

Formation

Notions de base en hydrogéologie

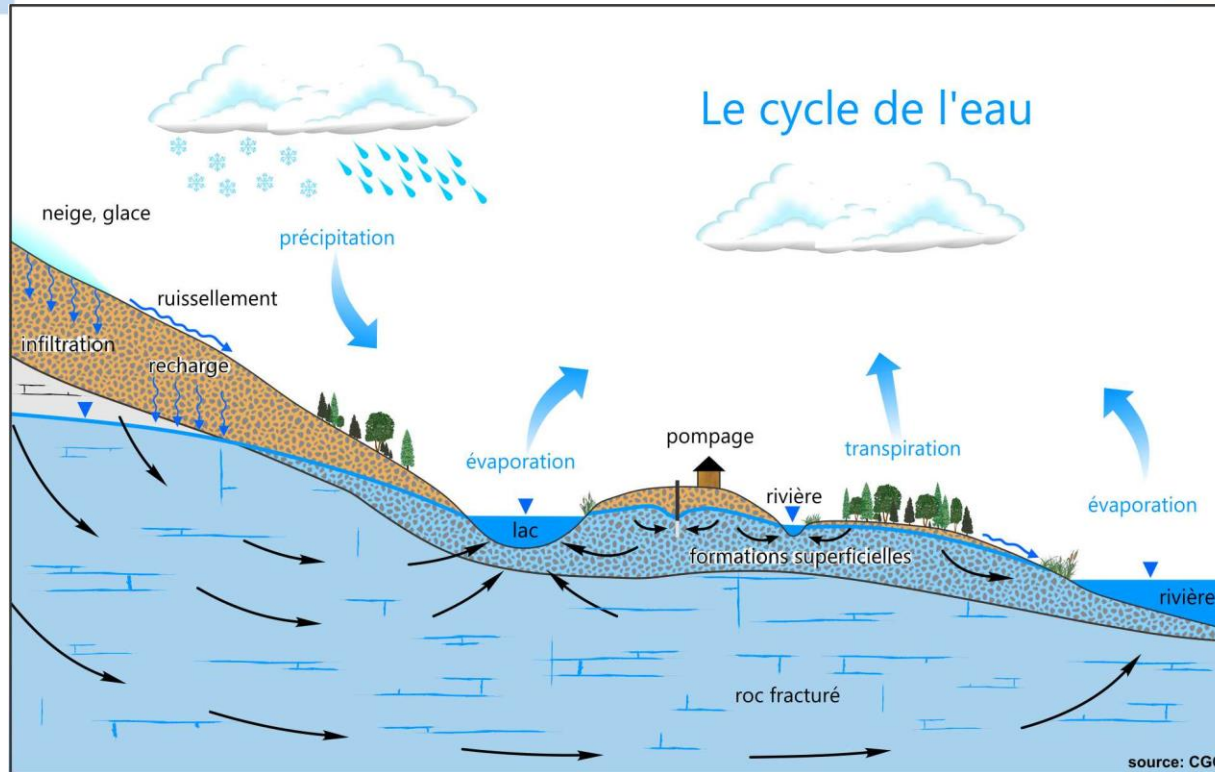
Notions de base en hydrogéologie

Notions de base

- Origine et écoulement de l'eau souterraine
- Contexte géologique et concepts de base sur les aquifères
- Qualité l'eau souterraine
- Captage et protection de l'eau souterraine
- Objectifs et méthodologie des projets PACES

Origine et écoulement de l'eau souterraine

Cycle hydrologique



Océans: **97,5%** de l'eau (eau salée)

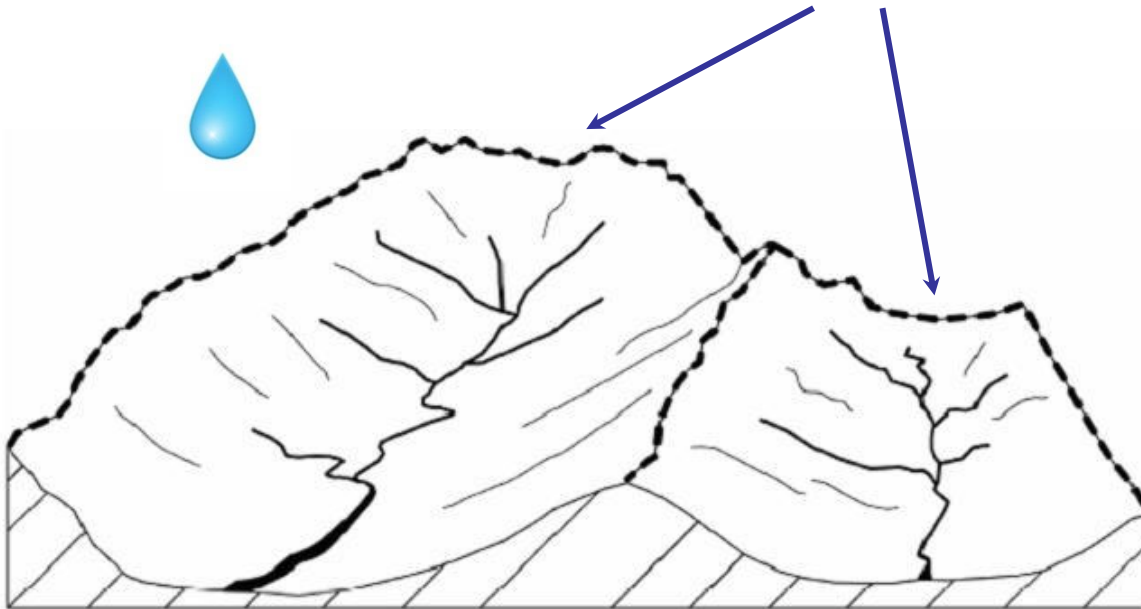
Eau douce: **2,5%** glaciers: 68,9%

eau de surface (lacs, réservoirs, rivières): 0,3%

eau souterraine: **30,8%**

Bassins versants

zone limitée par les crêtes topographiques



Deux bassins versants voisins - en pointillé les lignes de partage des eaux



Toutes les précipitations tombées à l'intérieur d'un bassin versant alimentent un même exutoire.

Les bassins versants hydrologique et hydrogéologique sont souvent identiques.

Bassins versants

Dans la zone d'étude:
11 bassins versants

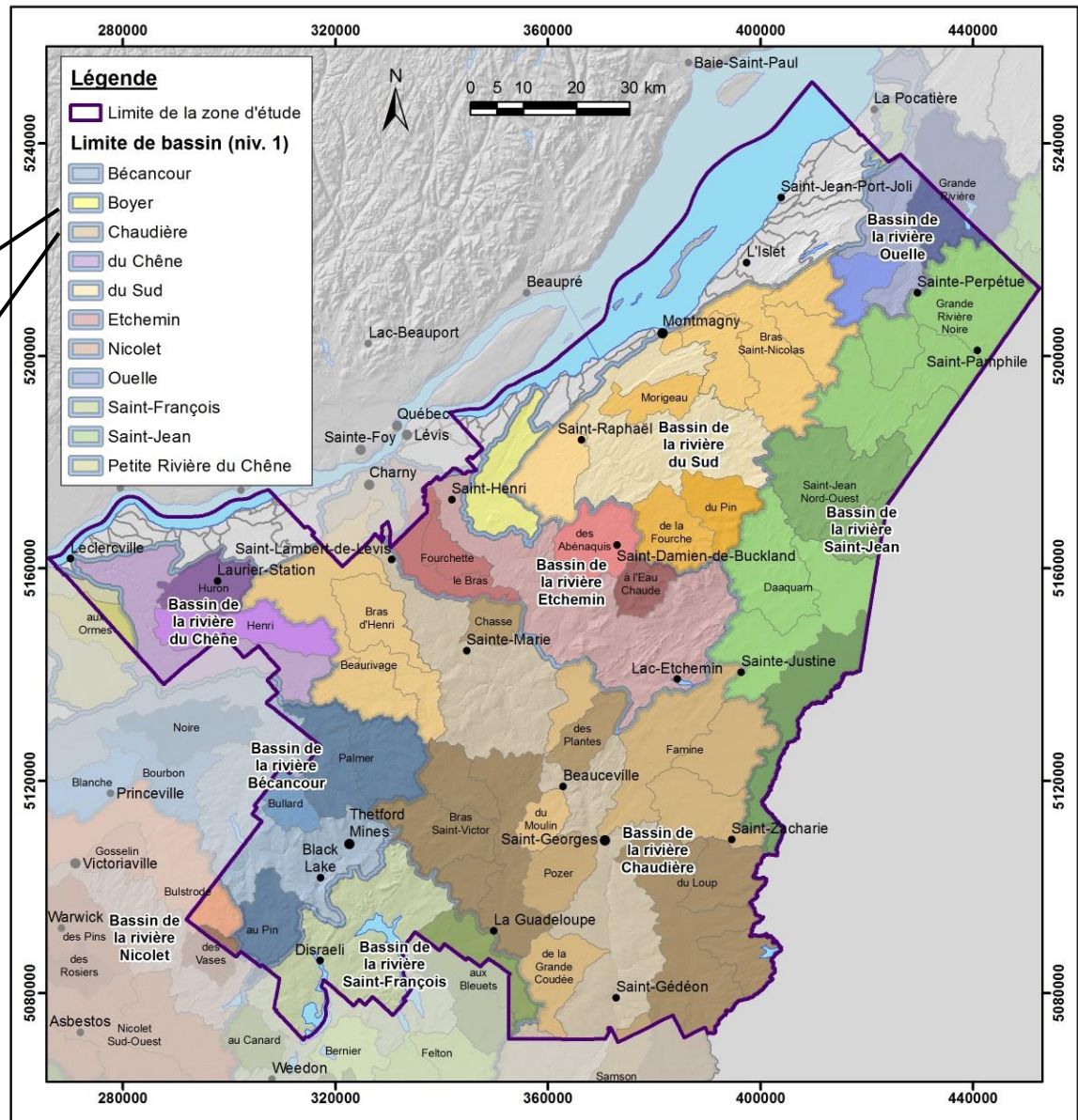
Superficies :

216 km²

à

4 816 km²

Superficie totale:
15 600 km²



Eau souterraine

Puits au roc



Puits de surface

Eau souterraine



Puits artésiens



Sources



Apport à une
rivière

(débit de base)

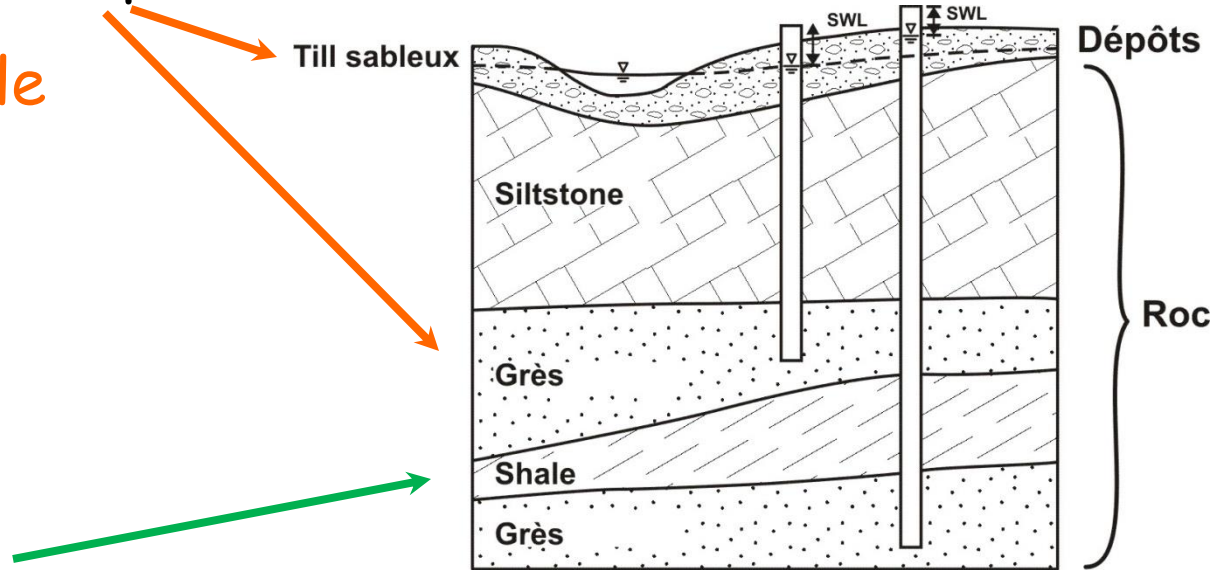
T° à l'année = 7 à 9°C



Aquifères vs aquitards

Aquifère: formation géologique, constituée par exemple de sable ou de roc fracturé, qui permet de fournir une bonne quantité d'eau.

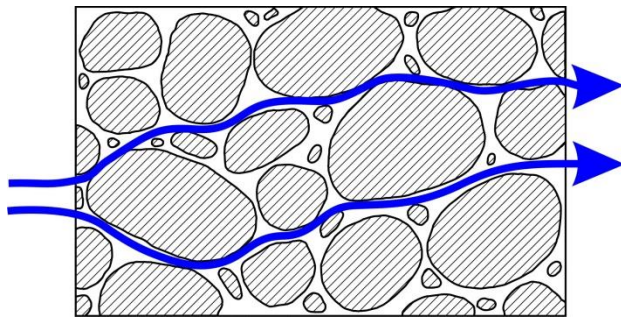
perméable



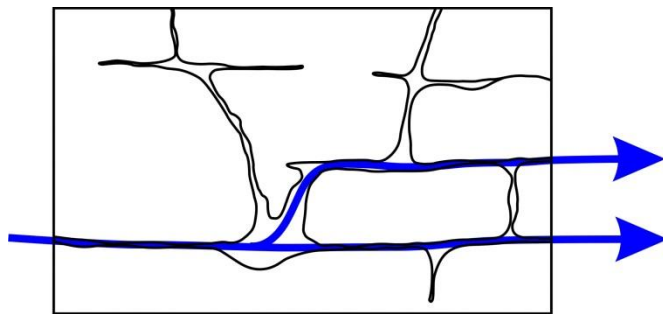
Aquitard: formation géologique, constituée par exemple d'argile ou de roc non fracturé à grains fins, qui est pratiquement imperméable → **Couche protectrice**

Écoulement

L'eau souterraine circule entre les particules ou dans les fractures



sable (entre les grains)

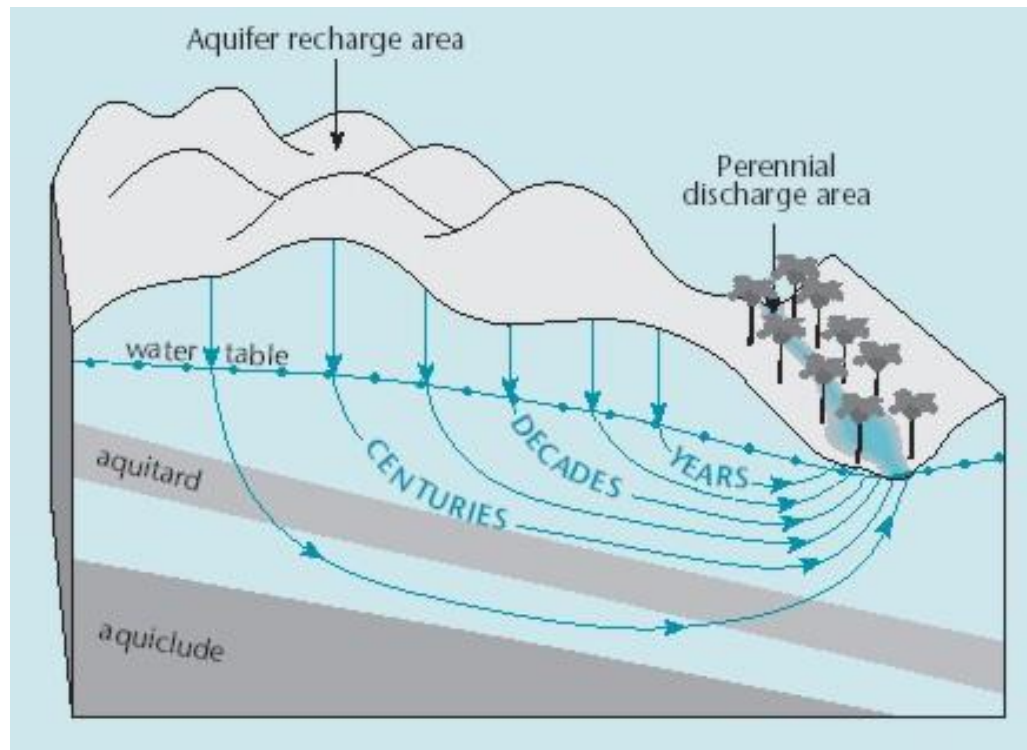


roc (dans les fractures)



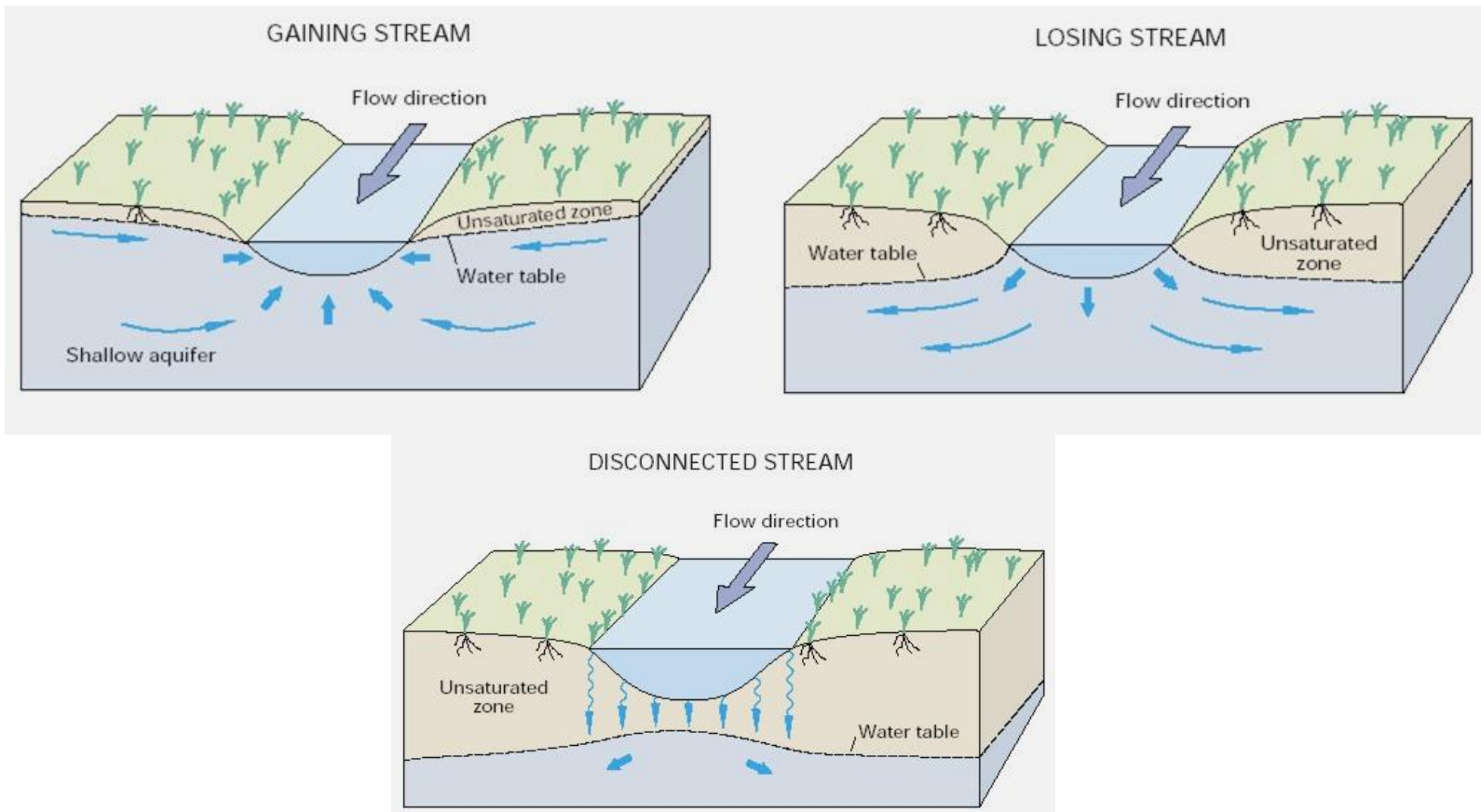
Écoulement

L'eau souterraine circule lentement, contrairement à l'eau de surface. L'eau infiltrée peut prendre quelques années pour parvenir à un cours d'eau, des décennies, voire plusieurs millénaires.



