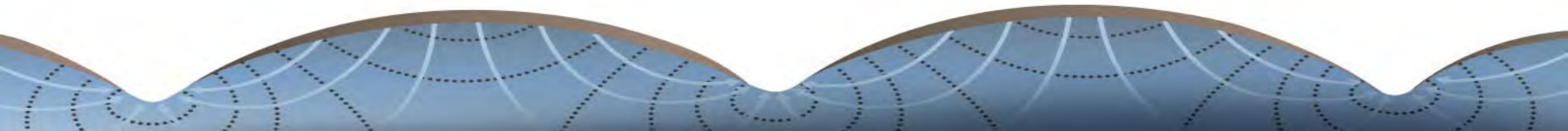


Atelier 1

Échange et réflexion sur la protection et la gestion des eaux souterraines de la ville de Québec

2 JUIN 2022





Vos animatrices

A

M



Anne-Marie Decelles

Directrice générale
RQES

**Gestion du temps
Bon déroulement**



Miryane Ferlatte

Coordinatrice scientifique
RQES

**Notions de base
en hydrogéologie**

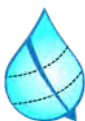


Le Réseau québécois sur les eaux souterraines (RQES)

Faire le lien entre la recherche et les planificateurs et gestionnaires



Mission : Consolider et étendre les collaborations en vue de la mobilisation des connaissances scientifiques sur les eaux souterraines



www.rques.ca

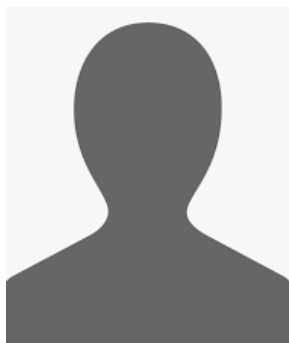


L'équipe de recherche

Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue



**Vincent
Cloutier**
Professeur



**Baudelaire
N'Da Angoran,**
Étudiant à la
maîtrise

Université du Québec à Montréal



**Florent
Barbecot**
Professeur



Antoine Picard
Étudiant au
doctorat

Université Laval



**René
Therrien**
Professeur
titulaire



**Jean-Michel
Lemieux**
Professeur
titulaire



**Yohann
Tremblay**
Professionnel de
recherche



**Laura-Julie
Marie Gatel**
Professionnelle
de recherche



**Benjamin
Frot**
Étudiant au
doctorat



**Kevin Arango
Montoya,**
Étudiant à la
maîtrise

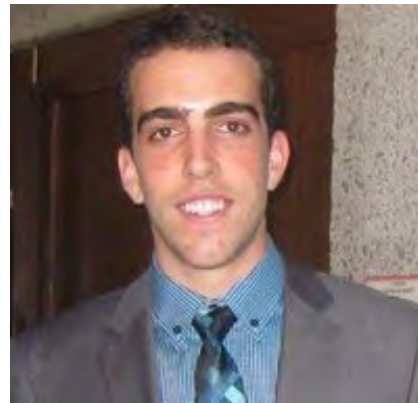


Les planificateurs et gestionnaires

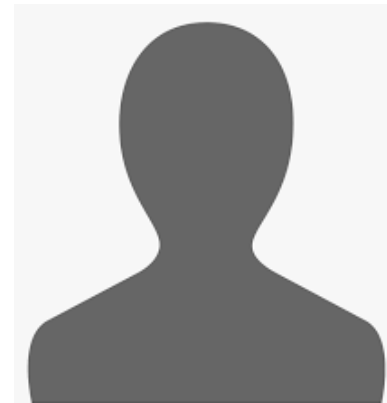
Ville de Québec



François Proulx
Expert scientifique



Luc Audet
Conseiller en environnement



Anne-Marie Cantin
Conseillère en environnement

Mot de bienvenue

François Proulx

L'eau souterraine: un deuxième pas dans l'analyse de vulnérabilité des sources d'eau potable

François Proulx, chimiste, Ph. D.



RQEP: Pour les prises d'eau de surface, seuls les évènements en surface étaient considérés

Eaux de surfaces et eaux souterraines:
un lien inextricable

Essentiel de connaître:

- La qualité de l'eau souterraine
- Les zones de recharge
- Les activités ou évènements pouvant affecter la ressource (quantité et qualité)
- Les effets des changements climatiques sur la ressource

Projet de recherche sur les eaux souterraines

Titre :

Développement d'outils de détermination de la vulnérabilité des sources d'eau potable

Partenaires :

Université Laval:

UQAM (Géotop)

UQAT

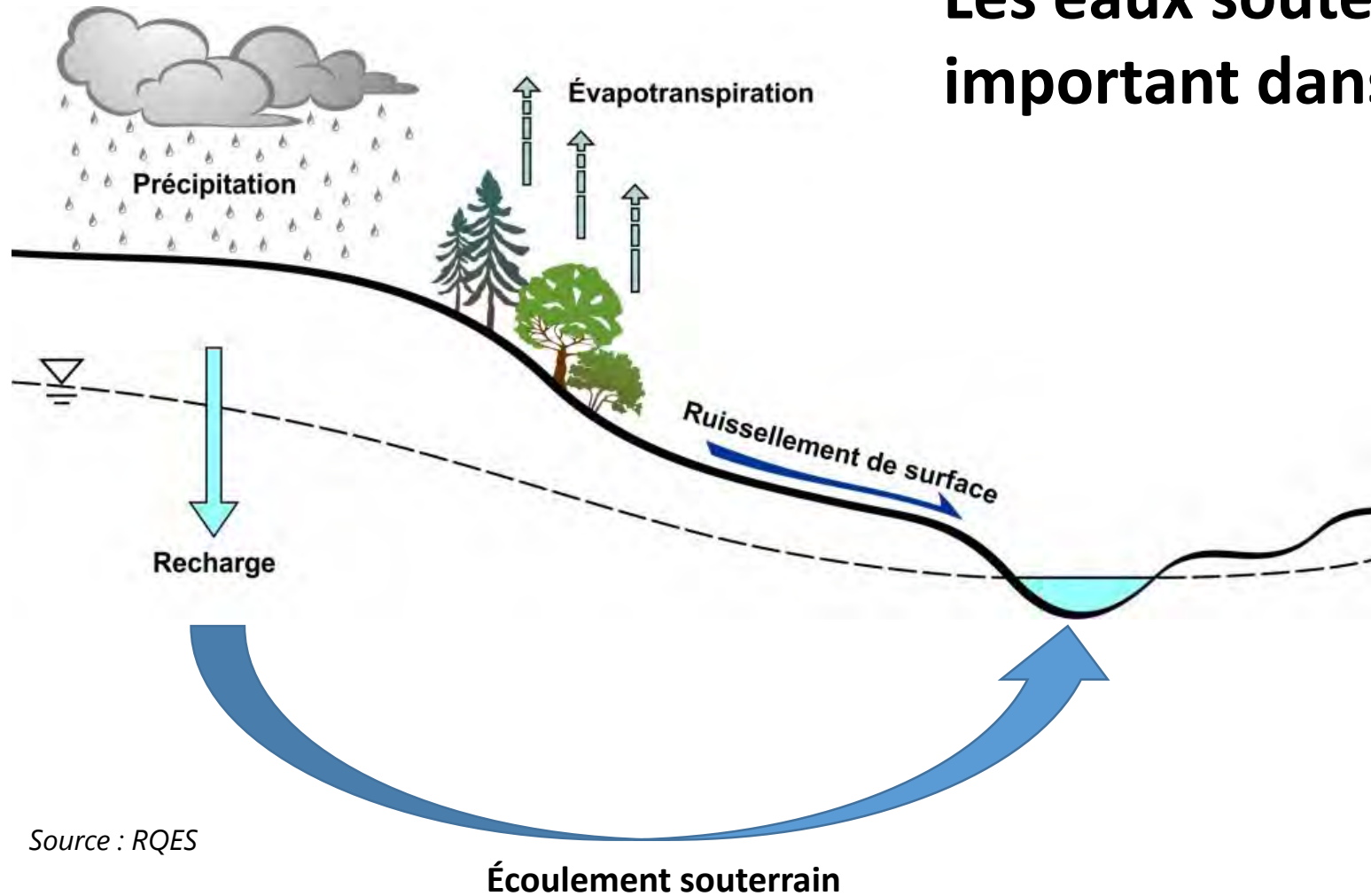
Ville de Québec

Mise en contexte

Introduction au Programme d'acquisition
des connaissances sur les eaux
souterraines (PACES) et au projet en cours

René Therrien

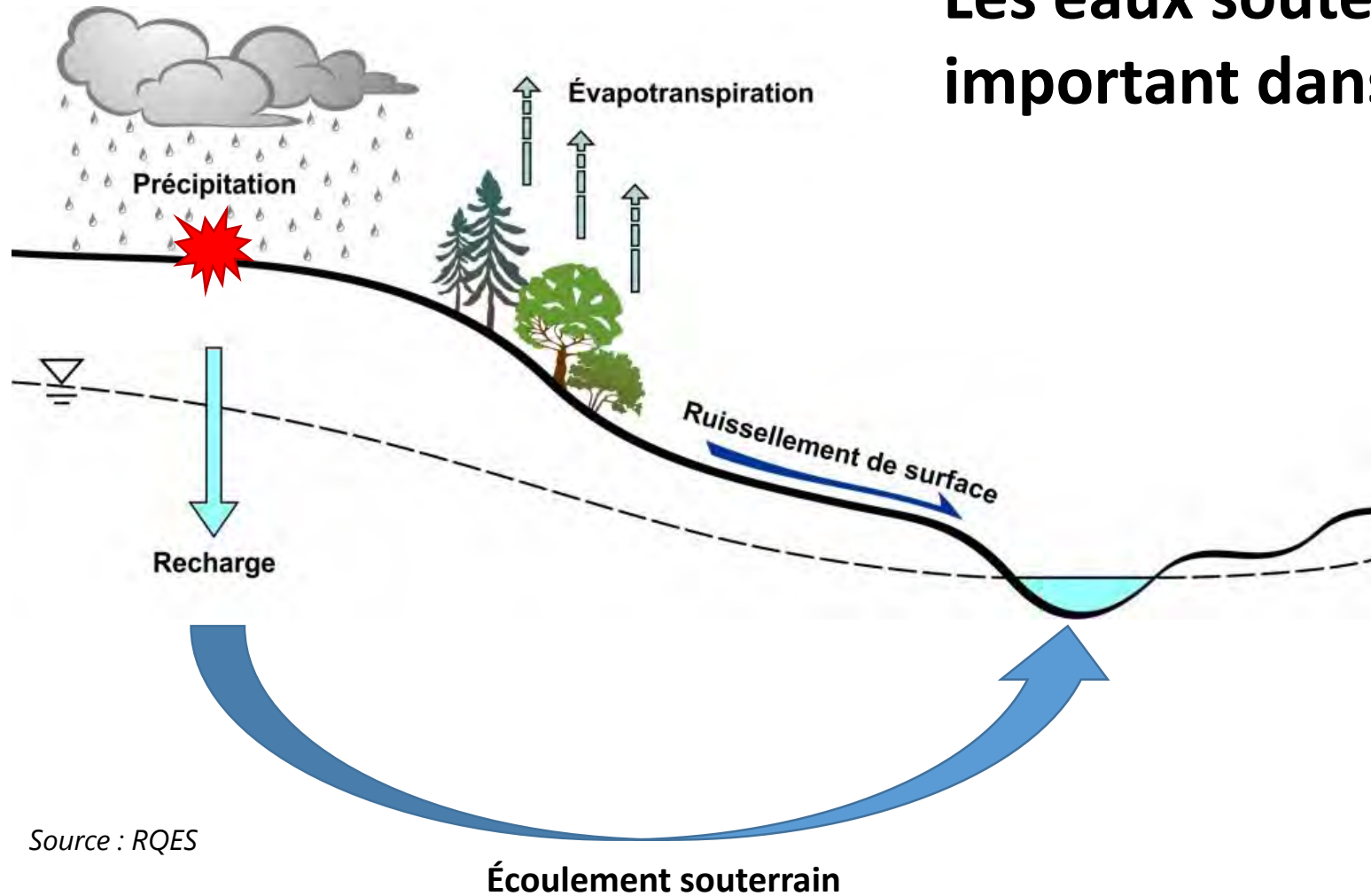
Les eaux souterraines jouent un rôle important dans le cycle de l'eau



Source : RQES

- Les rivières sont en partie alimentées par les eaux souterraines
- La part d'eau souterraine dans les rivières est variable dans le temps
- Potentiel d'atténuation de certains contaminants dans l'eau souterraine

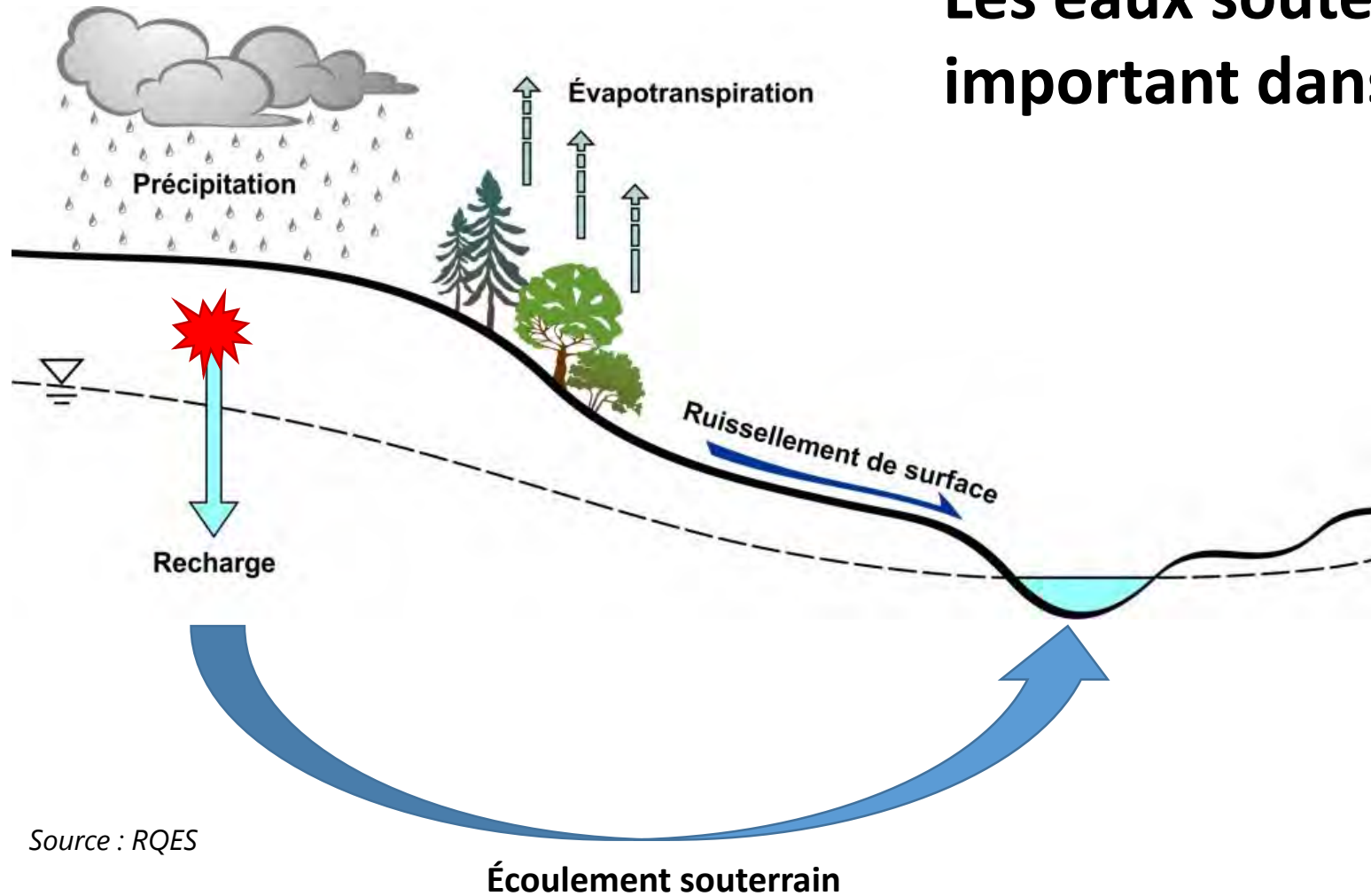
Les eaux souterraines jouent un rôle important dans le cycle de l'eau



Source : RQES

- Les rivières sont en partie alimentées par les eaux souterraines
- La part d'eau souterraine dans les rivières est variable dans le temps
- Potentiel d'atténuation de certains contaminants dans l'eau souterraine

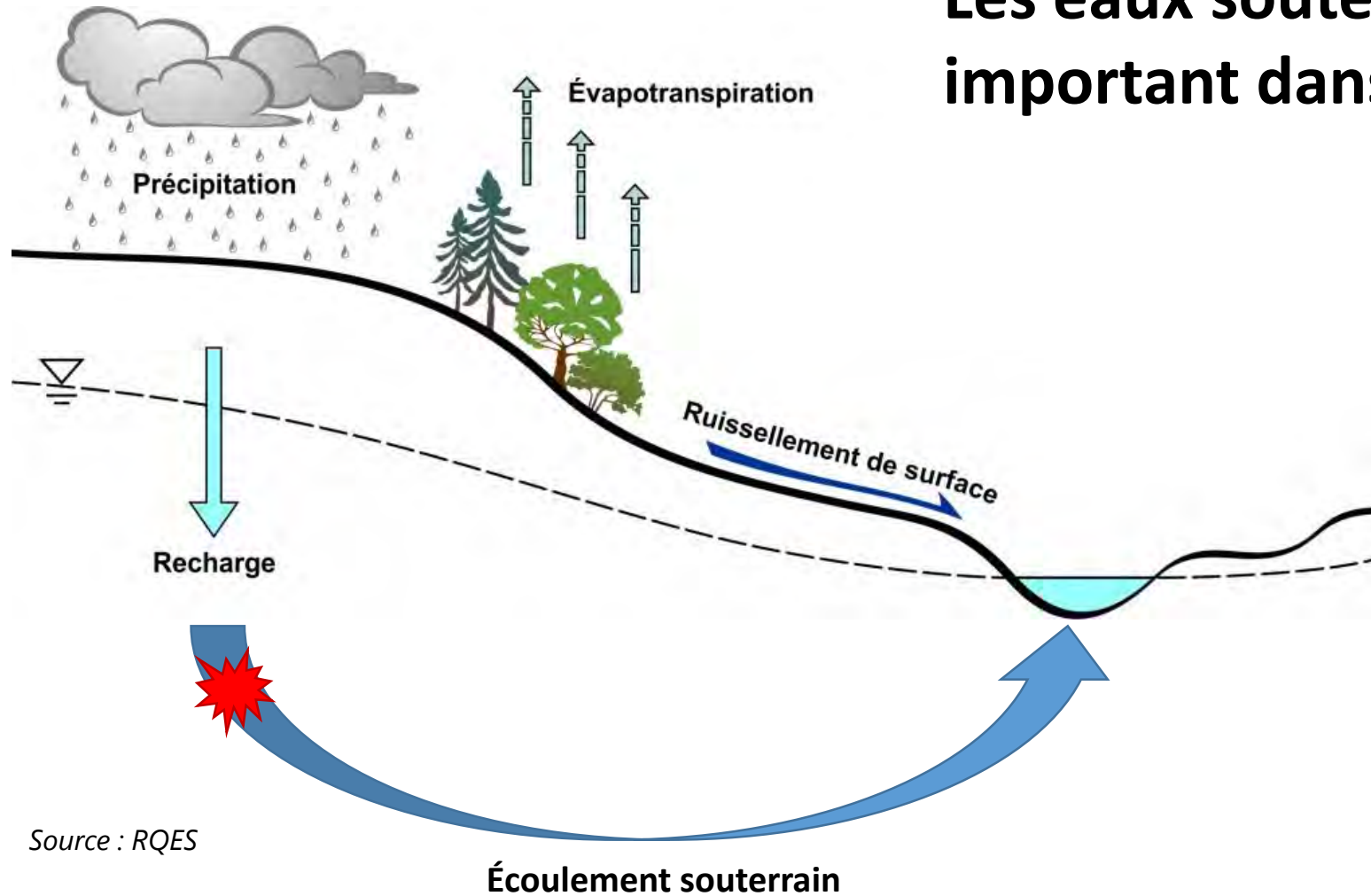
Les eaux souterraines jouent un rôle important dans le cycle de l'eau



Source : RQES

- Les rivières sont en partie alimentées par les eaux souterraines
- La part d'eau souterraine dans les rivières est variable dans le temps
- Potentiel d'atténuation de certains contaminants dans l'eau souterraine

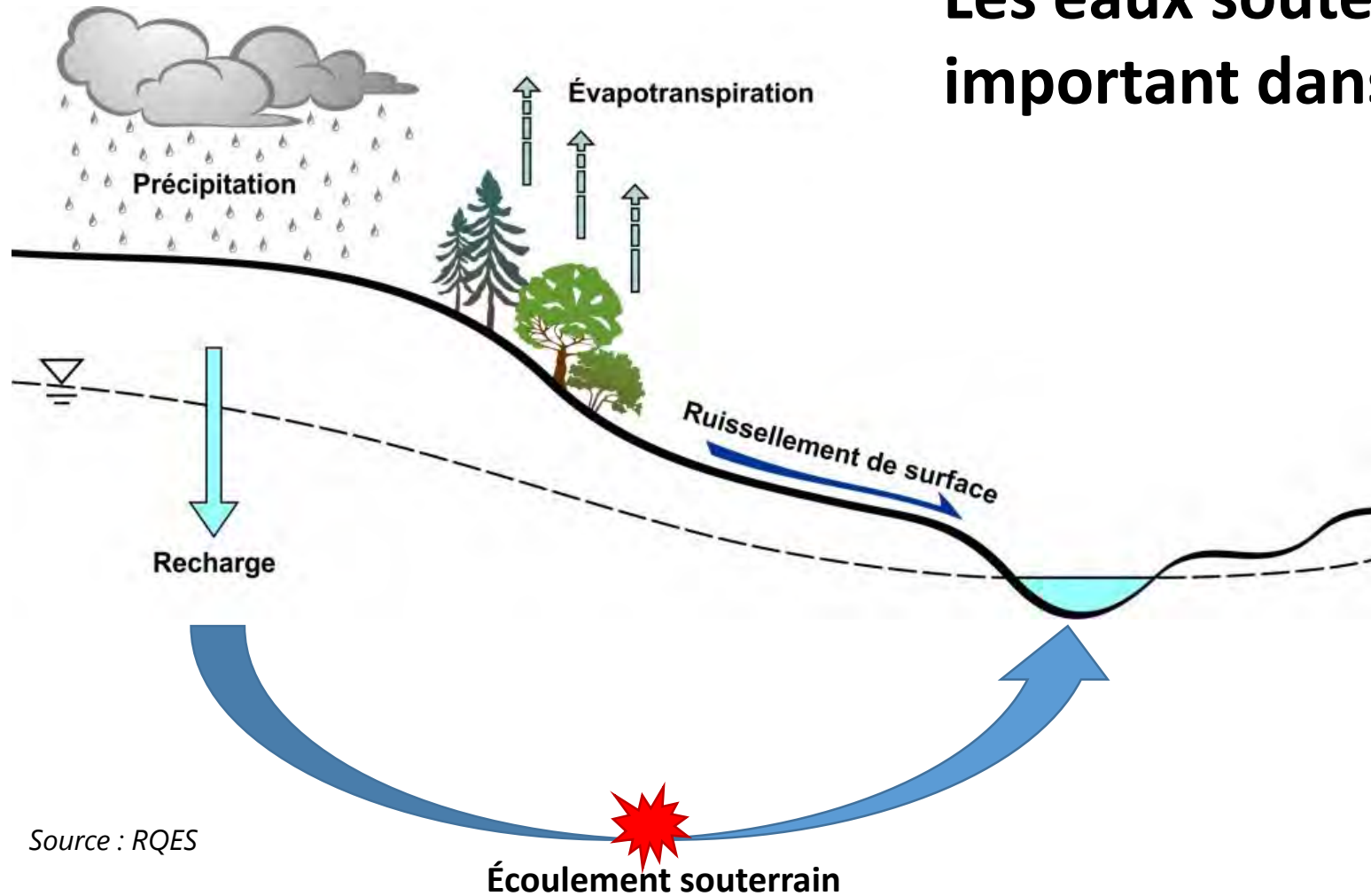
Les eaux souterraines jouent un rôle important dans le cycle de l'eau



Source : RQES

- Les rivières sont en partie alimentées par les eaux souterraines
- La part d'eau souterraine dans les rivières est variable dans le temps
- Potentiel d'atténuation de certains contaminants dans l'eau souterraine

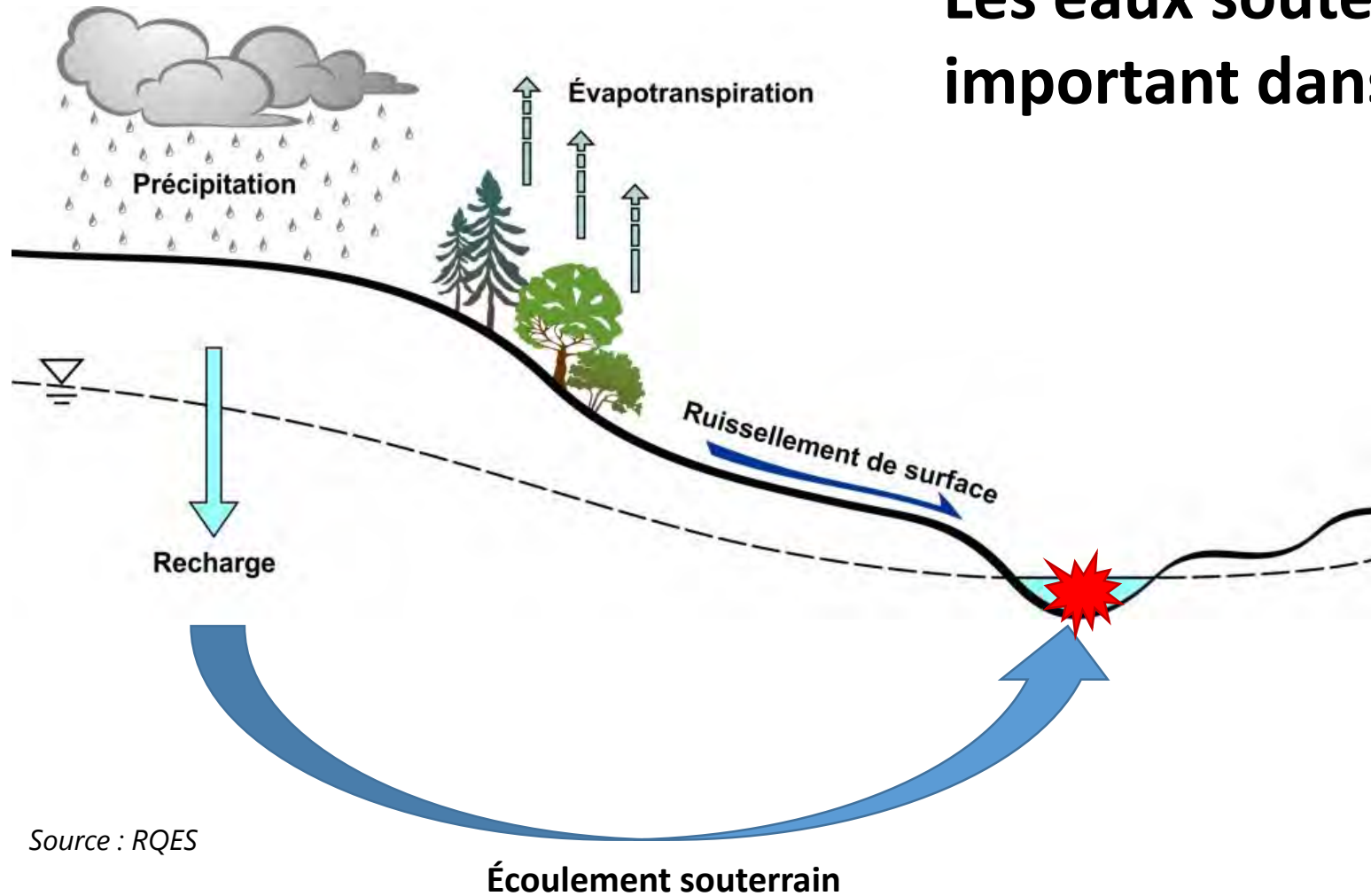
Les eaux souterraines jouent un rôle important dans le cycle de l'eau



Source : RQES

- Les rivières sont en partie alimentées par les eaux souterraines
- La part d'eau souterraine dans les rivières est variable dans le temps
- Potentiel d'atténuation de certains contaminants dans l'eau souterraine

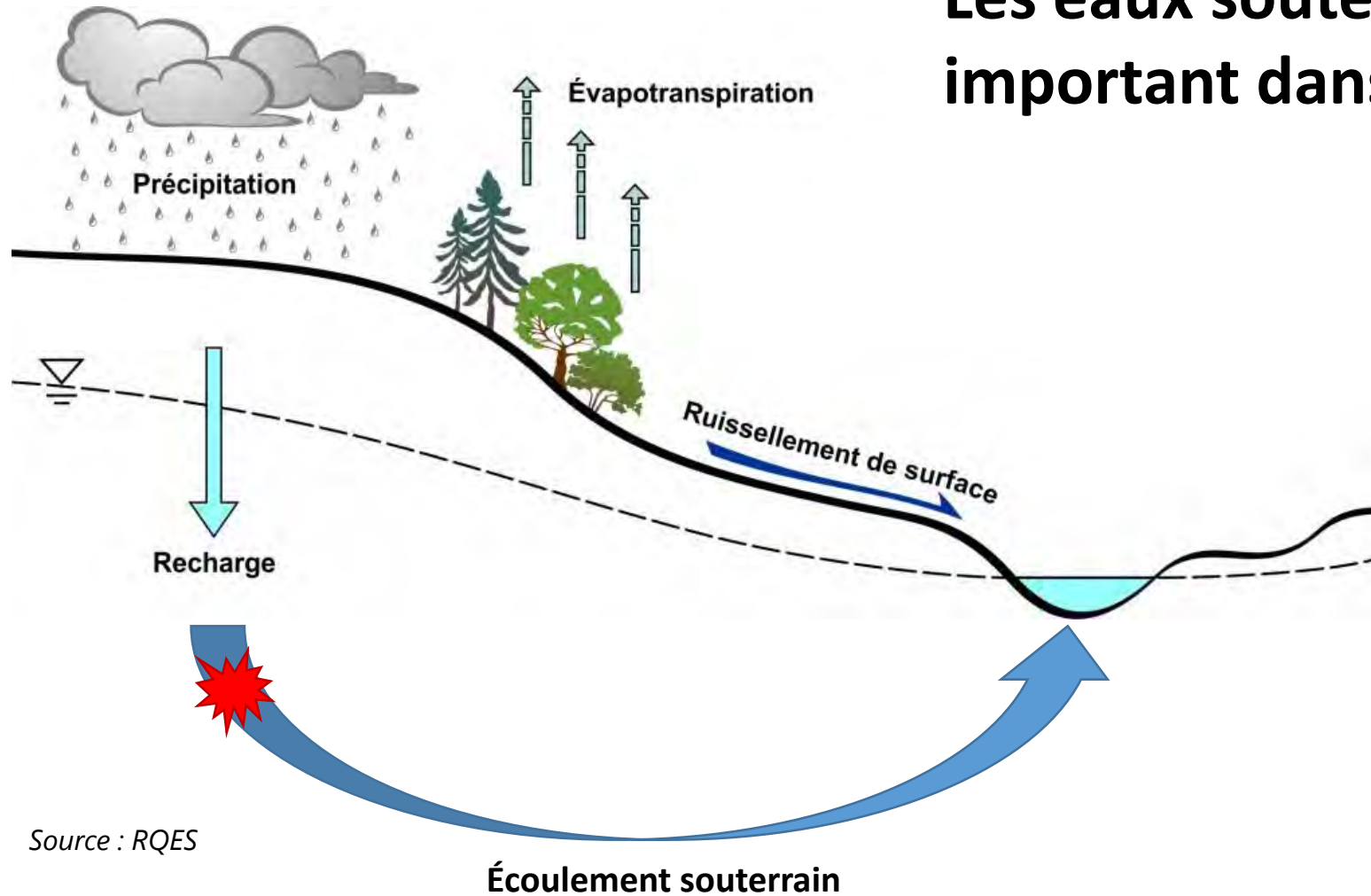
Les eaux souterraines jouent un rôle important dans le cycle de l'eau



Source : RQES

- Les rivières sont en partie alimentées par les eaux souterraines
- La part d'eau souterraine dans les rivières est variable dans le temps
- Potentiel d'atténuation de certains contaminants dans l'eau souterraine

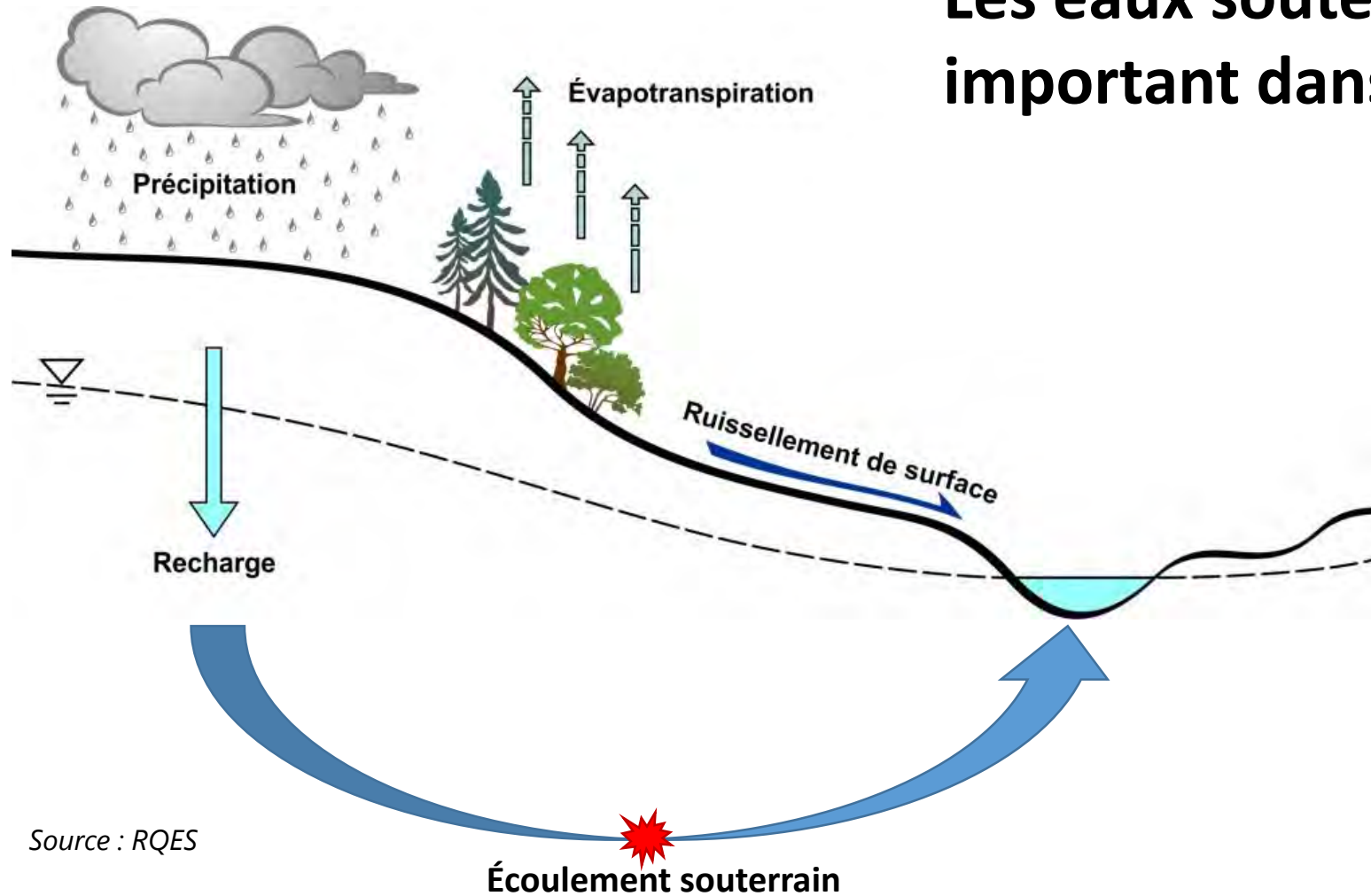
Les eaux souterraines jouent un rôle important dans le cycle de l'eau



Source : RQES

- Les rivières sont en partie alimentées par les eaux souterraines
- La part d'eau souterraine dans les rivières est variable dans le temps
- Potentiel d'atténuation de certains contaminants dans l'eau souterraine

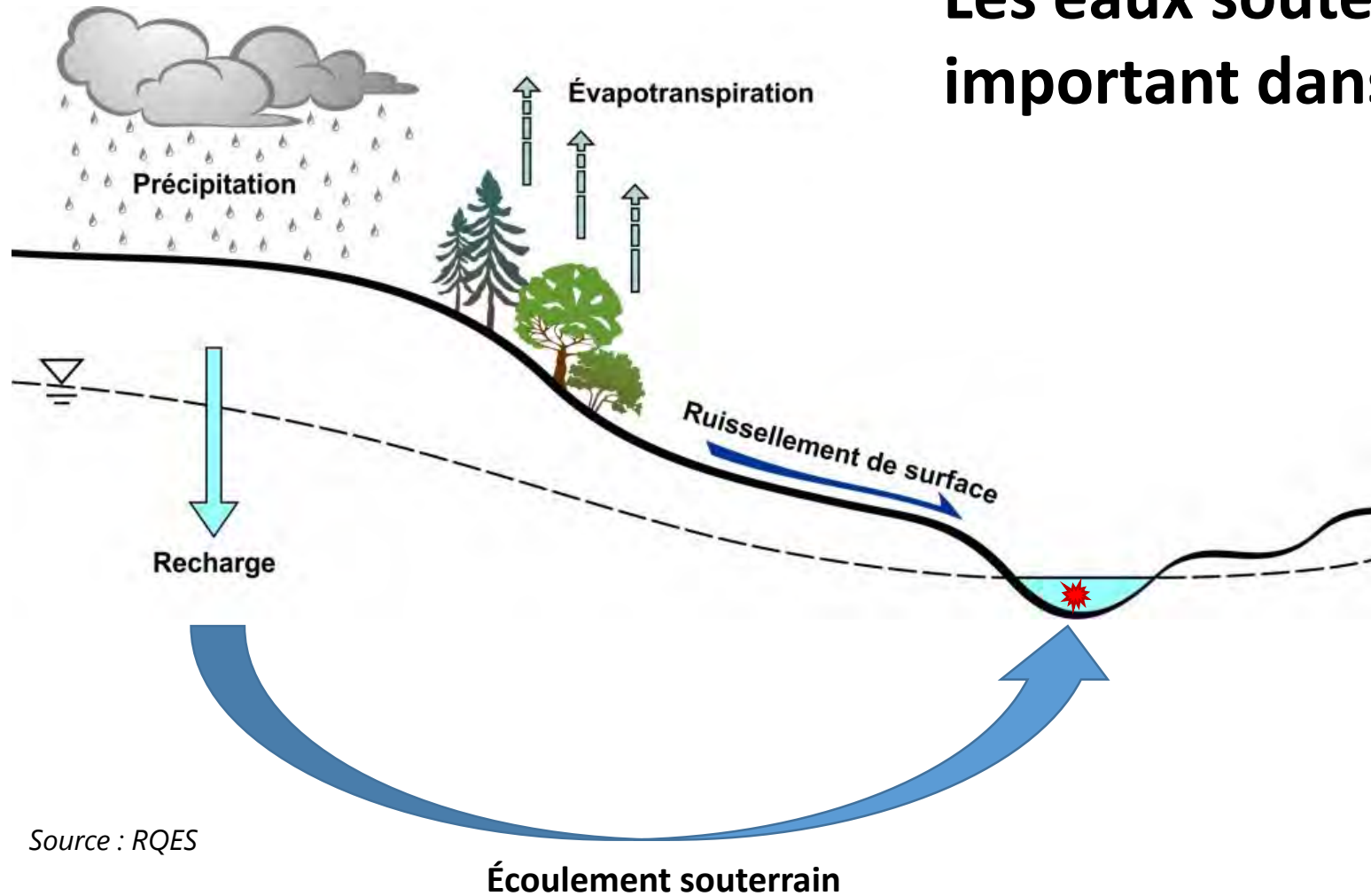
Les eaux souterraines jouent un rôle important dans le cycle de l'eau



Source : RQES

- Les rivières sont en partie alimentées par les eaux souterraines
- La part d'eau souterraine dans les rivières est variable dans le temps
- Potentiel d'atténuation de certains contaminants dans l'eau souterraine

Les eaux souterraines jouent un rôle important dans le cycle de l'eau



Source : RQES

- Les rivières sont en partie alimentées par les eaux souterraines
- La part d'eau souterraine dans les rivières est variable dans le temps
- Potentiel d'atténuation de certains contaminants dans l'eau souterraine

Territoires d'étude

- PACES-CMQ
 - Territoire municipalisé seulement
 - Superficie totale de 3 663 km²
 - Fin du projet : 2013
- Bassins versants des prises d'eau potable de la Ville de Québec
 - Exclut le fleuve Saint-Laurent
 - Superficie totale de 1 427 km²
 - Fin du projet : 2024

Légende



Prise d'eau potable



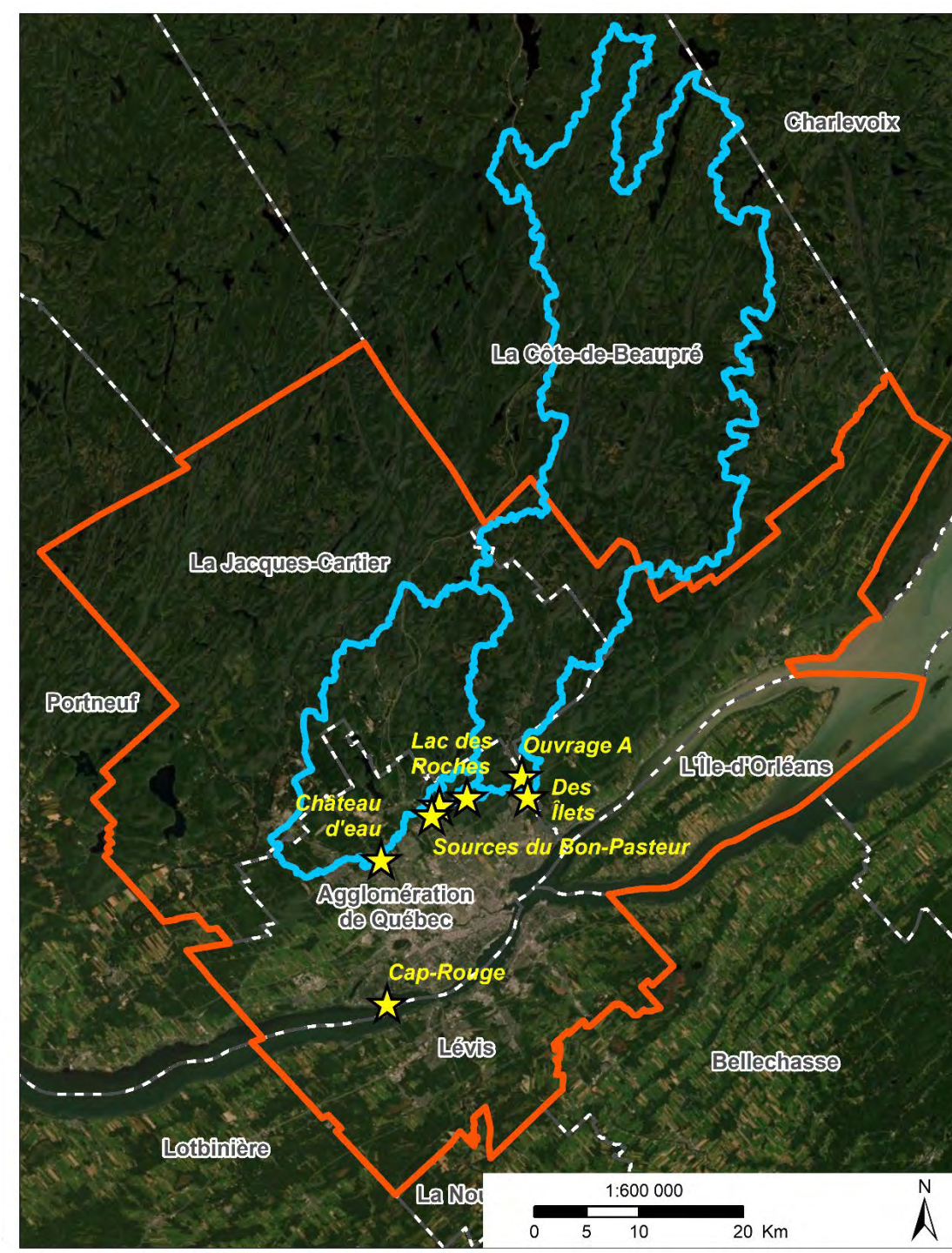
Bassin versant de prise d'eau de la Ville de Québec



Territoire du PACES-CMQ



MRC



Atelier 1

Notre approche pour l'atelier



**Présentation
magistrale**



**Question
éclair**



**Capsule
vidéo**



**Activité en
petits groupes**



**Échange en
grand groupe**

**Maximiser
l'interactivité**

Atelier 1

Nos objectifs



1. Mieux comprendre la ressource en eau souterraine du territoire de la ville de Québec.
2. Échanger avec les divers intervenants sur leurs rôles en lien avec la gestion de l'eau potable.
3. Discuter des données utiles à la gestion et à la protection de l'eau potable du territoire.
4. Apprécier les résultats du modèle numérique développé sur mesure pour la ville de Québec et prendre connaissances des questions auxquelles il peut répondre.
5. Réfléchir aux scénarios de développement probables à intégrer dans le modèle numérique.

Atelier 1

Le déroulement

ACTIVITÉ 1 Les notions de base en hydrogéologie (60 min)

Tour de table (30 min.)

Pause 

ACTIVITÉ 2 État des connaissances sur les eaux souterraines de votre territoire (60 min.)

Dîner 

ACTIVITÉ 3 Acquisition de nouvelles informations sur les eaux souterraines (90 min.)

Pause 

ACTIVITÉ 4 Modèle numérique



Est-ce que ça va ?



