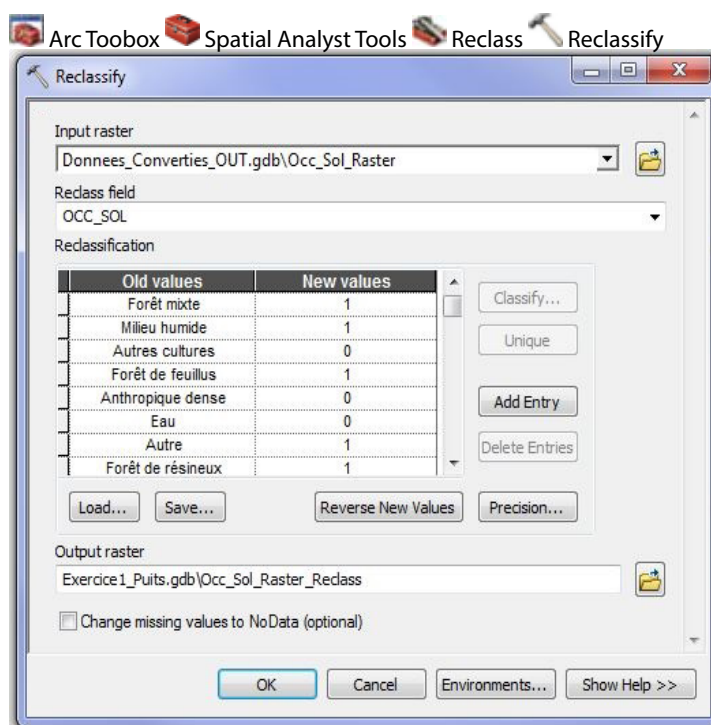


Procédure étape par étape

OCCUPATION DU SOL

Identifier les cellules de **Occ_Sol_Raster** (alias: *Occupation du sol - converti*) qui répondent à vos critères en effectuant l'exemple de géotraitement ci-contre.

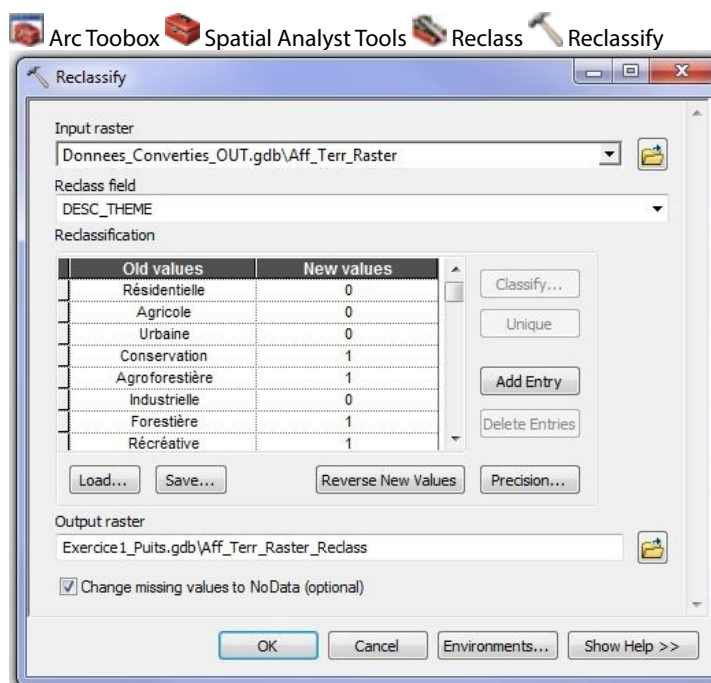
Les cellules de **Occ_Sol_Raster_Reclass** ayant une valeur de 1 correspondent aux critères.



AFFECTATION DU TERRITOIRE

Identifier les cellules de **Aff_Terr_Raster** (alias : *Affectation du territoire - converti*) qui répondent à vos critères en effectuant l'exemple de géotraitement ci-contre.

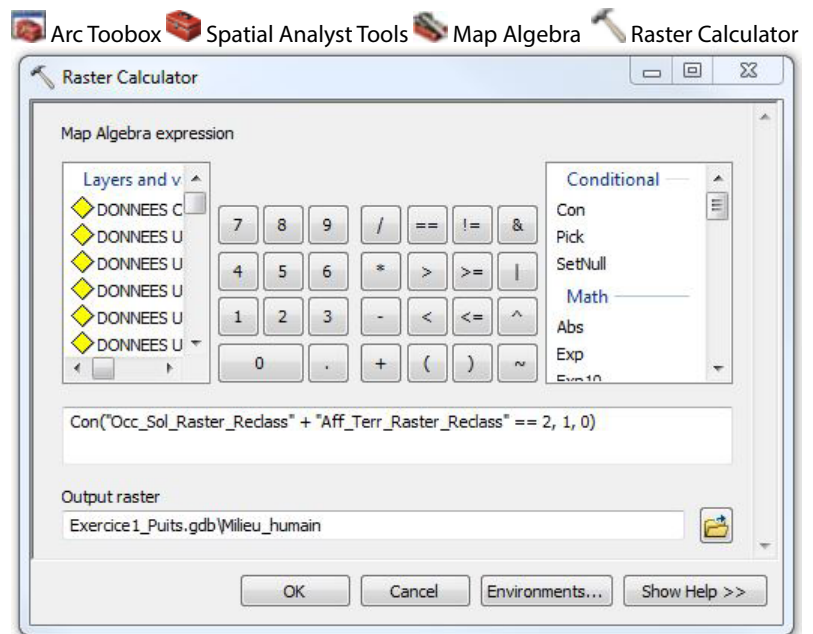
Les cellules de **Aff_Terr_Raster_Reclass** ayant une valeur de 1 correspondent aux critères.



BILAN

Combiner les résultats des couches
 **Occ_Sol_Raster_Reclass** et
 **Aff_Terr_Raster_Reclass**
en effectuant le calcul ci-contre.

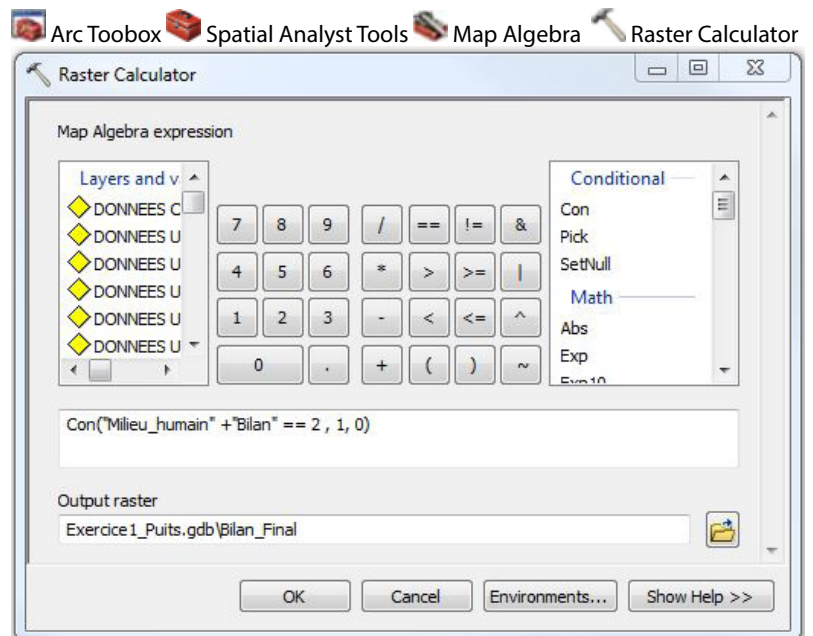
Les cellules de  **Milieu_humain** ayant
une valeur de 1 correspondent aux zones
où il serait possible d'exploiter la ressource
selon les connaissances sur l'occupation du
sol et l'affectation du territoire.



BILAN FINAL

Il est finalement possible de combiner les
couches  **Milieu_humain** et  **Bilan** en
effectuant le calcul ci-contre pour localiser
les zones où les aquifères pourraient fournir
de l'eau souterraine en quantité suffisante,
qui seraient relativement protégés de la
contamination, qui auraient une qualité
d'eau potentiellement potable, et où il serait
possible d'exploiter la ressource selon les
connaissances sur l'occupation du sol et
l'affectation du territoire.

La couche  **Bilan_final** constitue la
réponse finale à la question de l'exercice
selon l'exemple du cheminement d'expert,
en intégrant les connaissances disponibles
du milieu humain.



Question 2

Quelles zones devraient être protégées en priorité pour la recharge ?

Le déroulement de cet exercice s'étendra sur tout l'après-midi. Vous devrez choisir un des trois enjeux suivants et y répondre :

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

L'exercice comprend trois activités distinctes :

Activité 1 – Remue-méninge sur les notions hydrogéologiques utiles aux enjeux d'aménagement

L'objectif de cette activité est de réfléchir au cheminement d'analyse que vous pourriez appliquer sur votre territoire pour répondre à l'enjeu ciblé. Voici quelques questions pour vous aider dans votre réflexion :

- *Selon vous, qu'est-ce que l'on cherche?*
- *Quelles sont les caractéristiques des aquifères que nous devrions rechercher?*
- *Quels sont les critères d'analyse?*
- *Quelles sont les informations hydrogéologiques que l'on devrait utiliser?*

Pour réaliser cette activité, vous serez divisés en trois sous-groupes de dix participants maximum. Vous serez accompagnés par un animateur du RQES qui mènera les discussions et sollicitera vos réponses. Un expert en hydrogéologie sera également présent pour répondre à vos questions d'expertise scientifique. Il sera aussi invité à commenter le résultat du remue-méninge.

Vos réponses seront inscrites par l'animateur sur une grande feuille blanche qui sera ensuite affichée dans le local informatique. Ainsi, vous pourrez bénéficier des résultats des remue-ménings des autres sous-groupes qui répondent aux deux autres enjeux.

Une démarche d'un expert en hydrogéologie vous sera ensuite proposée. Elle est décrite en détail dans le cahier du participant. Un survol de cette démarche vous sera présenté, avec des explications sur la procédure de géotraitement. C'est cette démarche que vous appliquerez lors de la prochaine activité dans le local informatique. Nous vous prions de garder vos commentaires sur cette démarche pour la fin de la journée, car ils pourront enrichir tous les participants et pas seulement votre sous-groupe de travail.