Interactions

Interactions eau de surface - eau souterraine

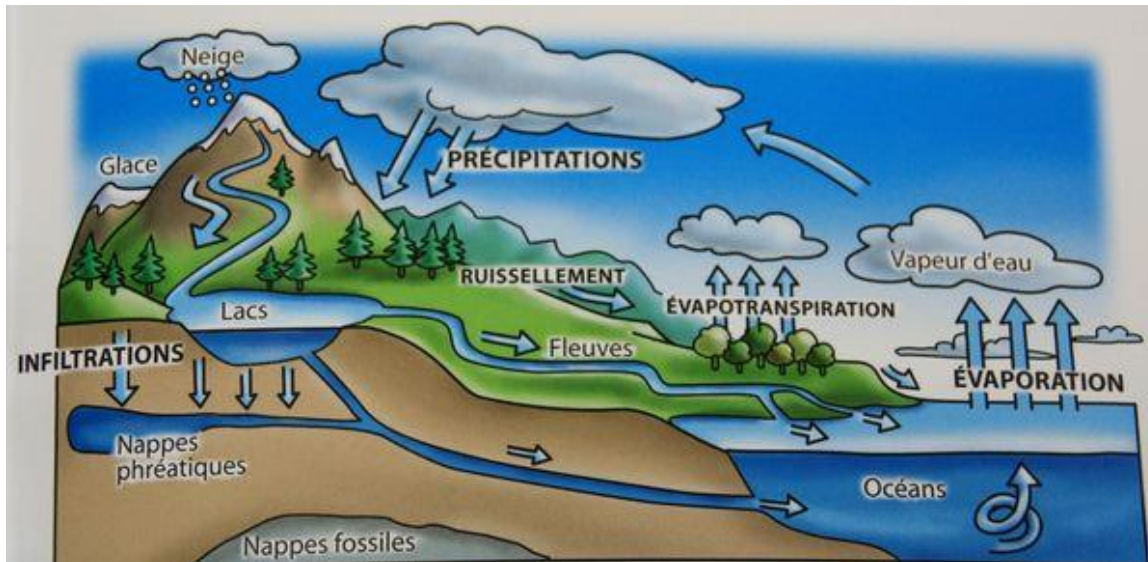


Recharge

L'eau des précipitations peut emprunter différents chemins:

- ruissellement vers les cours d'eau
- évapotranspiration (transpiration par les plantes et évaporation)
- infiltration et recharge vers l'aquifère

La **recharge** correspond à la quantité d'eau qui s'infiltré et qui atteint l'aquifère.



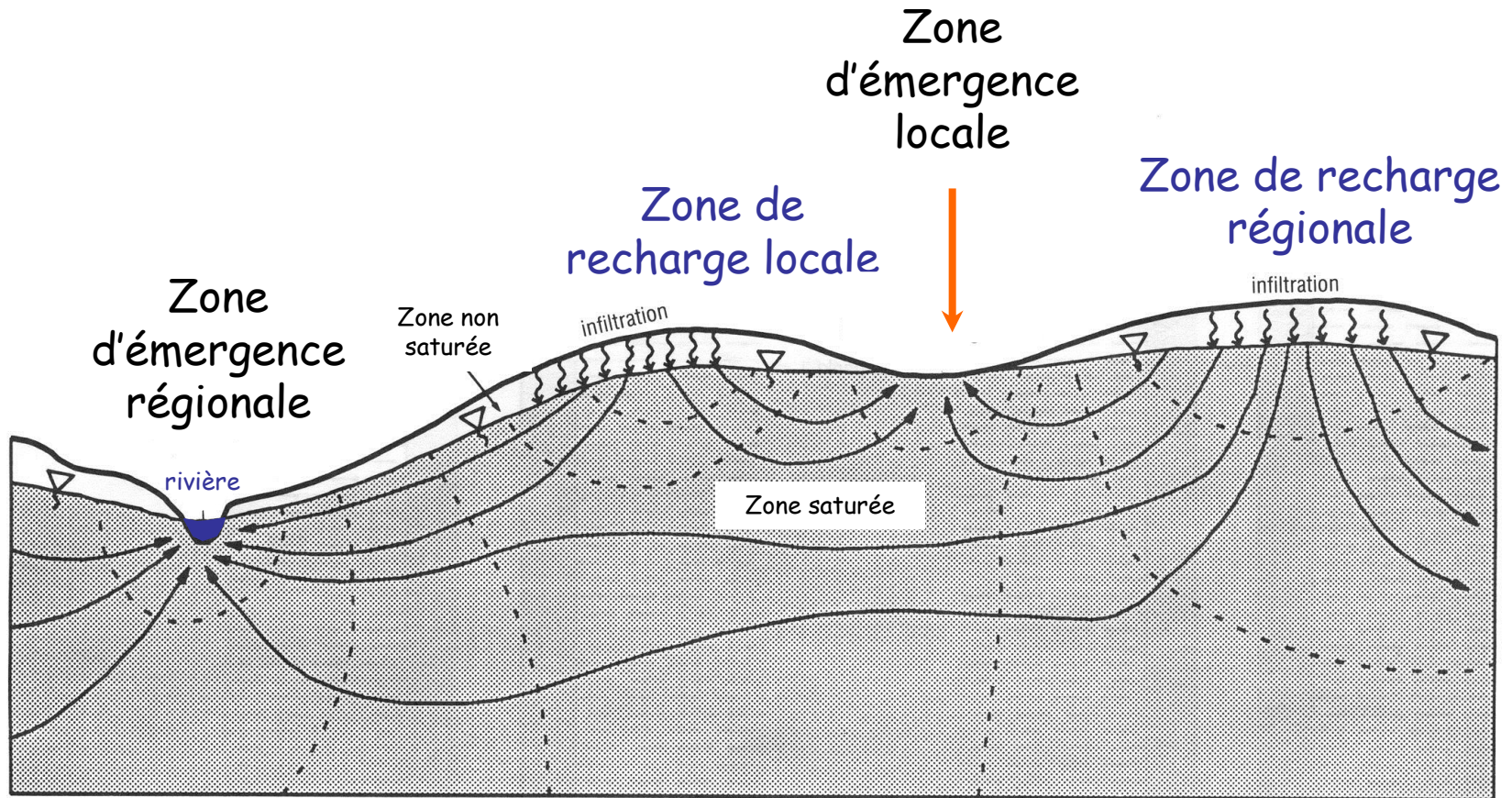
La **recharge** est un paramètre important à connaître pour la gestion de la ressource.

Toutefois, elle est difficile à estimer



Utilisation de plusieurs méthodes

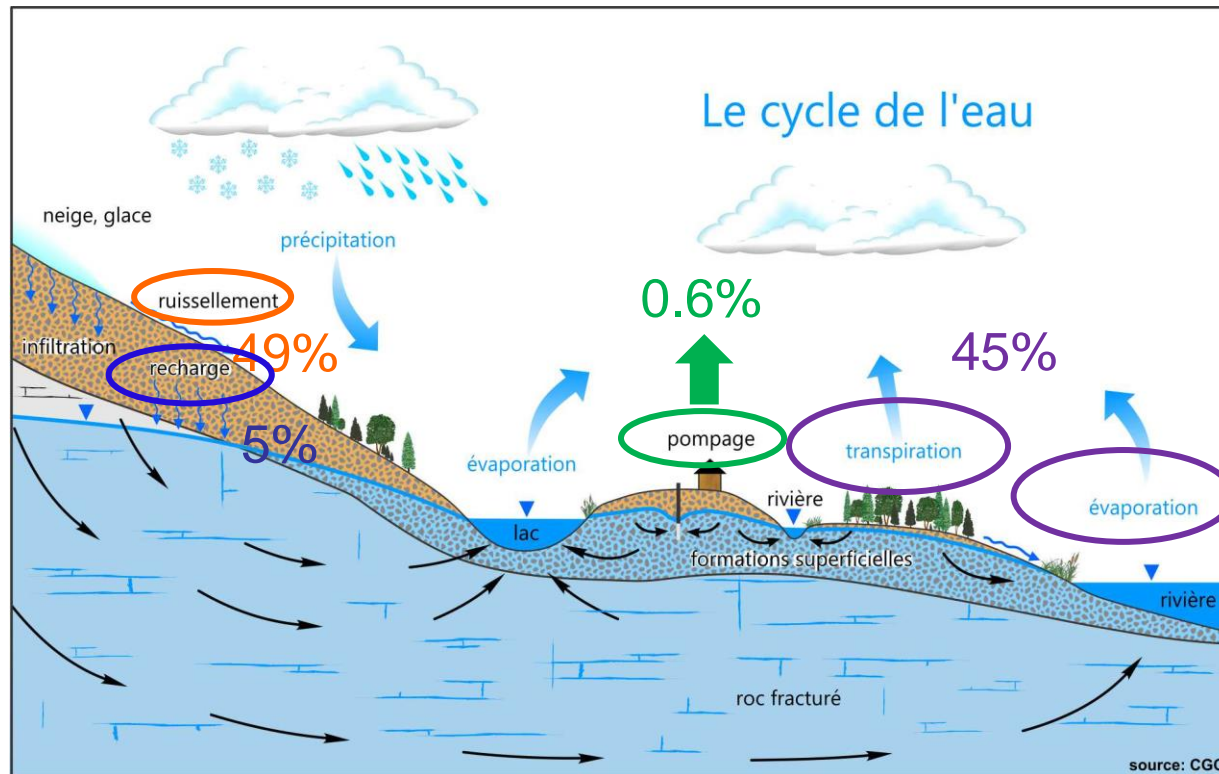
Zones de recharge et d'émergence



Bilan hydrique de la Chaudière-Appalaches

Estimation préliminaire

Précipitations totales : 1110 mm/an



Débit durable

- Le **débit durable** représente un équilibre entre les quantités d'eau exploitées et celles fournies par la recharge.
- Par contre, la recharge en elle-même n'est pas suffisante pour déterminer le débit durable. Celui-ci doit être évalué en tenant compte de considérations écologiques.
- Ainsi, le % de la demande (ou de l'utilisation) en eau doit représenter une fraction de la recharge.



Contexte géologique et concepts de base sur les aquifères

Types de roche

- **Roches sédimentaires**: proviennent de l'accumulation de sédiments qui se déposent en couches
Ex : grès et shale de la Plateforme du St-Laurent
- **Roches ignées extrusives**: lave refroidie en surface
Ex : basaltes
- **Roches ignées intrusives**: proviennent du magma refroidi et durci en profondeur (en forme de dôme)
Ex : granite
- **Roches métamorphiques**: sont formées par la recristallisation de roches (sédimentaires ou ignées) sous l'action de la T° et de la P .
Ex : schistes des Appalaches (métamorphisme léger)

Types de roche

Légende

Géologie du roc simplifiée

Roches sédimentaires

- Brèche, conglomérat
- Calcaire et dolomie
- Grès, siltstone
- Mudstone, mudrock, shale

Roches métamorphiques

- Métagrès, quartzite
- Schiste, cornéenne
- Schiste ardoisier, phyllade, mudslate, ardoise
- Serpentinite, métagabbro

Roches ignées felsiques

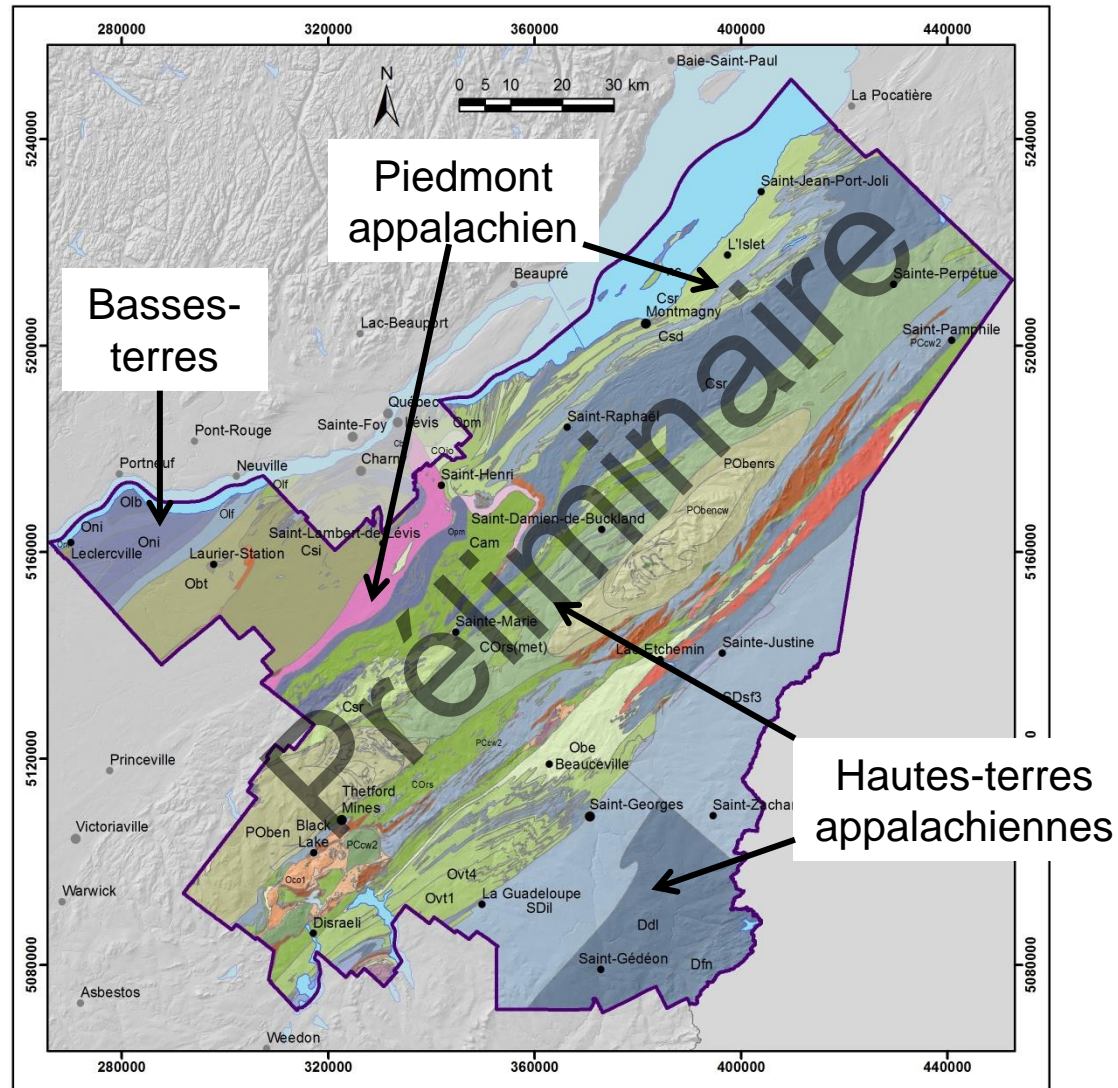
- Rhyolite, volcanoclastite (roches extr.)
- Granite, granodiorite, diorite (roches intr.)

Roches ignées mafiques

- Basalte (roches extr.)
- Amphibolite, gabbro, péridotite (roches intr.)