ACTIVITÉ 1

Les notions de base en
hydrogéologie



Acquérir des notions de
base sur les eaux
souterraines



Capsule
vidéo



Présentation
magistrale



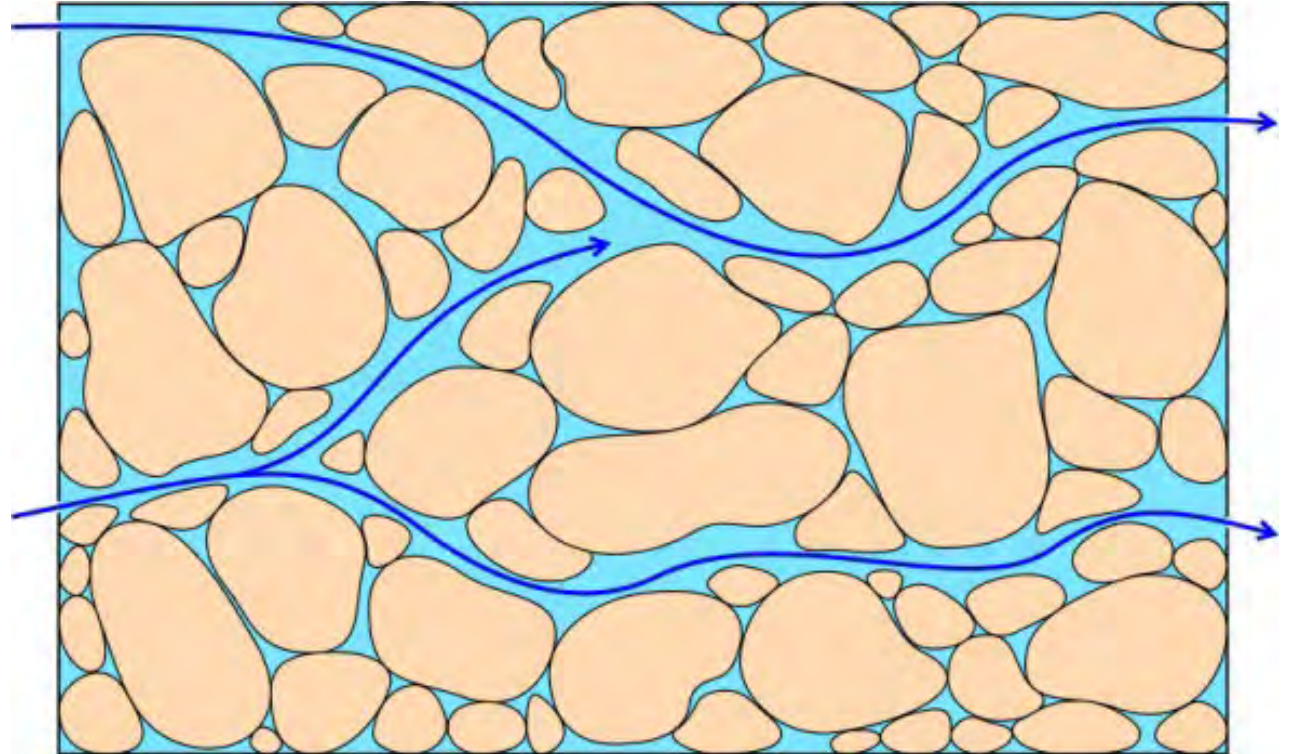
Question
éclair

Capsule vidéo

Les eaux souterraines – une introduction

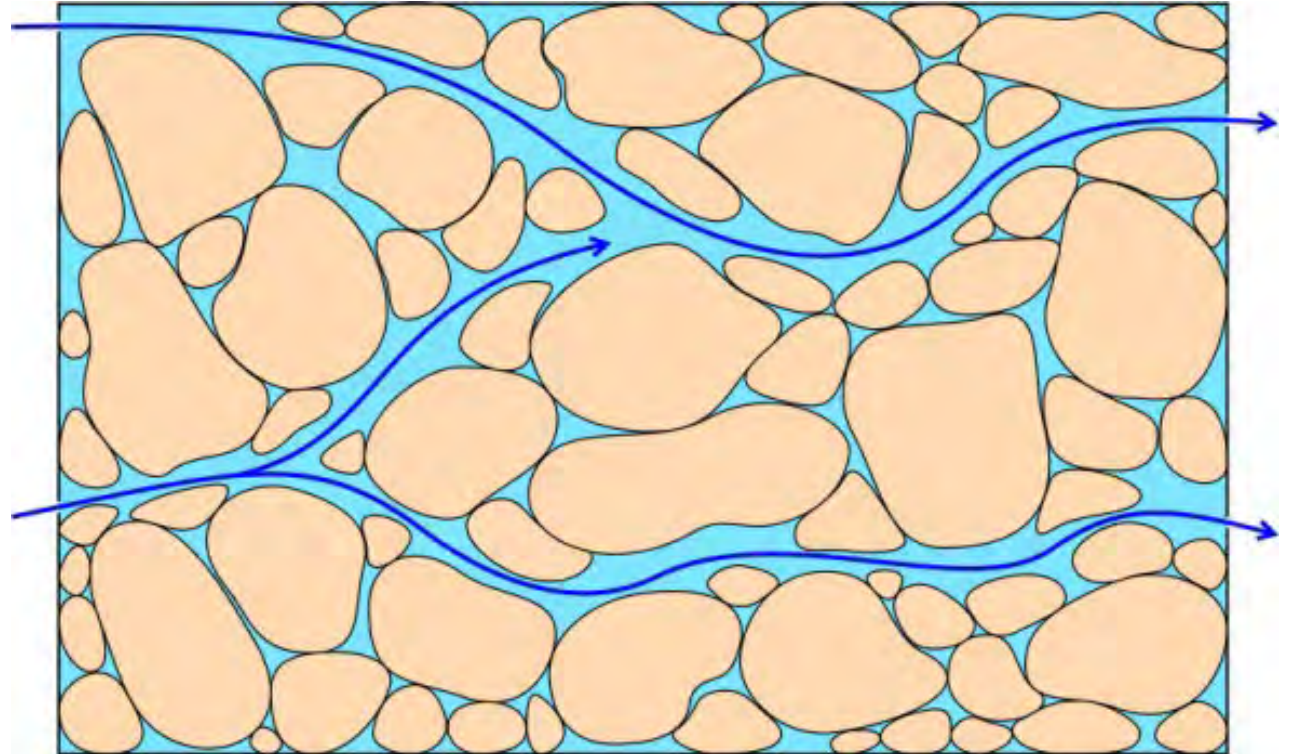
Définitions de base - **EAU SOUTERRAINE**

- ❑ L'**EAU SOUTERRAINE** est l'eau qui se trouve sous la surface du sol et qui remplit les espaces vides du milieu géologique
 - On en retrouve partout sous nos pieds !
 - Comme pour l'eau en surface, l'eau souterraine s'écoule dans l'aquifère, mais beaucoup plus lentement



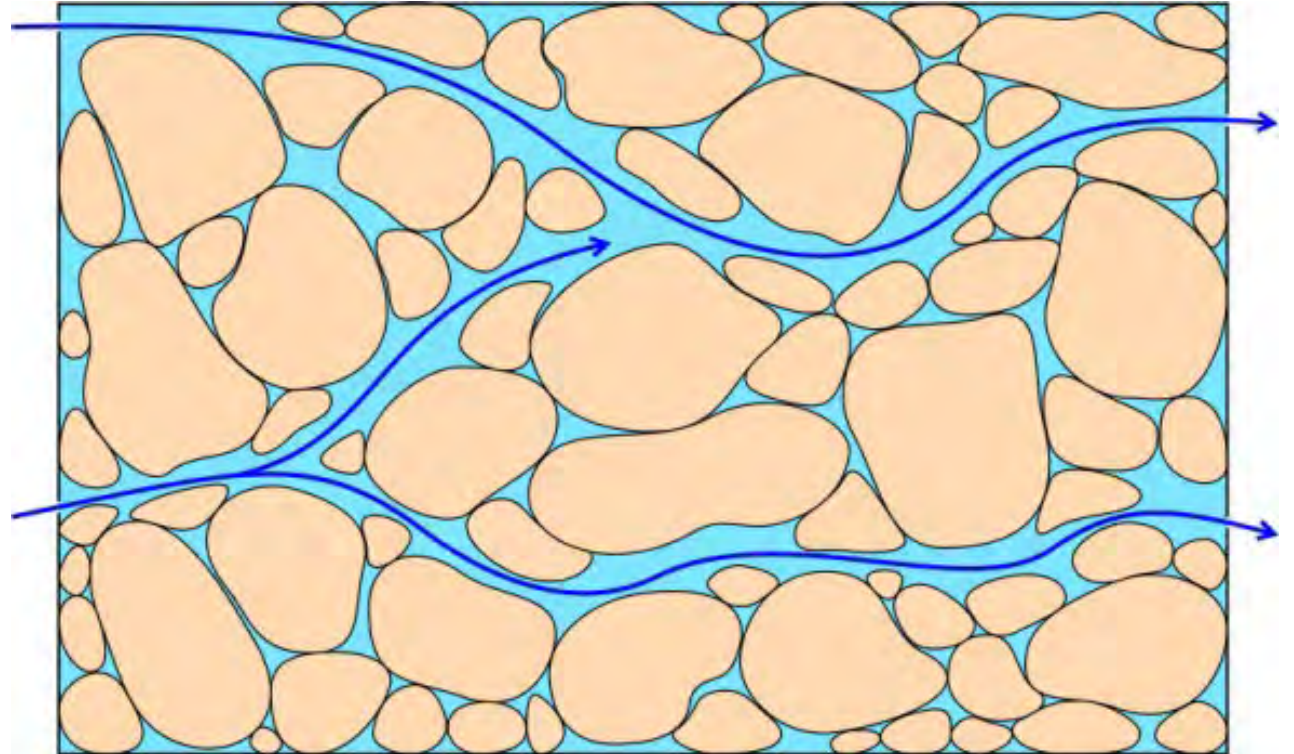
Définitions de base - **POROSITÉ**

- La **POROSITÉ** est le volume (en %) des pores, c'est-à-dire des espaces vides au sein de la matrice solide.
 - Plus la porosité est élevée, plus il y a d'espace disponible pour emmagasiner de l'eau.



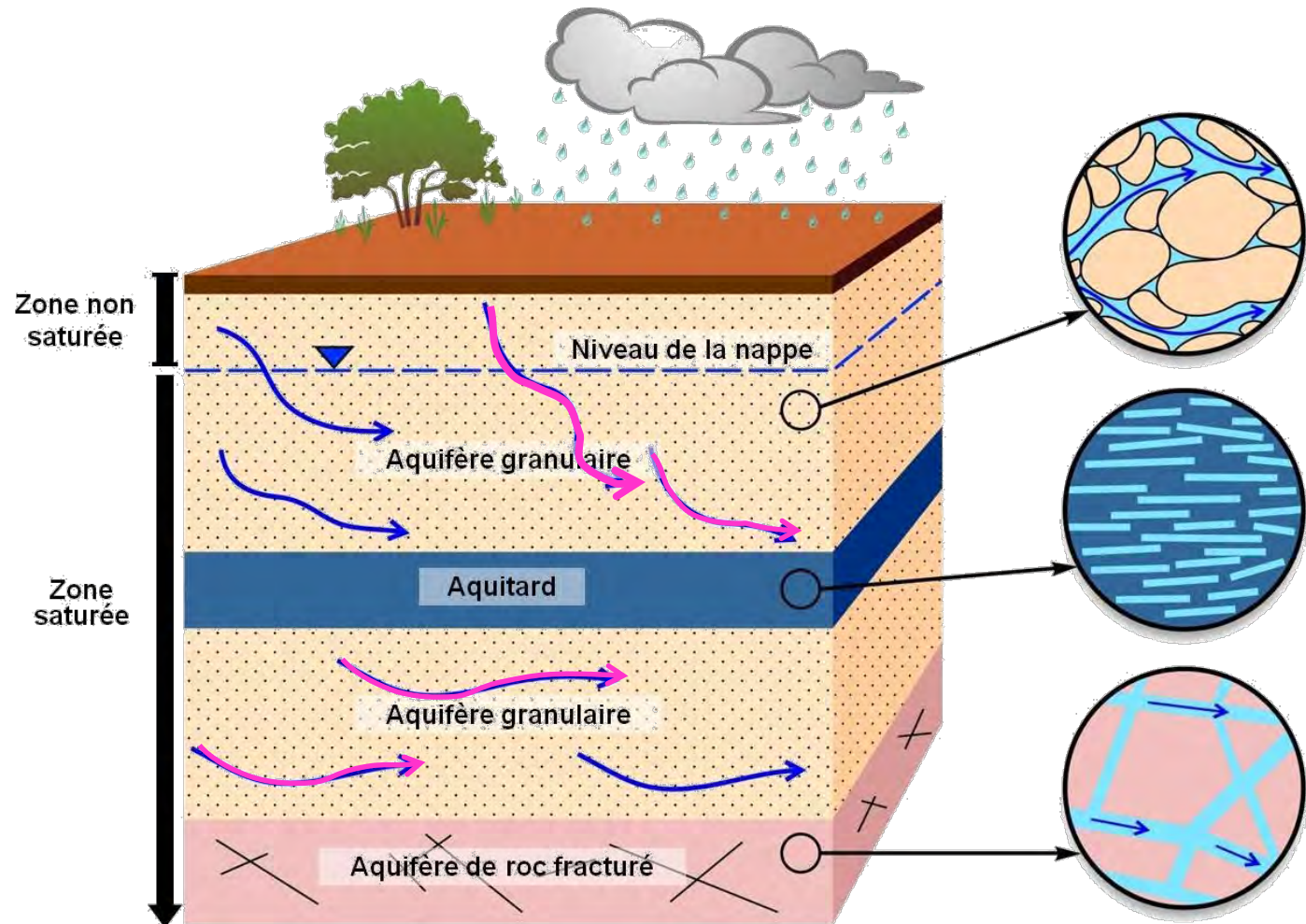
Définitions de base - **CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE**

- ❑ La **CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE** est l'aptitude du milieu à se laisser traverser par l'eau.
 - Plus les **pores** sont interconnectés, plus le milieu géologique est **perméable** et plus l'eau peut pénétrer et circuler facilement



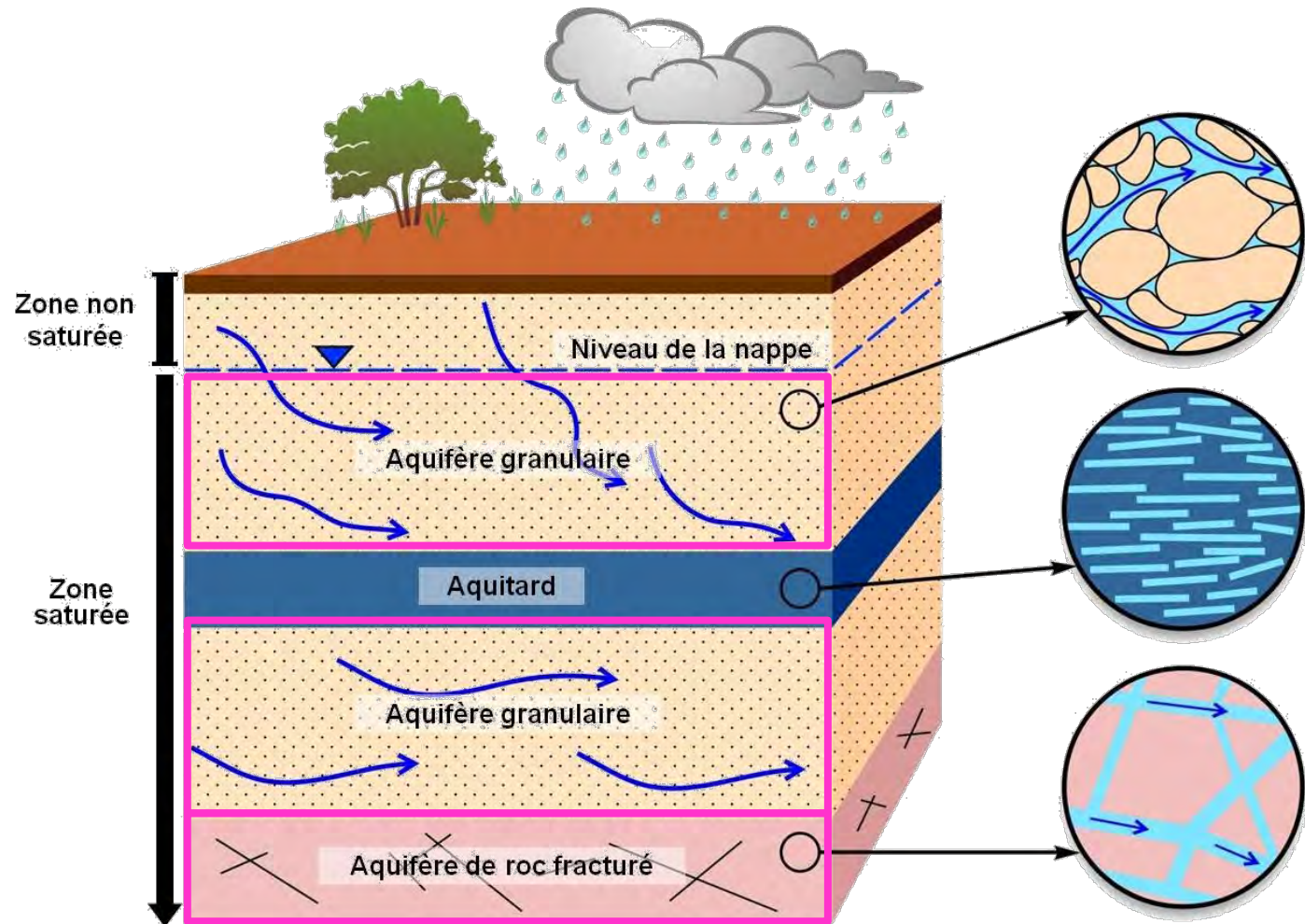
Définitions de base - **NAPPE**

- ❑ La **NAPPE** représente l'eau souterraine qui circule dans un aquifère
- ❑ → C'est le contenu



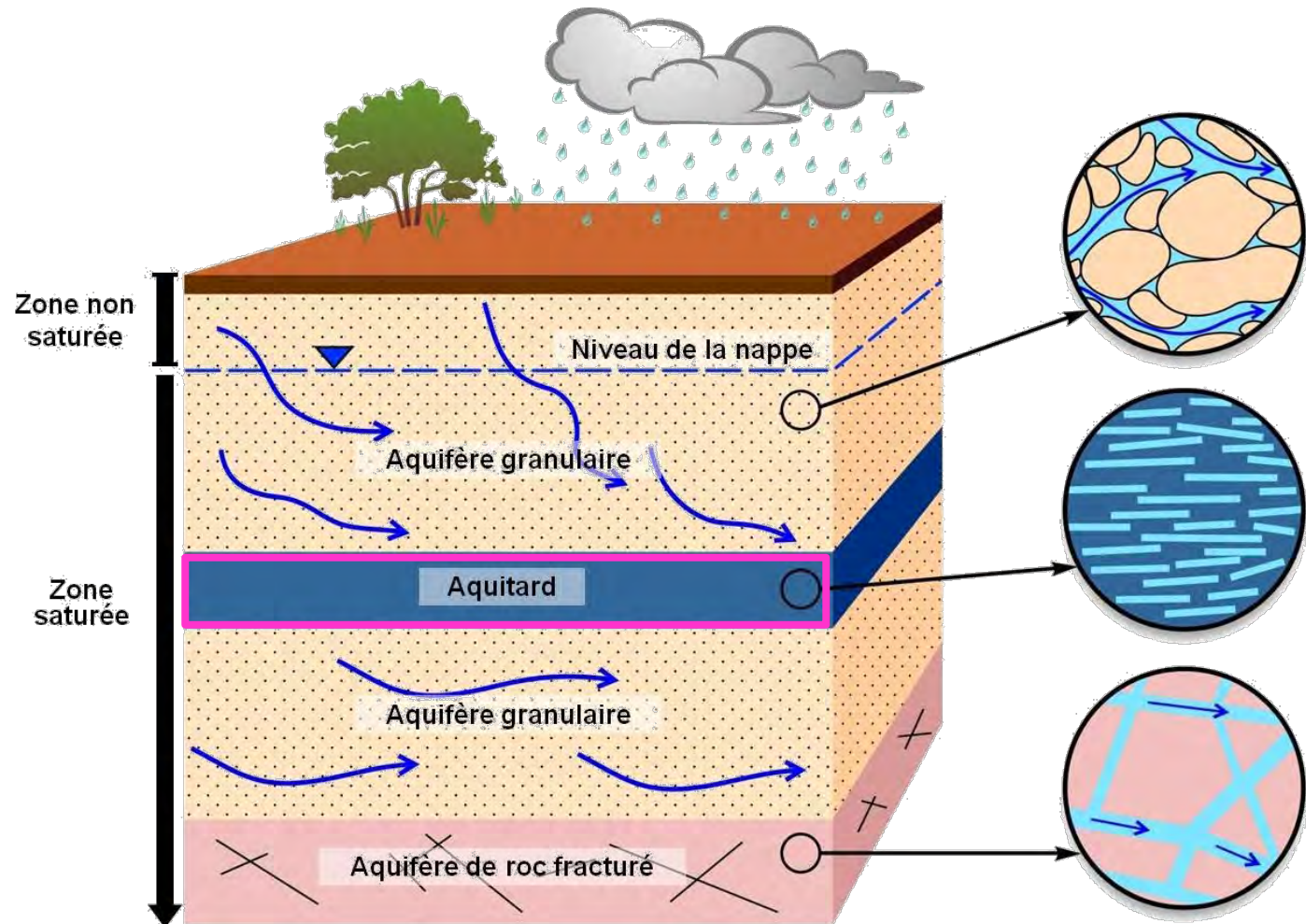
Définitions de base - **AQUIFÈRE**

- ❑ Un **AQUIFÈRE** est une formation géologique saturée en eau et suffisamment perméable pour permettre son pompage
- ❑ → C'est le **contenant**



Définitions de base - **AQUITARD**

- ❑ Un **AQUITARD** est une unité géologique qui n'est pas suffisamment perméable pour qu'il soit possible d'y extraire l'eau
- ❑ → Considéré **imperméable**





Question éclair

Comment nomme-t-on une unité géologique qui n'est pas suffisamment perméable pour qu'il soit possible d'y extraire l'eau ?



✓ Un aquifère de roc fracturé



✓ Un aquifère granulaire

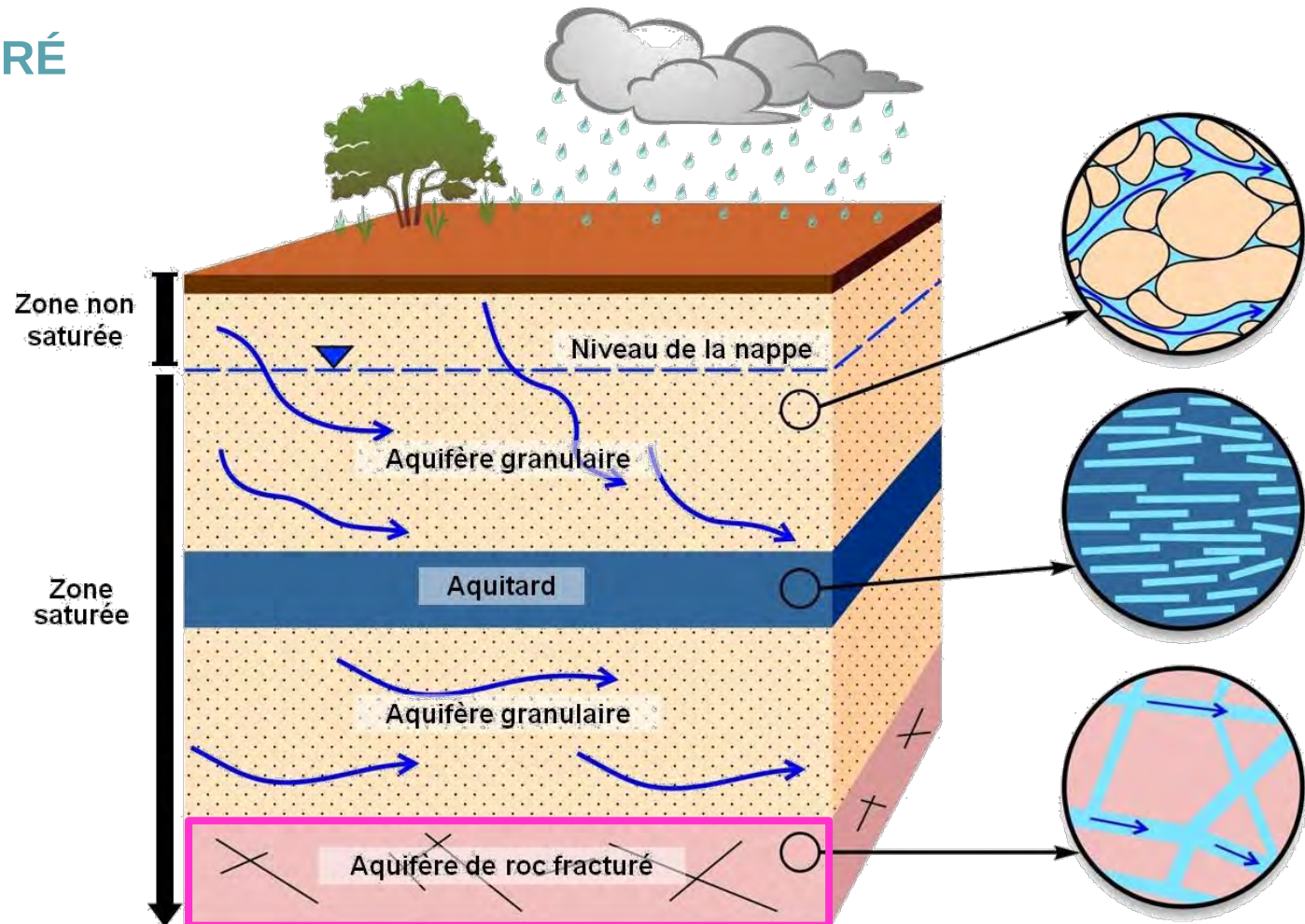


✓ Un aquitard

Définitions de base – TYPES D'AQUIFÈRE

AQUIFÈRES DE ROC FRACTURÉ

- Le **ROC FRACTURÉ** constitue la partie supérieure de la croûte terrestre

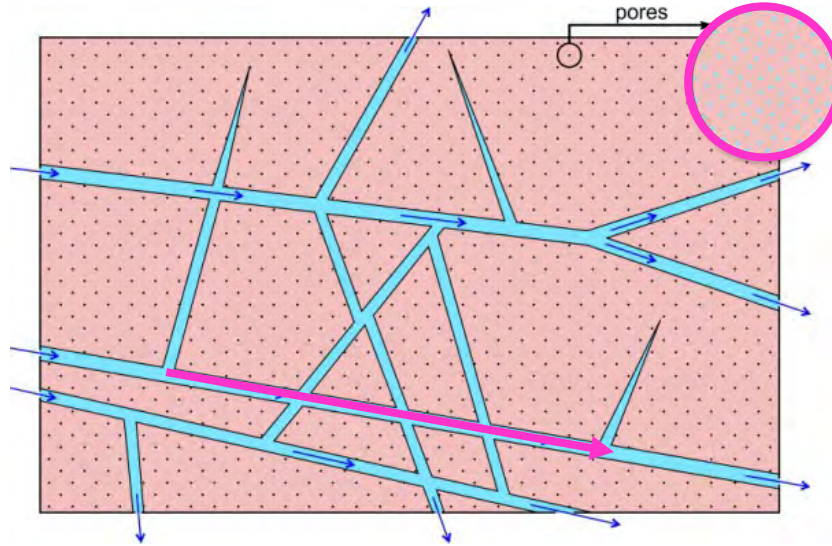




Définitions de base – TYPES D'AQUIFÈRE

AQUIFÈRES DE ROC FRACTURÉ

- ❑ L'eau se retrouve :
 - Dans les **pores** de la roche, mais leur faible interconnexion ne permet pas une circulation efficace de l'eau
 - Dans les **fractures** qui permettent une circulation d'eau parfois suffisante pour le captage
- ❑ En forant un puits dans ce type d'aquifère, on cherche à rencontrer le plus de **fractures** possible



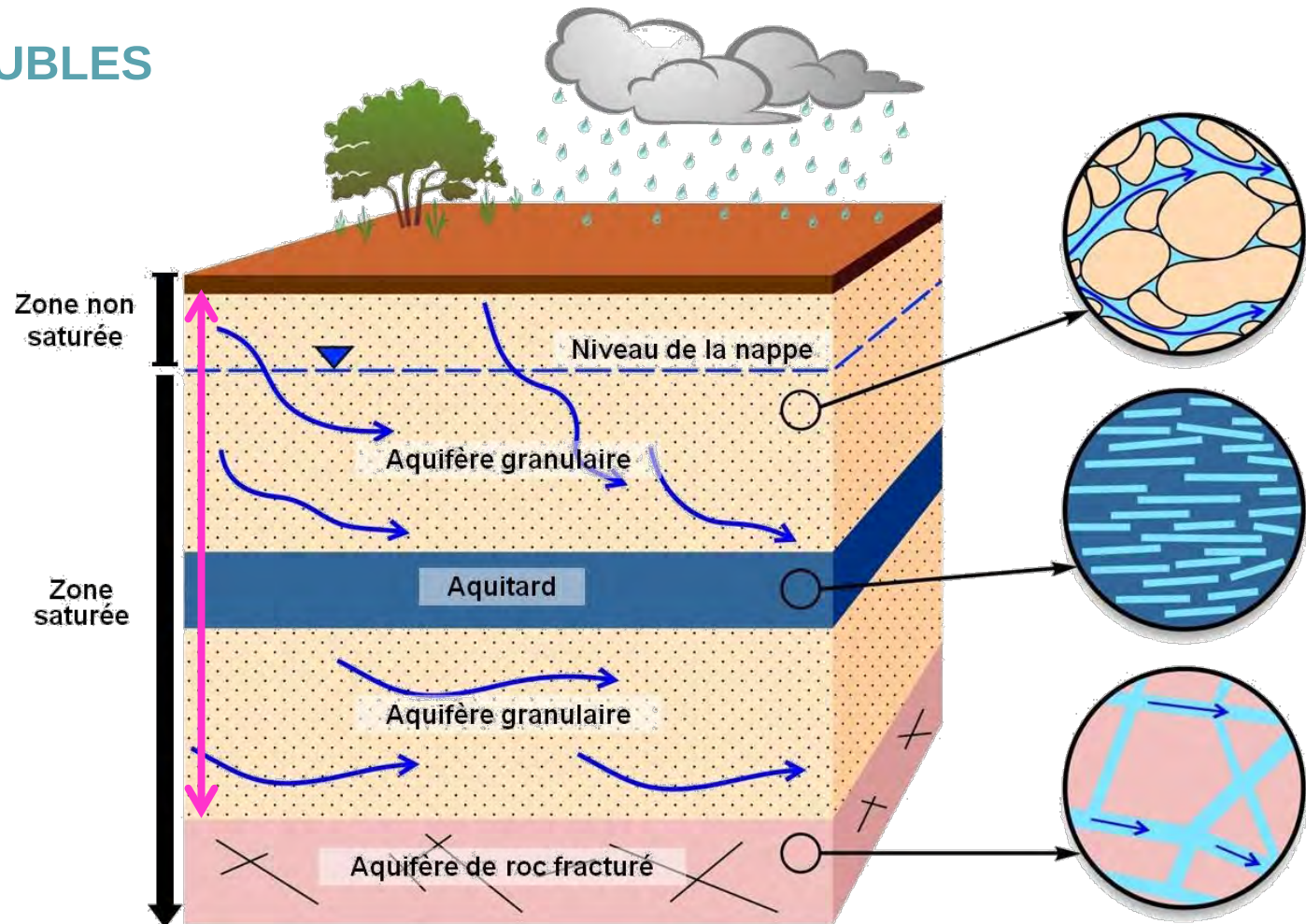
© Leblanc et coll. (2013)



Définitions de base – TYPES D'AQUIFÈRE

AQUIFÈRES DE DÉPÔTS MEUBLES

- ❑ Les **DÉPÔTS MEUBLES** sont l'ensemble des sédiments qui proviennent de l'érosion du socle rocheux et qui le recouvrent.
- ❑ Les dépôts meubles sont souvent représentés sur une carte de la **géologie du Quaternaire**.





Définitions de base – TYPES D'AQUIFÈRE

AQUIFÈRES DE DÉPÔTS MEUBLES

- ❑ Plus les particules sont grossières, plus les pores sont larges et interconnectés, et plus la perméabilité est élevée
- ❑ **Sables et graviers** → **aquifère**
 - Le pompage de débits importants est souvent possible
- ❑ **Argiles et silts** → **aquitard**
 - Considéré imperméable





Question éclair

Dans le roc fracturé, l'eau circule dans les pores (vrai ou faux)



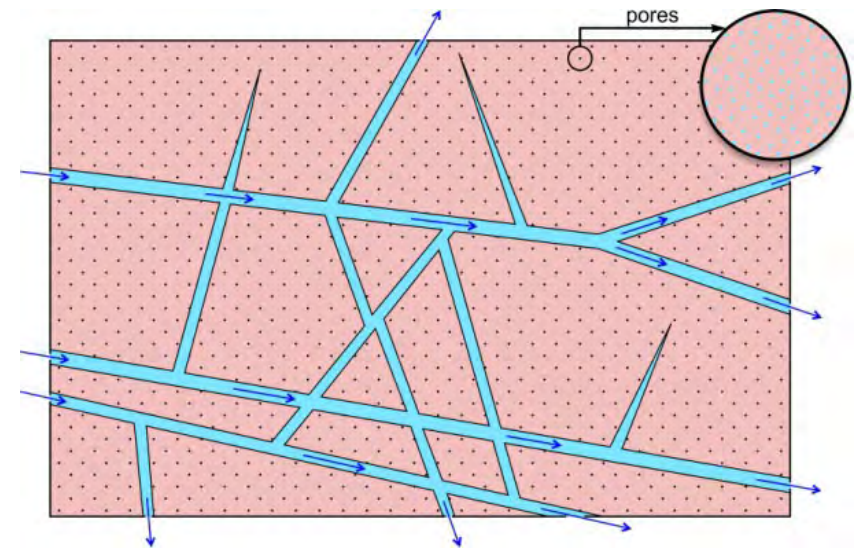
Vrai



Faux



F: Dans le roc fracturé, l'eau circule dans les fractures.





Définitions de base – TYPES DE SÉDIMENTS

- ❑ Sédiments quaternaires anciens → **aquifère** ou **aquitard**
- ❑ Sédiments glaciaires (Till) → **aquifère** ou **aquitard**
- ❑ Sédiments fluvioglaciaires → **aquifère**
- ❑ Sédiments marins et lacustres d'eau profonde → **aquitard**
- ❑ Sédiments littoraux et deltaïques → **aquifère**
- ❑ Sédiments alluviaux et éoliens → **aquifère**
- ❑ Sédiments organiques → **complexe**

Les différents types de sédiments servent à définir les **contextes hydrostratigraphiques**, soit les séquences d'empilement vertical des dépôts meubles recouvrant le roc fracturé en fonction de leur perméabilité.

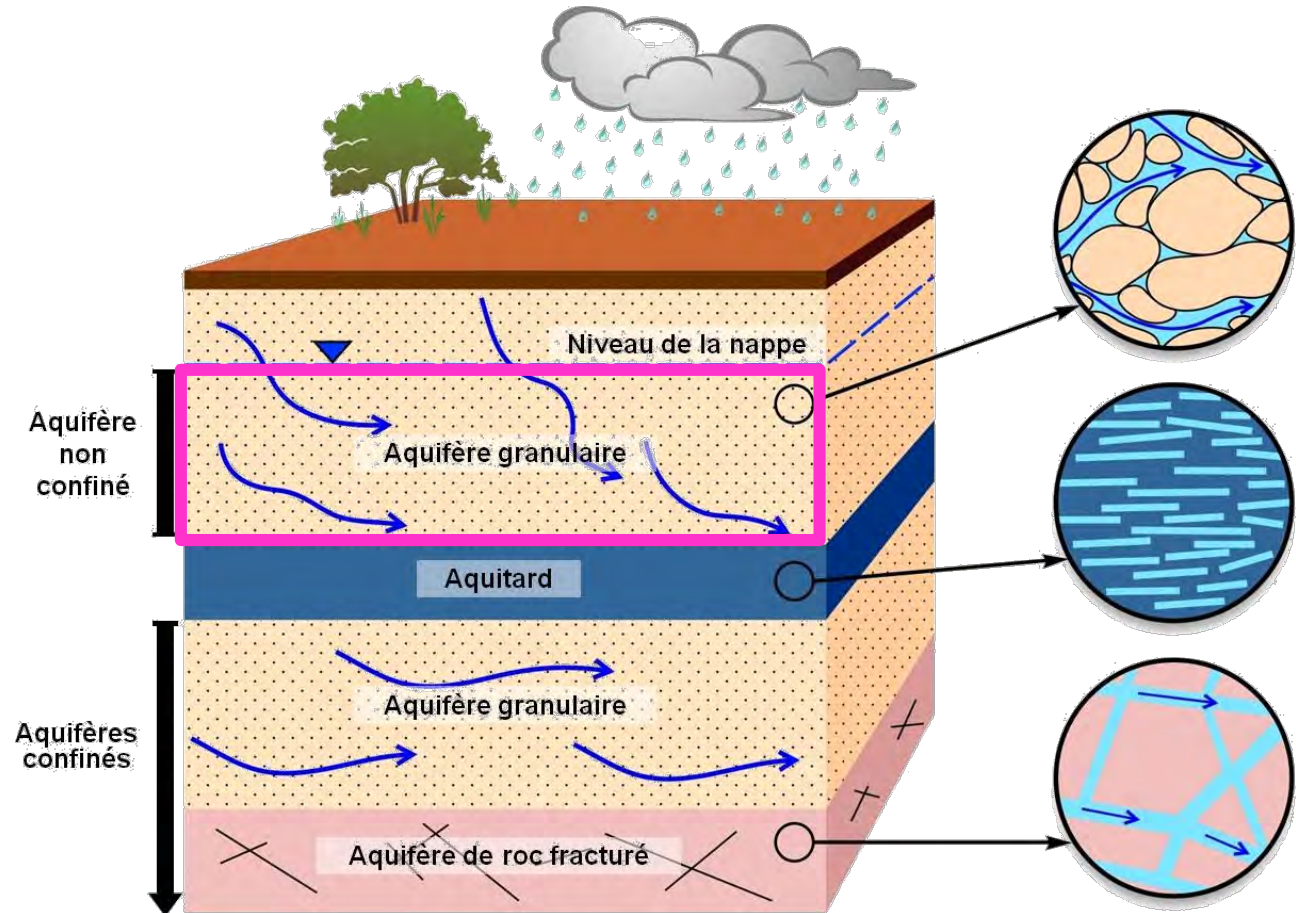




Définitions de base – CONDITIONS DE CONFINEMENT

□ Un **AQUIFÈRE NON CONFINÉ** n'est pas recouvert par un **aquitard**: à **nappe libre**

- Directement rechargé par l'infiltration verticale
- Plus vulnérable à la contamination

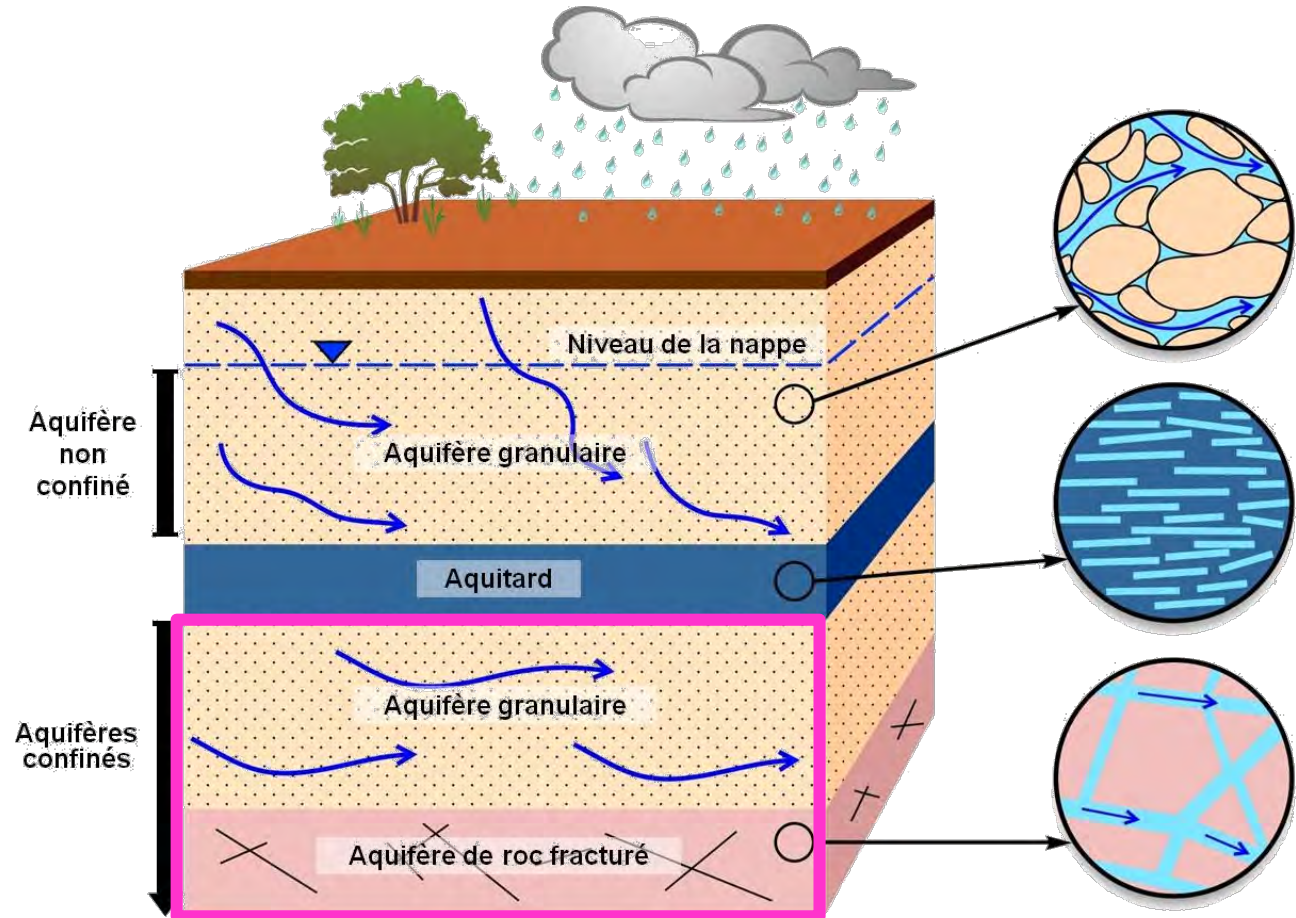




Définitions de base – CONDITIONS DE CONFINEMENT

□ Un **AQUIFÈRE CONFINÉ** est emprisonné sous un **aquitard**: à **nappe captive**

- Pas directement rechargé par l'infiltration verticale
- Protégé des contaminants provenant directement de la surface

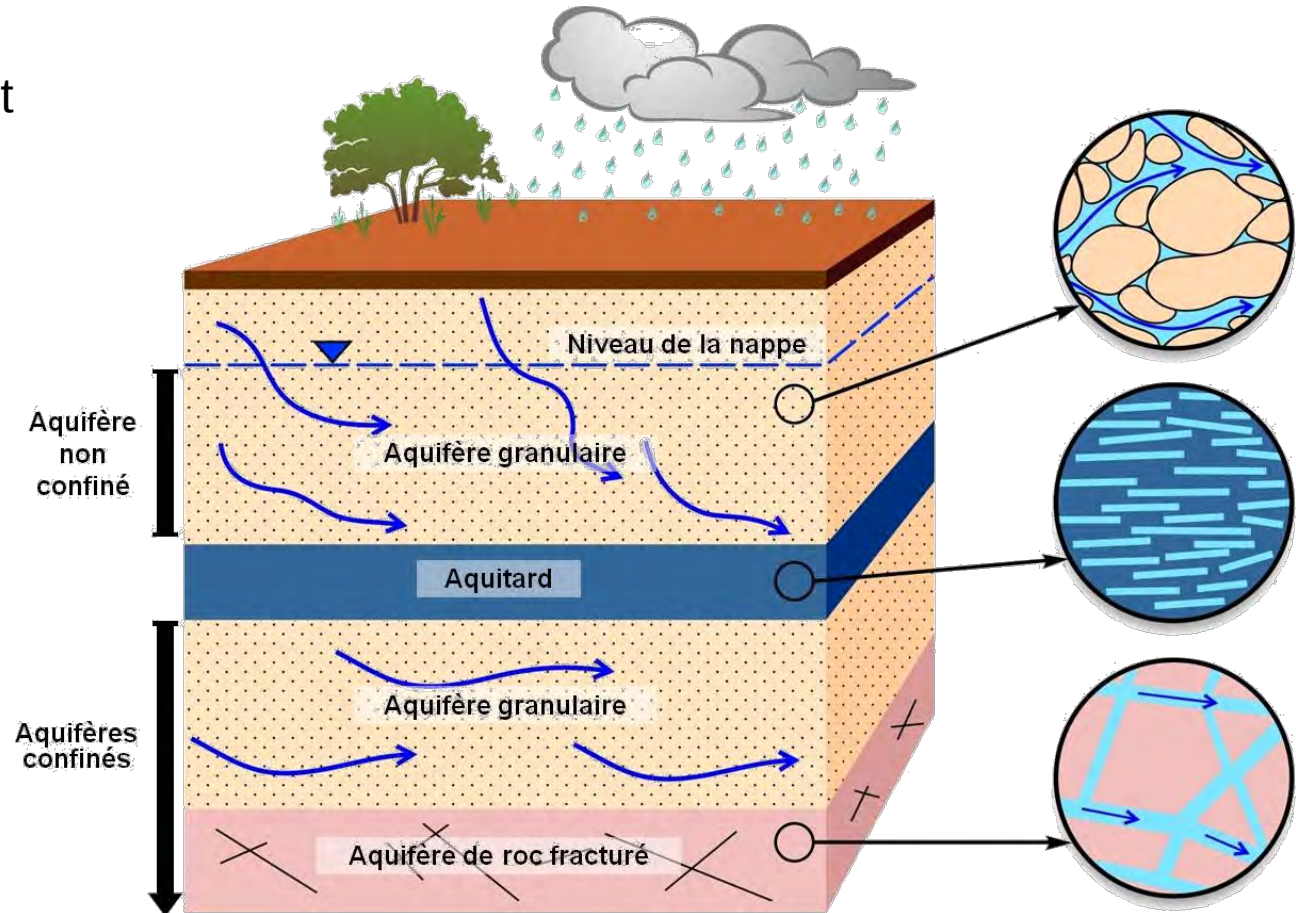




Définitions de base – CONDITIONS DE CONFINEMENT

□ Un **AQUIFÈRE SEMI-CONFINÉ** est recouvert de couches confinantes qui ne sont pas totalement imperméables ou de faible épaisseur: à **nappe semi-captive**

- Modérément rechargé par l'infiltration verticale
- Modérément vulnérables à la contamination





Question éclair

Comment nomme-t-on un aquifère recouvert d'un aquitard ?



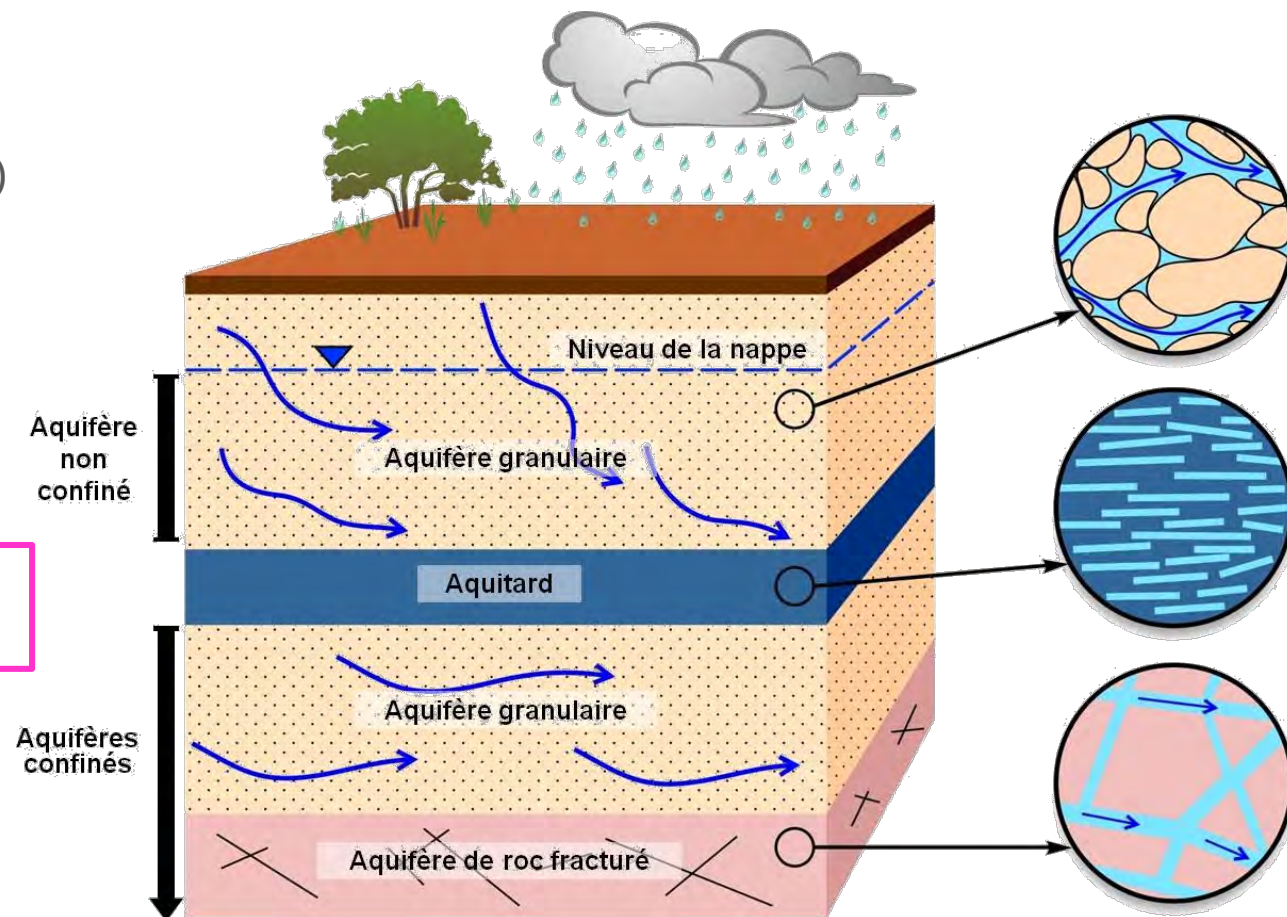
✓ Un aquifère non confiné (à nappe libre)



✓ Un aquifère de roc fracturé



✓ Un aquifère confiné (à nappe captive)





Définitions de base – PIÉZOMÉTRIE

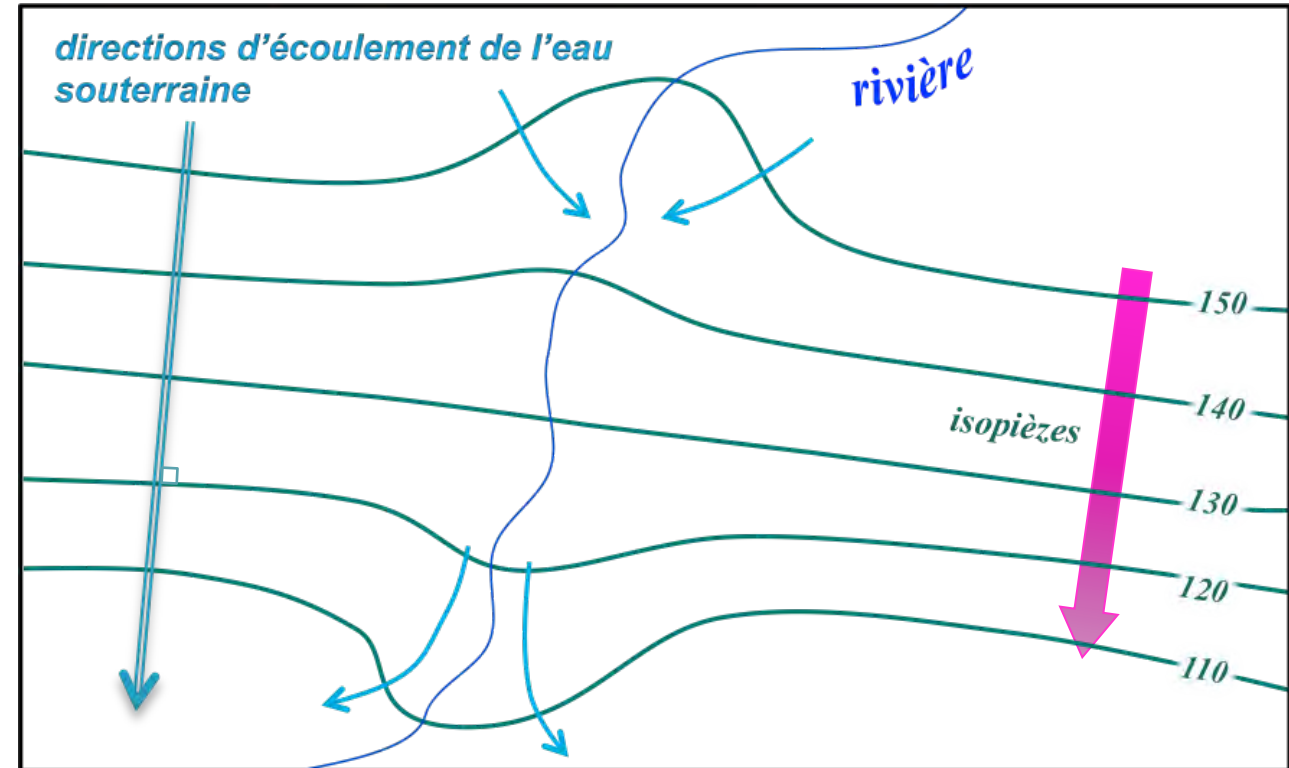
- ❑ La **PIÉZOMÉTRIE** représente l'élévation de la nappe dans un aquifère.
- ❑ Le **niveau piézométrique** (ou charge hydraulique) correspond à l'élévation du niveau de l'eau souterraine mesurée dans un puits par rapport au NMM.