Activité 2 – 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 binôme dans le local informatique, à l'aide du logiciel ArcGIS. Vous devez appliquer sur votre territoire d'action la démarche présentée à l'activité précédente et décrite dans le cahier du participant. Les animateurs et les experts seront présents en tout temps et pourront répondre à vos questions techniques de géomatique ou qui portent sur l'hydrogéologie.

Si vous terminez l'activité avant le temps alloué, nous vous demandons soit de modifier certains critères d'analyse et d'évaluer leur sensibilité sur votre résultat final, ou bien de travailler sur un deuxième enjeu.

Il est important de remplir le questionnaire final pour la présentation de vos résultats, car celui-ci servira lors de l'activité suivante.

Activité 3 – Présentation des résultats des exercices d'aménagement

L'objectif de cette activité est de partager vos résultats avec tous les participants et d'échanger avec les experts en hydrogéologie.

Au moins une équipe par enjeu sera invitée à discuter de leurs résultats en se basant sur le questionnaire final présent dans le cahier des participants. Les résultats cartographiques seront affichés à l'écran afin que tous puissent les voir.

Les résultats du remue-méninges avec les participants

CE QUE L'ON CHERCHE	LES CRITÈRES D'ANALYSE

Synthèse du cheminement d'expert

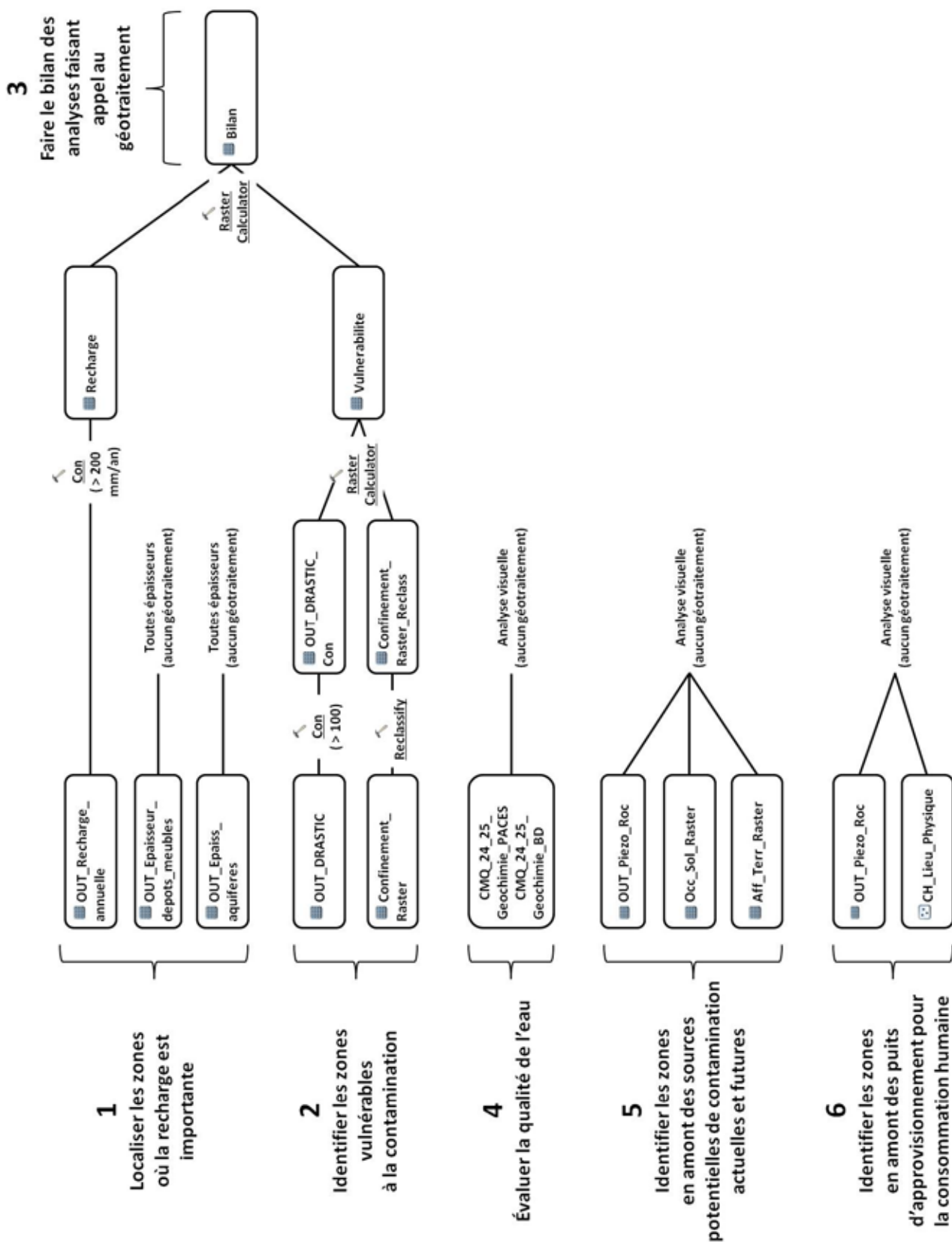
Question

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.
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.	
Toutes épaisseurs des aquifères de dépôts meubles	- Pas nécessaire pour répondre à l'enjeu, car la présence de dépôts meubles perméables est prise en compte dans le calcul de la recharge. - L'aquifère de roc fracturé peut aussi recevoir une recharge élevée lorsque le roc est affleurant ou près de la surface.	

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	 OUT_Recharge_annuelle	Recharge annuelle - OUT	- Recharge élevée: 200 à 400 mm/an - Recharge très élevée : 400 mm/ an et plus
Toutes épaisseurs de dépôts meubles	Épaisseur des dépôts meubles	 OUT_Epaisseur_depots_meubles	Épaisseur dépôts meubles - OUT	Toutes épaisseurs
Toutes épaisseurs des aquifères de dépôts meubles	Épaisseur des aquifères de dépôts meubles	 OUT_Epaisseur_aquiferes	Épaisseur aquifères - OUT	Toutes épaisseurs

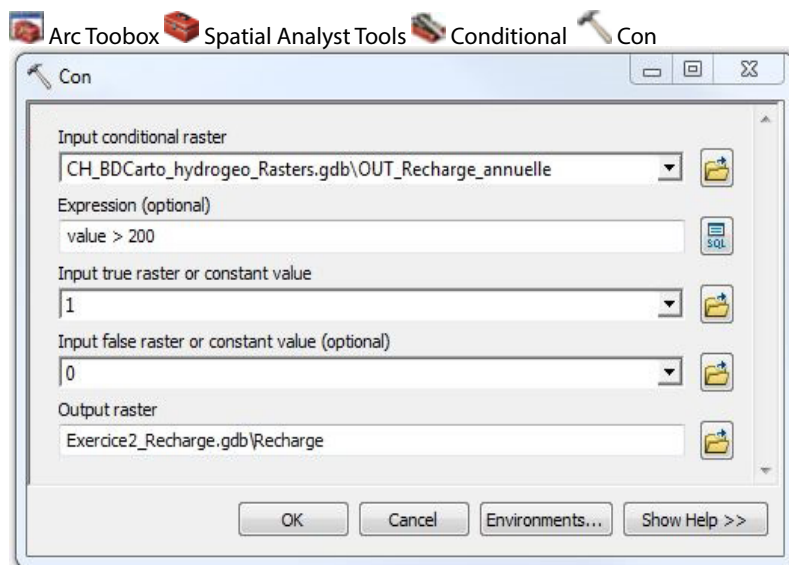


Procédure étape par étape

RECHARGE

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

Les cellules de  **Recharge** 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 dans les critères.

ÉPAISSEUR DES AQUIFÈRES DÉPÔTS MEUBLES

Aucune analyse à faire puisque toutes les épaisseurs des aquifères de dépôts meubles sont considérées dans les critères.

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 non confiné	Les aquifères non confinés ne sont pas protégés par un aquitard de la contamination qui proviendrait de la surface.	La recharge est de moyenne à élevée dans les aquifères non confinés.

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

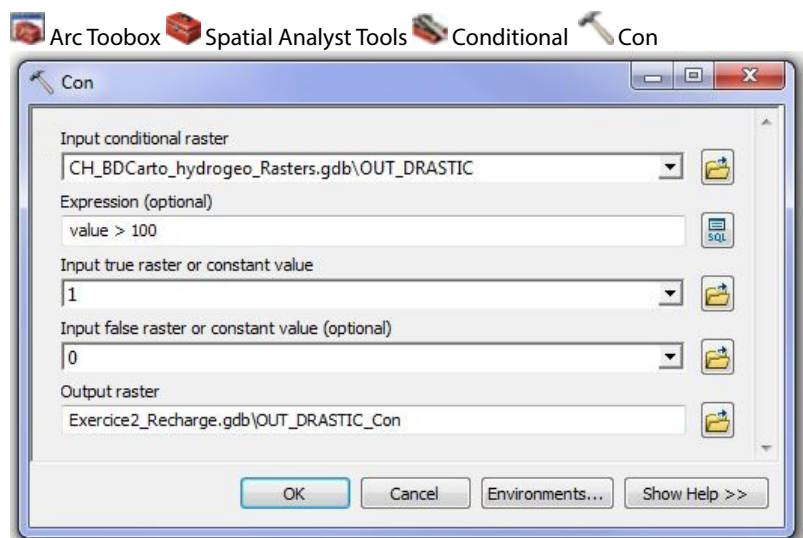
Paramètres d'analyse	Notions hydrogéologiques	Données à utiliser	Description (<i>Alias</i>)	Critères
Aquifère vulnérable	Vulnérabilité	 OUT_DRASTIC	<i>Indice DRASTIC - OUT</i>	- Vulnérabilité moyenne : indice entre 100 et 180 - Vulnérabilité élevée: indice de 180 ou plus
Aquifère non confiné	Confinement	 Confinement_Raster	<i>Confinement roc - OUT - converti</i>	Non confiné