Autres

- Olistostrome, mélange tectonique



Formations superficielles

- **Till** : mélange de débris rocheux non triés transportés et déposés directement par les glaciers
 - Diamicton composé de silt, argile, sable, cailloux
- **Fluvioglaciales** : mis en place par les eaux de fonte du glacier
 - Composés de sables, graviers et blocs (sédiments grossiers)

Ex : esker se présente sous la forme d'un cordon. Se forme dans des tunnels sous-glaciaires (St-Damien)
- **Sédiments alluviaux** : terrasses et plaines inondables

Ex : sables et graviers, déposés le long de la rivière Chaudière et des autres grands cours d'eau

Formations superficielles

- **Glaciolacustres** : déposés dans des lacs barrés par le recul des glaces
Ex : deltas sableux perchés sur les versants des vallées et varves (silts et argiles laminés) dans la vallée de la Haute-Chaudière
- **Glaciomarins** : déposés lors d'une invasion marine (limite: 185 m)
Ex : sables, silts et argile de la Mer de Champlain (13 100 à 10 600 ans)
- **Littoraux marins** : déposés en bordure de la mer par les vagues et les courants
Ex : sables, graviers et cailloux le long du fleuve, sous la limite marine
- **Organiques** : composés de tourbe plus ou moins décomposée
Ex : sédiments déposés sur les replats argileux le long du fleuve

Carte des dépôts quaternaires

Légende

QUATÉNAIRE POSTGLACIAIRE

Cg Dépôts de glissement de terrain

SÉDIMENTS ORGANIQUES

Ot Sédiments de tourbières

Om Sédiments de marécages et de marais

DÉPÔTS ÉOLIENS

Ed Sédiments éoliens

SÉDIMENTS ALLUVIAUX

Ap Alluvions actuelles

Ae Sédiments estuariens anciens

At Alluvions des terrasses fluviales

Ax Alluvions de terrasses anciennes

SÉDIMENTS LACUSTRES

Ld Sédiments deltaïques et prodeltaïques

Lb Sédiments littoraux et pré-littoraux

SÉDIMENTS MARINS

Md Sédiments deltaïques et prodeltaïques

Mb Sédiments littoraux et pré-littoraux

Ma Sédiments fins d'eau profonde

DERNIÈRE GLACIATION

SÉDIMENTS GLACIOLACUSTRES

LGd Sédiments deltaïques et prodeltaïques

LGb Sédiments littoraux et pré-littoraux

LGa Sédiments fins d'eau profonde

SÉDIMENTS FLUVIOLACUSTRES

Go Sédiments d'épandage proglaciaire subaérien

Gs Sédiments d'épandage proglaciaire subaquatique

Gx Sédiments juxtaglaciaires

SÉDIMENTS GLACIAIRES

Tm Till remanié en couverture discontinue

Tr Till remanié en couverture continue

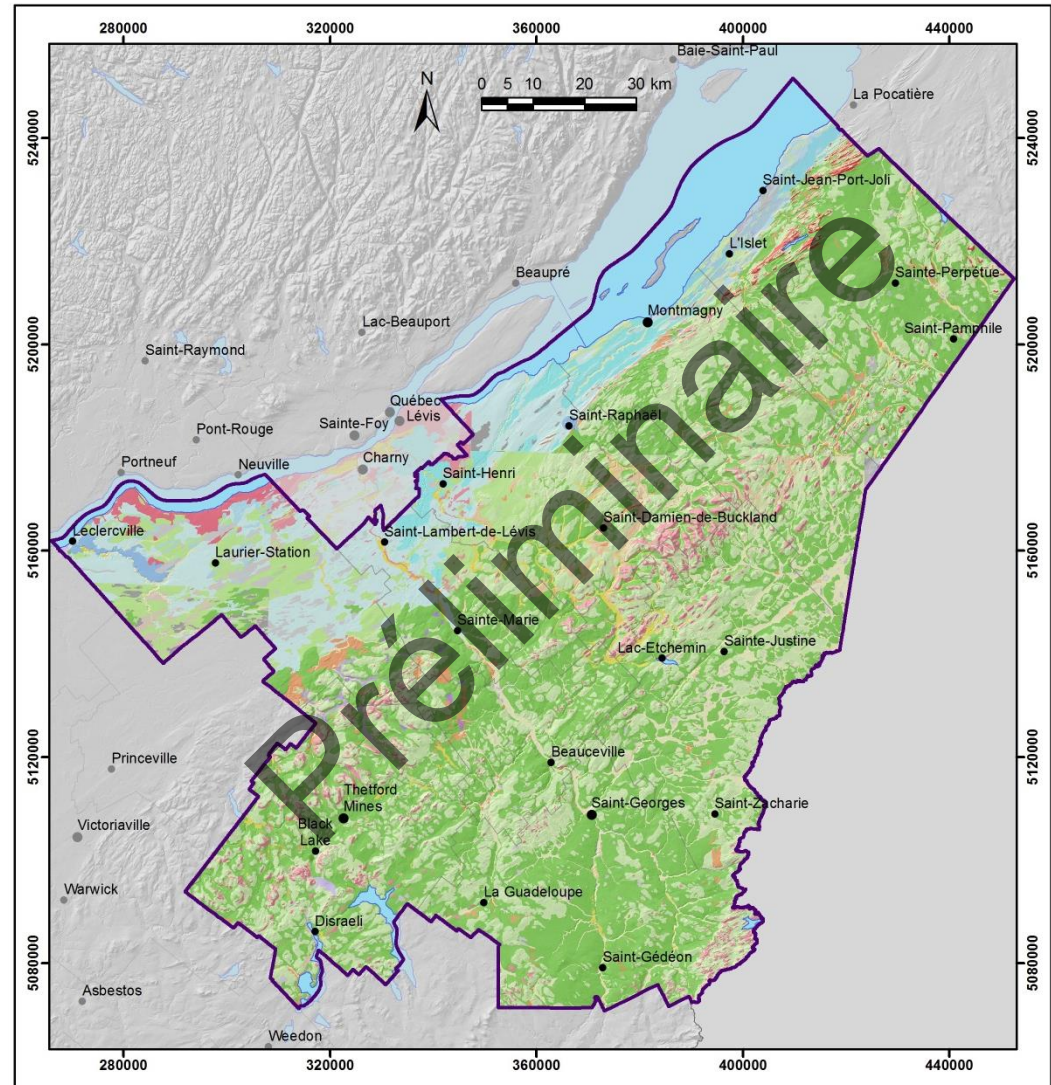
Tc Till en couverture généralement continue

Tm Till en couverture mince et discontinue

PRÉ-QUATÉNAIRE

SUBSTRAT ROCHEUX

R Roche non différenciée



Perméabilité et porosité

Perméabilité : définit l'habileté du milieu à transmettre un fluide

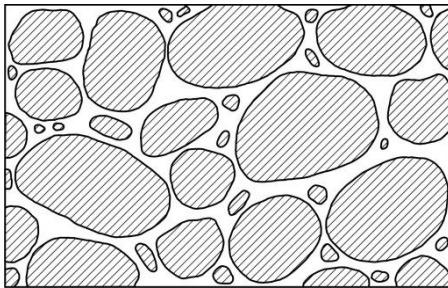
On utilise la conductivité hydraulique (K) ou la transmissivité (T) pour la quantifier, à partir d'essais hydrauliques

T et K sont très variables $10^{-12} < K < 10^{-1} \text{ m/s}$

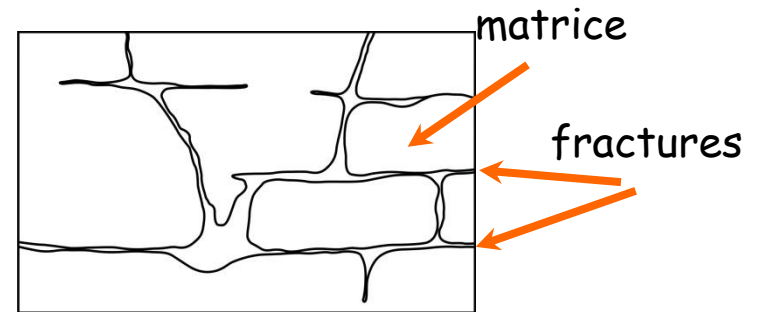
Ex : argile

Ex : sable et gravier

Porosité : portion d'un sol ou d'une roche qui n'est pas occupée par la matière solide (volume des vides/volume total)



Sable: 25 à 30%



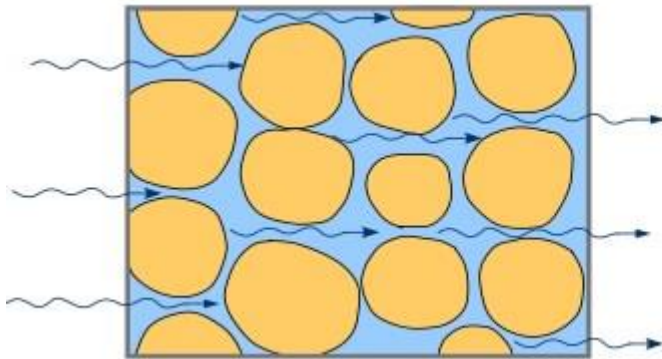
Roc: 1 à 2%

Paramètres importants pour calculer la vitesse de déplacement et estimer la quantité d'eau dont on dispose

Perméabilité et porosité

Exemples pour des roches sédimentaires:

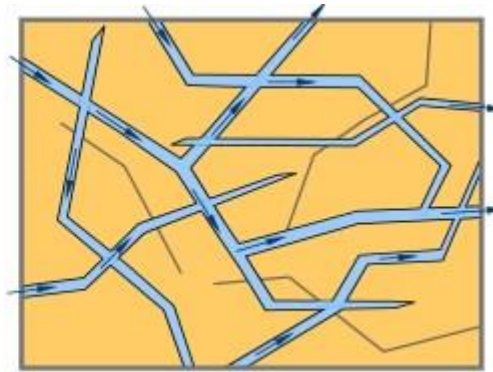
Grès



Porosité et perméabilité interparticulaire

Écoulement et emmagasinement

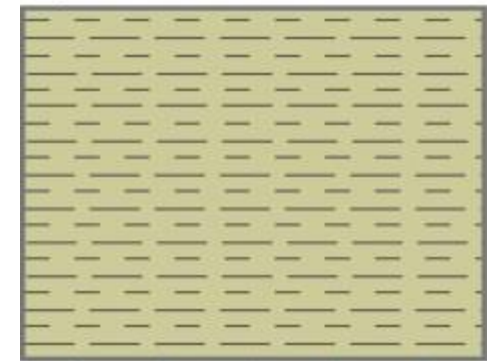
Calcaire



Porosité et perméabilité de fractures

Écoulement et peu d'emmagasinement

Shale

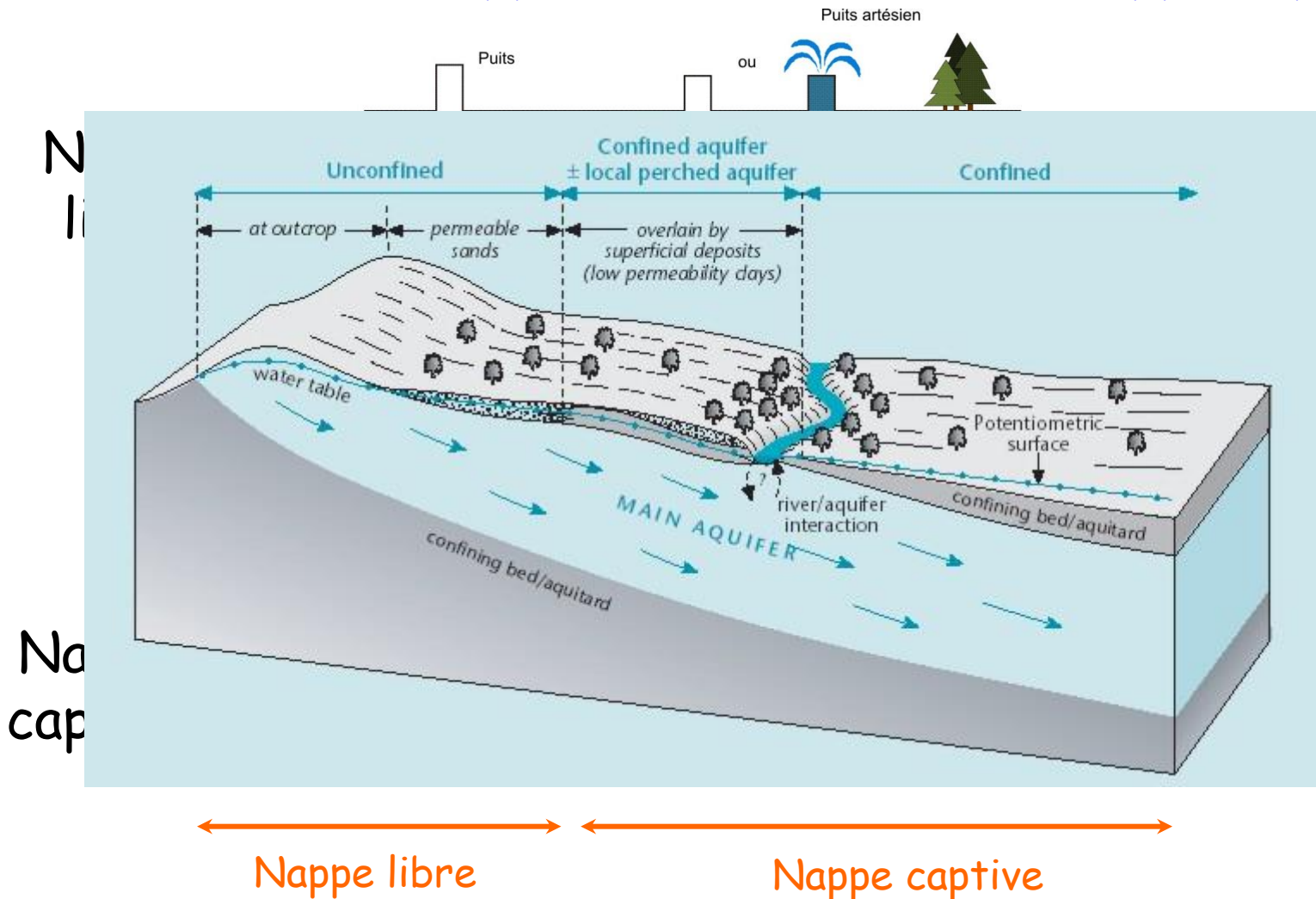


Peu poreux et peu perméable

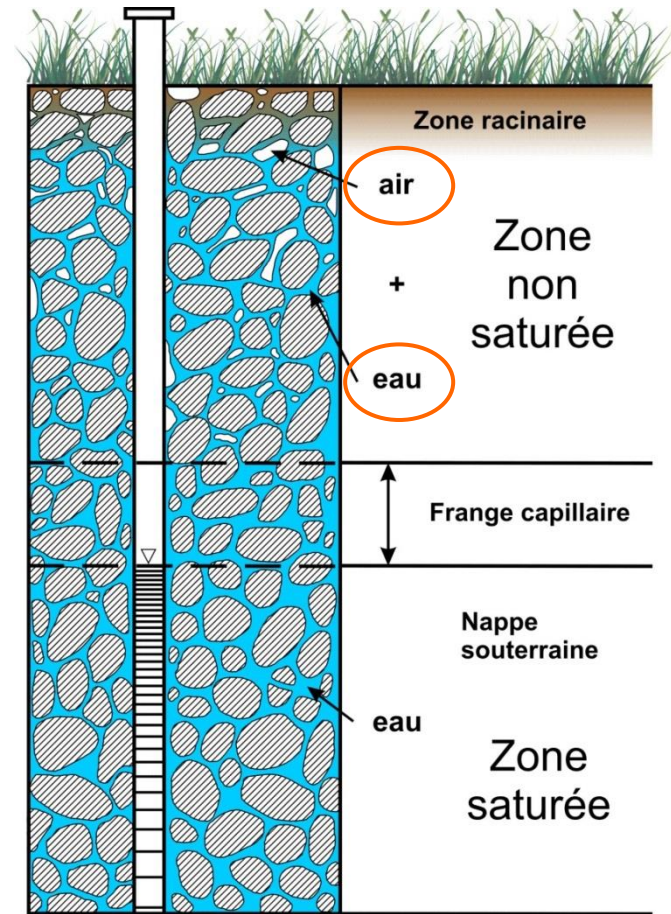
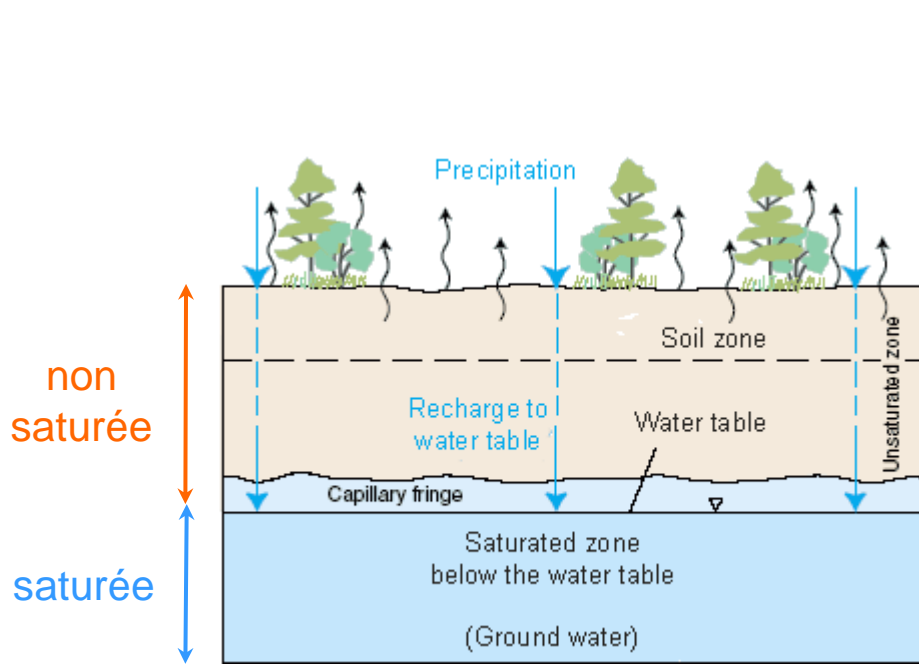
Peu d'écoulement et d'emmagasinement

Conditions de confinement

Aquifère à nappe libre et aquifère à nappe captive



Zone non saturée vs zone saturée

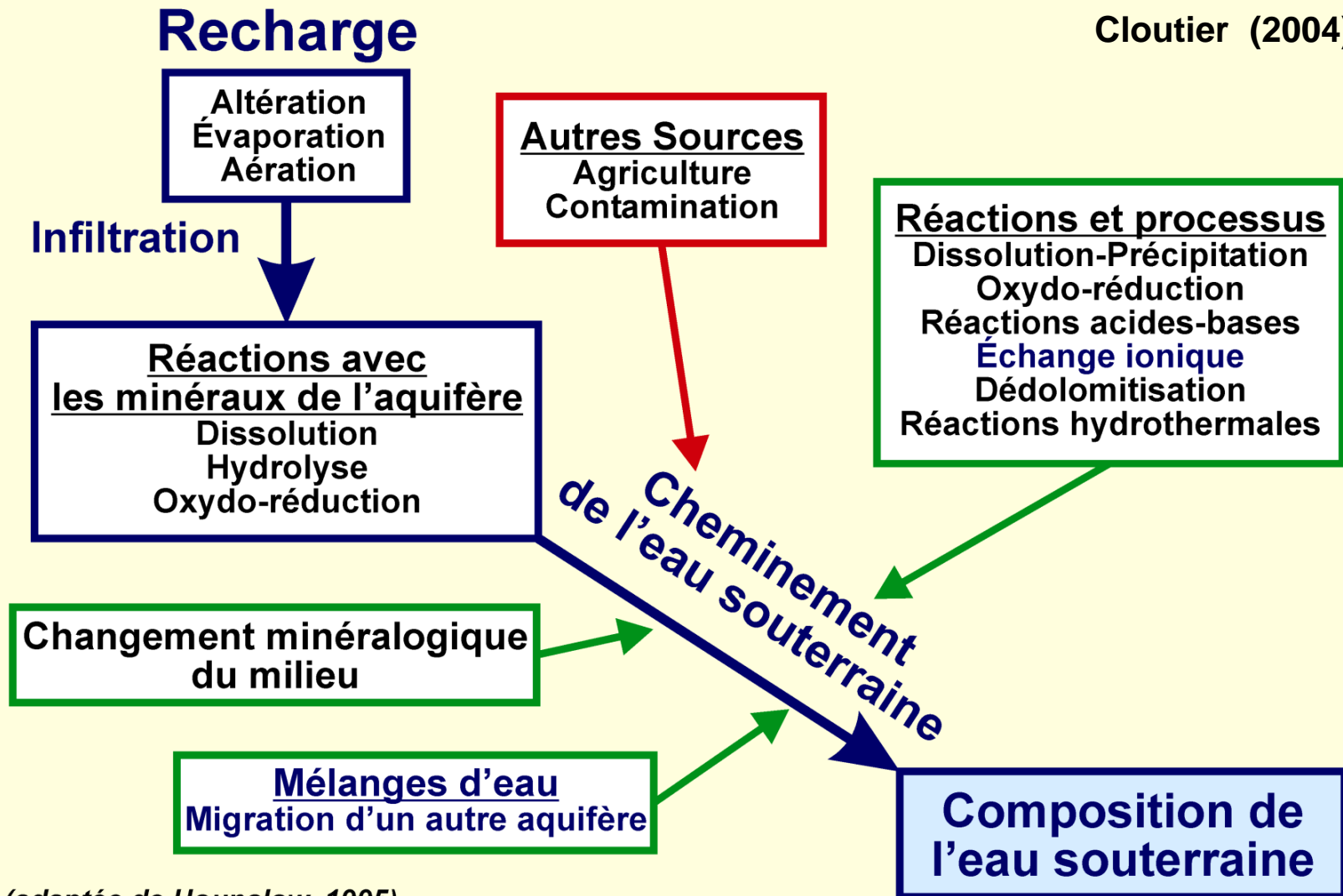


Zone **non saturée** : écoulement vertical
Zone **saturée** : écoulement horizontal

