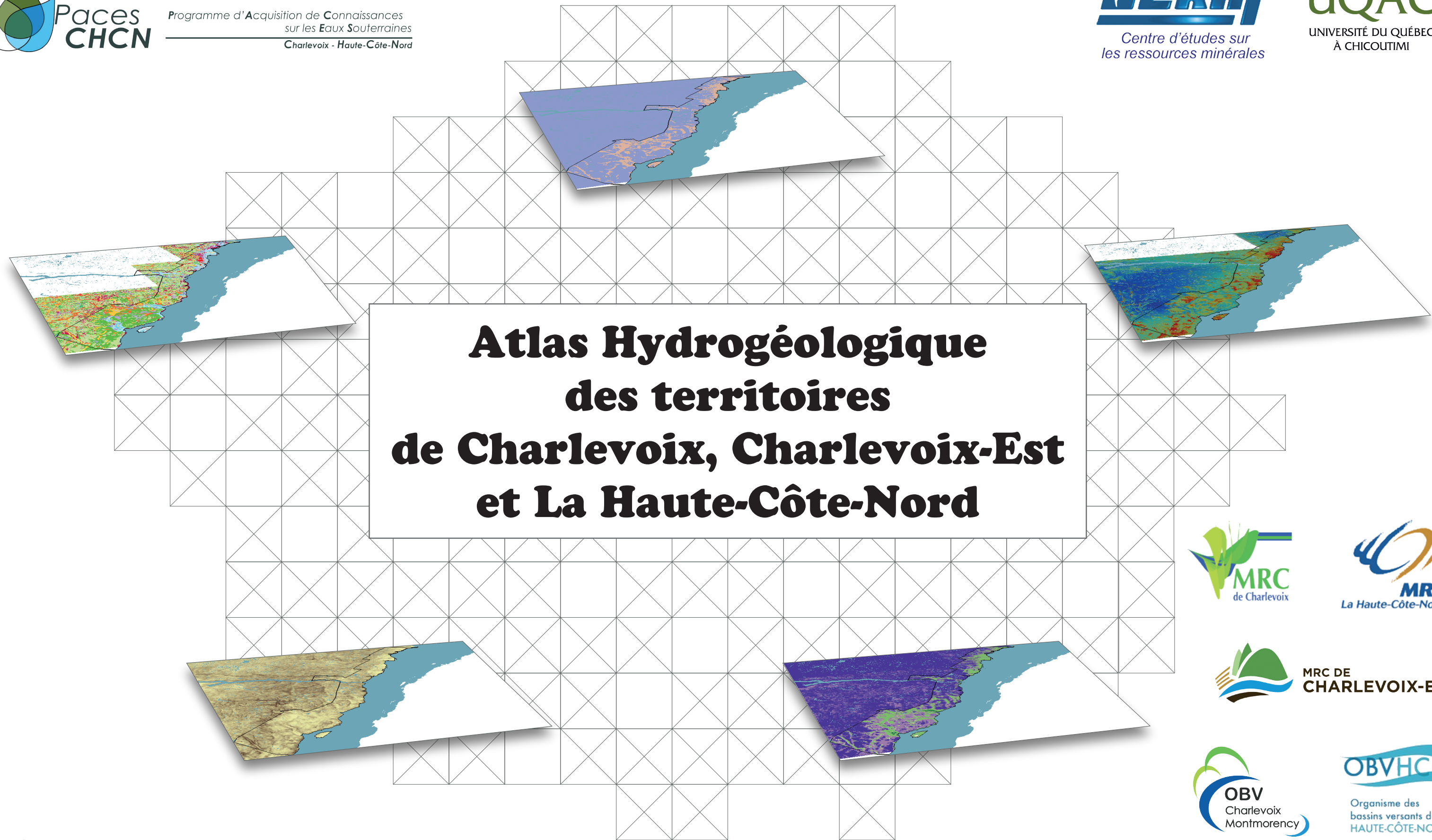




Programme d'Acquisition de Connaissances
sur les Eaux Souterraines
Charlevoix - Haute-Côte-Nord



Atlas Hydrogéologique des territoires de Charlevoix, Charlevoix-Est et La Haute-Côte-Nord



MRC DE CHARLEVOIX-EST



Développement durable,
Environnement et Lutte
contre les changements
climatiques



Mars 2015

Table des matières

Remerciements	5
Le CERM	7
Les partenaires	7
L'équipe du PACES-CHCN	7
Citation	7

Introduction	9
Les eaux souterraines au Québec	11
Les PACES : un projet provincial	12
Les eaux souterraines du territoire de CHCN : un intérêt régional	13
Résultats et produits du projet PACES-CHCN	14

Pour plus d'informations	81
Outil de diffusion du ministère	83
Autres sources d'informations	83

UN TERRITOIRE

Territoire	17
Population et découpages administratifs	19
Occupation des sols	21
Topographie	22
Hydrographie	24

COMPRENDRE LES EAUX SOUTERRAINES

Notions d'hydrogéologie	27
Les eaux souterraines : un élément du cycle de l'eau	29
Propriétés des milieux hydrogéologiques	30
Typologie des milieux hydrogéologiques	32
Propriétés hydrauliques du milieu hydrogéologique	33
Pourquoi l'eau souterraine circule ?	34
Comment lire et quelles informations contient une carte piézométrique ?	35

VISUALISER LES CONNAISSANCES

Hydrogéologie du territoire CHCN	37
L'acquisition des connaissances : un processus itératif !	39
Les milieux géologiques et quaternaires	40
La stratigraphie et les épaisseurs des dépôts de surface	44
Les limites hydrogéologiques	46
Limites des contextes hydrogéologiques	48
Limites hydrogéologiques régionales	50
Portrait des limites hydrogéologiques locales	54
Portrait des propriétés hydrauliques des milieux hydrogéologiques	56
Piézométrie et écoulements	58
Renouvellement de la ressource : Recharges et Résurgences	60
Chimie des eaux souterraines	62

PROTÉGER LA RESSOURCE

Une ressource à protéger	65
L'alimentation en eau potable municipale	67
Estimation des quantités d'eau de surface et souterraine prélevées par MRC	68
Estimation des quantités d'eau souterraine prélevées par usages	69
Qualité de l'eau souterraine	70
Dépassements des concentrations maximales acceptables (CMA)	71
Dépassements des objectifs esthétiques(OE)	72
Vulnérabilité	74
Activités potentiellement polluantes	76
Protection de la ressource en eaux souterraines	78

Remerciements

Ce projet a été rendu possible par la contribution financière du **ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC)**, ainsi que des partenaires suivants :

- ▶ La MRC de Charlevoix
- ▶ La MRC de Charlevoix-Est,
- ▶ La MRC de La Haute-Côte-Nord,
- ▶ L'organisme de bassins versants de Charlevoix-Montmorency,
- ▶ L'organisme de bassins versants de la Haute-Côte-Nord, et
- ▶ L'Université du Québec à Chicoutimi.

Le comité de gestion du projet PACES-CHCN a réuni des représentants de ces partenaires financiers et comprend les membres suivants:

- ▶ Mme France Lavoie (MRC de Charlevoix-Est),
- ▶ M. Stéphane Chainé (MRC de Charlevoix),
- ▶ M. Kévin Bédard (MRC de La Haute-Côte-Nord),
- ▶ M. Jean Landry (OBV Charlevoix-Montmorency),
- ▶ M. Yves Demers (OBV de la Haute-Côte-Nord), et
- ▶ l'équipe du CERM/UQAC.

Les auteurs de ce rapport tiennent à remercier particulièrement les maires, directeurs généraux et inspecteurs des municipalités du territoire d'étude qui ont fourni des données riches en informations hydrogéologiques.

L'ensemble du projet a été réalisé dans un cadre de collaboration étroite avec tous les autres représentants des

projets PACES au Québec regroupés au sein du GRIES (Groupe de recherche interuniversitaire sur les eaux souterraines) et du RQES (Réseau québécois sur les eaux souterraines) ainsi que les experts Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) et du MDDELCC.

Des données importantes ont été fournies par les partenaires mentionnés plus haut et par plusieurs autres organismes gouvernementaux et paragouvernementaux, notamment le ministère des Transports du Québec, le ministère des Ressources naturelles et l'Institut de Recherche et de Développement en Agroenvironnement (IRDA).

Les auteurs remercient également les professeurs Denis W. Roy, Marie-Amélie Boucher et Romain Chesnaux de l'UQAC ainsi que Julien Walter pour leur contribution scientifique au projet.

Nous tenons à souligner également la contribution de plusieurs personnes de l'UQAC soit : Sonia Dorval qui a participé au fonctionnement du projet. Les stagiaires : Caroline Da Silva Goncalves et Isabelle Cyr-Parent. Les étudiants de cycles supérieurs : Anouck Ferroud, Maryline Huet, Ombeline Ghesquière et Julien Walter. Les étudiants de 1er cycle : Kaïssa-Loriane Blessy, Marie-Odile Chartier, Thomas Foulon, Julie Lavoie et Léo Poignant-Molina.

Le CERM

Le Centre d'études sur les Ressources minérales a été mis en place en 1983, prenant ainsi le relais du Centre de recherche du moyen-nord (CRMN) initialement fondé en 1972. Le CERM a été mis sur pied afin de développer la recherche pour le secteur des ressources minérales dans les régions ressources. La recherche au CERM s'articule autour de 3 axes complémentaires :

- 1) L'exploration minérale et les processus métallogéniques,
- 2) La formation et l'évolution de la croûte continentale,
- 3) Les eaux souterraines et l'hydrogéomécanique.



L'équipe du PACES-CHCN

COORDONNATEURS : Alain Rouleau et Réal Daigneault

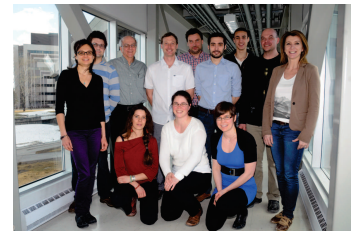
PROFESSIONNELS EN HYDROGÉOLOGIE : Denis Germaineau, Marie-Line Tremblay et Julien Walter

PROFESSIONNELLE EN GÉOMATIQUE : Mélanie Lambert

PROFESSEURS-CHERCHEURS : Romain Chesnaux et Marie-Amélie Boucher

ÉQUIPE GÉOPHYSIQUE : Patrick Simard et David Noël

GRAPHISME : Claude Dallaire



Partenaires



Citation

CERM-PACES 2015–Atlas hydrogéologique des territoires de Charlevoix, de Charlevoix-Est et de La Haute-Côte-Nord.
Centre d'études sur les ressources minérales, Université du Québec à Chicoutimi.



INTRODUCTION

Les eaux souterraines au Québec ,
un projet de SOCIÉTÉ,
un projet d'AVENIR

INTRODUCTION

Les eaux souterraines au Québec

De 1975 à aujourd'hui...

Programmes d'acquisition des connaissances sur les eaux souterraines (septembre 2008 - mars 2015)

« Le gouvernement pose un geste de plus pour assurer la pérennité et la qualité de l'eau au Québec. En effet, pour protéger cette ressource collective et pour pouvoir effectuer des choix responsables, il est essentiel de bien la connaître » Madame la ministre, Line Beauchamp.

Commission Legendre (1975)

Propositions de la commission sur la gestion de l'eau et sur une réforme complète du droit de l'eau. Cette réforme devant dissocier l'eau de la propriété foncière et intégrer la notion de l'eau en tant que bien public.

« l'eau doit être appréhendée globalement et il faut garder en tête une préoccupation constante pour la conservation des milieux naturels »

Politique Nationale de l'Eau (2002)

« L'Eau. La Vie. L'Avenir. »

Le Québec se dote d'une politique dont les enjeux sont : (1) la reconnaissance de l'eau comme patrimoine collectif de tous les québécois. (2) L'assurance de la protection de la santé publique et des écosystèmes aquatiques. (3) La gestion intégrée de l'eau dans une perspective de développement durable.



Premier appel (2009-2013)

Le gouvernement consacre 13,5 millions \$ pour améliorer et diffuser les connaissances sur l'eau souterraine pour les territoires de :

- la Mauricie
- Bécancour
- Saguenay-Lac-Saint-Jean
- l'Abitibi-Témiscamingue 1
- la Montérégie-Est

Deuxième appel (2010-2013)

Extension des programmes pour améliorer et diffuser les connaissances sur l'eau souterraine pour les territoires de :

- la Communauté Métropolitaine de Québec
- l'Outaouais

Troisième appel (2012-2015)

Le gouvernement consacre 13,5 millions \$ pour améliorer et diffuser les connaissances sur l'eau souterraine pour les territoires :

- du Nord-Est du Bas-Saint-Laurent
- de Veudreuil-Soulanges
- de l'Abitibi-Témiscamingue 2
- de Chaudière-Appalaches
- de Nicolet-Bas-Saint-François

- de Charlevoix et de la Haute-Côte-Nord

1975

Québec

Suite au symposium sur l'eau (1997) organisé par l'Institut national de la recherche scientifique (INRS) le Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE) tient une vaste consultation de 1999 à 2000.

Les rapports de la commission Beauchamp et du BAPE posent les premières pierres d'une loi sur l'eau au Québec.

Commission Beauchamp (2000) et BAPE(1997-2000)

Premier projet de loi sur l'eau proposé à l'Assemblée nationale

Projet de loi n°92 (2008)



Faisant suite au projet de loi n°92, l'Assemblée nationale adopte, le 11 juin 2009, la loi n°27 affirmant le caractère collectif des ressources en eau et visant à renforcer leur protection

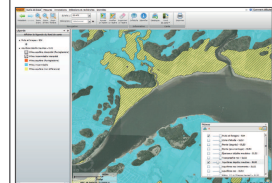
Adoption de la loi n°27 (2009)



2015

Mise en ligne par le MDDELCC de l'outil de consultation des données hydrogéologiques du Québec méridional

Diffusion de la cartographie hydrogéologique (2014)



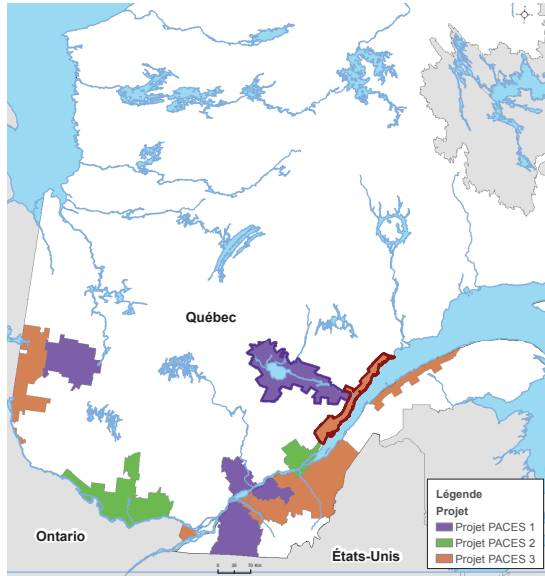
... l'eau souterraine au Québec,
c'est 40 ans d'histoire !

Les PACES : un projet provincial

Au Québec, la ressource en eau souterraine est fortement sollicitée pour l'alimentation en eau potable sur 90% du territoire municipalisé, ce qui permet de répondre aux besoins en eau potable d'environ 20% de la population. Toutefois, les connaissances sur la quantité et la qualité de l'eau souterraine, et des aquifères sont fragmentaires et hétérogènes sur le territoire québécois. Cette ressource étant sensible et souvent vulnérable à la contamination, il est nécessaire de la connaître le mieux possible.

Dans une perspective de protection et de pérennité de la ressource, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs a élaboré en 2008 le Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES).

Ce programme s'inscrit dans le cadre de la Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et visant à renforcer leur protection. Il a permis jusqu'à maintenant de caractériser la ressource en eau souterraine sur le territoire municipalisé de treize régions dont sept projets ont été complétés en mars 2013 (PACES 1 et PACES 2) et six en mars 2015 (PACES 3).



En 2012, le Centre d'études sur les ressources minérales (CERM) de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC) a été mandaté par le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) pour faire l'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du territoire de Charlevoix et de la Haute-Côte-Nord (PACES-CHCN). Les principaux objectifs du PACES-CHCN consistent à :

- ▶ Dresser un portrait de la ressource en eaux souterraines sur le territoire.
- ▶ Établir l'état de cette ressource, sa recharge et sa vulnérabilité.
- ▶ Développer des partenariats entre les acteurs de l'eau et les gestionnaires du territoire.
- ▶ Répondre aux préoccupations du milieu en ce qui concerne la ressource en eau souterraine.

Le projet a été réalisé sur une période de 3 ans dont chaque année correspond approximativement à une phase spécifique.

La Phase 1 (COMPILATION) correspond à la collecte des données existantes et leur intégration dans une base de données spatiales. Cette étape se conclut par la rédaction d'un rapport synthèse des informations existantes, l'indication des données manquantes et la planification des travaux requis pour compléter le portrait.

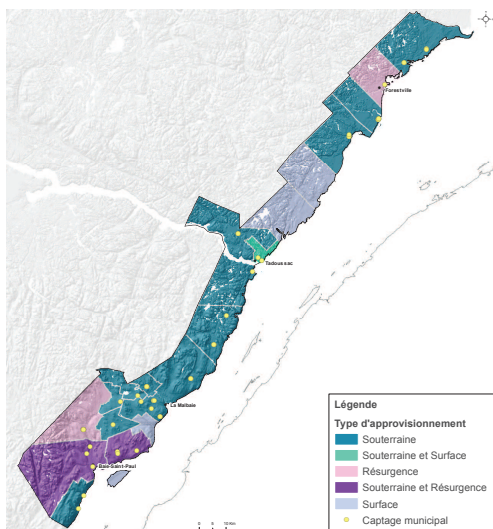
La Phase 2 (LEVÉS DE TERRAIN) correspond à la réalisation de travaux de terrain nécessaires à l'obtention d'informations complémentaires ou manquantes (prélèvement d'échantillons et réalisation d'essais en laboratoire et *in situ*); ainsi que l'intégration des nouvelles données dans la base de données.

La Phase 3 (SYNTHÈSE) a consisté en l'intégration et l'analyse des données, la production de cartes hydrogéologiques et l'écriture du rapport final dans lequel des recommandations portant sur la protection et la gestion de l'eau souterraine sont élaborées.

Les eaux souterraines du territoire de CHCN : un intérêt régional

Une étude du ministère de l'Environnement réalisée dans le cadre de la vaste consultation publique sur la gestion de l'eau au Québec a permis de publier, en juillet 2000, un « Portrait régional de l'eau » par région administrative du Québec. Ces études démontrent qu'en 2000, un fort pourcentage de la population s'alimente en eau souterraine que ce soit à partir du réseau municipal ou à partir de puits individuels. Ce pourcentage est alors de **26%** pour la MRC de Charlevoix-Est et s'élève à **49%** pour la MRC de Charlevoix jusqu'à atteindre **67%** pour la MRC de La Haute-Côte-Nord. Avec l'évolution des normes de qualité de l'eau potable au Québec en 2001, le pourcentage de la population s'alimentant en eau souterraine a augmenté de façon significative, tant et si bien que la population du territoire de CHCN s'alimentant en eau potable à partir d'eau souterraine atteint près de **90% en 2014**.

17 des 21 municipalités du territoire de Charlevoix et de la Haute-Côte-Nord s'alimentent actuellement à partir des eaux souterraines.



Cette étude démontre également que le territoire considéré subit plusieurs pressions sur cette ressource, en lien notamment avec l'agriculture, l'élevage, l'exploitation des tourbières et la demande au plus fort de la saison touristique, d'où la pertinence d'augmenter le niveau de connaissances sur la ressource en eau souterraine.

Territoire	Population (nbr habitants)	Origine de l'eau prélevée
MRC CHARLEVOIX 13 338		
Baie-Saint-Paul	7 332	Souterraine et résurgence
Les Éboulements	1 328	Souterraine et résurgence
L'Isle-aux-Coudres	1 279	Surface
Petite-Rivière-Saint-François	744	Souterraine
Saint-Hilarion	1 181	Souterraine
Saint-Urbain	1 474	Résurgence
MRC CHARLEVOIX-EST 16 046		
Baie-Sainte-Catherine	204	Souterraine
Clermont	3 118	Souterraine
La Malbaie	8 862	Souterraine
Notre-Dame-des-Monts	815	Souterraine
Saint-Aimé-des-Lacs	1 073	Souterraine
Saint-Irénée	674	Surface
Saint-Siméon	1 300	Souterraine
MRC LA HAUTE-CÔTE-NORD 11 546		
Colombier	747	Souterraine
Forestville	3 270	Résurgence
Les Bergeronnes	693	Surface
Les Escoumins	2 000	Surface
Longue-Rive	1 113	Souterraine
Portneuf-sur-Mer	761	Souterraine
Sacré-Coeur	1 881	Souterraine
Tadoussac	813	Souterraine et surface
Total CHCN	40 930	

Résultats et produits du PACES-CHCN

Les résultats du projet PACES-CHCN sont remis au MDDELCC et aux partenaires régionaux et prennent la forme de quatre livrables :

- 1-Une base de données spatiales.
- 2-Des cartes thématiques en format A0.
- 3-Le présent atlas des eaux souterraines.
- 4-Un rapport scientifique.

La base de données spatiales contient des informations sur plus de 5000 stations ponctuelles acquises dans le cadre du projet PACES. Ces informations correspondent soit à des données existantes provenant majoritairement de rapports hydrogéologiques appartenant aux municipalités présentes sur le territoire ou à des données acquises sur le terrain par l'équipe PACES entre 2012 et 2014. Cette base de données nécessite une méthodologie rigoureuse de numérisation et d'archivage des données présentées au chapitre 2 du rapport scientifique.

L'atlas sur les eaux souterraines du territoire de Charlevoix et de la Haute-Côte-Nord a pour objectif de rendre les résultats du projet PACES-CHCN accessibles à un plus large public. Pour ce faire, des notions de base d'hydrogéologie sont intégrées. Il ne constitue pas un résumé de l'ensemble de l'information contenue dans le rapport scientifique, mais un document présentant les principaux résultats.

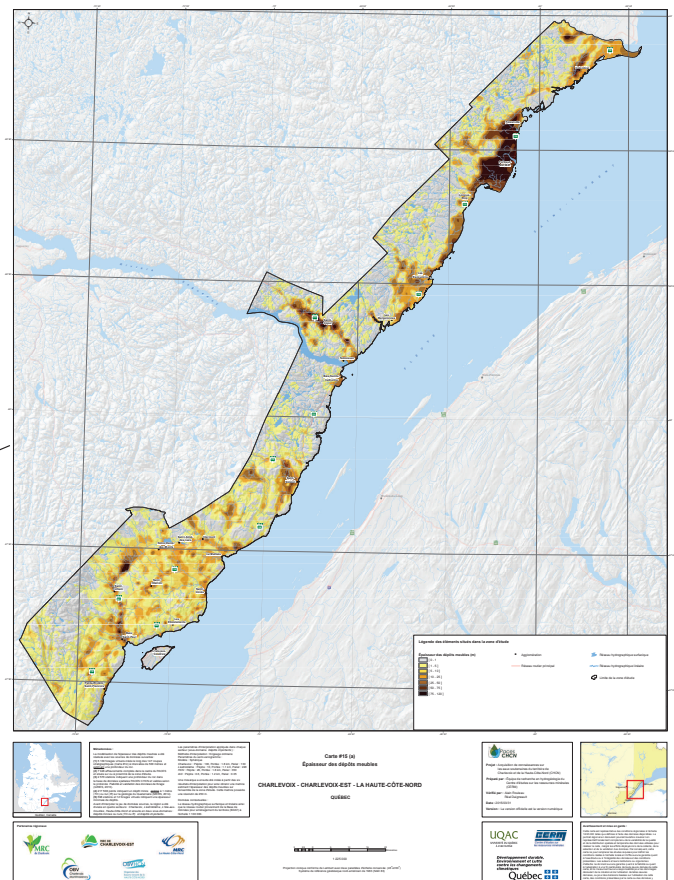
Le rapport scientifique présentant les résultats du projet PACES-CHCN se divise en sept chapitres thématiques;

- la description du territoire à l'étude, autant pour les aspects physiques qu'humains;
- les données acquises et compilées dans la base de données spatiales;
- le résumé des caractéristiques géologiques du roc et des dépôts d'origine quaternaire;
- le bilan hydrologique régional;
- l'état des connaissances hydrogéologiques;
- le portrait de la ressource en eau;
- les recommandations et propositions d'actions pour assurer la gestion adéquate de la ressource.



Les 26 cartes numériques en format A0 représentant les différents aspects ayant trait aux eaux souterraines.