Procédure étape par étape

VULNÉRABILITÉ

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

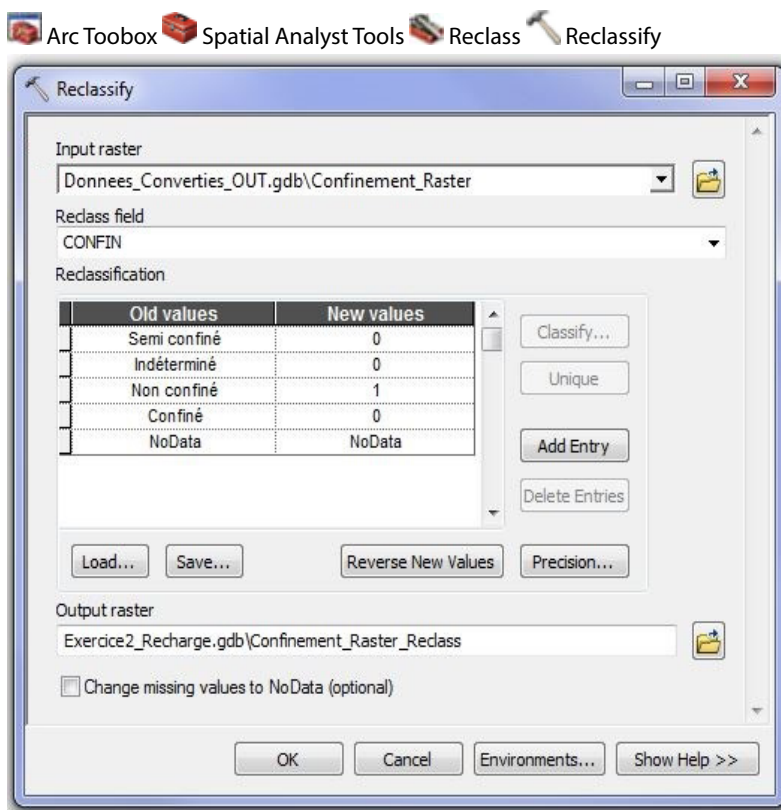
Les cellules de  **OUT_DRASTIC_Con** ayant une valeur de 1 correspondent aux critères.



CONFINEMENT

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

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



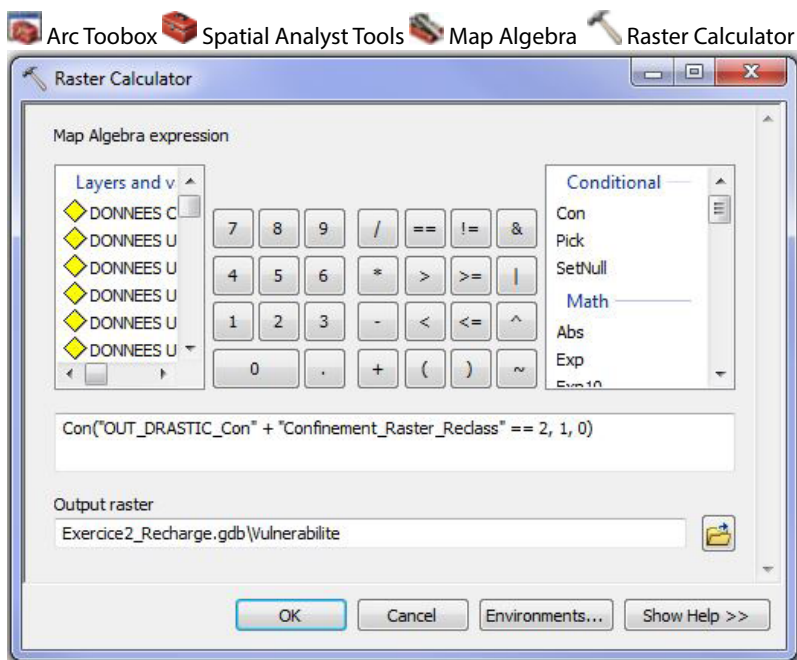
BILAN

Combiner les résultats des couches **OUT_DRASTIC_Con** et **Confinement_Raster_Reclass** en effectuant le calcul ci-contre.

Le calcul conditionnel est inscrit en langage de programmation Python supporté par ArcGIS. Il peut être décrit ainsi : pour une cellule de la matrice, si la condition avant la première virgule est vraie, alors la cellule prend la valeur indiquée après la première virgule, sinon elle prend la valeur indiquée après la deuxième virgule.

Dans ce cas-ci, si la somme de l'addition des 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.



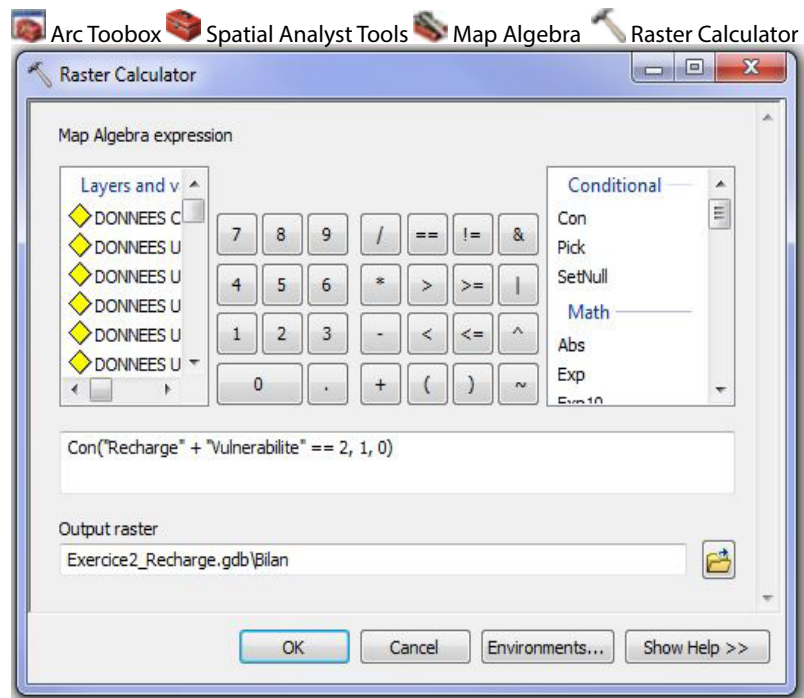
3. Faire le bilan des analyses faisant appel au géotraitement

Procédure étape par étape

Combiner les résultats des couches **Recharge** et **Vulnerabilite** en effectuant le calcul ci-contre.

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
Eau de qualité moyenne à bonne	L'eau doit être de bonne qualité naturelle pour considérer sa protection. La protection d'une eau de qualité naturelle douteuse n'est pas prioritaire.	- 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 critères d'analyse proposés pour le traitement des données géospatiales

Paramètres d'analyse	Notions hydrogéologiques	Données à utiliser	Description (Alias)	Critères
Eau de qualité moyenne à bonne	Qualité de l'eau	 OUT_24_25_Geochimie_PACES	Puits PACES	Eau souterraine de bonne qualité : aucun dépassement de CMA et d'OE dans l'aquifère
		 OUT_24_25_Geochimie_BD	Puits pré-PACES	Eau souterraine de qualité moyenne : au moins un dépassement d'OE dans l'aquifère (mais aucun dépassement de CMA)



Procédure étape par étape

QUALITÉ DE L'EAU

Pour n'afficher que les puits de la couche  **OUT_24_25_Geochimie_PACES** (*alias : Puits PACES*) pour lesquels au moins une concentration maximale acceptable a été dépassée, faire la requête suivante sous l'onglet Definition Query de la fenêtre Layer Properties :

U > 0.02 OR FLUORURES > 1.5

Pour n'afficher que les puits de la couche  **OUT_24_25_Geochimie_BD** (*alias : Puits pré-PACES*) pour lesquels au moins une concentration maximale acceptable a été dépassée, faire la requête suivante sous l'onglet Definition Query de la fenêtre Layer Properties :

(Element = 'U' AND concentr_1 > 0.02) OR (Element = 'U-d' AND concentr_1 > 0.02) OR (Element = 'Fluorures' AND concentr_1 > 1.5)

Pour n'afficher que les puits de la couche  **OUT_24_25_Geochimie_PACES** (*alias : Puits PACES*) pour lesquels au moins un objectif esthétique a été dépassé, faire la requête suivante sous l'onglet Definition Query de la fenêtre Layer Properties:

FE > 0.3 OR CL_ > 250 OR MN > 0.05 OR NA > 200 OR TDS_MG_L_ > 500 OR PH > 8.5 OR PH < 6.5

Pour n'afficher que les puits de la couche  **OUT_24_25_Geochimie_BD** (*alias : Puits pré-PACES*) pour lesquels au moins un objectif esthétique a été dépassé, faire la requête suivante sous l'onglet Definition Query de la fenêtre Layer Properties:

(Element = 'Fe' AND concentr_1 > 0.3) OR (Element = 'Fe-d' AND concentr_1 > 0.3) OR
(Element = 'Cl-' AND concentr_1 > 250) OR (Element = 'Cl-d' AND concentr_1 > 250) OR
(Element = 'Mn' AND concentr_1 > 0.05) OR (Element = 'Mn-d' AND concentr_1 > 0.05) OR
(Element = 'Na' AND concentr_1 > 200) OR (Element = 'Na-d' AND concentr_1 > 200) OR
(Element = 'MDT/TDS' AND concentr_1 > 500) OR
(Element = 'pH' AND concentr_1 > 8.5) OR (Element = 'pH' AND concentr_1 < 6.5)

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 moyenne si on y retrouve au moins un puits avec dépassements d'objectifs esthétiques, mais sans dépassements de concentrations maximales acceptables.

Les requêtes peuvent être copiées depuis le fichier texte **Requêtes** dans le dossier  **Exercices**.

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.

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	 OUT_Piezo_Roc  Occ_Sol_Raster  Aff_Terr_Raster	Piézométrie - OUT Occupation du sol - converti Affectations du territoire - converti	En amont des activités humaines pouvant représenter un danger pour la qualité de l'eau



Procédure étape par étape

PIÉZOMÉTRIE

Pour identifier des sources potentielles de contamination actuelles, dans la couche  **Occ_Sol_Raster** (*alias* : *Occupation du sol - converti*), sous l'onglet Symbology de la fenêtre Layer Properties, regrouper les valeurs des occupations correspondantes à des activités humaines pouvant représenter un danger pour la qualité de l'eau souterraine (ex. : anthropique et cultures agricoles). Nommer l'étiquette de ce regroupement **Contamination potentielle actuelle**.