Définitions de base – PIÉZOMÉTRIE

- ❑ Les **ISOPIÈZES**: lignes joignant les points de même niveau d'eau, à la manière des courbes de niveau topographique.
- ❑ Plus les lignes sont rapprochées, plus la pente est forte et plus l'écoulement se fait rapidement.
- ❑ Indique le **sens de l'écoulement** de l'eau souterraine qui circule des zones à piézométrie élevée vers celles à piézométrie plus basse.
- ❑ On considère généralement que la piézométrie constitue en fait une réplique adoucie de la surface du sol.





Question éclair

Qu'est-ce qu'un niveau piézométrique ?



✓ La pression atmosphérique



✓ L'élévation du niveau de l'eau souterraine (par rapport au niveau moyen de la mer)

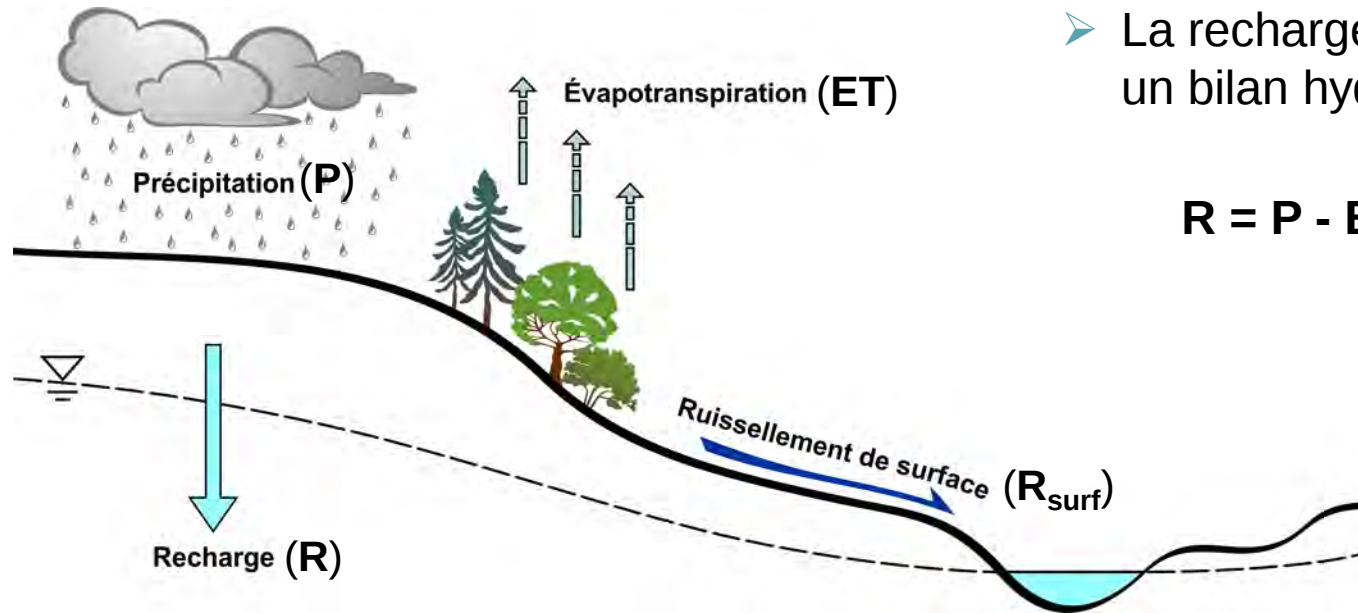


✓ La profondeur de la nappe



Définitions de base – RECHARGE ET RÉSURGENCE

- La **RECHARGE** correspond à la quantité d'eau (en mm/an) qui s'infiltre dans le sol et atteint la nappe phréatique.



- La recharge est calculée comme un bilan hydrique :

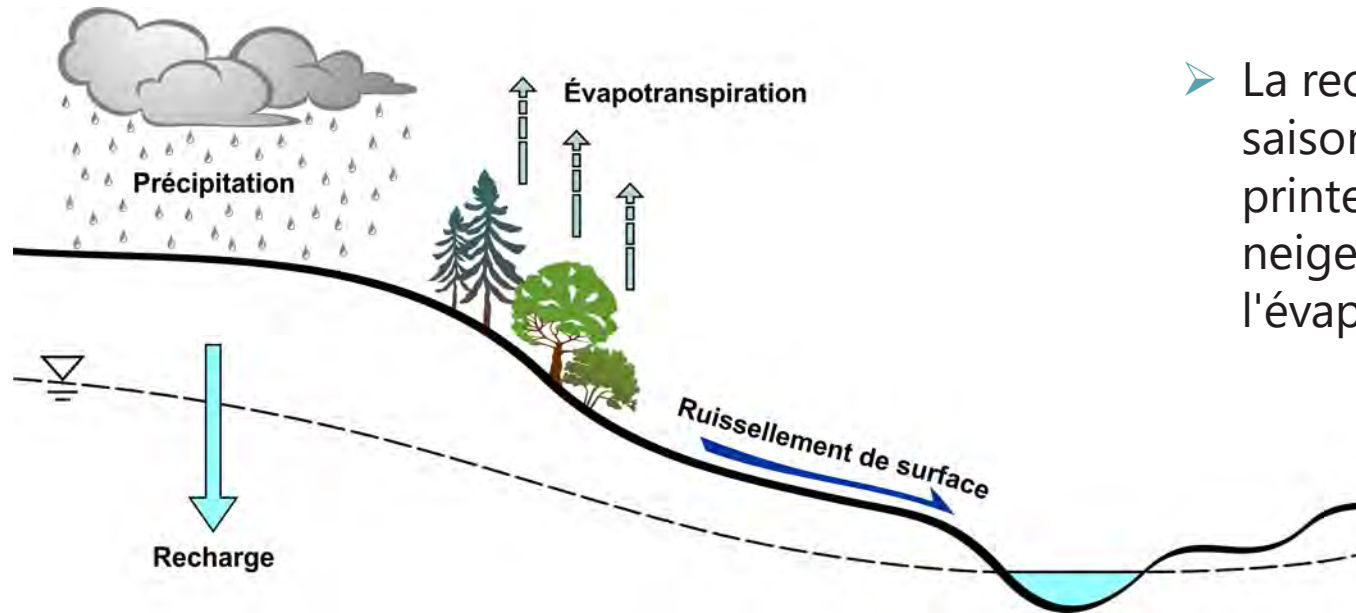
$$R = P - ET - R_{\text{surf}}$$

- L'estimation de la recharge est nécessaire pour évaluer les ressources disponibles en eau souterraine.
- Un niveau d'exploitation inférieur à 20% de la recharge est généralement jugé durable.



Définitions de base – RECHARGE ET RÉSURGENCE

- La recharge est liée aux conditions climatiques, à l'occupation du sol et aux propriétés physiques du sol, soit sa capacité à laisser s'infiltrer l'eau.



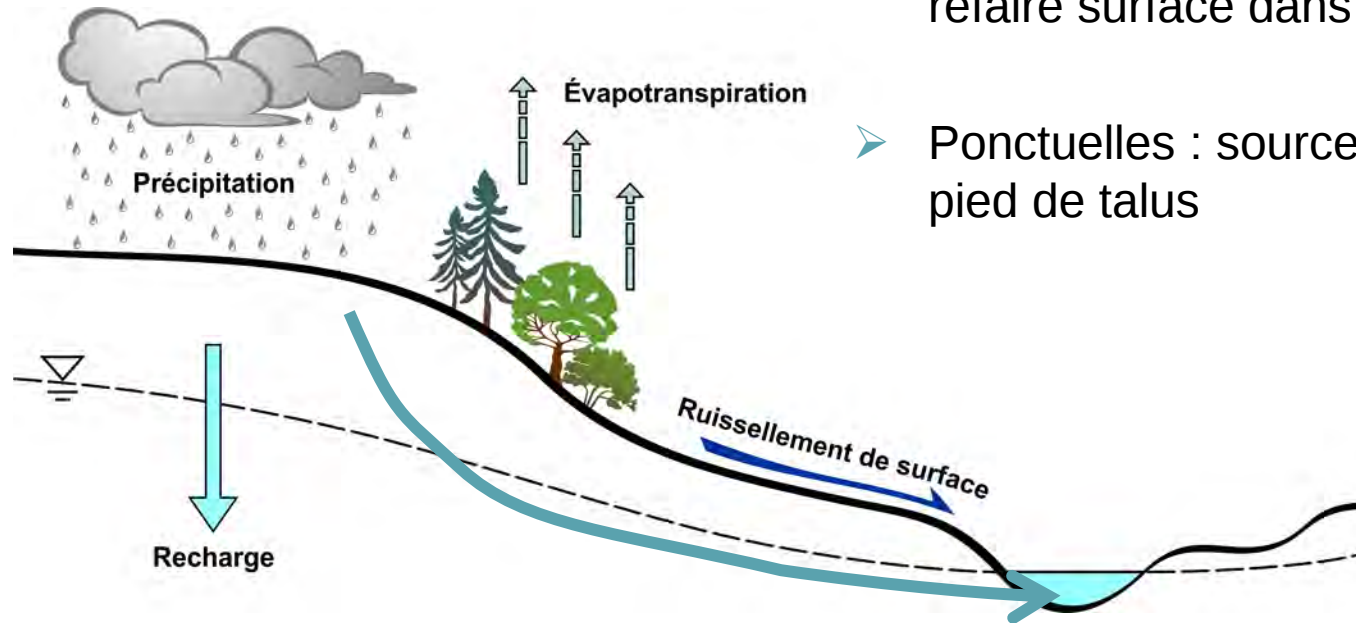
- La recharge se produit de façon saisonnière, principalement au printemps lors de la fonte des neiges, et à l'automne lorsque l'évapotranspiration diminue.

- En période estivale, les précipitations liquides sont partagées entre le ruissellement et l'évapotranspiration.
- En période hivernale, la neige est stockée jusqu'au printemps, sa remobilisation liquide est fonction de la température. Si le sol est gelé, l'ensemble de l'eau de surface ruisselle et la recharge est nulle.



Définitions de base – RECHARGE ET RÉSURGENCE

- Au terme de leur parcours souterrain, les eaux souterraines font **RÉSURGENCE**



- Diffuses : maintien ou création de milieux humides ou refaire surface dans les cours d'eau
- Ponctuelles : source ou têtes de ruisseaux situés en pied de talus

- En période d'étiage, l'essentiel de l'eau qui s'écoule dans les rivières provient de l'apport des eaux souterraines : **DÉBIT DE BASE**.
- Les zones de résurgence jouent un rôle vital dans le maintien des écosystèmes, notamment en fournissant un apport constant en nutriments et en eau pour la faune et la flore aquatiques.



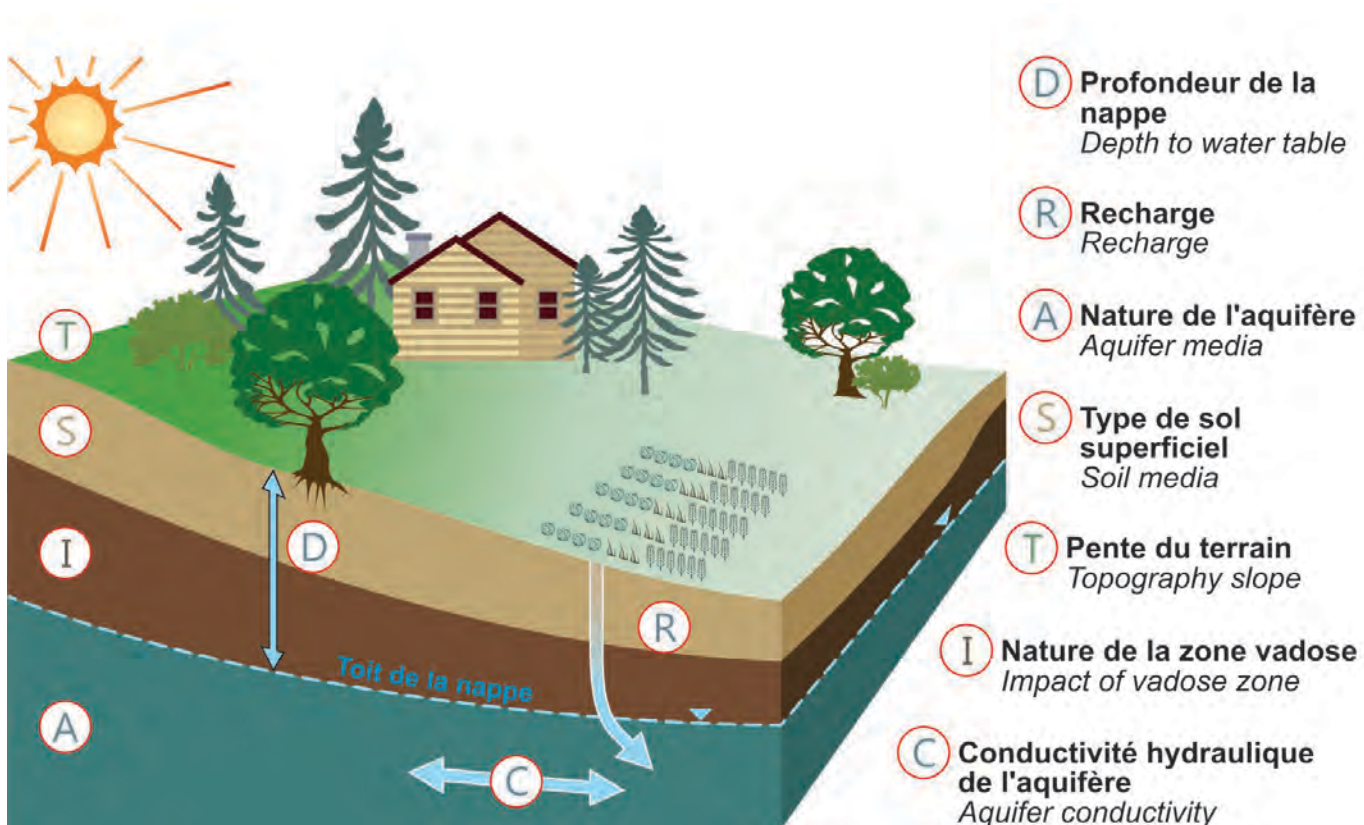
Définitions de base – **VULNÉRABILITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE**

- ❑ La méthode **DRASTIC** fournit une évaluation relative de la vulnérabilité intrinsèque d'un aquifère, soit sa **susceptibilité à être affecté par une contamination provenant de la surface**.
- ❑ L'indice DRASTIC peut varier entre **23 et 226**. Plus l'indice est élevé, plus l'aquifère est vulnérable à la contamination.
- ❑ Permet d'estimer le **risque de dégradation de la qualité de l'eau souterraine** avec l'impact des activités potentiellement polluantes présentes en surface et l'importance de l'exploitation de l'aquifère.
- ❑ Le potentiel de contamination de chaque activité humaine dépend de plusieurs facteurs, dont la nature et la quantité de contaminants, la superficie de la zone touchée et la récurrence du rejet.



Définitions de base – **VULNÉRABILITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE**

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



POIDS



D : plus la nappe est profonde, plus l'indice est faible



R : plus la recharge est importante, plus l'indice est élevé



A : plus l'aquifère est composé de matériel grossier perméable, plus l'indice est élevé



S : plus le sol est composé de matériel grossier perméable, plus l'indice est élevé



T : plus la pente est accentuée, plus l'indice est faible



I : plus la zone non saturée est composée de matériel grossier, plus l'indice est élevé



C : plus la conductivité hydraulique est importante, plus l'indice est élevé.



Définitions de base – QUALITÉ DE L'EAU

Concentrations maximales acceptables (CMA)

- ❑ critères de potabilité, **normes** bactériologiques et physicochimiques visant à éviter des risques pour la santé humaine.
 - Ex. Arsenic $< 0,01$ mg/L, pour éviter certains cancers et des effets cutanés, vasculaires et neurologiques
 - Ex. Fluorures $< 1,5$ mg/L, afin de prévenir la fluorose dentaire.

Objectifs esthétiques (OE)

- ❑ **recommandations** pour les paramètres ayant un impact sur les caractéristiques esthétiques de l'eau (couleur, odeur, goût et autres désagréments), mais n'ayant pas d'effet néfaste reconnu sur la santé humaine.
 - Ex : Fer (Fe) $< 0,3$ mg/L, donne un goût métallique et tache la lessive et les accessoires de plomberie
 - Ex. : Sulfures $< 0,05$ mg/L, fondé sur le goût et l'odeur.

Questions ?

Atelier 1

Tour de table

☐ Prénom et nom

☐ Fonction

☐ Département / service

☐ Quel est le lien entre les eaux souterraines et votre travail ?



Pause



15 min.

ACTIVITÉ 2

État des connaissances sur les
eaux souterraines de votre
territoire



Mieux comprendre la
ressource en eau
souterraine du territoire
de la ville de Québec.



Présentation
magistrale

+



Question
éclair



Les questions

- 1. Quelle est la nature des formations géologiques qui contiennent l'eau souterraine ?**
- 2. D'où vient l'eau souterraine (recharge) et où va-t-elle (résurgence) ?**
- 3. Est-ce que l'eau souterraine est potable ?**
- 4. Quelles sont les quantités exploitées et exploitables de l'eau souterraine de façon durable?**
- 5. Est-ce que l'eau souterraine est vulnérable aux activités humaines?**



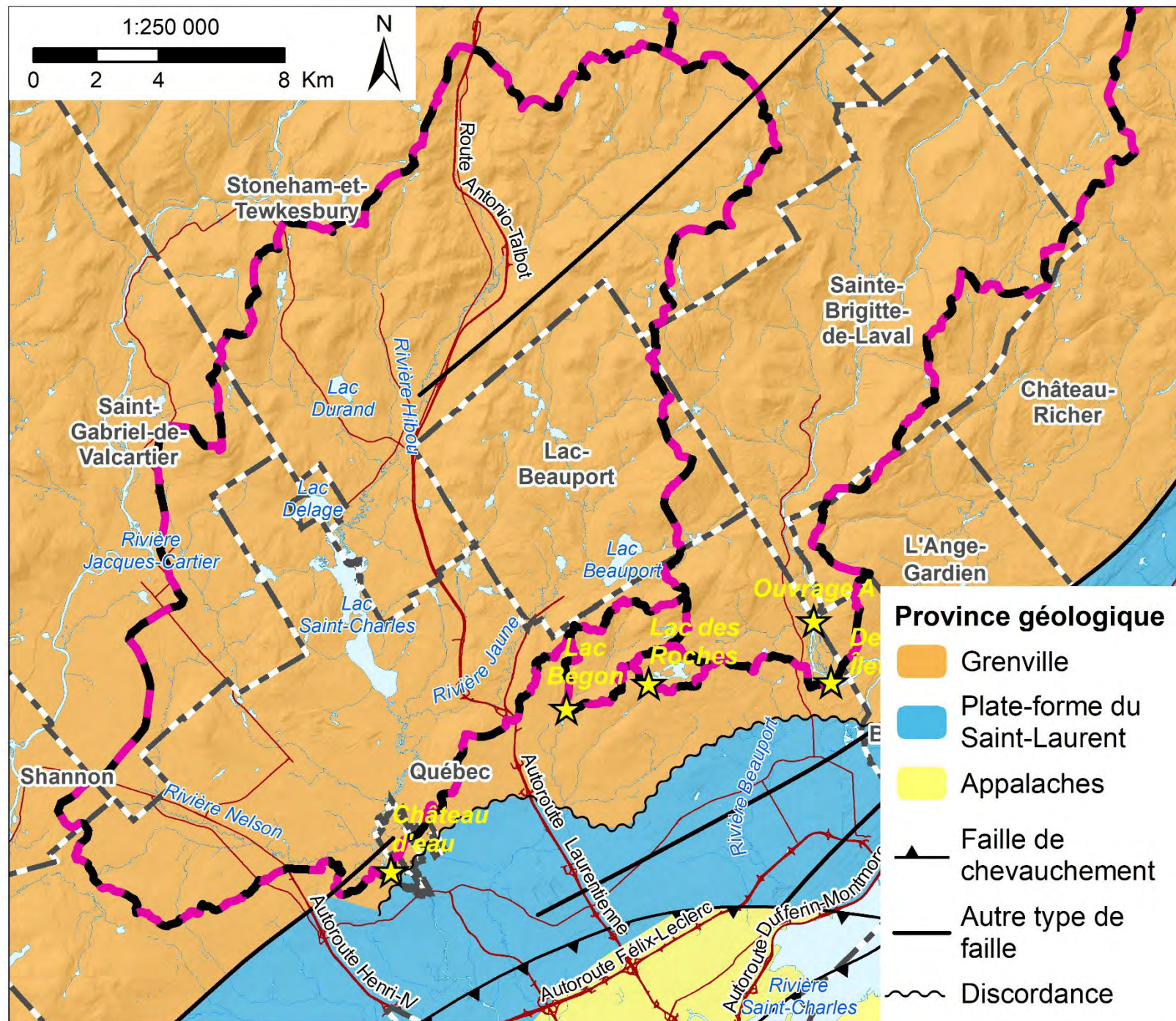
1. Quelle est la nature des formations géologiques qui contiennent l'eau souterraine?



Géologie du roc

□ Bassins versant exclusivement dans la province de Grenville

- Fait partie du Bouclier canadien
- Âgé de + de 1 000 Ma
- Ancienne chaîne de montagne comparable à l'Himalaya
- Grands massifs de roches ignées métamorphisées (ex.: granite, anorthosite, gneiss, amphibolite...)

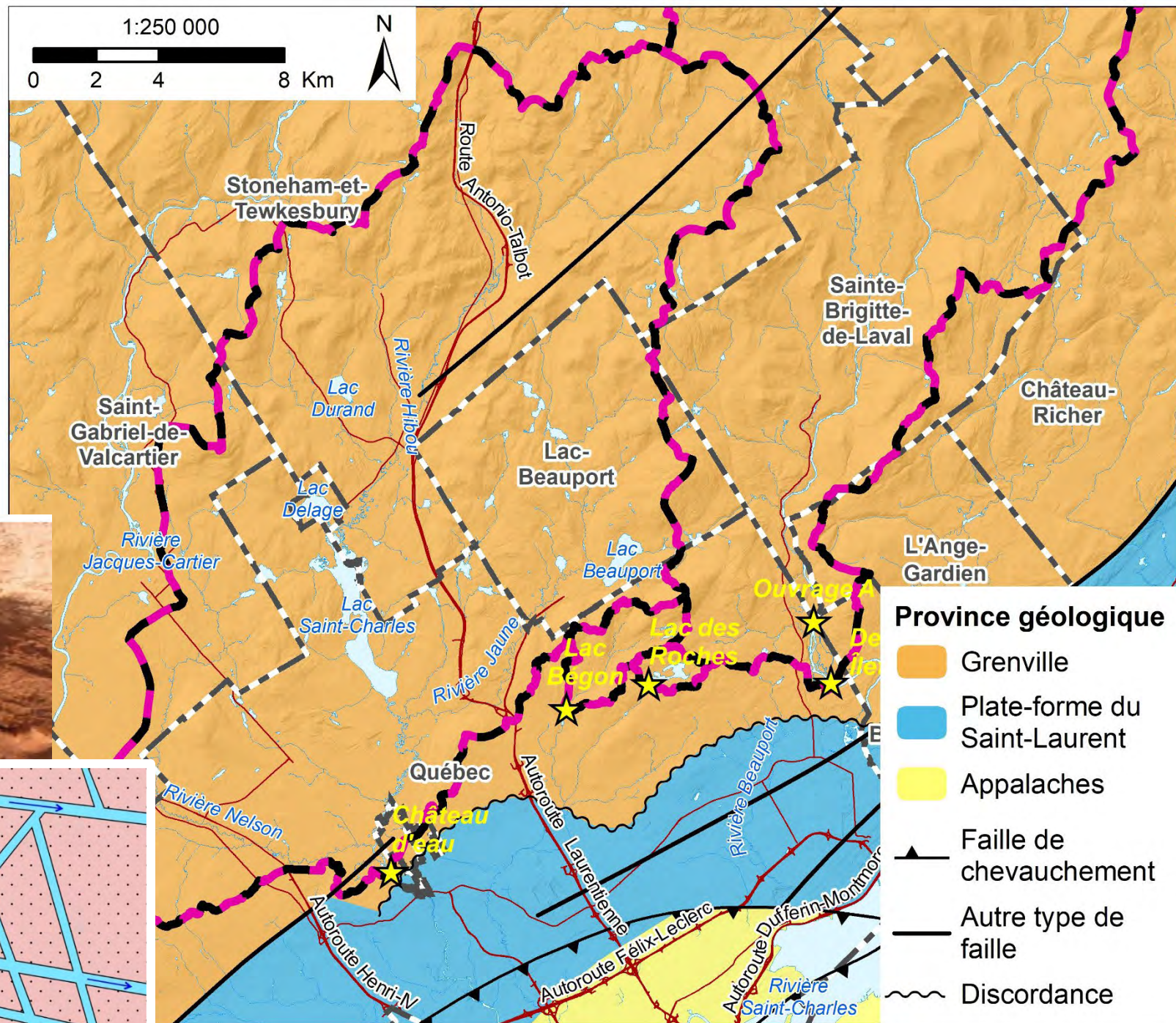
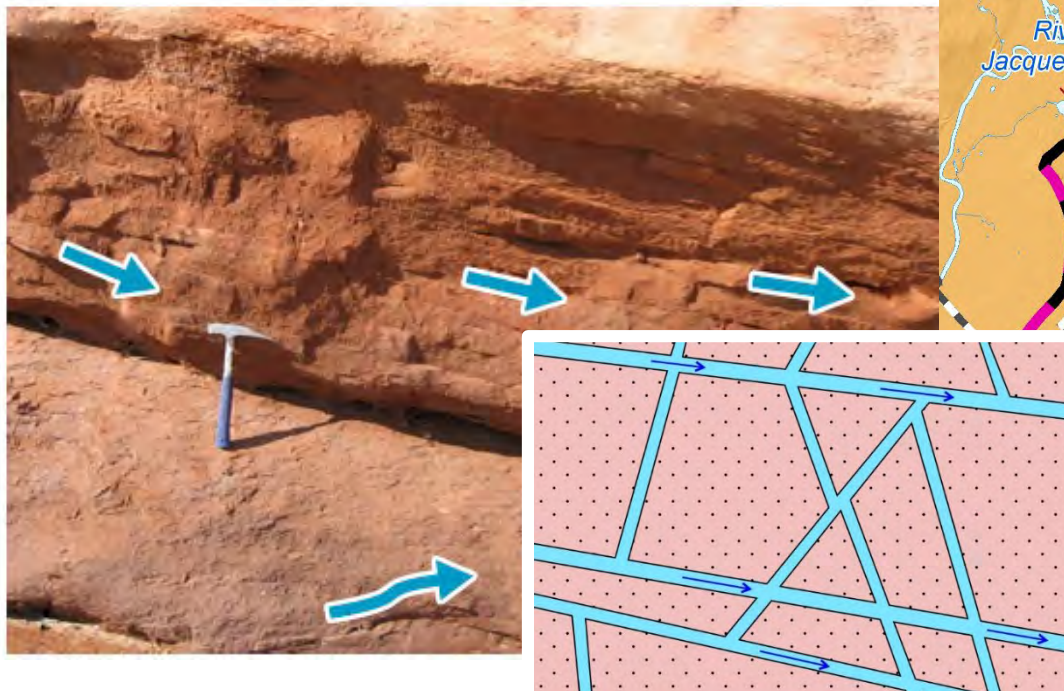




Géologie du roc

□ Aquifère de roc fracturé

- Peu productif
- Écoulement de l'eau à travers les fractures





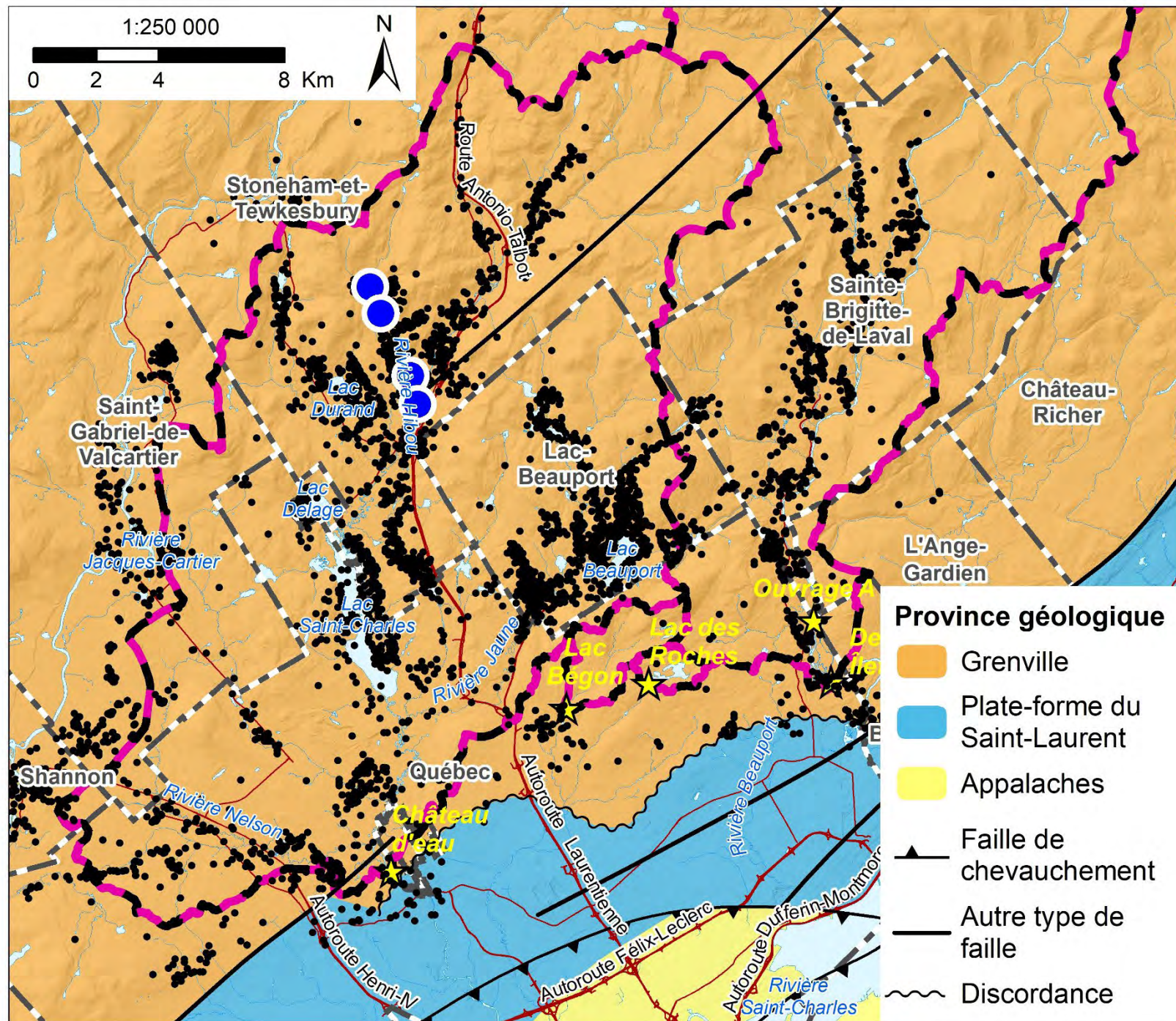
Géologie du roc

□ Aquifère de roc fracturé

- Alimente la vaste majorité des puits domestiques
 - Puits privé
- Alimente parfois des puits municipaux



Puits Stonham





Question éclair

Les aquifères de roc fracturé au meilleur potentiel d'exploitation se situent principalement au nord du territoire d'étude et sur les hauts topographiques.

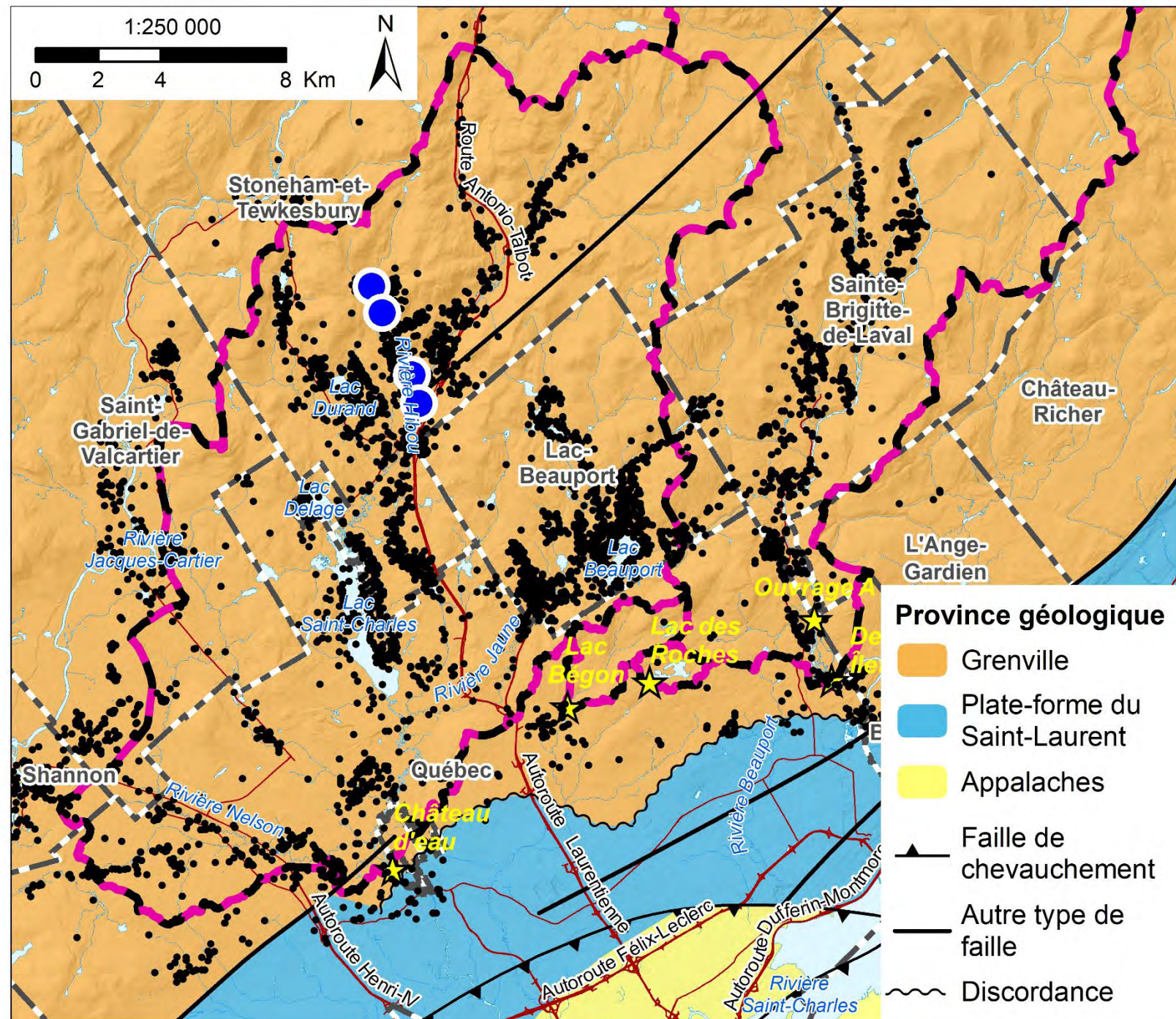
Vrai



Faux



Les aquifères de roc fracturé se situent partout sur le territoire.

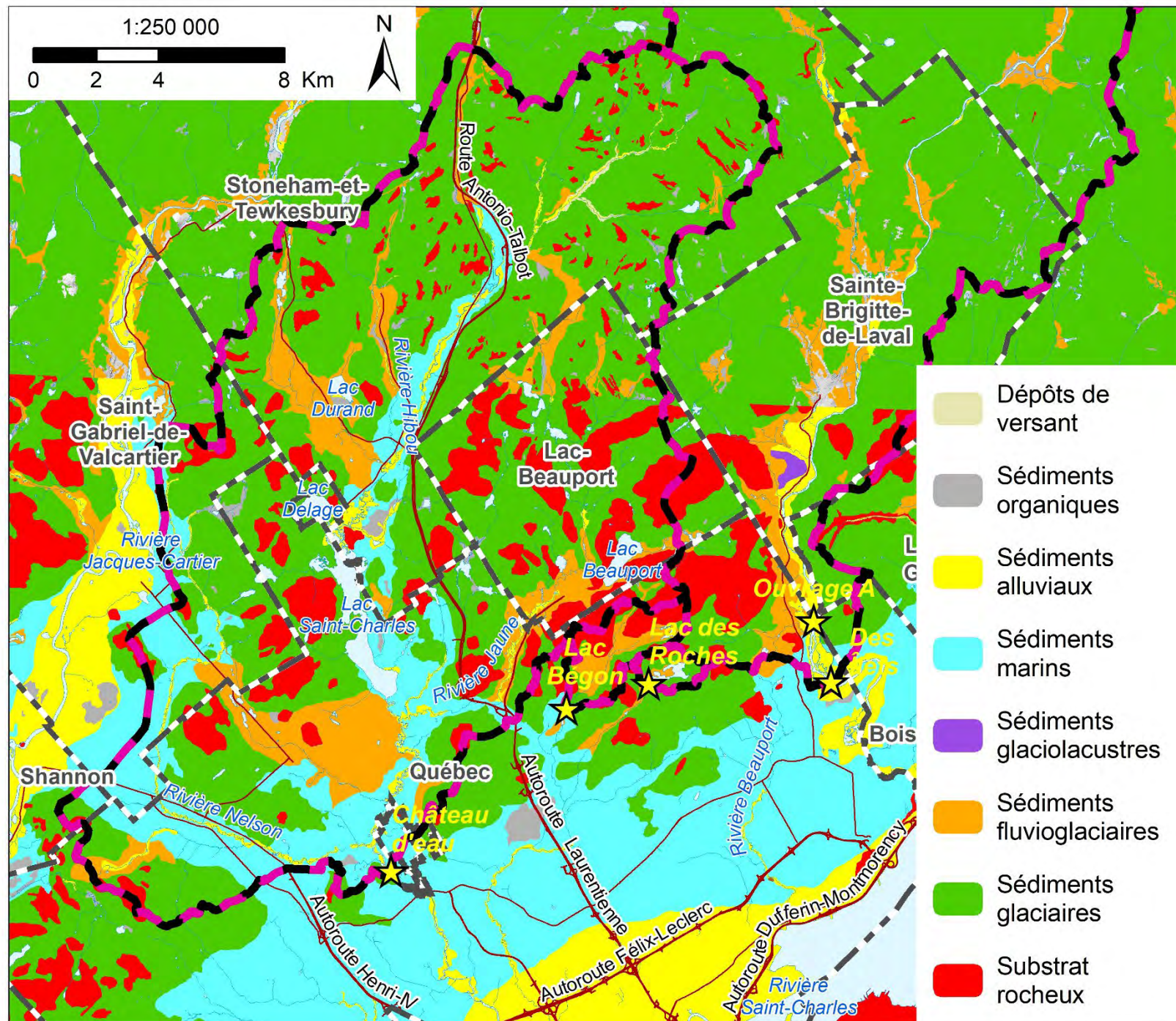




Géologie des dépôts meubles

□ Formations aquifères potentiels

- Sédiments alluviaux
- Sédiments marins
- Sédiments glaciolacustres
- Sédiments fluvioglaciaires

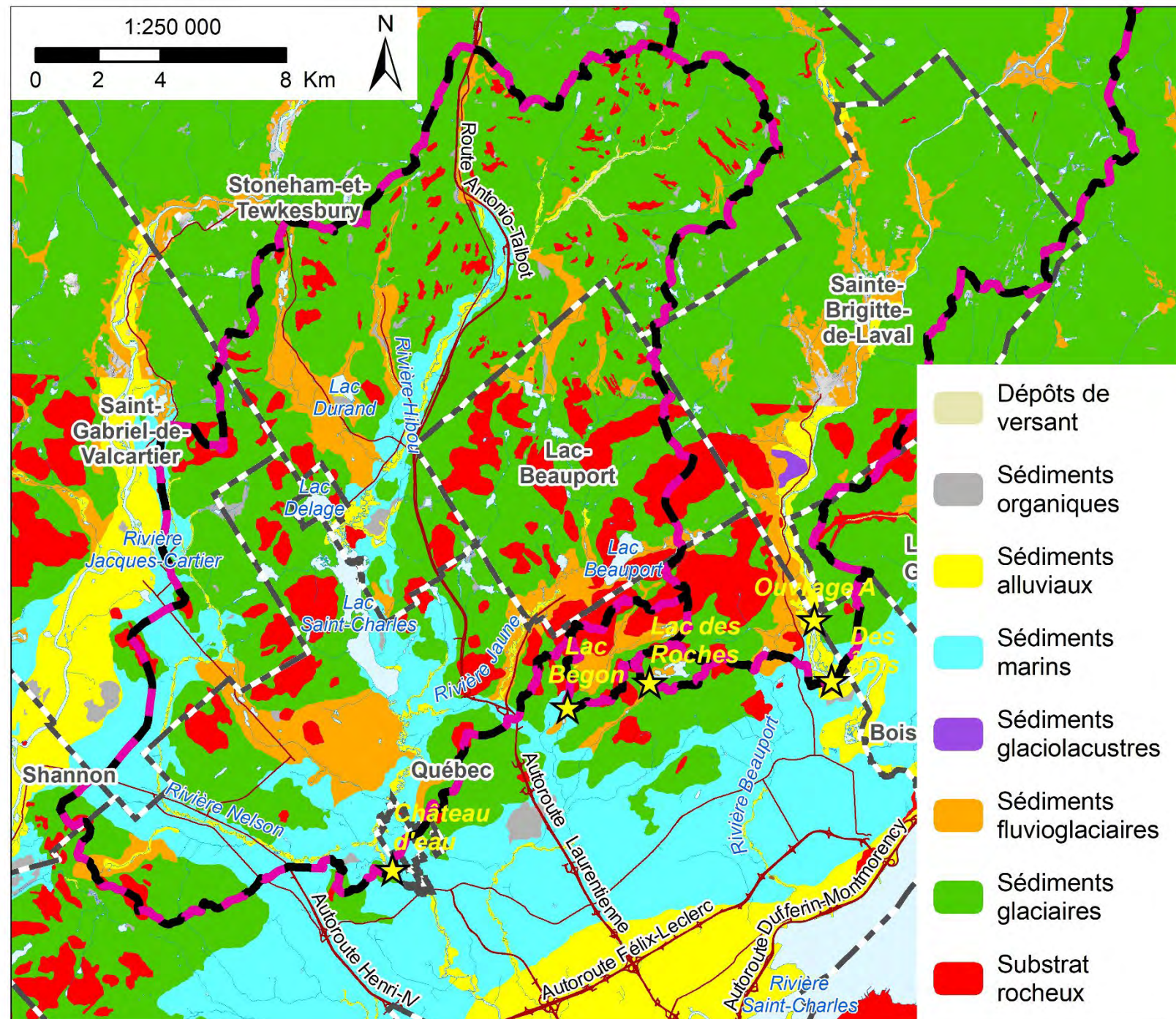
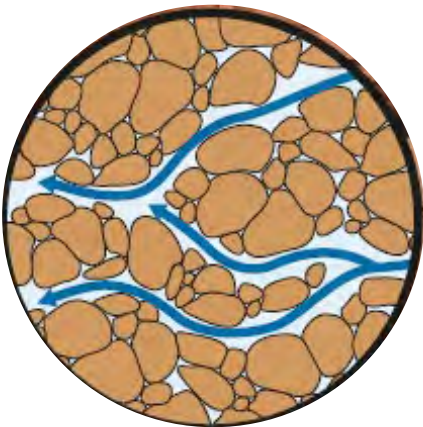
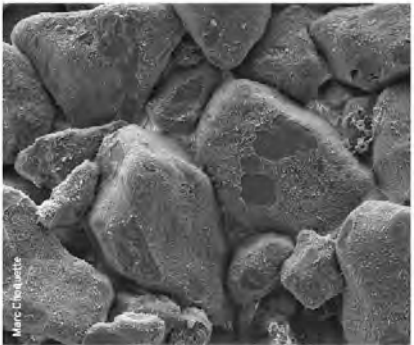




Géologie des dépôts meubles

□ Aquifère granulaire

- Peut être très productif
- Composé de sable et gravier
- Écoulement entre les pores