Qualité de l'eau souterraine

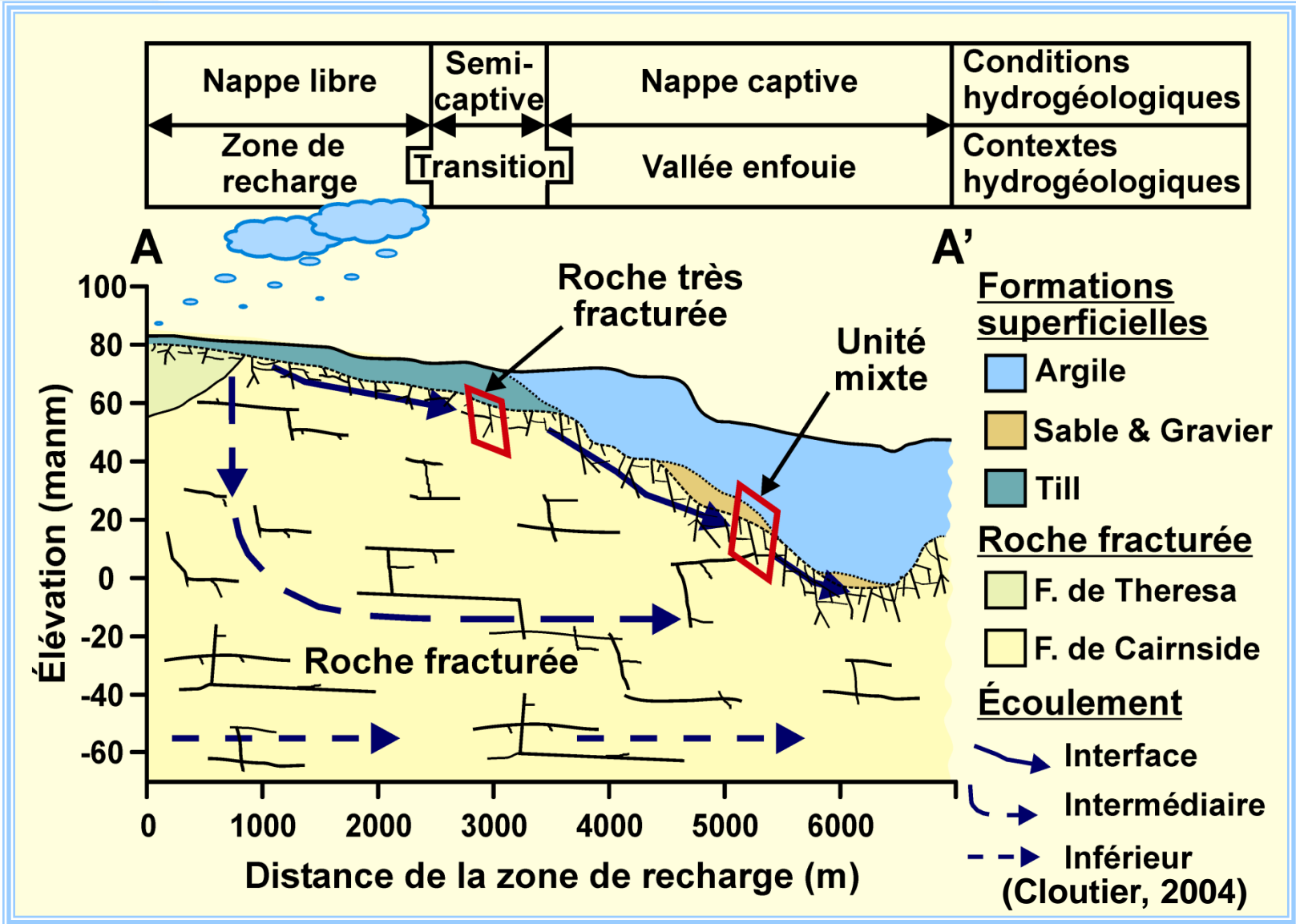
Évolution chimique de l'eau souterraine

Cloutier (2004)

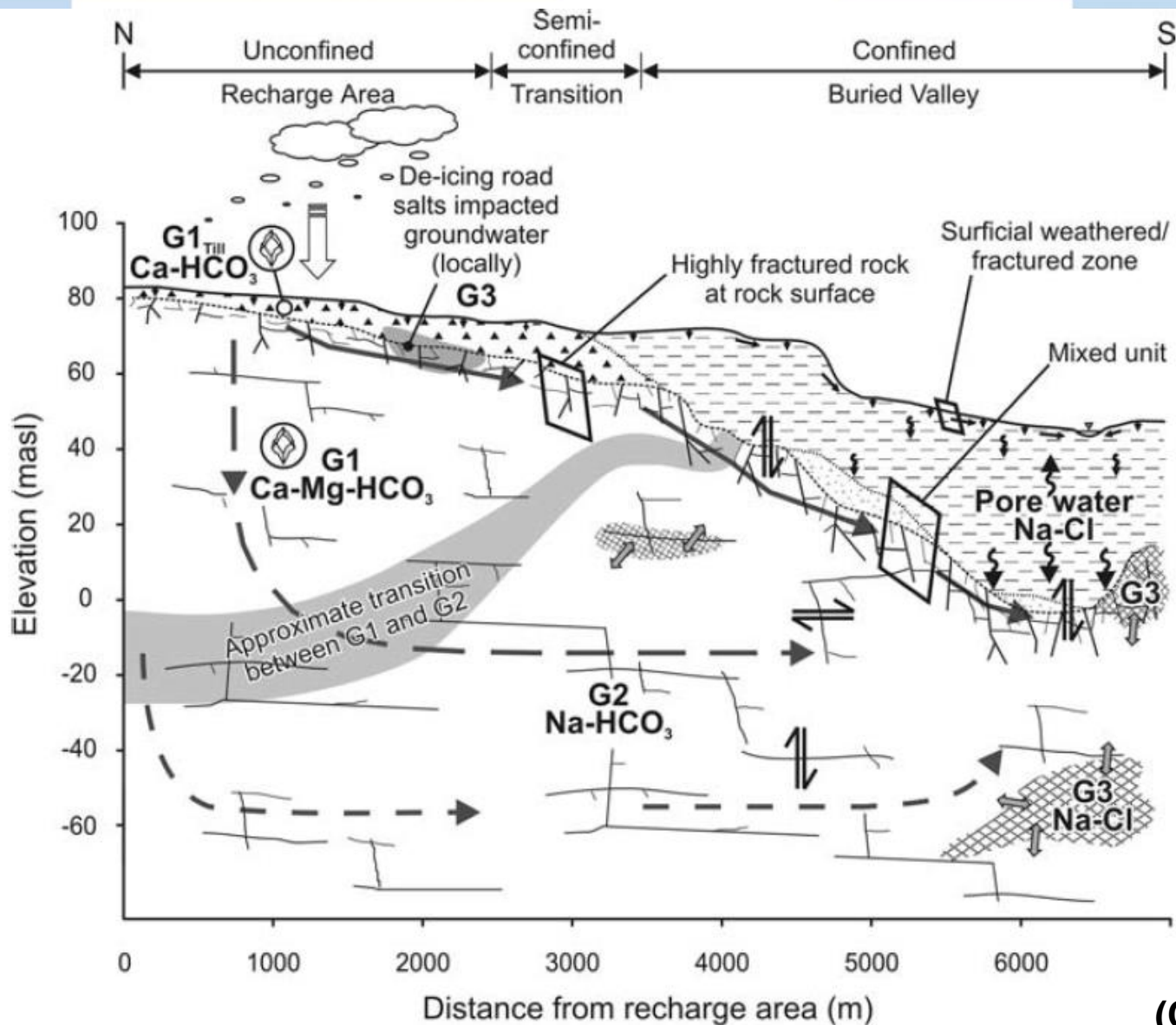


(adaptée de Hounslow, 1995)

Modèle conceptuel d'écoulement



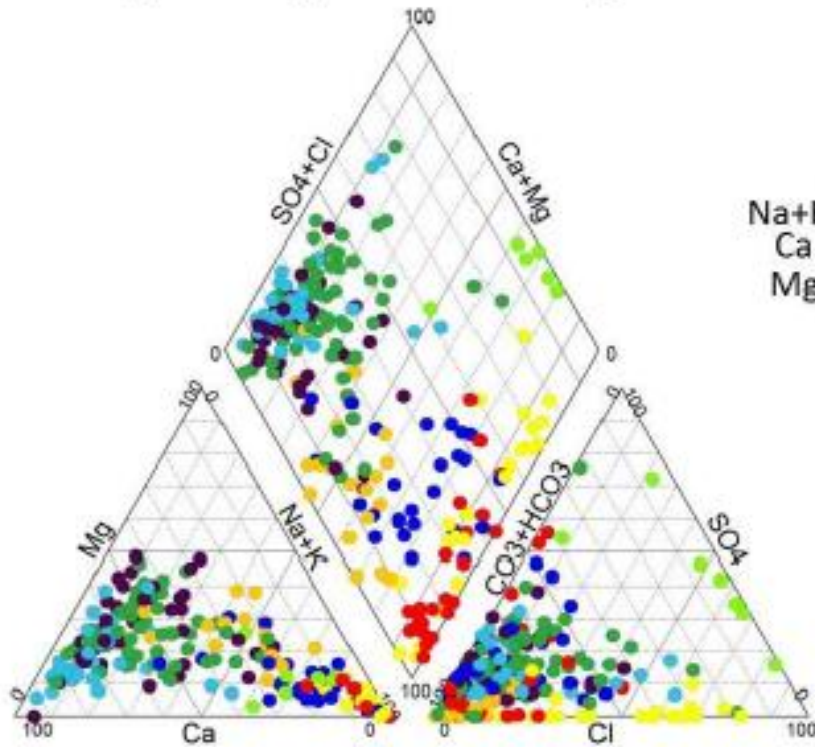
Relations entre contextes et géochimie



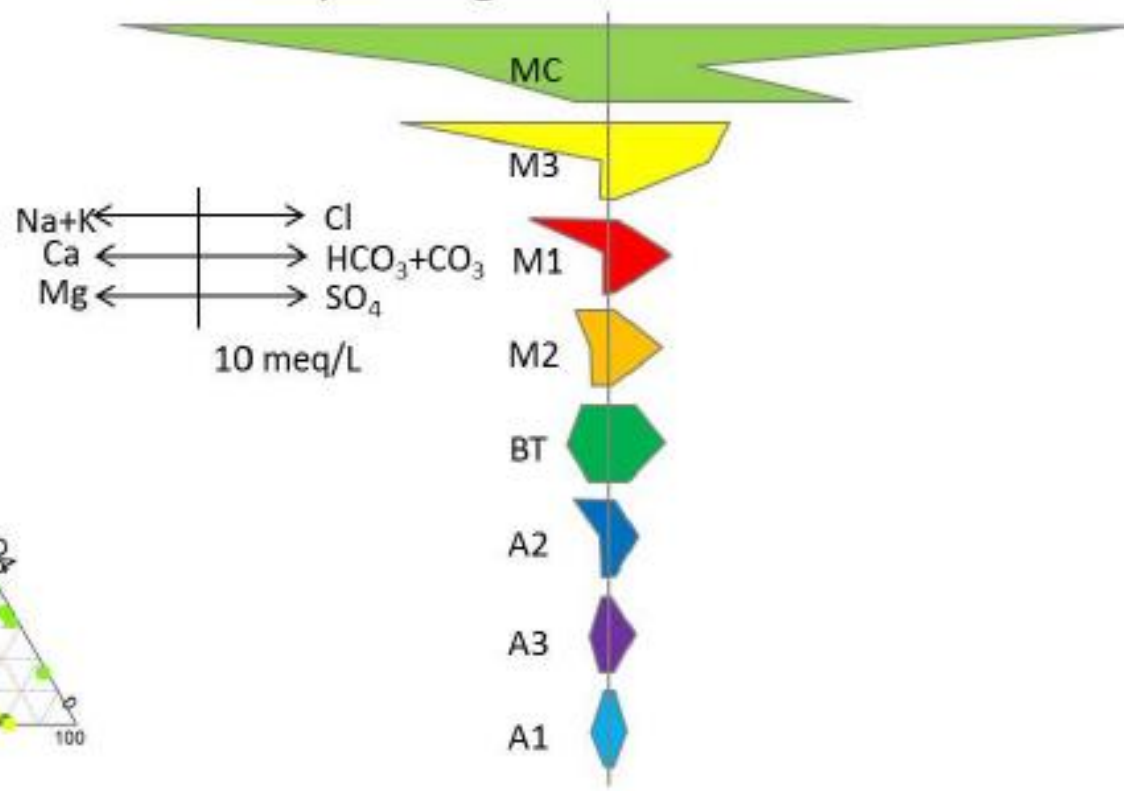
(Cloutier, 2004)

Types d'eau en Montérégie Est

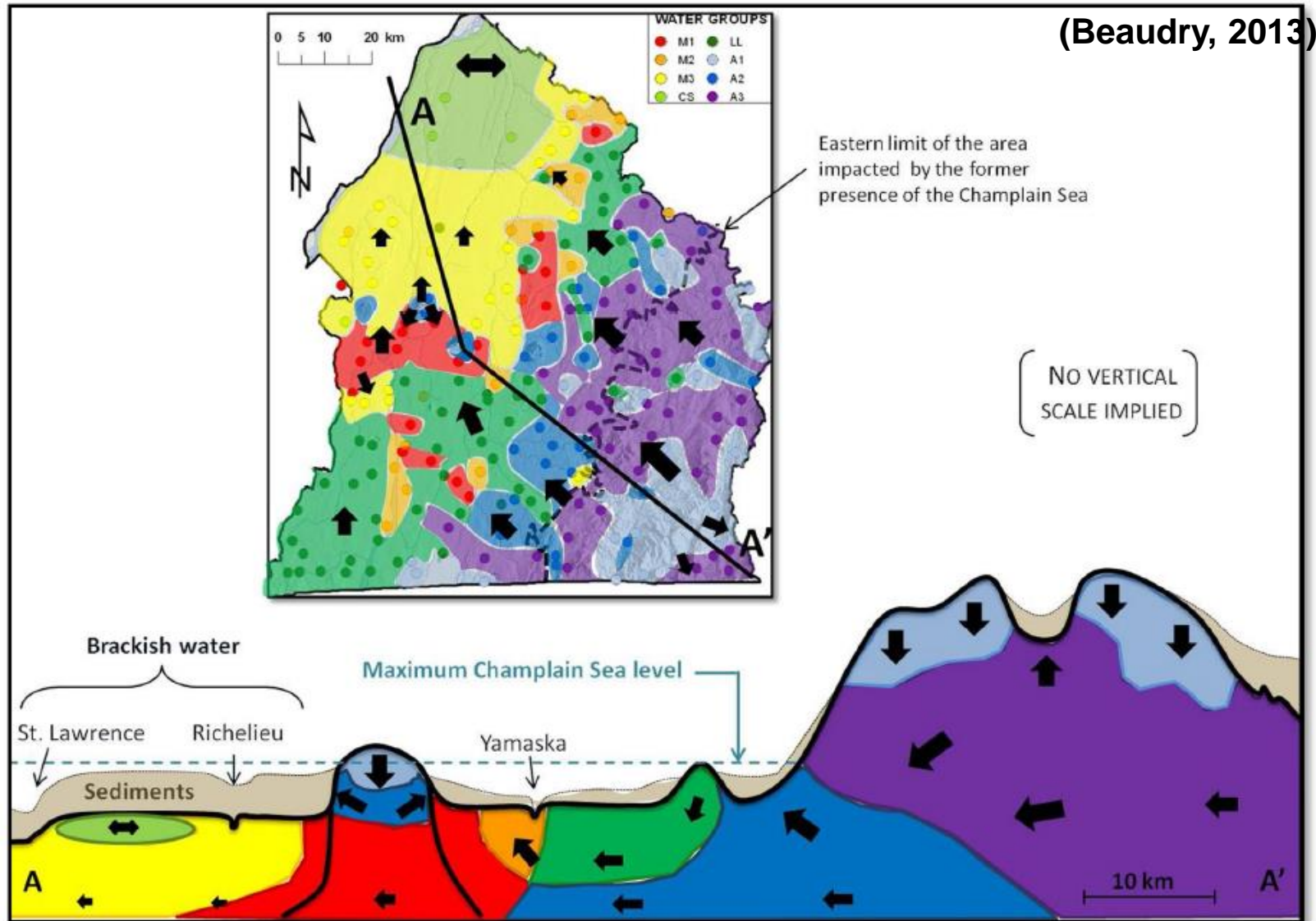
A) Diagramme de Piper



B) Diagrammes de Stiff



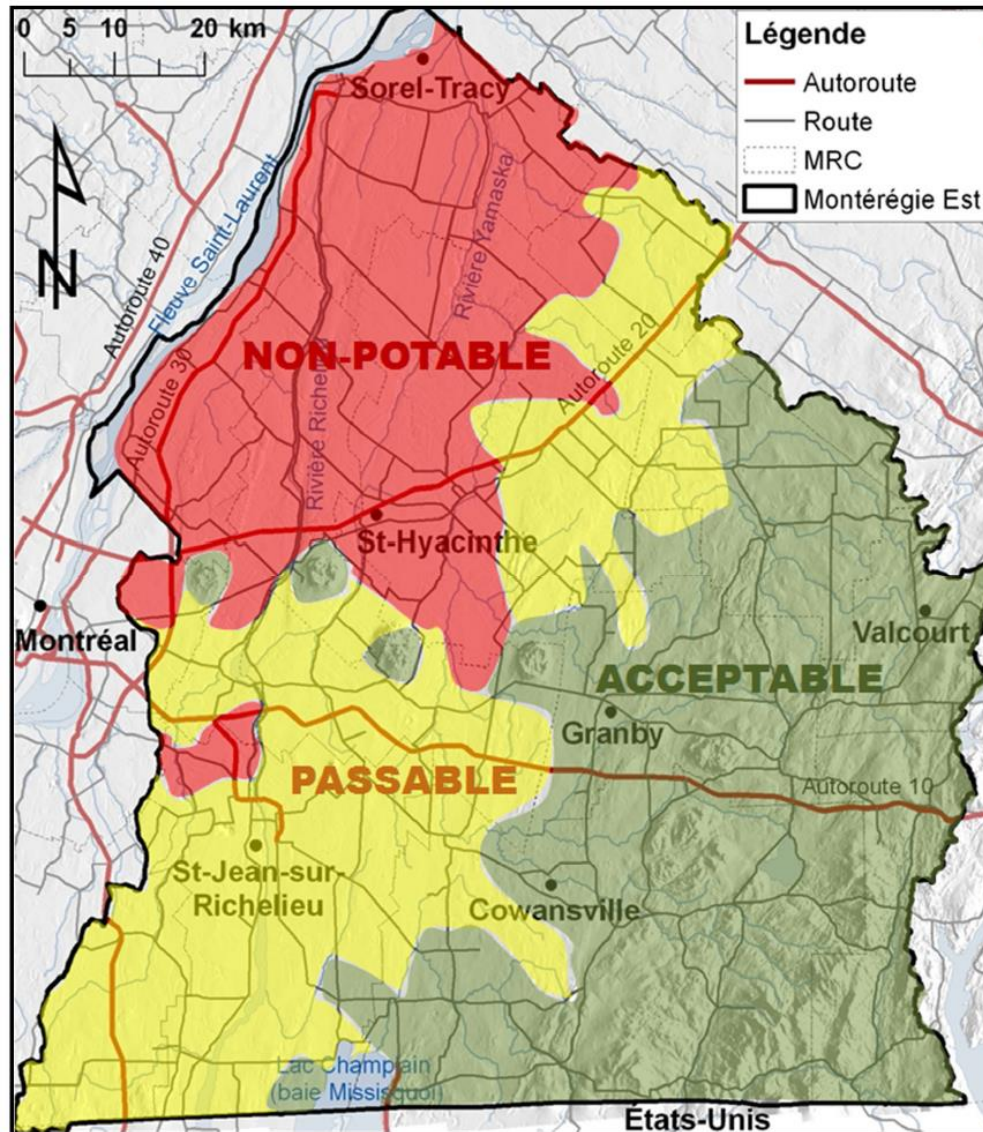
Lien entre types d'eau et contextes



Qualité de l'eau souterraine

- Critères de **potabilité** (Règlement sur la qualité de l'eau potable, MDDEFP):
 - Composés d'origine naturelle; ex.: As, Ba, F
 - Composés d'origine anthropique; ex.: NO₃
- Critères **esthétiques** (Recommandations pour la qualité de l'eau potable, Santé Canada):
 - Solides dissous, dureté, pH, Cl, Na, Fe, Mn, sulfures, sulfates...