Pour identifier des sources potentielles de contamination futures, dans la couche  **Aff_Terr_Raster** (*alias* : *Affectations du territoire - converti*), sous l'onglet Symbology de la fenêtre Layer Properties, regrouper les valeurs des affectations correspondantes à des activités humaines pouvant représenter un danger pour la qualité de l'eau souterraine (ex. : agricole, commerciale, industrielle et urbaine). Nommer l'étiquette de ce regroupement **Contamination potentielle future**.

Ensuite, dans le projet mxd, superposer les deux couches précédentes à la couche de piézométrie  **OUT_Piezo_Roc** (*alias* : *Piézométrie - OUT*). 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 les autres.

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 protégées 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.

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	 OUT_Piezo_Roc  CH_Lieu_physique	- Piézométrie - OUT - Lieux physiques	En amont des puits d'alimentation



Procédure étape par étape

PIÉZOMÉTRIE

Pour afficher les puits d'alimentation individuels et collectifs, dans la couche  **CH_Lieu_physique** (alias : *Lieux physiques*), faire la requête suivante sous l'onglet Définition Query de la fenêtre Layer Properties :

```
Type_Util_Eau = 'agriculture' OR  
Type_Util_Eau = 'agriculture (élevage)' OR  
Type_Util_Eau = 'approvisionnement en eau potable domestique' OR  
Type_Util_Eau = 'approvisionnement en eau potable municipal' OR  
Type_Util_Eau = 'commerce' OR  
Type_Util_Eau = 'institution'
```

Superposer la couche ci-dessus à la couche de piézométrie  **OUT_Piezo_Roc** (alias : *Piézométrie - OUT*), 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 aval de celles-ci.

La requête peut être copiée depuis le fichier texte **Requêtes** dans le dossier  **Exercices**.

Préparer la présentation de vos résultats

Quelles zones devraient être protégées en priorité pour la recharge ?

Nom de votre territoire d'action :

En appliquant les critères hydrogéologiques fournis, décrivez le résultat obtenu sur votre territoire d'action (ex. : localisation, superficie, caractéristiques hydrogéologiques des zones sélectionnées)?

Avez-vous modifié les critères hydrogéologiques proposés par le cheminement d'expert? Si oui, pourquoi et de quelle manière ? Reportez dans le tableau de la page suivante les critères hydrogéologiques utilisés.

Quels sont les problèmes de qualité d'eau que vous avez détectés? Quelle(s) conclusion(s) en tirez-vous?

Dans votre pratique professionnelle, quelles sont les autres informations que vous utiliseriez pour répondre à la question posée (ex. : milieux naturels d'intérêt, occupation des sols, zones de conservation, affectations du territoire, informations sur des activités ponctuelles, etc.)?

Compte tenu de l'échelle des données hydrogéologiques actuelles, existent-ils des secteurs sur lesquels vous auriez besoin de données hydrogéologiques plus locales?

Dans votre pratique professionnelle, de quelle manière pourriez-vous assurer une protection et une gestion durable de l'eau souterraine sur les zones qui ressortent de votre analyse?

Votre cheminement sur votre territoire d'action

Ce qui est recherché	Clés d'interprétation spécifiques à l'enjeu		Traitement des données géospatiales			
	Paramètre d'analyse	Pourquoi ?	Notions hydrogéologiques	Données à utiliser	Description (<i>Alias</i>)	Critères
Localiser les zones où la recharge est importante			Recharge	 OUT_Recharge_annuelle	Recharge annuelle - OUT	
			Épaisseur des dépôts meubles	 OUT_Epaisseur_depots_meubles	Épaisseur dépôts meubles - OUT	
			Épaisseur des aquifères de dépôts meubles	 OUT_Epaiss_aquiferes	Épaisseur aquifères - OUT	
Identifier les zones vulnérables à la contamination			Confinement	 Confinement_Raster	Confinement roc - OUT - converti	
			Vulnérabilité	 OUT_DRASTIC	Indice DRASTIC - OUT	
Évaluer la qualité de l'eau			Qualité de l'eau	 OUT_24_25_Geochemie_PACES	Puits PACES	
				 OUT_24_25_Geochemie_BD	Puits pré-PACES	
Identifier les zones en amont des sources potentielles de contamination			Piézométrie	 OUT_Piezo_Roc  Occ_Sol_Raster  Aff_Terr_Raster	Piézométrie - OUT Occupation du sol - modifié Affectations du territoire - modifié	
Identifier les zones en aval des puits d'approvisionnement pour la consommation humaine			Piézométrie	 OUT_Piezo_Roc  CH_Lieu_physique	Piézométrie - OUT Lieux physiques	

Intégration des connaissances du milieu humain

Dans la pratique, de nombreuses connaissances sur le milieu humain devraient être intégrées à l'identification des zones à protéger en priorité pour la recharge (ex. : zone de conservation, les propriétaires terriens, zonage agricole, l'occupation du sol, l'affectation du territoire, etc.). Pour compléter l'exercice en cours d'atelier, les informations sur l'occupation du sol et l'affectation du territoire sont fournies avec les données du PACES. Les clés d'interprétation et les critères ne sont toutefois pas proposés par l'exemple d'un cheminement d'expert. Ils sont choisis par les participants. Le déroulement ci-dessous montre un exemple d'opérations de géotraitement qu'il est possible de faire.

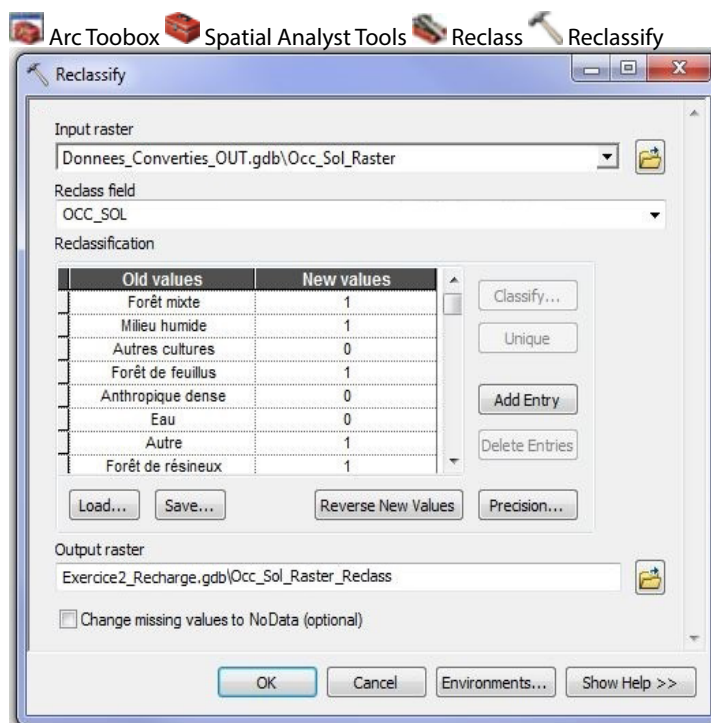


Procédure étape par étape

OCCUPATION DU SOL

Identifier les cellules de **Occ_Sol_Raster** (alias: *Occupation du sol - converti*) qui répondent à vos critères en effectuant l'exemple de géotraitement ci-contre.

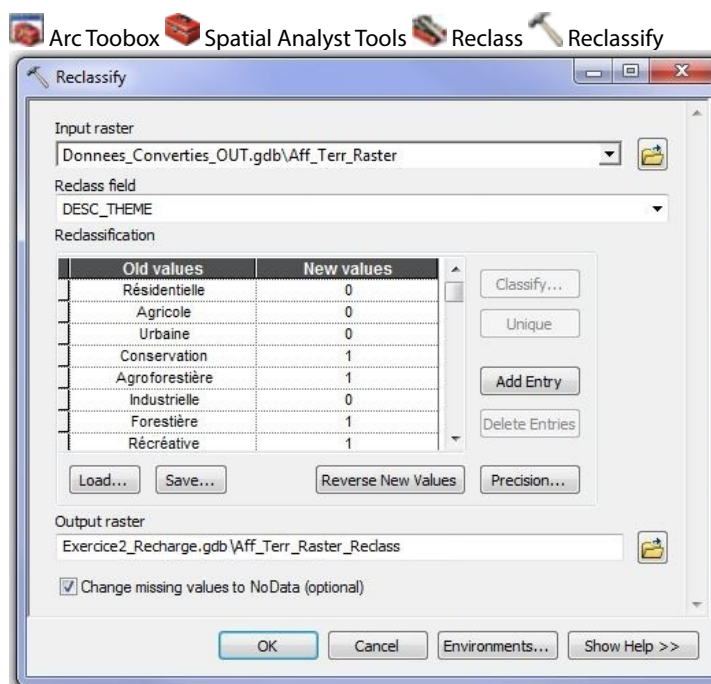
Les cellules de **Occ_Sol_Raster_Reclass** ayant une valeur de 1 correspondent aux critères.



AFFECTATION DU TERRITOIRE

Identifier les cellules de **Aff_Terr_Raster** (alias : *Affectation du territoire - converti*) qui répondent à vos critères en effectuant l'exemple de géotraitement ci-contre.

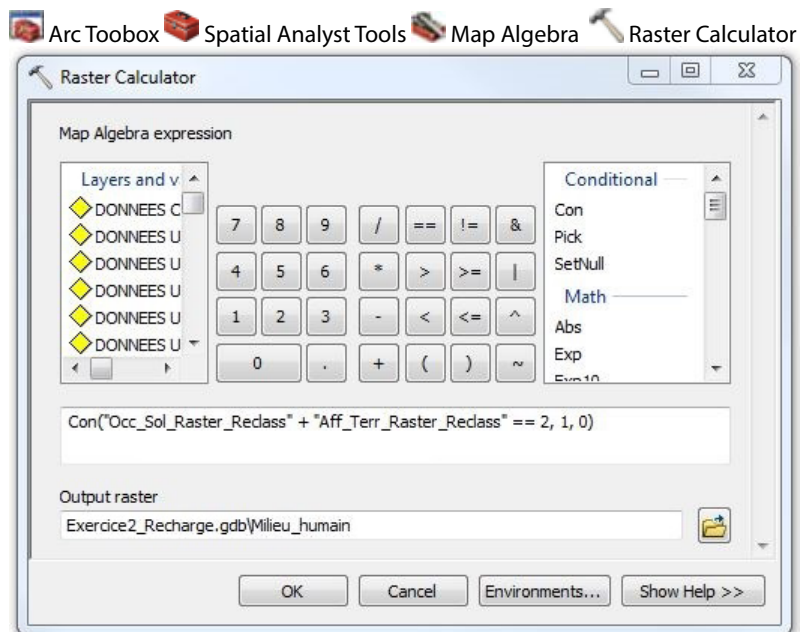
Les cellules de **Aff_Terr_Raster_Reclass** ayant une valeur de 1 correspondent aux critères.