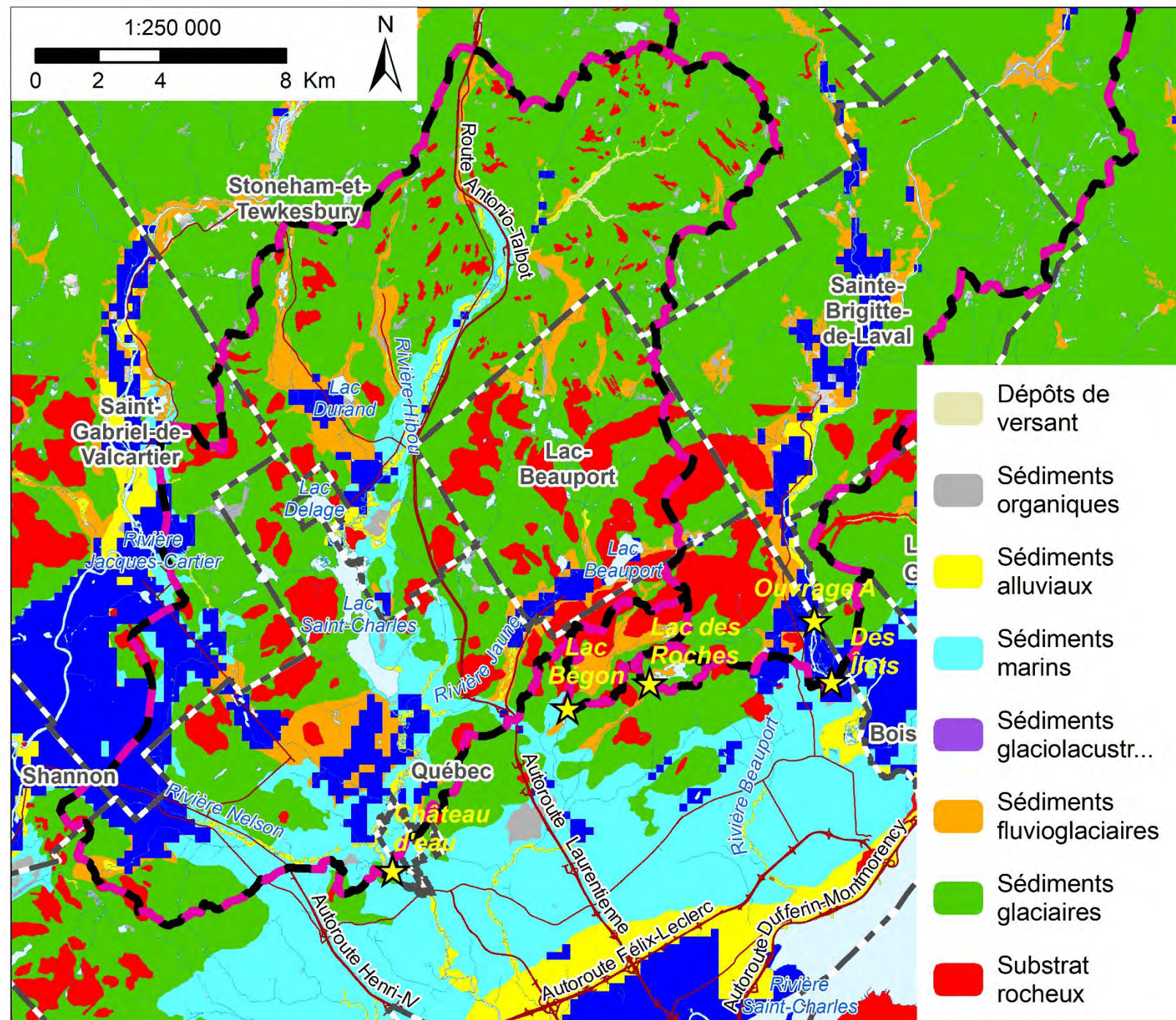
Géologie des dépôts meubles

□ Aquifère granulaire exploitable

➤ Épaisseur de + de 5m



Aquifère granulaire potentiel



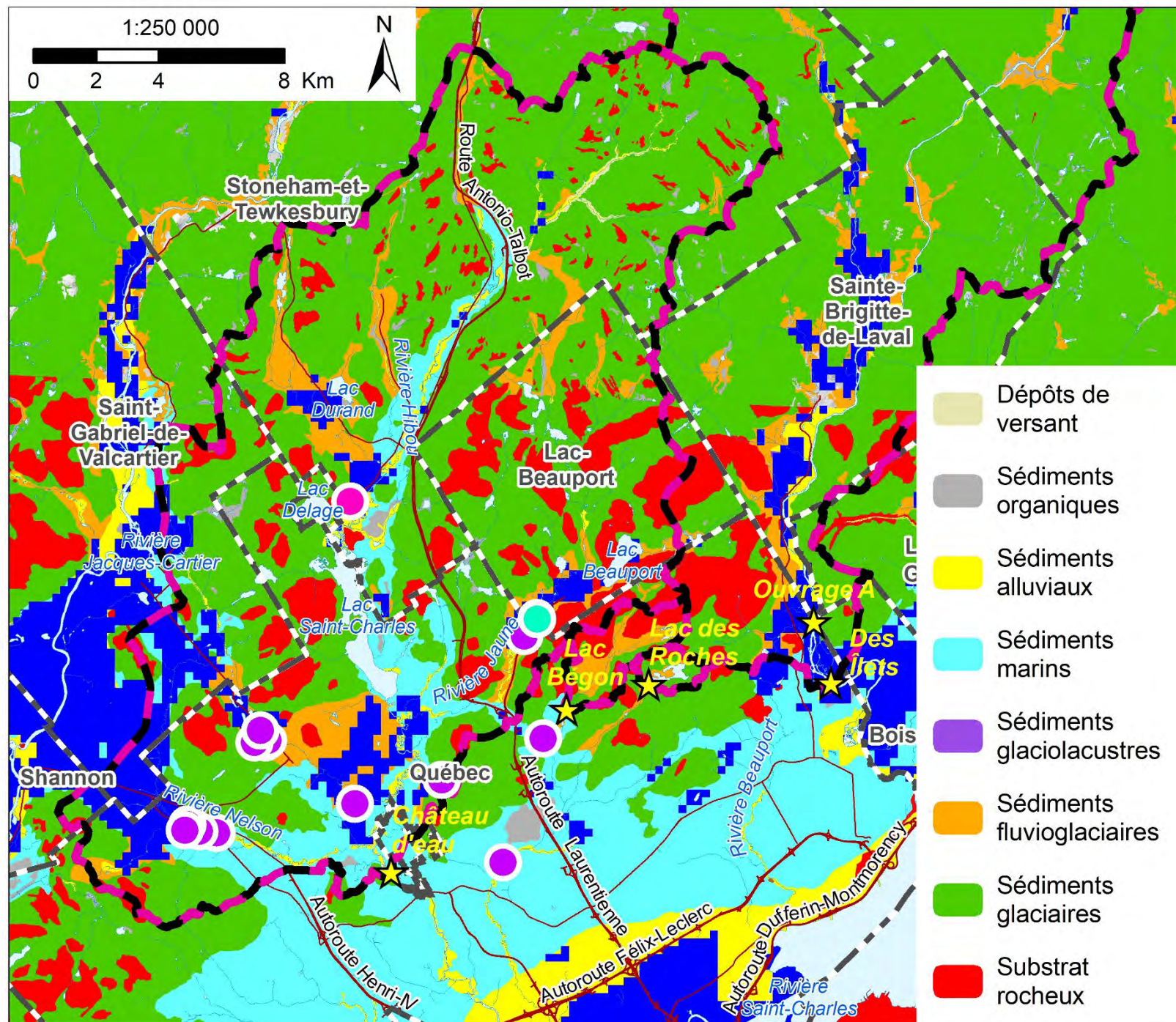


Géologie des dépôts meubles

□ Aquifère granulaire exploitable

- Alimente plusieurs puits municipaux

- Puits Ville de Québec
- Puits Lac-Beauport
- Puits Lac-Delage





Question éclair

Les dépôts meubles les plus épais se retrouvent sur les hauts topographiques

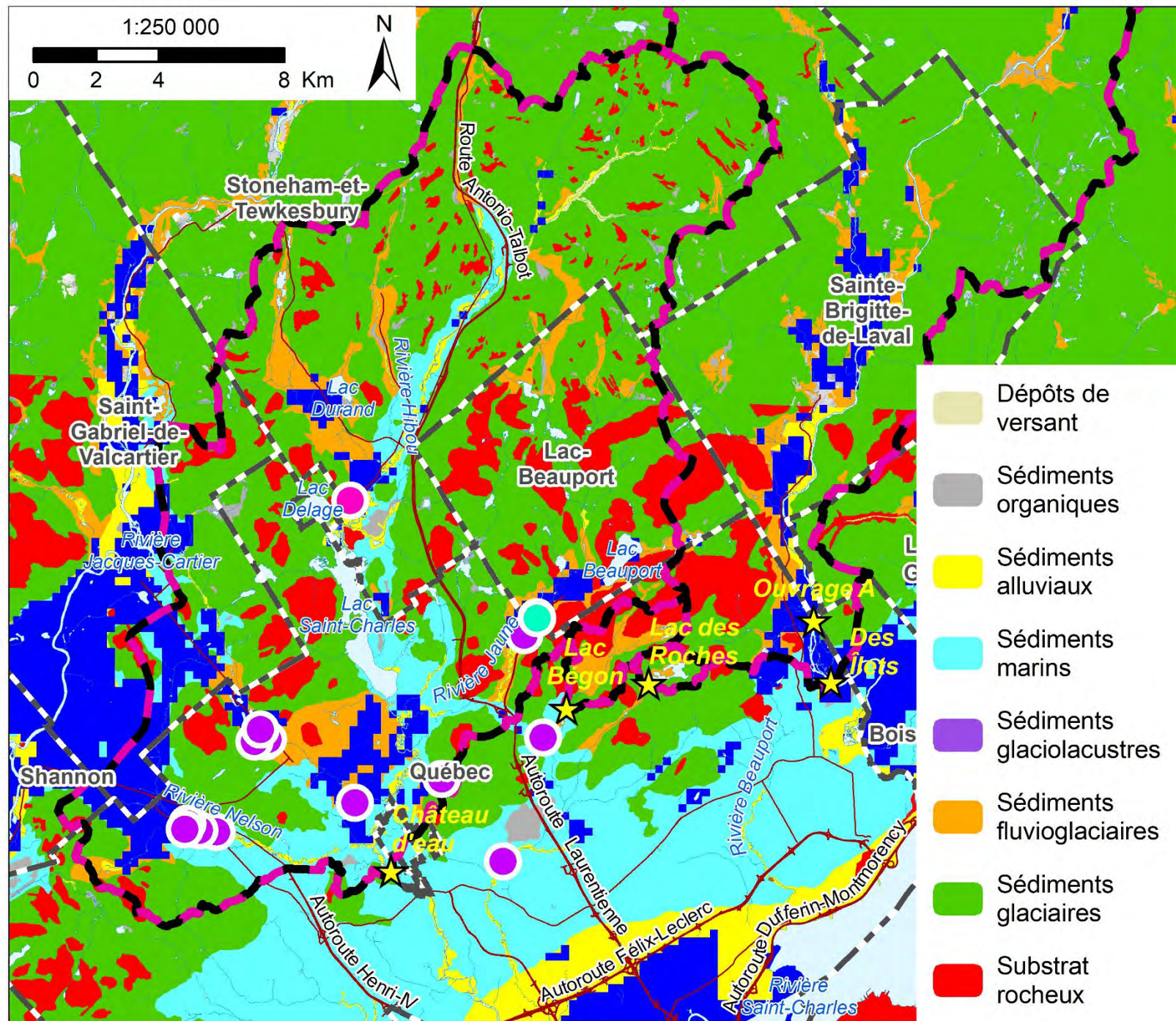
Vrai



Faux



Les dépôts meubles les plus épais se retrouvent dans le creux des vallées.

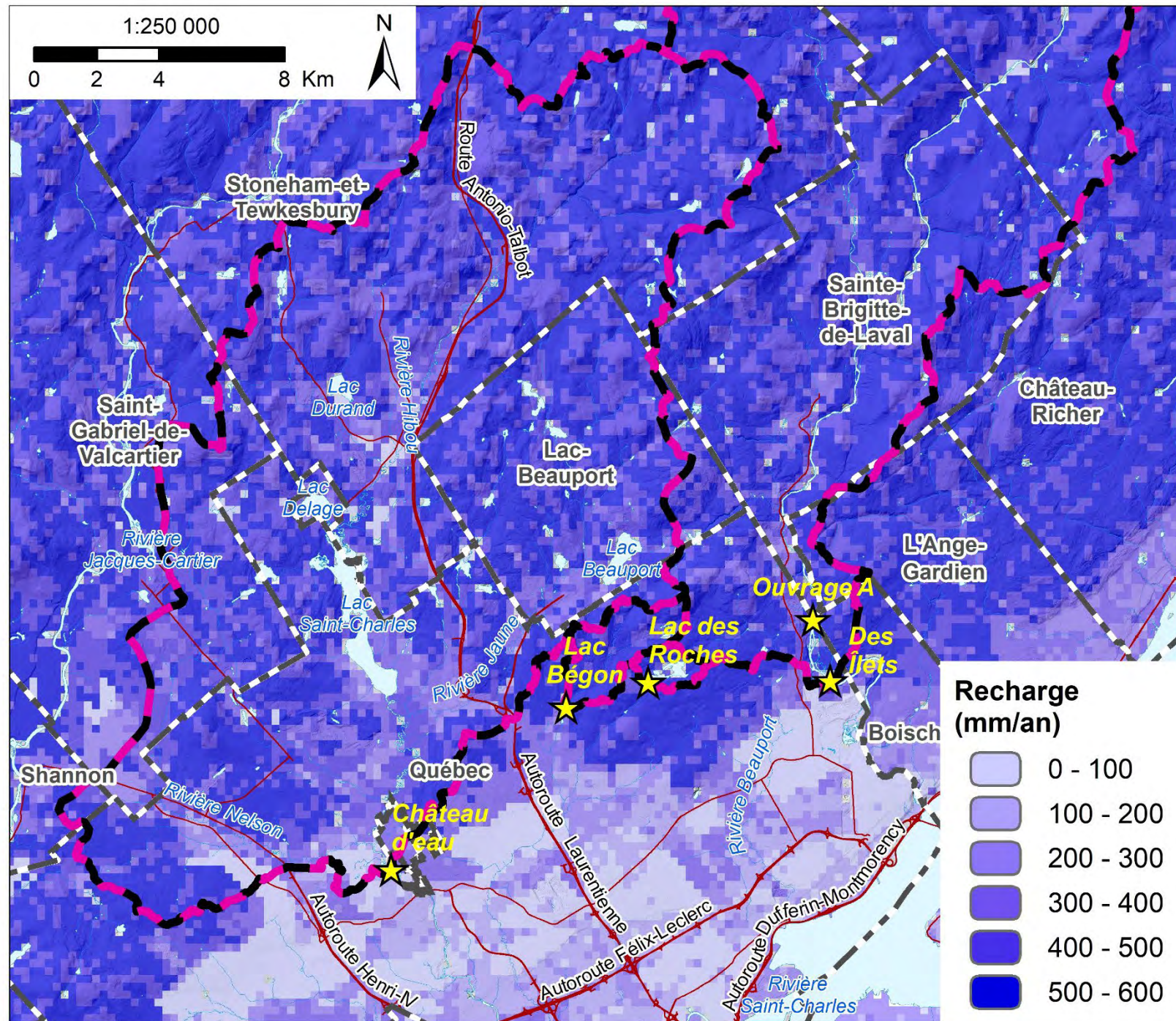
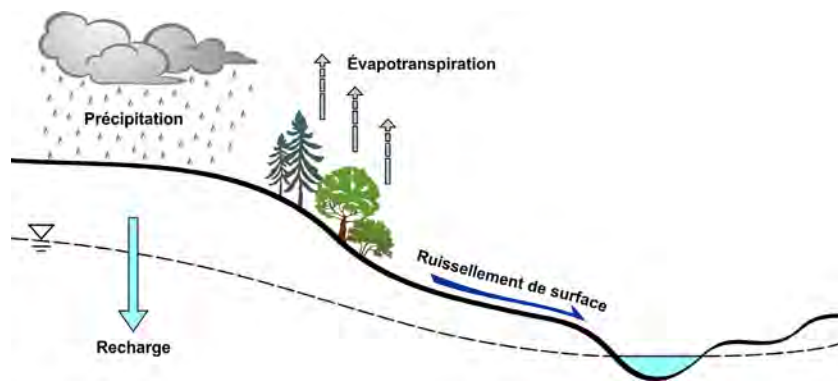




2. D'où vient l'eau souterraine
(recharge) et où va-t-elle
(résurgence)?



Recharge annuelle





Question éclair

La recharge est influencée par l'occupation du sol.

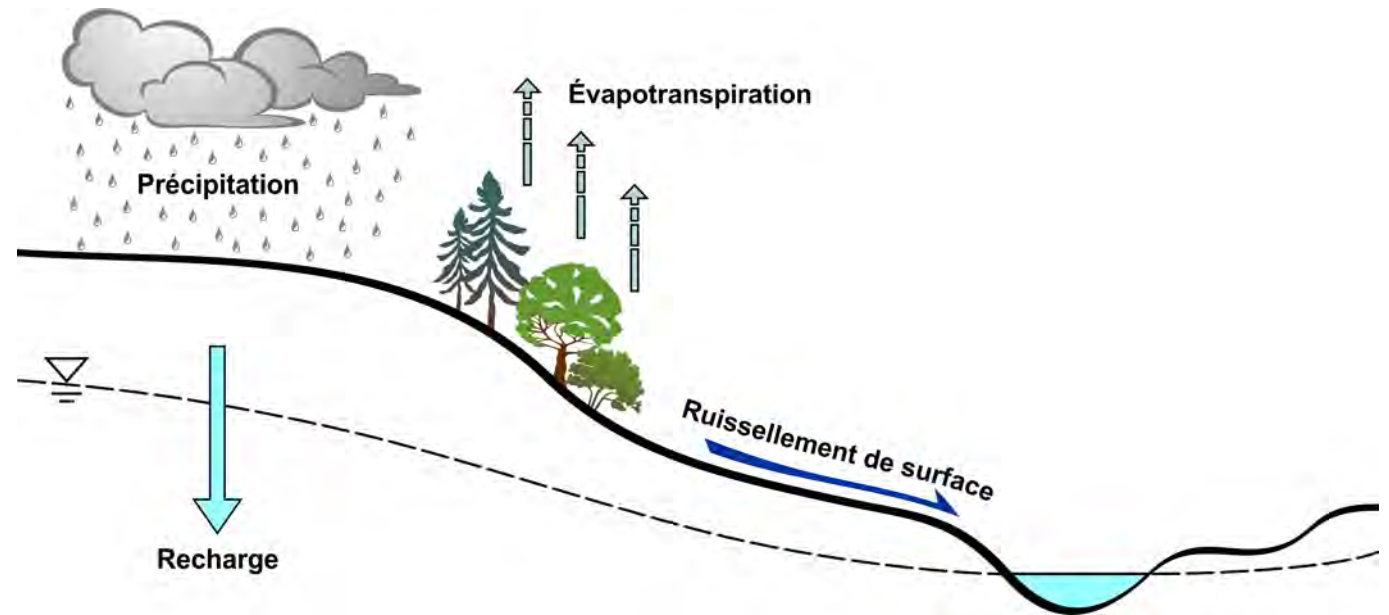
Vrai



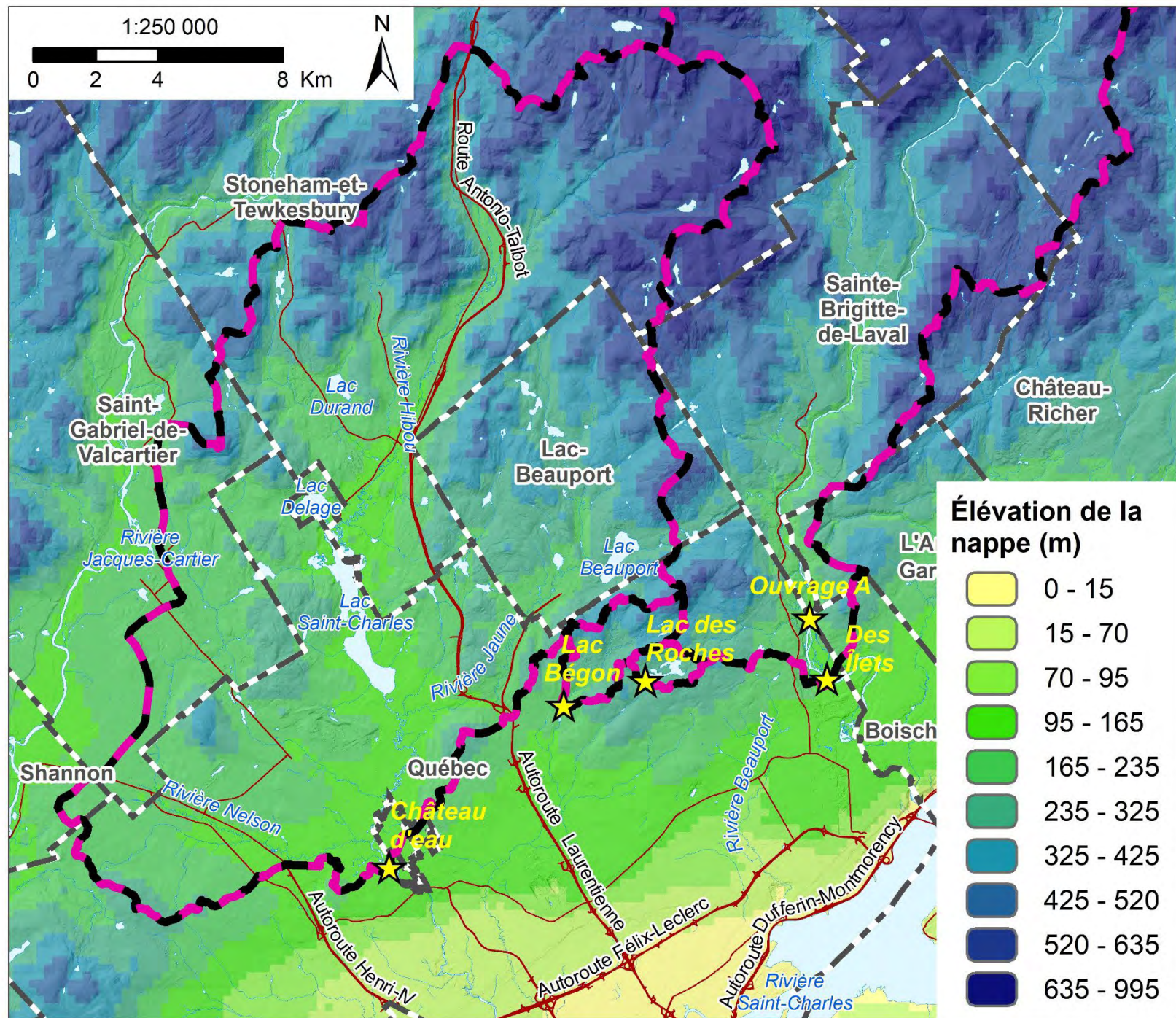
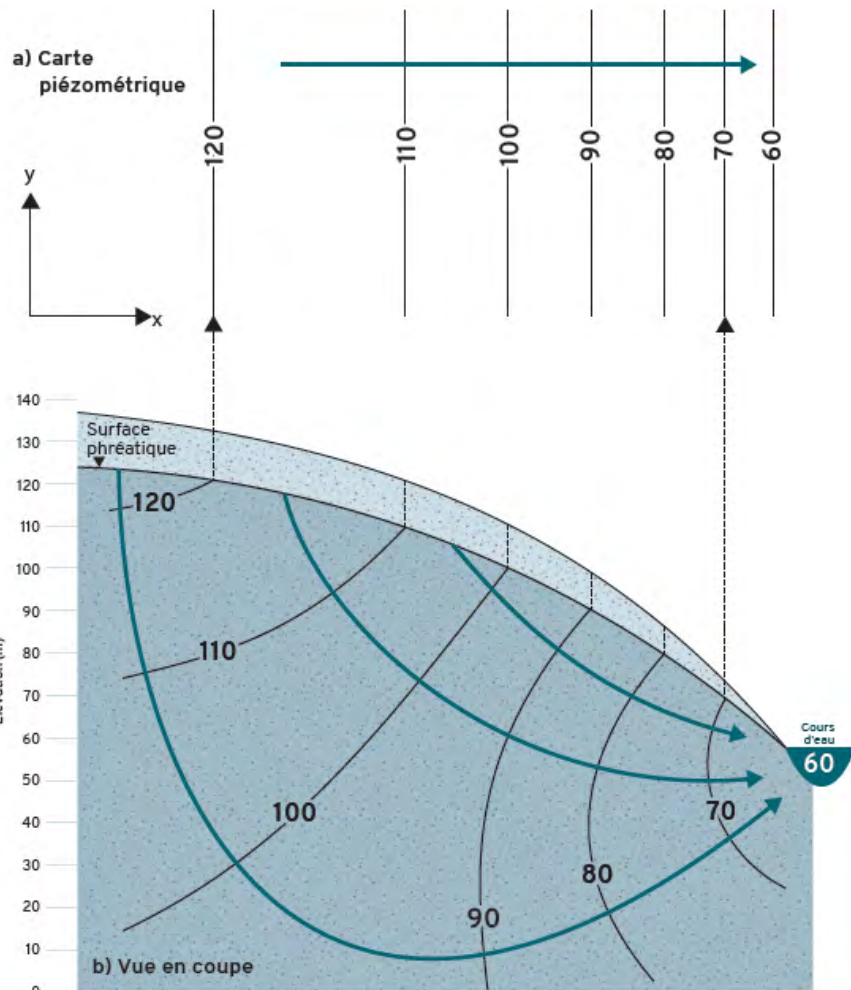
Faux



L'occupation du sol affecte le bilan hydrologique.

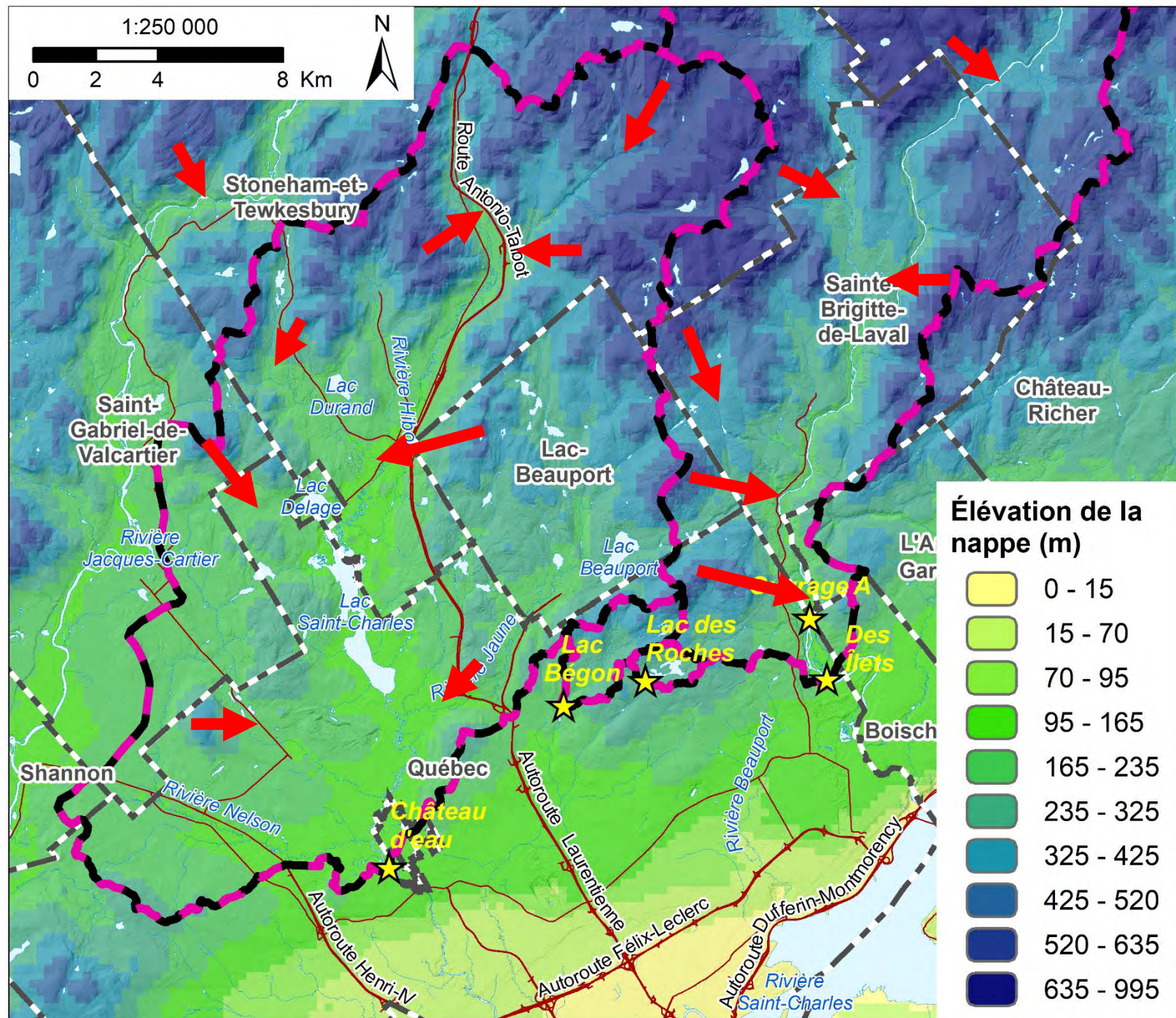
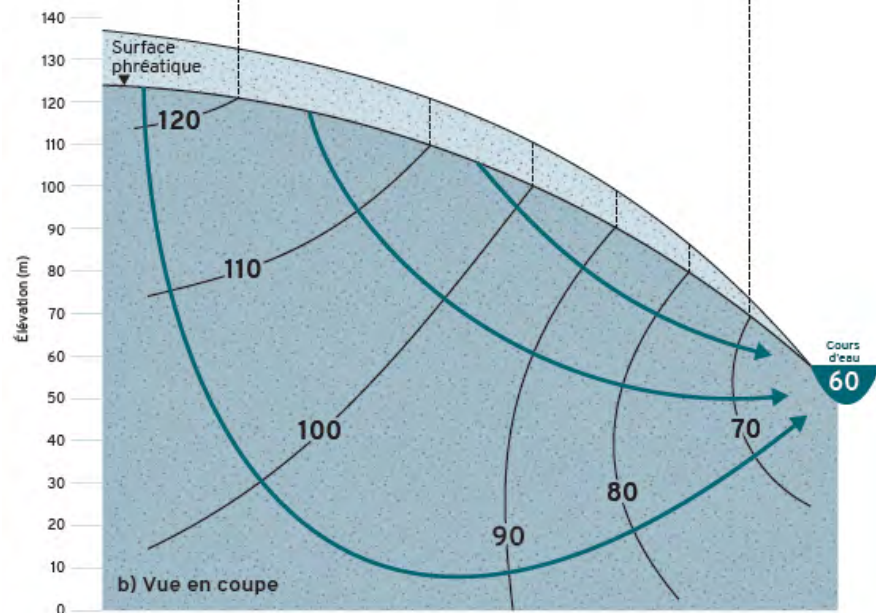
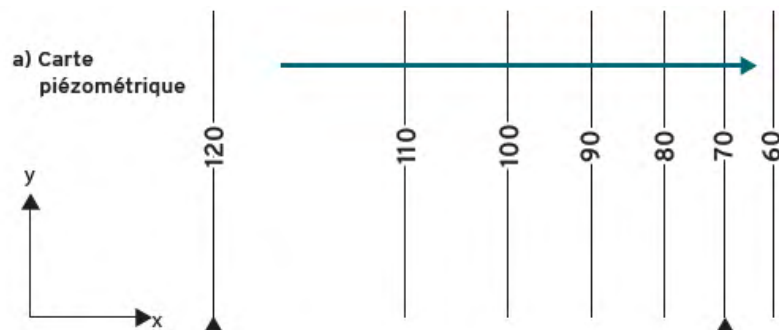


Piézométrie

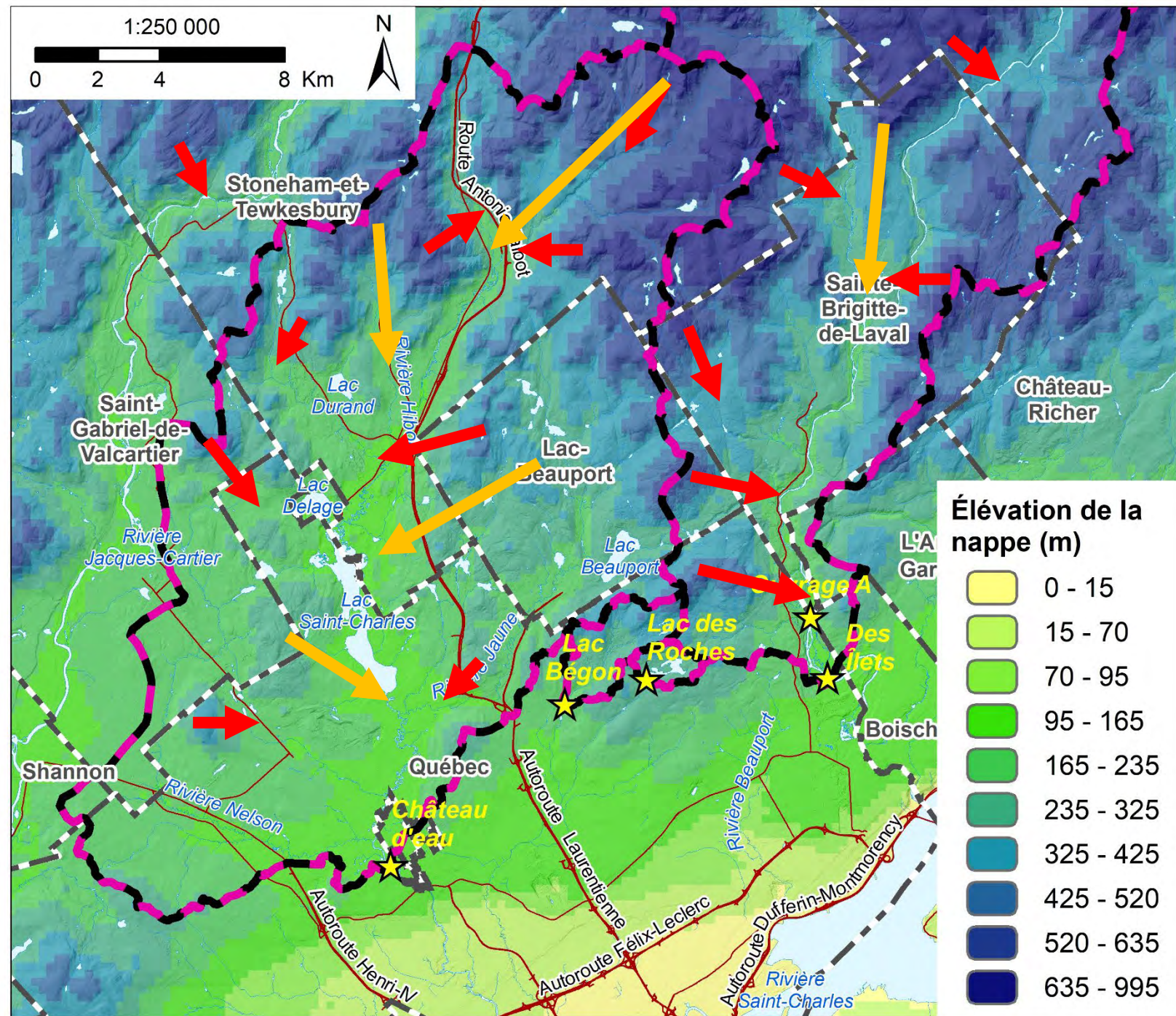
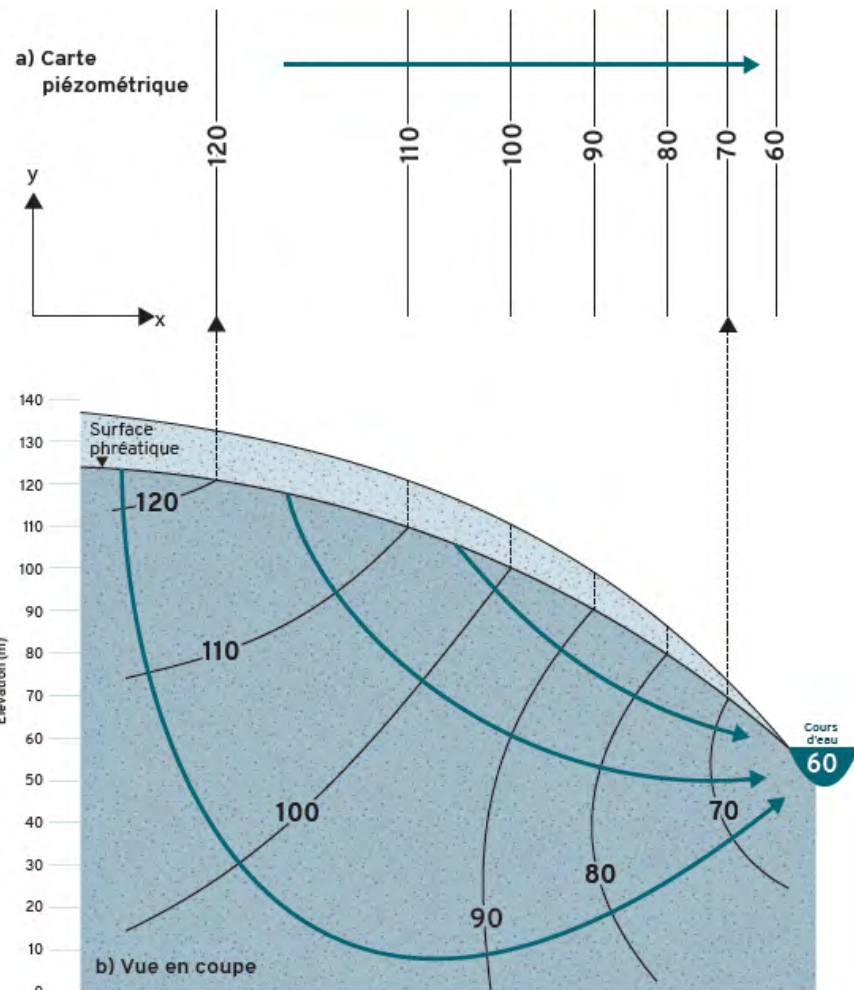


Piézométrie

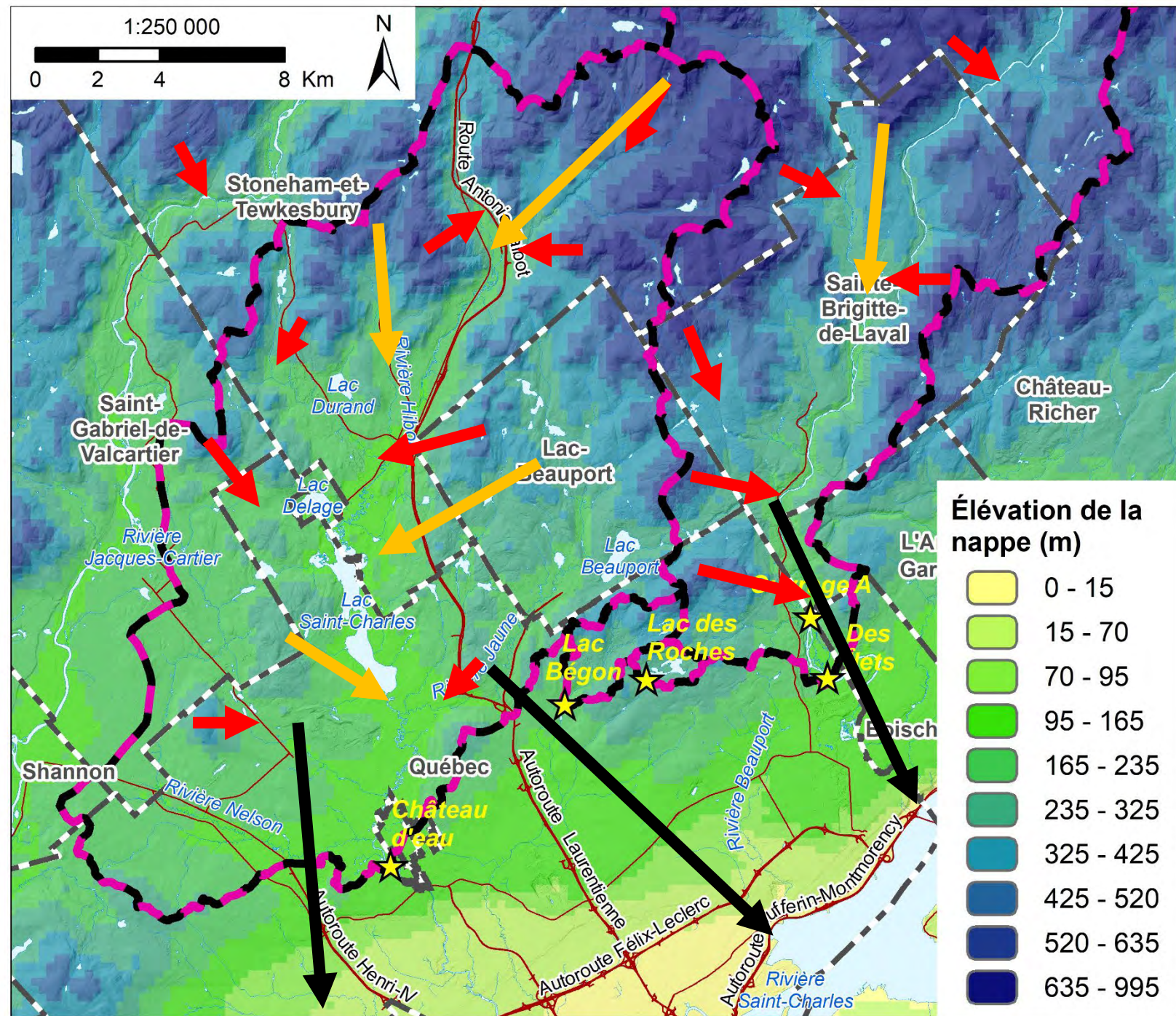
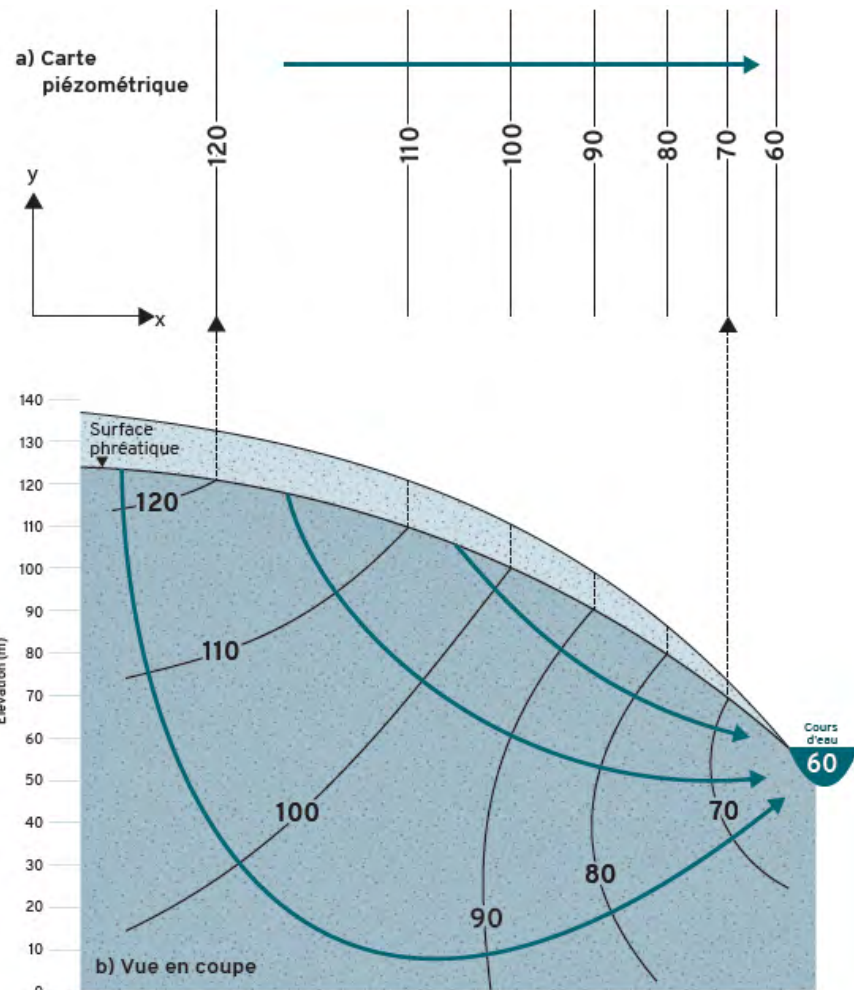
a) Carte piézométrique



Piézométrie



Piézométrie





Question éclair

Une recharge élevée diminue la sévérité des étiages

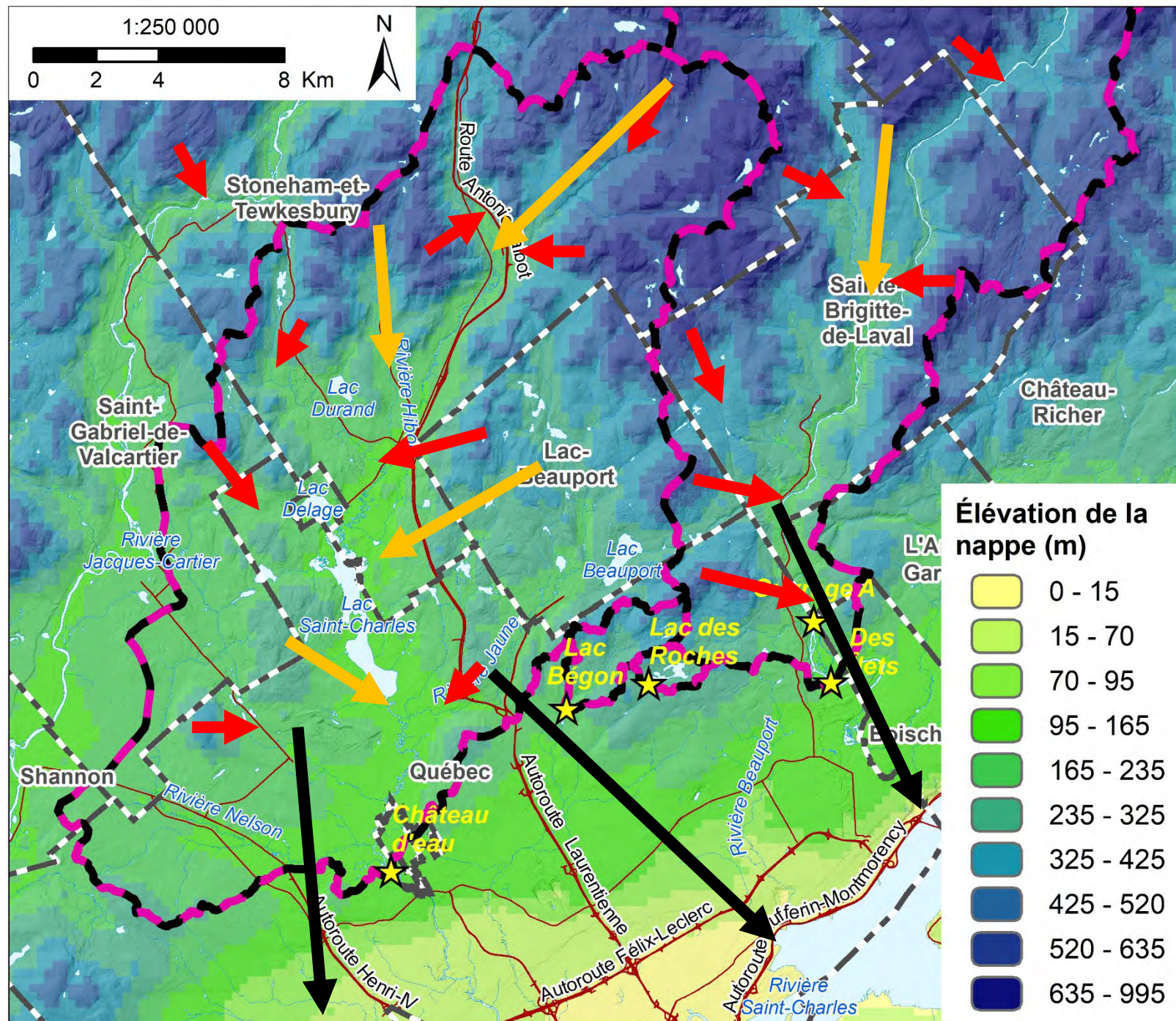
Vrai



Faux



Plus la recharge est élevée, plus les nappes phréatiques seront hautes. Les résurgences d'eau souterraine dans les rivières seront ainsi favorisées, diminuant la sévérité des étiages.