Lien entre types d'eau et qualité



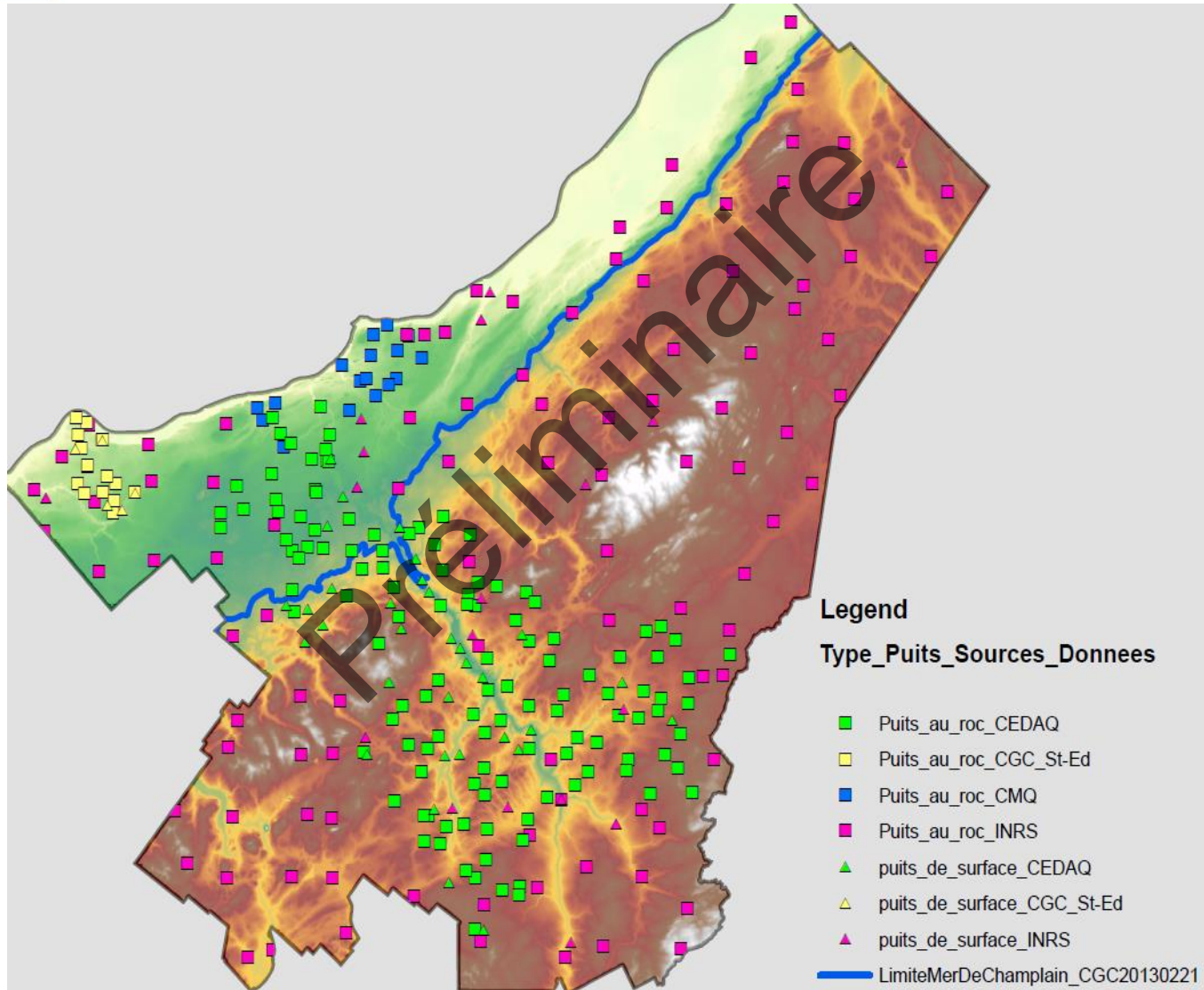
(Beaudry, 2013)

Données en Chaudière-Appalaches

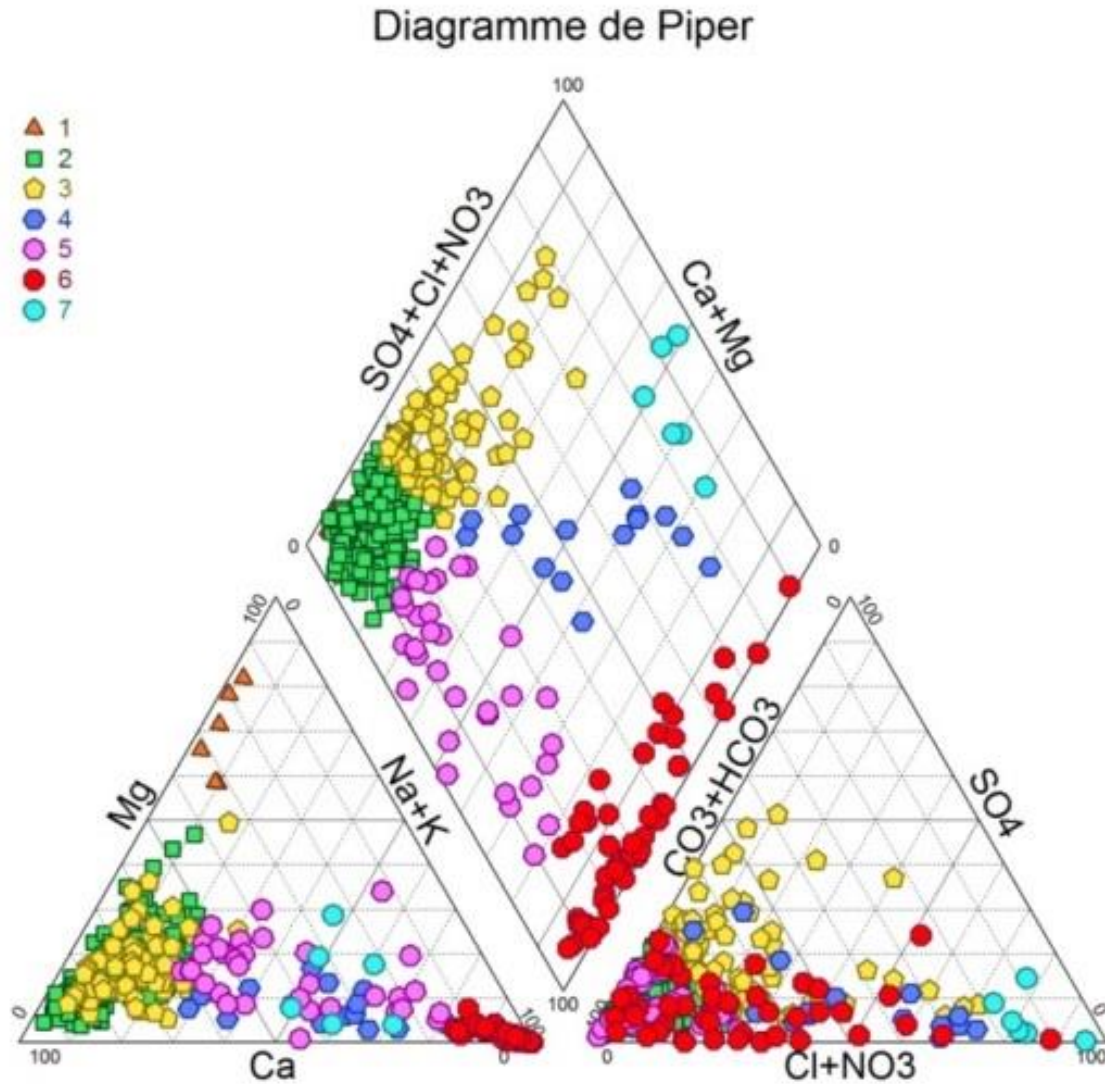
Données géochimiques sur 328 puits de 4 projets

Puits	PACES CA	CDAQ	PACES CMQ	CGC Lotbinière
Granulaire	19	32	0	5
Roc	116	123	17	16
Total	135	155	17	21