# de la carte	Nom de la carte	Aspect
1	Topographie	Géographique
2	Routes, limites municipales et toponymie	Géographique
3	Modèle numérique de terrain (MNT)	Géographique
4	Pente du sol	Géographique
5	Hydrographie	Géographique
6	Limites de bassins et de sous-bassins	Géographique
7	Occupation du sol	Géographique
8	Couverture végétale	Géographique
9	Milieus humides (zones d'intérêt écologique)	Géographique
10	Affectation du territoire	Géographique
11	Pédologie	Géologique
12	Géologie du Quaternaire	Géologique
13	Géologie du roc	Géologique
14	Coupes stratigraphiques	Géologique
15	Épaisseur des dépôts meubles	Géologique
16	Topographie du roc	Géologique
17	Contextes hydrogéologiques	Hydrogéologique
18	Limites des aquifères régionaux	Hydrogéologique
19 – 20	Piézométrie régionale	Hydrogéologique
21	Paramètres hydrogéologiques (sous forme de tableaux)	Hydrogéologique
22	Vulnérabilité selon la méthode DRASTIC	Hydrogéologique
23	Activités potentiellement polluantes	Géographique
24	Qualité (critères eau potable)	Hydrogéologique
25	Qualité (objectifs esthétiques)	Hydrogéologique
26	Utilisation de l'eau	Hydrogéologique
27	Stations météo, hydrométriques et de suivi de la nappe	Géographique
28	Zones de recharge préférentielles et de résurgence	Hydrogéologique





L'atlas hydrogéologique

de Charlevoix, de Charlevoix-Est et de La Haute-Côte-Nord

un survol du territoire.

TERRITOIRE

La caractérisation hydrogéologique d'un territoire nécessite de bonnes connaissances du territoire. Les caractéristiques du territoire étudié par le PACES-CHCN se développent suivant deux orientations, soit les aspects physique et humain.

L'aspect physique décrit l'ensemble du milieu naturel, soit la topographie, l'hydrographie, le climat, le couvert végétal, etc.

L'aspect humain permet d'identifier les utilisateurs d'eau de surface et d'eau souterraine et la quantité dont ils ont besoin annuellement. Il donne également un aperçu de la pression anthropique exercée sur la ressource en termes de prélèvement et de contamination potentielle.

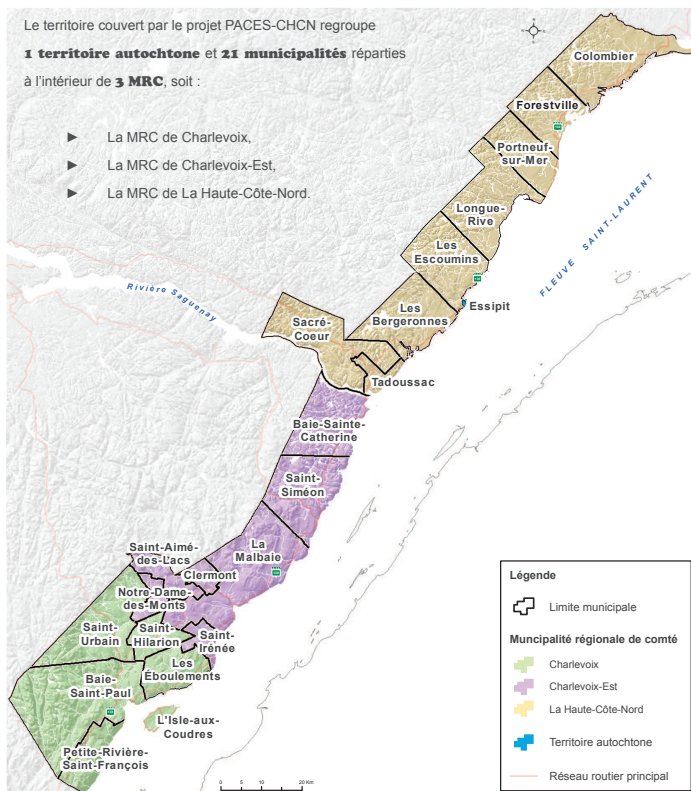
L'ensemble de ces informations est développé au sein du rapport final.

TERRITOIRE

Population et découpages administratifs

Le territoire couvert par le projet PACES-CHCN regroupe
1 territoire autochtone et **21 municipalités** réparties
à l'intérieur de **3 MRC**, soit :

- ▶ La MRC de Charlevoix,
- ▶ La MRC de Charlevoix-Est,
- ▶ La MRC de La Haute-Côte-Nord.



Les municipalités les plus grandes en superficie et les plus peuplées sont celles de Baie-Saint-Paul et de La Malbaie. Ces deux municipalités se localisent dans la région de Charlevoix. Sur la HCN, plusieurs municipalités présentent des territoires de superficie semblable d'environ 250 à 300 km². La municipalité de Forestville est la municipalité la plus peuplée dans le secteur de la HCN avec un peu plus de 3 500 habitants.

Territoire	Superficie (km ²)	Population
MRC DE CHARLEVOIX	1 293,37	13 338
Baie-Saint-Paul	546,73	7 332
Les Éboulements	153,99	1 328
L'Isle-aux-Coudres	29,54	1 279
Petite-Rivière-Saint-François	135,66	744
Saint-Hilarion	99,77	1 181
Saint-Urbain	327,68	1 474
MRC DE CHARLEVOIX-EST	1 263,31	16 046
Baie-Sainte-Catherine	232,16	204
Clermont	52,99	3 118
La Malbaie	470,57	8 862
Notre-Dame-des-Monts	56,00	815
Saint-Aimé-des-Lacs	101,57	1 073
Saint-Irénée	60,29	674
Saint-Siméon	289,73	1 300
MRC DE LA HAUTE-CÔTE-NORD	2 031,16	11 546
Colombier	313,2	747
Forestville	204,73	3 270
Sacré-Coeur	341,74	1 881
Les Bergeronnes	291,89	693
Les Escoumins	267,33	2 000
Longue-Rive	295,35	1 113
Portneuf-sur-Mer	241,23	761
Tadoussac	74,59	813
Essipit	1,1	268
Total CHCN	4 587,84	40 930

TERRITOIRE

Occupation des sols

L'occupation des sols correspond à l'usage réel du territoire en 6 classes d'occupation dont les zones urbaine, agricole, forestière, arbustive, humide, découverte et les zones pour lesquelles aucunes données ne sont disponibles.

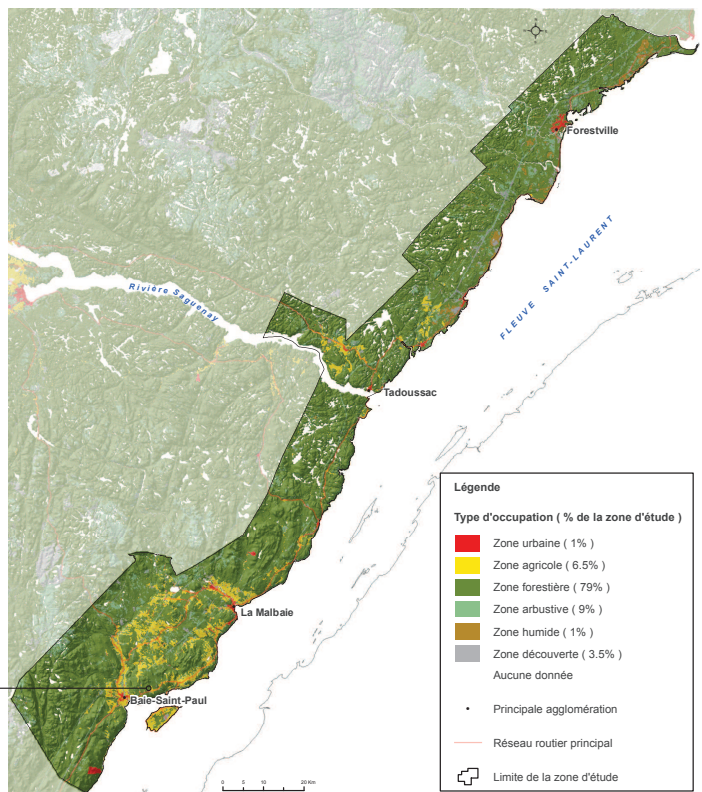
Cette carte élaborée par le CERM a été construite à partir de la classification des images Landsat. Sur l'ensemble du territoire, le sol est majoritairement occupé par la forêt et les arbustes. Le secteur de l'astrobblème de Charlevoix présente aussi une occupation agricole importante.

Activités économiques

Plusieurs activités constituent des fleurons économiques pour le territoire de CHCN. Les principales activités industrielles sont celles du bois, notamment des entreprises de pâtes et papiers et de nombreuses scieries. L'exploitation de tourbières sur la Haute-Côte-Nord est notable. Le territoire de Charlevoix a une agriculture développée et diversifiée où se retrouvent des élevages porcins ainsi que plusieurs autres types qui contribuent à mettre en valeur l'industrie agro-alimentaire avec des produits du terroir typiques. L'industrie agro-alimentaire de la Haute-Côte-Nord est orientée vers les produits de la mer et la culture des petits fruits. Le tourisme et la villégiature attirent chaque année de nombreux visiteurs profitant des magnifiques paysages, parcs et installations récréatives.



© Richard Kellan (modifiée)



Topographie

D'un point de vue hydrogéologique, la topographie contribue à favoriser l'infiltration de l'eau dans les reliefs très peu prononcés, tandis qu'elle favorise le ruissellement de l'eau provenant des précipitations lorsque le relief est accentué.

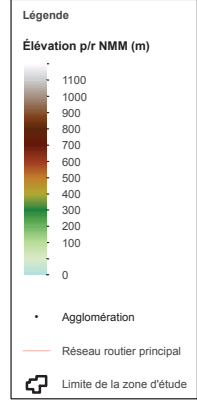
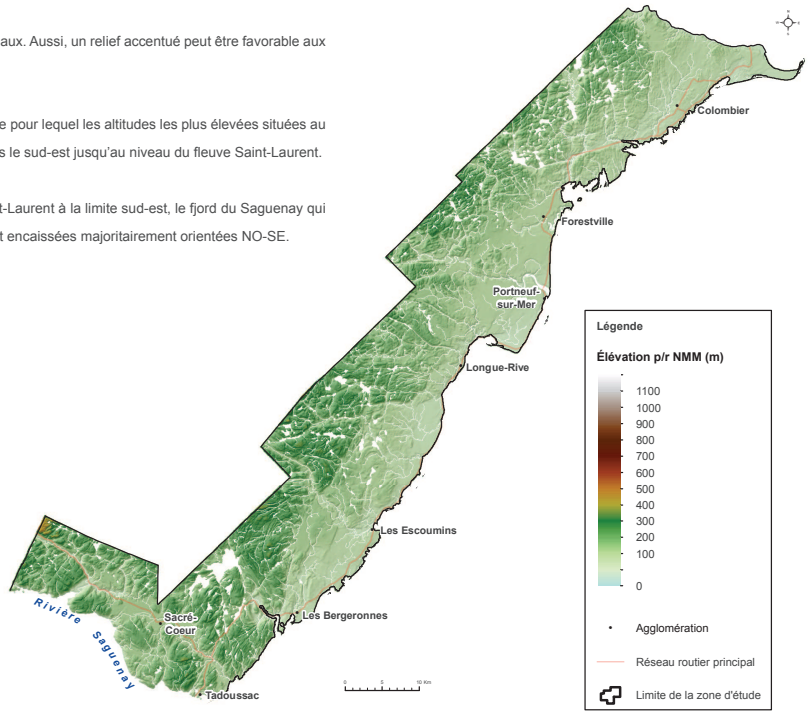
Ainsi, le relief contribue à diriger et à concentrer les écoulements de surface vers les plus bas niveaux. Aussi, un relief accentué peut être favorable aux résurgences.

De façon générale, le relief du territoire de CHCN se caractérise par un fort gradient topographique pour lequel les altitudes les plus élevées situées au nord-ouest du territoire municipalisé atteignent plus de 1 000 m et diminuent progressivement vers le sud-est jusqu'au niveau du fleuve Saint-Laurent.

Parmi les reliefs marquants on note les montagnes des Laurentides au nord-ouest, le fleuve Saint-Laurent à la limite sud-est, le fjord du Saguenay qui divise le territoire suivant un axe NO-SE, l'astoblème de Charlevoix et plusieurs vallées fortement encaissées majoritairement orientées NO-SE.

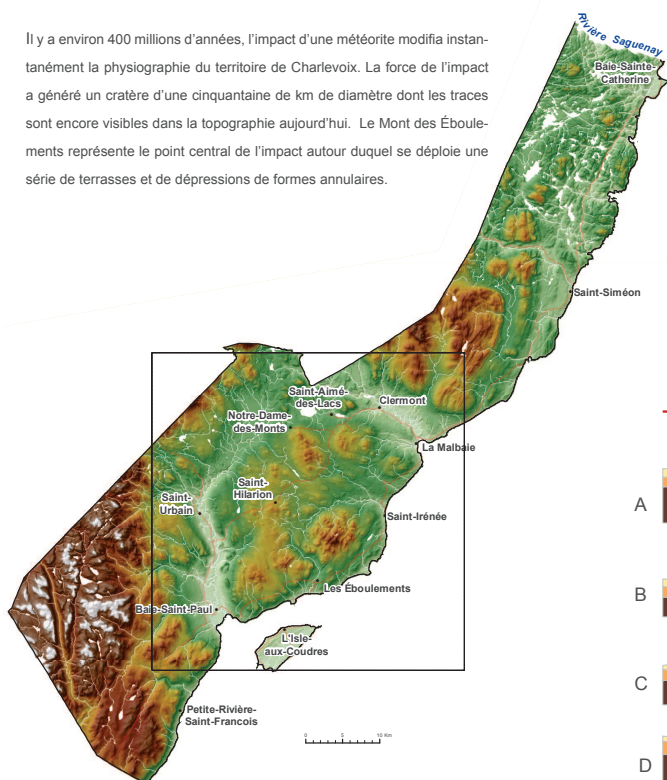


Tadoussac ©Thomas sauzedde (modifiée)



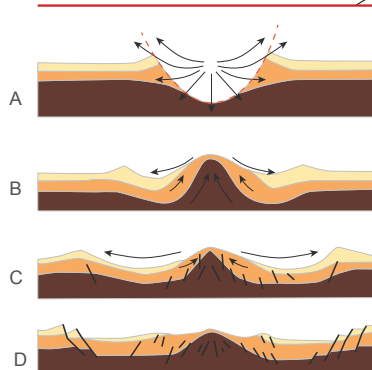
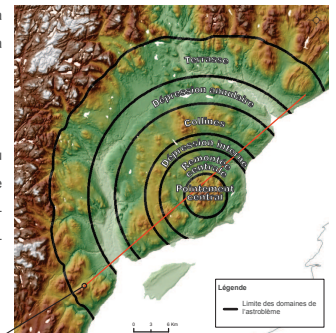
Astoblème de Charlevoix

Il y a environ 400 millions d'années, l'impact d'une météorite modifia instantanément la physiographie du territoire de Charlevoix. La force de l'impact a généré un cratère d'une cinquantaine de km de diamètre dont les traces sont encore visibles dans la topographie aujourd'hui. Le Mont des Éboulements représente le point central de l'impact autour duquel se déploie une série de terrasses et de dépressions de formes annulaires.



La physiographie de l'astoblème se caractérise par les principaux domaines annulaires suivants (Rondot, J., 1994)⁽¹⁾:

- la **dépression annulaire** dont la partie ouest correspond à la vallée de la rivière du Gouffre et la partie est à celle de la rivière Malbaie;
- un **plateau interne** garni de collines;
- la **remontée centrale** correspond à des vallées développées vis-à-vis les failles qui séparent le plateau interne de la remontée centrale. Cette remontée centrale est marquée du pic central qui correspond au point topographique culminant de l'astoblème, le Mont des Éboulements.



La forme finale (D) montre la présence de plusieurs failles normales en bordure du cratère ainsi qu'au pourtour du pointement central. (A) excavation; (B) remontée du pointement central; (C) modification et affaissement; (D) forme finale du cratère.

(modifiée de Spudis, P.D., 1993)⁽²⁾

(1) Rondot, J., 1994. Recognition of eroded astoblèmes, Earth Science Reviews, 35 : 331-365.
 (2) Spudis, P.D., 1993. The geology of multi-ring impact basins : The Moon and other planets. Cambridge University Press, Cambridge, England.

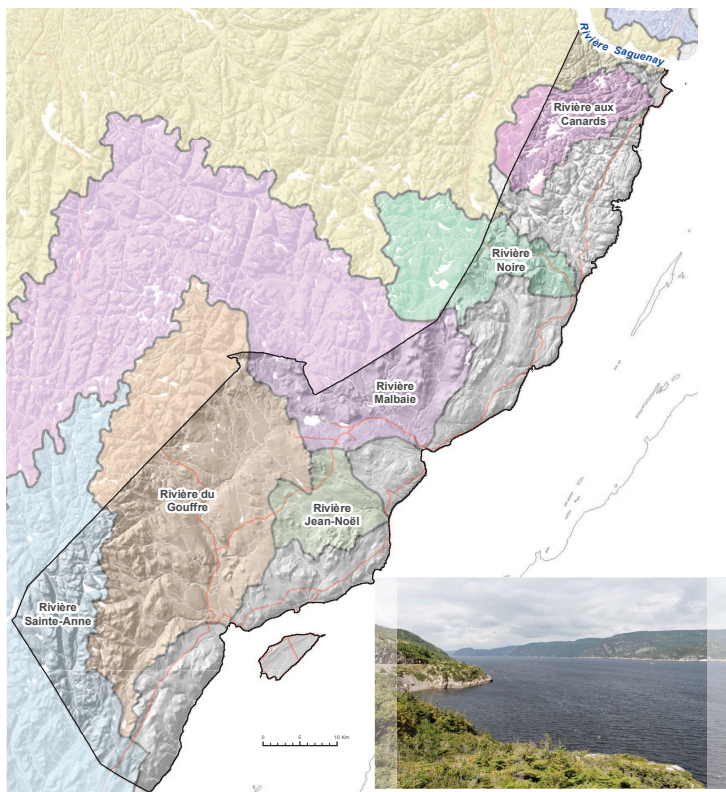
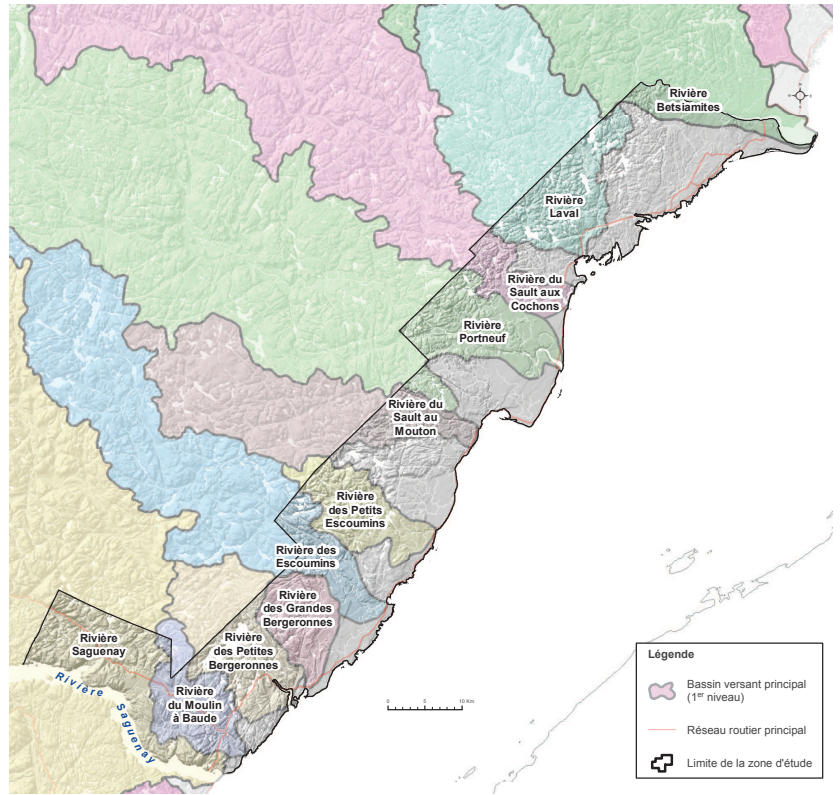
Hydrographie

Le réseau hydrographique est un lieu privilégié où les eaux de surface et les eaux souterraines peuvent être en lien hydraulique. Les cours d'eau de surface correspondent souvent au lieu de drainage des eaux souterraines. L'hydrographie du territoire de CHCN se caractérise par un réseau dense constitué d'une multitude de lacs et de rivières distribués à l'intérieur de près de 120 bassins versants de niveau 1. La majorité des bassins versants de niveau 1 ont une frontière commune avec le fleuve Saint-Laurent, ainsi presque toute l'eau de surface de la région afflue au fleuve. Les superficies varient de moins d'un à plusieurs centaines de km² :

- 71 bassins compris entre 0 et 10 km² ;
- 30 bassins compris entre 10 et 100 km² ;
- 13 bassins compris entre 100 et 1000 km².

La rivière Saguenay encaissée dans le fjord de Saguenay a comme source principale le lac Saint-Jean à son extrémité nord-ouest. Elle coule en direction sud-est sur une longueur d'environ 165 km jusqu'au fleuve Saint-Laurent. Sa largeur est en moyenne de 2 km et sa profondeur peut atteindre localement 275 m. Son débit moyen est de 1000 m³/s et atteint 3000 à 4000 m³/s lors des crues printanières.

Le fleuve Saint-Laurent est sans contredit l'élément commun du territoire à l'étude, il prend sa source au lac Ontario et s'écoule en direction nord-est sur une distance d'environ 1 200 km jusqu'au golfe Saint-Laurent. Son débit moyen est de l'ordre de 12 600 m³/s. La portion correspondant à l'estuaire du fleuve borde le sud-est du territoire de CHCN. En effet, l'estuaire du Saint-Laurent se définit par la nature saumâtre à saline de l'eau et par ses marées. Il commence à l'extrémité est du lac Saint-Pierre jusqu'à ce qu'il atteigne le golfe (site web Environnement Canada). De Petite-Rivière-Saint-François à Tadoussac, c'est le moyen estuaire qui se caractérise par de l'eau saumâtre provoqué par la présence de courants de forte intensité. En y ajoutant l'action des marées, ceci provoque une importante turbidité de l'eau observée entre l'île d'Orléans et l'île-aux-Coudres. De Tadoussac jusqu'à Colombie, l'estuaire maritime correspond à la partie marine du Saint-Laurent.



Embouchure du Saguenay ©Jean-Pierre Lavoie (modifiée)

Les principaux cours d'eau du territoire d'étude sont cités au tableau suivant ainsi que certaines de leurs caractéristiques, notamment la source, l'exutoire, le débit moyen et la superficie de leur bassin versant. Ces informations proviennent de plusieurs sources dont les principales sont le Centre d'expertise hydrique du Québec, la Commission de toponymie du Québec et le bureau d'audiences publiques sur l'environnement.

Rivière	Source principale, affluence	Exutoire, confluence	Longueur (km)	Débit moyen (m ³ /s)
Fleuve Saint-Fleuve	Lac Ontario	Océan Atlantique	1 200	12 600
Rivière Betsiamites	Multiples	Fleuve Saint-Laurent	400	-
Rivière des Escoumins	Multiples	Fleuve Saint-Laurent	93	16
Rivière du Gouffre	Lacs du Gouffre et à Jack	Fleuve Saint-Laurent	72	22
Rivière Laval	-	Fleuve Saint-Laurent	72	13
Rivière Malbaie	Lacs Tristan et Gamache	Fleuve Saint-Laurent	161	28
Rivière Noire	-	Fleuve Saint-Laurent	17	-
Rivière Portneuf	-	Fleuve Saint-Laurent	182	52
Rivière Saguenay	Lac Saint-Jean	Fleuve Saint-Laurent	165	1 000
Rivière du Sault-au-Mouton	Lac de la Petite Montagne	Fleuve Saint-Laurent	77	9
Rivière du Sault-aux-Cochons	Lac Breault	Fleuve Saint-Laurent	159	40

- C'est ce que nous pensons déjà connaître
qui nous empêche souvent d'apprendre -

C. Bernard

NOTIONS D'HYDROGÉOLOGIE

Pour comprendre les eaux souterraines, il est important de connaître plusieurs notions scientifiques.