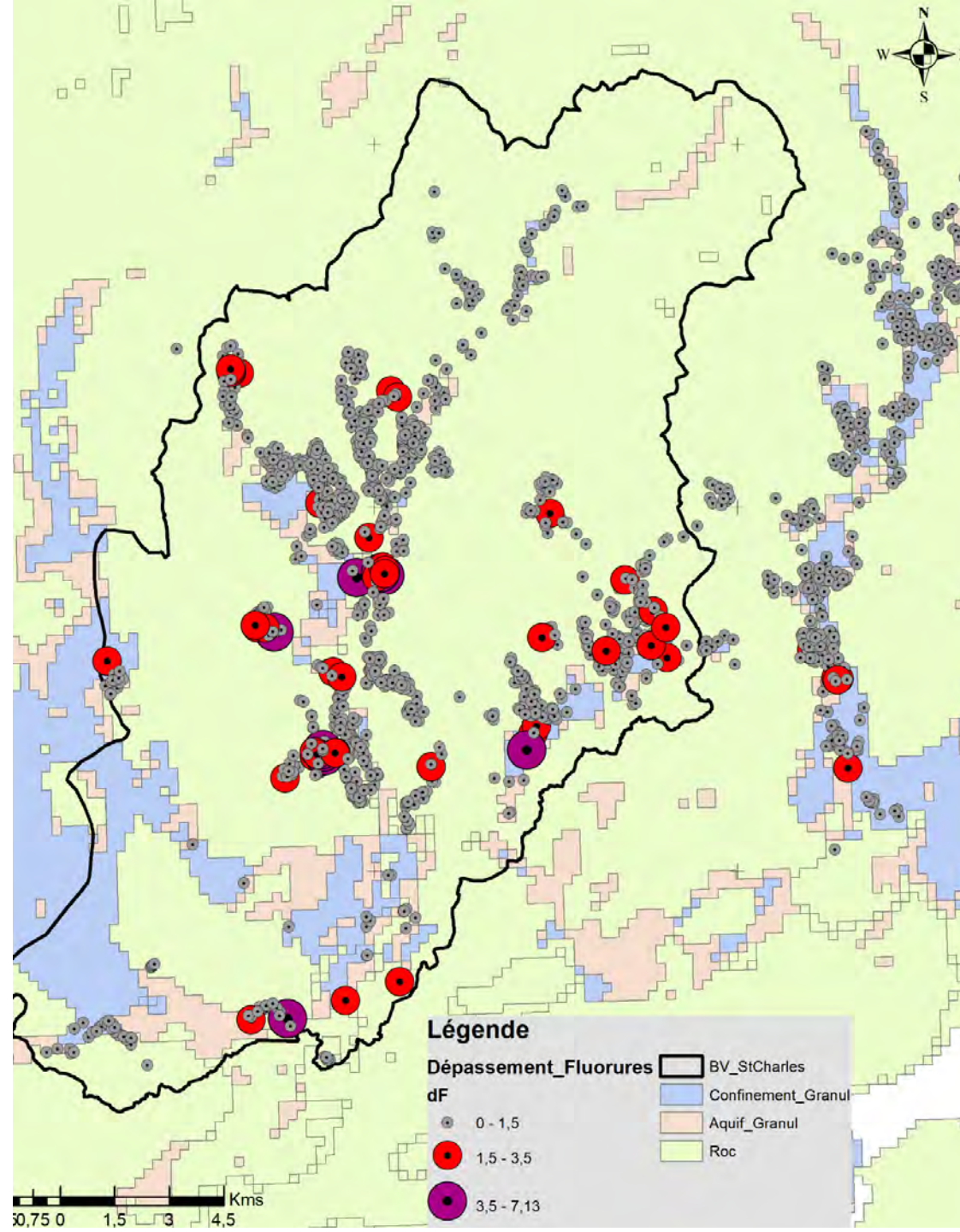


3. Est-ce que l'eau souterraine est potable ?

Critères de potabilité

Fluorures

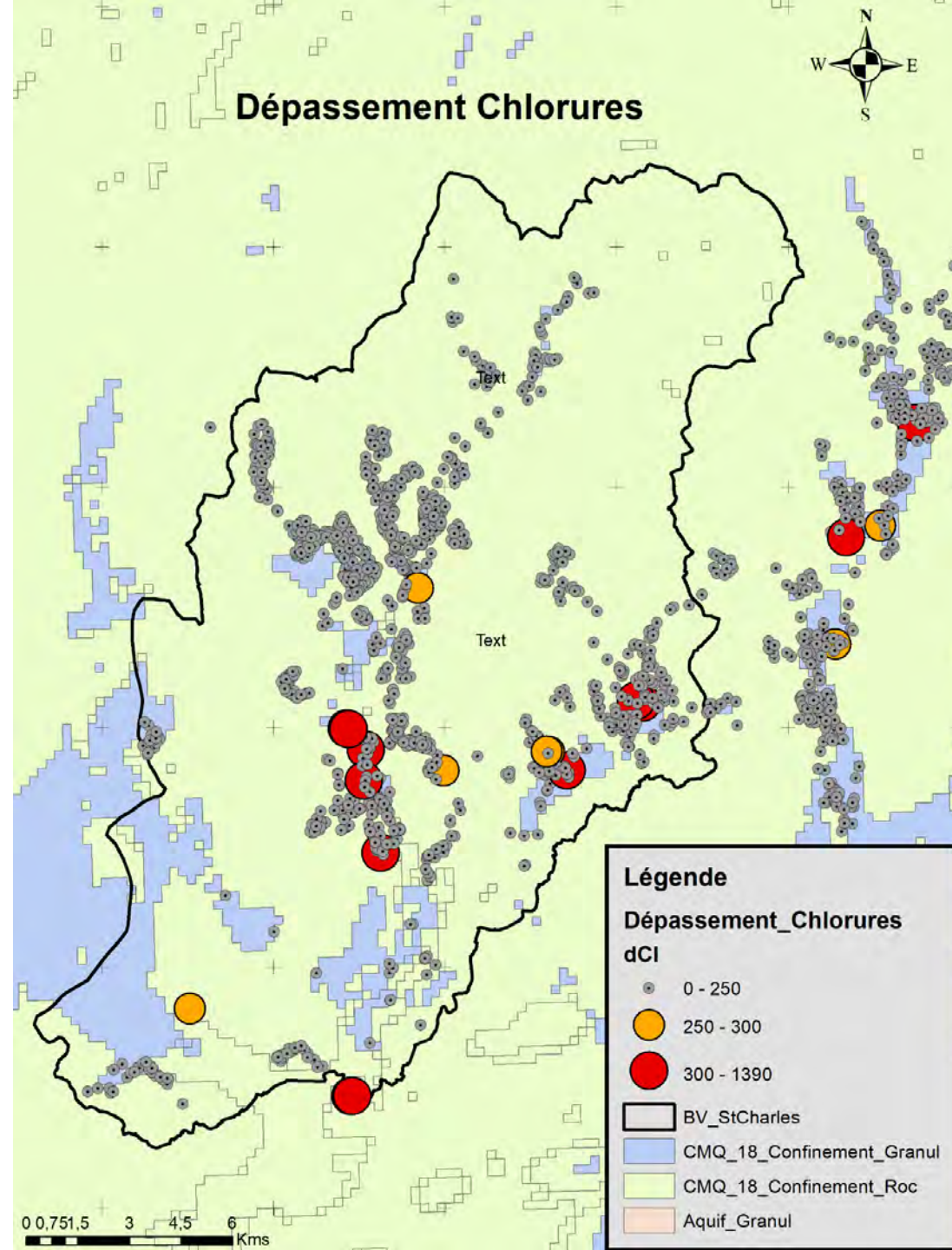
- Concentration maximale acceptable : 1.5 mg/L
- Dépassements : 56 sur 1 763



Critères de potabilité

Chlorures

- Objectif esthétique : 250 mg/L
- Dépassements : 19 sur 1 763



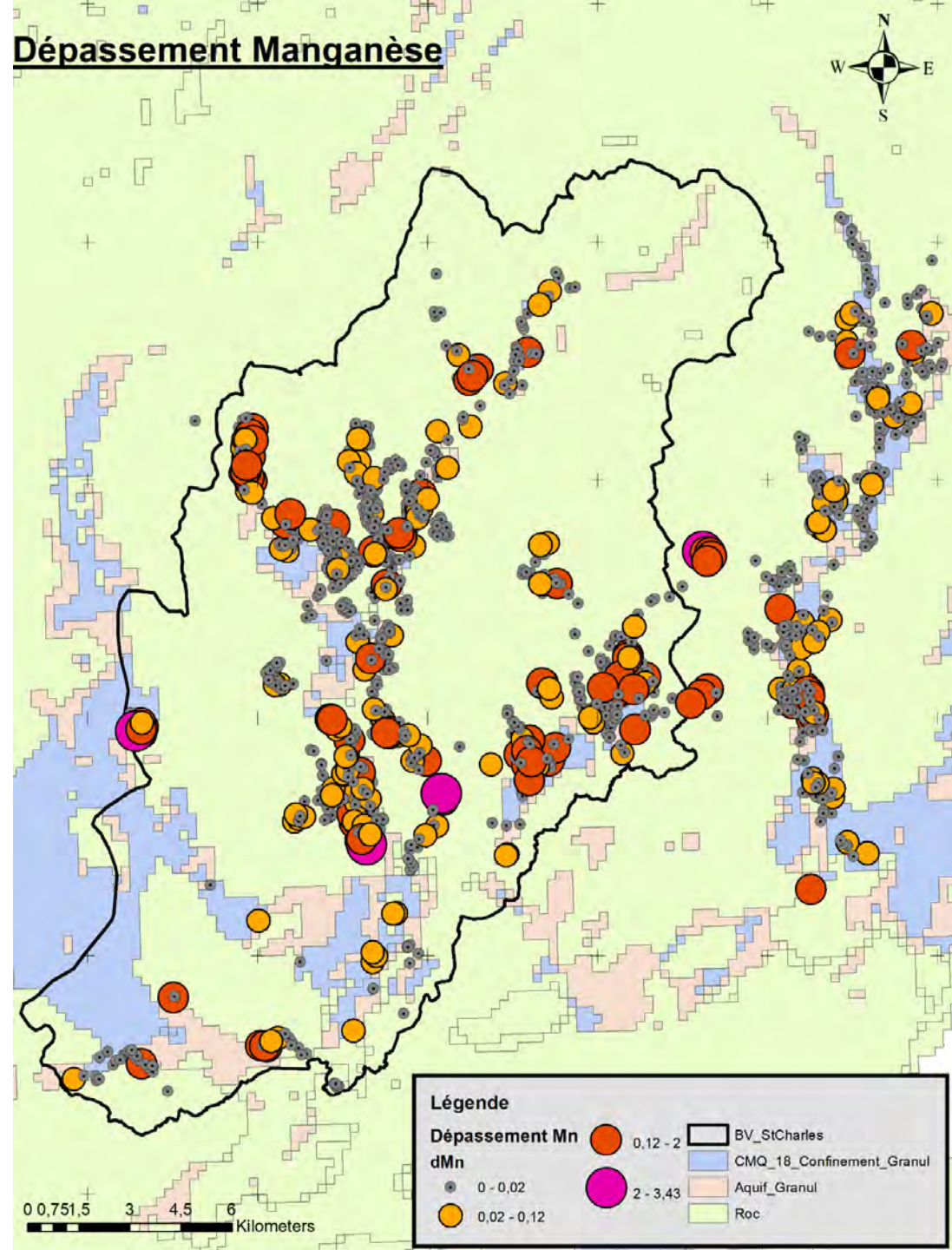
Critères de potabilité

❑ Manganèse

- Objectif esthétique: 0.02 mg/L
- Dépassements : 175 sur 1 763

❑ Manganèse

- Concentration maximale acceptable : 0.12 mg/L
- Dépassements : 93 sur 1 763





Question éclair

La qualité naturelle de l'eau souterraine est relativement bonne.

Vrai



Les dépassements des paramètres pour la santé ne dépassent pas 10 % des échantillons

Faux





Question éclair

Parmi les suivants, quel est le paramètre de la qualité de l'eau qui transite par les eaux souterraines et qui est le plus susceptible d'affecter les eaux de surface ?



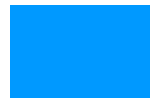
Chlorures



Coliformes fécaux



Nitrites-nitrates



Toutes ces réponses



4. Quelles sont les quantités exploitées et exploitables de l'eau souterraine de façon durable?

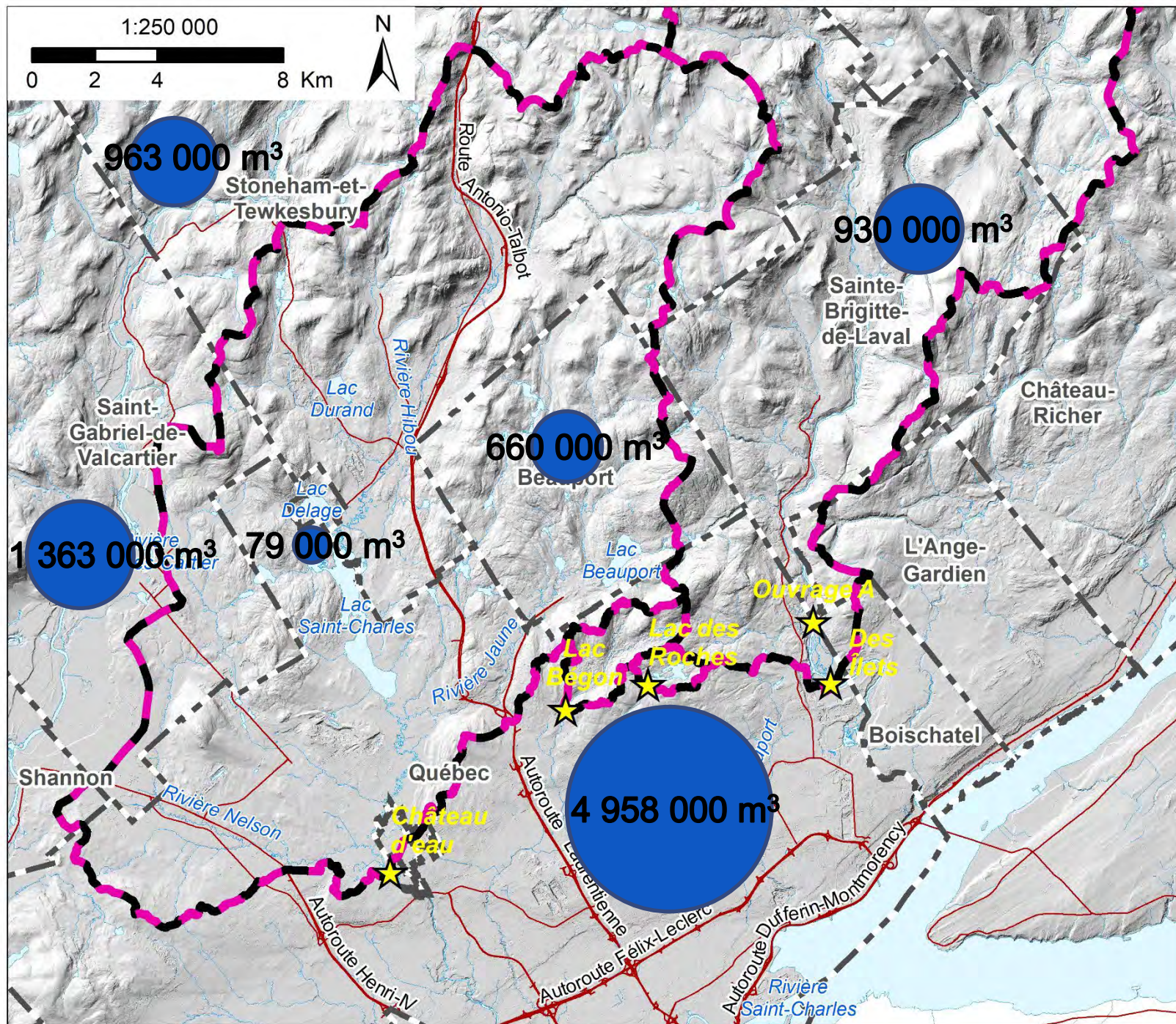


Quantité exploitée

Estimations pour 2009 – 2013

Eau souterraine seulement

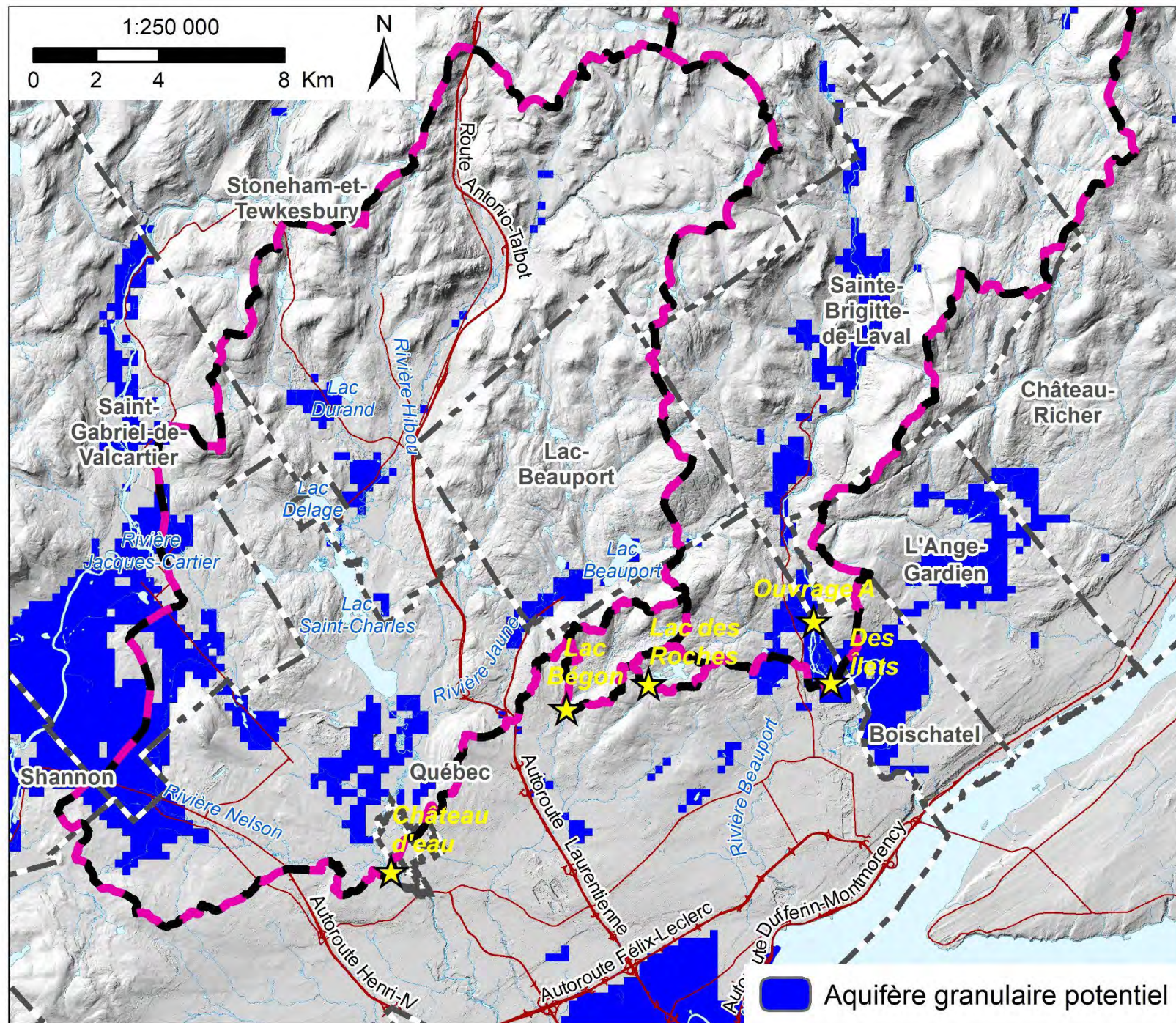
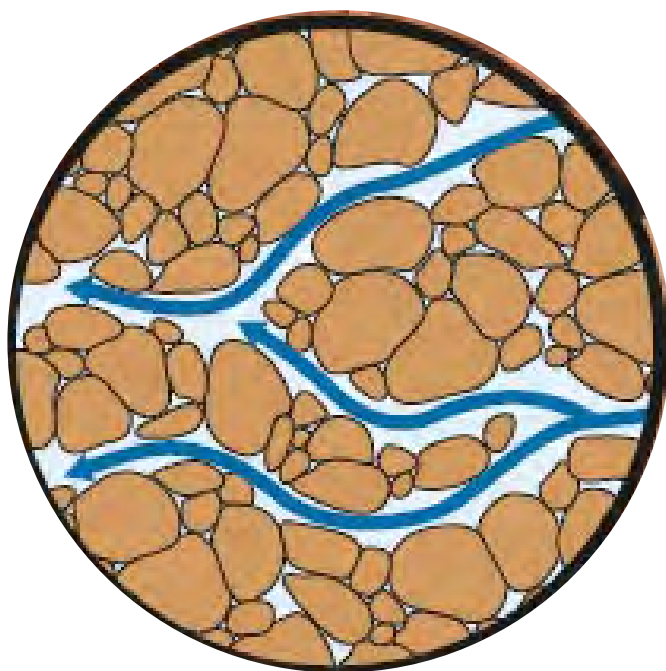
Municipalité	Part de la quantité exploitée de la recharge annuelle
Lac-Beauport	2.2 %
Lac-Delage	12.1 %
Sainte-Brigitte-de-Laval	1.8 %
Saint-Gabriel-de-Valcartier	0.7 %
Stoneham-et-Tewkesbury	0.3 %
Ville de Québec	3.9 %





Quantité exploitable dans les aquifère de dépôts meubles

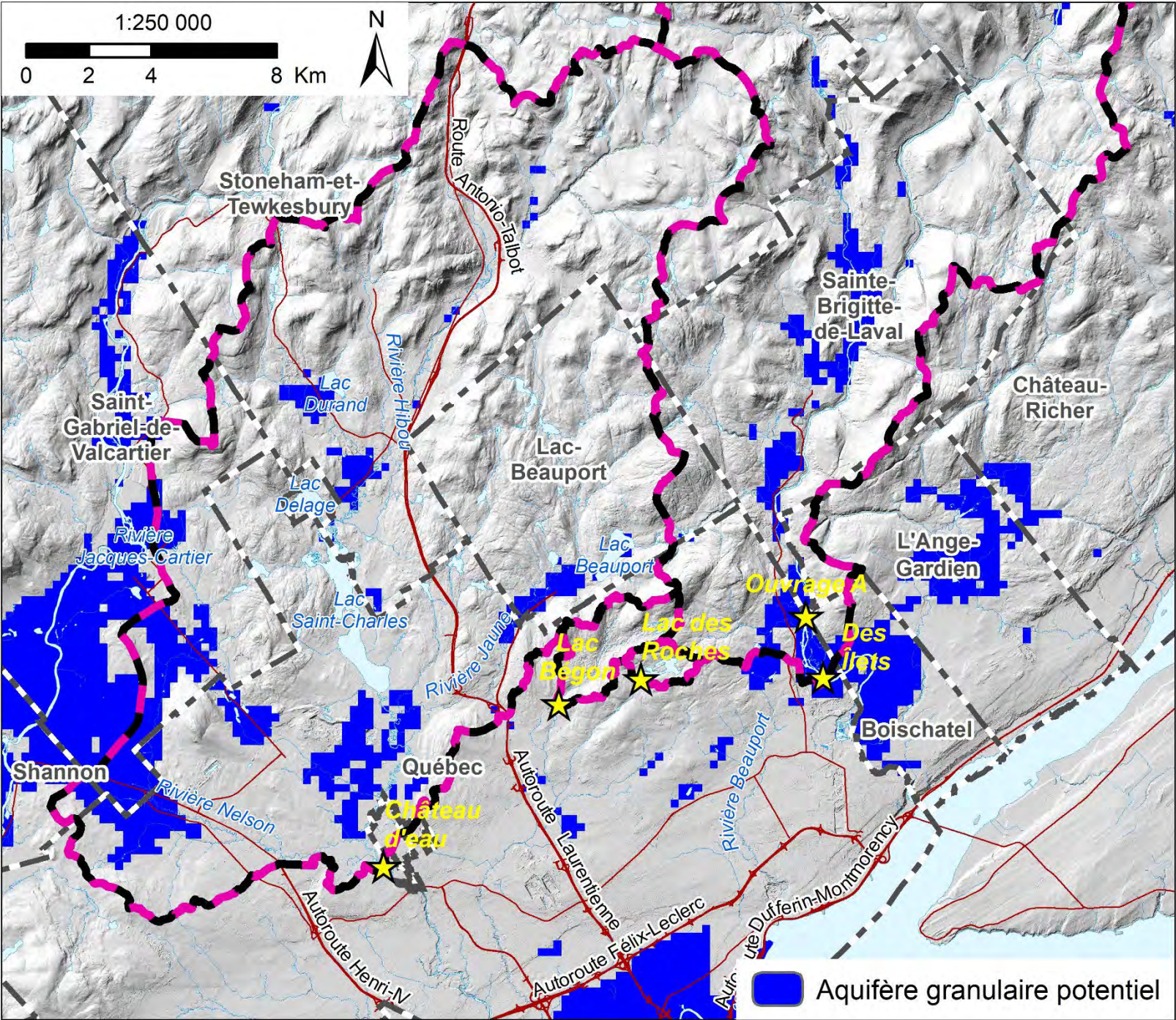
□ = Porosité de drainage
x Épaisseur de l'aquifère





Quantité exploitable dans les aquifère de dépôts meubles

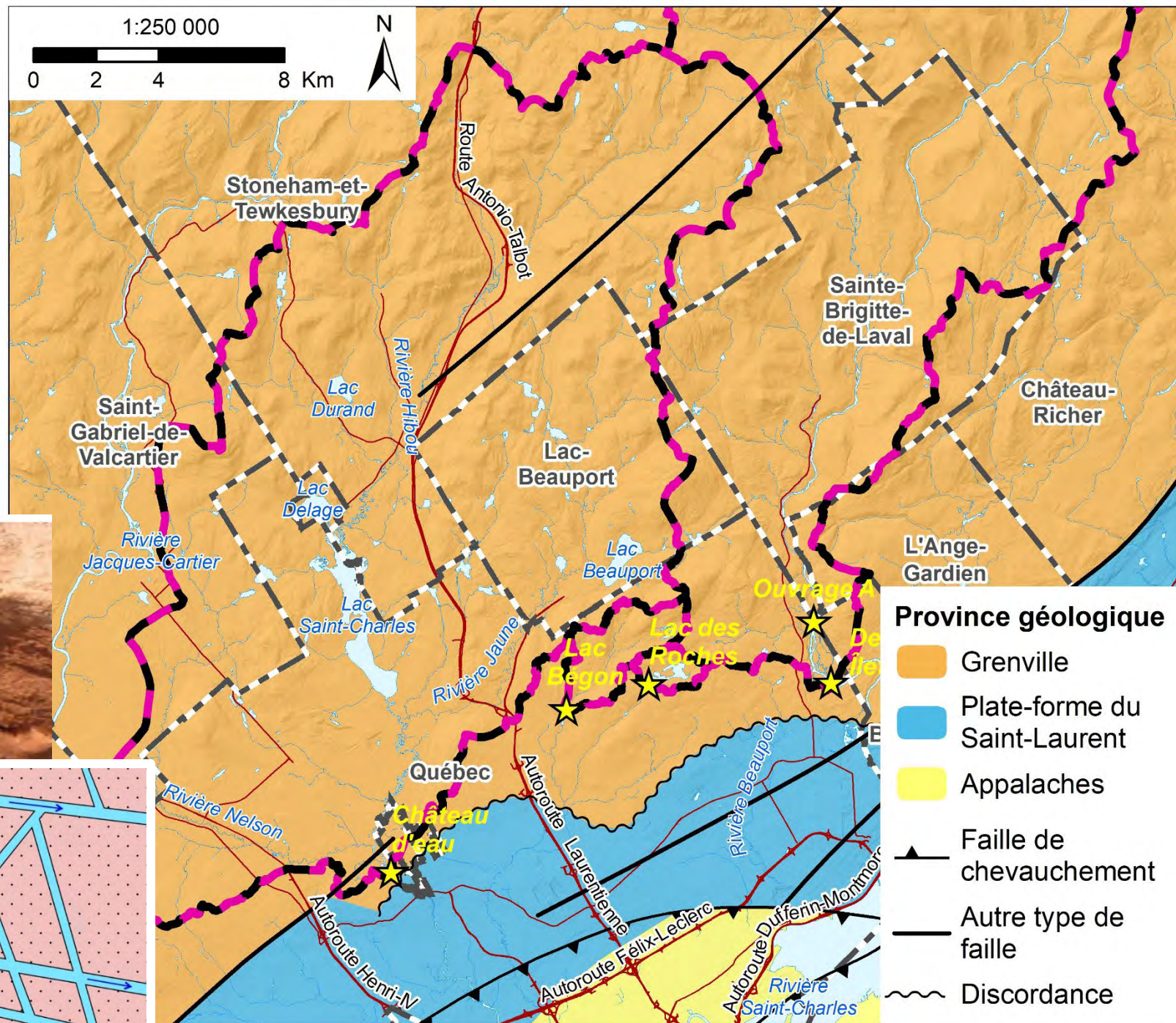
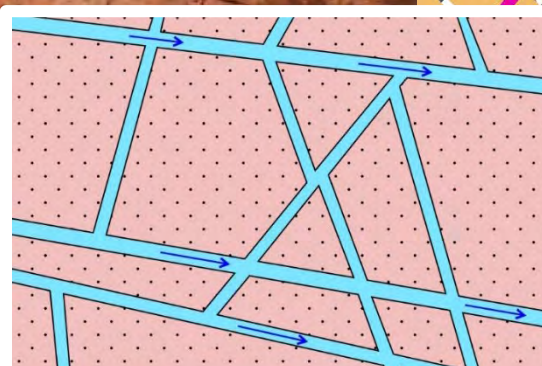
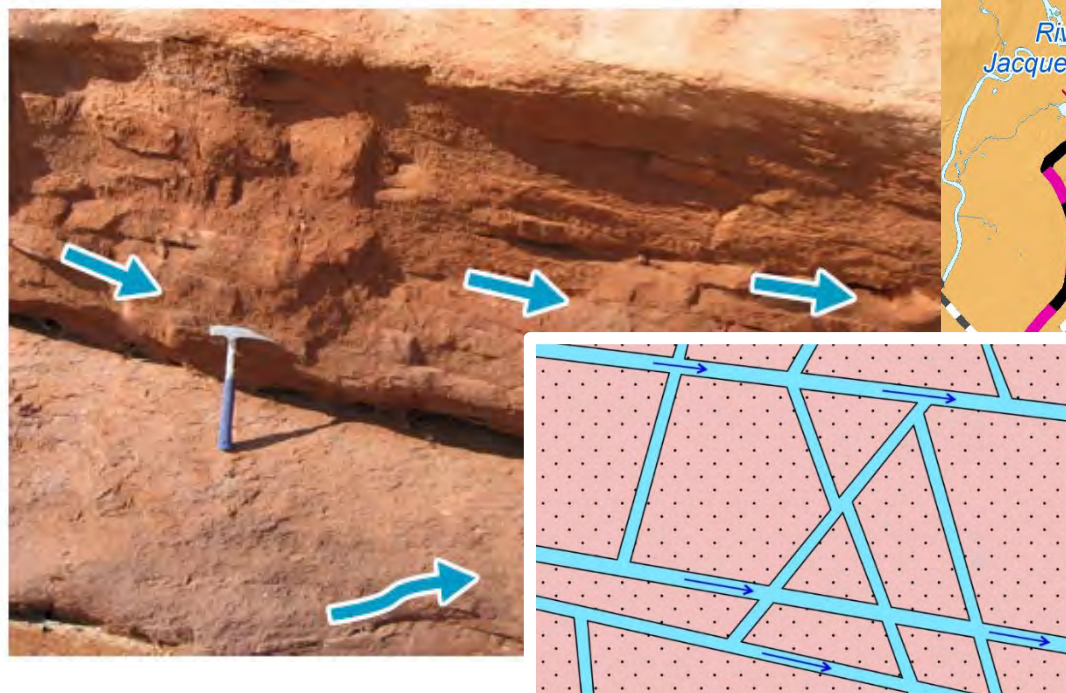
Municipalité	Volume exploitable (Mm ³)
Lac-Beauport	7
Lac-Delage	0
Sainte-Brigitte-de-Laval	24
Saint-Gabriel-de-Valcartier	141
Stoneham-et-Tewkesbury	18
Ville de Québec	105





Quantité exploitable dans les aquifère de roc fracturé

□ = Porosité de drainage de 1 %
x Épaisseur de l'aquifère de 150 m

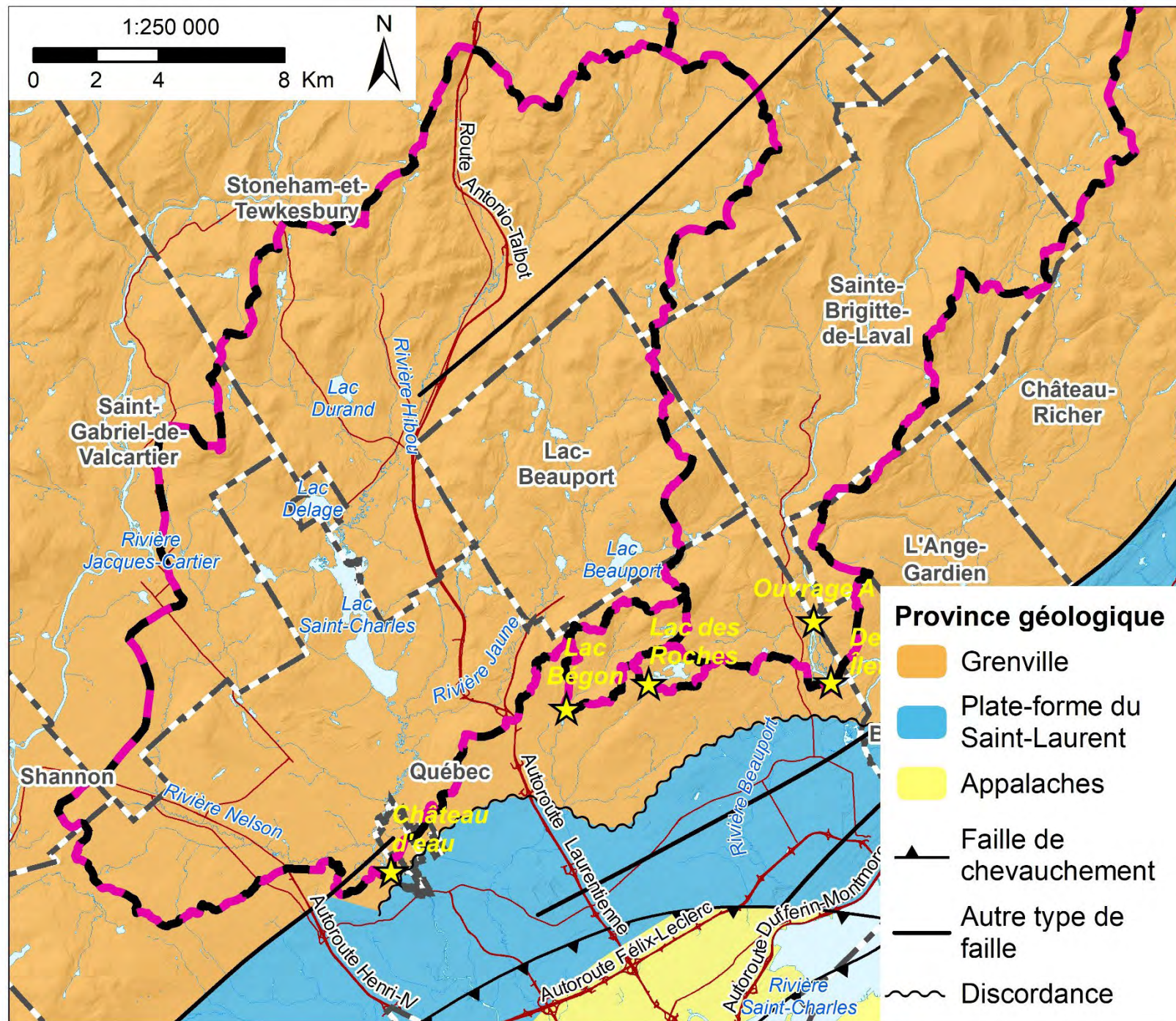




Quantité exploitable dans les aquifère de roc fracturé

□ = Porosité de drainage de 1 %
x Épaisseur de l'aquifère de 150 m

Municipalité	Volume exploitable (Mm ³)
Lac-Beauport	92
Lac-Delage	2
Sainte-Brigitte-de-Laval	163
Saint-Gabriel-de-Valcartier	653
Stoneham-et-Tewkesbury	1 007
Ville de Québec	681

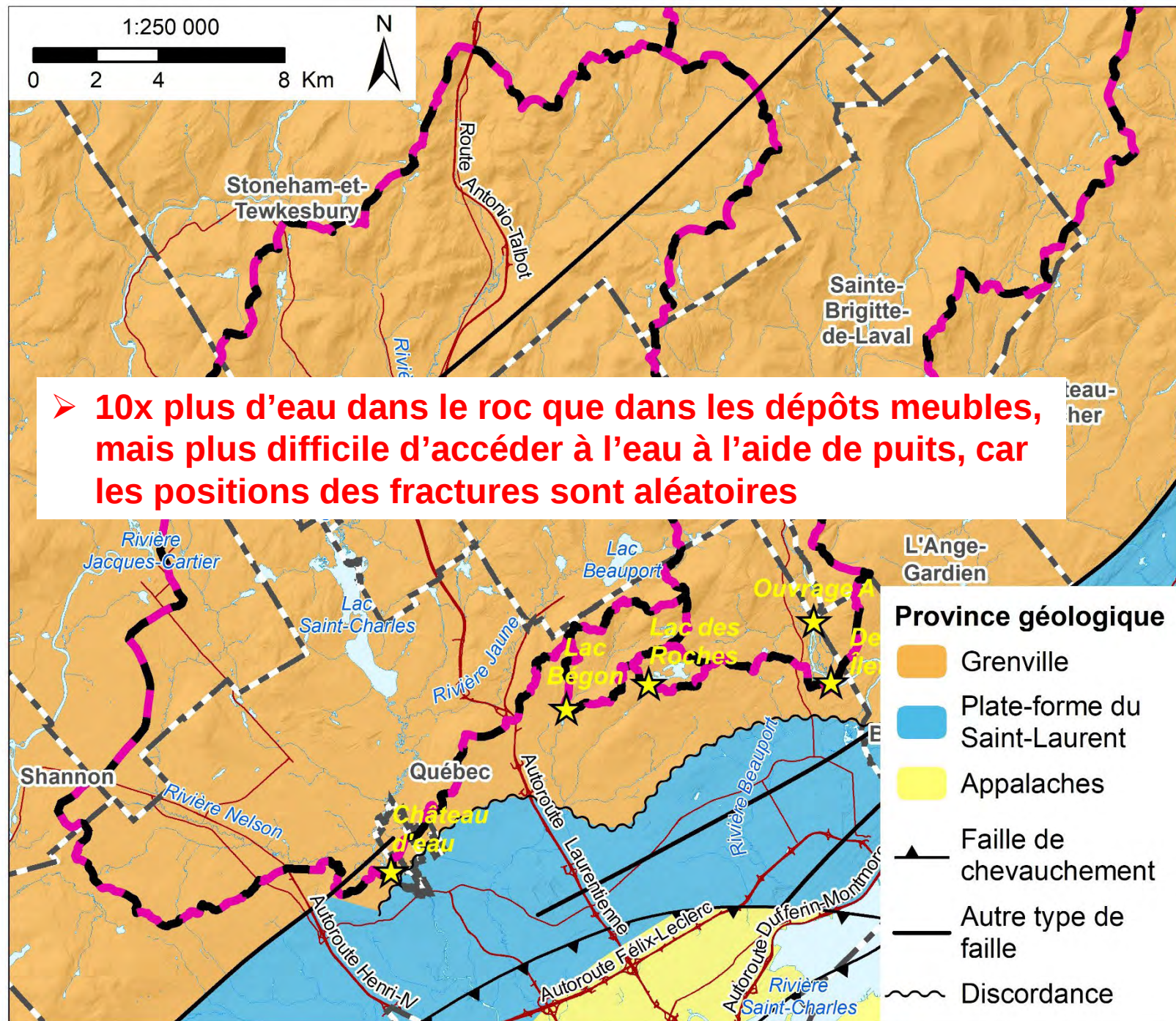




Quantité exploitable dans les aquifère de roc fracturé

□ = Porosité de drainage de 1 %
x Épaisseur de l'aquifère de 150 m

Municipalité	Volume exploitable (Mm ³)
Lac-Beauport	92
Lac-Delage	2
Sainte-Brigitte-de-Laval	163
Saint-Gabriel-de-Valcartier	653
Stoneham-et-Tewkesbury	1 007
Ville de Québec	681

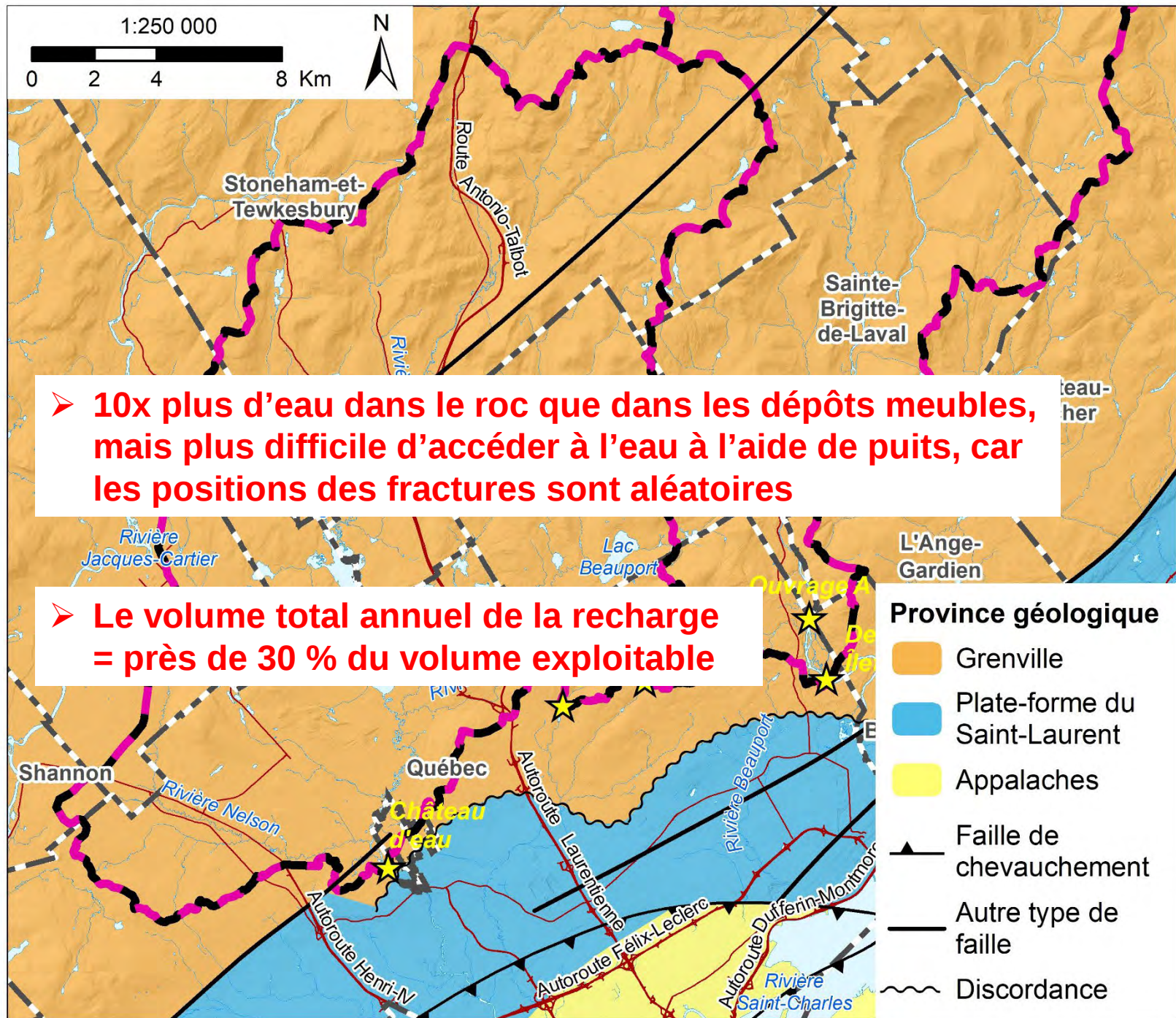




Quantité exploitable dans les aquifère de roc fracturé

□ = Porosité de drainage de 1 %
x Épaisseur de l'aquifère de 150 m

Municipalité	Volume exploitable (Mm ³)
Lac-Beauport	92
Lac-Delage	2
Sainte-Brigitte-de-Laval	163
Saint-Gabriel-de-Valcartier	653
Stoneham-et-Tewkesbury	1 007
Ville de Québec	681





Question éclair

Les volumes d'eau souterraine exploitée semblent durables dans le temps.