BILAN

Combiner les résultats des couches
Occ_Sol_Raster_Reclass et
Aff_Terr_Raster_Reclass
en effectuant le calcul ci-contre.

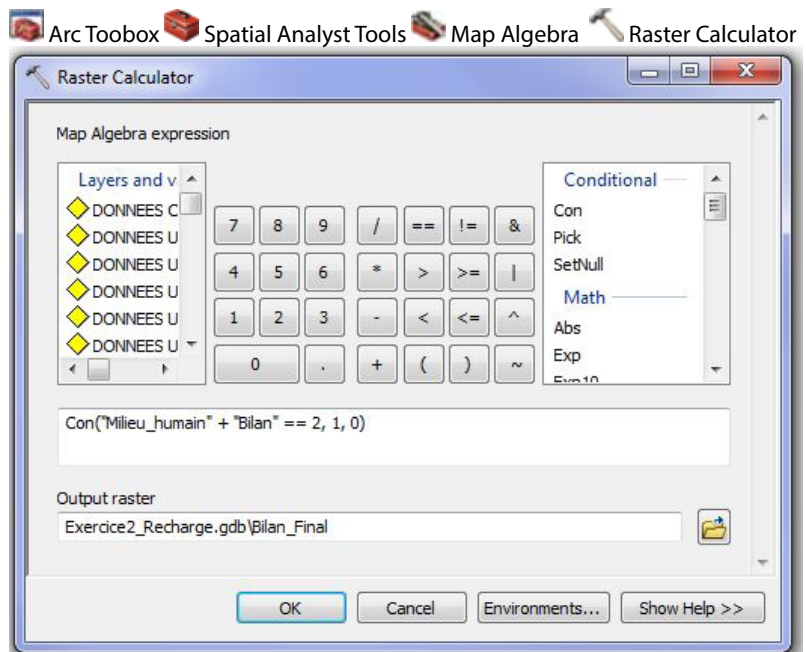
Les cellules de Milieu_humain ayant
une valeur de 1 correspondent aux zones où
il serait prioritaire de protéger la recharge
selon les connaissances sur l'occupation du
sol et l'affectation du territoire.



BILAN FINAL

Il est finalement possible de combiner les
couches Milieu_humain et Bilan en
effectuant le calcul ci-contre pour localiser
les zones où la recharge serait importante,
où les aquifères seraient vulnérables à la
contamination, où la qualité de l'eau serait
bonne et où il serait prioritaire de protéger
la recharge selon les connaissances sur
l'occupation du sol et l'affectation du
territoire.

La couche Bilan_final constitue la
réponse finale à la question de l'exercice
selon l'exemple du cheminement d'expert,
en intégrant les connaissances disponibles
du milieu humain.



Question 3

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

Le déroulement de cet exercice s'étendra sur tout l'après-midi. Vous devrez choisir un des trois enjeux suivants et y répondre :

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

L'exercice comprend trois activités distinctes :

Activité 1 – Remue-méninge sur les notions hydrogéologiques utiles aux enjeux d'aménagement

L'objectif de cette activité est de réfléchir au cheminement d'analyse que vous pourriez appliquer sur votre territoire pour répondre à l'enjeu ciblé. Voici quelques questions pour vous aider dans votre réflexion :

- Selon vous, qu'est-ce que l'on cherche?
- Quelles sont les caractéristiques des aquifères que nous devrions rechercher?
- Quels sont les critères d'analyse?
- Quelles sont les informations hydrogéologiques que l'on devrait utiliser?

Pour réaliser cette activité, vous serez divisés en trois sous-groupes de dix participants maximum. Vous serez accompagnés par un animateur du RQES qui mènera les discussions et sollicitera vos réponses. Un expert en hydrogéologie sera également présent pour répondre à vos questions d'expertise scientifique. Il sera aussi invité à commenter le résultat du remue-méninge.

Vos réponses seront inscrites par l'animateur sur une grande feuille blanche qui sera ensuite affichée dans le local informatique. Ainsi, vous pourrez bénéficier des résultats des remue-ménings des autres sous-groupes qui répondent aux deux autres enjeux.

Une démarche d'un expert en hydrogéologie vous sera ensuite proposée. Elle est décrite en détail dans le cahier du participant. Un survol de cette démarche vous sera présenté, avec des explications sur la procédure de géotraitement. C'est cette démarche que vous appliquerez lors de la prochaine activité dans le local informatique. Nous vous prions de garder vos commentaires sur cette démarche pour la fin de la journée, car ils pourront enrichir tous les participants et pas seulement votre sous-groupe de travail.

Activité 2 – 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 binôme dans le local informatique, à l'aide du logiciel ArcGIS. Vous devez appliquer sur votre territoire d'action la démarche présentée à l'activité précédente et décrite dans le cahier du participant. Les animateurs et les experts seront présents en tout temps et pourront répondre à vos questions techniques de géomatique ou qui portent sur l'hydrogéologie.

Si vous terminez l'activité avant le temps alloué, nous vous demandons soit de modifier certains critères d'analyse et d'évaluer leur sensibilité sur votre résultat final, ou bien de travailler sur un deuxième enjeu.

Il est important de remplir le questionnaire final pour la présentation de vos résultats, car celui-ci servira lors de l'activité suivante.

Activité 3 – Présentation des résultats des exercices d'aménagement

L'objectif de cette activité est de partager vos résultats avec tous les participants et d'échanger avec les experts en hydrogéologie.

Au moins une équipe par enjeu sera invitée à discuter de leurs résultats en se basant sur le questionnaire final présent dans le cahier des participants. Les résultats cartographiques seront affichés à l'écran afin que tous puissent les voir.

Les résultats du remue-méninges avec les participants

CE QUE L'ON CHERCHE	LES CRITÈRES D'ANALYSE

Synthèse du cheminement d'expert

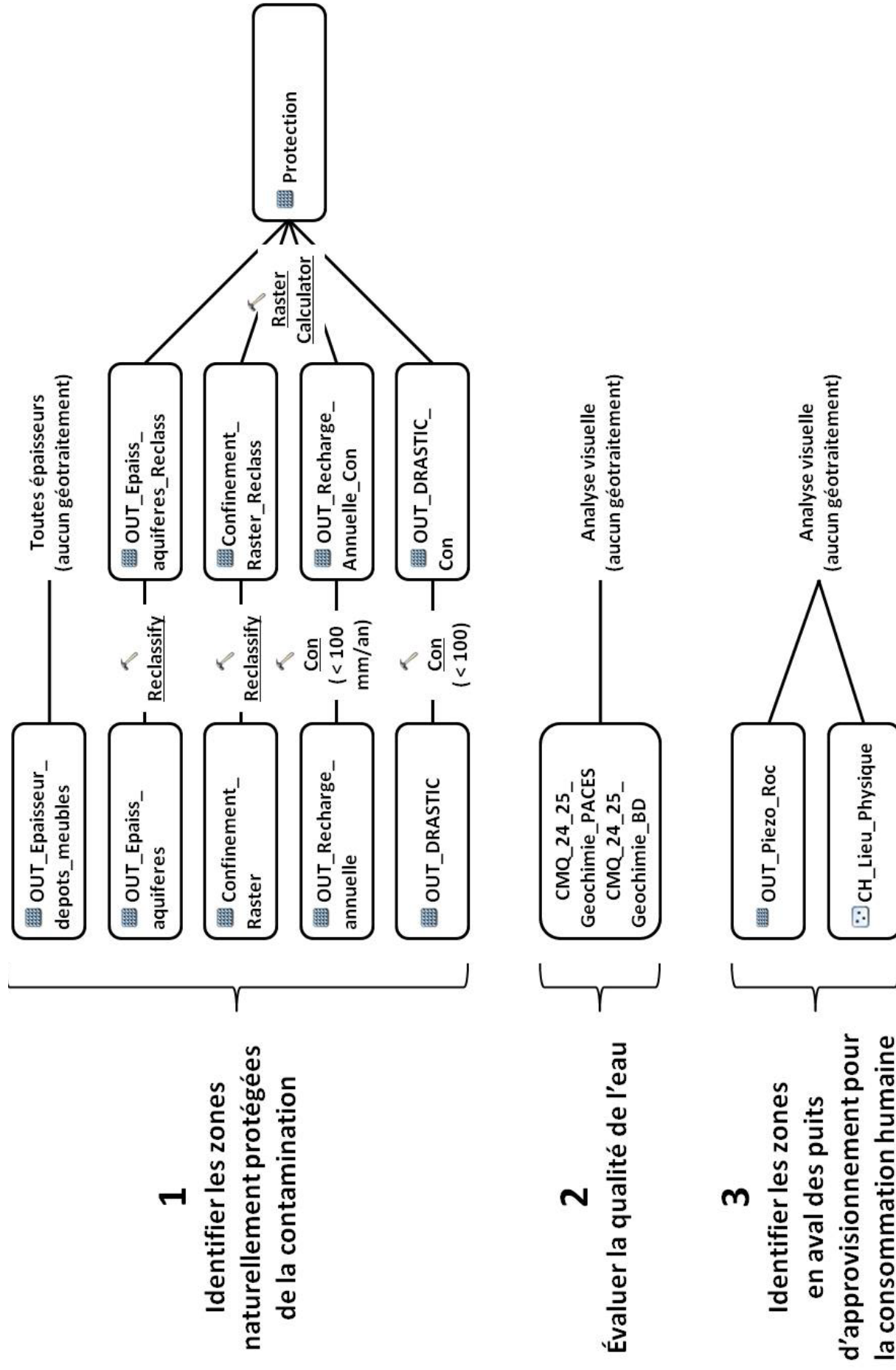
Question

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 pour la consommation humaine

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
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.	
Pas d'aquifère de dépôts meubles	- Les aquifères de dépôts meubles ont une conductivité hydraulique élevée et sont souvent très vulnérables face à une contamination provenant de la surface s'ils ne sont pas protégés par un aquitard. - Le territoire contient relativement peu d'aquifères de dépôts meubles. Ces derniers peuvent avoir une valeur économique importante puisqu'ils constituent des réserves d'eau considérables. Il est donc important de les protéger de la contamination.	L'aquifère de roc fracturé peut aussi être vulnérable, mais généralement dans une moindre mesure que pour les dépôts meubles, car sa conductivité hydraulique est plus faible.
Aquifère confiné	- Les aquifères confinés 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 confinés 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, 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.