L'atlas hydrogéologique de Charlevoix, de Charlevoix Est et de La Haute-Côte-Nord propose ici un petit guide des notions hydrogéologiques, parfois vulgarisées, parfois plus pointues pour expliquer ou ré-expliquer ce que sont :

Les propriétés d'un milieu géologique,

Les propriétés hydrauliques d'un milieu,

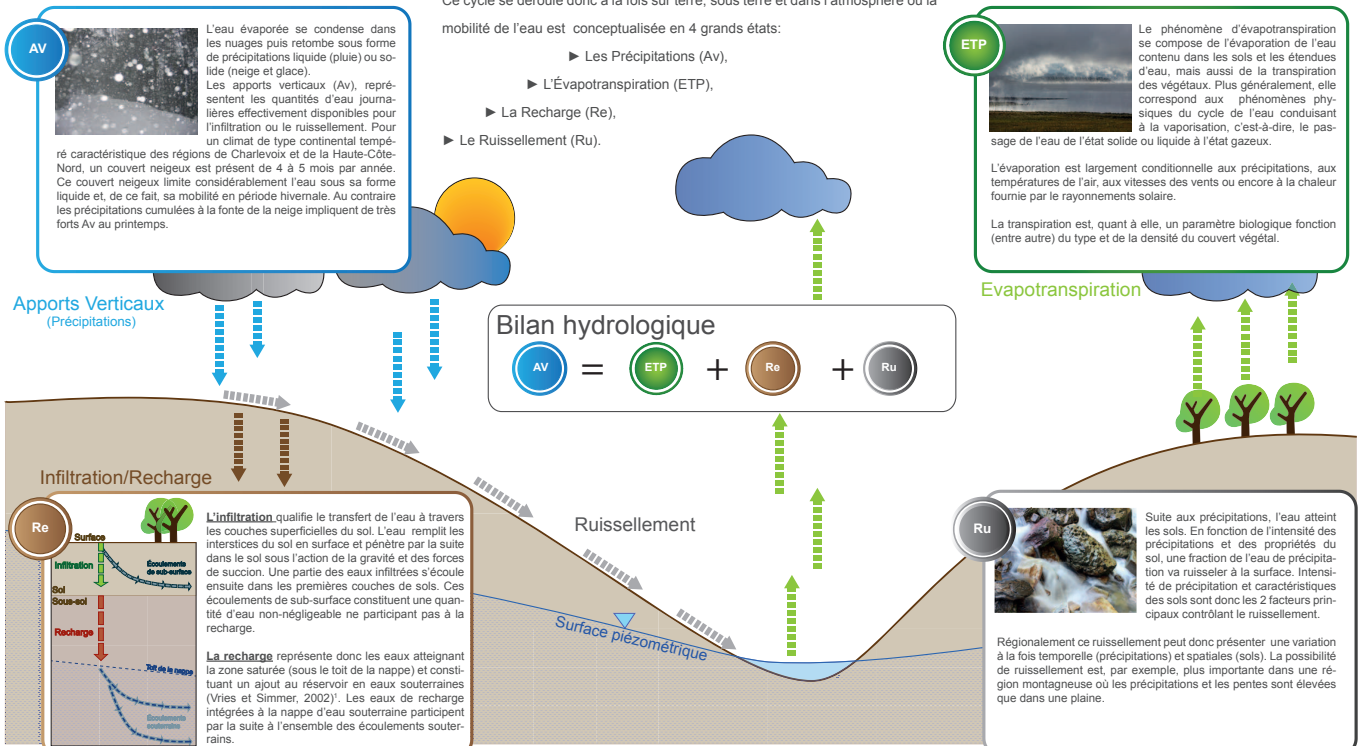
Les notions de piézométrie.

Les eaux souterraines : un élément du cycle de l'eau

À l'échelle de la planète, l'eau se renouvelle sans cesse par circulation sous sa forme liquide, solide ou gazeuse. La pluie ou la neige, les rivières ou les océans, les eaux souterraines ou les glaciers semblent distincts les uns des autres mais constituent en réalité les différents états du cycle de l'eau.

Ce cycle se déroule donc à la fois sur terre, sous terre et dans l'atmosphère où la mobilité de l'eau est conceptualisée en 4 grands états:

- ▶ Les Précipitations (Av),
- ▶ L'Évapotranspiration (ETP),
- ▶ La Recharge (Re),
- ▶ Le Ruissellement (Ru).



(1) Vries J.J. et Simmer I., 2002. Groundwater recharge : an overview of processes and challenges. Hydrogeology Journal, 10 : 5-17.

Propriétés des milieux hydrogéologiques

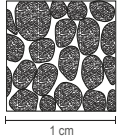
Porosité totale

Quantitativement, la porosité totale (n_t) représente le rapport du volume des interstices, dans un échantillon de matériel (sol, roches), au volume total de l'échantillon, vides compris :

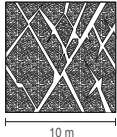
$$n_t = \frac{\text{Volume des vides}}{\text{Volume total}}$$

La porosité d'un milieu est donc d'autant plus élevée que le volume des interstices (vides) est important.

Qualitativement, on distingue 2 types de porosité: la porosité dite primaire et la porosité secondaire :



La porosité primaire (ou porosité d'interstice) est formée par les vides ou interstices compris entre les grains ou les cristaux constituant le milieu. Ces pores ont des tailles généralement de l'ordre du millimètre. Cette porosité est dite primaire puisqu'elle est créée au moment de la formation initiale des matériaux, qu'ils soient meubles ou indurés.



La porosité secondaire (ou porosité de fracture) est constituée par les vides ou interstices correspondant à des fractures (joints et failles) ou de la karstification d'un milieu. Cette porosité est dite secondaire puisqu'elle s'applique, le plus souvent aux milieux rocheux dont la matrice (ou le matériel) possède elle-même une porosité primaire.



Selon le type de milieu, l'écoulement de l'eau souterraine sera donc conditionné en fonction du type de porosité dominante. On distingue ainsi les milieux poreux, fracturés et mixtes

Les milieux poreux qui ne possèdent qu'une porosité primaire; dans le cadre du projet PACES-CHCN, ces milieux regroupent l'intégralité des dépôts meubles tels que le sable, le gravier et l'argile.

Les milieux fracturés où la porosité secondaire contrôle l'écoulement; dans le cadre du projet PACES-CHCN, ces milieux regroupent l'ensemble des milieux cristallins fracturés.

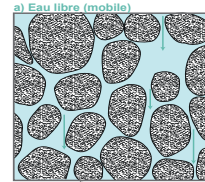
Les milieux mixtes où aucune dominante entre porosité primaire et secondaire n'est vérifiée; dans le cadre du projet PACES-CHCN, ces milieux regroupent l'ensemble des milieux sédimentaires fracturés, notamment le calcaire.

Perméabilité

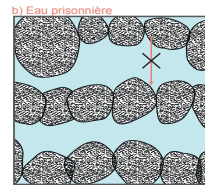
Tout milieu est plus ou moins poreux, toutefois la perméabilité intrinsèque représente la propriété d'un milieu poreux qui permet à des liquides ou des gaz de se mouvoir à travers ce milieu sous l'action combinée de la gravité et de la pression. Cette perméabilité représente une surface et s'exprime le plus souvent en Darcy (D). Elle diffère de la porosité efficace par l'intégration de la notion de mouvement de l'eau.

La perméabilité d'un milieu ne dépend pas que du volume total des vides, mais elle est d'autant plus élevée que

les interstices sont interconnectés.



Un milieu poreux avec une bonne interconnexion de ses interstices présente de grands volumes d'eau libre et mobile. Ce type de milieu a des perméabilités très élevées, c'est le cas du sable et du gravier.



Au contraire, un milieu avec une porosité totale très élevée et un agencement granométrique en couches (comme les argiles) qui contient de grands volumes d'eau, mais cette eau est prisonnière et peu mobile. Ce type de milieu a des perméabilités très faibles et est souvent considéré comme imperméable. Ce sont principalement des milieux composés d'argile ou de silt.

Qualitativement, la mobilité de l'eau permet donc de distinguer les milieux perméables, semi-perméables et imperméables.

Les milieux perméables qui regroupent l'intégralité des dépôts meubles à granulométrie moyenne à grossière tels que les sables et graviers.

Les milieux imperméables qui regroupent les dépôts meubles à granulométrie fine telles que les argiles.

Les milieux semi-perméables qui regroupent les milieux rocheux cristallins et sédimentaires.

30

ATLAS HYDROGÉOLOGIQUE des territoires de CHARLEVOIX, de CHARLEVOIX-EST et de La HAUTE-CÔTE-NORD

Potentiel aquifère

Plus que la porosité, la perméabilité permet de définir le potentiel ou le caractère aquifère d'un milieu. L'intégration de la notion d'aquifère ou de potentiel aquifère est étroitement liée à la productivité ou à l'exploitation de l'eau souterraine. Pour considérer un milieu comme aquifère, ce milieu doit être saturé, perméable et productif en quantité et sur une durée suffisante pour son exploitation. On distingue ainsi :

- Les **aquifères** qui contiennent de l'eau qui peut y circuler librement;
- Les **aquitards** qui contiennent de l'eau avec un écoulement lent ou négligeable;
- Les **aquicludes** qui contiennent de l'eau mais sont imperméables (pas de circulation possible de l'eau);
- Les **aquifuges** qui ne contiennent pas d'eau.

Régionalement et en l'état des connaissances sur le territoire de Charlevoix et de la Haute-Côte-Nord, il est difficile d'évaluer la typologie précise d'un milieu hydrogéologique. Par définition, les aquifères sont des milieux saturés, ou partiellement saturés en eau. Dans le cadre du projet PACES-CHCN, la présence ou l'absence d'eau souterraine ne peut être vérifiée en tous points.

Les termes aquifères et aquitard sont utilisés par abus de langage et désignent en réalité des milieux potentiellement aquifères ou aquitards.

Les aquifères

regroupent les formations perméables et semi-perméables contenant de l'eau en quantités exploitables.

Les aquitards

regroupent les formations très faiblement perméables à imperméables, saturées ou non, et dont on ne peut extraire économiquement des quantités d'eau appréciables (aquitards, aquicludes et aquifuges sont confondus).

Cette différence entre aquifère et aquitard est relative. On considère en effet les milieux comme étant aquifères vis-à-vis d'autres milieux juxtaposés lorsqu'ils sont au moins 100 fois plus perméables.

Confinement : Nappe libre/Nappe captive

Contrairement à la porosité, à la perméabilité et au potentiel aquifère qui sont des caractères intrinsèques du milieu, le confinement ou degré de confinement d'une unité hydrogéologique est une caractéristique extrinsèque au milieu considéré. Ainsi les termes confiné ou libre sont associés non pas à l'unité hydrogéologique mais à la masse d'eau (nappe) qu'elle contient.

Nappe libre

Nappe captive

Les nappes libres sont contenues dans un aquifère surmonté de terrains perméables, disposant d'une surface piézométrique libre et d'une zone non saturée.

Les nappes captives sont contenues dans un aquifère intercalé entre deux formations quasi imperméables.

Sablière saturée - Haute-Côte-Nord
© QUATERNAIRE-CHCN, 2014

Unité imperméable confinante
© QUATERNAIRE-CHCN, 2014

31

Typologie des milieux hydrogéologiques

Les propriétés hydrogéologiques d'un milieu constituent les éléments permettant de définir tous les types de milieu hydrogéologique présents ou non sur le territoire. Chaque milieu géologique possède, par nature, un potentiel aquifère, un type de perméabilité, un type de porosité, et un degré de confinement de la nappe. Ces caractères hydrogéologiques qualitatifs sont interdépendants et permettent de définir 7 possibilités de milieux hydrogéologiques, on distingue ainsi :

Ces milieux hydrogéologiques ne sont pas obligatoirement tous présents sur un territoire.

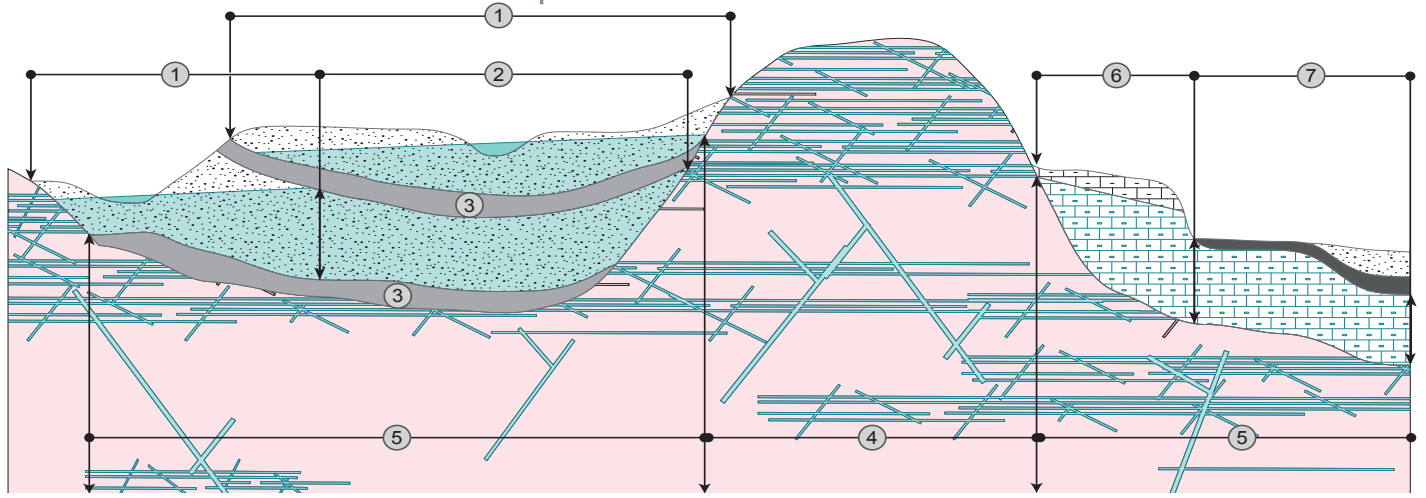
La méthode de cartographie hydrogéologique, appliquée dans le cadre du projet PACES-CHCN, consiste à appliquer cette typologie sur un découpage du territoire pour évaluer la présence (ou non) de ces milieux.

Milieux hydrogéologiques

1. Les aquifères perméables, en milieu poreux, à nappe libre ;
2. Les aquifères perméables, en milieu poreux, à nappe captive ;
3. Les aquitards imperméables, en milieu poreux ;
4. Les aquifères semi-perméables, en milieu fracturé, à nappe libre ;
5. Les aquifères semi-perméables, en milieu fracturé, à nappe captive ;
6. Les aquifères semi-perméables, en milieu mixte, à nappe libre ;
7. Les aquifères semi-perméables, en milieu mixte, à nappe captive.

Milieux géologiques

- dépôts meubles
- milieu cristallin fracturé
- milieu calcaire fracturé



32

ATLAS HYDROGÉOLOGIQUE des territoires de CHARLEVOIX, de CHARLEVOIX-EST et de La HAUTE-CÔTE-NORD

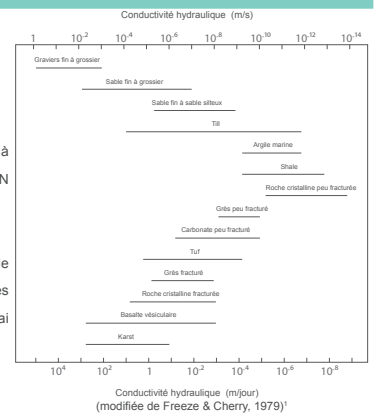
Propriétés hydrauliques du milieu hydrogéologique

Conductivité hydraulique

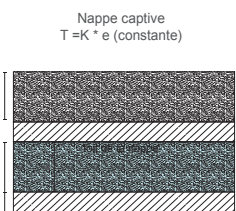
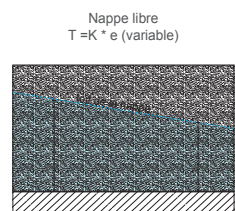
Plus la conductivité d'un milieu sera élevée plus l'extraction de l'eau souterraine sera facilitée.

La conductivité hydraulique (K) définit la perméabilité d'un milieu à l'eau, c'est-à-dire la capacité d'un milieu à laisser circuler l'eau ; elle s'exprime en longueur par unité de temps [L/T]. Dans le cadre du projet PACES-CHCN l'unité en mètre par seconde (m/s) est privilégiée.

La conductivité hydraulique est une valeur propre au milieu hydrogéologique et constante dans un milieu homogène. On associe souvent, à tort, la conductivité à la vitesse de l'eau dans un milieu donné. Plus précisément, ce paramètre caractérise les résistances à l'écoulement dues aux forces de frottement qui sont fonctions des caractéristiques de la matrice solide et de la viscosité du fluide. En pratique, la conductivité n'est pas mesurée directement, elle résulte souvent de la mesure de transmissivité lors d'un essai de pompage.



Transmissivité



La transmissivité permet d'évaluer indirectement la capacité d'extraction de l'eau souterraine qui varie en fonction de la position géographique.

La transmissivité (T) correspond au produit de la conductivité hydraulique (K) par l'épaisseur de la zone saturée (e) ; elle s'exprime en surface par unité de temps (L²/T) : $T = K * e$

Plus précisément ce paramètre caractérise le débit d'eau pouvant s'écouler dans un milieu perméable ou semi-perméable sous l'effet d'un gradient hydraulique, par unité de largeur. Contrairement à la conductivité hydraulique, les valeurs de transmissivité d'un milieu hydrogéologique saturé peuvent varier selon la position de mesure. Tel qu'illustré, dans le cas d'une nappe libre, l'épaisseur (e) de la zone saturée est variable ; par conséquent les valeurs de transmissivité seront plus élevées en amont qu'en aval. A contrario, dans une nappe captive contenue dans une unité confinée et d'épaisseur constante, l'épaisseur saturée est constante, la transmissivité est donc constante.

Emmagasinement

Le coefficient d'emmagasinement (S) est le rapport du volume d'eau libérée ou emmagasinée, par unité de surface (A) et pour une variation de charge hydraulique (h) soit :

$$S = \frac{\text{Volume d'eau libre}}{A * h}$$

Plus simplement : le coefficient d'emmagasinement est utilisé pour caractériser le volume d'eau extractible par unité de volume du matériel considéré. À titre d'exemple, pour 1 mètre cube de matériel saturé (=1000 litres), un coefficient S de 0.01 représente 10 litres d'eau extractibles. En nappe libre, il correspond à la porosité efficace, soit le volume d'eau libre sur le volume total et est de l'ordre de 5 à 10%. Pour une nappe captive, ce coefficient est extrêmement faible de 10⁻⁶ à 10⁻⁹ ; il représente en fait le degré de compression de l'eau.

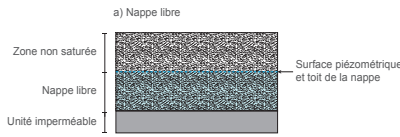
(1) Freeze R.A. et Cherry J.A., 1979, Groundwater, Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 604 p.

Pourquoi l'eau souterraine circule ?

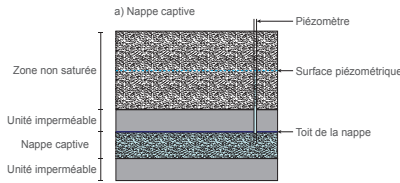
Toit d'une nappe ou surface piézométrique ?

La surface piézométrique d'une nappe correspond à l'élévation du niveau d'eau atteint par la nappe à la pression atmosphérique. Il est donc important de distinguer la surface piézométrique et le toit de la nappe.

En effet dans le cas d'une nappe libre le toit de la nappe est à la pression atmosphérique, de ce fait, la surface piézométrique et le toit de la nappe sont confondus.



Dans le cas d'une nappe captive, le toit de la nappe équivaut à la surface de la nappe en contact avec la formation imperméable supérieure. Sa surface piézométrique est alors « virtuelle » puisqu'elle n'est observable que dans un piézomètre où l'eau de la nappe est localement en condition libre à la pression atmosphérique.



La charge hydraulique : le niveau de l'eau souterraine

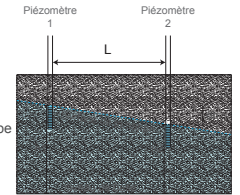
En un point donné d'un milieu perméable ou semi-perméable saturé en eau, la charge hydraulique équivaut à l'élévation du niveau d'eau atteint à l'équilibre hydrostatique (i.e. à la pression atmosphérique) dans un ouvrage. Cette élévation a pour référentiel le niveau des mers.

Le gradient hydraulique : l'eau ne remonte pas les pentes !

Entre deux points de charges hydrauliques distinctes (h_1 et h_2) et distants d'une longueur L il est possible d'estimer le gradient hydraulique (i) qui s'exprime tel que :

$$i = \Delta h / L \text{ (avec } \Delta h = h_1 - h_2 \text{)}$$

Plus généralement, le gradient hydraulique équivaut à la pente d'une nappe le long d'une ligne d'écoulement.



Attention à la vitesse !

La vitesse d'écoulement (V) de l'eau souterraine le long d'une ligne d'écoulement dépend de la conductivité (K), du gradient hydraulique (i) et de la porosité efficace (n_e) d'un milieu, tel que :

$$V = \frac{K \cdot i}{n_e} \text{ (en m/s)}$$

En pratique, la porosité effective se détermine à partir des essais de traçage mais est rarement estimée, elle est le plus souvent déduite dans le cas de nappe libre à partir de l'emmagasinement. Il est donc difficile d'évaluer régionalement les vitesses d'écoulement des eaux souterraines.

La porosité effective et le gradient hydraulique (i) étant des paramètres adimensionnels, la vitesse de l'écoulement est souvent confondue avec la conductivité hydraulique puisqu'elles sont exprimées par la même unité. Or, comme le montre l'équation précédente,

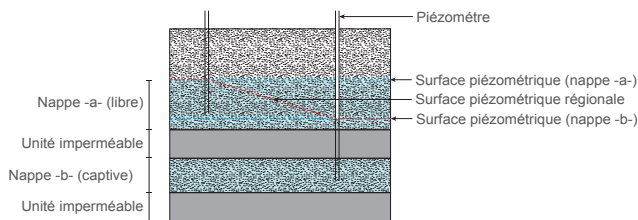
conductivité hydraulique et vitesse sont deux paramètres très différents.

Sur une carte piézométrique, on associe trop souvent le resserrement de courbes iso-piézométriques à une accélération ou du moins une augmentation de la vitesse de l'écoulement. Or, à l'image d'une cartographie topographique, des courbes iso-piézométriques proches représentent un fort gradient hydraulique (i) ou une forte pente. Comme le montre l'équation précédente,

pente et vitesse sont deux paramètres très différents.

Comment lire et quelles informations contient une carte piézométrique ?

Piézométrie d'une nappe ou piézométrie régionale ?



La piézométrie est, par définition, propre à une masse d'eau (nappe) et circonscrite dans les limites d'un milieu perméable ou de plusieurs milieux perméables hydrauliquement connectés. Pour définir la piézométrie d'une nappe il faut donc un nombre suffisant de points de mesure de cote piézométrique (mesurés dans un piézomètre) au sein d'une même nappe. Dans le cadre du projet PACES-CHCN, les milieux perméables ou semi-perméables contenant potentiellement une nappe ont été délimités. Toutefois, la quantité de points de mesure pour chacune des nappes n'est pas suffisante pour réaliser une cartographie individuelle de chacune des surfaces piézométriques.

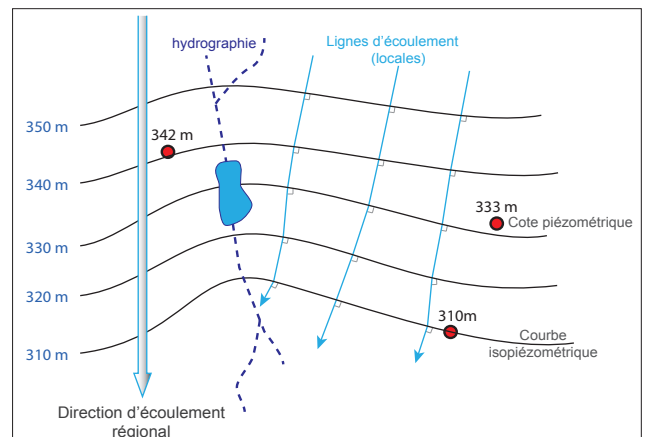
Dans ce contexte, il est toutefois possible d'utiliser l'ensemble des points de cote piézométrique pour réaliser une piézométrie dite « régionale ». La surface piézométrique régionale estimée est donc une surface qui moyenne l'ensemble des niveaux piézométriques. Elle tend donc à sur ou sous-estimer l'élévation du niveau de l'eau dans un ouvrage en un point donné.

Les éléments d'une carte piézométrique

Les courbes iso-piézométriques : A l'image d'une cartographie topographique de surface, la connaissance de plusieurs cotes piézométriques sur un territoire permet d'estimer des courbes de même cote, ou courbes iso-piézométriques définissant la surface piézométrique ou plus simplement la piézométrie de la nappe considérée.

La direction de l'écoulement est généralement perpendiculaire aux courbes iso-piézométriques, avec un sens d'écoulement des piézométries élevées vers les plus faibles.

La détermination de la direction de l'écoulement devient de plus en plus approximative avec l'augmentation de la superficie du territoire considéré.



- Parce qu'une image vaut 1000 mots -

Confucius

HYDROGÉOLOGIE DU TERRITOIRE DE CHCN

Une donnée seule n'exprime que peu de chose. Un ensemble de données fournit une information. Ce n'est que la compilation et l'interprétation de plusieurs informations qui construisent une connaissance.

L'ensemble des 3 années d'études dans le cadre du projet PACES-CHCN a permis cette compilation et cette interprétation des données existantes sur les eaux souterraines pour réaliser un portrait général des connaissances hydrogéologiques en 2015.