Vrai



Faux



Sauf exception, les volumes exploitées ne dépassent pas 4 % de la recharge annuelle

Municipalité	Part de la quantité exploitée de la recharge annuelle
Lac-Beauport	2.2 %
Lac-Delage	12.1 %
Sainte-Brigitte-de-Laval	1.8 %
Saint-Gabriel-de-Valcartier	0.7 %
Stoneham-et-Tewkesbury	0.3 %
Ville de Québec	3.9 %

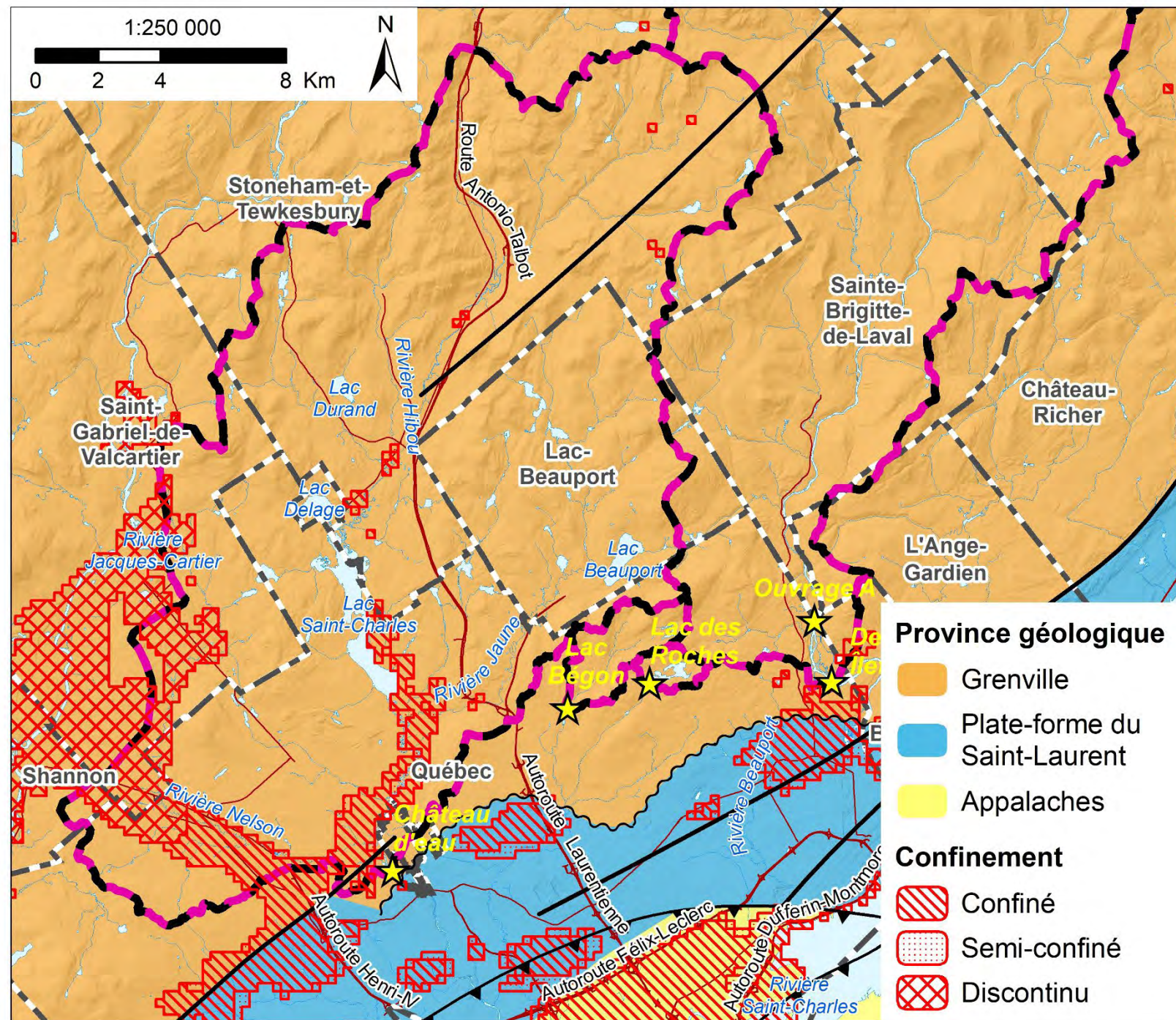
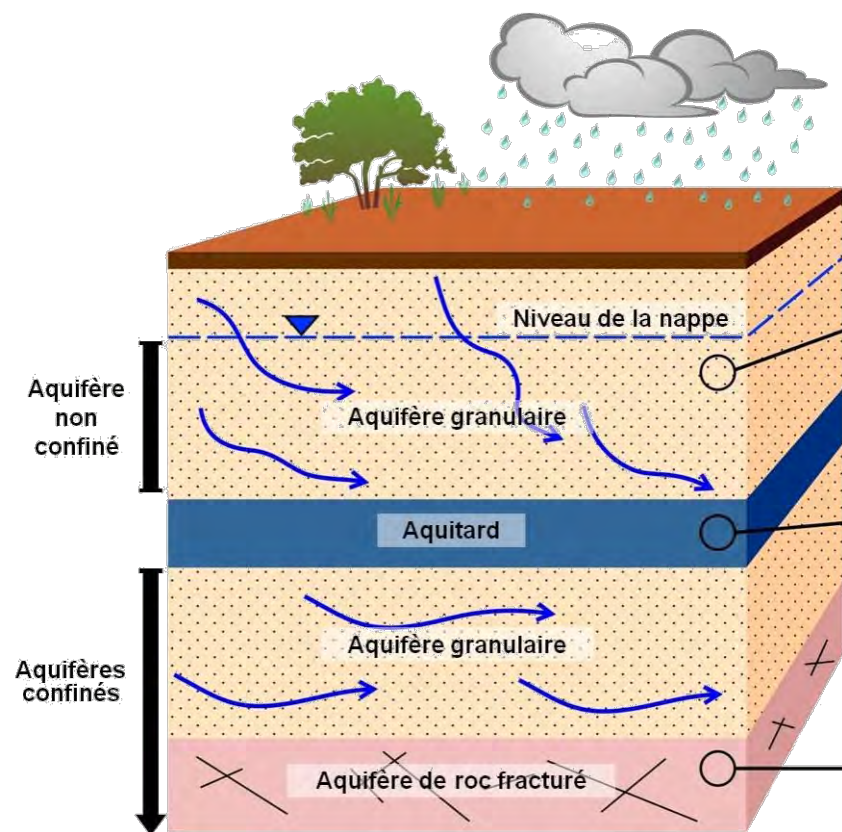


5. Est-ce que l'eau souterraine est vulnérable aux activités humaines?



Confinement des aquifères

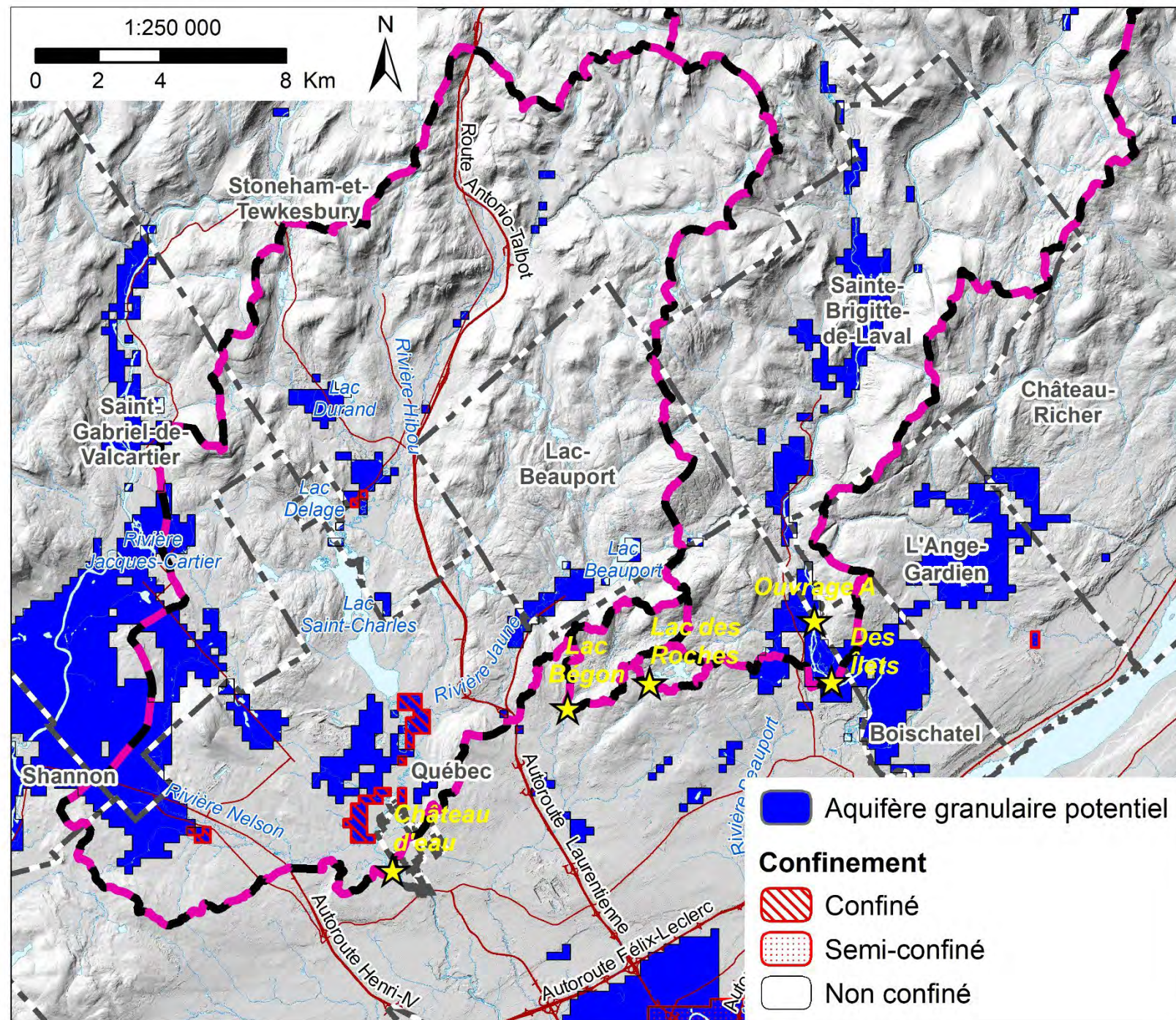
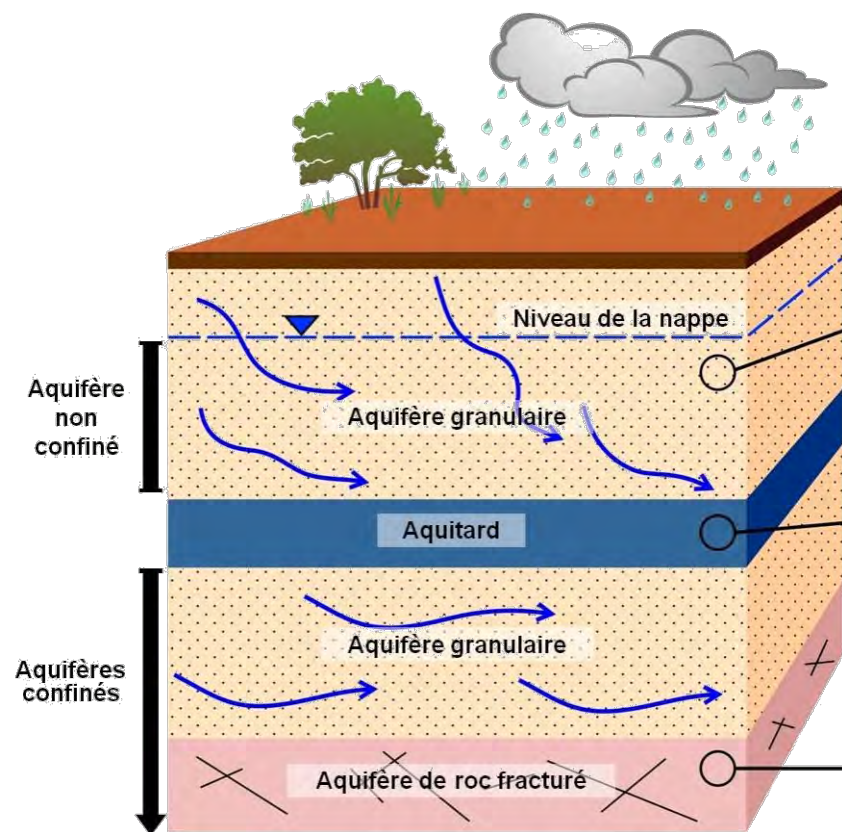
Confinement des aquifères de roc fracturé





Confinement des aquifères

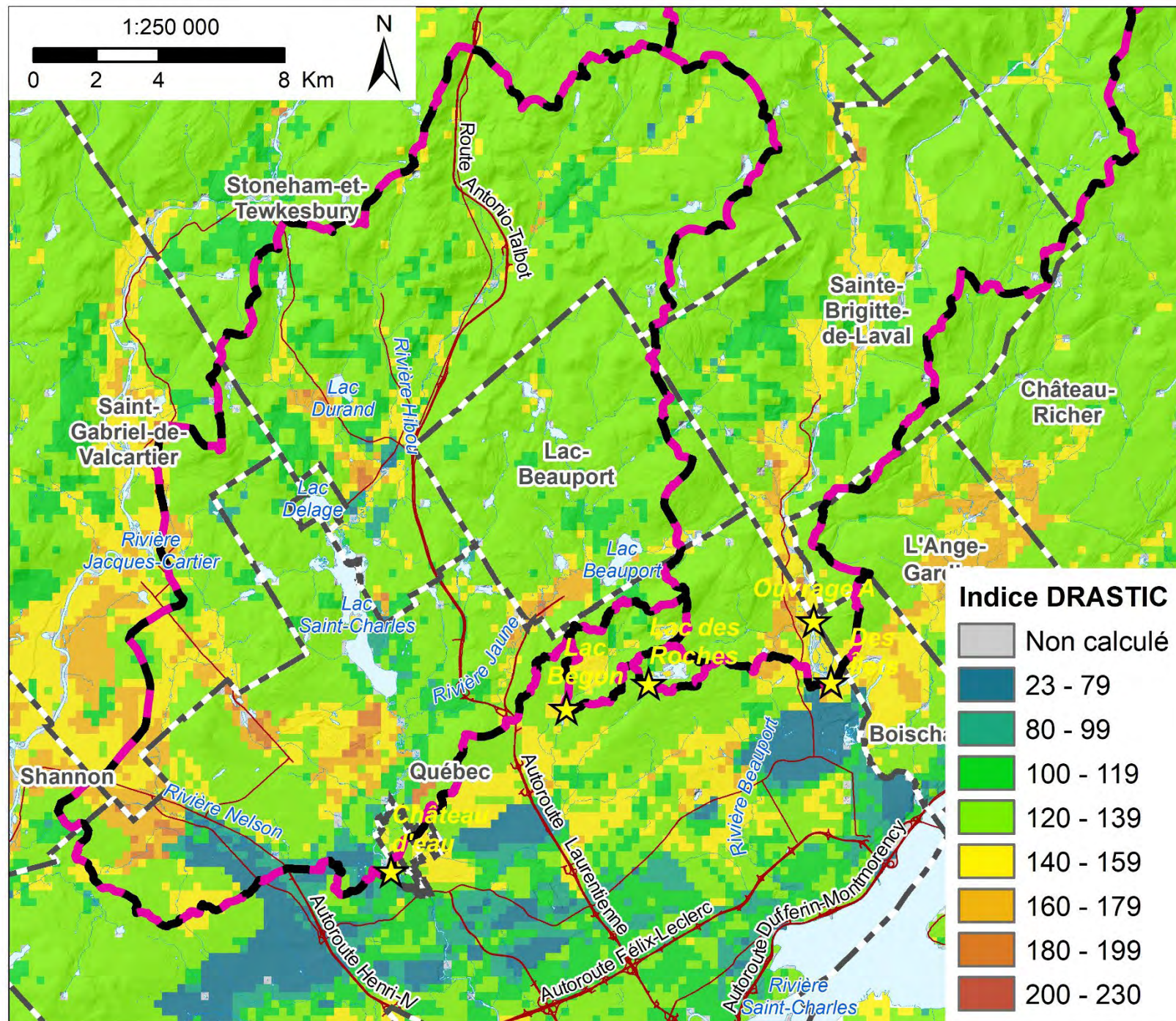
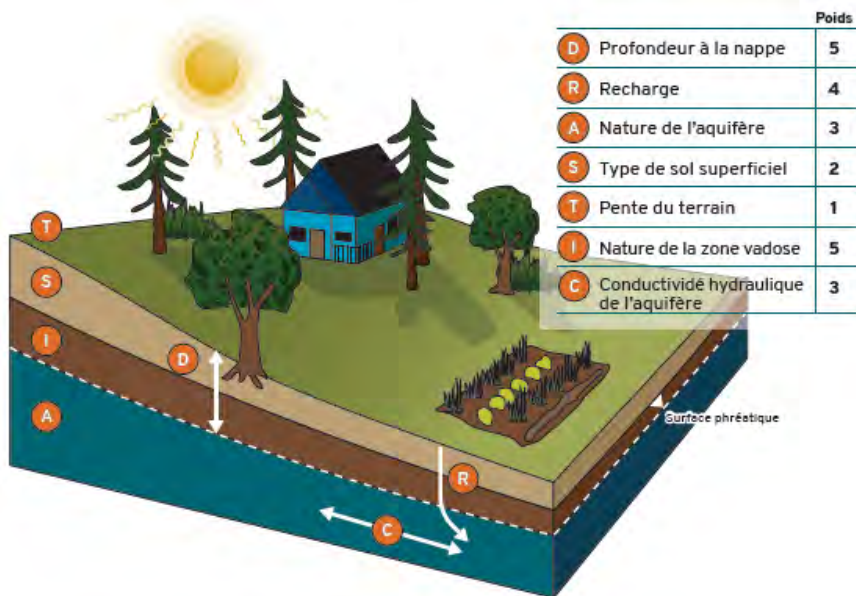
□ Confinement des aquifères granulaires



Vulnérabilité

☐ Méthode DRASTIC

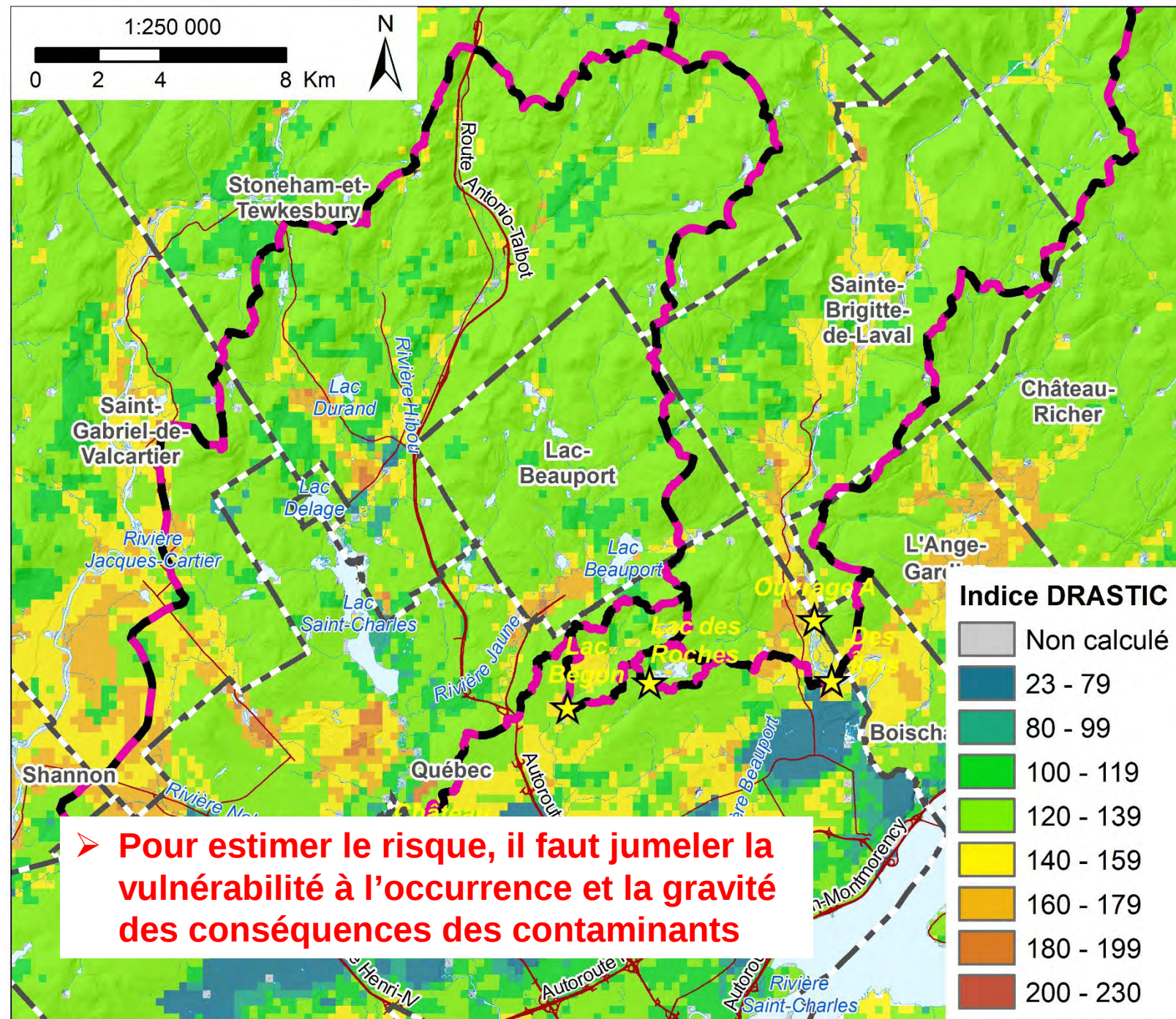
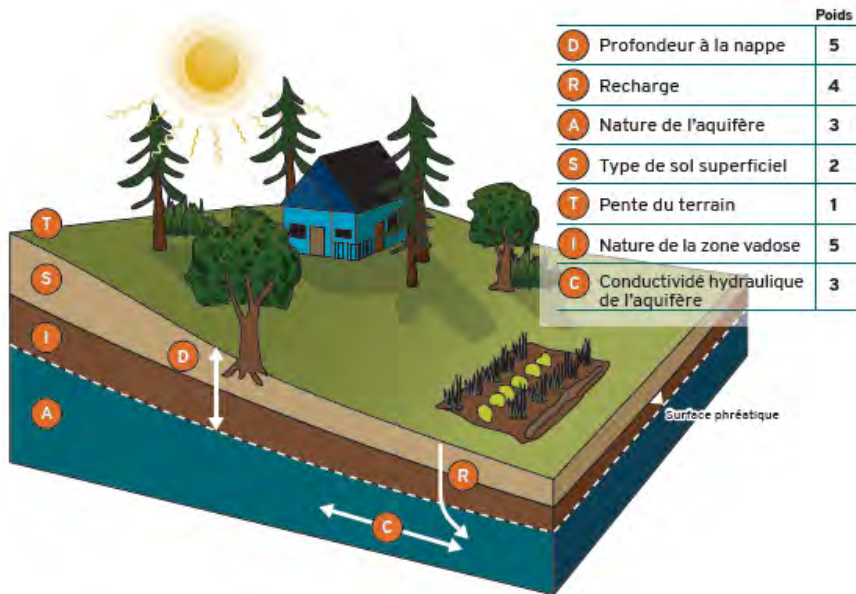
- Plus l'indice est grand, plus la vulnérabilité est élevée



Vulnérabilité

☐ Méthode DRASTIC

- Plus l'indice est grand, plus la vulnérabilité est élevée





Question éclair

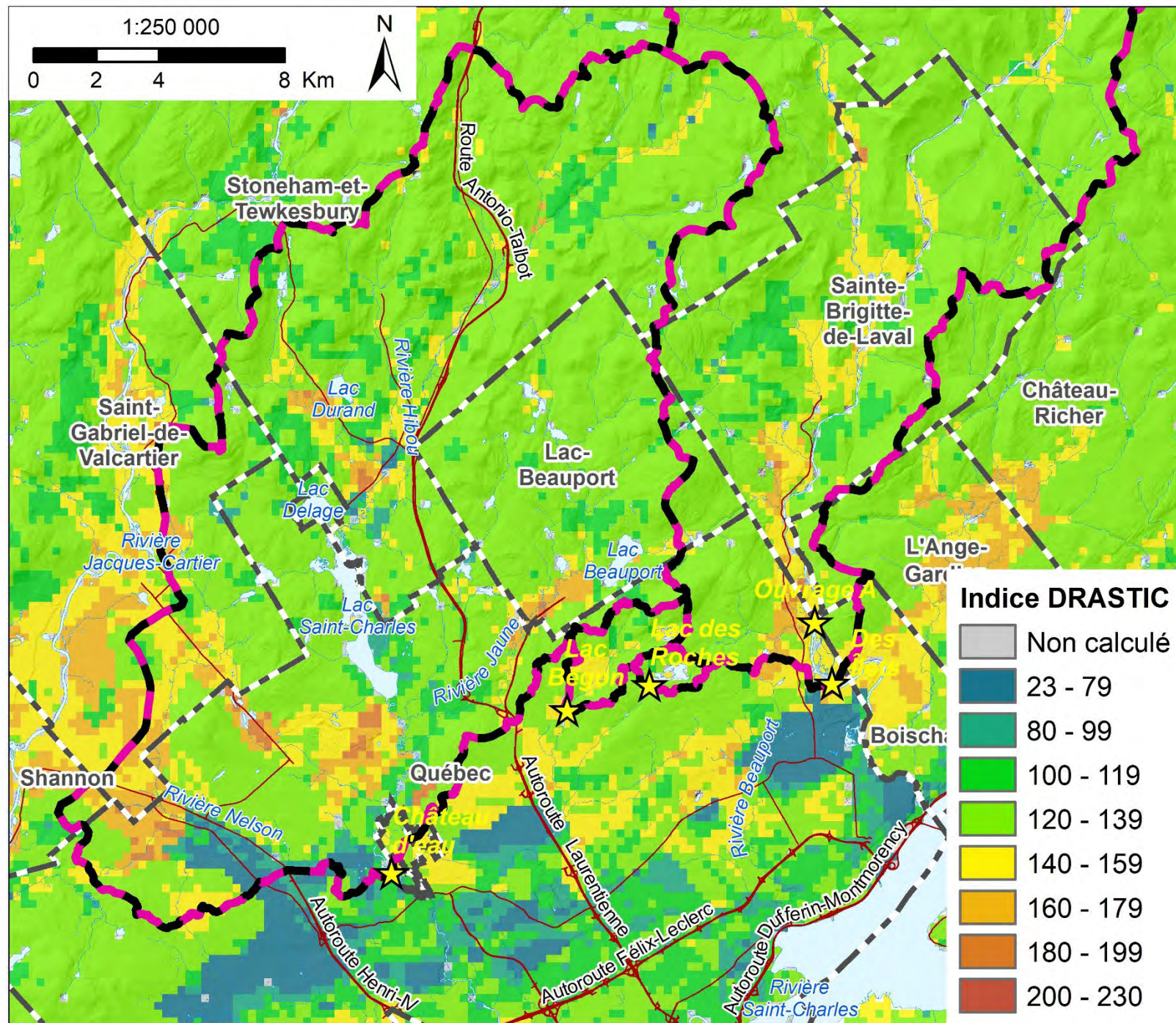
Quelles affirmations sont vraies ?

 L'eau souterraine la plus vulnérable se retrouve sur les hauts topographiques.

 L'eau souterraine la plus vulnérable se retrouve dans les vallées.

 L'eau souterraine la moins vulnérable se retrouve sur les hauts topographiques.

 L'eau souterraine la moins vulnérable se retrouve dans les vallées.



Bon appétit !



Retour dans 1 h

ACTIVITÉ 3

Acquisition de nouvelles informations sur les eaux souterraines sur votre territoire



Discuter des données utiles à la gestion et à la protection de l'eau potable du territoire



Présentation
magistrale

+



Activité en
petits groupes

1 Le projet de recherche

*Développement d'outils de détermination de la
vulnérabilité des sources d'eau potable*



Présentation du projet

Constat : l'eau souterraine fait résurgence dans l'eau de surface
→ **une partie de l'eau pompée en surface a transité par le souterrain**

Quelle est la qualité de l'eau souterraine sur le territoire ?

De quelle partie du territoire vient l'eau souterraine qui fait résurgence dans les rivières ?

Par quel type de formation l'eau souterraine transite-t-elle ?

Combien de temps passe l'eau en souterrain avant de faire résurgence ?

Comment varie la part d'eau souterraine dans l'eau de surface au cours de l'année ?

Dans le futur, comment vont évoluer les eaux souterraines ?

Quels sont les parcours de l'eau souterraine sur le territoire ?



Objectifs du projet

Tenir compte des **liens entre l'eau de surface et l'eau souterraine** dans l'étude de la vulnérabilité de la source d'eau potable

- *Liens entre l'écoulement des eaux souterraines et leur émergence dans les eaux de surface*
- *Temps de parcours de l'eau souterraine*
- *Potentiel d'atténuation des contaminants*

Tenir compte de la **variabilité temporelle de l'écoulement** dans l'étude de la vulnérabilité de la source d'eau potable

- *Variabilités saisonnières (ex. crues et étiages)*
- *Variabilités climatiques sur plusieurs années*
- *Évolutions démographiques*
- *Changements d'occupation du sol*



Méthodologie en six volets

Collecte et interprétation des données existantes

+

Travaux de terrain complémentaires

Volets 1 et 2

Portrait de la ressource en eau souterraine

+

Modèles conceptuels décrivant la dynamique de l'écoulement des eaux souterraines et des eaux de surface

Volet 3

Élaboration de modèles mathématiques représentant:

- l'écoulement de l'eau souterraine et de l'eau de surface
- le transport de masse
- les temps de migration des contaminants potentiels

Volet 4

Géochimie de l'eau souterraine

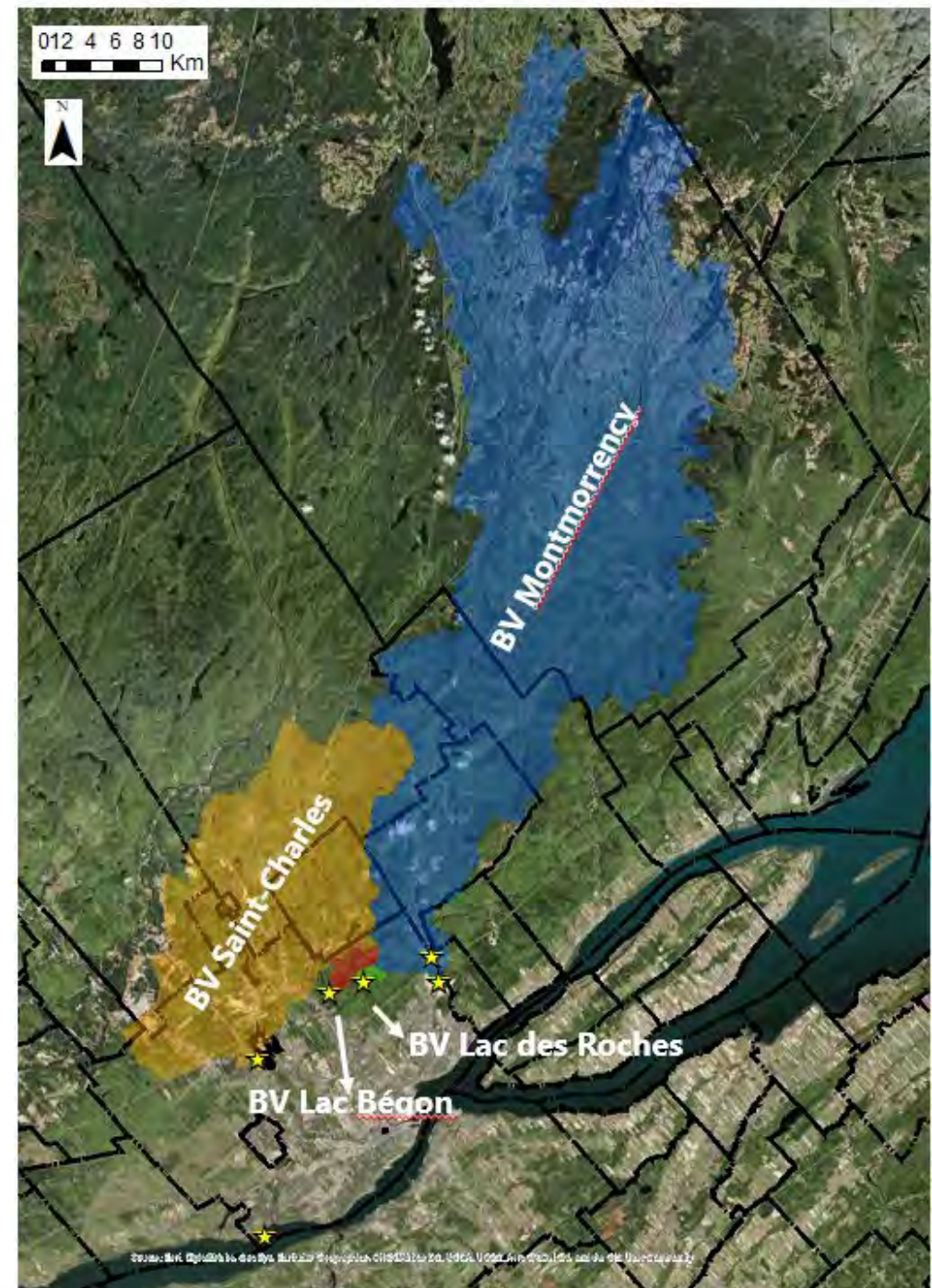
- Variabilité temporelle de la qualité

Volet 5

Géochimie isotopique de l'eau

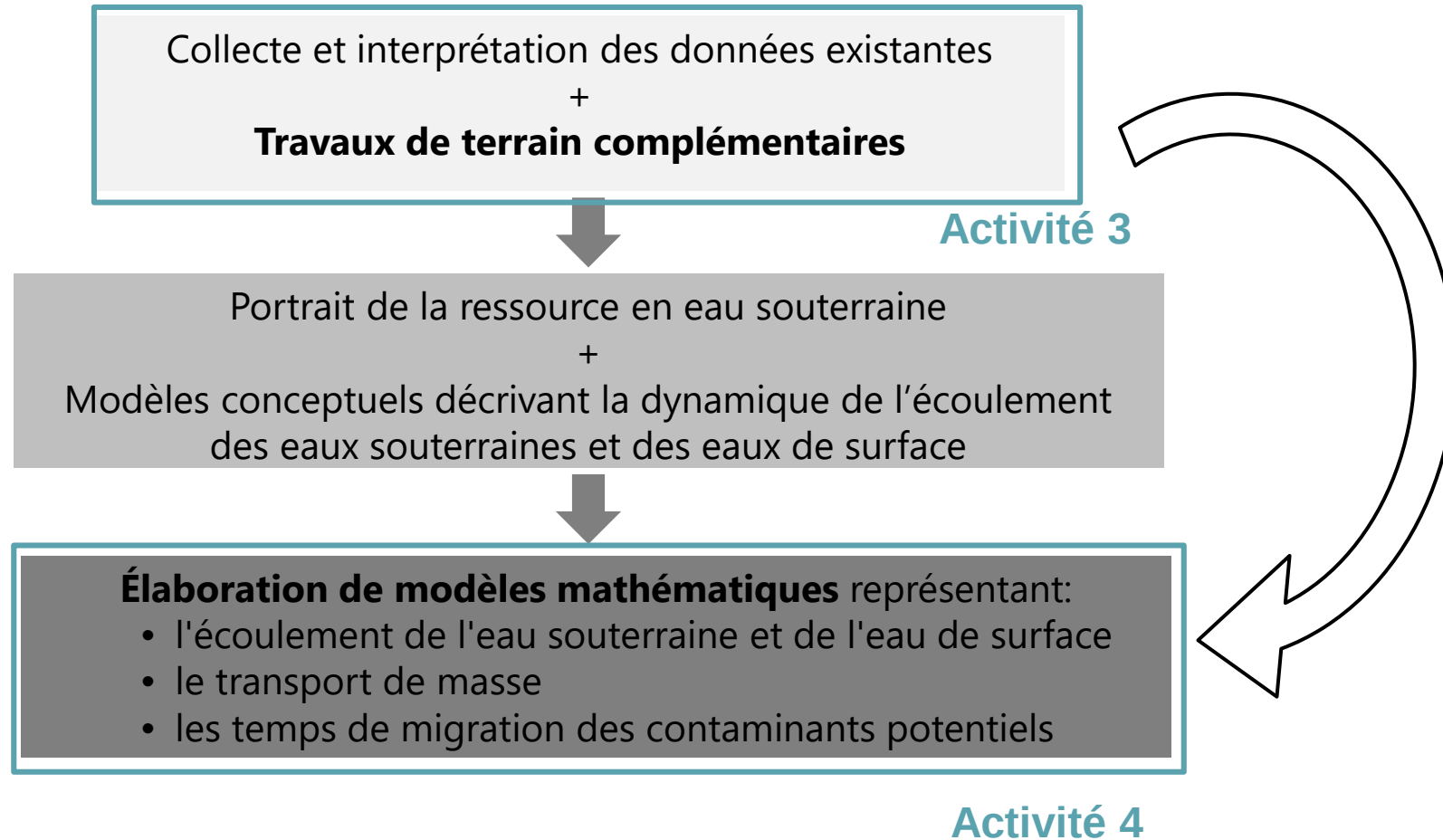
Volet 6

Transfert de connaissances





Intérêt de la récolte de données pour la modélisation



2 L'acquisition de données

Les types de données

- ❑ **Les données existantes**

- ❑ **Les nouvelles données**

- **Données météorologiques**
- **Données hydrométriques**
- **Données piézométriques**
- **Données sur la qualité de l'eau**



Les données existantes

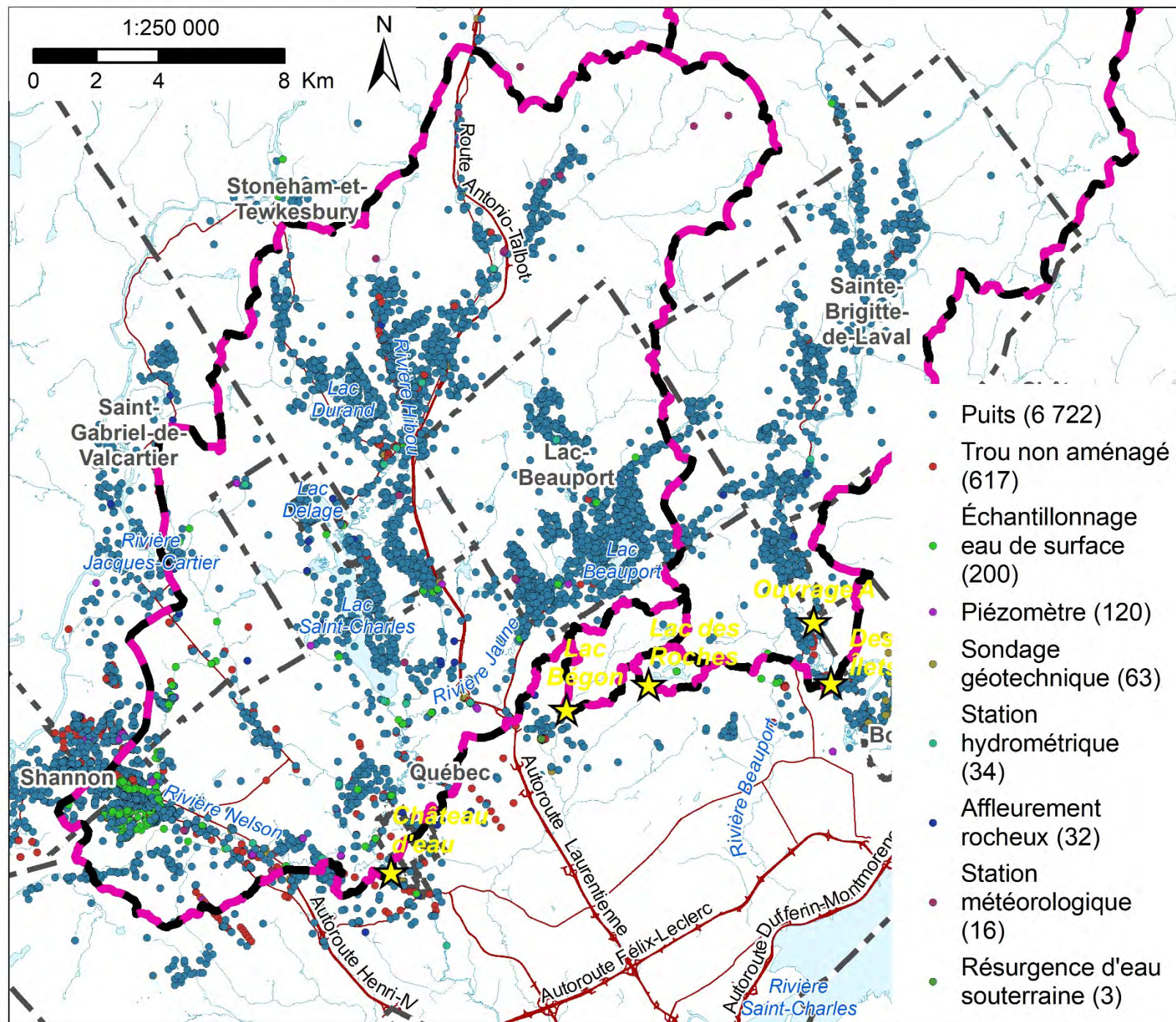
□ Nombre d'objets : 7 807

□ Observations sur les objets

- Stratigraphie
- Niveau de la nappe
- Propriétés hydrauliques
- Analyse géochimique

□ Sources principales

- Système d'information hydrogéologique (SIH)
- Défense nationale





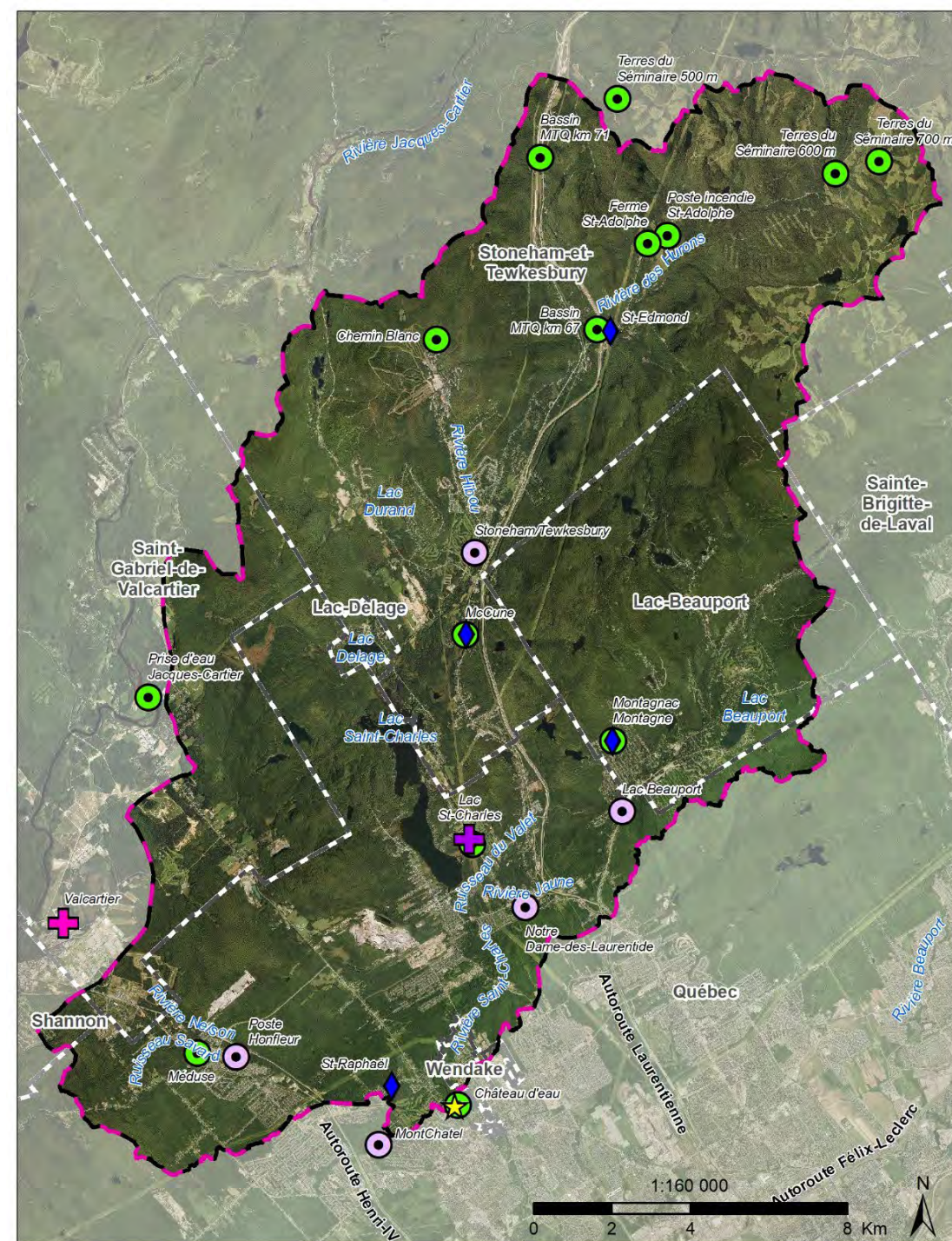
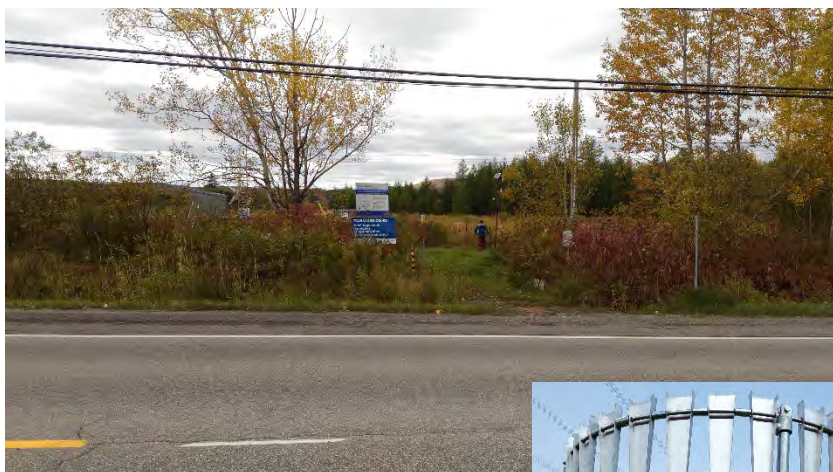
Stations météorologiques



Station météo complète de la Ville de Québec



Station météo complète de Valcartier
(Environnement Canada)

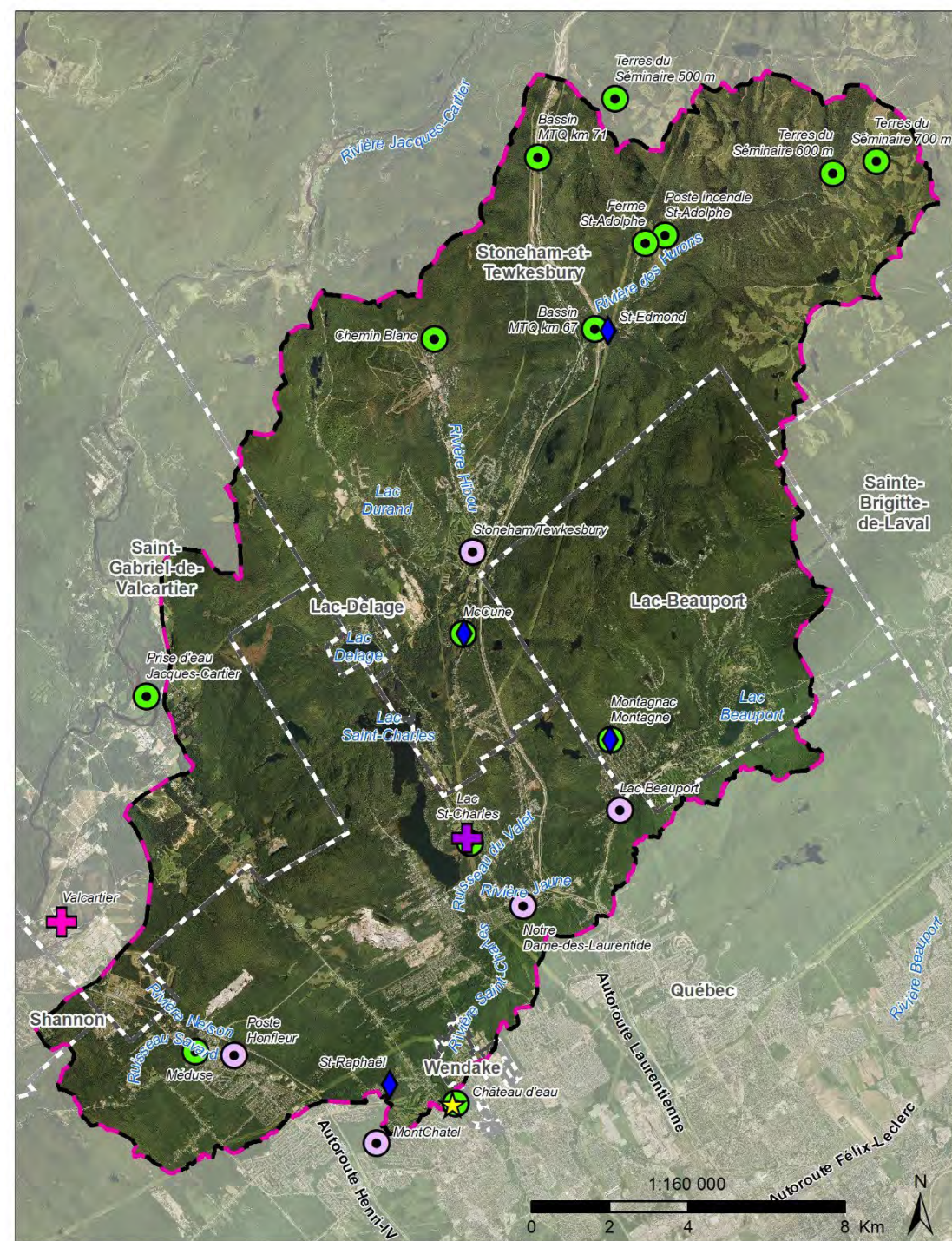




Stations météorologiques



Pluviomètre de la Ville de Québec (5)

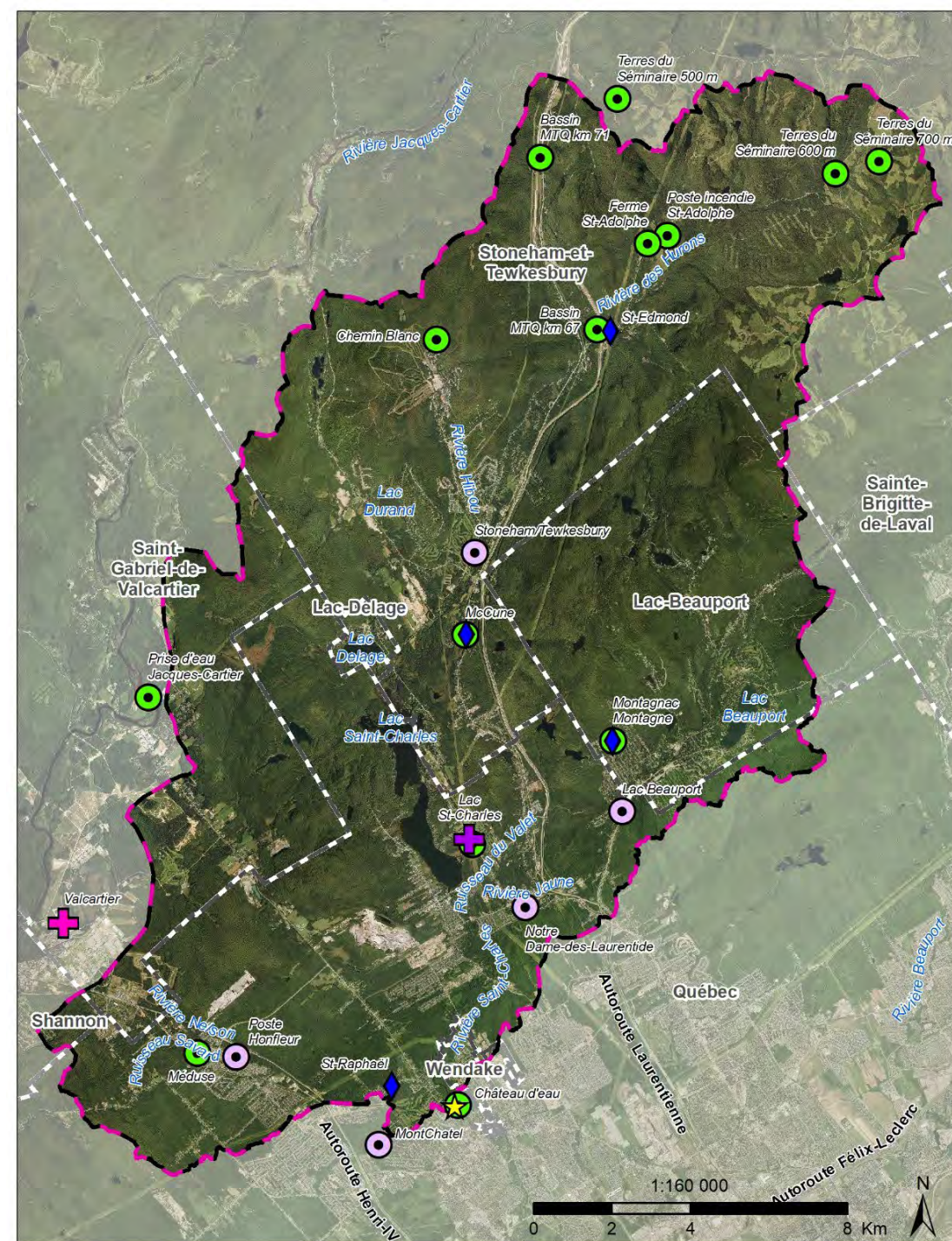




Stations météorologiques



Station barométrique de l'étude (4)