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

Paramètres d'analyse	Notions hydrogéologiques	Données à utiliser	Description (Alias)	Critères
Toutes épaisseurs de dépôts meubles	Épaisseur des dépôts meubles	 OUT_Epaisseur_depots_meubles	Épaisseur dépôts meubles - OUT	Toutes épaisseurs
Pas d'aquifère de dépôts meubles	Épaisseur des aquifères de dépôts meubles	 OUT_Epaiss_aquiferes	Épaisseur aquifères - OUT	- Épaisseur nulle : < 0 m - Épaisseur faible : 0,3 à 5 m
Aquifère confiné	Confinement	 Confinement_Raster	Confinement roc - OUT - converti	Confiné
Taux de recharge annuel faible	Recharge	 OUT_Recharge_annuelle	Recharge annuelle - OUT	Recharge faible : 0 à 100 mm/an
Vulnérabilité faible	Vulnérabilité DRASTIC	 OUT_DRASTIC	Indice DRASTIC - OUT	Vulnérabilité faible : indice de 100 ou moins



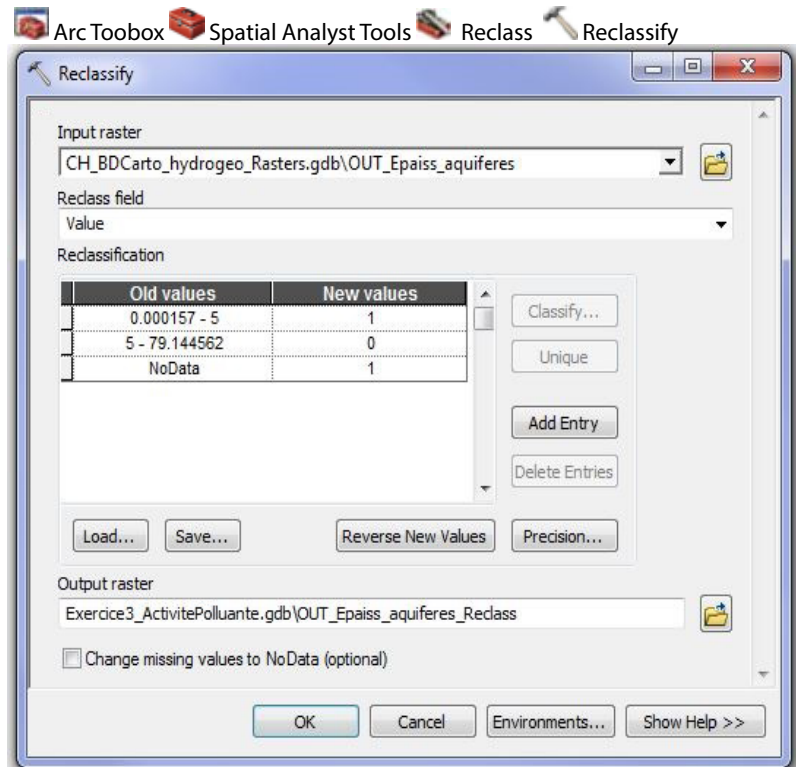
Procédure étape par étape

ÉPAISSEUR DES DÉPÔTS MEUBLES

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

ÉPAISSEUR DES AQUIFÈRES DE DÉPÔTS MEUBLES

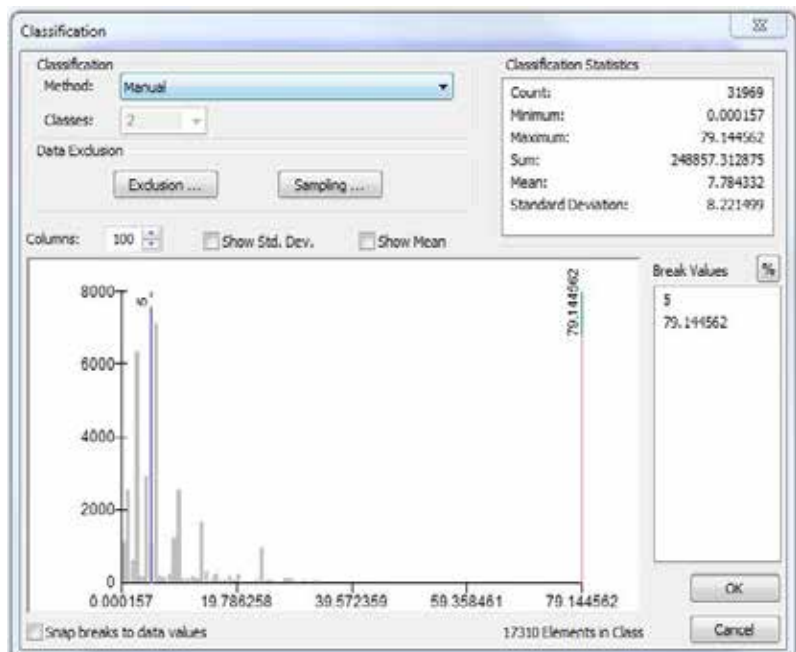
Identifier les cellules de **OUT_Epaiss_aquiferes** (*alias : Épaisseur dépôts meubles - OUT*) qui répondent aux critères en effectuant le géotraitement ci-contre.



En cliquant sur Classify, la fenêtre Classification s'affiche. Modifier le nombre de classes à 2 et entrer le nombre 5 comme premier Break Values, comme dans l'exemple ci-contre.

Entrer une nouvelle valeur de 1 lorsqu'il n'y a pas d'ancienne valeur (NoData).

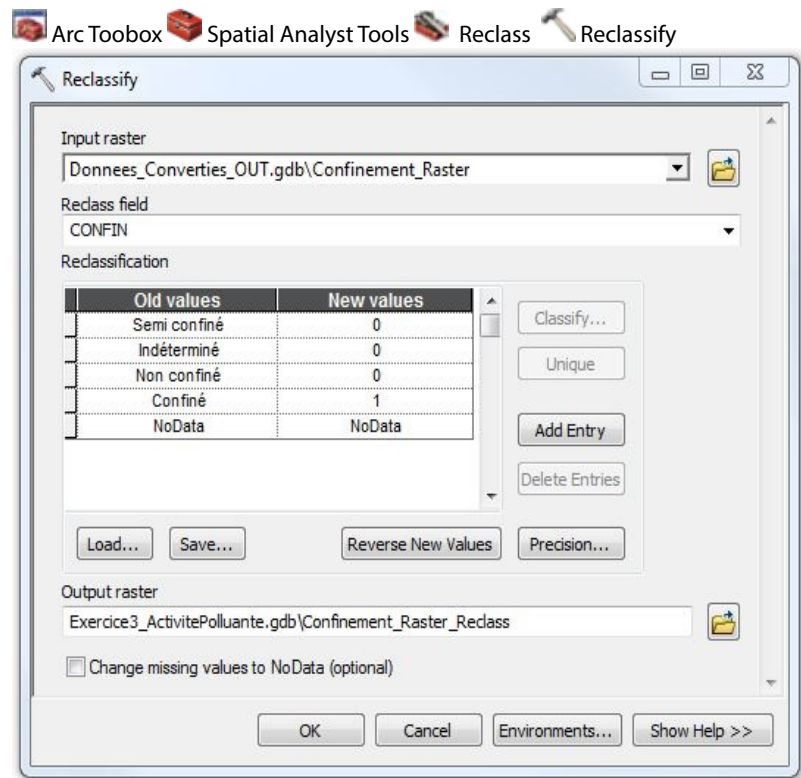
Les cellules de **OUT_Epaiss_aquiferes_Reclass** ayant une valeur de 1 correspondent aux critères.



CONFINEMENT

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

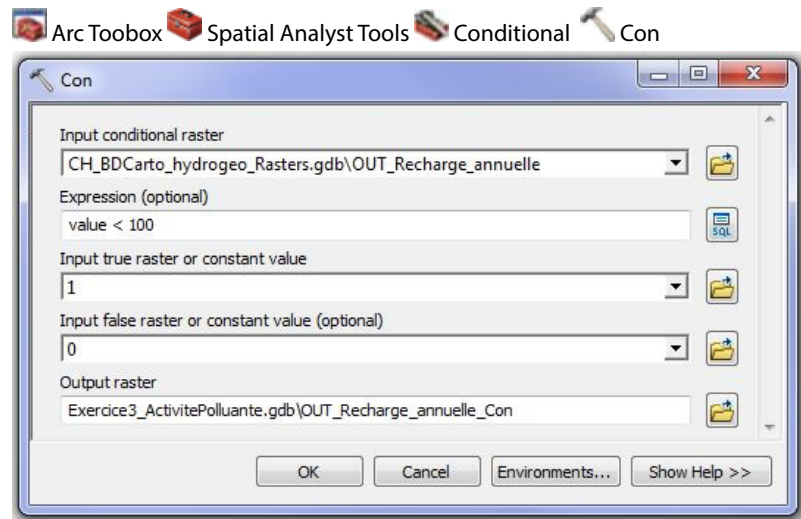
Les cellules de **Confinement_Raster_Reclass** ayant une valeur de 1 correspondent aux critères.