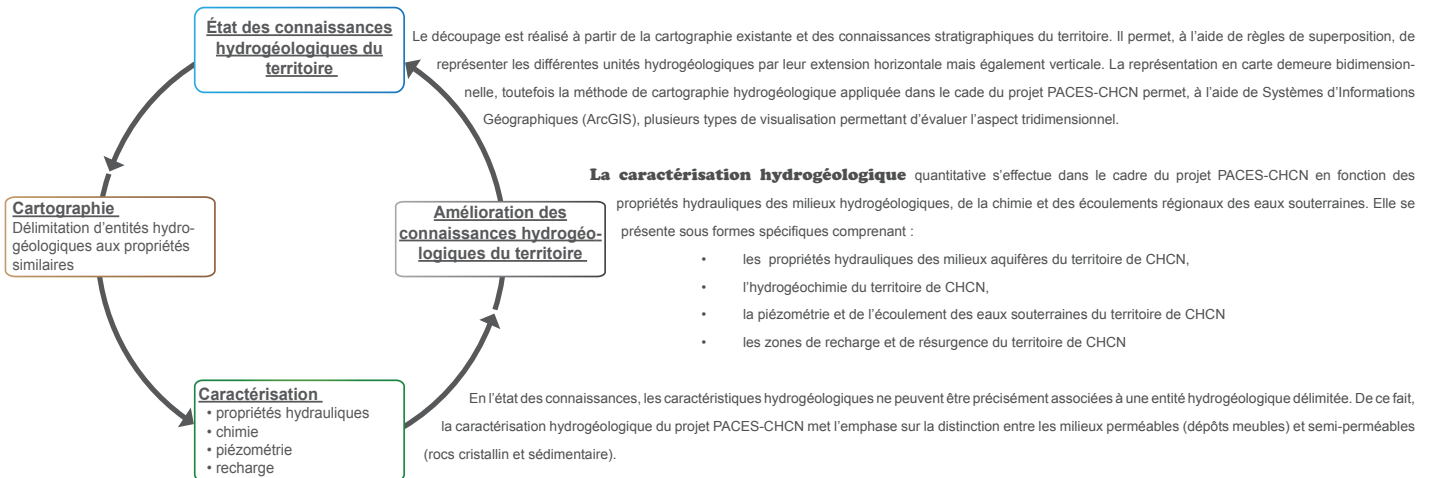
L'acquisition des connaissances : un processus itératif !

Un portrait hydrogéologique régional n'est pas statique. Il constitue une image, à un temps donné, de l'état des connaissances hydrogéologiques du territoire. Ce cycle d'amélioration des connaissances distingue :

la cartographie hydrogéologique qui constitue une phase de délimitation spatiale d'entité hydrogéologique et,

la caractérisation hydrogéologique qui permet de définir chaque entité.

La méthodologie de cartographie est innovante et inédite au Québec. Cette méthode appliquée dans le cadre du projet PACES-CHCN est issue des travaux réalisés en France par le bureau de recherche géologique et minière (BRGM) et adaptée pour les contextes hydrogéologiques du Québec méridional. Cette méthode de cartographie hydrogéologique compile un découpage du territoire et l'application d'un référentiel hydrogéologique à chacune des unités délimitées.



Les milieux géologiques et quaternaires

La caractérisation des eaux souterraines et des aquifères régionaux nécessite de bonnes connaissances géologiques, autant sur la géologie du roc et ses systèmes de fracturation que sur la géologie des dépôts meubles incluant l'architecture des dépôts, leur épaisseur et leur étendue latérale. Les formations géologiques perméables constituent des réservoirs pour l'eau souterraine tandis que celles faiblement perméables peuvent constituer un obstacle à l'écoulement de contaminants de surface et ainsi protéger la qualité de l'eau souterraine contenue dans des réservoirs sous-jacents. La géologie du territoire de CHCN se caractérise d'une part par les formations rocheuses et d'autre part par une couverture de dépôts meubles d'origine quaternaire.

Géologie du roc

Légende

Zone géologique

Roches sédimentaires

- 5b Grès, Siltstone
- 5a Calcaires micritiques, roches silicoclastiques

Intrusions felsiques

- 4f Granodiorite
- 4e Granite, monzonite
- 4d Monzonite
- 4c Granite
- 4b Mangérite et charnockite

Intrusions mafiques ultramafiques

- 3c Gabbro
- 3b Anorthosite, leuconorite, gabbro, norite, rx ultramafique

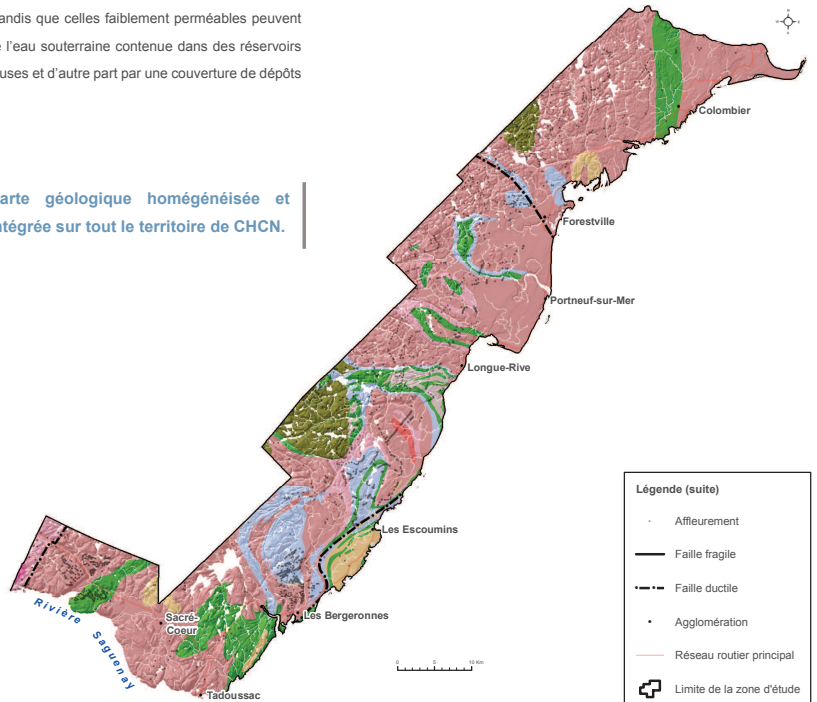
Roches métasédimentaires et métavolcaniques

- 2c Amphibolite
- 2b Quartzite

Complexe gneissique et granitique

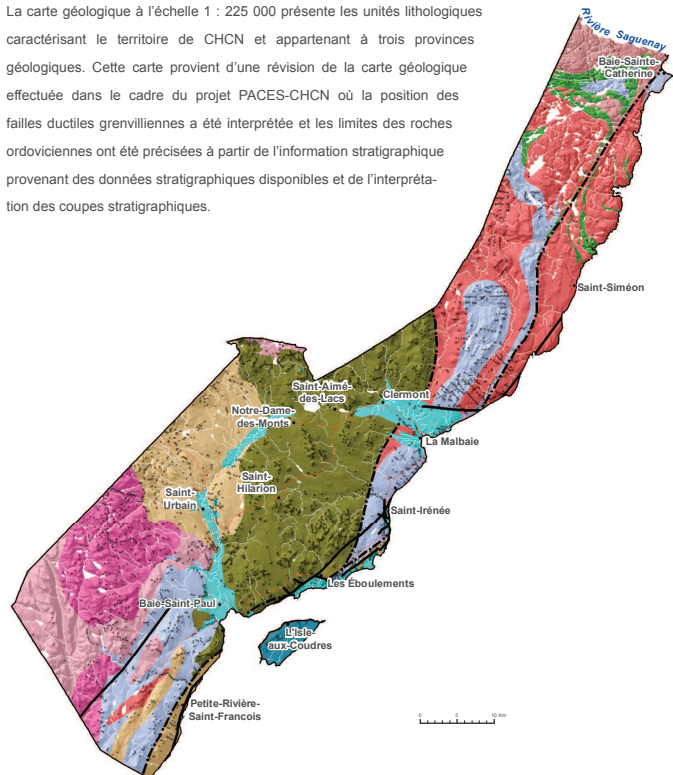
- 1f Migmatite tonalitique à granodioritique
- 1e Migmatite
- 1c Paragneiss
- 1b Gneiss gris
- 1a Gneiss granulitiques et gneiss granitiques

Carte géologique homogénéisée et intégrée sur tout le territoire de CHCN.



- Légende (suite)**
- Affleurement
 - Faille fragile
 - - - Faille ductile
 - Agglomération
 - Réseau routier principal
 - Limite de la zone d'étude

La carte géologique à l'échelle 1 : 225 000 présente les unités lithologiques caractérisant le territoire de CHCN et appartenant à trois provinces géologiques. Cette carte provient d'une révision de la carte géologique effectuée dans le cadre du projet PACES-CHCN où la position des failles ductiles grenvilliennes a été interprétée et les limites des roches ordoviciennes ont été précisées à partir de l'information stratigraphique provenant des données stratigraphiques disponibles et de l'interprétation des coupes stratigraphiques.



Les roches cristallines de la Province de Grenville sont dominées par un complexe gneissique comprenant des migmatites, des granites et des lambeaux de roches supracrustales pour la Haute-Côte-Nord, et à des unités plutoniques de la suite anorthosite-mangérite-charnockite pour le territoire de Charlevoix. Ces roches sont localement recouvertes par des lambeaux de **roches sédimentaires ordoviciennes** appartenant à la Plate-Forme du Saint-Laurent. Ce sont majoritairement des calcaires et des **roches sédimentaires d'origine détritique** (grès, shale, etc.). Ces lambeaux sont observés dans le secteur de l'astrobème de Charlevoix, dans la dépression annulaire et en bordure du Fleuve Saint-Laurent.

Les roches sédimentaires de l'Île-aux-Coudres, majoritairement des **grès et des séquences de flysch**, appartiennent à la **Province des Appalaches**. La **faille de Logan** sépare les roches de la Plate-Forme du Saint-Laurent de celles des Appalaches.

Le secteur de Charlevoix est marqué par de nombreuses structures fragiles, notamment la **faille du Saint-Laurent** orientée NE-SW et les failles marquant les limites des domaines de l'astrobème de Charlevoix.

L'analyse des données géologiques existantes a permis de bonifier les connaissances géologiques du territoire de CHCN par une analyse de linéaments topographiques pour laquelle 122 linéaments majeurs et 823 mineurs ont été identifiés. Des travaux de terrain dédiés à l'observation de la fracturation ont été également effectués dans le secteur de l'astrobème de Charlevoix. Ces travaux ont conduit à l'attribution d'une cote subjective d'appréciation de l'intensité de la fracturation pour chaque affleurement visité et à l'observation de phénomènes reliés à l'impact météoritique tels des cônes d'impact, des pseudotachylites et des brèches polygéniques.

Géologie du Quaternaire

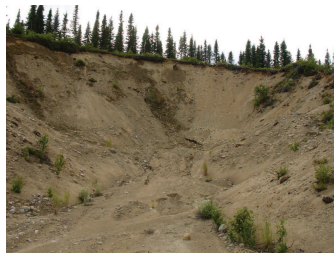
La réalisation du projet PACES-CHCN a permis la cartographie des dépôts de surface sur l'ensemble du territoire de CHCN. La carte à l'échelle 1 : 225 000 couvrant une superficie totale de 6 960 km, résulte de la combinaison de douze feuillets à l'échelle 1 : 50 000 (Cousineau et al., 2014).



Till en recouvrement du socle affleurant
© QUATÉNAIRE-CHCN, 2014

La carte des dépôts de surface illustre que le **till et le socle rocheux affleurant** dominent les hautes terres du territoire de CHCN.

Des vallées sillonnent les hautes terres et sont généralement comblées par des **sédiments d'origine fluvioglaciaire**.

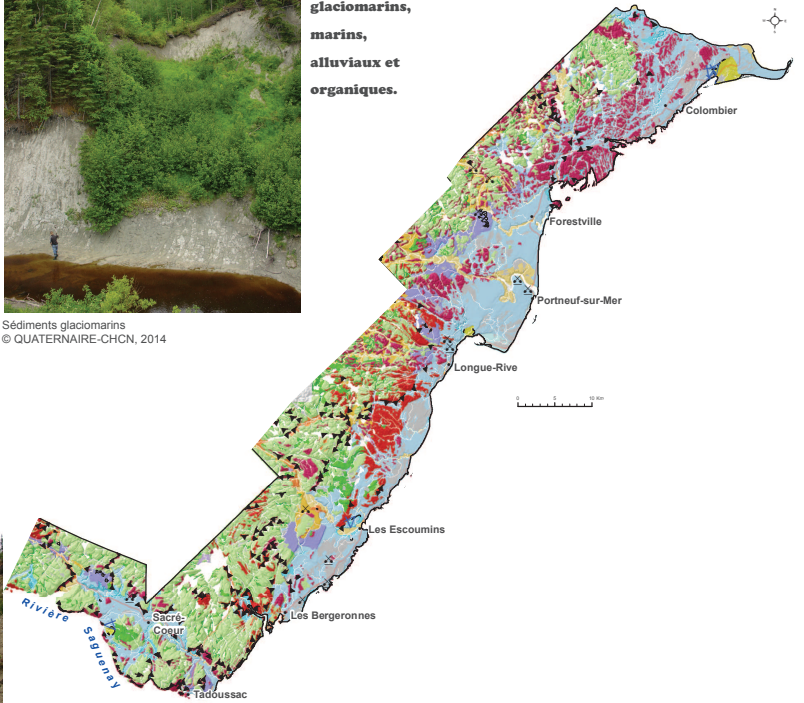


Sablère
© QUATÉNAIRE-CHCN, 2014



Les basses terres de la Haute-Côte-Nord sont caractérisées par des sédiments **glaciomarins, marins, alluviaux et organiques**.

Sédiments glaciomarins
© QUATÉNAIRE-CHCN, 2014



Dans le secteur de Charlevoix, dans les vallées du Gouffre et de La Malbaie, les sédiments **glaciomarins et marins** dominent.



Légende des éléments situés dans la zone d'étude

DÉPÔTS QUATÉNAIRES POSTGLACIAIRES

DÉPÔTS DE VERBANT

- Ca Dépôt d'éboulis : cailloux et blocs anguleux gélifiés, formés des cônes ou des talus au pied d'empilements rocheux.
- Cv Dépôt de glacières rocheux : cailloux et blocs anguleux à subanguleux, mis en place au pied des pentes rocheuses et se sédimentant principalement à cause de la présence de glace interstitielle.
- Cg Dépôt de glissement de terrain : silt et argile renforcés par des glissements de terrain et couvrant le plus souvent des pentes rocheuses marquées par des motifs charnières ou en grappe au pied de cailloux et glacières, ainsi qu'au pied de matériel recouvert les argiles marines, ces sédiments peuvent comprendre des amas de sable fin de gravier entrainés par les glissements, épaisseur variant de 1 à 15 m.
- Cd Dépôt de variant non différencié.

SÉDIMENTS ORGANIQUES

- O Sédiments organiques non différenciés.

DÉPÔTS ÉOLIENS

- Ed Sédiments éoliens : sable fin à cristallinité élevée diffusés mis en place par le vent sous forme de dunes paraboliques formées à la surface des sédiments littoraux et littoraux éoliens, indiquent des vents dominants provenant du NE ou du SE, pouvant contenir des horizons organiques tels des paléosols, d'une épaisseur variant de 2 à 10 m. L'indication des dunes stables et autres surfaces sédimentaires peut représenter la couverture végétale est enterrée, soit lors de feux de forêts ou par l'action anthropique.

SÉDIMENTS ALLUVIAUX

NOTE
Sédiments mis en place le long des cours d'eau du système fluvial actuel et lors de leur incision dans les formations quaternaires antérieures (Aq, Ag). Ces sédiments incluent notamment des alluvions mises en place dans les anciens chenaux de proglaciaires (Aq).

- Ap Alluvions actuelles : sable, silt, sableux, sable graveleux et gravier combinés, généralement de la matrice organique, de 0,5 à 1 m d'épaisseur, bords, talus et pierres alluviales actuelles.
- Ac Cône d'évent : galets, graviers, sables stratifiés formés des cônes plus ou moins inclinés au débouché de cours d'eau sur un terrain plus plat, surface généralement charnière.
- Aa Alluvions des terrasses fluviales antérieures : sable, silt, sableux et gravier combinés, contenant un peu de matrice organique, de 1 à 7 m d'épaisseur, déposées dans des zones délimitées des rochers fluviaux actuels. Surface généralement marquée par des levées et bancs alluviaux et parfois marquée par l'action éolienne; l'abaissement du niveau de base est noté par l'ajout des terrasses.
- A Alluvions non différenciées.

SÉDIMENTS LACUSTRES

NOTE
Sédiments mis en place dans les proglaciaires et comprennent principalement des sables et graviers littoraux, pré-littoraux et deltaïques, pouvant aussi inclure des sédiments remaniés à partir d'anciens sous-proglaciaires.

- Ld Sédiments littoraux et pré-littoraux : sable, silt, sableux, sable graveleux et gravier stratifiés et généralement bien triés, mis en place en eau peu profonde lors de la phase proglaciaire et lors de l'excavation, surface généralement marquée par des cônes de plage et parfois remaniée par l'action éolienne, jusqu'à l'âge de l'excavation, ces sédiments forment un plus souvent une couverture mince reposant sur des sédiments fins d'âge proglaciaire.

SÉDIMENTS MARINS

NOTE
Sédiments mis en place lors de l'âge de la mer de Goldthwait; généralement fossilifères, comprenant principalement des sables et graviers littoraux, pré-littoraux et deltaïques ainsi que des silt et argiles déposés en eau profonde; souvent aussi inclure des sédiments remaniés à partir d'anciens sous-proglaciaires, ces silt et argiles sont généralement marqués par des cônes de plage et parfois remaniée par l'action éolienne, lorsqu'à l'âge de l'excavation, ces sédiments forment généralement un plus souvent une couverture mince reposant sur des sédiments fins d'âge proglaciaire.

- Md Sédiments littoraux et pré-littoraux : sable, silt, sableux, sable graveleux et gravier stratifiés et généralement bien triés, d'épaisseur variant de 1 à 13 m, mis en place en eau peu profonde lors de la phase proglaciaire et lors de l'excavation, surface généralement marquée par des cônes de plage et parfois remaniée par l'action éolienne, jusqu'à l'âge de l'excavation, ces sédiments forment généralement un plus souvent une couverture mince reposant sur des sédiments fins d'âge proglaciaire.
- Ma Sédiments fins d'âge proglaciaire : silt, argileux et argile sableux, gîtis moyen à gîtis fin, massifs, laminés ou stratifiés, comprenant notamment des rythmites, principalement mis en place par déglaciation durant la phase d'excavation marine.

DERNIÈRE GLACIATION

SÉDIMENTS GLACIOMARINS

NOTE
Sédiments mis en place lors de l'âge de la mer de Goldthwait à proximité de ou devant une marge glaciaire et composés principalement de silt, sable, argile ou diatomite; ces sédiments contiennent des faunes d'eau très froides ou sont non fossilifères.

- MGI Sédiments intermédiaires : silt et sableux, généralement massifs ou faiblement stratifiés, d'épaisseur variant de 2 à 5 m, mis en place en zone intermédiaire ou inférieure des basses terres de mer actuelle, souvent à proximité de grands complexes deltaïques.
- MGL Sédiments deltaïques et prodeltaïques : sable, sable graveleux et gravier, stratifiés et bien triés, jusqu'à 20 m d'épaisseur, mis en place à l'embouchure de cours d'eau se déversant dans la mer de Goldthwait, comprenant notamment des sédiments silt-sableux prodeltaïques.
- MCH Sédiments littoraux et pré-littoraux : sable, silt, sableux, sable graveleux et gravier stratifiés, généralement bien triés, d'épaisseur variant de 1 à 10 m environ, mis en place en eau peu profonde, surface généralement marquée par des cônes de plage et parfois remaniée par l'action éolienne.
- MCA Sédiments fins d'âge proglaciaire : silt, argileux et argile sableux, gîtis moyen à gîtis fin, massifs, laminés ou stratifiés, comprenant notamment des rythmites, variant de 1 à 25 m d'épaisseur, principalement mis en place par déglaciation durant la phase d'excavation glaciomarine.

SÉDIMENTS GLACIOLACUSTRES

NOTE
Sédiments mis en place dans un lac proglaciaire.

- LG Sédiments deltaïques et prodeltaïques : sable, sable grossier et sable graveleux, de 3 à 15 m d'épaisseur, mis en place à l'embouchure des cours d'eau qui se déversent dans un lac proglaciaire, montrant une surface plane généralement marquée par des chenaux abandonnés et parfois modifiée par l'action éolienne.
- LGD Sédiments littoraux et pré-littoraux : sable, sable siliceux, gravier, sableux et blocs, de 1 à 15 m d'épaisseur, sédiments remaniés le long des rives et à l'intérieur du lac glaciaire; montrant une surface plane marquée par des cônes de plage ou modifiée par l'action éolienne.
- LG Sédiments glaciolacustres non différenciés.

SÉDIMENTS FLUVIOGLACIAIRES

NOTE
Sédiments stratifiés mis en place par les sauts de fonte au contact ou à proximité du glacier. Les unités situées sous la limite marine ou glaciolacustre ont généralement été remaniées par les vagues et les courants lors de la submergence ou de l'excavation.

- GO Sédiments d'aplanage proglaciaire subarctique : sable, gravier et blocs, stratifiés, montrant une épaisseur glaciolacustre généralement variant de 1 à 12 m d'épaisseur, formés des sauts et des plaines d'aplanage dont la surface est souvent marquée par d'anciens chenaux et/ou par proglaciaires.
- GS Sédiments juvéniles : sable et gravier, blocs, stratifiés, parfois bien triés, un peu de silt et de diatomite, jusqu'à 10 m d'épaisseur, formés des sauts, des kames, des deltas-kames et des cônes morainiques dont la surface est généralement bosselée.
- GS Sédiments des moraines frontales de Saint-Barthélemy, de Mars-Bathurst et de Rochette : silt, diatomite, sable, silt et gravier, jusqu'à 10 m d'épaisseur, mis en place au front de glacier, constitués d'une ou plusieurs cônes dont la surface est généralement bosselée et parsemée de blocs.

SÉDIMENTS GLACIAIRES

NOTE
Diamonite à matrice sablo-silticeuse à siliceuse mise en place directement par le glacier.

- Ts Till en couverture généralement continue : diamonite à matrice sablo-silticeuse ou siliceuse comprenant des blocs de fond et de talus; épaisseur variant de 1 à 8 m, en surface, cette unité est présente principalement sur les hauteurs-platreaux et à l'intérieur des dépressions.
- Tm Till en couverture mince et discontinue : diamonite comprenant généralement des faibles déglaciation de moins de 1 m d'épaisseur et dont la surface est généralement marquée par d'affleurements rocheux, la structure du till n'est pas jouant transparent sur les photographies aériennes. Unité présente principalement dans les régions de bloc.

PRE-QUATÉNAIRE

SUBSTRAT ROCHEUX

- Ri Roches ignées intrusives
- Rv Roches sédimentaires et/ou volcaniques, généralement subvolcaniques
- Rm Roches métamorphiques de haut grade

SYMBOLS

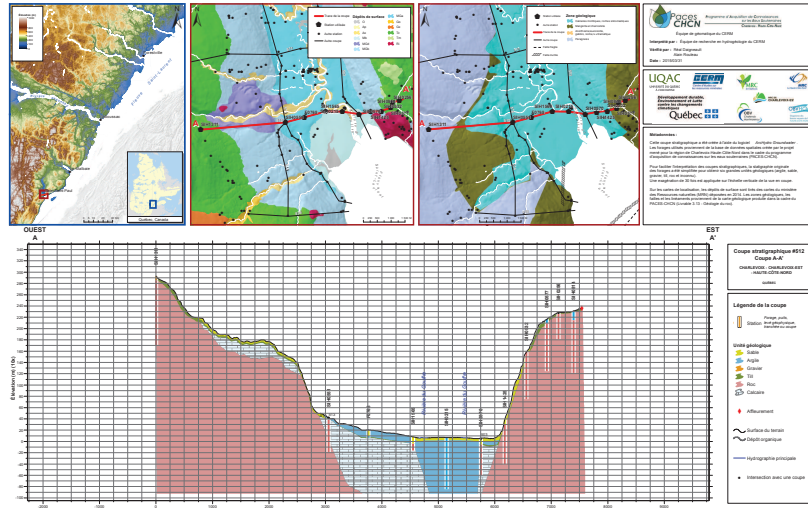
- Gravrière, sablière (active)
- Gravrière, sablière (abandonnée)
- Esker (sens d'écoulement connu)
- Agglomération
- Réseau routier principal
- Cicatrice de glissement de terrain (et sens du mouvement)
- Kettle (grand)
- Réseau hydrographique surfacique
- Réseau hydrographique linéaire
- Limite de la zone d'étude
- Crête morainique majeure
- Rebord d'escarpement rocheux

La stratigraphie et les épaisseurs des dépôts de surface

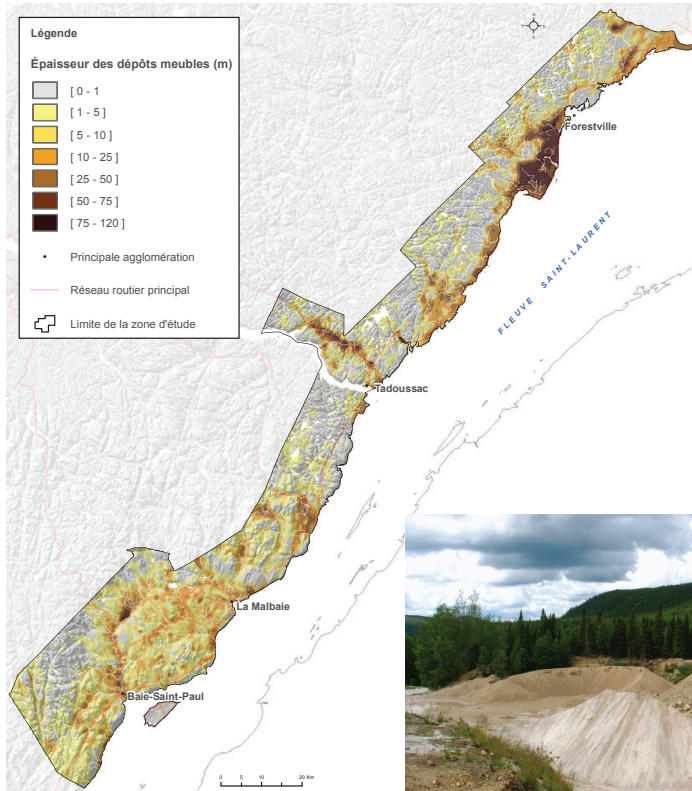
Dans le but de mieux définir les limites et l'épaisseur des aquifères granulaires, et pour modéliser l'épaisseur des dépôts, 147 coupes stratigraphiques ont été interprétées.