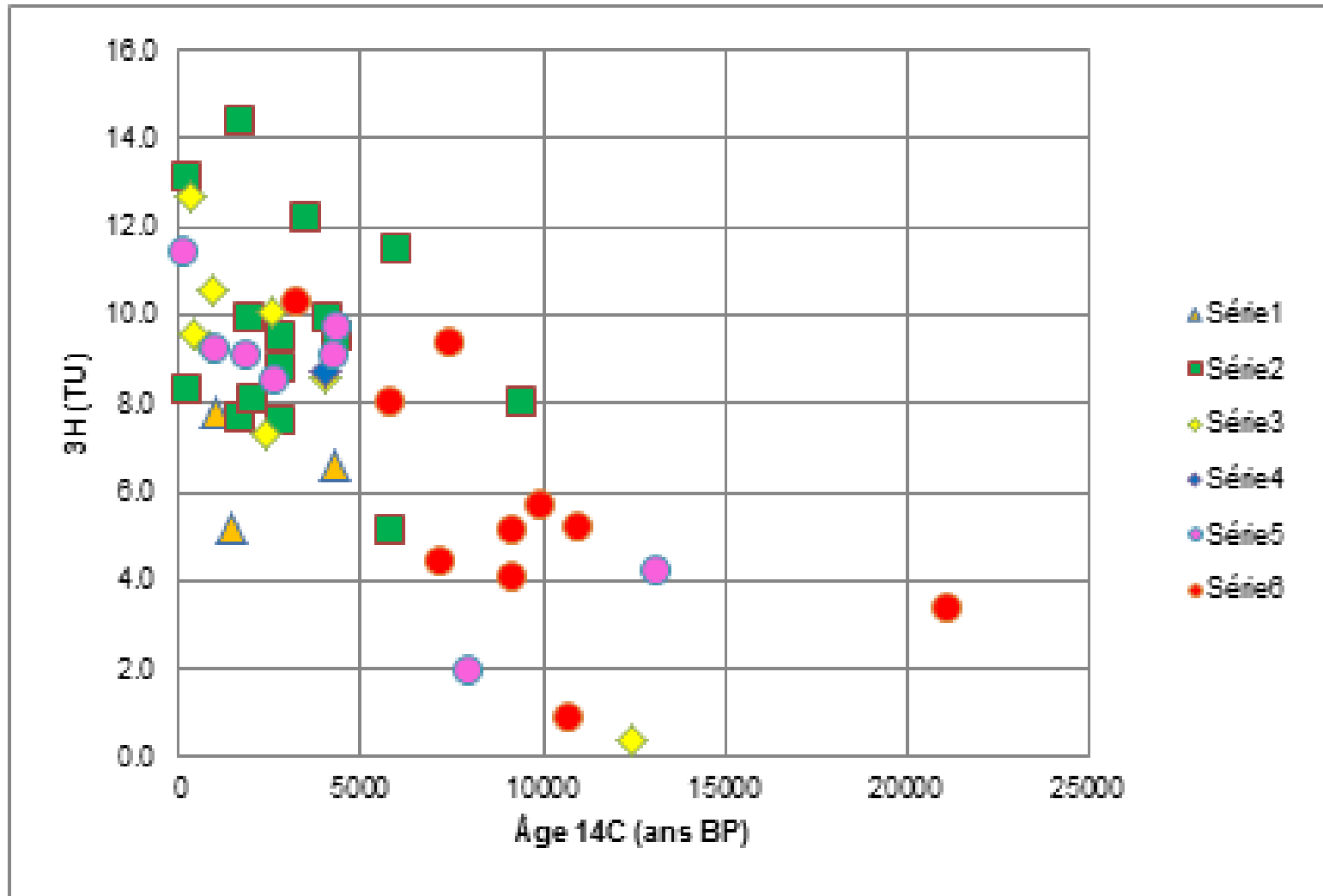
Répartition des sources de données



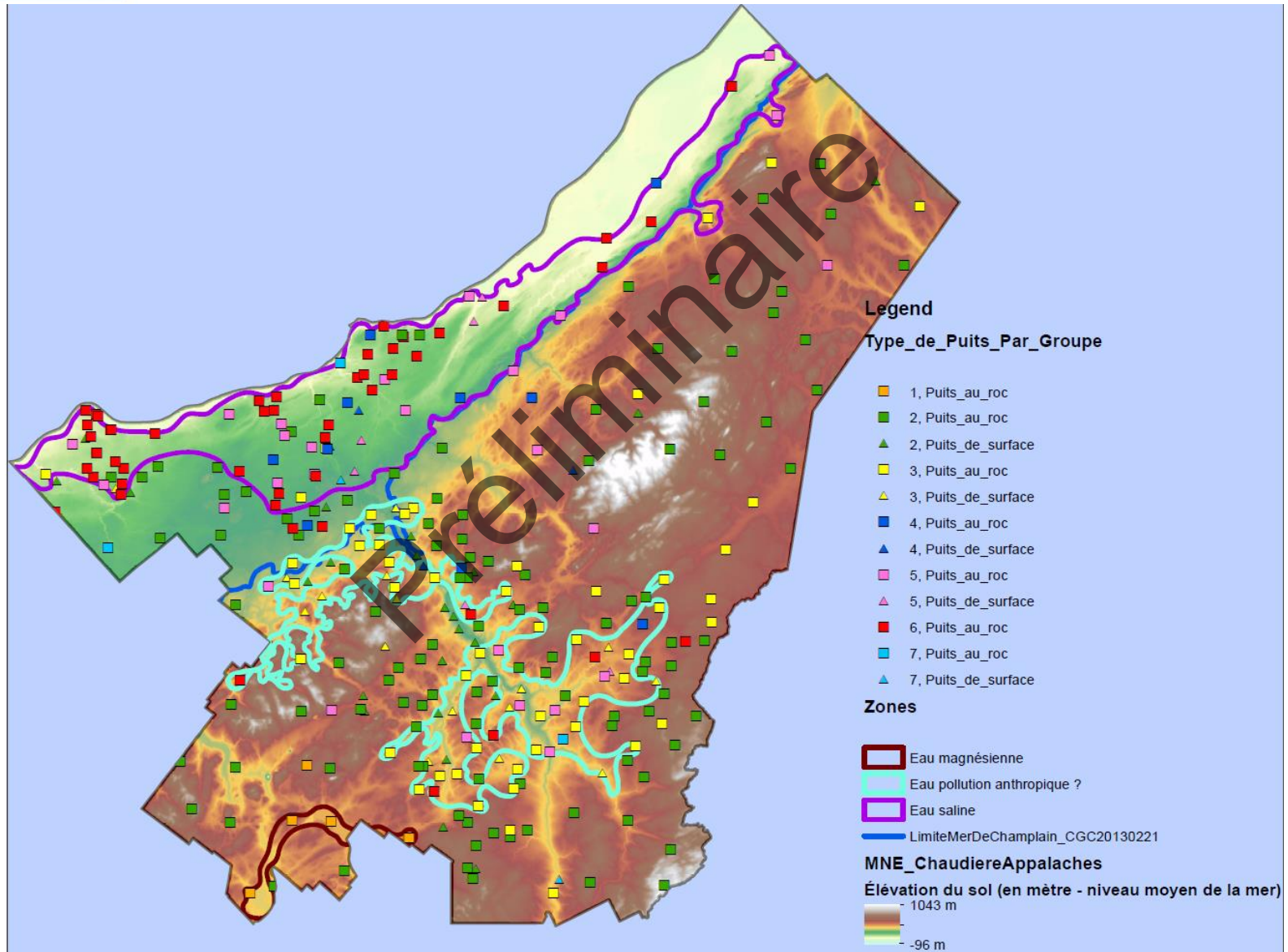
Types d'eau souterraine



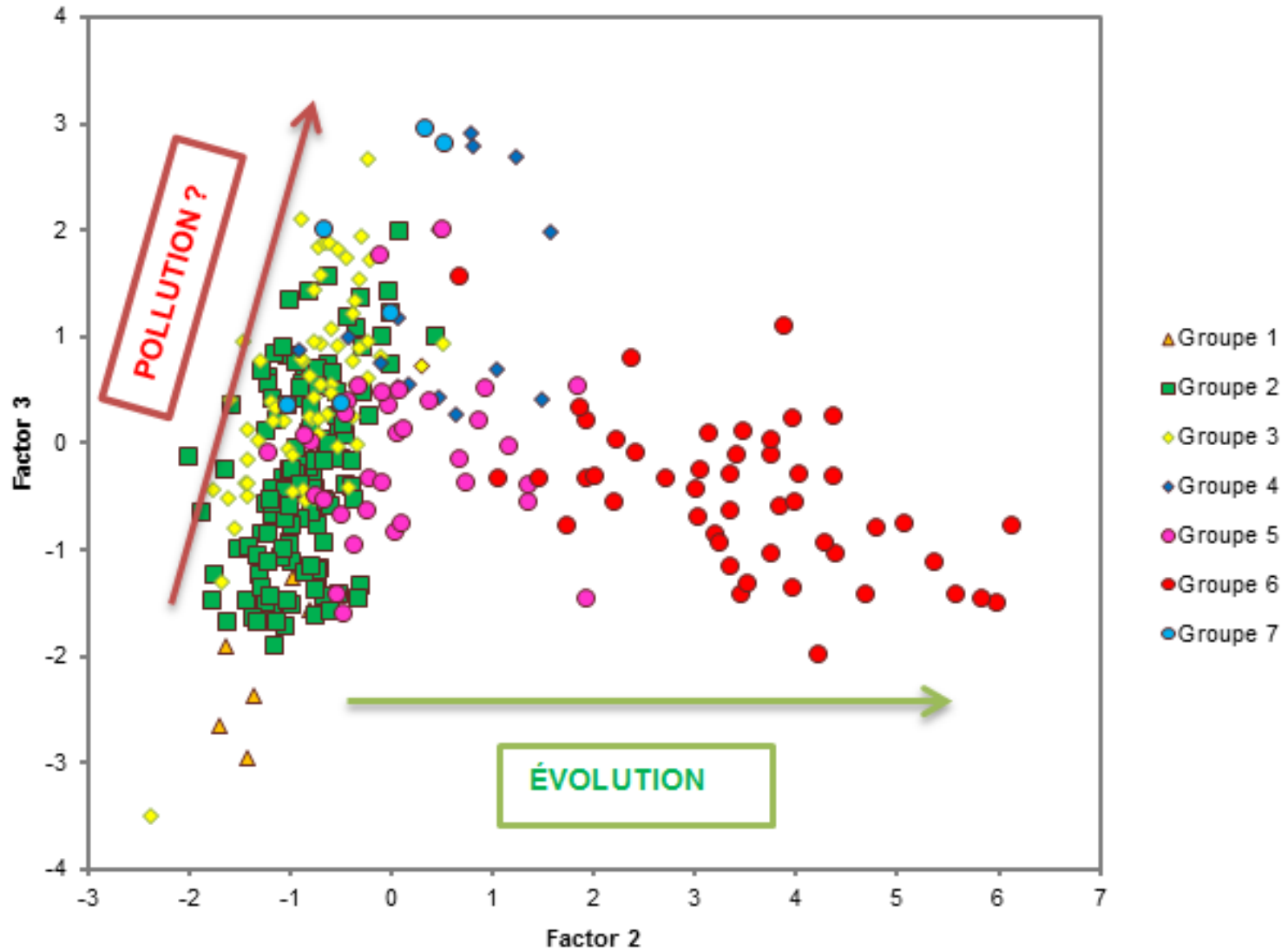
Évolution et âges des types d'eau



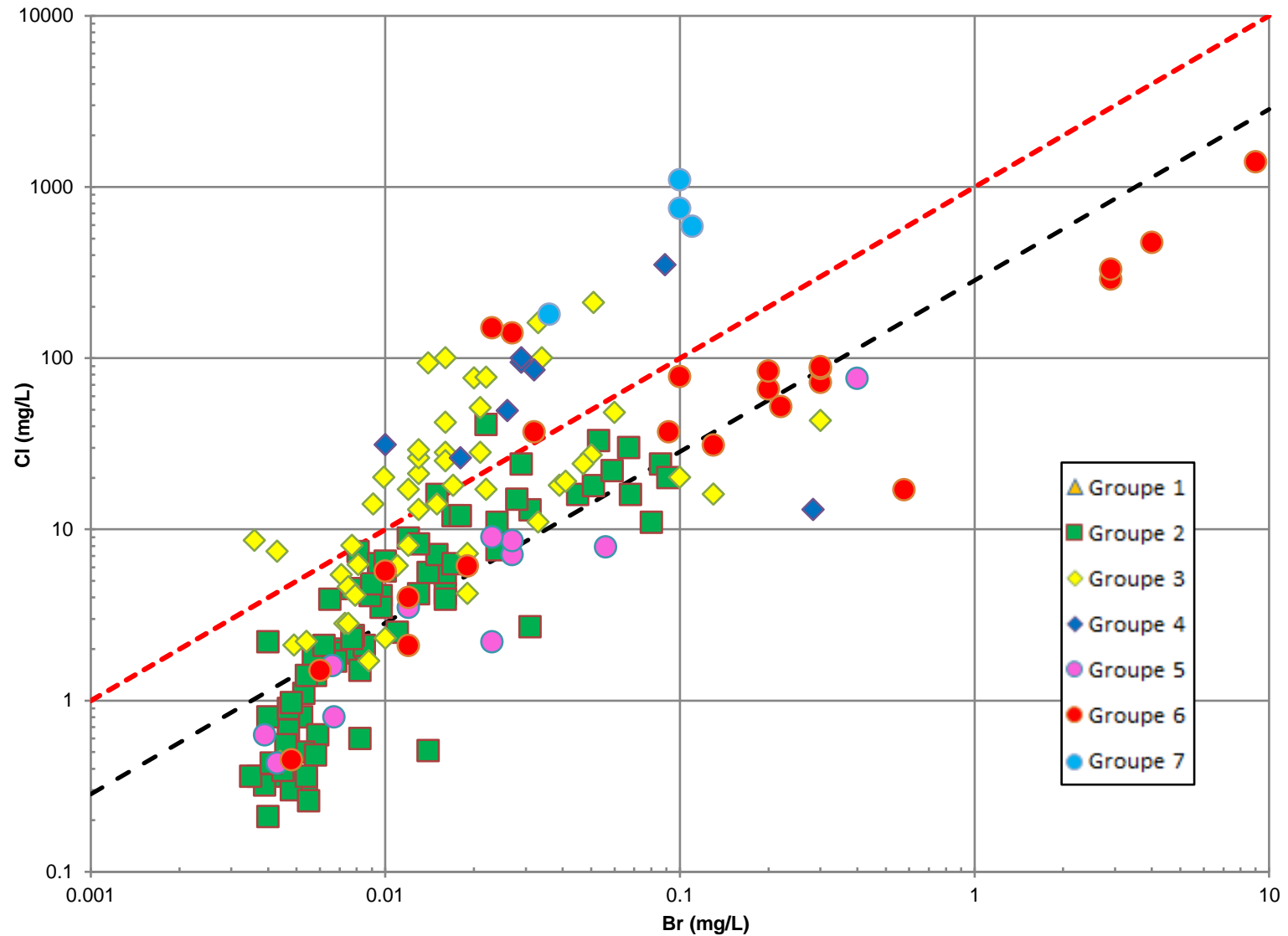
Répartition des types d'eau



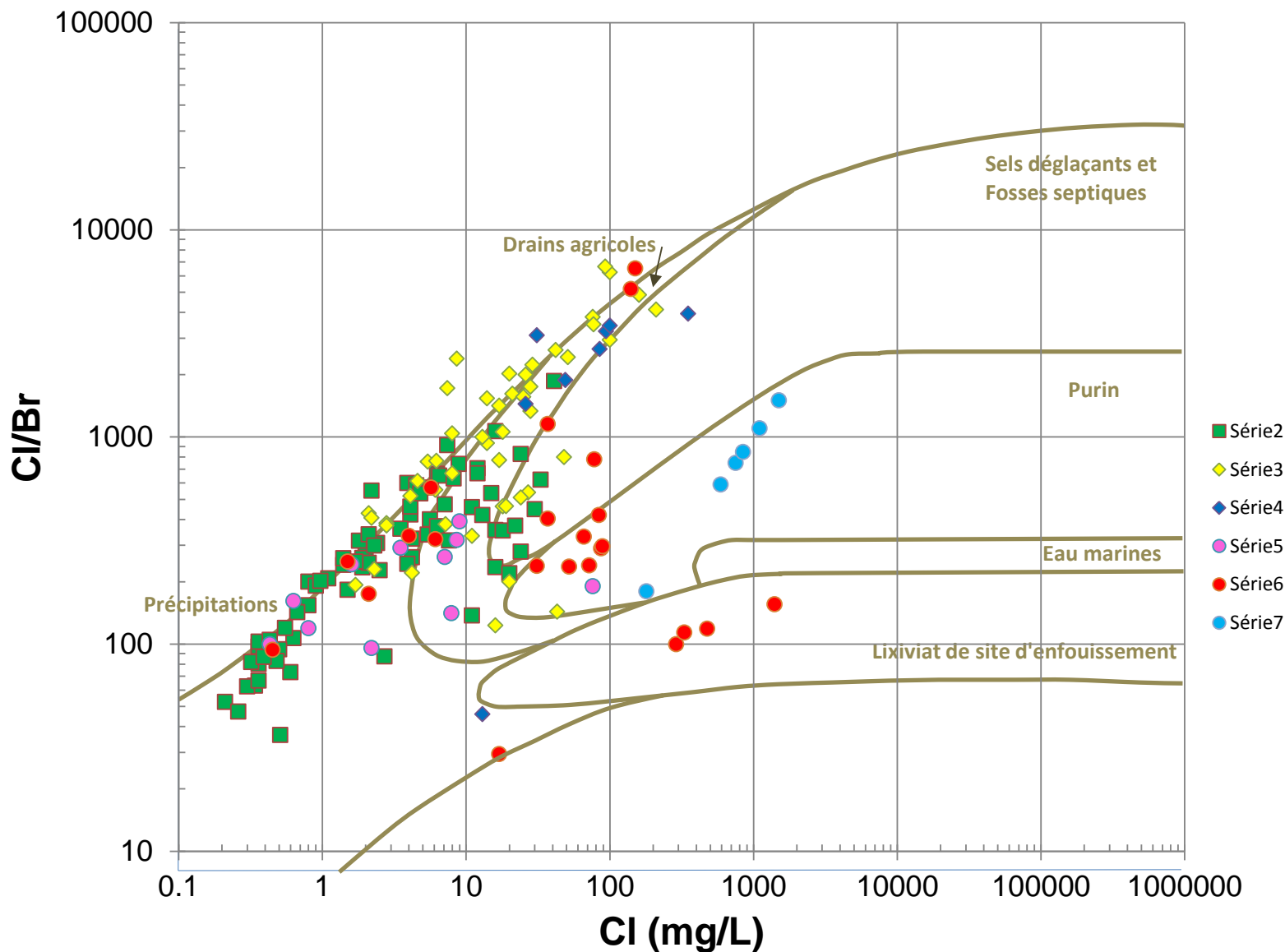
Relations entre les types d'eau



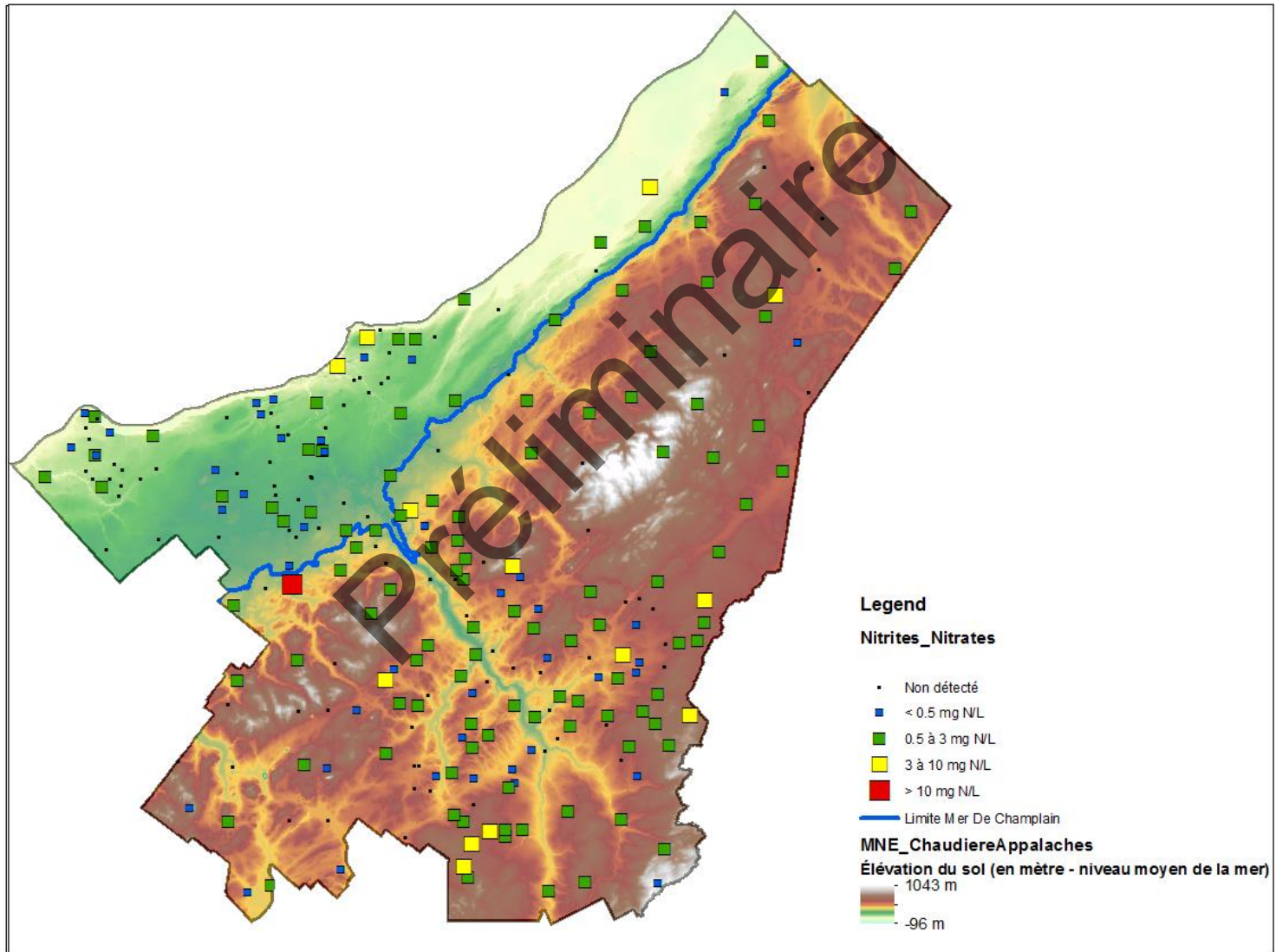
Types d'eau avec effets anthropiques



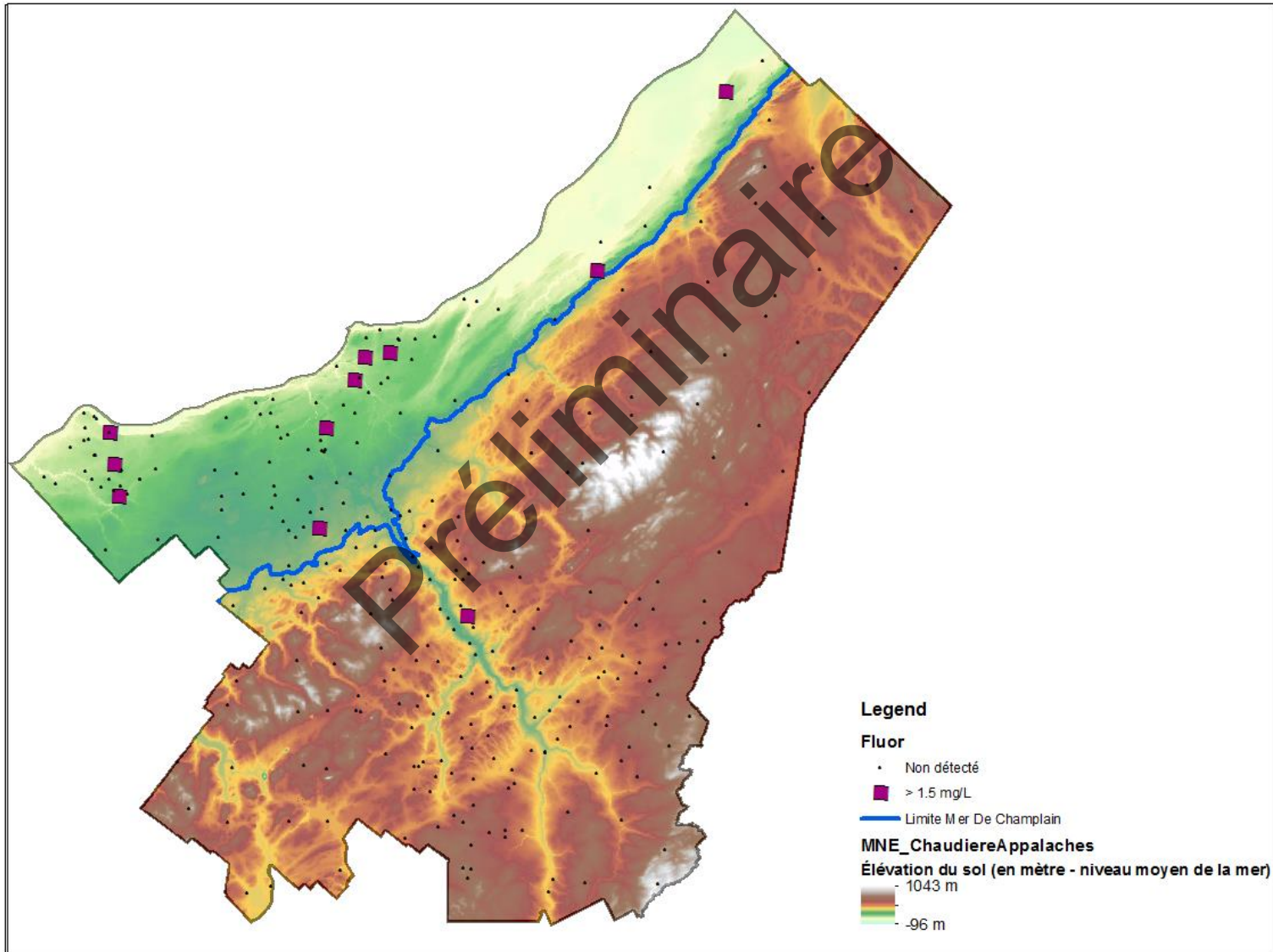
Origines des effets anthropiques



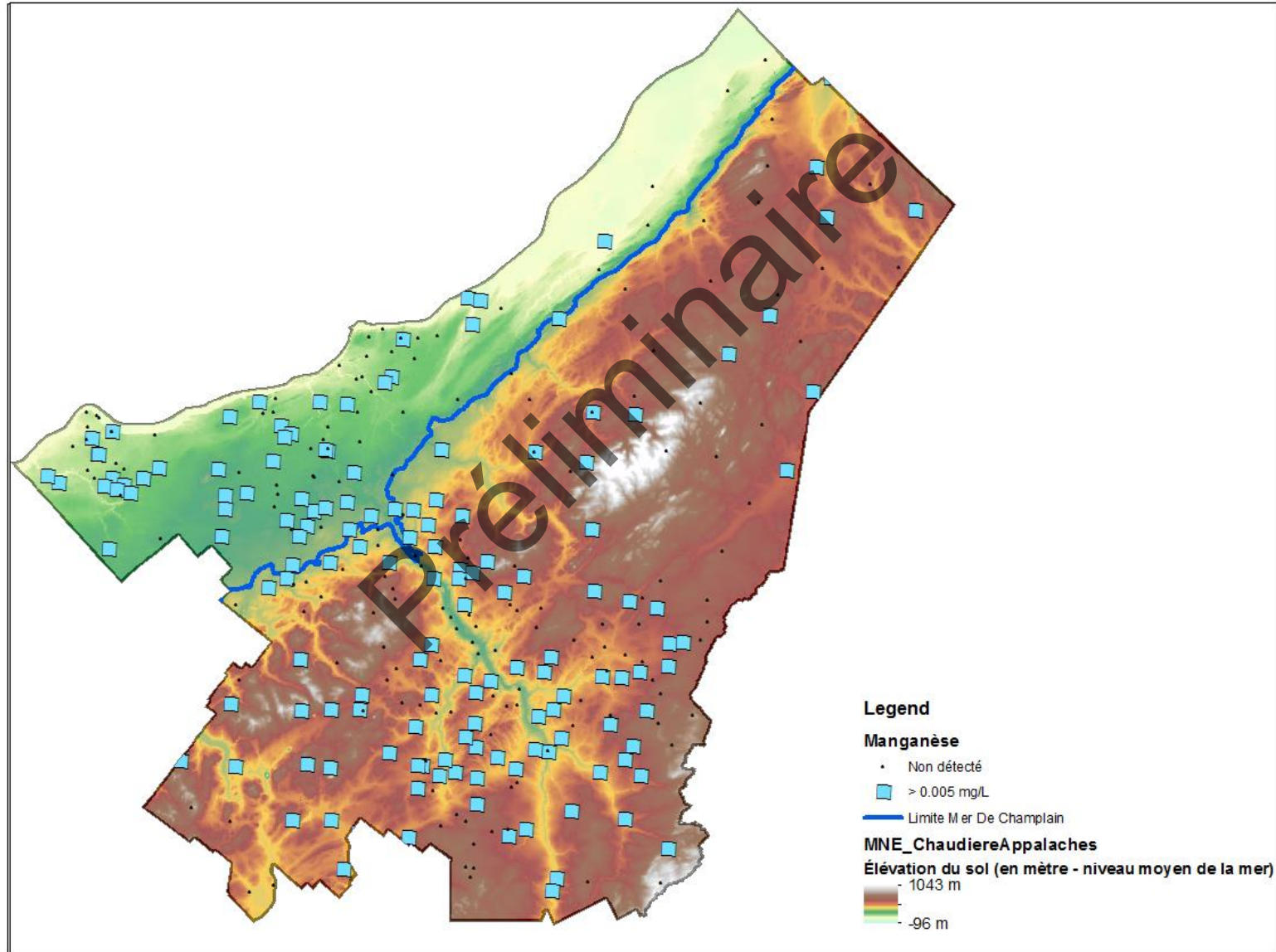
Concentrations en nitrates



Fluor (critère santé)