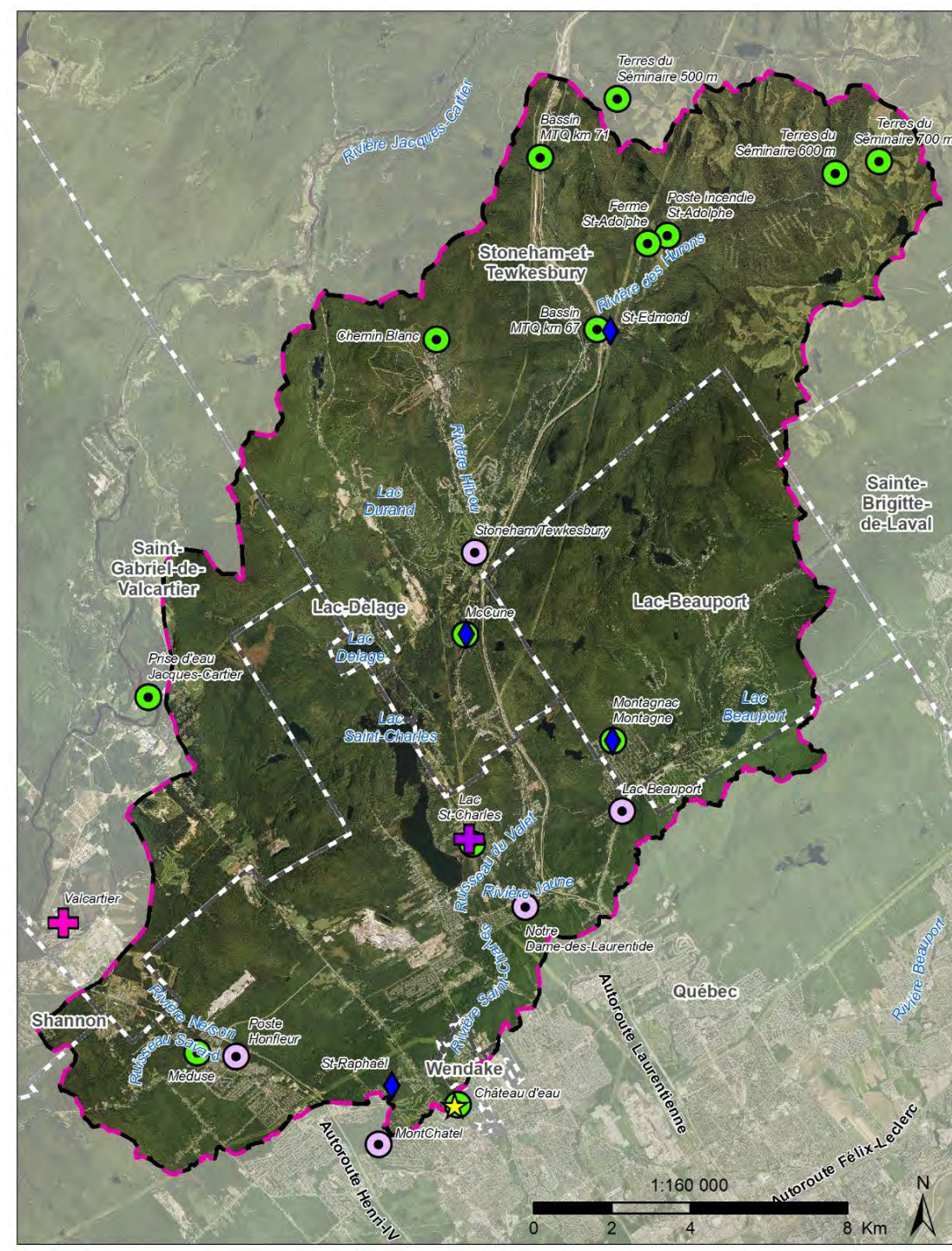




Stations météorologiques



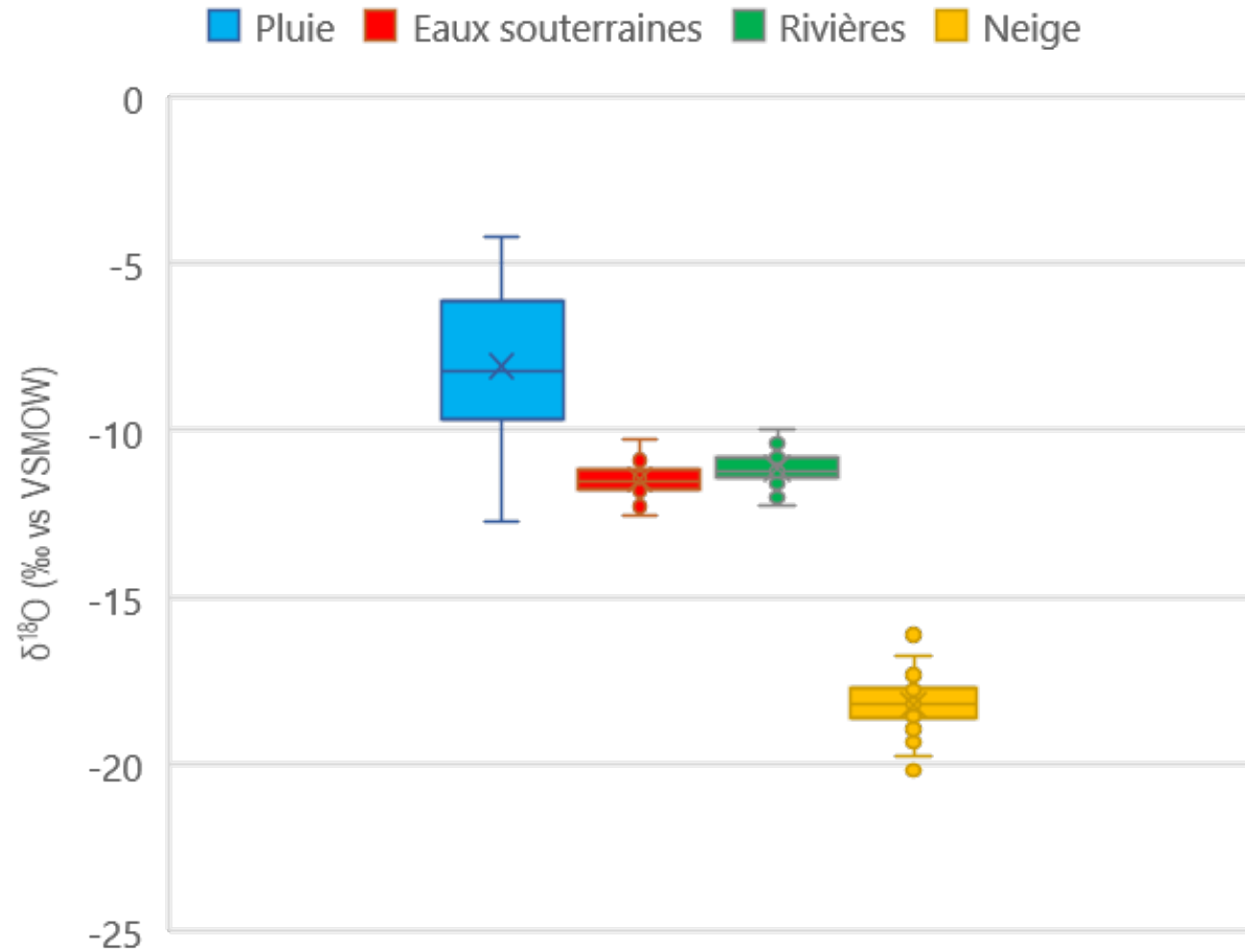
Échantillonneur de pluie
ou de neige de l'étude (11)





Analyse des isotopes stables de la molécule d'eau

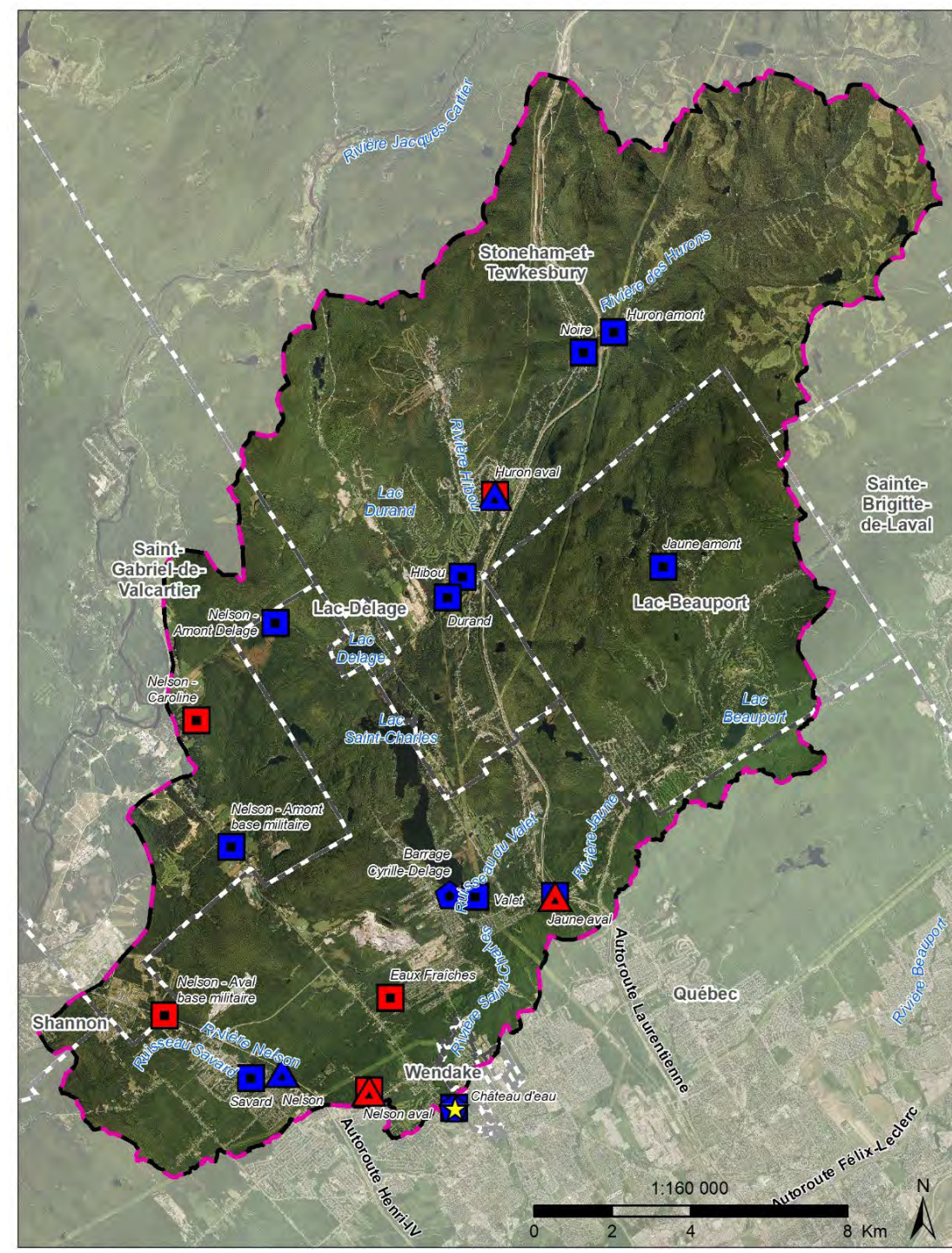
Signature isotopique





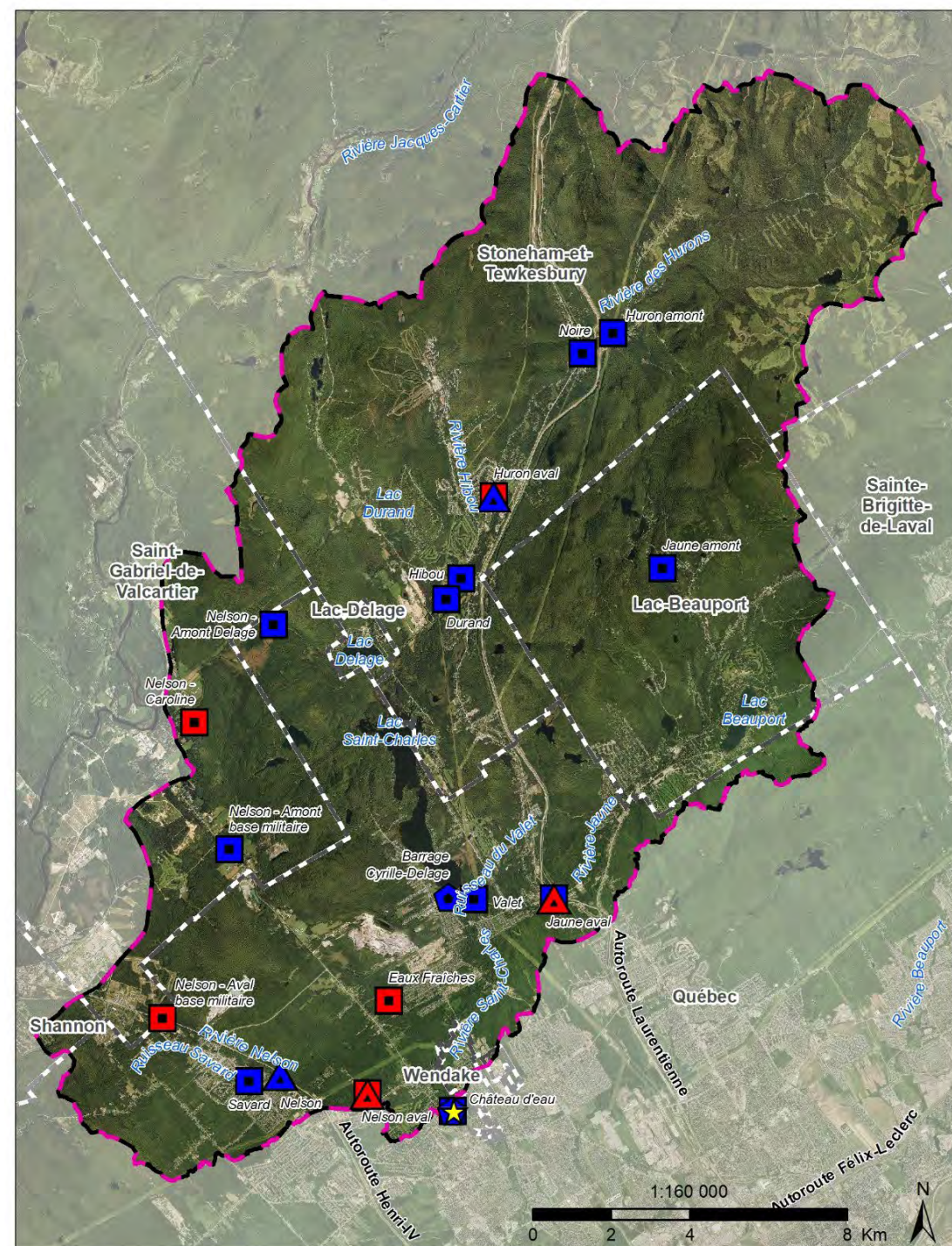
 Ouverte (2)

 Fermée (2)





 Ouverte (3)





Stations hydrométrique

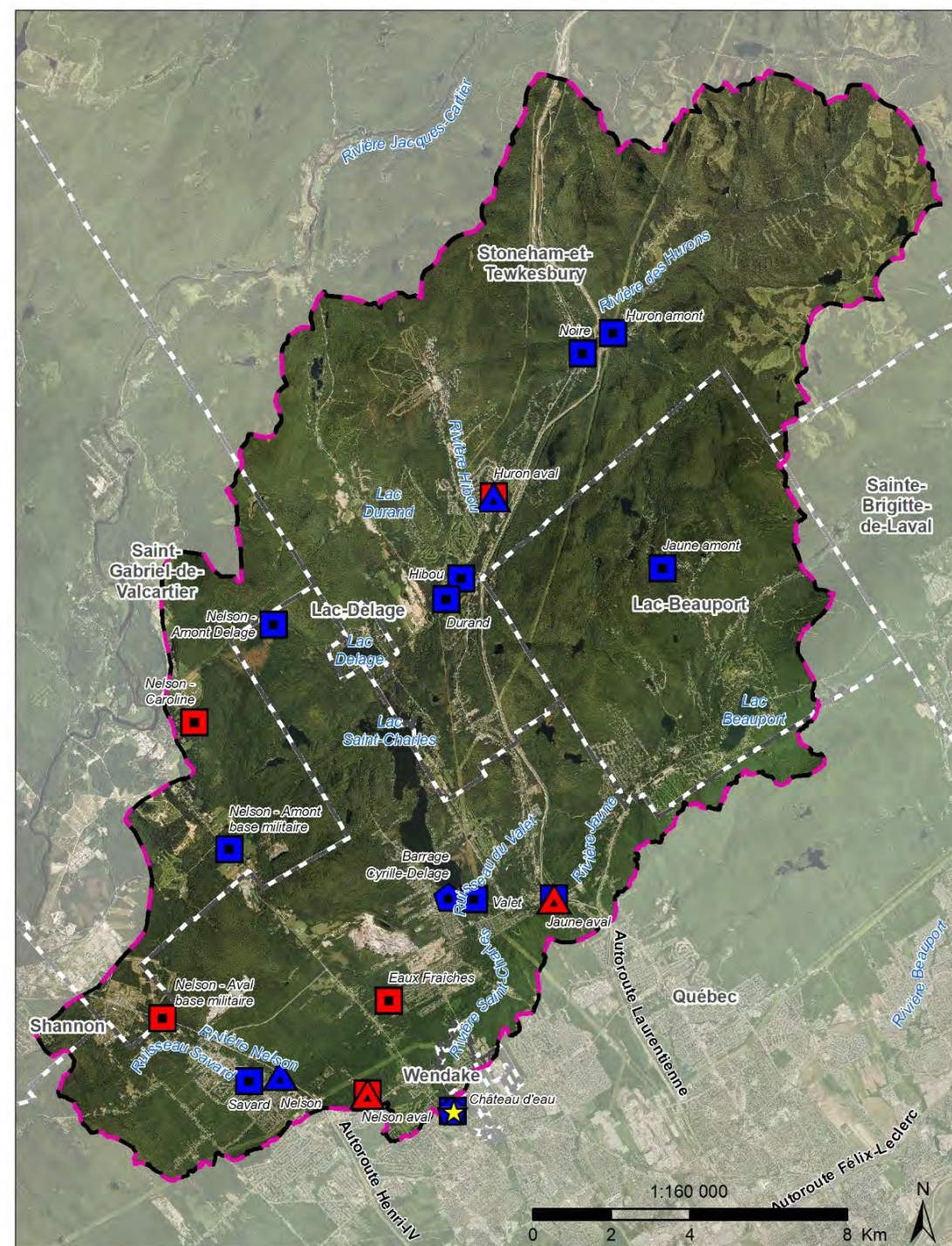
Station hydrométrique de l'étude



Ouverte (11)



Fermée (5)





Récolte des données hydrométriques

Récolte des hauteurs d'eau – Rivière Hibou





Récolte des données hydrométriques

Débit instantané

Débits d'étiage
Flow Tracker



Débits moyens
Flow Probe



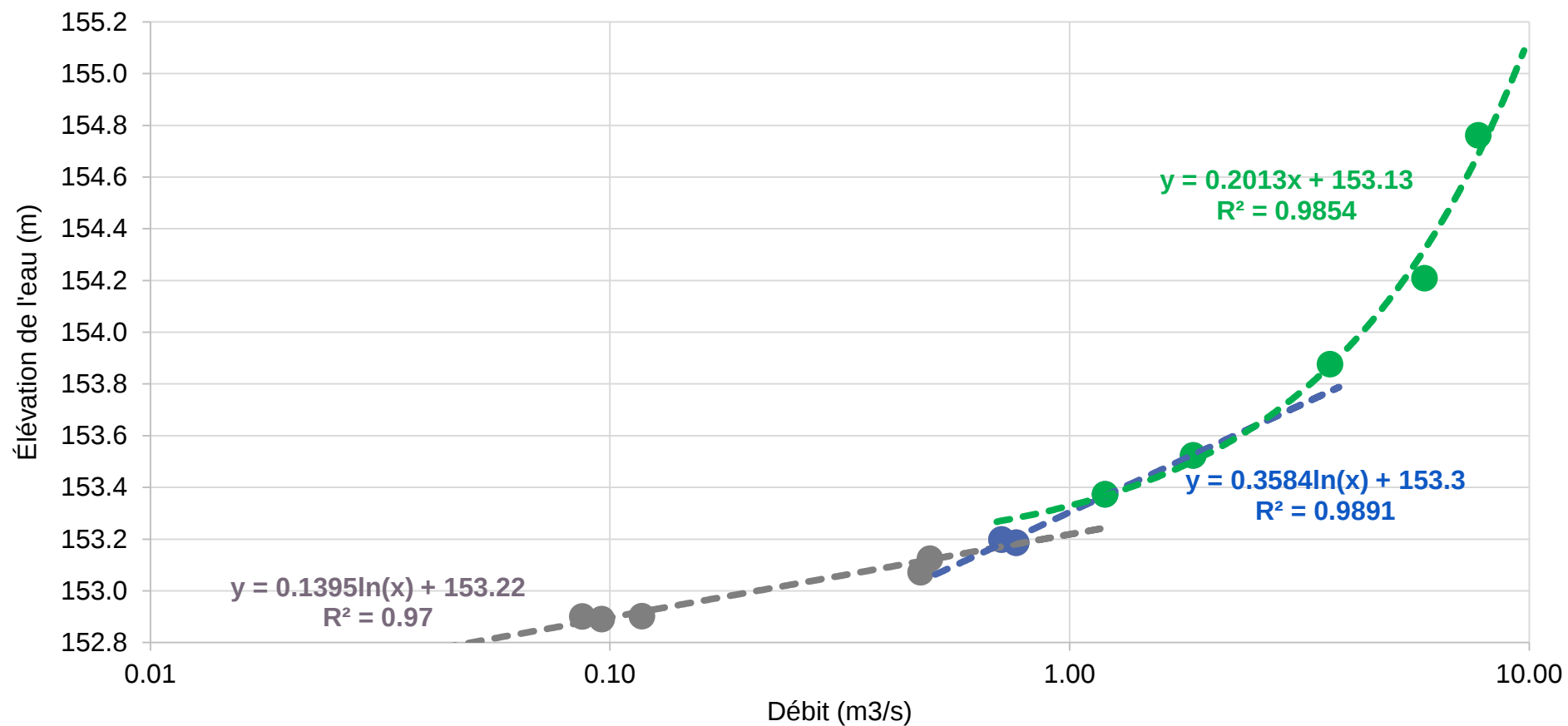
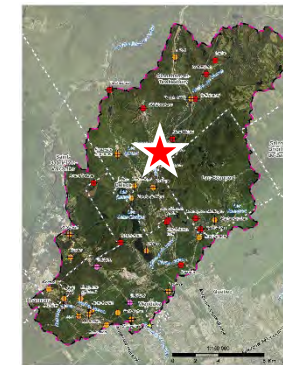
Débits de crue
River Surveyor





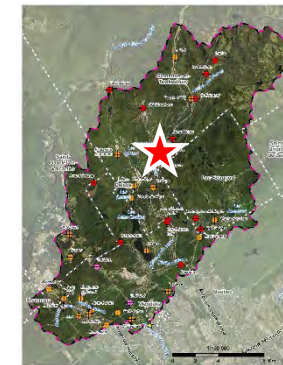
Traitement des données hydrométriques

Courbe de tarage – Rivière Hibou

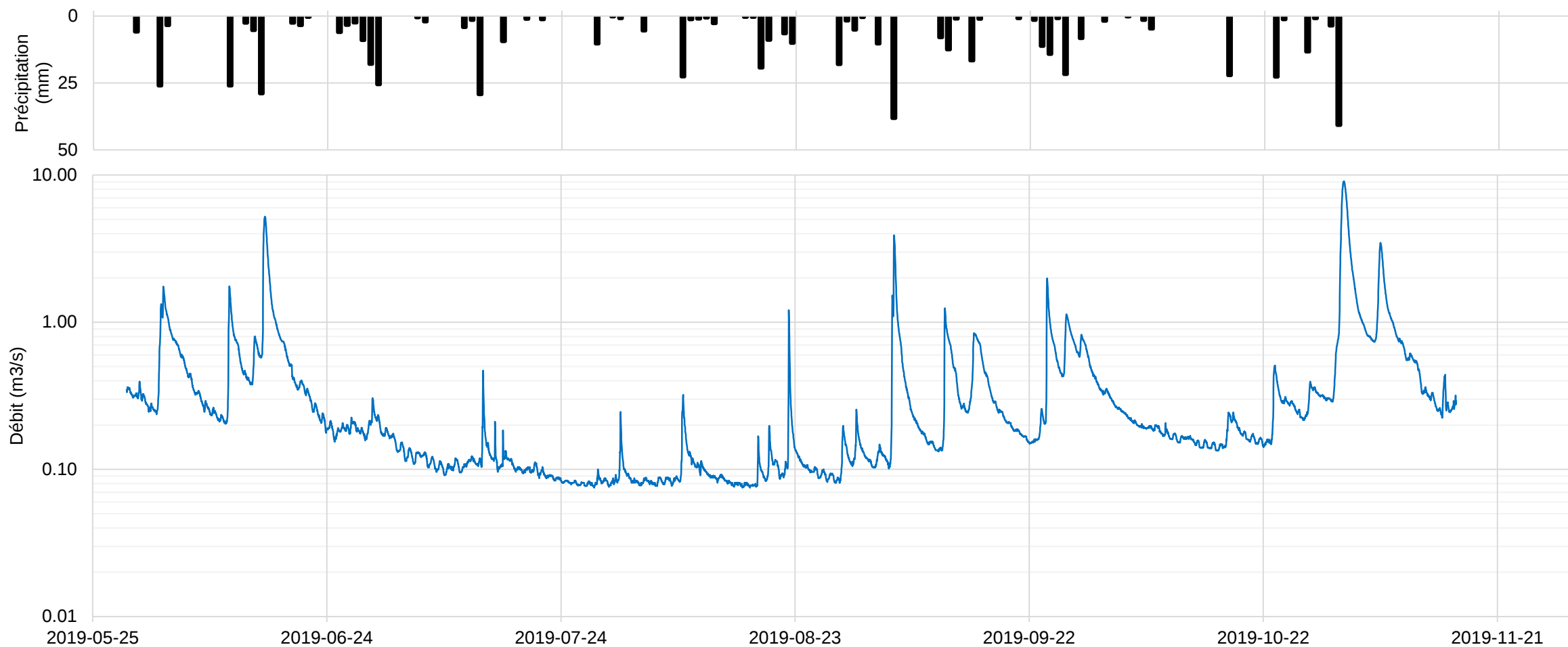




Analyse des données hydrométriques



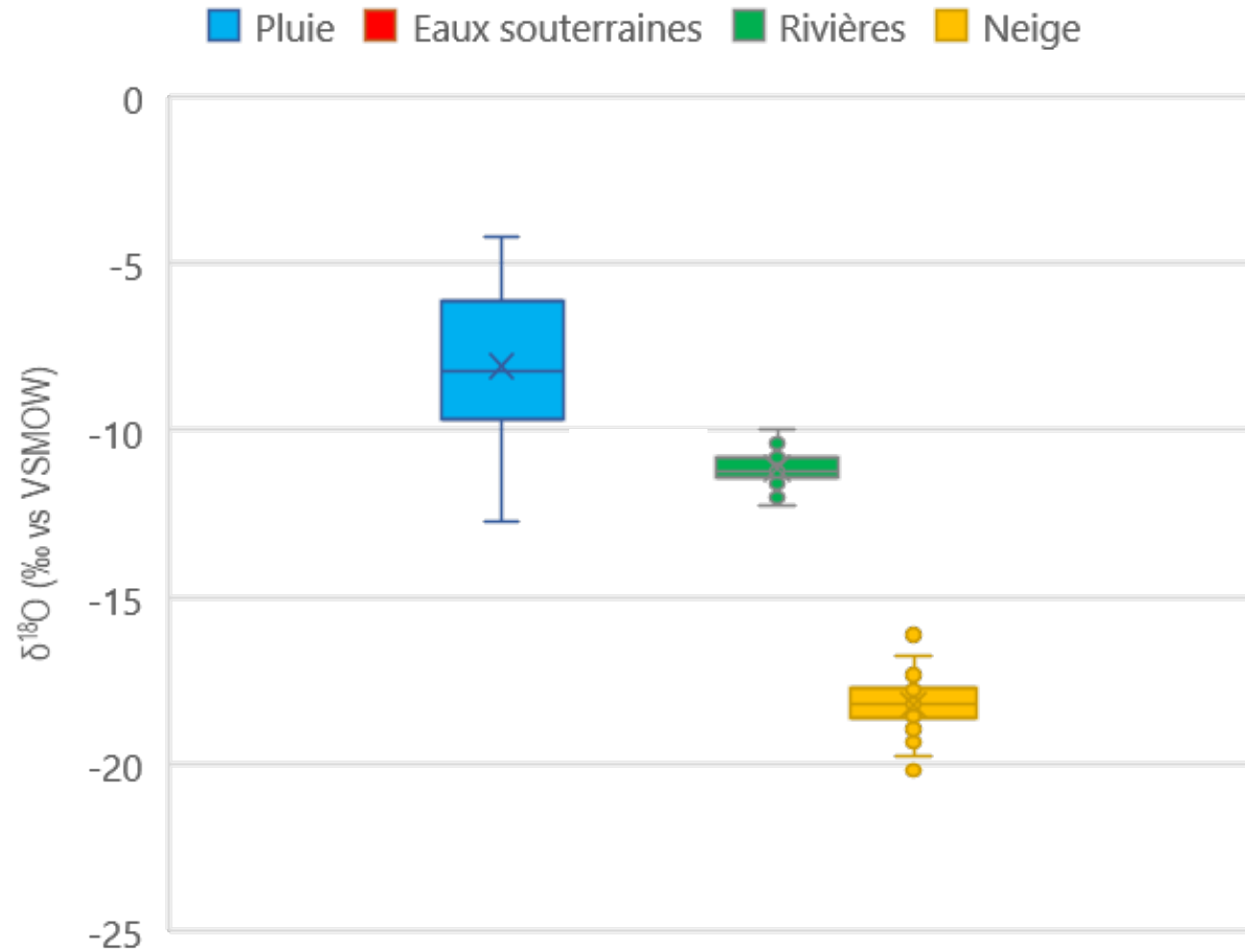
Hydrogramme – Rivière Hibou





Analyse des isotopes stables de la molécule d'eau

Signature isotopique

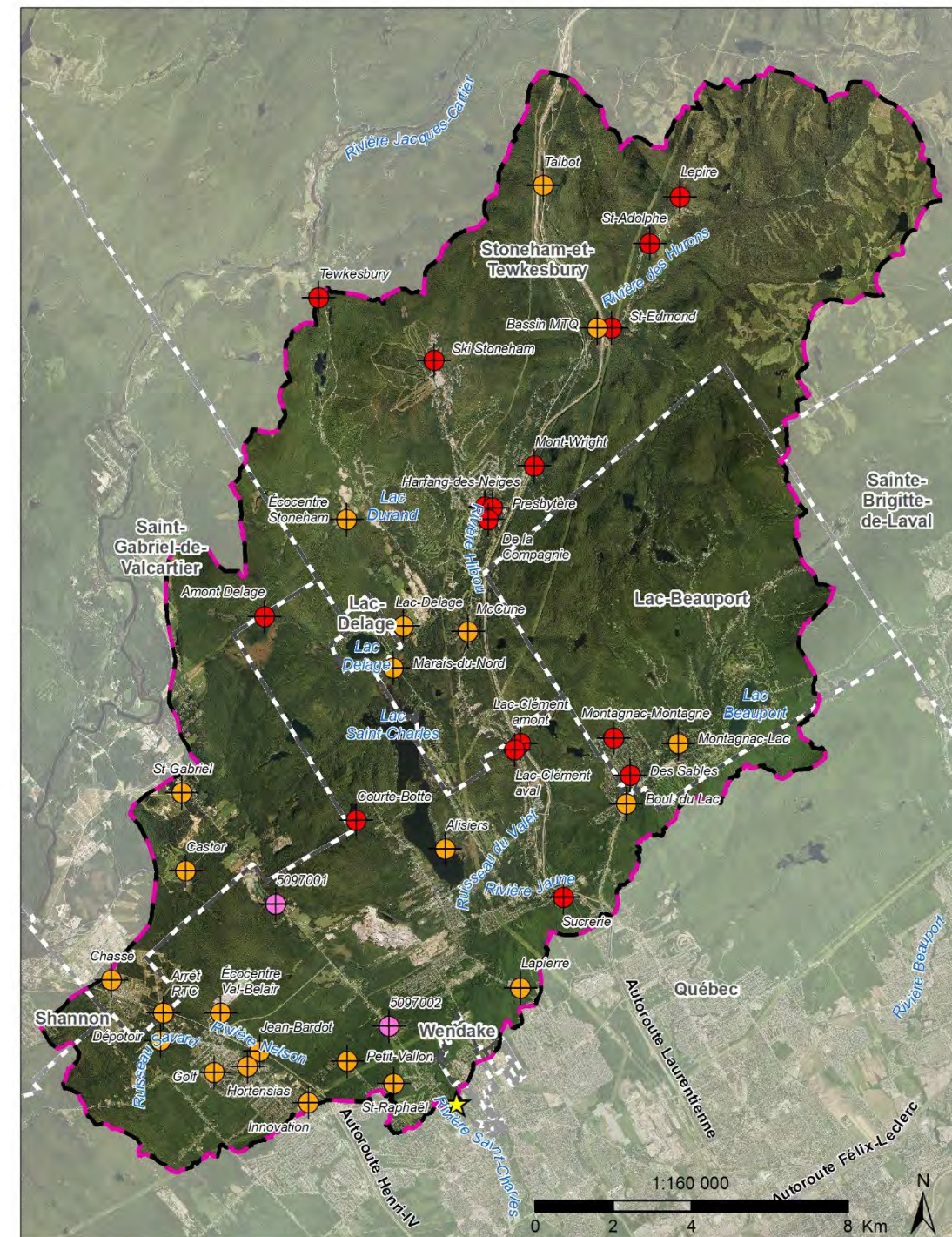




Puits d'observation



Puits d'observation du MELCC (2)





Puits d'observation

Forage de 15 nouveaux puits





Puits d'observation

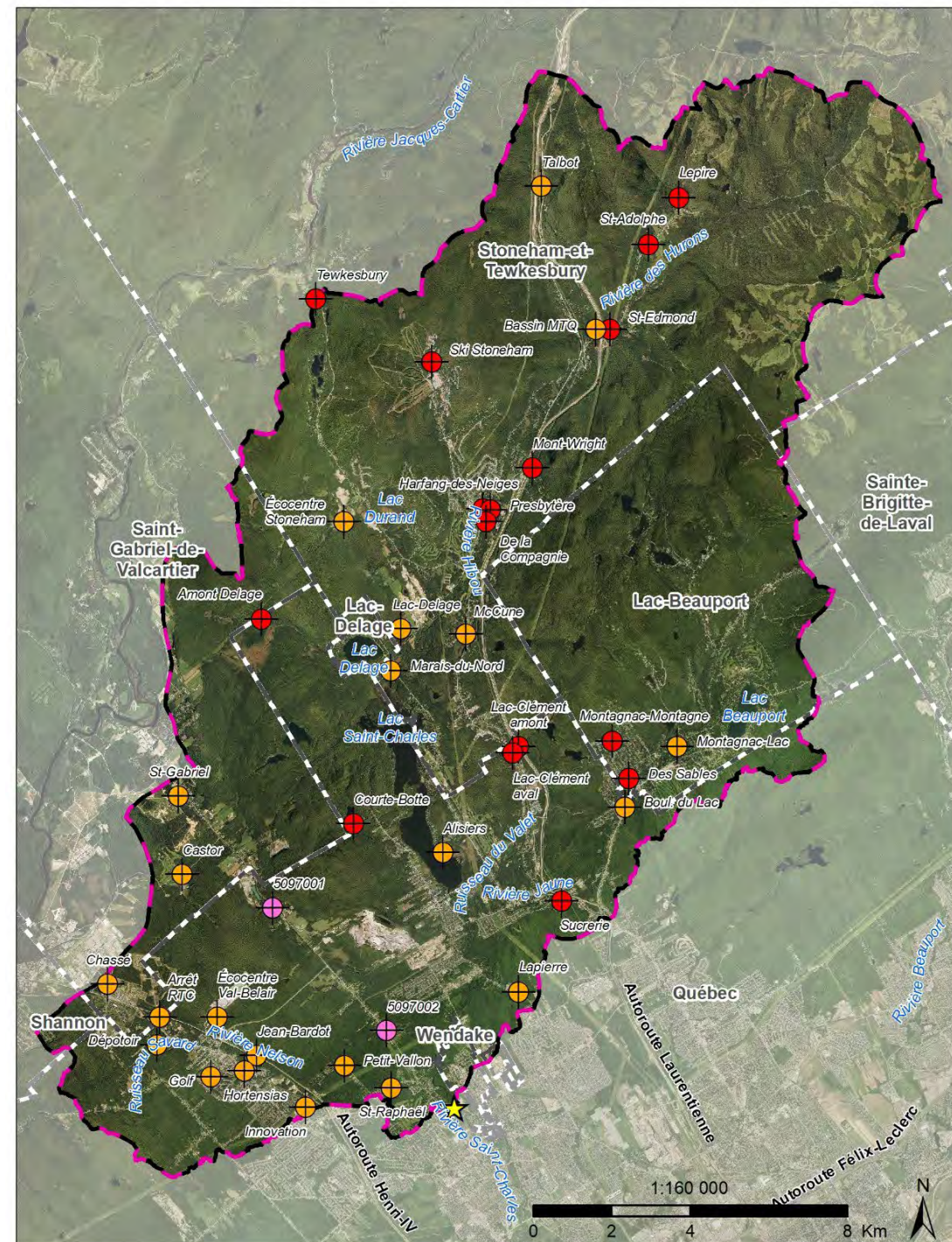
Puits d'observation de l'étude



Aquifère granulaire (22)



Aquifère de roc fracturé (16)





Récolte des données piézométriques

Niveau instantané



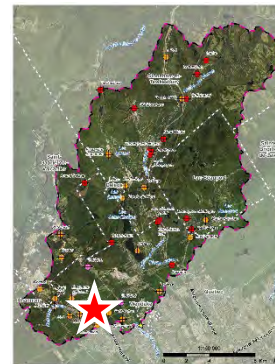
Niveau en continu





Analyse des données piézométriques

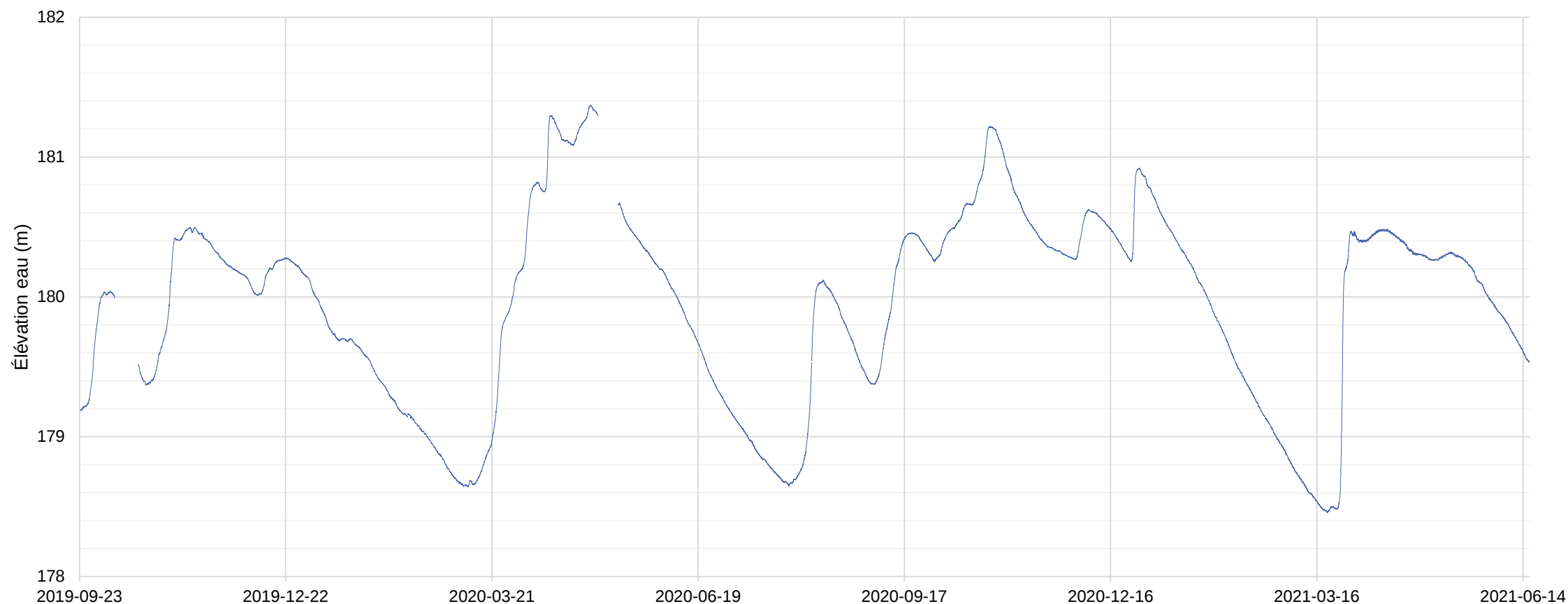
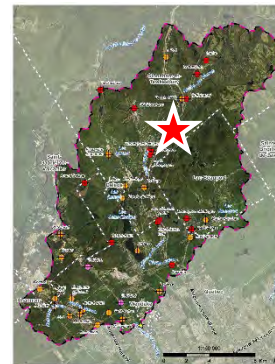
Puits St-Raphaël





Analyse des données piézométriques

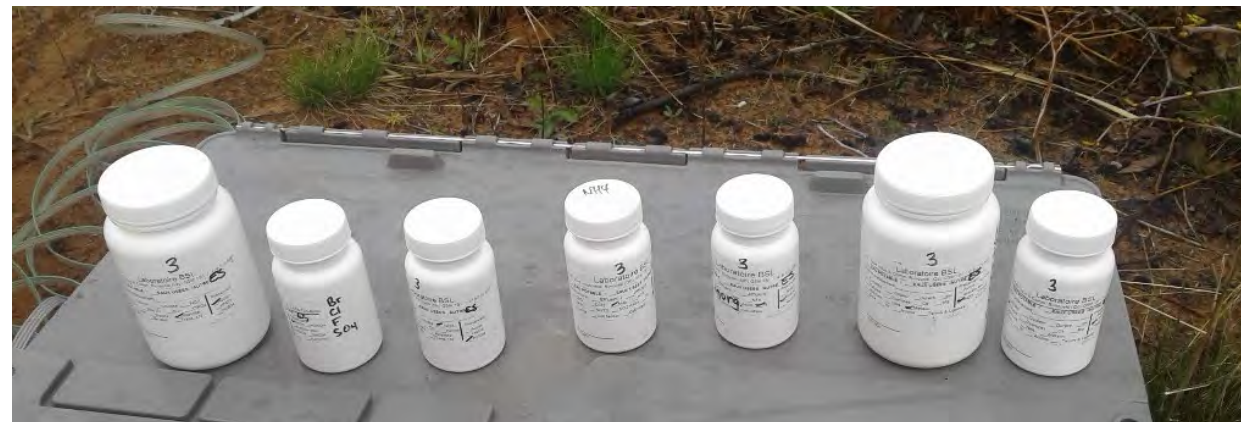
Puits Mont-Wright





Récolte des données sur la qualité de l'eau

1 échantillon à chaque saison





FORMULAIRE DE PRÉLÈVEMENT

Service du traitement des eaux
Division de la qualité de l'eau
et du soutien technique

214, avenue Saint-Sacrement, suite 210

[illegible]



Récolte des données sur la qualité de l'eau

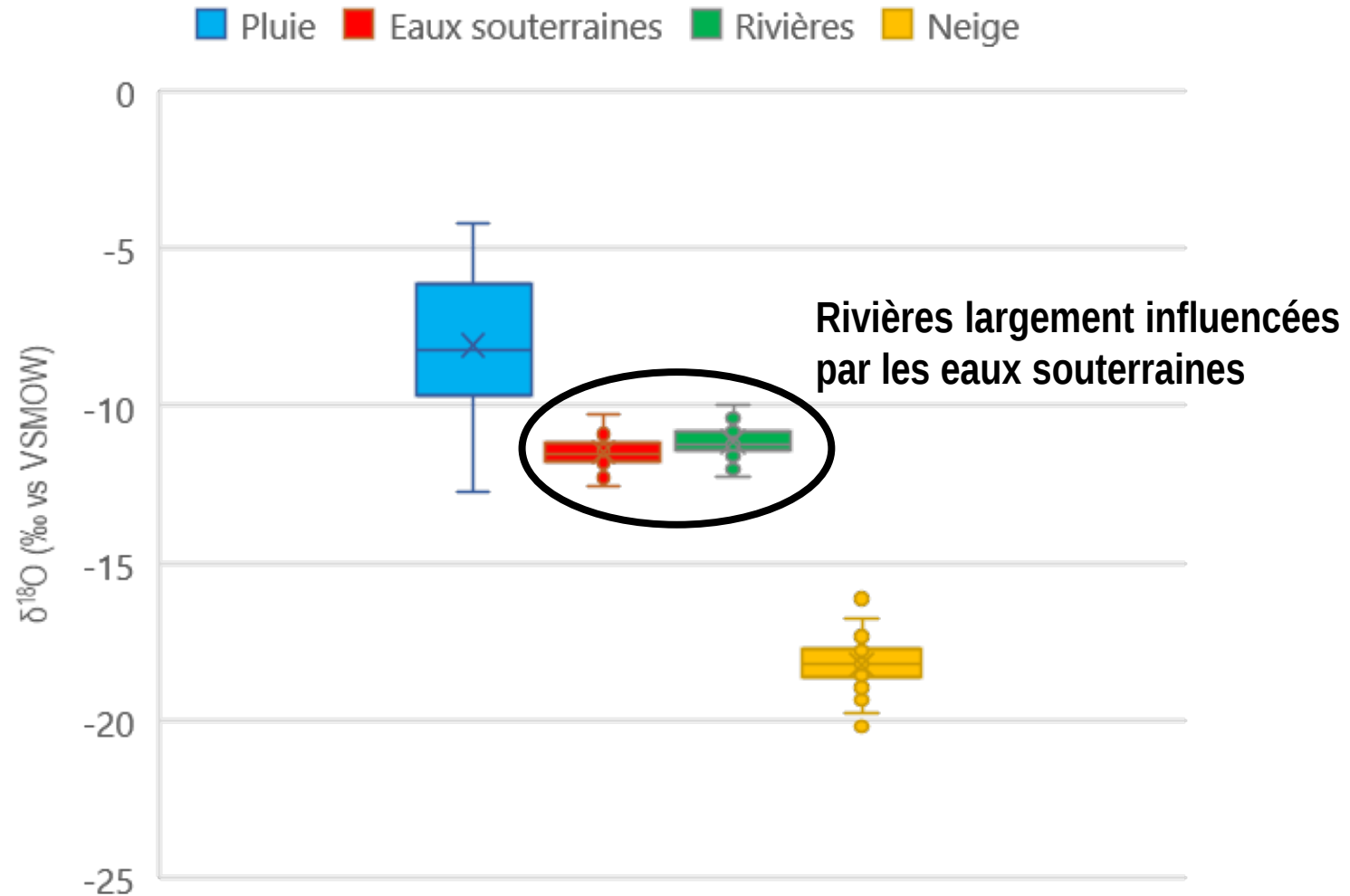
Coliformes totaux, <i>E. coli</i> Bouteille stérile de 250 ml	
Alcalinité, conductivité, pH Bouteille jetable de 250 ml	
Bore dissous	Bouteille jetable de 250 ml
Métaux H ⁺ dissous (Al, Ba, Ca, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sn, Zn)	
Sulfates Bouteille jetable de 250 ml	

Azote ammoniacal, Nitrites-nitrates, chlorures Bouteille jetable de 250 ml
Carbone et azote totaux Bouteille jetable de 250 ml
Phosphore total dissous Bouteille jetable de 250 ml
Métaux dissous (en ST) Bouteille de 250 ml jetable
Bromures, fluorures (en ST) Bouteille de 250 ml jetable



Analyse des isotopes stables de la molécule d'eau

Signature isotopique





Discussions en sous-groupes

1. Quelles données sont utiles dans votre pratique? De quelle façon les utilisez- vous?
2. Quelles nouvelles données ou informations supplémentaires vous seraient utiles?
3. Comment les données devraient être diffusées (en ligne, rapport, bases de données brutes, base de données géomatiques)?
4. Souhaiteriez-vous poursuivre l'acquisition de ces données après le projet?
Lesquelles seraient prioritaires?
5. Qui pourrait prendre en charge le suivi des mesures sur le long terme?



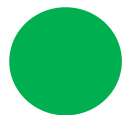
Consignes et fonctionnement



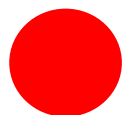
Discussion en sous-groupes



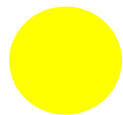
PAE



PQM



TE



ING

Groupe X

Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
• Aaaa  • Bbbb • Cccc	• Dddd  • Eee	• Ffff • Ggg • Hhh   	• Iiii  	• Jjj • Kkk  • Lll • Mmm • nnn



Que retenez-vous des échanges ?

Les chercheurs – 2 min.