RECHARGE

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

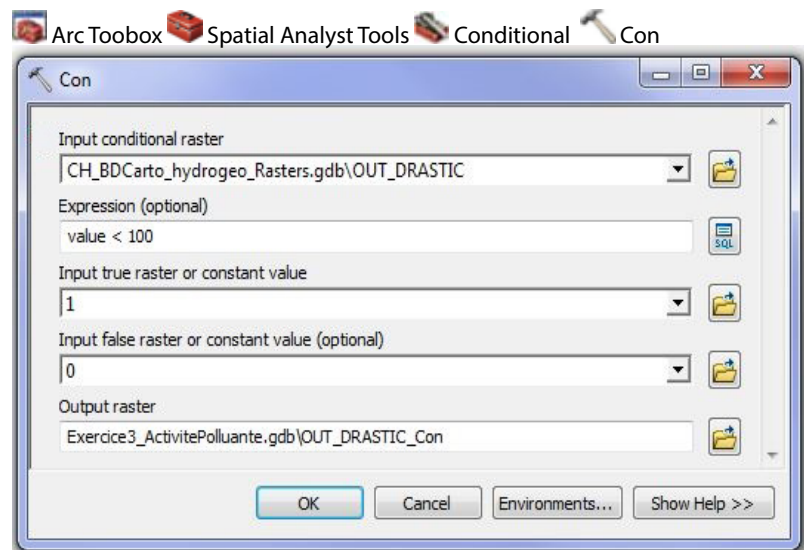
Les cellules de **OUT_Recharge_annuelle_Con** ayant une valeur de 1 correspondent aux critères.



VULNÉRABILITÉ DRASTIC

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

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



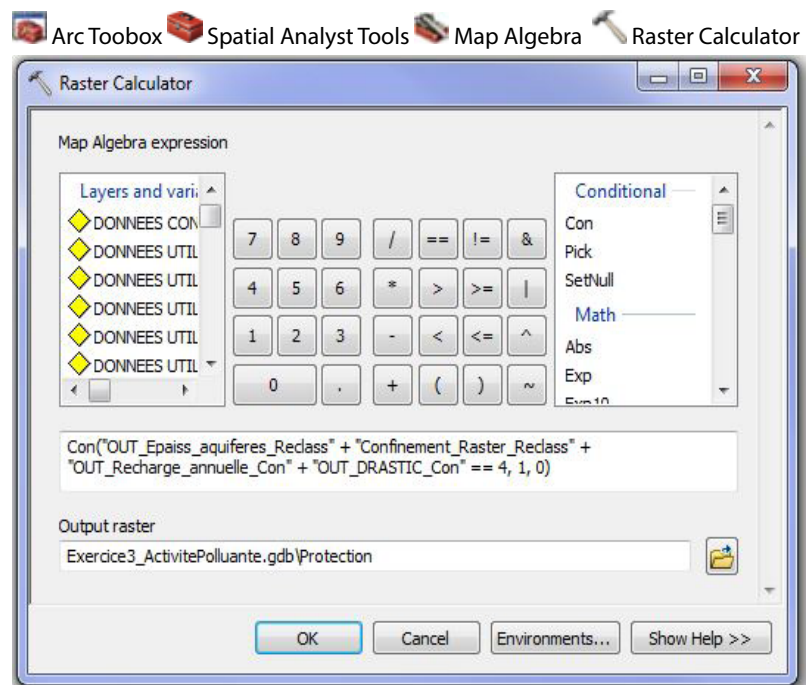
BILAN

Combiner les résultats des couches **OUT_Epaisse_aquiferes_Reclass**, **Confinement_Raster_Reclass**, **OUT_Recharge_annuelle_Con** et **OUT_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 quatre couches est 4, alors la cellule prend la valeur de 1, sinon elle prend la valeur de 0.

Les cellules de **Protection** 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 qualité naturelle douteuse est possiblement 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 (Alias)	Critères
Toutes les qualités de l'eau	Qualité de l'eau	 OUT_24_25_Geochimie_PACES  OUT_24_25_Geochimie_BD	<i>Puits PACES</i> <i>Puits pré-PACES</i>	- Eau souterraine de bonne qualité (aucun dépassement de CMA et d'OE dans l'aquifère) : gravité de contamination très élevée - Eau souterraine de qualité moyenne (au moins un dépassement d'OE dans l'aquifère) : gravité de contamination élevée - Eau souterraine de qualité douteuse (au moins un dépassement de CMA dans l'aquifère) : gravité de contamination modérée



Procédure étape par étape

QUALITÉ DE L'EAU

Pour n'afficher que les puits de la couche  **OUT_24_25_Geochimie_PACES** (*alias : Puits PACES*) pour lesquels au moins une concentration maximale acceptable a été dépassée, faire la requête suivante sous l'onglet Definition Query de la fenêtre Layer Properties :

U > 0.02 OR FLUORURES > 1.5

Pour n'afficher que les puits de la couche  **OUT_24_25_Geochimie_BD** (*alias : Puits pré-PACES*) pour lesquels au moins une concentration maximale acceptable a été dépassée, faire la requête suivante sous l'onglet Definition Query de la fenêtre Layer Properties :

(Element = 'U' AND concentr_1 > 0.02) OR (Element = 'U-d' AND concentr_1 > 0.02) OR (Element = 'Fluorures' AND concentr_1 > 1.5)

Pour n'afficher que les puits de la couche  **OUT_24_25_Geochimie_PACES** (*alias : Puits PACES*) pour lesquels au moins un objectif esthétique a été dépassé, faire la requête suivante sous l'onglet Definition Query de la fenêtre Layer Properties:

FE > 0.3 OR CL_ > 250 OR MN > 0.05 OR NA > 200 OR TDS_MG_L_ > 500 OR PH > 8.5 OR PH < 6.5

Pour n'afficher que les puits de la couche  **OUT_24_25_Geochimie_BD** (*alias : Puits pré-PACES*) pour lesquels au moins un objectif esthétique a été dépassé, faire la requête suivante sous l'onglet Definition Query de la fenêtre Layer Properties:

(Element = 'Fe' AND concentr_1 > 0.3) OR (Element = 'Fe-d' AND concentr_1 > 0.3) OR
 (Element = 'Cl-' AND concentr_1 > 250) OR (Element = 'Cl-d' AND concentr_1 > 250) OR
 (Element = 'Mn' AND concentr_1 > 0.05) OR (Element = 'Mn-d' AND concentr_1 > 0.05) OR
 (Element = 'Na' AND concentr_1 > 200) OR (Element = 'Na-d' AND concentr_1 > 200) OR
 (Element = 'MDT/TDS' AND concentr_1 > 500) OR
 (Element = 'pH' AND concentr_1 > 8.5) OR (Element = 'pH' AND concentr_1 < 6.5)

La gravité d'une contamination potentielle des aquifères des zones de  **Protection** est potentiellement très élevée si on n'y retrouve que des puits ayant une eau de bonne qualité. Si on y retrouve au moins un puits ayant une eau de qualité moyenne, la gravité d'une contamination est potentiellement élevée. Si on y retrouve au moins un puits ayant une eau de qualité douteuse, la gravité d'une contamination est potentiellement modérée.

Les requêtes peuvent être copiées depuis le fichier texte **Requêtes** dans le dossier  **Exercices**.

3. Identifier les zones en aval des puits d'approvisionnement pour la consommation humaine

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 doit 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 affectés. - 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.

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	 OUT_Piezo_Roc  CH_Lieu_physique	- Piézométrie - OUT - Lieux physiques	En aval des puits d'alimentation



Procédure étape par étape

PIÉZOMÉTRIE

Pour afficher les puits d'alimentation individuels et collectifs, dans la couche  **CH_Lieu_physique** (*alias* : *Lieux physiques*), faire la requête suivante sous l'onglet Définition Query de la fenêtre Layer Properties :

```
Type_Util_Eau = 'agriculture' OR  
Type_Util_Eau = 'agriculture (élevage)' OR  
Type_Util_Eau = 'approvisionnement en eau potable domestique' OR  
Type_Util_Eau = 'approvisionnement en eau potable municipal' OR  
Type_Util_Eau = 'commerce' OR  
Type_Util_Eau = 'institution'
```

Superposer la couche ci-dessus à la couche de piézométrie  **OUT_Piezo_Roc** (*alias* : *Piézométrie - OUT*), puis visualiser les puits d'approvisionnement en aval des zones où les aquifères sont protégés naturellement, tels que définis par la couche  **Protection**.

La gravité d'une contamination potentielle des aquifères des zones protégées représentées par des cellules contigües ayant une valeur de 1 dans la couche  **Protection** serait potentiellement élevée si y on retrouve en aval un nombre significatif de puits d'approvisionnement.

La requête peut être copiée depuis le fichier texte **Requêtes** dans le dossier  **Exercices**.

Préparer la présentation de vos résultats

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

Nom de votre territoire d'action :

En appliquant les critères hydrogéologiques fournis, décrivez le résultat obtenu sur votre territoire d'action (ex. : localisation, superficie, caractéristiques hydrogéologiques des zones sélectionnées)?

Avez-vous modifié les critères hydrogéologiques proposés par le cheminement d'expert? Si oui, pourquoi et de quelle manière ? Reportez dans le tableau de la page suivante les critères hydrogéologiques utilisés.

Quels sont les problèmes de qualité d'eau que vous avez détectés ? Quelle(s) conclusion(s) en tirez-vous?

Dans votre pratique professionnelle, quelles sont les autres informations que vous utiliseriez pour répondre à la question posée (ex. : occupation des sols, affectations du territoire, informations sur des activités ponctuelles, etc.)?

Compte tenu de l'échelle des données hydrogéologiques actuelles, existent-ils des secteurs sur lesquels vous auriez besoin de données hydrogéologiques plus locales?

Dans votre pratique professionnelle, de quelle manière pourriez-vous diriger le développement des activités polluantes sur les zones qui ressortent de votre analyse?