Manganèse (critère esthétique)



Captage et protection de l'eau souterraine

Aires d'alimentation et de protection

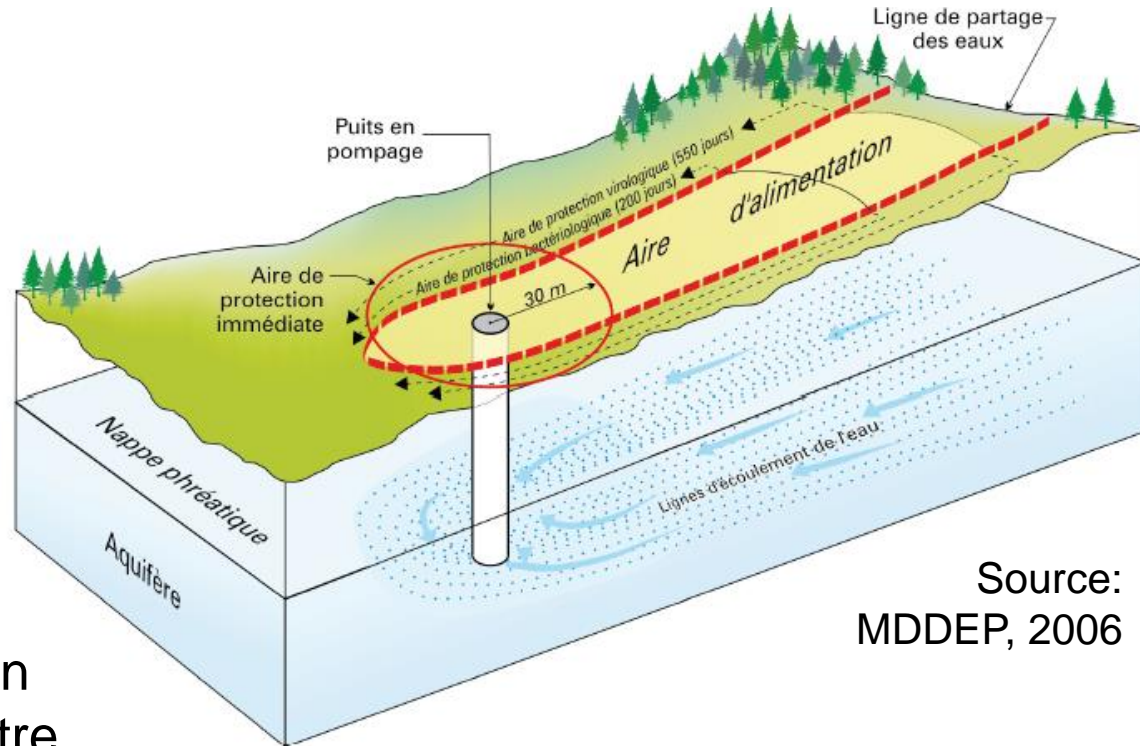
Aire d'alimentation:

Portion du territoire à l'intérieur de laquelle toute l'eau souterraine sera captée par le puits

Aire de protection:

Portion de l'aire d'alimentation autour du captage pouvant être définie à partir d'un:

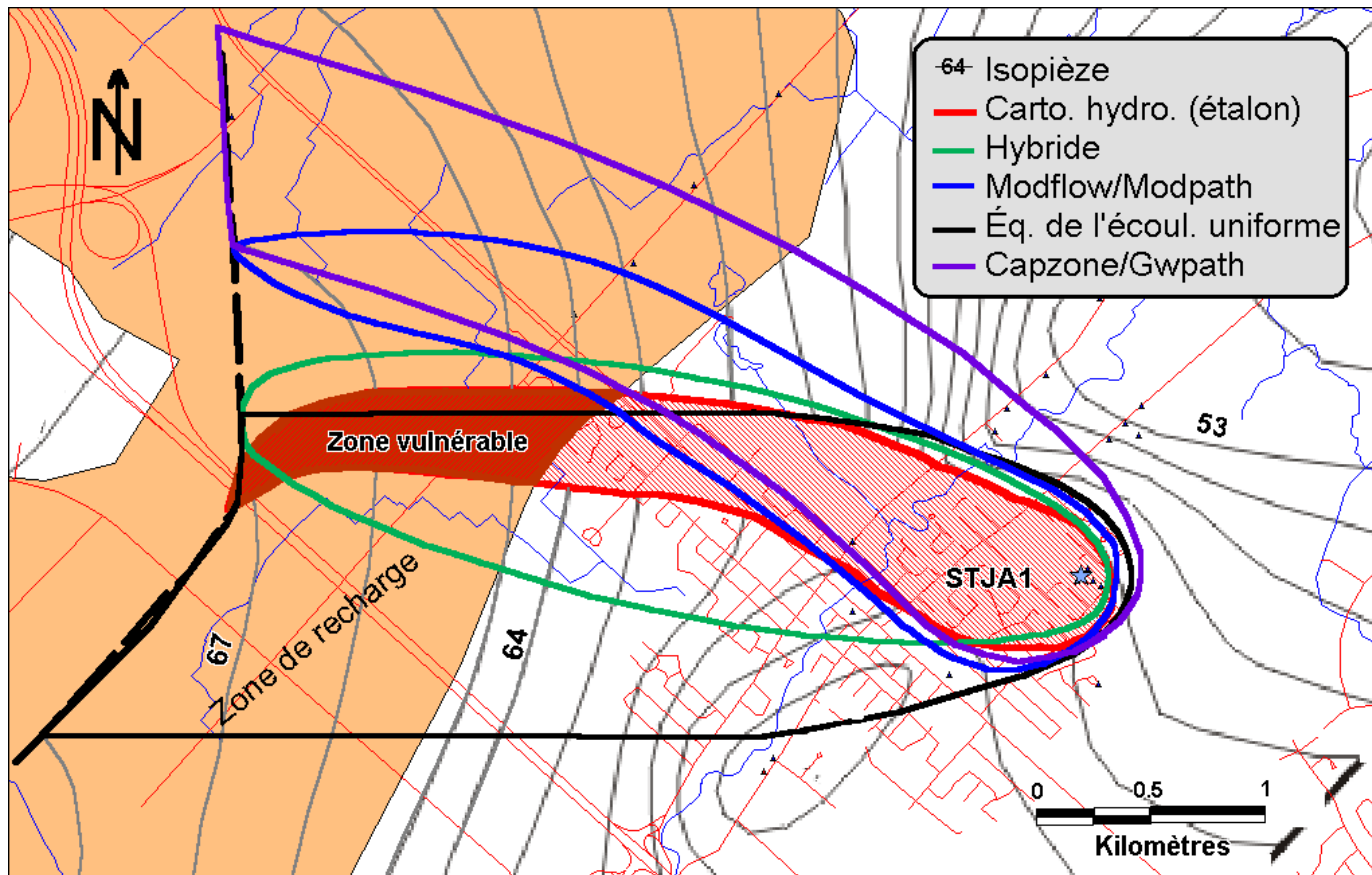
- critère de distance (ex.: rayon de 30 m pour aire de protection immédiate)
- critère de temps de migration (ex.: aires de protection bactériol. et virol.)



Source:
MDDEP, 2006

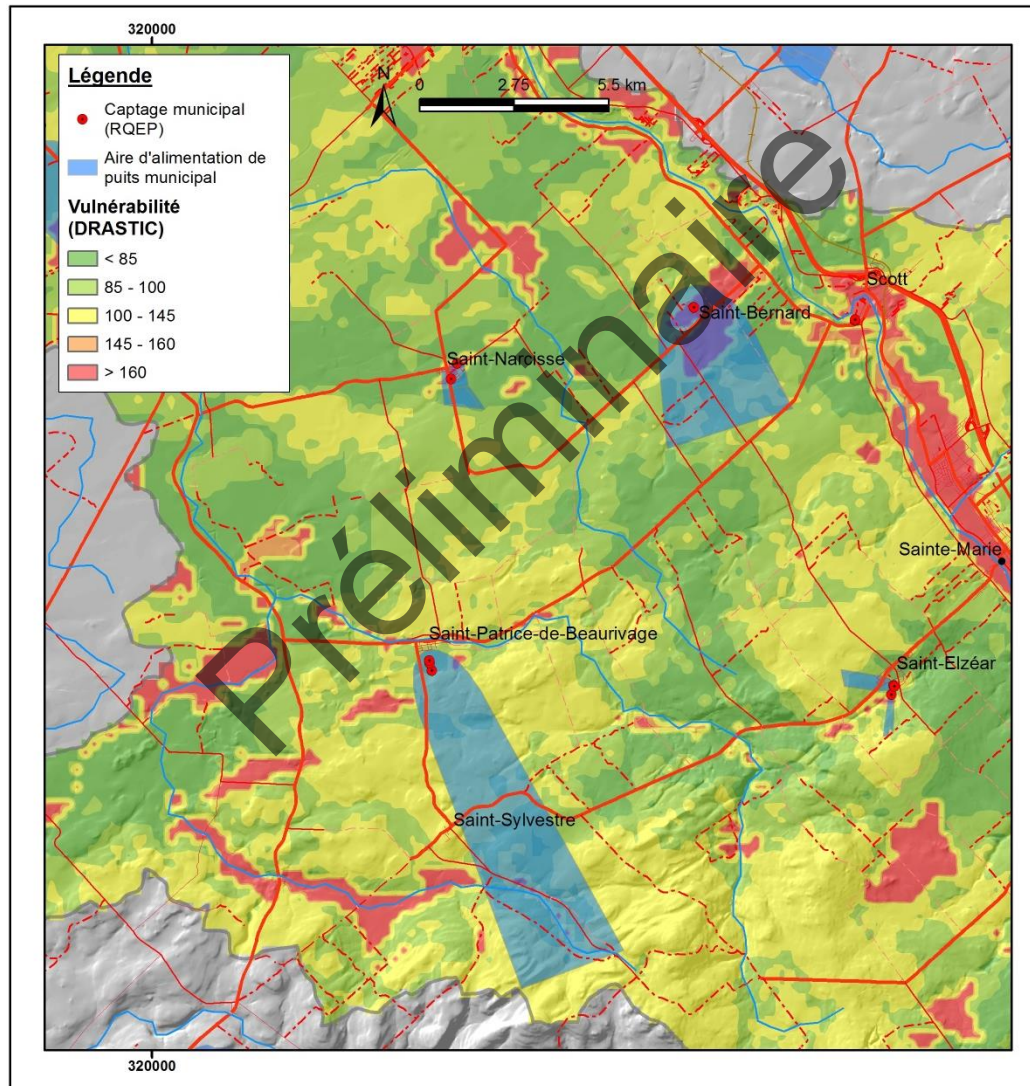
Méthodes d'évaluation de l'aire d'alimentation

- Deux catégories de méthodes:
- 1) par zone d'atténuation (ex.: rayon fixe, méthode hybride, modélisation, ...)
 - 2) par zone de contribution (ex.: méthodes analytiques, équation d'écoulement, ...)



Source:
Karanta
et al., 2001

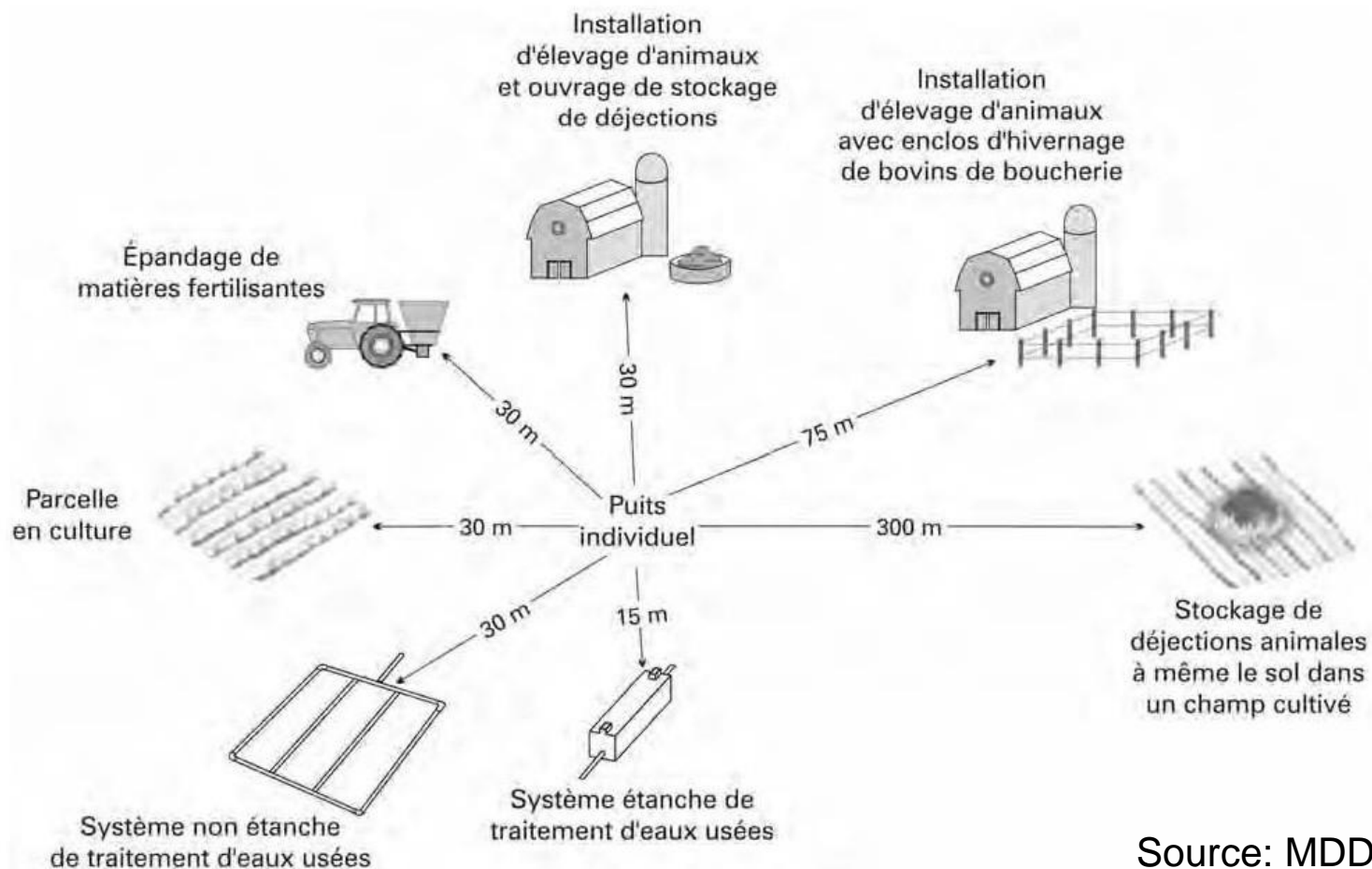
Exemples d'aire d'alimentation



Source (DRASTIC):
COBARIC et UPA,
2008

Aire de protection

Illustration du cadre réglementaire pour un puits individuel (< 75m³/jour alimentant moins de 20 personnes)



Aire de protection

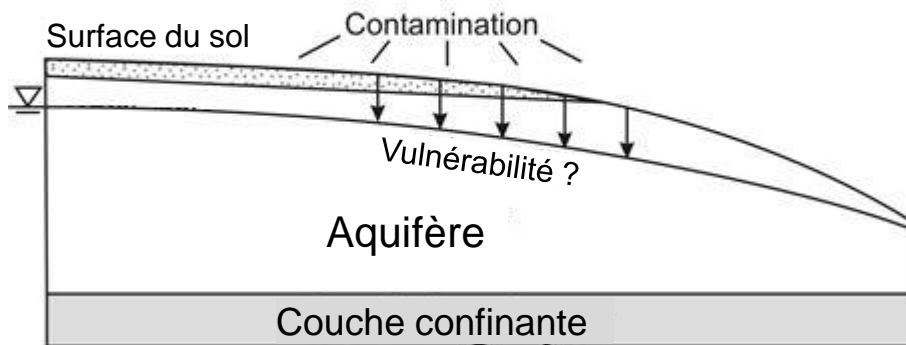
Sommaire du cadre réglementaire selon les types de captage

Activité non permise	Spécifications de localisation par types de captage		
	< 75 m ³ /j et < 20 personnes	< 75 m ³ /j et > 20 personnes	> 75 m ³ /j et > 20 personnes
<ul style="list-style-type: none">• Syst. de traitement des eaux usées• Parcelle en culture• Épandage de matière fertilisante	Aire de protection immédiate: rayon de 30 m	Aire de protection immédiate: rayon de 30 m	Aire de protection immédiate: rayon de 30 m
<ul style="list-style-type: none">• Épandage ou stockage (bâtiment) compost/fumier	30 m	100 m	Aire de protection bactériologique où vulnérabilité ≥100
<ul style="list-style-type: none">• Épandage de boues municipales	100 m	200 m	Aire de protection virologique où vulnérabilité ≥100
<ul style="list-style-type: none">• Stockage sur sol de compost/fumier	300 m	300 m	Aire de protection bact. où V ≥100