La stratigraphie régionale des dépôts meubles résultent de la combinaison des informations cartographiques et ponctuelles disponibles dans la base de données spatiales. Parmi les données ponctuelles, 172 correspondent à des levés géophysiques réalisés sur l'ensemble du territoire et 13 à des sondages par rotopercussion et au piézocône réalisés sur la Haute-Côte-Nord. Ces informations stratigraphiques ont été utilisées pour interpréter 147 coupes stratigraphiques régionales sur l'ensemble du territoire. La stratigraphie régionale se divise en trois contextes principaux :

- till sur roc dans les hautes terres;
- sable sur argile sur roc caractéristiques des basses terres de la Haute-Côte-Nord;
- séquences stratigraphiques complexes dans les vallées de l'astroblème de Charlevoix.



147 Fiches disponibles en annexe du rapport PACES-CHCN



Épaisseur des dépôts de surface

Plus de 5 000 forages virtuels ont été extraits des 147 coupes stratigraphiques, ce qui permet d'estimer l'épaisseur des dépôts meubles et, par conséquent, la topographie du roc. L'épaisseur des dépôts est de l'ordre du mètre dans les hautes terres et atteint des épaisseurs maximales supérieures à 100 mètres, voire même supérieures à 200 mètres, dans les vallées du Gouffre et de La Malbaie ainsi que dans les basses terres de la Haute-Côte-Nord. La topographie du socle rocheux est caractérisée sur l'ensemble du territoire par les hautes terres et les basses terres ainsi que par l'astroblème de Charlevoix.



Sablère

Les limites hydrogéologiques

La méthodologie **innovante et inédite** au Québec appliquée dans le cadre du PACES-CHCN est issue des travaux réalisés en France par le bureau de recherche géologique et minière (BRGM) et adaptée pour les contextes hydrogéologiques du Québec méridional. Cette méthode de cartographie hydrogéologique (Petit et al., 2003)¹ compile un découpage du territoire et l'application d'un référentiel hydrogéologique à chacune des unités délimitées.

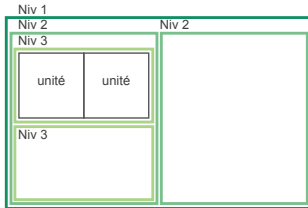
Le découpage est réalisé à partir de la cartographie existante et des connaissances stratigraphiques du territoire. Il permet, à l'aide de règles de superposition, de représenter les différentes unités hydrogéologiques par leur extension horizontale mais également verticale.

Les unités hydrogéologiques

Cette méthode de délimitation introduit la notion d'**unité hydrogéologique** qui constitue une partie délimitée de l'espace à laquelle sont associées des caractéristiques hydrogéologiques qualitatives. Ces unités sont des polygones de base qui, regroupés selon leur propriétés, constituent des entités hydrogéologiques distinctes, on distingue ainsi :

- 1- Les unités perméables en milieu poreux qui correspondent à des sables et graviers;
- 2- Les unités imperméables en milieu poreux qui correspondent à des argiles;
- 3- Les unités semi-perméables en milieu mixte qui correspondent aux roches sédimentaires;
- 4- Les unités semi-perméables en milieu fracturé qui correspondent aux roches cristallines.

Lorsque le till est présent, il est intégré aux unités semi-perméable.



L'ensemble des unités de base permettent une délimitation fine (en surface) de l'ensemble du territoire. Ce découpage est une compilation des limites interprétées, les différents niveaux sont obtenus par emboitements successifs. Une entité à un niveau local (Niv3) est constituée d'un regroupement d'unités, les entités de niveau 2 (Niv2) sont un regroupement d'entités de Niv3 et celles de niveau 1 (Niv1) sont constituées d'entité de Niv2.

Une entité hydrogéologique a donc toujours une entité « mère » mis à part le niveau 1.

(1) Petit V., Hanot F., Pointet T. (2003) – Référentiel hydrogéologique BD RHF®. Guide méthodologique de découpage des entités. BRGM/ RP-661-FR, 100 p., 17 fig., 0,5 m.

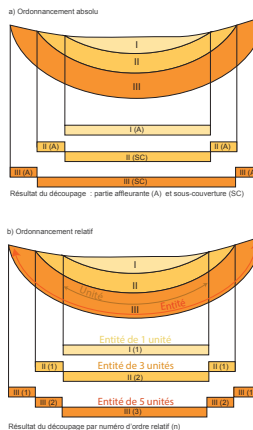
HYDROGÉOLOGIE DU TERRITOIRE DE CHCN

Principes d'ordonnement des unités hydrogéologiques

Lors de la construction la donnée spatiale, un ordre « absolu » est attribué à chaque unité sous la forme d'un code alphabétique. Ce code permet d'identifier le recouvrement d'une unité, il distingue deux classes :

- A : affleurant
- SC : sous couverture

Le système de référentiel permet une représentation de l'empilement stratigraphique plus précise sous SIG par l'application d'un ordonnancement dit « relatif ». Cet ordre relatif se distingue de l'ordre absolu par l'attribution d'un code numérique permettant d'identifier le niveau de recouvrement d'une unité.



Une entité hydrogéologique pourra, par exemple, être constituée :

- d'un polygone (unité) d'ordre relatif (1), soit à l'affleurement;
- d'un polygone (unité) d'ordre relatif (2), correspondant à un recouvrement de l'entité par un polygone (unité) d'ordre relatif (1) ;
- d'un polygone (unité) d'ordre relatif (3), correspondant à un recouvrement de l'entité par un polygone (unité) d'ordre relatif (2) ;
- d'un polygone (unité) d'ordre relatif (n), correspondant à un recouvrement de l'entité par un polygone (unité) d'ordre relatif (n-1).

Une méthode, plusieurs visualisation

La méthodologie employée dans le cadre du projet PACES-CHCN pour délimiter les unités hydrogéologiques permet une multitude de représentations cartographiques hydrogéologiques en fonction des besoins et des préférences des utilisateurs.

Contextes hydrogéologiques

La cartographie des contextes hydrogéologiques constitue la représentation des unités hydrogéologiques compilées en séquences ou enchainements stratigraphiques. Dans ce mode de visualisation, un même milieu aquifère peut être séparé en deux contextes différents. Ce mode de visualisation permet d'appréhender des limites de contextes hydrogéologiques indépendamment des entités hydrogéologiques.

Cartographie régionale par ordre absolu

La cartographie régionale constitue la représentation selon un ordre absolu des unités hydrogéologiques de bases regroupées selon leur perméabilité. À titre d'exemple, dans ce mode de représentation, deux unités hydrogéologiques de bases imperméables mais distinctes seront regroupées en une limite globale d'une entité imperméable. Ce mode de visualisation permet d'observer la superposition de grandes entités délimitées par leur perméabilité mais pouvant être hydrogéologiquement distinctes.

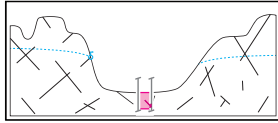
Cartographie locale par ordre relatif :

Les fiches aquifères ou cartographies locales constituent la représentation selon un ordre relatif des unités hydrogéologiques de bases regroupées en milieux aquifères et aquitards. Ce mode de visualisation permet d'observer les aquifères et aquitards individuellement ainsi que leur degré de confinement (ou ordre de superposition dans un contexte). La nomenclature et la codification des entités hydrogéologiques des niveaux 2 et 3 sont appliquées à ce mode de représentation.

Limites des contextes hydrogéologiques

La représentation hydrogéologique sous forme de contextes permet un visualisation rapides de la superposition des milieux hydrogéologiques et de la stratigraphie

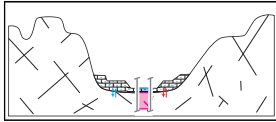
A- Aquifère semi-perméable, en milieu fracturé, à nappe libre ou captive



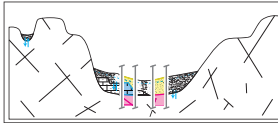
Ce type de contexte regroupe l'ensemble des environnements où le roc cristallin affleure. Il est caractérisé par la présence d'une nappe d'eau souterraine libre ou captive selon le degré de fracturation. La recharge y est relativement faible. Lors de fortes variations du relief, ce type de contexte peut présenter des zones de résurgences des eaux souterraines sous forme de sources. On retrouve fréquemment ce contexte hydrogéologique sur l'ensemble des hauts reliefs du territoire de CHCN (70% du territoire), plus particulièrement à l'ouest de la rivière du Gouffre et dans la municipalité de Saint-Urbain.

B- Deux aquifères semi-perméables superposés, en milieux fracturé et mixte, à nappe libre ou captive

Ce type de contexte regroupe l'ensemble des environnements où le roc sédimentaire fracturé (calcaires) affleure en superposition à un milieu de roc cristallin fracturé. Les connexions existantes entre ces deux aquifères ne sont pas démontrées mais peuvent avoir lieu localement. Il est caractérisé par la présence d'une ou deux nappes d'eau souterraine libre ou captive selon le degré de fracturation. La recharge y est relativement faible, mais aux endroits de forte variation du relief, ce contexte peut présenter des zones de résurgences des eaux souterraines sous forme de source. On retrouve ce contexte essentiellement dans le secteur de l'astroblème de Charlevoix.



C- Aquifère perméable, en milieu poreux, à nappe libre

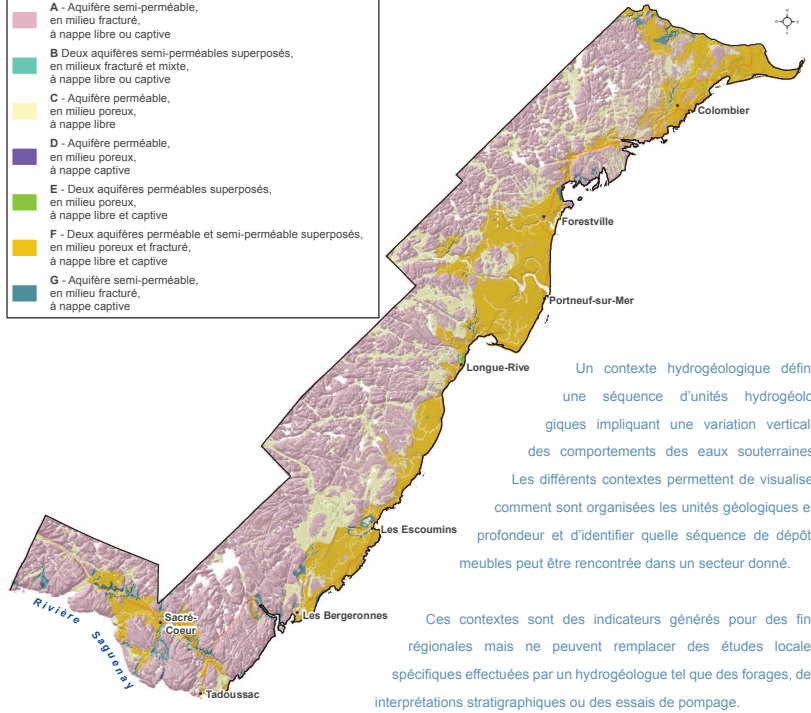


Ce contexte regroupe l'ensemble des environnements où un dépôt meuble perméable se trouve en couverture du roc cristallin et localement du roc sédimentaire (calcaires). Dans ce contexte, seul l'aquifère de surface est considéré, il est caractérisé par la présence d'une nappe d'eau souterraine libre pouvant présenter localement des connexions avec les milieux fracturés sous-jacents. La recharge y est relativement élevée et l'affleurement de la nappe libre s'effectue au droit de l'hydrographie (lac et cours d'eau). Ce contexte est présent sur le territoire de CHCN particulièrement le long des vallées, des hauts reliefs et des cours d'eau principaux.

Légende

Contextes hydrogéologiques

- A - Aquifère semi-perméable, en milieu fracturé, à nappe libre ou captive
- B - Deux aquifères semi-perméables superposés, en milieux fracturé et mixte, à nappe libre ou captive
- C - Aquifère perméable, en milieu poreux, à nappe libre
- D - Aquifère perméable, en milieu poreux, à nappe captive
- E - Deux aquifères perméables superposés, en milieu poreux, à nappe libre et captive
- F - Deux aquifères perméable et semi-perméable superposés, en milieu poreux et fracturé, à nappe libre et captive
- G - Aquifère semi-perméable, en milieu fracturé, à nappe captive



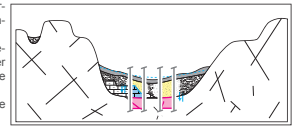
Un contexte hydrogéologique définit une séquence d'unités hydrogéologiques impliquant une variation verticale des comportements des eaux souterraines. Les différents contextes permettent de visualiser comment sont organisés les unités géologiques en profondeur et d'identifier quelle séquence de dépôts meubles peut être rencontrée dans un secteur donné.

Ces contextes sont des indicateurs générés pour des fins régionales mais ne peuvent remplacer des études locales spécifiques effectuées par un hydrogéologue tel que des forages, des interprétations stratigraphiques ou des essais de pompage.



D- Aquifère perméable, en milieu poreux, à nappe captive

Ce contexte regroupe l'ensemble des environnements où un dépôt meuble perméable se trouve en couverture du roc cristallin et localement du roc sédimentaire (calcaires) et confiné par une unité imperméable. Dans ce contexte, seul l'aquifère en milieu poreux est considéré, il est caractérisé par la présence d'une nappe d'eau souterraine captive pouvant présenter localement des connexions avec les milieux fracturés sous-jacents. La recharge y est très faible à nulle et peu d'affleurements peuvent s'observer. On retrouve ce contextes uniquement sur la rive ouest de la rivière du Gouffre entre les municipalités de Baie-Saint-Paul et Saint-Urbain.

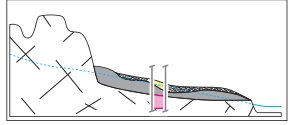


E- Deux aquifères perméables superposés, en milieu poreux, à nappe libre et captive

Ce contexte regroupe l'ensemble des environnements où 2 dépôts meubles perméables se trouvent superposés et limités par une unité imperméable. Dans ce contexte, l'aquifère de surface présente une nappe d'eau souterraine libre pouvant présenter localement des connexions avec la nappe d'eau confinée de l'aquifère perméable sous-jacent. La recharge y est relativement élevée, pour l'aquifère de surface et faible à nulle pour l'aquifère confiné. Localement, l'affleurement de la nappe libre peut s'effectuer au niveau de l'hydrographie (lac et cours d'eau). On retrouve localement ce contexte entre les municipalités de Saint-Urbain et Notre-Dame-des-Monts, au niveau de la municipalité de Saint-Siméon et sur de très petites zones sur les municipalités de Tadoussac et Longue-Rive.

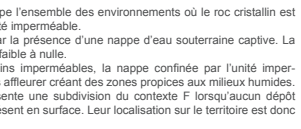
F- Deux aquifères perméable et semi-perméable superposés, en milieu poreux et fracturé, à nappe libre et captive

Ce contexte regroupe l'ensemble des environnements où un dépôt meuble perméable se trouve superposé à une unité imperméable qui est elle-même superposée au roc cristallin. Dans ce contexte, l'aquifère en milieu poreux de surface est caractérisé par la présence d'une nappe d'eau souterraine libre exploitable selon son épaisseur. L'aquifère en milieu rocheux fracturé présente une nappe captive confinée par de (très) grandes épaisseurs d'une unité imperméable. Ce contexte couvre la quasi-totalité des basses terres du territoire municipal de Charlevoix et de la Haute-Côte-Nord.



G- Aquifère semi-perméable, en milieu fracturé, à nappe captive

Ce contexte regroupe l'ensemble des environnements où le roc cristallin est confiné par une unité imperméable. Il est caractérisé par la présence d'une nappe d'eau souterraine captive. La recharge y est très faible à nulle. Sur des zones moins imperméables, la nappe confinée par l'unité imperméable peut parfois affleurer créant des zones propices aux milieux humides. Ce contexte représente une subdivision du contexte F lorsqu'aucun dépôt perméable n'est présent en surface. Leur localisation sur le territoire est donc très semblable.



Limites hydrogéologiques régionales

La cartographie régionale constitue la représentation selon un ordre absolu des unités hydrogéologiques de bases regroupées selon leur perméabilité.

À titre d'exemple, dans ce mode de représentation, 2 unités hydrogéologiques de bases imperméables mais distinctes seront regroupées en une limite globale d'une unité imperméable.

Ce mode de visualisation permet d'observer la superposition de grandes unités délimitées par leurs perméabilités mais pouvant être hydrogéologiquement distinctes.

Limites en milieux perméables (dépôts quaternaires)

La cartographie des milieux poreux est effectuée suivant un ordre de représentation absolu. Sont ainsi représentés :

- 1- Les unités **perméables et imperméables affleurantes** issues de la cartographie quaternaire.
- 2- Les unités **perméables et imperméables sous couverture** issues des interprétations stratigraphiques.

Ce mode de représentation met en évidence la superposition ou le confinement des entités hydrogéologiques indépendamment de l'ordre de superposition.



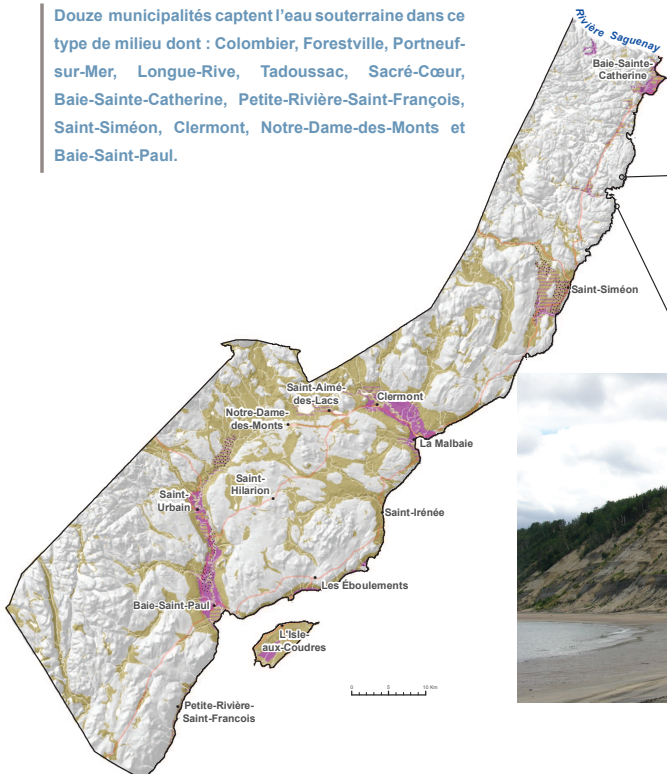
Douze municipalités captent l'eau souterraine dans ce type de milieu dont : Colombier, Forestville, Portneuf-sur-Mer, Longue-Rive, Tadoussac, Sacré-Cœur, Baie-Sainte-Catherine, Petite-Rivière-Saint-François, Saint-Siméon, Clermont, Notre-Dame-des-Monts et Baie-Saint-Paul.

Les milieux imperméables

confinent les unités hydrogéologiques perméables sous-jacentes. Lorsqu'ils sont en surface, ils favorisent également les phénomènes de ruissellement.



© PACES-CHCN



© PACES-CHCN

De **grandes unités imperméables** sont présentes sur la Haute-Côte-Nord (plus de 100 m) et dans les vallées de Charlevoix. Elles sont le plus souvent recouvertes d'**unités perméables (Contexte F)**

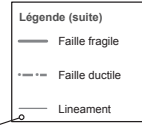
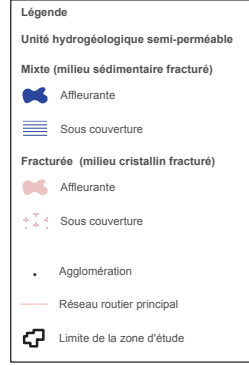
Limites en milieux semi-perméables (rocs cristallin et sédimentaire)

La cartographie des milieux mixtes (milieux calcaires fracturés) et fracturés (milieux cristallins fracturés) est également effectuée suivant un ordre de représentation absolu. Sont ainsi représentées :

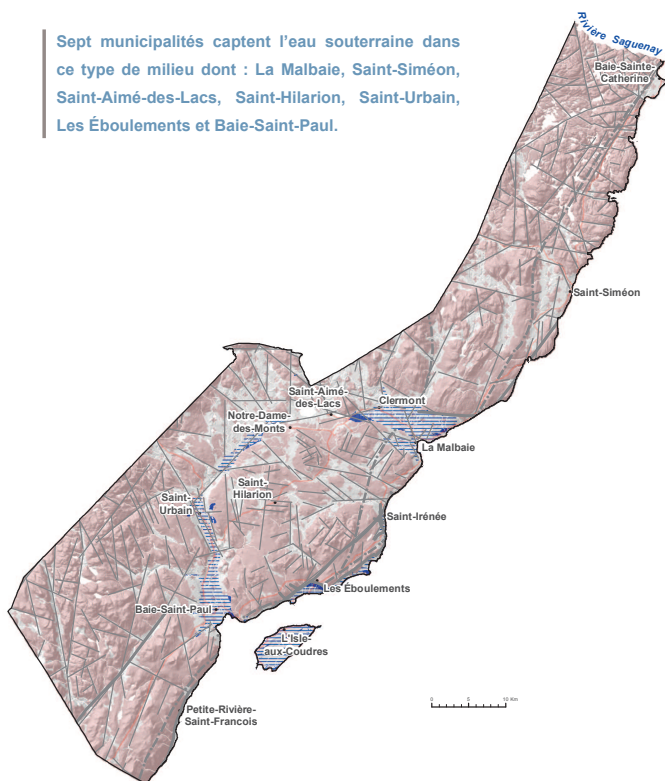
- 1- Les unités **semi-perméables en milieu fracturé** affleurantes et sous couverture.
- 2- Les unités **semi-perméables en milieu mixte** affleurantes et sous couverture.

Milieux semi-perméables et Fracturation

Dans les milieux rocheux cristallins ou sédimentaires la porosité primaire est souvent faible et la perméabilité est, dans ce cas, influencée par la porosité secondaire. La connexion des vides en milieu fracturé dépend donc essentiellement de l'intensité et des connexions de la fracturation. Les milieux fracturés étant très hétérogènes, il est difficile d'évaluer leur nature plus ou moins perméable. Ces milieux sont donc, dans le cadre d'un portrait hydrogéologique régional, considérés comme des milieux semi-perméables.



Sept municipalités captent l'eau souterraine dans ce type de milieu dont : La Malbaie, Saint-Siméon, Saint-Aimé-des-Lacs, Saint-Hilarion, Saint-Urbain, Les Éboulements et Baie-Saint-Paul.



Milieux géologiques sédimentaires

Ce type de milieu, qui regroupe les roches de la Plate forme du Saint-Laurent et de la Province des Appalaches, est essentiellement présent dans les vallées des rivières du Gouffre et de la Malbaie. De façon très générale, ce type de milieux présente une fracturation importante sur le territoire.
(Photo : carrière à La Malbaie)



Milieux géologiques cristallins

Ce type de milieu peut présenter localement de bonnes capacités d'exploitation. Cette cartographie des limites hydrogéologiques régionales est un bon indicateur mais ne peut remplacer des études locales spécifiques effectuées par un hydrogéologue, comprenant des forages, des interprétations stratigraphiques et des essais de pompage.
(Photo : carrière aux Escoumins)



Portrait des limites hydrogéologiques locales

Les domaines hydrogéologiques

La connaissance de la piézométrie permet d'interpréter la direction et le sens des écoulements régionaux. L'analyse de ces écoulements permet de distinguer des environnements indépendants d'un point de vue hydrodynamique. Dans le cadre du PACES-CHCN ces limites d'environnements sont essentiellement les coeurs d'eau majeurs. Ils sont considérés comme une limite hydraulique où pas ou peu d'échanges sont possibles de part et d'autre. Le territoire de Charlevoix et de la Haute-Côte-Nord est ainsi **subdivisé en 13 ensembles hydrogéologiques distincts**.