Votre cheminement sur votre territoire d'action

Ce qui est recherché	Clés d'interprétation spécifiques à l'enjeu		Traitement des données géospatiales			
	Paramètre d'analyse	Pourquoi ?	Notions hydrogéologiques	Données à utiliser	Description (<i>Alias</i>)	Critères
Identifier les zones naturellement protégées de la contamination			Épaisseur des dépôts meubles	 OUT_Epaisseur_depots_meubles	Épaisseur dépôts meubles - OUT	
			Épaisseur des aquifères de dépôts meubles	 OUT_Epaiss_aquiferes	Épaisseur aquifères - OUT	
			Confinement	 Confinement_Raster	Confinement roc - OUT - converti	
			Recharge	 OUT_Recharge_annuelle	Recharge annuelle - OUT	
			Vulnérabilité	 OUT_DRASTIC	Indice DRASTIC - OUT	
Évaluer la qualité de l'eau			Qualité de l'eau	 OUT_24_25_chimie_PACES  OUT_24_25_chimie_BD	Geo- Puits PACES Geo- Puits pré-PACES	
Identifier les zones en aval des puits d'approvisionnement pour la consommation humaine			Piézométrie	 OUT_Piezo_Roc  CH_Lieu_physique	Piézométrie - OUT Lieux physiques	

Intégration des connaissances du milieu humain

Dans la pratique, de nombreuses connaissances sur le milieu humain devraient être intégrées à l'identification des zones où implanter une nouvelle activité potentiellement polluante afin de minimiser son impact sur la qualité des eaux souterraines (ex. : les propriétaires terriens, l'occupation du sol, l'affectation du territoire, les activités polluantes déjà existantes, etc.). Pour compléter l'exercice en cours d'atelier, les informations sur l'occupation du sol et l'affectation du territoire sont fournies avec les données du PACES. Les clés d'interprétation et les critères ne sont toutefois pas proposés par l'exemple d'un cheminement d'expert. Ils sont choisis par les participants. Le déroulement ci-dessous montre un exemple d'opérations de géotraitement qu'il est possible de faire.

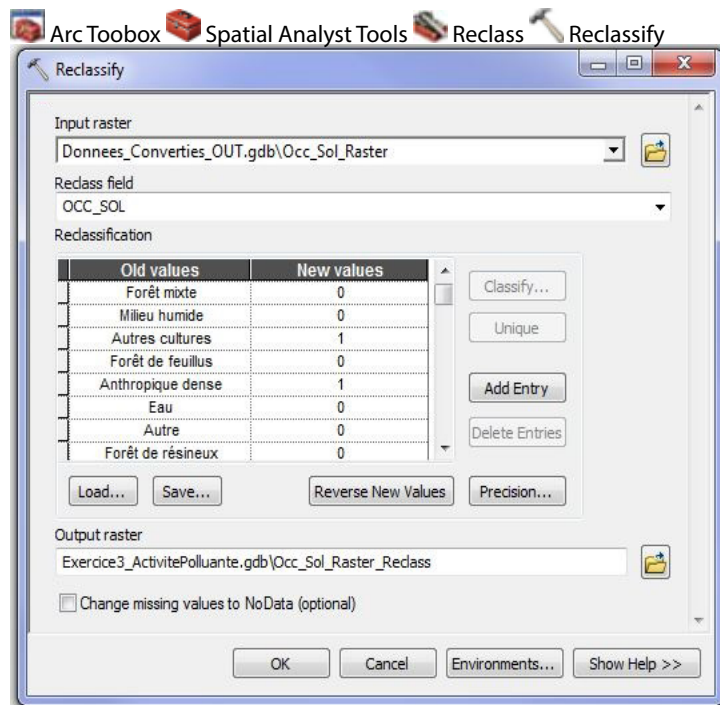


Procédure étape par étape

OCCUPATION DU SOL

Identifier les cellules de **Occ_Sol_Raster** (alias: *Occupation du sol - converti*) qui répondent à vos critères en effectuant l'exemple de géotraitement ci-contre.

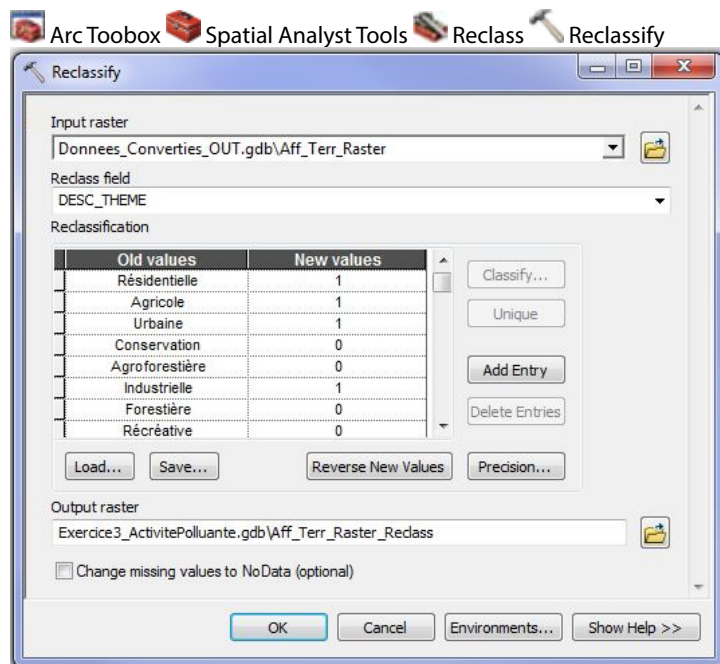
Les cellules de **Occ_Sol_Raster_Reclass** ayant une valeur de 1 correspondent aux critères.



AFFECTATION DU TERRITOIRE

Identifier les cellules de **Aff_Terr_Raster** (alias : *Affectation du territoire - converti*) qui répondent à vos critères en effectuant l'exemple de géotraitement ci-contre.

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



BILAN

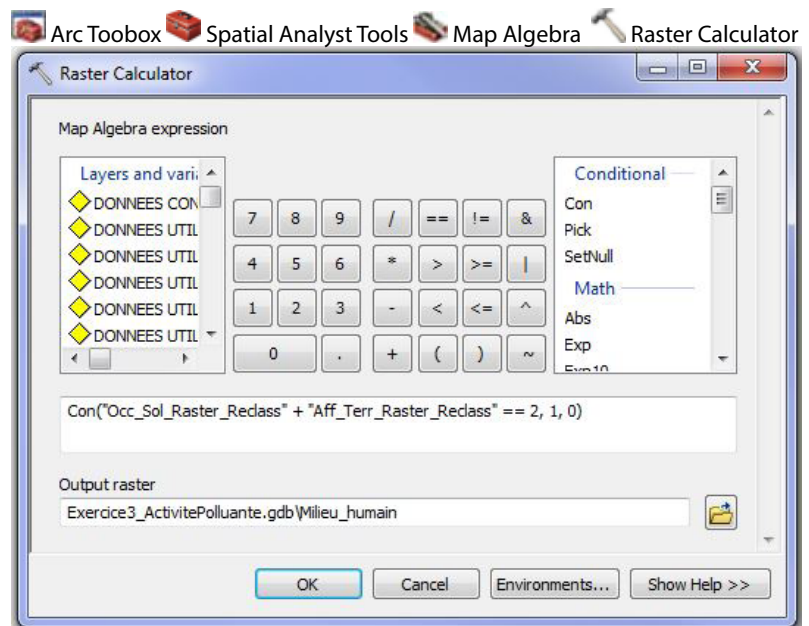
Combiner les résultats des couches

Occ_Sol_Raster_Reclass et

Aff_Terr_Raster_Reclass

en effectuant le calcul ci-contre.

Les cellules de **Milieu_humain** ayant une valeur de 1 correspondent aux zones où il serait possible d'implanter une nouvelle activité polluante selon les connaissances sur l'occupation du sol et l'affectation du territoire.



BILAN FINAL

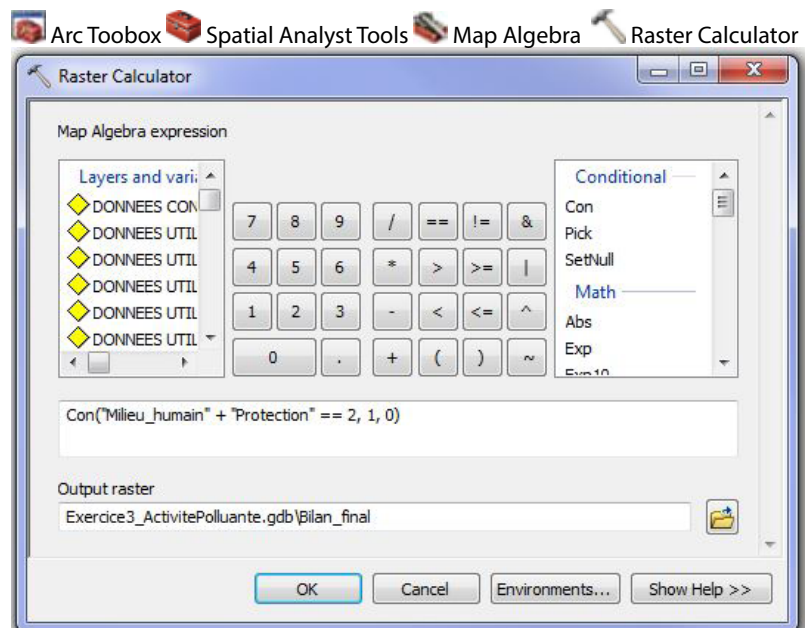
Il est finalement possible de combiner

les couches **Milieu_humain** et

Protection en effectuant le calcul

ci-contre pour localiser les zones où l'aquifère serait naturellement protégé de la contamination et où il serait possible d'implanter une nouvelle activité polluante selon les connaissances sur l'occupation du sol et l'affectation du territoire.

La couche **Bilan_final** constitue la réponse finale à la question de l'exercice selon l'exemple du cheminement d'expert, en intégrant les connaissances du milieu humain.



Mes notes personnelles

Mes notes personnelles

Les partenaires du Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines en Outaouais :

- Université Laval
- l'Agence de traitement de l'information numérique en Outaouais (LATINO)
- MRC des Collines-de-l'Outaouais
- MRC de La Vallée-de-la-Gatineau
- MRC Pontiac
- MRC Papineau
- Ville de Gatineau
- Agence de bassins versants des 7 (ABV des 7)
- Comité du bassin versant de la rivière du Lièvre (COBALI)
- Organisme de bassins versants des rivières Rouge, Petite-Nation et Saumon (OBV-RPNS)
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC)
- Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ)
- Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (MAMOT)
- Conseil régional de l'environnement et du développement durable de l'Outaouais (CREDDO)
- Conférence régionale des élus de l'Outaouais (CRÉ-O)

Les partenaires du projet *Protéger et gérer les eaux souterraines* :