Concepts de vulnérabilité

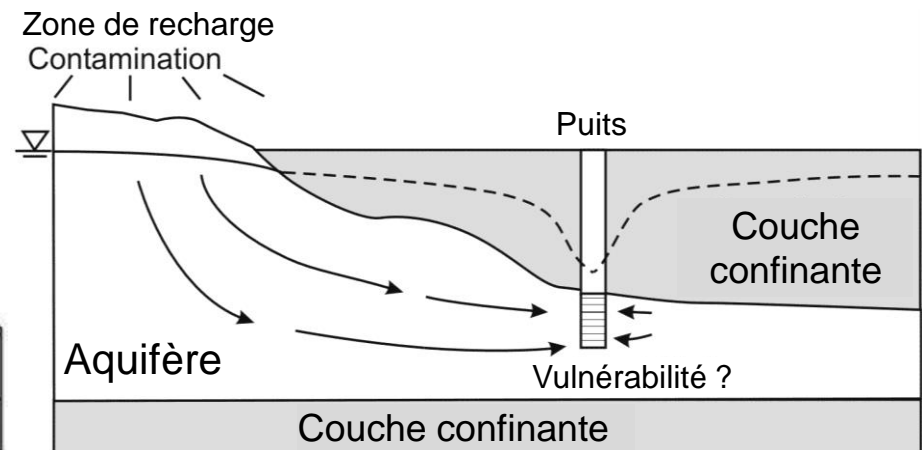
La vulnérabilité réfère à l'impact potentiel résultant d'une contamination en surface

Vulnérabilité de la nappe



Effet potentiel d'une contamination à la surface de l'aquifère

Vulnérabilité d'un puits



Effet potentiel d'une contamination à un puits exploitant un aquifère

Définitions de la vulnérabilité de nappe

Vulnérabilité **intrinsèque** (ou sensibilité)

- considère seulement les paramètres physiques de l'aquifère
- suppose qu'un contaminant potentiel se comporte de façon similaire à l'eau

Vulnérabilité **spécifique** (ou vulnérabilité)

- considère l'impact que peuvent avoir certaines activités sur la qualité de l'eau souterraine (ex.: nature d'un contaminant, types de source (diffuse ou ponctuelle)) en plus des facteurs intrinsèques

Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité de nappe

La vulnérabilité de la nappe est estimée à l'échelle régionale et sert généralement d'outil de gestion des ressources en eau souterraine (échelle 100K ou 200K). Plusieurs méthodes existent dont:

- indice numérique (DRASTIC)
- solution analytique (EVARISK)
- analyse cartographique (Minnesota)

Vulnérabilité des aquifères - DRASTIC

$$\text{Indice DRASTIC} = D_P D_C + R_P R_C + A_P A_C + S_P S_C + T_P T_C + I_P I_C + C_P C_C$$



D = Profondeur (Depth)

R = Recharge

A = Aquifère

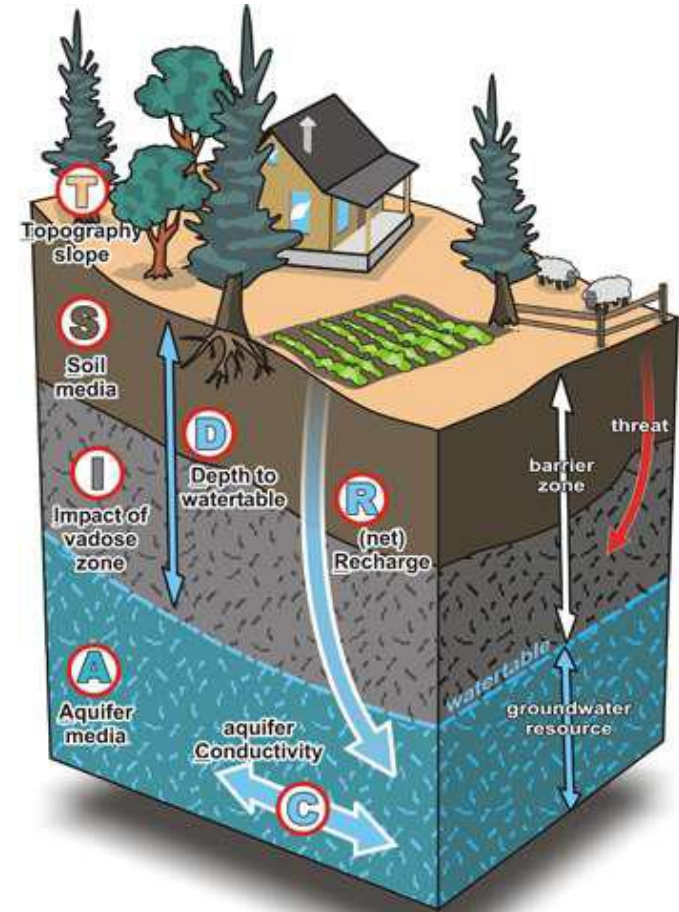
S = Sol

T = Topographie

I = Impact zone vadose

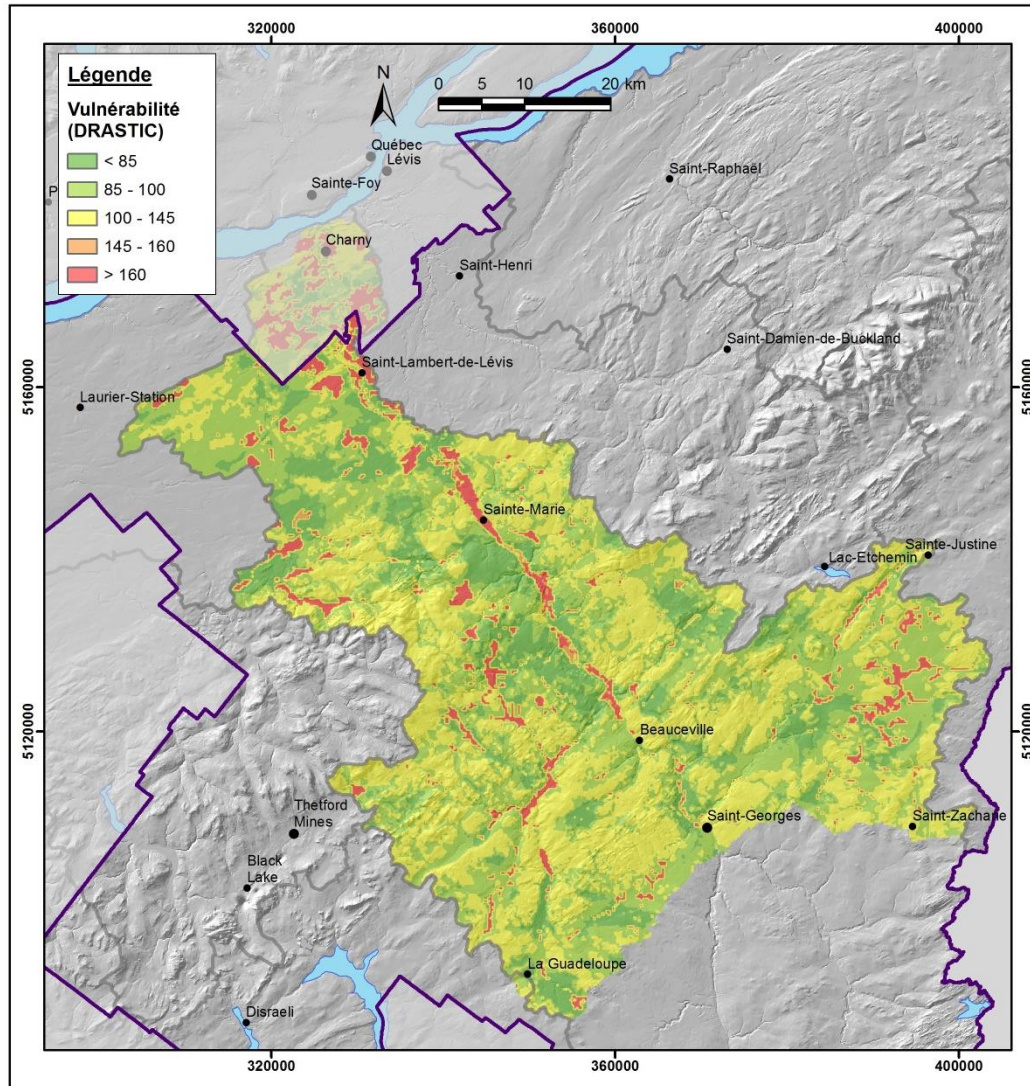
C = Conductivité hydraulique

L'indice "P" correspond au poids associé à chaque paramètre et l'indice "C" correspond à la cote paramétrique.



Source: Richard Franklin and Robert Turner, GSC, 2009

Exemple de carte DRASTIC



Source:
COBARIC et UPA,
2008 (projet PESC)

Sources potentielles de contamination des nappes

- Exemples de sources potentielles de contamination:
 - Eaux usées domestiques
 - Eaux usées industrielles, eaux de lessivage ou lixiviat
 - Épandage d'engrais et/ou de pesticides
 - Entreposage ou utilisation de produits pétroliers ou chimiques
 - Entreposage ou enfouissement de déchets
 - Entreposage de matériaux secs
 - Application ou déversement de produits toxiques
- Les activités associées à des sources potentielles de contamination devraient être classifiées selon le risque
- Les fortes densités d'activités potentiellement polluantes localisées dans les zones plus vulnérables implique un plus fort potentiel de contamination

Sources potentielles de contamination des nappes

• Exemple de classification d'activités

CUBF (2012)	Activité	Contaminants potentiels	Toxicité	Quantité	Zone	Réurrence	Risque	Classement
6411	Service de réparation d'automobiles (garage)	Huiles usagées, solvants, acides, peintures, déchets automobiles ...	8	3	2	1	13	Faible
2031	Conserverie, marinage, saumurage et séchage de fruits et de légumes	Nitrates, sels, phosphore, chlore, ammoniac; propylène glycol	6	4	4	1	14	Faible
3611	Industrie de matériaux de construction en argile et de produits réfractaires	Carburants diesel, solvants, huiles, autres	7	3	4	1	14	Faible
2791	Industrie de la préservation du bois	Métaux; acides, minéraux, sulfures; produits chimiques, ...	6	5	4	1	15	Modéré
3263	Industrie de l'outillage a main	Sodium, cyanure d'hydrogène; sels métalliques; acide chlorhydrique, ...	8	5	2	1	15	Modéré
6412	Service de lavage d'automobile	Solvants (perchloréthylène, solvants pétroliers, fréon), ...	6	7	4	1	17	Modéré
3711	Industrie de produits pétroliers raffinés (sauf huiles et graisses lubrifiantes)	Produits chimiques dangereux; solvants, hydrocarbures, métaux lourds	8	6	4	1	18	Élevé
3898	Industrie du recyclage de solvants de dégraissage	Produits chimiques dangereux; solvants, hydrocarbures, métaux lourds	7	7	4	1	18	Élevé
4875	Récupération et triage de matières polluantes et toxiques	Produits chimiques dangereux; solvants, hydrocarbures, huiles et autres	8	6	4	1	18	Élevé
8545	Extraction de minerais et de fertilisants	Carburants diesel, huiles, graisses, autres	7	7	4	2	36	Très élevé
4854	Enfouissement sanitaire	Lixiviat; contaminants chimiques organiques et inorganiques; déchets ...	8	8	4	2	40	Très élevé
3714	Raffinerie de pétrole	Produits chimiques dangereux; solvants, hydrocarbures, métaux lourds	8	8	8	2	48	Très élevé

Gestion des périmètres de protection

Éléments requis pour qu'un risque de contamination de l'eau souterraine existe:

- source de contamination
- voie de migration pour le contaminant (ex.: zone perméable)
- récepteur (ex.: puits, cours d'eau, milieux humides, ...)

Exemples de mesures possibles pour réduire les risques de contamination

- Inventaire, gestion et suivi des activités dans le périmètre de protection
 - Information et sensibilisation du public
 - Caractérisation locale des aquifères exploités
 - Entretien des ouvrages de captage
- Actions liées aux sources de contamination potentielles
- Actions liées aux voies de migration potentielles

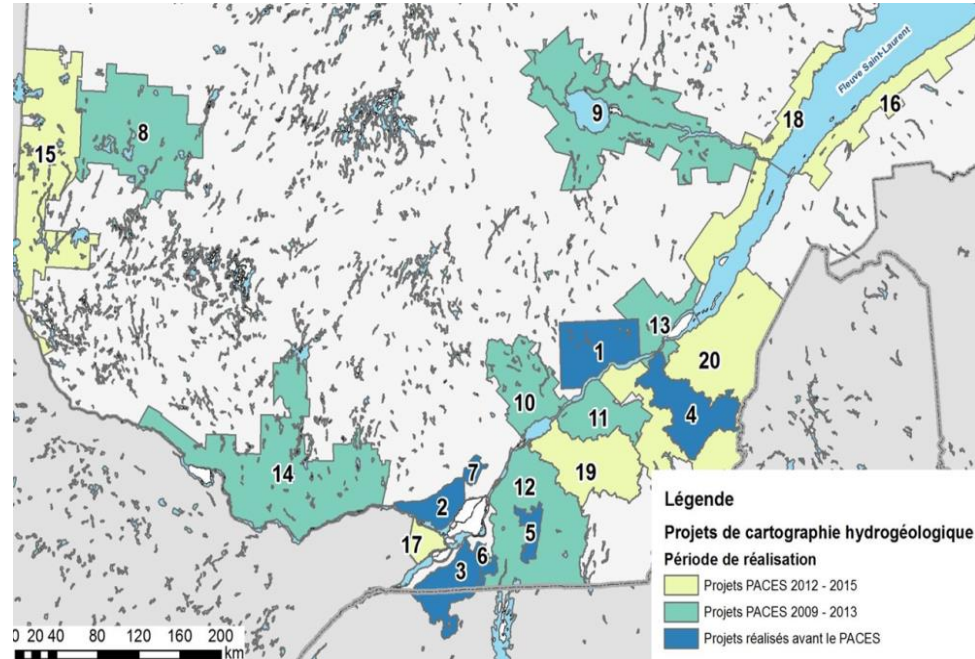
Retombées et suites du PACES

Objectif du programme PACES

L'acquisition de connaissances nécessaires à la prise de décision éclairée en matière de gestion et de protection des eaux souterraines

Avancement et retombées du PACES

- Couverture complétée à 70%
- Recherche dynamique inter-institutionnelle
- Implication des partenaires régionaux
- Fondements pour des travaux futurs détaillés
- Transmission des connaissances et accessibilité de l'information (INRS et MDDEFP)



Transfert de l'information

INRS  PARTENAIRES

MDDEFP  Utilisateurs

Site extranet

- Les principales données des premiers projets du PACES sont déjà disponibles pour visualisation et interrogation en extranet via la page « Diffusion de la cartographie hydrogéologique »

<http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/souterraines/diffusion-carto-hydrogeologique.htm>

- La diffusion des rapports ainsi que certains fichiers de données brutes se fera via le site web du MDDEFP
- Pas d'échéance sur la livraison du site

Navigateur cartographique ministériel

The screenshot displays the Ministerial Geographic Information System (GIS) interface. The main map shows a topographic view of a region with a large blue highlighted area. The interface includes a toolbar with various navigation and analysis tools, a legend on the left, and a 'Catalogue ministériel de l'information géographique' window on the right.

Thèmes (Legend):

- INRS_ZoneEtude_ChaudiereApp
- Indice DRASTIC - BEC
- Recharge annuelle HELP - MTE
- MNE avec hydrographie

Catalogue ministériel de l'information géographique:

Consulter les couches | Rechercher une couche

- Fonds de carte
- Cartes de référence
- Imagerie
- Milieu terrestre
- Milieu hydrogéologique
 - Puits et forages - SIH
- Études régionales
 - Compilation de données hydrogéologiques
 - PACES - Abitibi-Témiscamingue - partie 1
 - PACES - Bécancour
 - Zone d'étude - BEC
 - Pente (degrés) - BEC
 - Épaisseur dépôts meubles - BEC
 - Topographie roc - BEC
 - Confinement roc - BEC
 - Contextes hydrogéologiques - BEC
 - Piézométrie roc courbes - BEC
 - Piézométrie roc - BEC
 - Résurgences - BEC
 - Résurgences tourbières - BEC
 - Recharge préférentielle - BEC
 - Recharge annuelle - BEC
 - Indice DRASTIC - BEC
 - Utilisation eau-MRC - BEC
 - PACES - Communauté métropolitaine de Québec
 - PACES - Mauricie - Sud-Ouest
 - PACES - Montérégie - Est
 - PACES - Outaouais
 - PACES - Saguenay - Lac-Saint-Jean
- Milieu naturel et biodiversité

Ajouter | Afficher les métadonnées | Fermer

Constats du Vérificateur sur la gouvernance de l'eau

- “Le MDDEFP n’a toujours pas de base de connaissances consolidées fournissant un portrait global de la ressource en eau”
- “Le MAMROT n’a pas de portrait global de l’état des infrastructures municipales relatives à l’eau”
- “Il n’y a pas de cadre de gestion qui précise l’ensemble des orientations gouvernementales en matière de gestion de l’eau. Un tel cadre est essentiel pour assurer la cohérence des actions des intervenants dans le domaine”
- “Les informations... colligées dans les plans directeurs de l’eau (PDE) des bassins versants ne sont pas toujours prises en compte dans les documents de planification de l’aménagement du territoire”

Recommandation(s) du Vérificateur sur la gouvernance de l'eau

“consolider l'information et acquérir la connaissance permettant de déterminer les lacunes, les risques et les enjeux sous-jacents à la gouvernance de l'eau”

“ ... ”

Questions sur le transfert

1. Comment rendre les informations des projets PACES utilisables par les OBV, les aménagistes et les gestionnaires régionaux afin de maximiser leur utilisation dans les PDE et la planification territoriale ?
2. Quel devrait être le format des informations transmises aux partenaires (i.e. cartes, base de données) afin qu'elles puissent facilement servir les besoins en matière de gestion intégrée de l'eau par bassin versant ?
3. Comment adapter les échelles des données acquises afin qu'elles rejoignent les besoins des principaux utilisateurs que sont les OBV et les MRC ?
4. Comment poursuivre l'acquisition des connaissances sur les eaux souterraines pour maintenir à jour les données acquises dans le cadre du PACES ?

INRS

Université d'avant-garde



SE =

$$\frac{1}{n_2 - p_2 - q_2}$$

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{C_{\text{charbonus}}}{N \times Q} \times A \cdot \text{prey} \times 100$$

200 ppb / 207 ppb

Weight fraction (%)

Temperature (°C)

kDa

115
66
45
31
21.5
14.5
6.5

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

$u(0)$

$u(0)$

$u(0)$

100 as

100 is

(A) $\epsilon < 0$

(B) $\epsilon = 0$

(C) $\epsilon > 0$

$$[Cd] = [Cd^{2+}] = 10 \text{ nmol/L}$$

...poralités. L'espace occupe a.
...logique des mutations sociales, économique
de la société québécoise. L'espace s'inscrit
l'action publique et des rapports sociaux.
...ant à comprendre