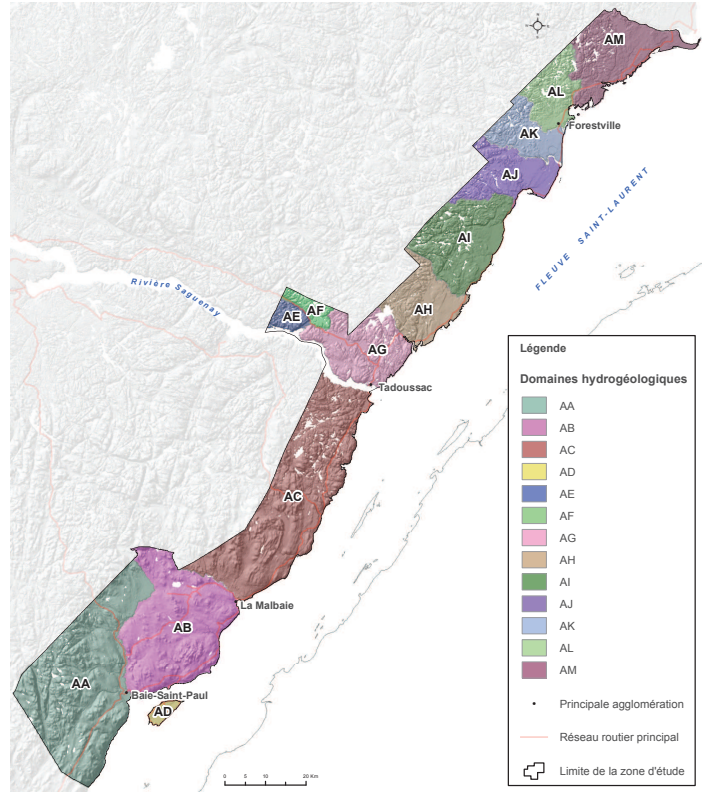
Ces 13 entités hydrogéologiques de niveau 2 caractérisent **13 domaines aquifères régionaux**

MRC de Charlevoix et de Charlevoix-Est :

- 01AA Domaine aquifère de la rivière du Gouffre
- 01AB Domaine aquifère de la rivière Malbaie
- 01AC Domaine aquifère de Saint Siméon
- 01AD Domaine aquifère de l'Isle aux Coudres

MRC de La Haute-Côte-Nord

- 01AE Domaine aquifère de Sacré-Coeur (Est)
- 01AF Domaine aquifère de Sacré-Coeur (Ouest)
- 01AG Domaine aquifère de Tadoussac
- 01AH Domaine aquifère des Bergeronnes
- 01AI Domaine aquifère des Escoumins
- 01AJ Domaine aquifère de Longue-Rive
- 01AK Domaine aquifère de Forestville (Sud)
- 01AL Domaine aquifère de Forestville (Nord)
- 01AM Domaine aquifère de Colombier



Les aquifères et aquitards

Les fiches aquifères ou cartographies locales constituent la représentation selon un ordre relatif des unités hydrogéologiques de bases regroupées en milieux aquifère et aquitard. Ce mode de visualisation permet d'observer les aquifères et aquitards individuellement ainsi que leur degré de confinement (ou ordre de superposition dans un contexte).

13 Fiches hydrogéologiques de niveau régional (2)

Les entités hydrogéologiques de niveau 2 sont caractérisées individuellement. Chaque entité est décrite par une fiche composée de :

1. la toponymie et le code de l'entité considérée,
2. les composantes du référentiel de l'entité considérée,
3. une carte de localisation régionale,
4. une carte des entités de niveau 3 rattachées à l'entité de niveau 2 considérée.

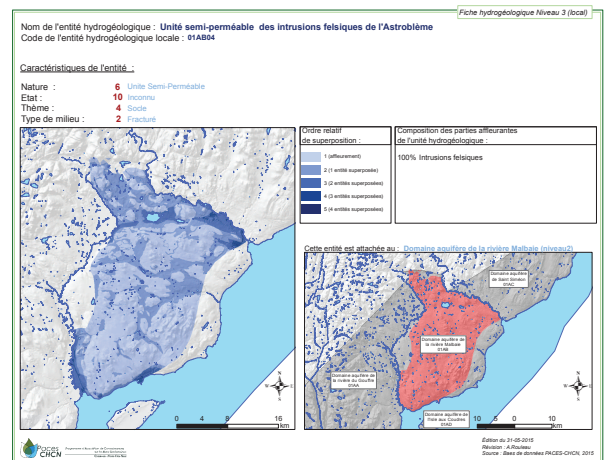
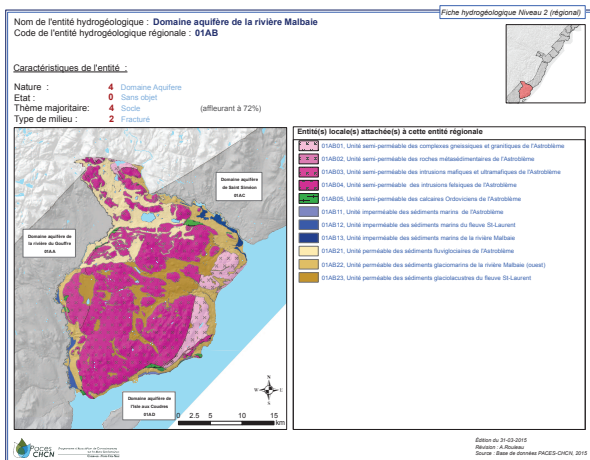
85 Fiches hydrogéologiques de niveau local (3)

Sur le territoire de CHCN l'ensemble de la méthodologie cartographique a permis de délimiter 85 entités hydrogéologiques de niveau 3 qui caractérisent :

- 27 aquifères perméables,
- 40 aquifères semi-perméables et
- 18 aquitards

Les entités hydrogéologiques de niveau 3 sont caractérisées individuellement. Chaque entité est décrite par une fiche composée de :

1. la toponymie et le code de l'entité considérée,
2. les composantes du référentiel de l'entité considérée,
3. une carte de l'entité de niveau 3 considérée,



Portrait des propriétés hydrauliques des milieux hydrogéologiques

La caractérisation hydrogéologique quantitative des paramètres hydrauliques des eaux souterraines présentent un portrait statistique des valeurs moyennées pour un environnement donné.

Milieux perméables (dépôts meubles)

Conductivité hydraulique

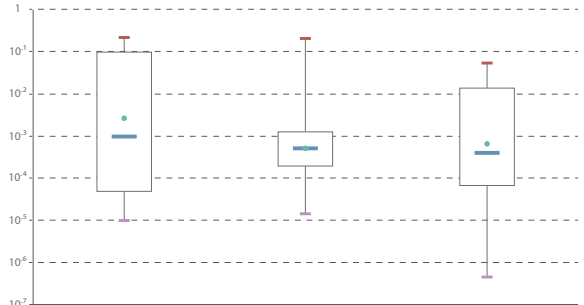
Par définition, la conductivité hydraulique se rapproche de la perméabilité, de ce fait, plus la conductivité hydraulique d'un milieu est élevée plus l'extraction de l'eau souterraine est facilitée. Régionalement les conductivités hydrauliques mesurées dans les ouvrages vont de 10^{-7} à 10^{-2} m/s. Cette large gamme de valeurs est représentative de milieux allant des sables silteux aux graviers grossiers. Les valeurs médianes et moyennes indiquent une conductivité hydraulique de l'ordre de 10^{-4} m/s représentative de milieux sablonneux. La valeur minimum observée, très éloignée du Q1, peut être considérée comme une valeur extrême, peu représentative du milieu. Régionalement, les dépôts perméables du territoire de CHCN présentent des conductivités d'intérêt pour l'exploitation de l'eau souterraine. Des études locales (forages, essai de pompages) sont toutefois nécessaires pour préciser les capacités d'exploitation.

Transmissivité

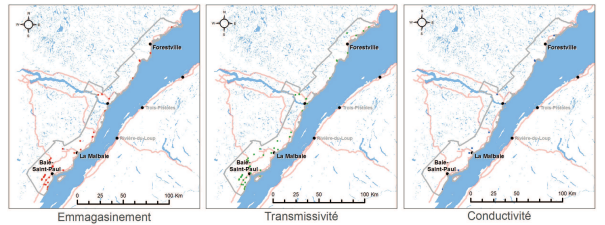
La transmissivité permet d'évaluer indirectement la capacité d'extraction de l'eau souterraine qui varie en fonction de la position géographique du point de mesure. La présente étude statistique ne fait pas état de la répartition spatiale des valeurs de transmissivité. Toutefois, les valeurs présentées sont similaires ou d'un ordre de grandeur supérieur aux valeurs de conductivité. La valeur maximum observée, très éloignée du Q3, peut être considérée comme une valeur extrême, peu représentative du milieu. Sachant que, par définition, la transmissivité (T) est le produit de la conductivité hydraulique (K) par l'épaisseur saturée d'un milieu perméable (e) : $T = K \cdot e$, la comparaison des ordres de grandeur de ces 2 paramètres permet de démontrer que régionalement les épaisseurs saturées estimées des milieux perméables sont de l'ordre de 10 m.

Emmagasinement

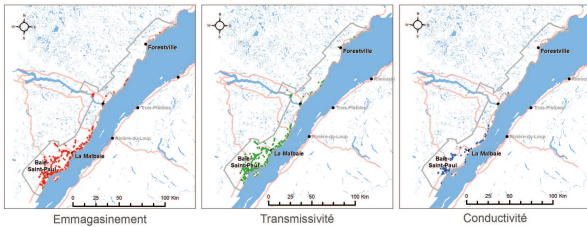
Le coefficient d'emmagasinement est utilisé pour caractériser plus précisément le volume d'eau extractible par unité de volume du matériel considéré. Régionalement l'emmagasinement moyen estimé pour les milieux perméables est de l'ordre de 10^{-3} ce qui représente une capacité moyenne d'exploitation des milieux perméables de l'ordre de 1 litre d'eau par mètre cube de sol saturé. Ce coefficient d'emmagasinement peut paraître faible, mais il est en réalité caractéristique de la moyenne des emmagasineurs mesurés en nappe libre et captive.



	Emmagasinement (59 valeurs)	Transmissivité (m2/s) (77 valeurs)	Conductivité (m/s) (29 valeurs)
Max	2.2×10^1	2.0×10^1	5.5×10^2
Q3	1.0×10^1	1.3×10^3	1.4×10^2
Moy	2.5×10^0	5.1×10^4	6.3×10^4
Méd	1.0×10^0	5.3×10^4	4.1×10^4
Q1	5.0×10^0	1.9×10^4	6.8×10^3
Min	1.0×10^0	1.5×10^3	4.4×10^2



Milieux semi-perméables (fracturés, cristallins ou sédimentaires)



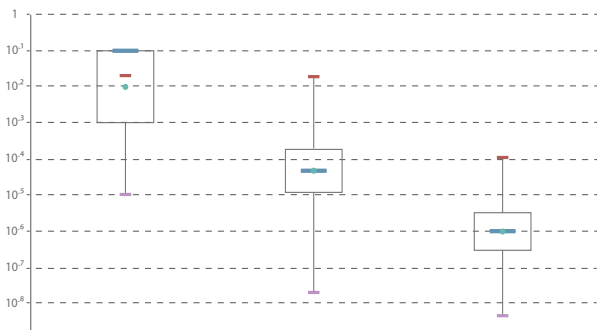
Conductivité hydraulique

Régionalement les conductivités hydrauliques mesurées dans les ouvrages vont de 10^{-9} à 10^{-4} m/s. Cette large gamme de valeurs est représentative de milieux de roches cristallines et sédimentaires fracturées. Les valeurs médianes et moyennes indiquent une conductivité hydraulique de l'ordre de 10^{-6} m/s représentative du caractère semi-perméable des milieux rocheux fracturés. Les valeurs minimum et maximum observées, très éloignées du Q1 et du Q3, peuvent être considérées comme des valeurs extrêmes, peu représentatives du milieu.

Régionalement, les dépôts semi-perméables du territoire de CHCN présentent des conductivités hydrauliques moyennes mais d'intérêt pour l'exploitation de l'eau souterraine. Des études locales (forages, essai de pompages) sont toutefois nécessaires pour préciser les capacités locales d'exploitation.

Transmissivité

Les valeurs présentées sont supérieures d'un à deux ordres de grandeur par rapport aux valeurs de conductivités hydrauliques, avec une variation maximale de 10^{-8} à 10^{-2} m²/s. Cette large gamme est caractéristique de milieux moyennement transmissifs. Les valeurs minimum et maximum observées, très éloignées du Q1 et du Q3, peuvent être considérées comme des valeurs extrêmes, peu représentatives du milieu. La comparaison des ordres de grandeur de la transmissivité (T) et de la conductivité hydraulique (K) permet de démontrer que régionalement les épaisseurs saturées estimées des milieux semi-perméables sont de l'ordre de 10 à 100 m.



	Emmagasinement (458 valeurs)	Transmissivité (m2/s) (500 valeurs)	Conductivité (m/s) (105 valeurs)
Max	1.0×10^{-1}	1.9×10^2	1.1×10^3
Q3	1.0×10^0	1.9×10^4	3.2×10^6
Moy	1.3×10^2	4.8×10^5	1.0×10^6
Méd	1.0×10^1	4.8×10^5	1.0×10^6
Q1	1.0×10^0	1.2×10^5	3.1×10^7
Min	1.0×10^0	2.1×10^8	4.5×10^9

Emmagasinement

Régionalement, l'emmagasinement moyen estimé pour les milieux perméables est de l'ordre de 10^{-2} ce qui représente une capacité moyenne d'exploitation des milieux semi-perméables de l'ordre de 10 litres d'eau par mètre cube de sol saturé.

Piézométrie et écoulements

La piézométrie régionale est obtenue à partir de l'hydrographie de surface. Plus exactement, elle est calculée à partir de l'élévation du réseau hydrographique présent dans la base de données topographiques du Québec (BDTQ; présentées sous la forme de données linéaires ou surfaciques) à l'échelle 1 : 20 000. Le réseau hydrographique est d'abord converti en données ponctuelles, ensuite l'élévation de chaque point hydrographique obtenu est extraite du modèle numérique d'altitudes à l'échelle 1 : 20 000 (MNA 20k) et, enfin, la piézométrie régionale est obtenue en interpolant (méthode choisie : *Topo to Raster*) l'élévation de ces points hydrographiques.

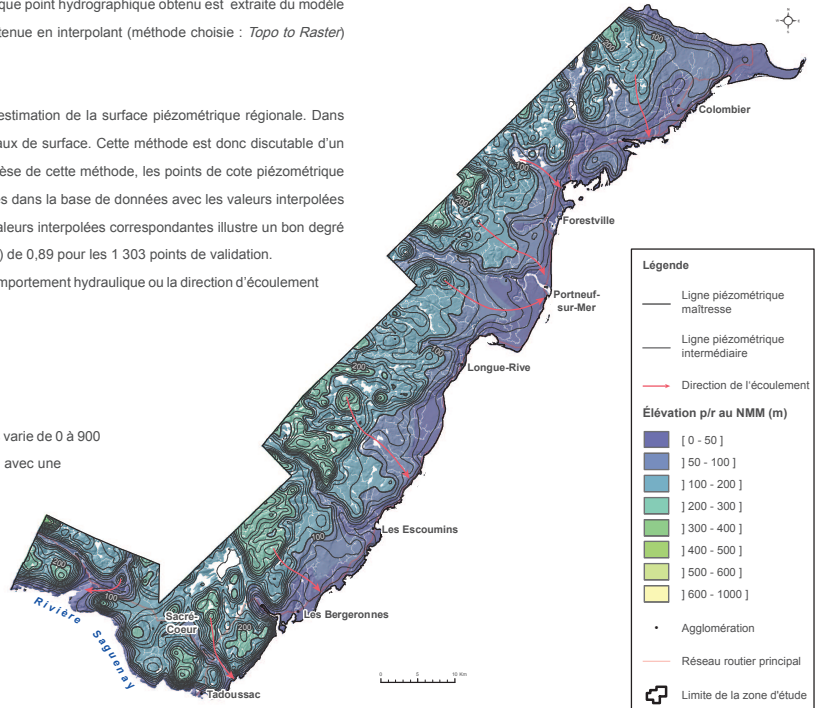
L'utilisation unique des points d'élévation hydrographique induit indéniablement un biais dans l'estimation de la surface piézométrique régionale. Dans ce contexte, l'élévation de l'eau souterraine est considérée comme identique à l'élévation des eaux de surface. Cette méthode est donc discutable d'un point de vue quantitatif (profondeur ou élévation de la nappe). Pour vérifier la validité de l'hypothèse de cette méthode, les points de cote piézométrique issus d'ouvrages ont été utilisés afin de comparer les valeurs de piézométrie ponctuelle contenues dans la base de données avec les valeurs interpolées à partir de l'hydrographie de surface. La mise en graphique des valeurs réelles en fonction des valeurs interpolées correspondantes illustre un bon degré de corrélation de l'interpolation. La régression linéaire indique un coefficient de détermination (R2) de 0,89 pour les 1 303 points de validation. Les eaux souterraines et les eaux de surface sont donc probablement liées hydrauliquement. Le comportement hydraulique ou la direction d'écoulement des eaux souterraines est donc qualitativement représentatifs de l'écoulement réel.

Piézométrie

Les courbes iso-piézométriques sont présentées à équidistance de 50 m. L'élévation des isopièzes varie de 0 à 900 m pour le territoire de Charlevoix. Ces variations sont moins prononcées sur la Haute-Côte-Nord avec une gamme entre 0 et 250 m d'altitude.

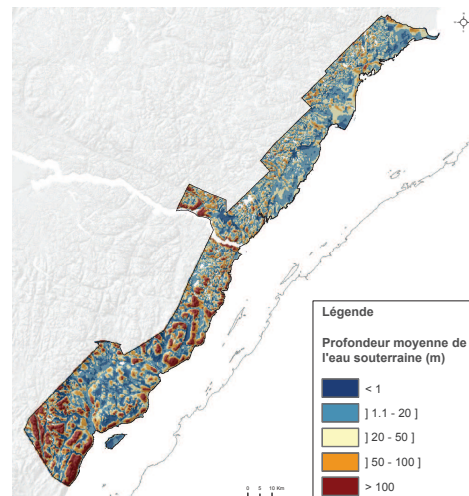
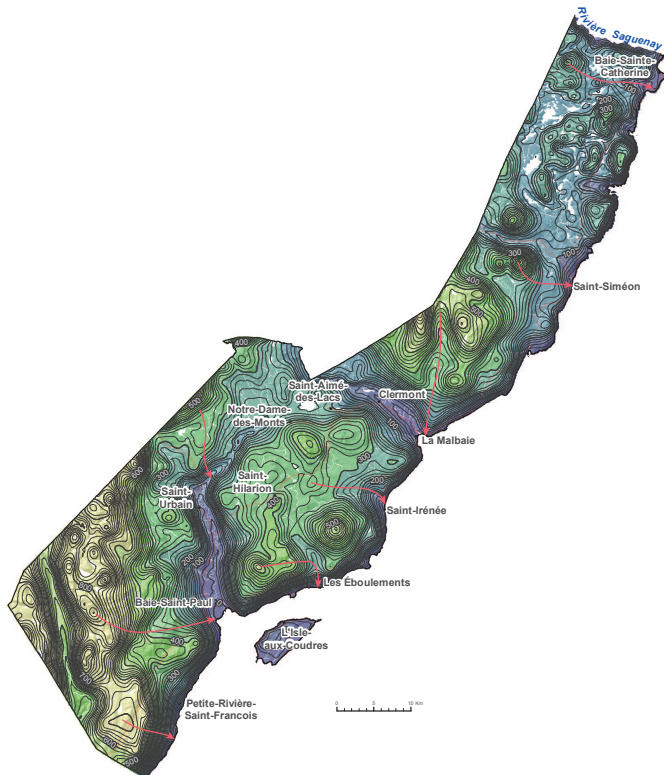
Directions de l'écoulement

Régionalement, l'écoulement s'effectue d'est en ouest, plus généralement des hauts reliefs vers le fleuve Saint-Laurent. Localement, les écoulements sont orientés vers l'hydrographie principale telles que les rivières Saguenay, du Gouffre et Malbaie.



Profondeur de l'eau souterraine

À l'aide des valeurs de topographie de surface et de piézométrie, il est possible de déterminer la profondeur relative de l'eau souterraine. Ainsi les profondeurs estimées vont de 0 à 450 m pour une moyenne régionale de 38 m. Toutefois, les valeurs de profondeur de plus de 100 m sont des anomalies non réalistes résultant de l'approche indirecte d'estimation de ce paramètre. Malgré leur caractère approximatif, les estimations de la piézométrie permettent d'illustrer la direction de l'écoulement et la très grande variabilité spatiale de la piézométrie, laquelle résulte du relief prononcé du secteur de Charlevoix. Les valeurs les plus élevées sont observables au droit des hauts reliefs des Laurentides, principalement dans le secteur de Charlevoix. Ces régions présentent également la plus forte variabilité de profondeurs estimées. En comparaison, la région de la Haute-Côte-Nord présente des variations de plus faible amplitude : entre 0 et 50 m.



Renouvellement de la ressource : Recharges et Résurgences

Forte recharge

La recharge correspond à la quantité d'eau d'infiltration des précipitations à la surface atteignant la zone saturée et constituant un ajout au réservoir en eaux souterraines. À l'échelle régionale, l'estimation de la recharge est quantifiée par unité de temps (mm/an). La quantification de la recharge permet ainsi d'évaluer les zones de plus forte ou de plus faible recharge en termes de volumes d'eau.

Zones où les volumes de renouvellement des eaux souterraines sont les plus importants en fonction des conditions climatiques actuelles.

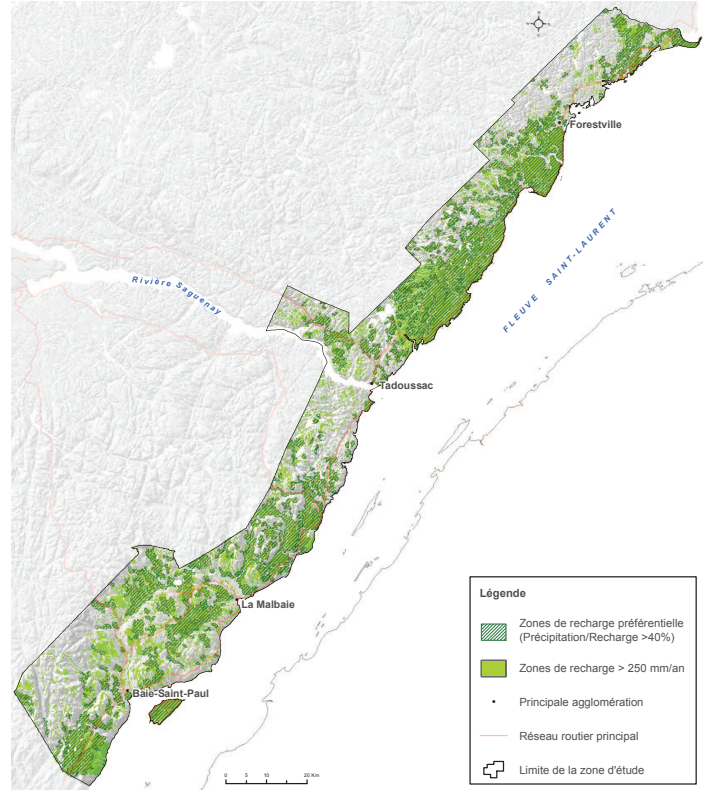
Les zones de forte recharge sont considérées pour une recharge annuelle supérieure à 250 mm. Ces zones sont représentatives des basses terres au niveau de la Haute-Côte-Nord et des vallées de Charlevoix. Une zone de forte recharge est également présente à l'extrême sud de la région d'étude dans la municipalité de Petite-Rivière-Saint-François, principalement en raison des fortes précipitations enregistrées dans ce secteur.

Recharge préférentielle

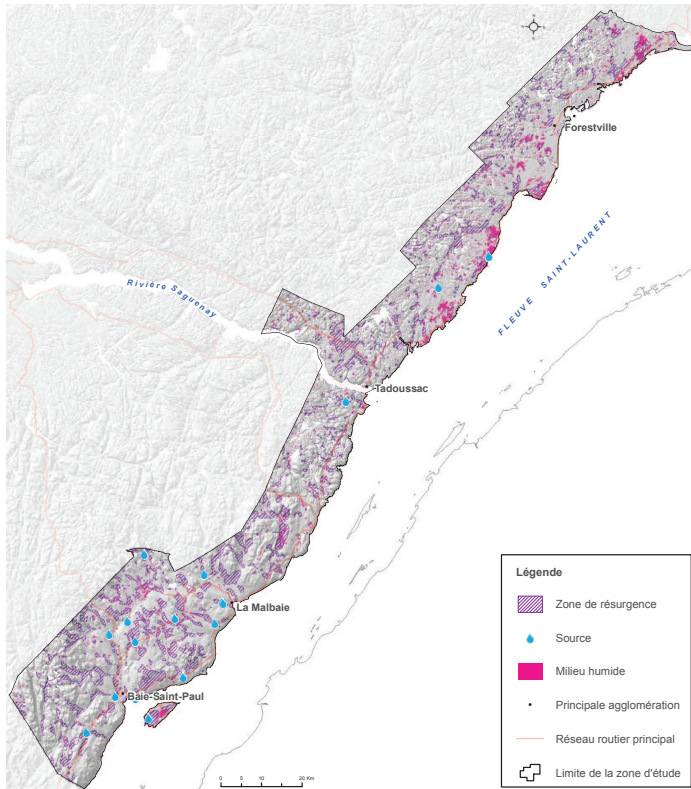
La recharge en termes de volumes est principalement fonction de la quantité de précipitations. On distingue alors aux zones de forte recharge, le concept de zone de recharge préférentielle. Celles-ci sont estimées par le ratio des précipitations sur la quantification de la recharge et représentent, de ce fait, un taux d'infiltration indépendant des conditions climatiques.