Pause



15 min. +
changement expert

ACTIVITÉ 4

Modèle numérique



Apprécier les résultats du modèle numérique développé sur mesure pour la ville de Québec et prendre connaissances des questions auxquelles il peut répondre



Présentation
magistrale

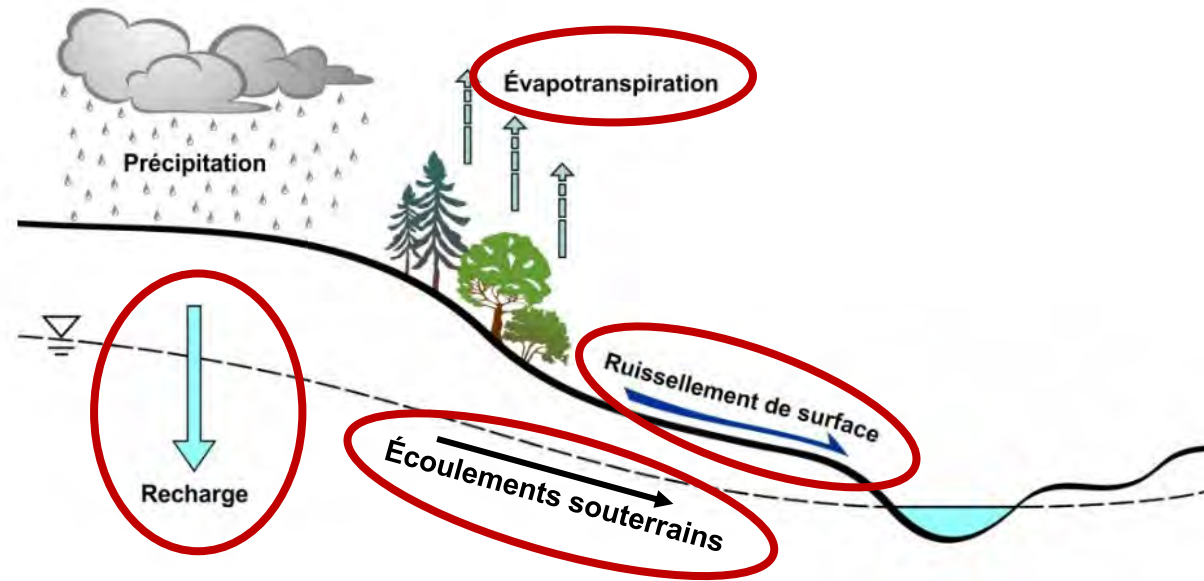
+



Activité en
petits groupes



La modélisation, quel intérêt ?



1. Accéder à une description complète des processus sur le territoire

- Dans l'espace
- Dans le temps

2. Tester des scénarios

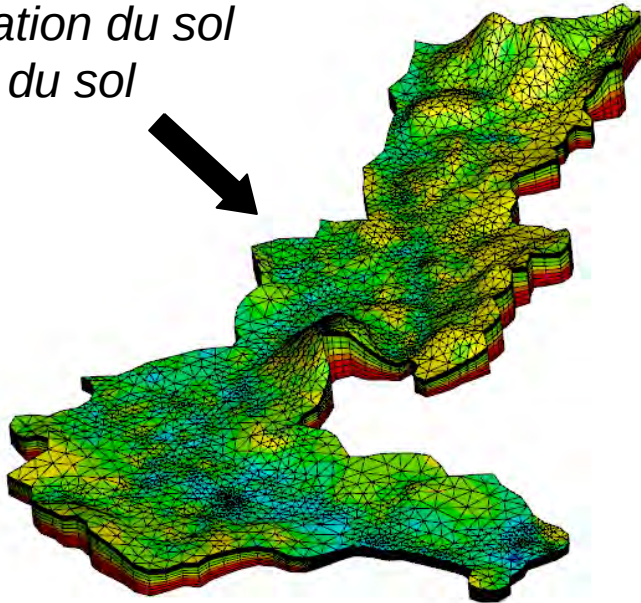
- Occupation du sol
- Changements climatiques



Un modèle numérique, comment ça fonctionne ?

Données d'entrée

Topographie
Occupation du sol
Nature du sol

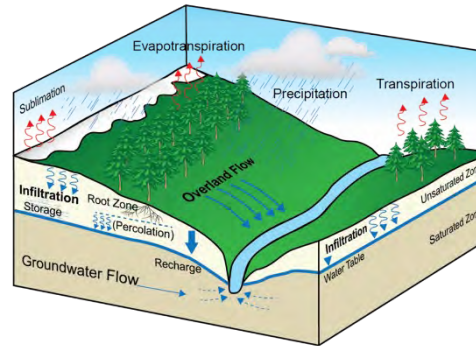


Conditions météo journalières



Simulation

Modèle HydroGeoSphere



Résultats

À chaque jour
Débit
Hauteur de la nappe
Échanges surface-souterrain

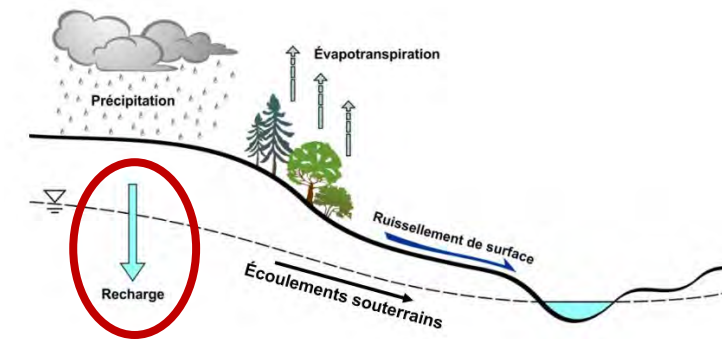
Moyenné sur l'année
Temps de transport dans le souterrain
Temps de transport en surface
Recharge



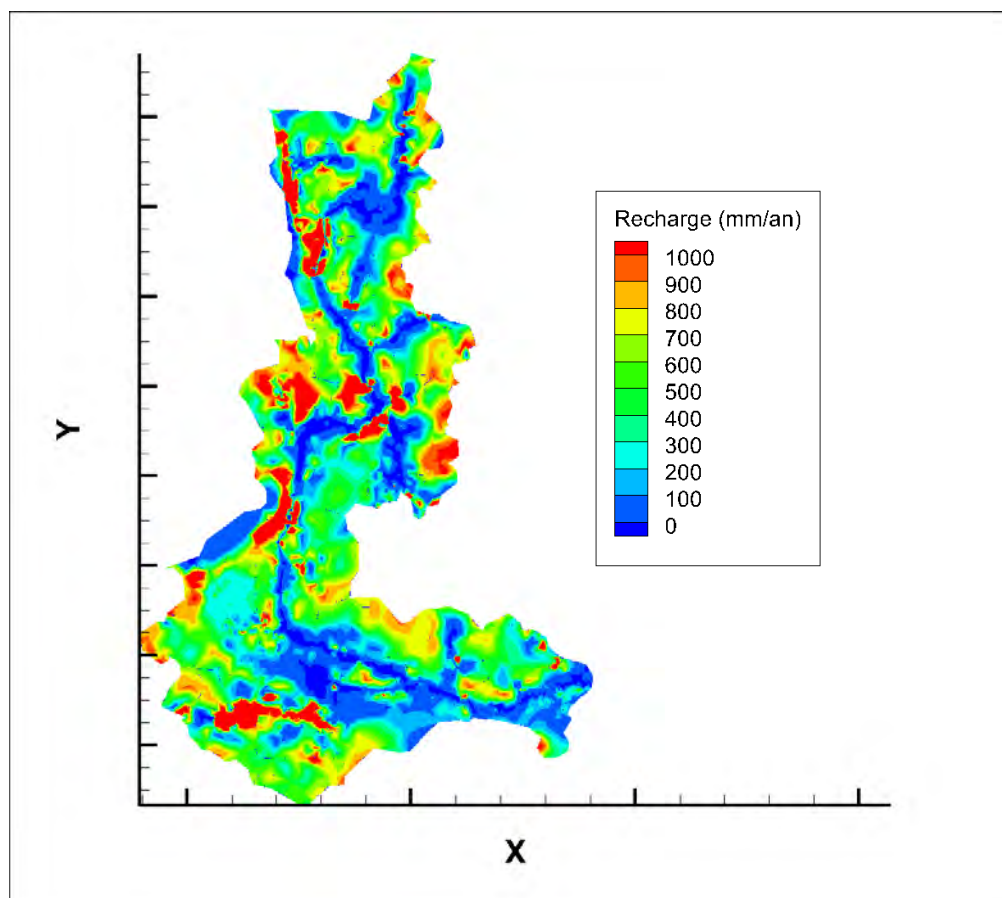
L'utilisation d'un modèle à base physique et couplé surface-souterrain nécessite une grande **puissance de calcul** et une grande **quantité de données**.



Résultats: exemple de la recharge des eaux souterraines

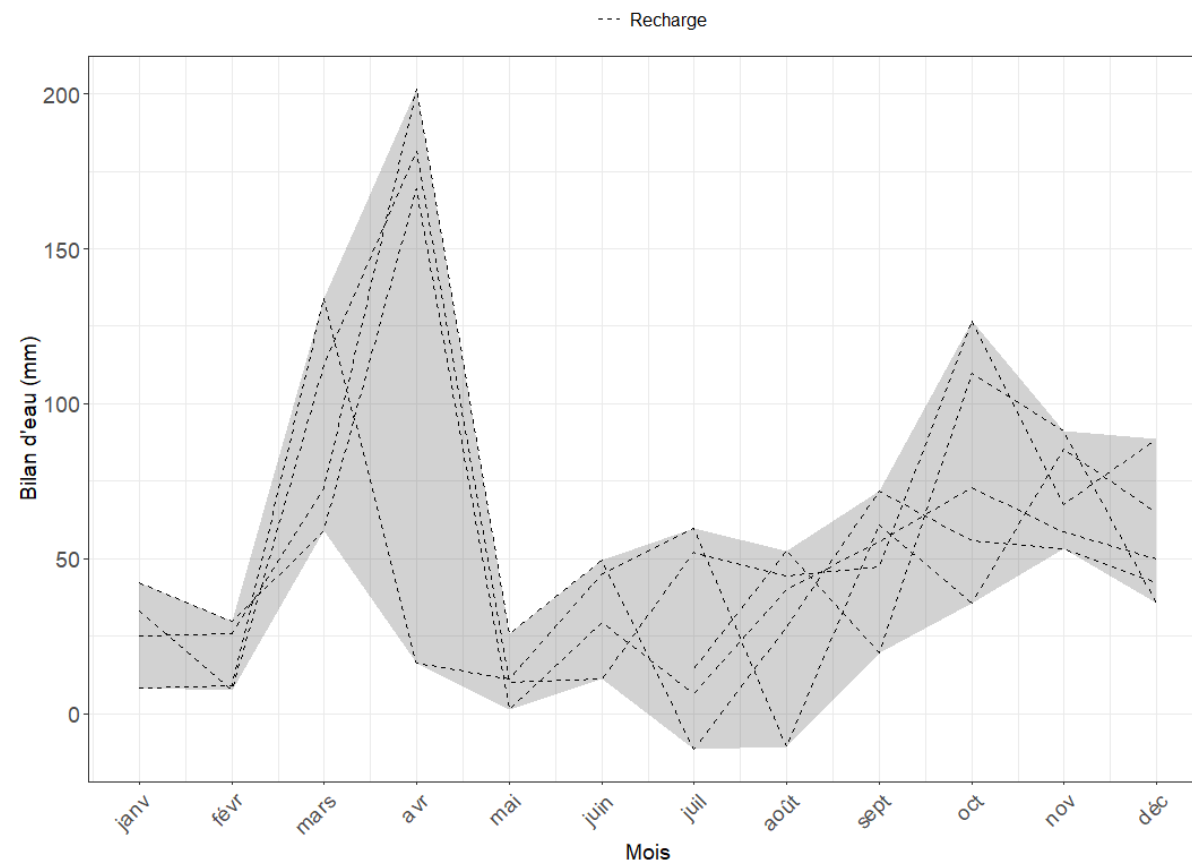


Où ?



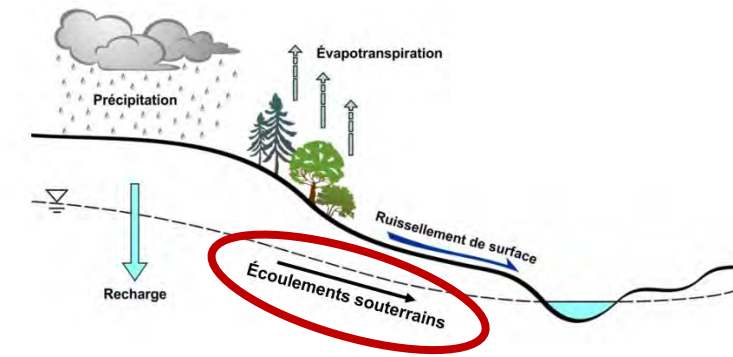
Bassin versant de la rivière Nelson

Quand ?

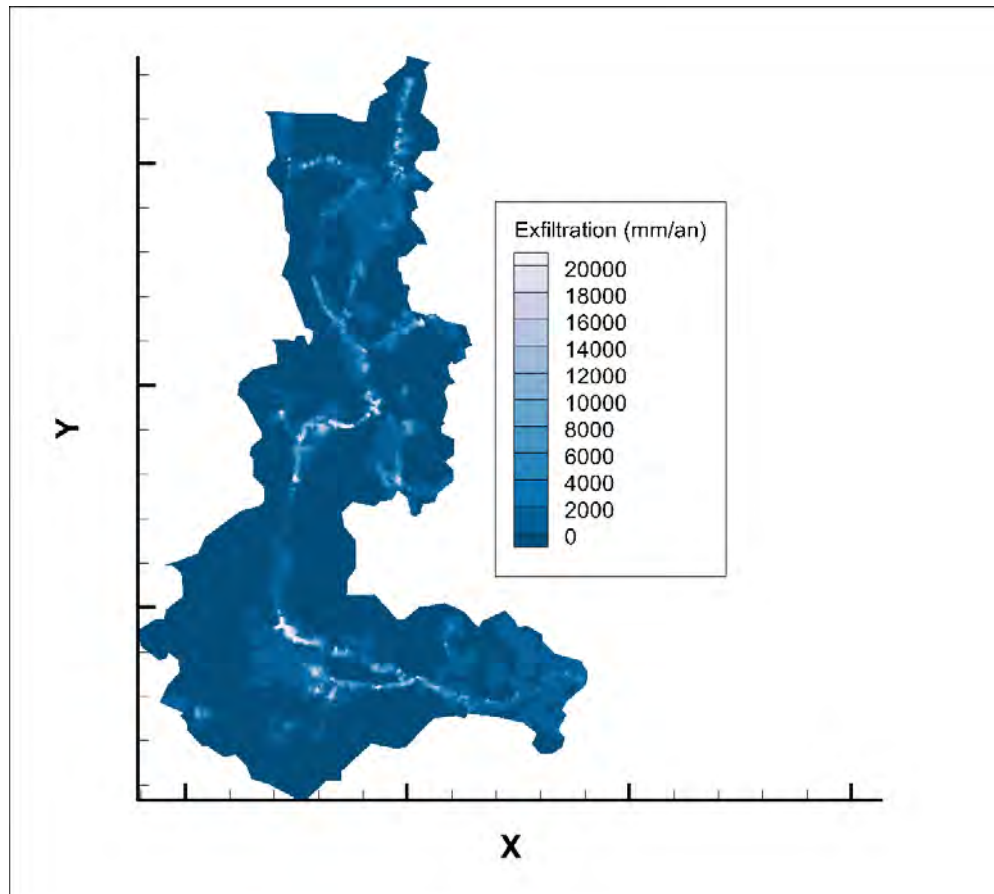




Résultats: exemple des résurgences d'eau dans la rivière

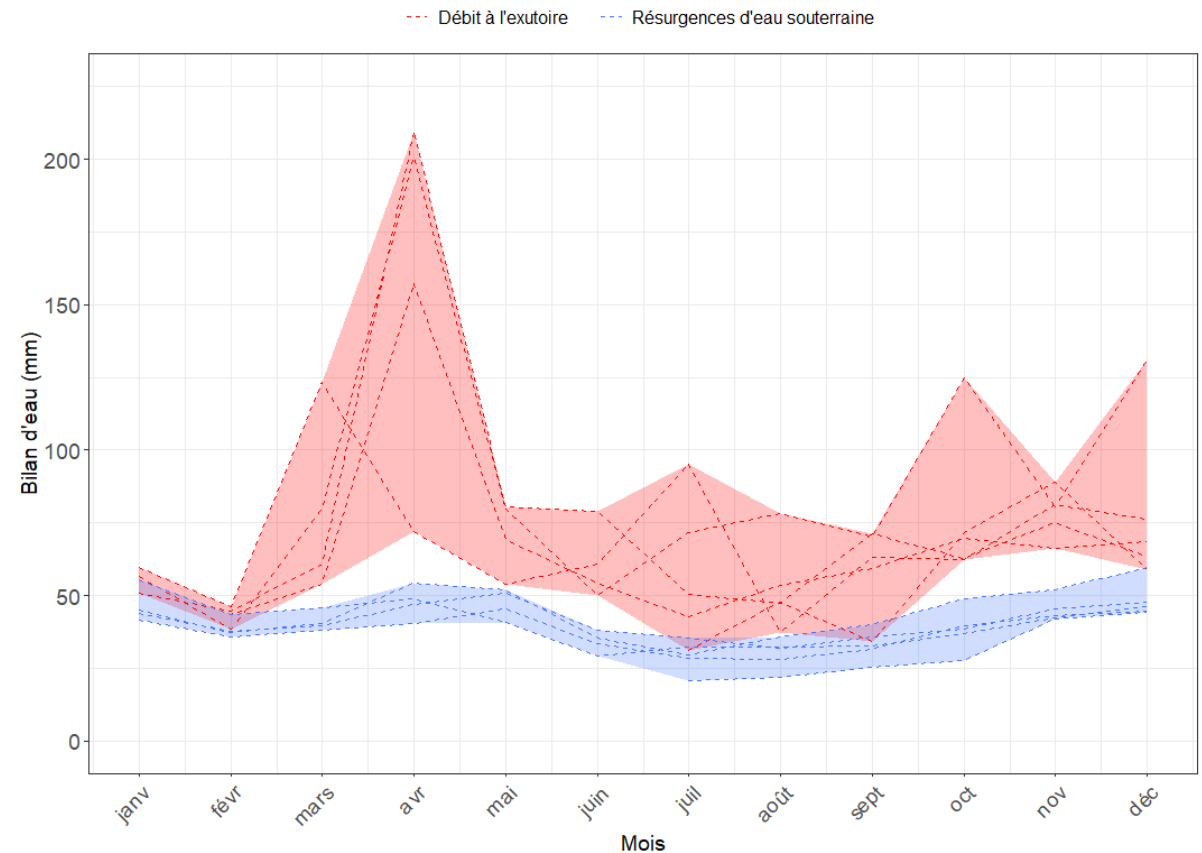


Où ?



Bassin versant de la rivière Nelson

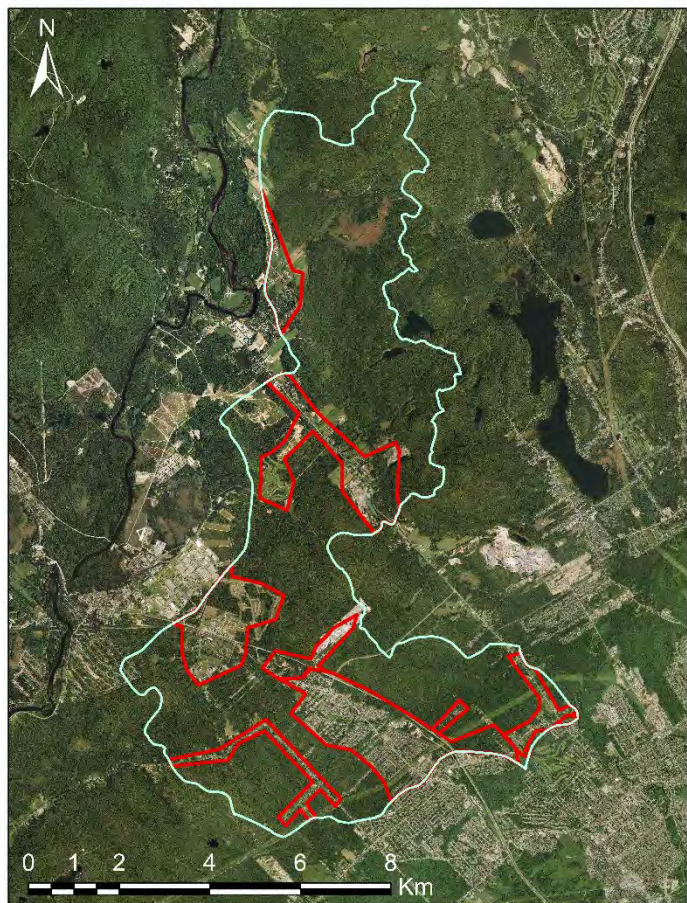
Quand ?





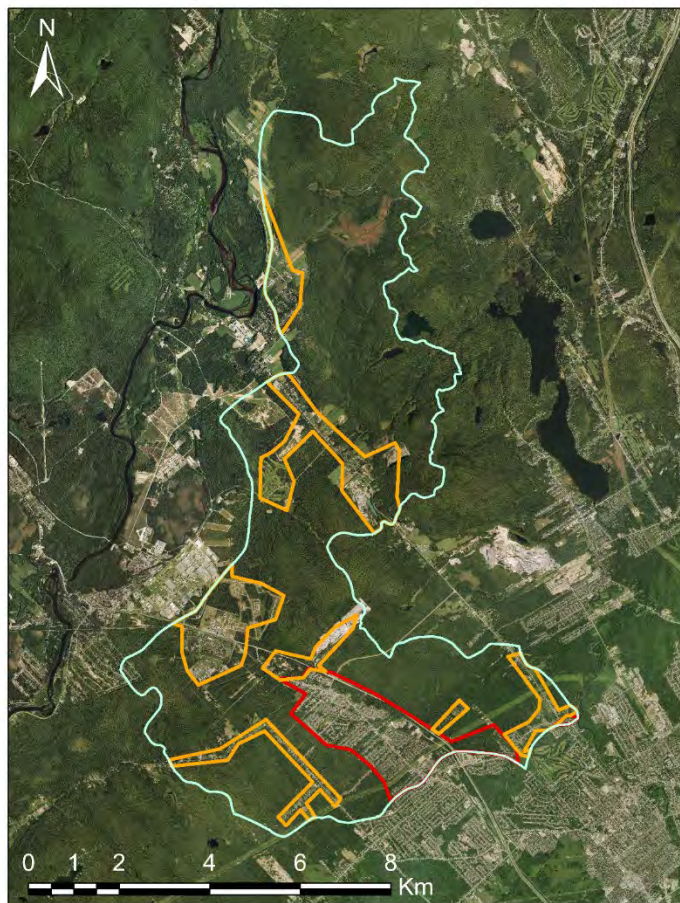
Test de scénario: impact de l'occupation du sol

Zones plus urbanisées



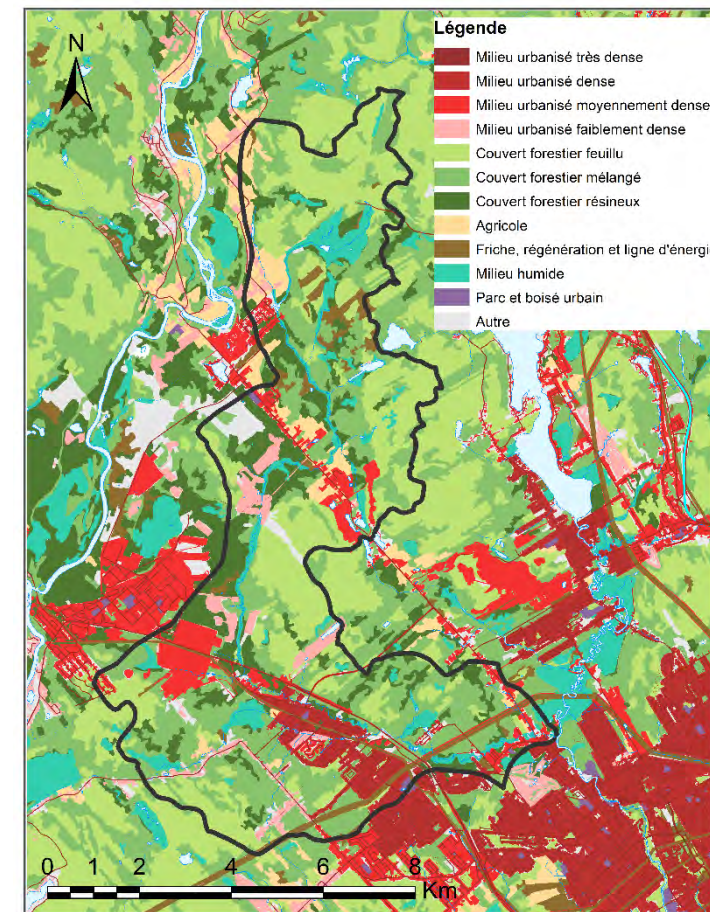
 Densément urbanisé

Occupation du sol actuelle



 Moyennement urbanisé

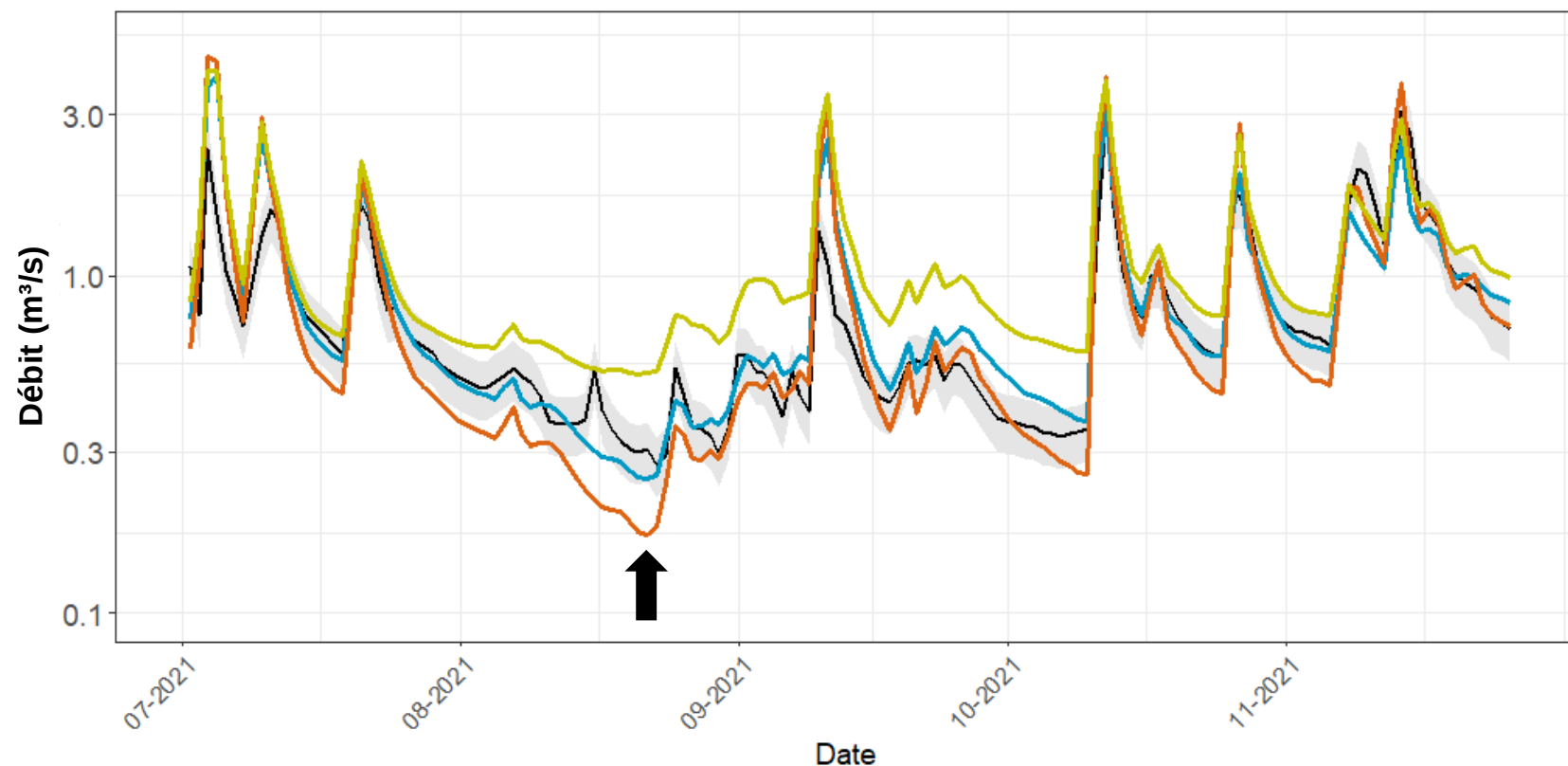
Forêts plus matures



Carte de l'occupation du sol



Test de scénario: impact de l'occupation du sol sur les étiages



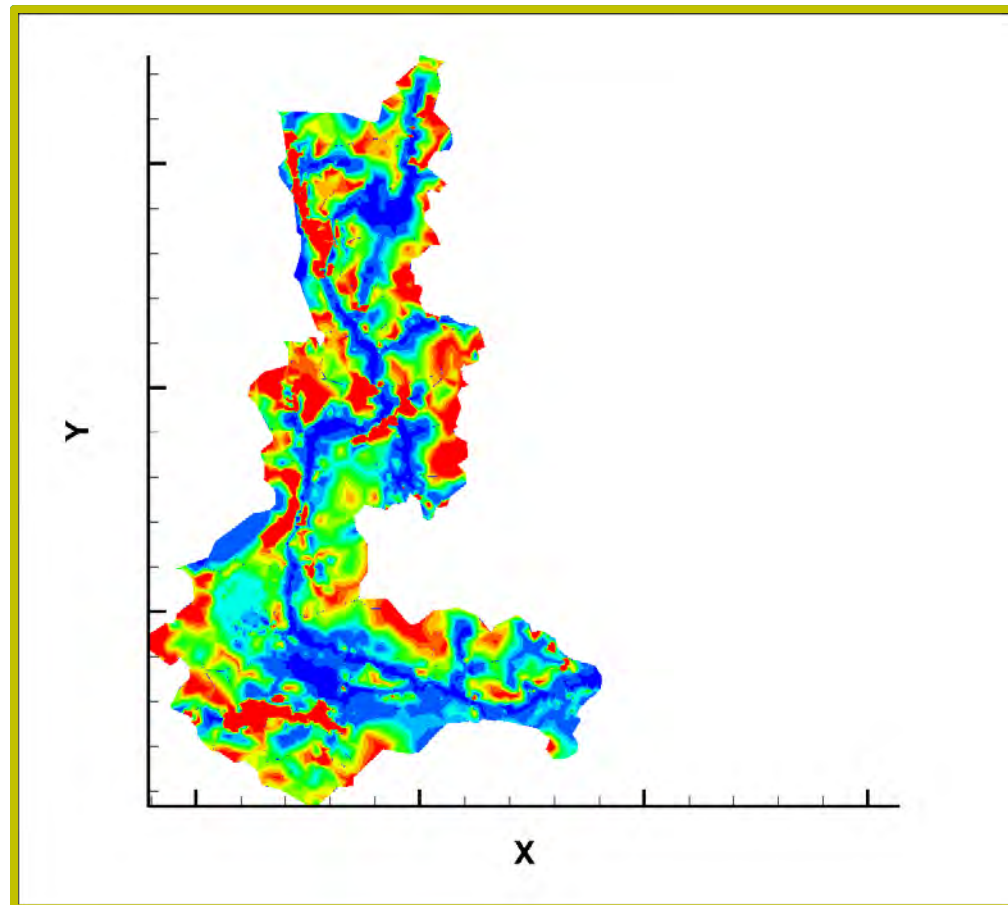
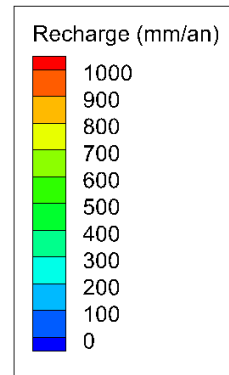
— Observations — Occupation du sol plus urbanisé — Occupation du sol actuelle — Végétation plus dense

	Occupation du sol plus urbanisé	Occupation du sol actuelle	Végétation plus dense
Étiage (2021-08-27) (m³/s)	0.17 (68 %)	0.25	0.51 (204 %)



Test de scénario: impact de l'occupation du sol sur le bilan d'eau

	Occupation du sol plus urbanisé	Occupation du sol actuelle	Végétation plus dense
Recharge (mm/an) (% des précipitations totales)	450 35 %	490 38 %	566 43 %

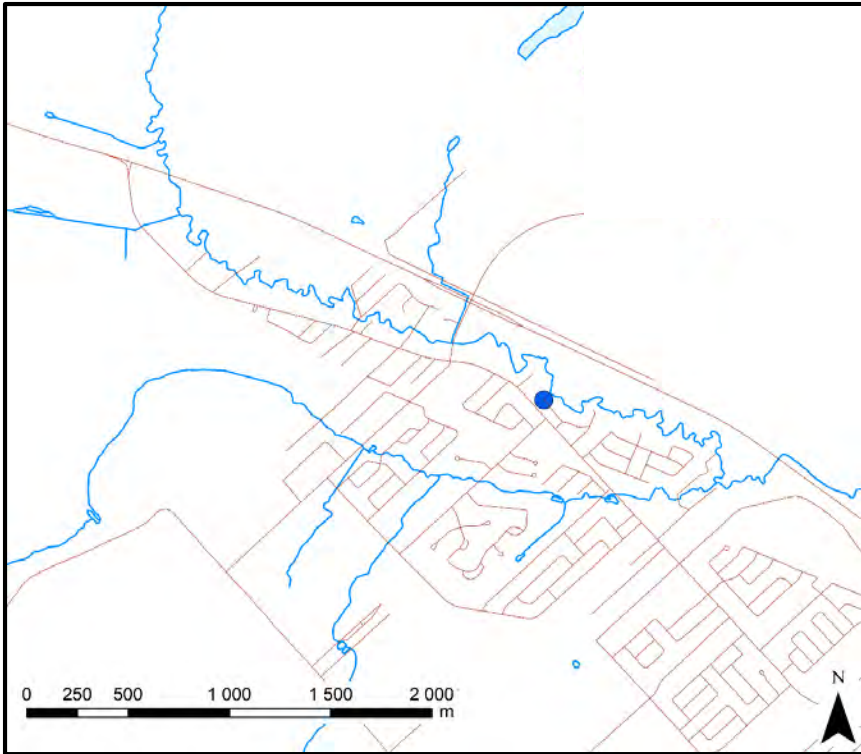


Bassin versant de la rivière Nelson



Utilisation annexe du modèle: impact de l'arrêt du puits Honfleur

Puits Honfleur à Val-Bélair



Prélèvement journalier moyen de 2010 à 2020 : 1610 m³/s

Quel impact de l'arrêt du puits Honfleur sur les conditions hydrogéologiques avoisinantes et sur la rivière Nelson ?

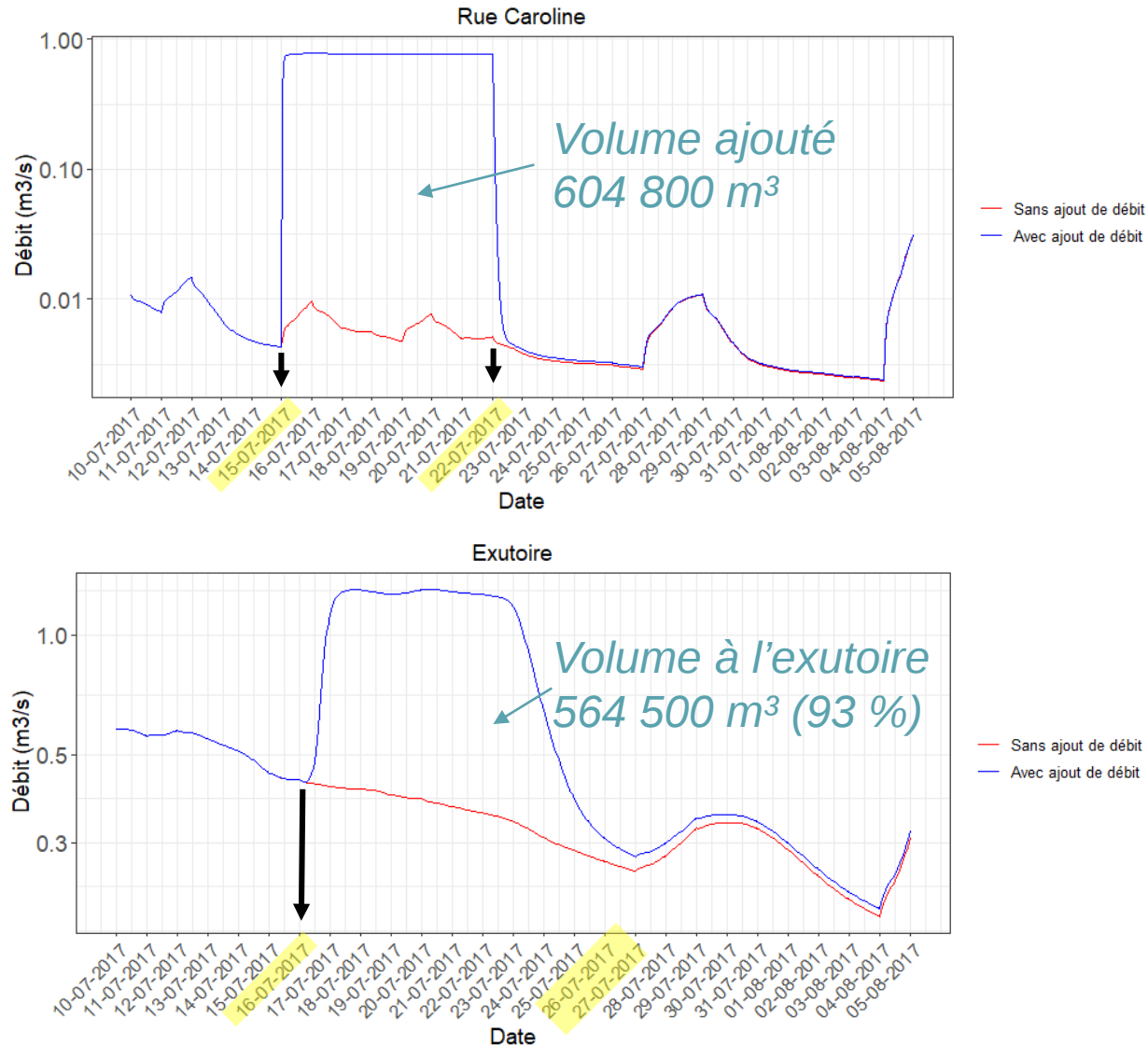
- Augmentation légère du débit de base de la rivière Nelson
- 80 % du volume non pompé fait résurgence dans la rivière directement à l'aval du puits
- Remontée de la nappe dans les cellules voisines, de l'ordre de 0.25 m



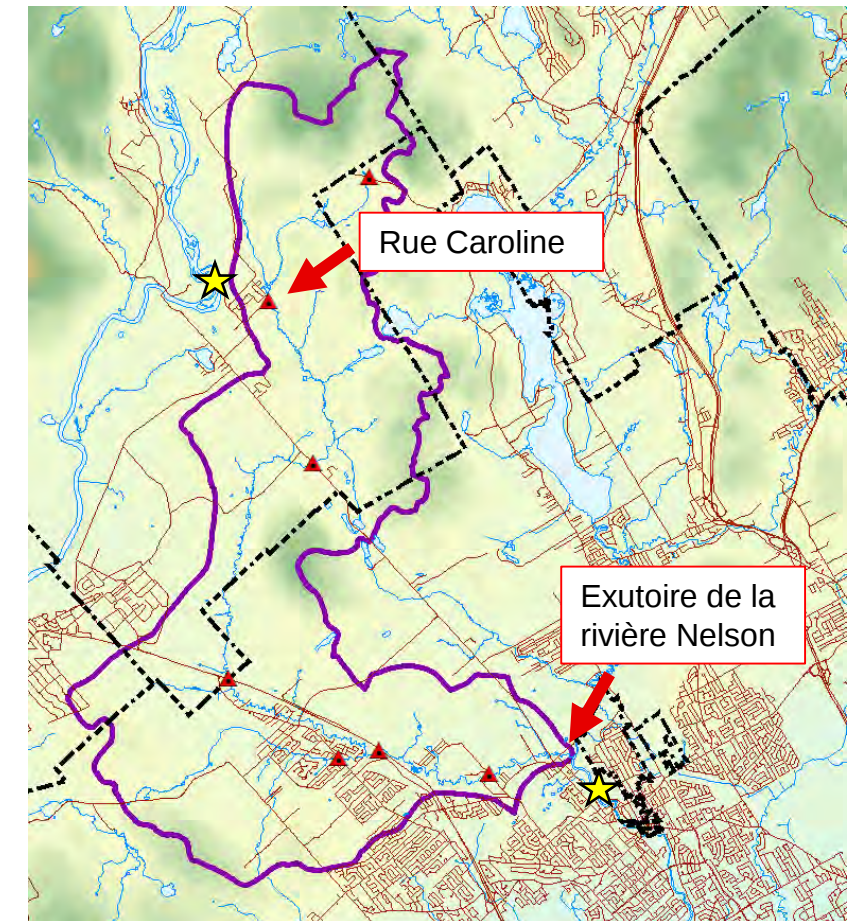
*Ces résultats portent une incertitude, car la zone est grossièrement discrétisée par rapport à cette **problématique très locale**.*



Utilisation annexe du modèle: transfert d'eau entre la Jacques Cartier et la Nelson



En étiage estival, possibilité d'utiliser la canalisation reliant les deux rivières

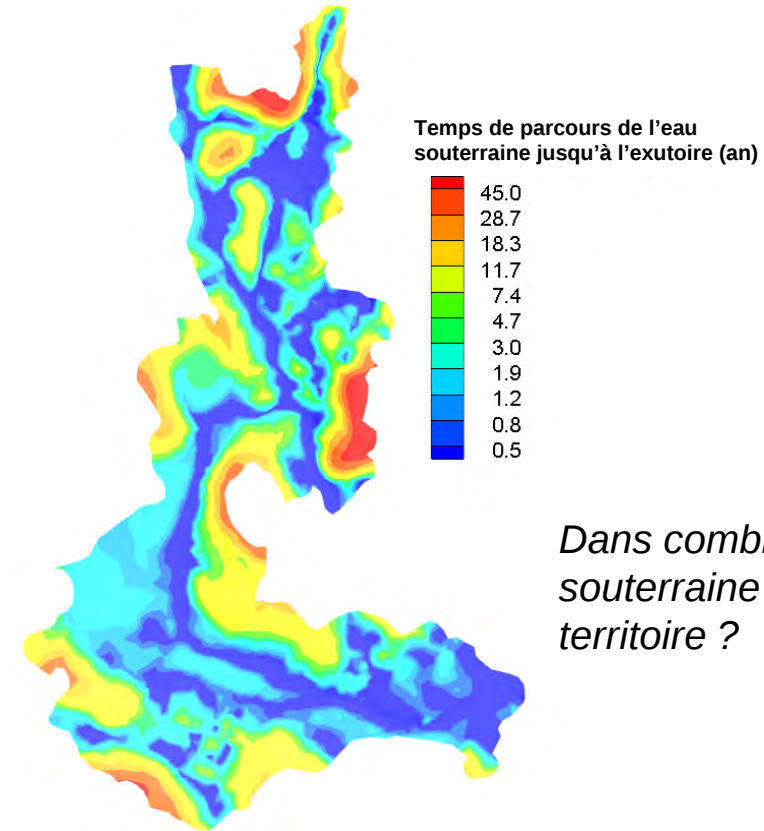
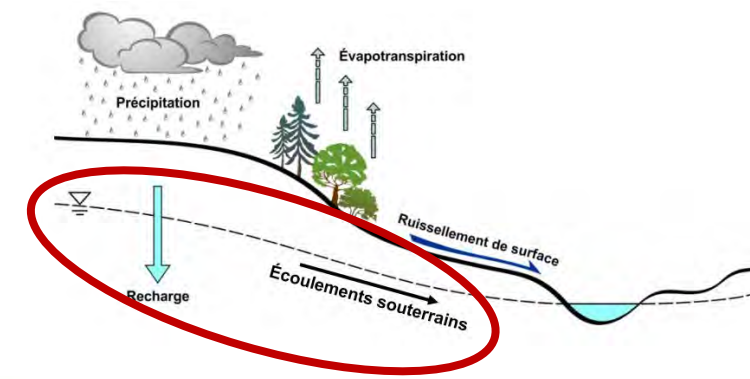




Qualité de l'eau: que peut apporter la modélisation ?

Modélisation du transport de contaminant

- Évaluer le potentiel d'atténuation des contaminant dans l'eau souterraine
- Tester des scénarios de contamination de l'eau souterraine et évaluer l'impact sur l'eau de surface
- Focus sur des problématiques locales de contamination au sel de déglacage



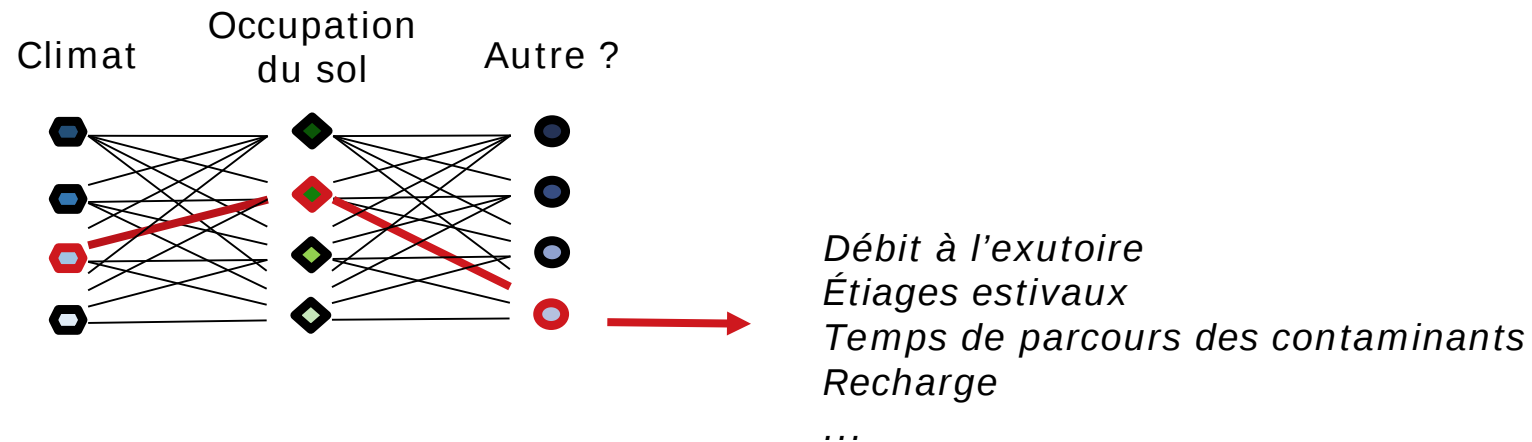
Dans combien de temps l'eau souterraine sortira-t-elle du territoire ?

Bassin versant de la rivière Nelson



Partage des données et des connaissances

- Atlas vulgarisé
- Mise en place d'un outil simple en ligne permettant de combiner des scénarios



- Atelier de transfert de connaissances en fin de projet (2024)



Discussion en sous-groupes

1. Quels résultats du modèle, prévus dans le cadre du projet, vous intéressent plus ?
Exemples :
 - Résurgences d'eau dans les rivières (localisation, variabilité temporelle)*
 - Étiages estivaux (intensité, durée)*
 - Recharge (zones, variabilité temporelle)*
2. Quels types de scénarios sur l'occupation du sol ou des changements climatiques jugeriez-vous utiles ?
3. Est-ce que d'autres résultats potentiels du modèle pourraient vous intéresser ? Par exemple des scénarios concernant d'autres variables ?
4. Dans quels formats (atlas, fiches synthèses, bases de données brutes, base de données géomatique, outils en ligne) ?
5. Comment rendre les données utiles et utilisables pour vous ?



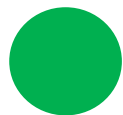
Consignes et fonctionnement



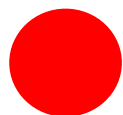
Discussion en sous-groupes



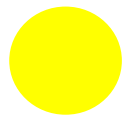
PAE



PQM



TE



ING

Groupe X

Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
• Aaaa  • Bbbb • Cccc	• Dddd  • Eee	• Ffff • Ggg • Hhh   	• Iiii  	• Jjj • Kkk  • Lll • Mmm • nnn



Que retenir-vous des échanges ?

Les chercheurs – 2 min.

Questions ?

MERCI AUX ACTEURS ET AUX CHERCHEURS

Mot de la fin

- ❑ Atelier 2 : présenter les résultats (2024)
- ❑ Contact : Luc Audet



rqes.ca