Subdivisions des zones de forte recharge, caractéristiques de zones de forte infiltration indépendamment des changements climatiques.

Les zones de recharge préférentielle ont été estimées pour le territoire de CHCN par ratio des précipitations sur la quantification de la recharge supérieure à 40%. Ces zones représentent une subdivision des zones de forte recharge, caractéristiques de zone de forte infiltration. Indépendamment des conditions climatiques, ces zones de recharges préférentielles sont à mettre en parallèle avec la vulnérabilité des aquifères. Suivant l'utilisation locale des eaux souterraines (alimentation en eau potable); ces zones sont donc à interpréter comme des secteurs prioritaires de protection.



60



Zone de résurgence

Au terme d'un parcours souterrain, les eaux souterraines font résurgence à la surface. Ces résurgences sont classées suivant leurs étendues et leur débit, on distingue ainsi dans le cadre du projet PACES-CHCN :

Les sources, considérées comme des résurgences ponctuelles avec un débit soutenu pouvant servir à l'alimentation en eau potable. **19** sources ont ainsi été répertoriées.

Les zones de suintement, considérées comme des résurgences diffuses et linéaires le long de parois ou de rupture de pentes topographiques avec de très faibles débits. Ces zones de suintement ou d'affleurement potentiel de la nappe ont été interprétées par soustraction de la piézométrie aux valeurs de topographie de surface. Ces zones correspondent aux secteurs où localement la piézométrie se situe au-dessus de la surface du sol. À l'échelle régionale, ces zones de suintement ou de résurgence potentielles sont localisées dans des zones de fortes variations topographiques (rupture de pente, falaises) et en bordure des cours d'eau.

Les affleurements de la nappe, considérés comme des résurgences diffuses et surfaciques constituant des zones de milieux humides et une partie de l'hydrographie.

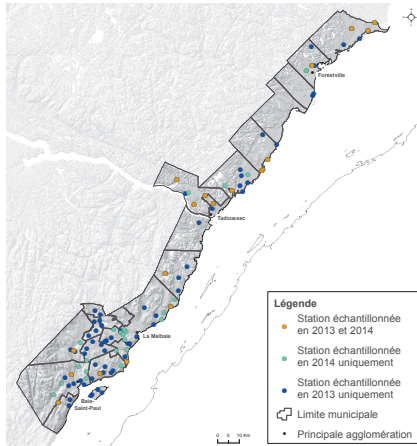
61

Chimie des eaux souterraines

L'eau souterraine se caractérise par une multitude de paramètres bactériologiques, physiques et chimiques. Dans le cadre du projet PACES-CHCN, ce sont principalement les compositions chimiques de l'eau souterraine qui ont été caractérisées. Cette caractérisation permet de mettre en évidence la signature hydrogéochimique de chaque échantillon résultant des échanges entre l'eau et les différents milieux de différentes minéralogies à travers lesquels elle a circulé. Le portrait hydrogéochimique des eaux souterraines du territoire de CHCN se présente par paramètres ainsi que par types d'eau.

Stations d'échantillonnage

Deux campagnes d'échantillonnage se sont déroulées au cours des étés 2013 et 2014. L'ensemble des échantillons a été prélevé dans des puits individuels domestiques ou des résurgences utilisées pour fins d'alimentation en eau potable ou pour l'entretien extérieur. Au total, **114 stations d'échantillonnage ont été visitées** (dont 88 en 2013 et 28 en 2014). Également, 19 stations échantillonnées en 2013 ont été ré-échantillonnées en 2014, ce qui élève le nombre d'échantillons total à 133. Lors du prélèvement des échantillons, des paramètres ont été mesurés *in situ* et d'autres ont été analysés en laboratoire.



Résultats hydrogéochimiques par paramètre

Le tableau ci-dessous présente les paramètres en fonction du nombre décroissant de détection. Ainsi, les premiers paramètres du tableau correspondent majoritairement aux éléments majeurs ainsi qu'aux paramètres mesurés *in situ*. Les derniers paramètres du tableau correspondent majoritairement aux métaux mineurs et sont rarement détectés. L'ensemble des résultats d'analyses chimiques et des paramètres mesurés *in situ* sont disponibles dans la base de données spatiales du projet PACES-CHCN.

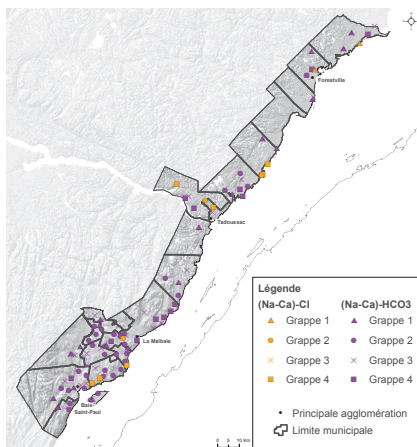
Paramètres	L.D. (mg/L)	% de détection	Min.	25%	Méd.	75%	Max.
Alcalinité totale (en CaCO ₃) pH 4-5	1.00	95%	3.00	31.30	53.50	89.30	520.00
Ca (mg/L)	1.00E-01	95%	4.00E-01	7.50	16.00	22.00	110.00
Cl (mg/L)	5.00E-02	95%	3.00E-01	1.10	3.85	19.00	580.00
Mg (mg/L)	1.00E-02	95%	1.00E-01	1.30	2.20	3.55	25.00
Na (mg/L)	1.00E-01	95%	1.00	3.43	5.80	17.50	620.00
Si _d (mg/L)	1.00E-01	95%	2.20E-01	4.90	5.90	7.28	16.00
Sr (mg/L)	2.00E-03	95%	7.90E-03	5.40E-02	9.95E-02	1.98E-01	2.60
K (mg/L)	1.00E-01	94%	1.60E-01	5.50E-01	1.10	2.20	14.00
Conductivité (uS/cm)	na	93%	0.00	81.00	136.00	256.00	2959.00
Eh (mV)	na	93%	-353.10	-80.60	-3.15	58.65	736.40
pH	na	93%	5.41	6.55	7.13	8.11	9.61
Température (°C)	na	93%	4.90	6.70	7.50	8.40	19.50
Oxygène dissous (mg/l)	na	83%	0.00	4.65E-01	3.64	6.99	39.70
Ba (mg/l)	2.00E-03	82%	0.00	0.00	5.40E-03	1.60E-02	4.30E-01
Cu (mg/l)	5.00E-04	74%	5.40E-04	1.60E-03	4.30E-03	1.50E-02	1.20E-01
Mn (mg/l)	4.00E-04	74%	5.10E-04	1.50E-03	6.50E-03	4.05E-02	2.20
Pb (mg/l)	1.00E-04	74%	1.00E-04	1.70E-04	2.50E-04	4.50E-04	3.00E-03
SO ₄ (mg/l)	5.00E-01	69%	1.20	5.00	7.50	11.25	150.00
Dureté _{est} estimée	1.00	68%	1.00	43.00	55.00	88.00	369.00
MDT _{est} estimée	0.00	68%	36.00	101.00	131.00	329.00	2009.00
F (mg/l)	1.00E-01	58%	1.00E-01	2.00E-01	3.00E-01	7.00E-01	4.50
NH ₄ (mg N/l)	2.00E-02	58%	2.00E-02	4.00E-02	5.00E-02	1.10E-01	1.00
Zn (mg/l)	5.00E-03	53%	5.10E-03	7.10E-03	9.20E-03	1.25E-02	1.10E-01
NO ₂ -NO ₃ (mg N/l)	1.00E-01	41%	3.00E-02	2.00E-01	4.00E-01	9.70E-01	4.80
Mo (mg/l)	5.00E-04	40%	5.40E-04	1.20E-03	2.40E-03	4.80E-03	1.80E-02

HYDROGÉOLOGIE DU TERRITOIRE DE CHCN

Biais d'échantillonnage

En plus de l'accessibilité des puits, un biais d'échantillonnage important consiste à sélectionner des puits domestiques servant majoritairement à l'alimentation en eau potable. Ces puits présentent, le plus souvent, une bonne qualité ou nécessitent un traitement à un coût raisonnable. Dans le cas contraire, où la qualité de l'eau ne respecte pas les normes de potabilité ou pour laquelle les coûts reliés à un système de traitement sont trop onéreux, les puits sont alors comatés et non disponibles à l'échantillonnage.

Al (mg/l)	1.00E-03	31%	1.00E-02	1.70E-02	4.60E-02	7.20E-02	7.30E-01
B (mg/l)	5.00E-03	31%	2.00E-02	2.60E-02	5.60E-02	1.90E-01	1.20
Co (mg/l)	5.00E-04	24%	5.50E-04	7.60E-04	1.30E-03	1.70E-03	2.90E-03
Cr (mg/l)	5.00E-04	24%	5.40E-04	6.50E-04	9.00E-04	1.10E-03	2.00E-03
Phosphore inorg. (mg/l)	3.00E-02	23%	3.00E-02	4.00E-02	8.00E-02	2.90E-01	4.40
Fe (mg/l)	1.00E-01	20%	1.20E-01	1.90E-01	7.30E-01	1.40	25.00
U (mg/l)	1.00E-03	18%	1.00E-03	2.00E-03	4.70E-03	1.78E-02	2.20E-02
Se (mg/l)	1.00E-03	10%	1.60E-03	1.70E-03	1.90E-03	2.00E-03	2.60E-03
Ag (mg/l)	1.00E-04	8%	1.10E-04	1.20E-04	1.80E-04	2.90E-04	1.40E-03
Ni (mg/l)	1.00E-03	7%	1.00E-03	1.20E-03	1.40E-03	1.50E-03	3.20E-03
V (mg/l)	2.00E-03	5%	2.00E-03	2.80E-03	3.10E-03	3.40E-03	5.60E-03
Li (mg/l)	1.00E-02	4%	1.20E-02	1.40E-02	1.50E-02	1.80E-02	1.90E-02
As (mg/l)	1.00E-03	2%	1.30E-03	1.30E-03	1.40E-03	1.50E-03	1.60E-03
Br (mg/l)	1.00E-01	2%	1.70	1.78	1.85	1.93	2.00
Ti (mg/l)	1.00E-03	2%	1.40E-02	1.88E-02	2.35E-02	2.82E-02	3.30E-02
Cd (mg/l)	2.00E-04	1%	2.50E-04	2.50E-04	2.50E-04	2.50E-04	2.50E-04
Sn (mg/l)	1.00E-03	1%	6.60E-03	6.60E-03	6.60E-03	6.60E-03	6.60E-03
Sulfures (mg S/l)	2.00E-02	1%	4.40E-01	4.40E-01	4.40E-01	4.40E-01	4.40E-01
Be (mg/l)	5.00E-04	0%	na	na	na	na	na
Bi (mg/l)	2.50E-04	0%	na	na	na	na	na
Sb (mg/l)	1.00E-03	0%	na	na	na	na	na



Types d'eau pour le territoire de CHCN

L'évolution de l'hydrogéochimie des eaux souterraines du territoire de CHCN suit différents processus dont la recharge des eaux souterraines, les interactions entre les milieux aquifères et l'eau souterraine, les échanges ioniques, les intrusions d'eau salée et les connexions hydrauliques entre le socle rocheux et les dépôts granulaires.

La figure montre la localisation des eaux souterraines douces, (Na-Ca)-HCO₃ et salées, (Na-Ca)-Cl, selon le diagramme de Durov, ainsi que le groupe qui leur est affilié. Les eaux douces du groupe 1 proviennent majoritairement d'aquifères granulaires présents sur l'ensemble du territoire de CHCN et leur signature hydrogéochimique est représentative des eaux de recharge, soit les moins évoluées.

Les eaux souterraines salées correspondent majoritairement à des eaux souterraines du groupe 4, soit les eaux les plus évoluées qui proviennent d'aquifères de roc fracturé confinés. L'ensemble des eaux salées sont principalement localisées en bordure du fleuve Saint-Laurent. Leur présence peut résulter d'eaux souterraines profondes qui font résurgence à proximité du fleuve Saint-Laurent ou encore des mélanges avec des intrusions d'eaux salées.

Les eaux des groupes 2 et 3 correspondent à des eaux dont la composition hydrogéochimique est intermédiaire entre les groupes 1 et 4 provenant probablement d'aquifères poreux et de roc fracturé interconnectés.

Tous les territoires ne sont pas vulnérables de la même façon ;
aussi faut-il connaître leurs points faibles pour les protéger
davantage

UNE RESSOURCE À PROTÉGER

La ressource en eau sert à de multiples usages allant de l'alimentation en eau potable des populations jusqu'à faire partie de certains procédés industriels.

L'atlas hydrogéologique de Charlevoix-Haute-Côte-Nord propose ici une présentation des eaux souterraines en tant que ressource naturelle, par :

Son utilisation,

Sa qualité,

Sa vulnérabilité,

Sa protection.

UNE RESSOURCE À PROTÉGER

L'alimentation en eau potable municipale



© PACES-CHCN

Des **21 municipalités** du territoire de CHCN, **4** alimentent leur population en eau potable à partir d'**eau de surface** tandis que les **17** autres alimentent leur population à partir d'**eau souterraine** qui, dans la plupart des cas, est captée par un ou plusieurs puits pour une même municipalité. Toutefois, pour certains cas particuliers, l'eau souterraine sous forme de résurgence peut être d'une part captée par des caissons de béton à même le point de résurgence (Saint-Urbain et Baie-Saint-Paul), ou d'autre part captée par un bassin de rétention à ciel ouvert avant d'être acheminée vers les installations de distribution municipales (Les Éboulements et Forestville).

Milieux hydrogéologiques captés

10 municipalités captent l'eau souterraine dans les milieux aquifères granulaires (milieux perméables) :

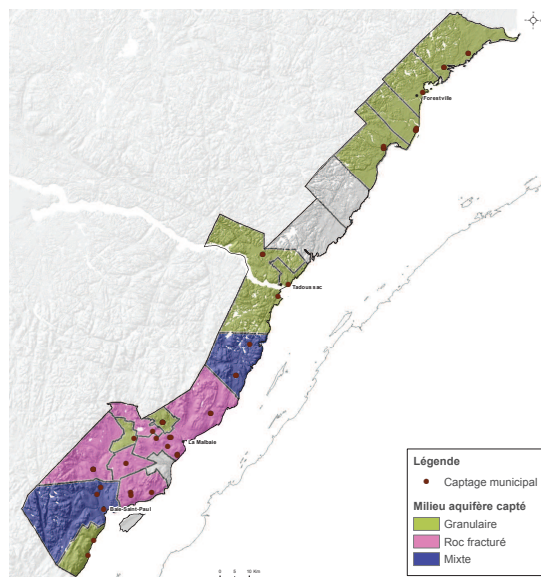
Colombier, Forestville, Portneuf-sur-Mer, Longue-Rive, Tadoussac, Sacré-Cœur, Baie-Saint-Catherine, Petite-Rivière-Saint-François, Clermont et Notre-Dame-des-Monts;

5 municipalités captent l'eau souterraine dans les milieux aquifères de roc fracturés (milieux semi-perméables) :

La Malbaie, Saint-Aimé-des-Lacs, Saint-Hilarion, Saint-Urbain et Les Éboulements;

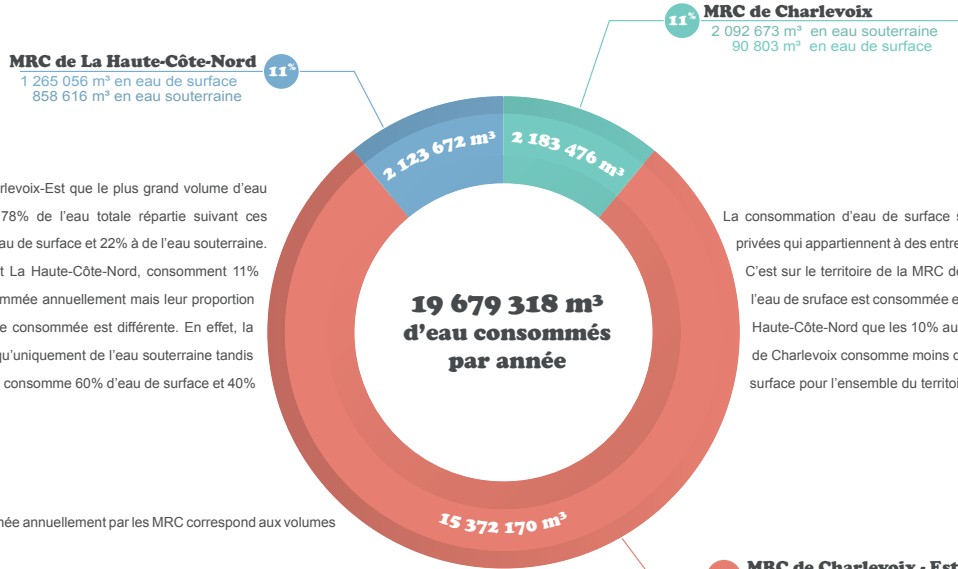
2 municipalités captent dans les deux milieux : Baie-Saint-Paul et Saint-Siméon.

Dans les MRC de Charlevoix et de Charlevoix-Est, ce sont principalement les milieux aquifères de roc fracturés (milieux semi-perméables) qui sont exploités par les municipalités pour l'alimentation en eau potable. Tandis que dans la MRC de La Haute-Côte-Nord, ce sont plutôt les milieux aquifères granulaires (milieux perméables) qui sont exploités.



Estimation des quantités d'eau de surface et souterraine prélevées par MRC

Un total de **19 679 318 m³** d'eau sont consommés annuellement pour l'ensemble du territoire de CHCN. 2/3 de l'eau consommée pour l'ensemble du territoire correspond à de l'eau de surface et **1/3 à de l'eau souterraine.**



C'est sur le territoire de la MRC Charlevoix-Est que le plus grand volume d'eau est consommé annuellement avec 78% de l'eau totale répartie suivant ces proportions : 78% correspond à de l'eau de surface et 22% à de l'eau souterraine. Les deux autres MRC, Charlevoix et La Haute-Côte-Nord, consomment 11% chacune de la totalité de l'eau consommée annuellement mais leur proportion d'eau de surface et d'eau souterraine consommée est différente. En effet, la MRC de Charlevoix consomme presque uniquement de l'eau souterraine tandis que la MRC de La Haute-Côte-Nord consomme 60% d'eau de surface et 40% d'eau souterraine.

La consommation d'eau de surface se fait à 93,5% par des installations privées qui appartiennent à des entreprises récréatives, des industries, etc. C'est sur le territoire de la MRC de Charlevoix-Est que près de 90% de l'eau de surface est consommée et c'est sur le territoire de la MRC de La Haute-Côte-Nord que les 10% autres sont consommés. La municipalité de Charlevoix consomme moins de 1% des volumes annuels en eau de surface pour l'ensemble du territoire CHCN.

La quantité d'eau de surface consommée annuellement par les MRC correspond aux volumes utilisés par :

- les quatre municipalités qui distribuent de l'eau de surface pour l'alimentation en eau potable de leur population;
- les installations privées, c'est-à-dire des industries et des entreprises récréatives, qui utilisent cette ressource soit dans leur procédé ou autre.

Estimation des quantités d'eau souterraine prélevées par usages

L'eau souterraine distribuée par les réseaux municipaux ou par les puits individuels sert à différents usages qui se divisent en trois catégories :

domestique, agricole et industriel-commercial-institutionnel (ICI). Une quatrième catégorie correspond aux **pertes dans les réseaux d'aqueduc.**

Le volume total d'eau souterraine consommée annuellement est estimé à **6 296 592 m³/an** :

- 52%** de ce volume sert à l'alimentation en eau potable pour usage domestique;
- 8%** sert pour l'approvisionnement en eau souterraine pour l'usage agricole, c'est-à-dire pour les fermes d'élevage;
- 25%** sert à l'approvisionnement en eau potable pour la catégorie des ICI;
- 15%** fuit par les réseaux de distribution ce qui constitue une perte.

La MRC de Charlevoix-Est consomme **53%** de toute l'eau souterraine consommée dans la région pour 39% de la population totale; la MRC de Charlevoix consomme **33%** de toute l'eau souterraine captée et sa population correspond à 33% de la population totale pour CHCN; la MRC de la Haute-Côte-Nord utilise **14%** du volume total d'eau souterraine utilisé pour CHCN et sa population correspond à 28% de la population totale.

MRC	Population		Usage domestique	Usage agricole	Usage ICI	Pertes en réseau	TOTAL	
	Nbre	%	m ³ /an	m ³ /an	m ³ /an	m ³ /an	m ³ /an	%
Charlevoix	13 338	33%	1 100 384	311 251	362 969	318 069	2 092 673	33%
Charlevoix-Est	16 046	39%	1 429 796	132 482	1 197 364	585 661	3 345 303	53%
La Haute-Côte-Nord	11 546	28%	720 901	35 636	21 550	80 529	858 616	14%
TOTAL	40 930		3 251 081	479 369	1 581 884	984 259	6 296 592	100%

Usage Domestique

La majorité de l'eau souterraine utilisée par chacune des MRC sert à un usage domestique dont 53% pour la MRC de Charlevoix, 43% pour la MRC de Charlevoix-Est et 84% pour la MRC de La Haute-Côte-Nord.

En considérant la population totale des trois MRC, 46% de la population était alimentée en eau potable en 2000 à partir d'eau souterraine provenant d'un réseau ou de puits individuels. Depuis, plusieurs municipalités ont choisi l'eau souterraine comme source d'alimentation en eau potable, si bien que la population totale de CHCN s'alimentant en eau potable à partir d'eau souterraine atteint 87% en 2011.

Usage Agricole

L'estimation des volumes d'eau souterraine pour l'usage agricole considère uniquement les fermes d'élevage. Ainsi si des fermes de culture (champs, serres, jardins) ont recours à l'irrigation, elles ne sont pas considérées dans cet usage, ce qui constitue une limite à la méthode.

Les principaux types d'élevage présents sur l'ensemble du territoire de CHCN correspondent à des élevages de porcs pour l'engraissement, de poulets à griller, de bovins laitiers et de boucherie. Plusieurs autres types d'élevage sont également présents tels les élevages de chevaux, de veaux, de moutons, de chèvres, d'autres volailles.

Usage industriel-commercial-institutionnel

En plus des services à la communauté, des institutions (écoles, hôpitaux, garderies, etc.), les activités industrielles-commerciales-institutionnelles (ICI) correspondent à des activités industrielles et récréatives liées au développement des industries touristiques et forestières.

Au total, 25% de l'eau souterraine prélevée sert aux usages de type ICI.

Perte en réseau

Les pertes en réseau représentent 15% du volume total d'eau souterraine prélevée sur le territoire des trois MRC.

Ces quantités de pertes sont basées sur l'hypothèse que 20% de l'eau distribuée dans chacun des réseaux est perdue par les fuites. Sachant que la Stratégie québécoise d'économie d'eau potable du ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire (MAMROT) vise la réduction des pertes d'eau en réseau à moins de 20% de l'eau distribuée. Il est donc fort probable que la moyenne des pertes en réseau réelle soit supérieure à 20%.

Qualité de l'eau souterraine

Les substances indésirables peuvent se retrouver dans l'eau souterraine de façon naturelle en raison des caractéristiques géologiques du milieu ou peuvent découler des activités anthropiques présentes à proximité. Au Québec, le MDDELCC et Santé Canada définissent respectivement les concentrations maximales permises et recommandées pour différents paramètres physicochimiques et microbiologiques de l'eau potable.

Les concentrations maximales acceptables (CMA)

Les concentrations maximales acceptables (CMA) sont des normes de qualité, exigées par le Règlement sur la qualité de l'eau potable (Q-2, r.40) de la Loi sur la qualité de l'environnement du Québec, visant à éviter des risques pour la santé humaine.

L'eau de mon puits est-elle néfaste pour la santé ?

Mon eau est jaune !

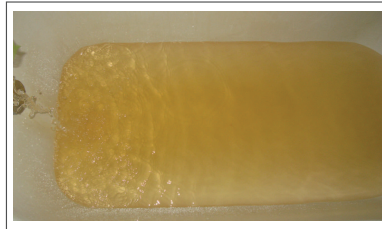
Les objectifs esthétiques (OE), recommandés par le Comité fédéral-provincial-territorial sur les eaux potables (Santé Canada), sont des recommandations pour les paramètres ayant un impact sur les caractéristiques esthétiques de l'eau (couleur, odeur, goût), mais n'ayant pas d'effet néfaste reconnu sur la santé humaine. Les paramètres dont la présence peut entraîner la corrosion ou l'entartrage des puits ou des réseaux d'alimentation en eau sont aussi visés par ces objectifs.

Les objectifs esthétiques (OE)

Comment la qualité de l'eau se modifie ?

Les variations anthropiques

Un grand nombre de substances solubles peuvent intégrer les eaux souterraines à la suite de pollutions ponctuelles ou diffuses. Suivant l'importance des événements de pollution la qualité des eaux souterraines peut ainsi être modifiée à court, moyen ou très longs termes.



Exemple d'eau riche en fer et manganèse

Les variations naturelles

Naturellement la matrice dans laquelle circule les eaux souterraines peut se dissoudre. Cette dissolution engendre une minéralisation des eaux. Ces mécanismes de dissolution sont très lents et encore méconnus.

70

ATLAS HYDROGÉOLOGIQUE des territoires de CHARLEVOIX, de CHARLEVOIX-EST et de La HAUTE-CÔTE-NORD

Dépassements des concentrations maximales acceptables (CMA)

Parmi les 114 puits échantillonnés en 2013 et 2014 pour le projet PACES-CHCN, l'eau de 4 puits ne respectaient pas la norme pour l'uranium et celle de 7 puits se situaient au-dessus des concentrations acceptables pour le fluorure. Le tableau suivant contient les statistiques sur l'analyse de l'uranium et du fluorure et la carte localise les échantillons avec le nombre de dépassements.

Paramètre	Nombre d'analyse	Nombre de détection	Min	25%	Médiane	75%	Max	CMA	Nombre d'analyse	
									affichant un dépassement	Nombre de puits affichant un dépassement
U (mg/L)	126	24	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	5	4
F (mg/L)	126	77	0.1	0.2	0.3	0.7	4.5	1.5	11	7

Uranium

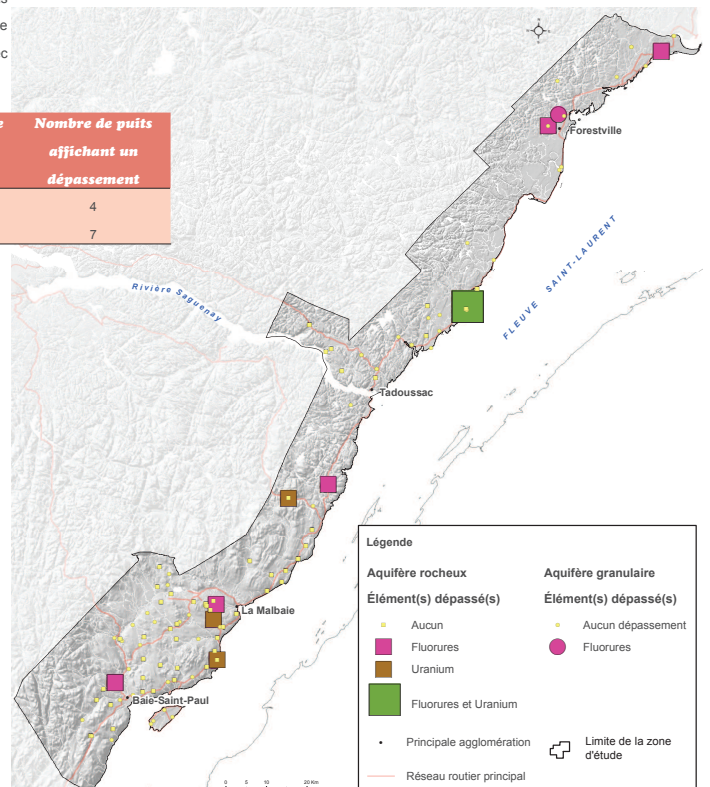
L'uranium est détecté dans l'eau souterraine dans 3% des puits échantillonnés. Cinq concentrations supérieures à 0,02 mg/l ont été mesurées. Deux de ces concentrations ont été mesurées dans l'eau du même puits, mais pour deux années différentes (2013 et 2014). Tous les dépassements notés se situent très près de la norme soit 0,022 mg/l et les échantillons proviennent tous d'un milieu aquifère fracturé.

L'uranium est un élément naturel qui se retrouve couramment dans le granite, le grès alcalin ou le schiste argileux. Les puits situés dans un substrat rocheux composé de l'une de ces trois lithologies risquent d'avoir des concentrations en uranium plus élevées. La présence d'uranium dans l'eau potable peut avoir un effet sur la santé et affecter les reins.

Fluorure

Les résultats obtenus dans le cadre du projet PACES-CHCN montrent que 6% des puits échantillonnés contiennent une eau avec des concentrations en fluorure supérieures à la norme (1,5 mg/l). Tous les échantillons à l'exception d'un seul proviennent d'un milieu aquifère fracturé. La concentration maximale observée (4,5 mg/l) provient de l'eau d'un puits situé sur le territoire de la municipalité des Escoumins. Cet échantillon affiche aussi un dépassement pour l'uranium et est situé dans un aquifère rocheux.

À de faibles concentrations, le fluorure peut être bénéfique pour la santé de nos dents puisqu'il a pour effet de prévenir la carie. Lorsque sa concentration dépasse celle recommandée, le fluorure peut causer l'apparition de taches blanches sur les dents (fluorose modérée).



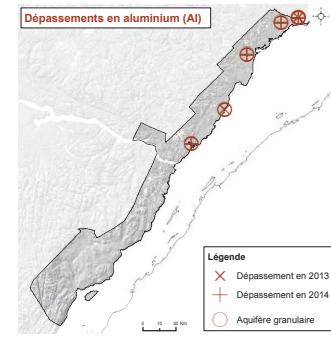
71

ATLAS HYDROGÉOLOGIQUE des territoires de CHARLEVOIX, de CHARLEVOIX-EST et de La HAUTE-CÔTE-NORD

Dépassements des objectifs esthétiques(OE)

Concentrations supérieures aux objectifs esthétiques pour les ions métalliques aluminium, fer et manganèse, les sulfures, les ions majeurs sodium et chlorure, la dureté ainsi que les paramètres mesurés *in situ* MDT, pH et température.

Paramètre	Nombre d'analyse	Nombre de détection	Min	25%	Médiane	75%	Max	OE	Nombre d'analyse affichant un dépassement	Nombre de puits affichant un dépassement
Al (mg/l)	126	41	0.01	0.02	0.05	0.07	0.73	0.1	6	5
Fe (mg/l)	126	27	0.12	0.19	0.73	1.4	25	0.3	17	10
Mn (mg/l)	126	98	0.00	0.00	0.01	0.04	2.2	0.05	21	14
Sulfures (mg S/L)	4	1	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.05	1	1
Na (mg/L)	126	126	1	3.4	5.8	17.5	620	200	4	3
Cl (mg/L)	126	126	0.3	1.1	3.9	19	580	250	5	3
Dureté estimée	126	91	1.4	43.2	55.2	87.7	369.4	200	4	3
MDT estimée	126	91	36.5	101.4	131.1	328.8	2009.4	500	11	6
pH	126	124	5.4	6.5	7.1	8.1	9.6	6.5 - 8.5	46	39
Température (°C)	126	124	4.9	6.7	7.5	8.4	19.5	15	3	3

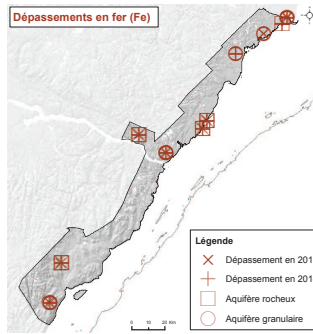


Aluminium

Les échantillons montrant des concentrations supérieures (5% des échantillons) aux objectifs esthétiques pour l'aluminium (0,1 mg/l) sont tous situés sur la Haute-Côte-Nord. Ils proviennent tous aussi d'un milieu aquifère granulaire (poreux).

L'échantillon possédant la plus grande concentration d'aluminium provient d'un puits situé sur la limite nord de la municipalité de Colombier.

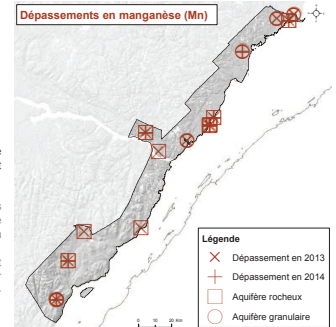
L'aluminium dans l'eau provient de différentes sources. Sa concentration dans l'eau souterraine peut être expliquée par le lessivage des argiles ou par l'altération des roches ignées.



Fer et manganèse

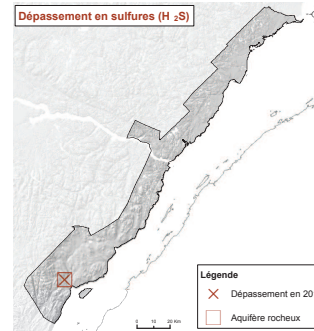
Les échantillons affichant un dépassement en fer sont souvent ceux affichant aussi un dépassement en manganèse. Ceci s'explique par le fait que ces deux éléments se trouvent dans les mêmes minéraux.

Sur le territoire de CHCN, environ 8% des puits échantillonnés dans le cadre de cette étude présentent des concentrations pour le fer supérieures à l'objectif esthétique (0,3 mg/l). Le manganèse présente un nombre un peu plus important de cas (11% des puits échantillonnés et 17% des échantillons) de concentrations supérieures à l'objectif esthétique (0,05 mg/l).



La concentration maximale observée à la fois en fer et en manganèse provient du même puits privé. Ce puits est situé à Sacré-Coeur et exploite un milieu aquifère de type roc fracturé.

Les concentrations élevées en fer et manganèse sont surtout causées par la présence de minéraux ferreux tels que l'hématite, la magnétite et la pyrite, que l'on trouve dans différentes unités géologiques de la région : les grès, les dolomies, certains calcaires, l'argile et le till. La présence de fer et manganèse est souvent l'explication d'un goût métallique ou d'une couleur anormale de l'eau et peut occasionner des taches de couleur rouille, orange ou grise sur les appareils sanitaires et les vêtements.



Les sulfures

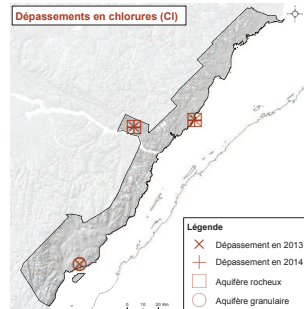
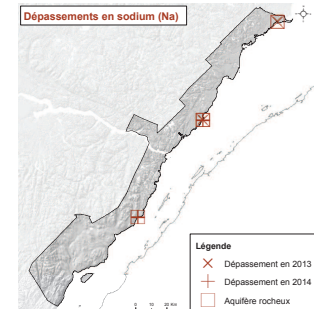
Les sulfures sont contenus en partie sous forme de gaz dans l'eau. Or, lorsqu'ils sont présents, ils dégagent une forte odeur de soufre (œuf pourri). Puisque l'odeur doit généralement être très forte pour que les sulfures soient détectés à l'analyse, seulement les échantillons sélectionnés au moment de la collecte sur le terrain sont analysés. Sur le territoire de CHCN, sur 4 analyses pour les sulfures, un seul échantillon présente une concentration supérieure au critère esthétique. Cet échantillon provient d'un milieu aquifère fracturé et affiche une concentration (0,44 mg/l) près de deux neuf fois supérieure à la norme (0,05 mg/l).

Une eau trop sulfureuse peut corroder la tuyauterie.

UNE RESSOURCE À PROTÉGER

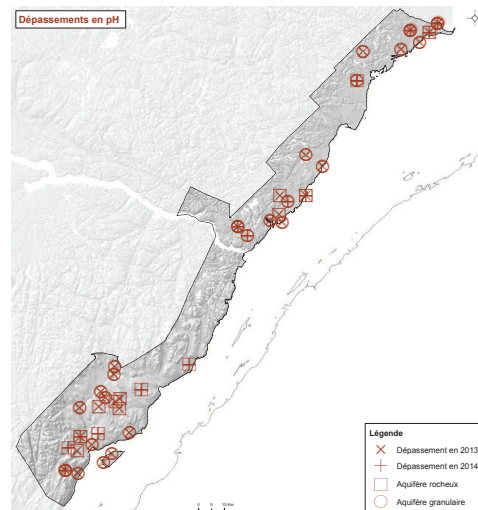
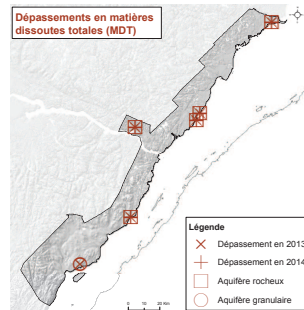
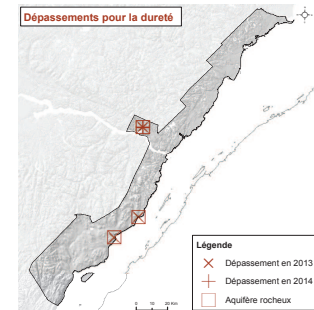
Le sodium et les chlorures

Habituellement, les dépassements en sodium sont associés aux dépassements en chlorures. La plupart des dépassements se situent dans un milieu aquifère fracturé. L'échantillon affichant la concentration maximale de sodium (620 mg/l) provient d'un puits privé situé dans la municipalité des Escoumins près des berges du fleuve Saint-Laurent. Ce même échantillon montre aussi la plus haute concentration en chlorure (580 mg/l). L'eau affichant un excès de sodium et de chlorures est caractérisée par un goût salé.



La dureté et la matière dissoute totale (MDT)

Les concentrations supérieures aux objectifs esthétiques de la dureté (200 mg/l) représentent 3% des échantillons analysés. Ces cas sont strictement situés dans des milieux aquifères fracturés. Comme les concentrations élevées en matières dissoutes totales (MDT) sont causées par la présence d'ions dans l'eau, elles sont souvent associées à une dureté élevée. Sur le territoire de CHCN, les concentrations élevées de MDT semblent aussi causées par les grandes quantités de sodium (Na) et de chlorures (Cl). Une concentration élevée en MDT n'est pas un inconvénient en soi, tout dépend de la nature des ions dissous.



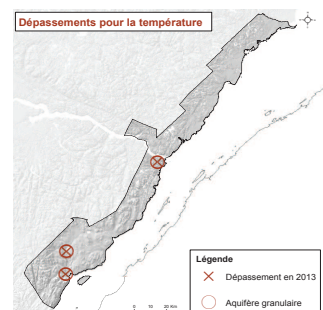
Le pH

Les valeurs inférieures ou supérieures à l'intervalle permis du pH (6,5 - 8,5) constituent les dépassements les plus nombreux des objectifs esthétiques (37% des échantillons). Les milieux granulaires semblent caractérisés par des valeurs de pH généralement faibles pour lesquelles un échantillon sur quatre ne respecte pas les objectifs esthétiques de ce paramètre (<6,5). L'eau dans les milieux aquifères fracturés montre des valeurs de pH majoritairement supérieures à ceux de l'eau souterraine des milieux granulaires.

Un pH trop acide peut corroder la tuyauterie et, par conséquent, donner un goût métallique à l'eau.

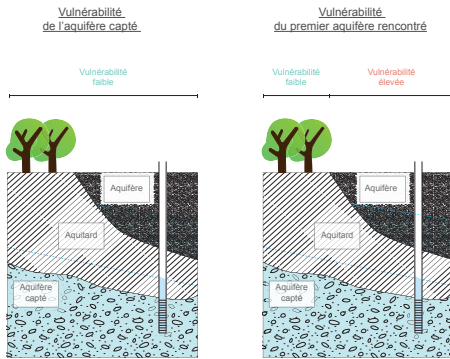
La température

Parmi tous les échantillons prélevés sur le territoire de CHCN, seulement 2% des échantillons affichaient une température supérieure à 15°C. Les dépassements se situent tous dans le secteur de Charlevoix et proviennent d'un milieu aquifère granulaire.



Vulnérabilité

La vulnérabilité se définit comme étant « la sensibilité de l'aquifère à toute contamination provenant de la surface du sol ». La vulnérabilité de l'aquifère situé le plus près de la surface a été évaluée pour l'ensemble du territoire de la région de CHCN. Cette dernière peut être différente de la vulnérabilité de l'aquifère capté. Les deux prochaines figures illustrent cette différence.



La vulnérabilité des aquifères à la contamination est définie suivant la méthode de l'indice DRASTIC. Cette méthode paramétrique pondérée pour l'estimation de la vulnérabilité des aquifères a été développée par la U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). Cette méthode utilise sept paramètres, chaque lettre de DRASTIC correspond à un paramètre caractéristique du milieu aquifère (Aller et al., 1987)⁽¹⁾ et influence la vulnérabilité des eaux souterraines.

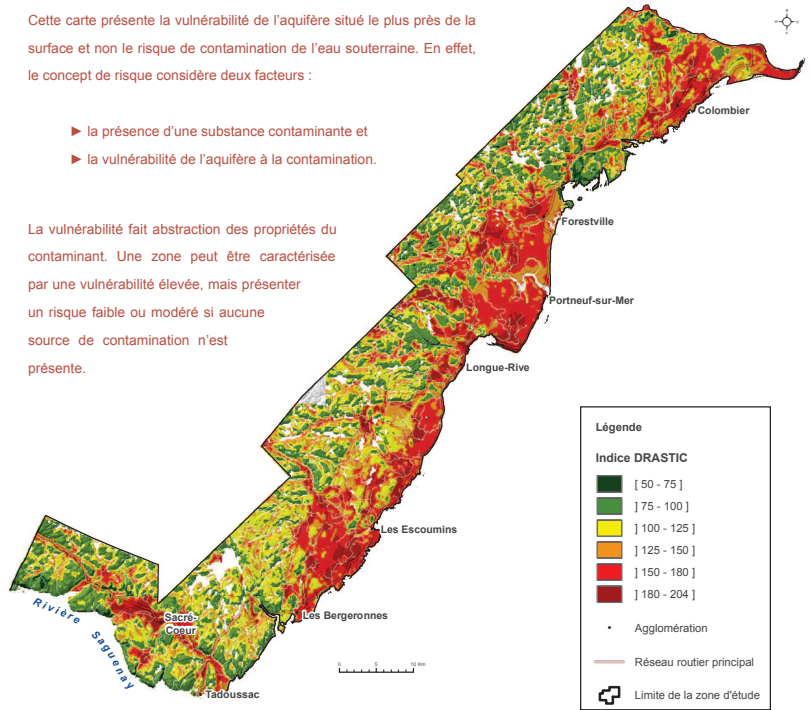
(1) Aller, L., Bennett, T., Lehr, J., Petty, R. et Hackett, G., 1987. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrologic Setting. National Water Well Association, Dublin Ohio / EPA Ada, Oklahoma, USA. EPA-600/2-87-035.

Vulnérabilité ou risque ?

Cette carte présente la vulnérabilité de l'aquifère situé le plus près de la surface et non le risque de contamination de l'eau souterraine. En effet, le concept de risque considère deux facteurs :

- la présence d'une substance contaminante et
- la vulnérabilité de l'aquifère à la contamination.

La vulnérabilité fait abstraction des propriétés du contaminant. Une zone peut être caractérisée par une vulnérabilité élevée, mais présenter un risque faible ou modéré si aucune source de contamination n'est présente.



UNE RESSOURCE À PROTÉGER

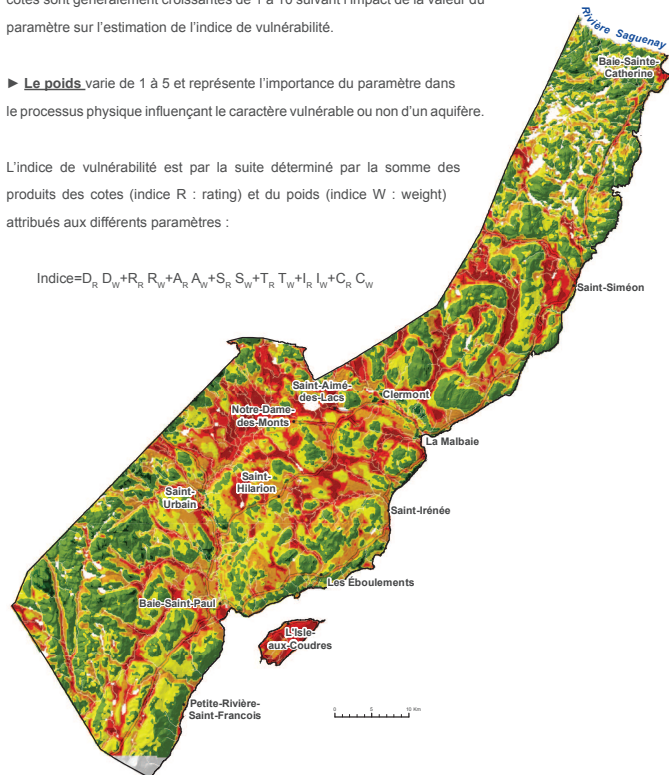
Chaque paramètre est défini par sa cote et son poids :

► **La cote** correspond à un intervalle de valeurs ou à un type de milieu. Ces cotes sont généralement croissantes de 1 à 10 suivant l'impact de la valeur du paramètre sur l'estimation de l'indice de vulnérabilité.

► **Le poids** varie de 1 à 5 et représente l'importance du paramètre dans le processus physique influençant le caractère vulnérable ou non d'un aquifère.

L'indice de vulnérabilité est par la suite déterminé par la somme des produits des cotes (indice R : rating) et du poids (indice W : weight) attribués aux différents paramètres :

$$\text{Indice} = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w$$



D - Profondeur de la nappe

Ce paramètre correspond à la profondeur de l'eau souterraine à partir de la surface du sol. Pour le projet PACES-CHCN, la profondeur de l'eau est déduite de la piézométrie régionale.

R - Recharge

Ce paramètre fournit le taux de recharge annuelle qui percole dans le sol de la surface jusqu'au toit de la nappe. Dans le cadre du projet PACES-CHCN ce paramètre correspond à la recharge moyenne sur une période de 5 ans (de 2005 à 2009).

A - Milieu aquifère

La circulation de l'eau souterraine est fortement influencée par la perméabilité, la composition et la porosité du milieu aquifère qui la contient. De façon générale, plus le milieu est poreux, plus la circulation d'eau est rapide et plus la vulnérabilité est élevée. Ce milieu aquifère représente le premier aquifère intercepté à partir de la surface.

S - Type de sol

De façon analogue à la perméabilité du milieu aquifère considéré, la texture et la structure du premier mètre de sol influencent la circulation et surtout l'infiltration de l'eau souterraine. De façon générale, plus le sol présente une granulométrie grossière, plus sa perméabilité est élevée et plus la vulnérabilité sera élevée. Dans le cadre du projet PACES-CHCN, ce paramètre est issu de la carte des dépôts de surface du MERN.

T - Pente du sol

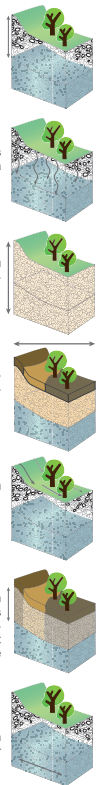
La pente du sol est un élément contrôlant le ruissellement et, de ce fait, elle influe sur les capacités d'infiltration de l'eau et donc sur la recharge de l'aquifère. Dans le cadre du projet PACES-CHCN ce paramètre est issu de la topographie.

I - Impact de la zone vadose

La zone vadose représente la zone non saturée du sous-sol, soit celle située entre le sol et le toit de la nappe. De façon analogue à la perméabilité du milieu aquifère considéré, ainsi qu'à la texture et la structure du premier mètre de sol, les caractéristiques de la zone vadose influencent la circulation et surtout l'infiltration de l'eau souterraine. De façon générale, plus la zone vadose présente une stratigraphie perméable, plus la vulnérabilité sera élevée. La zone vadose étant représentative du premier environnement rencontré depuis la surface, les cartes géologiques (roc et quaternaire) ont été utilisées pour identifier cet environnement.

C - Conductivité hydraulique

La conductivité hydraulique (K) contrôle l'écoulement souterrain. Ce paramètre permet de quantifier la capacité d'un milieu aquifère à laisser circuler l'eau qu'il contient. De façon générale, plus K est élevé, plus un contaminant peut migrer rapidement et plus la vulnérabilité sera considérée élevée.



Activités potentiellement polluantes

L'eau souterraine peut contenir des substances nocives, qui peuvent être d'origine naturelle, mais aussi de cause anthropique. Bien sûr, plusieurs activités anthropiques sont présentes sur le territoire de CHCN. Certaines activités représentent un potentiel de contamination pour l'eau souterraine plus élevé que d'autres. La localisation et la classification des activités selon leur niveau d'impact potentiel sur l'eau souterraine sont réalisées avec les codes d'utilisation des biens-fonds (CUBF).

Pour chacune des activités jugées pertinentes et listées dans le tableau ACTIVITÉS ANTHROPIQUES POUVANT AVOIR UN IMPACT SUR L'EAU SOUTERRAINE, quatre paramètres sont évalués de manière qualitative, soient la toxicité des produits présents, la quantité de produits manipulés, la superficie exploitée par l'activité et la récurrence des rejets possibles vers l'environnement, c'est-à-dire accidentels (e.g. un déversement accidentel) ou fréquents (e.g. rejets industriels contrôlés ou application d'engrais ou de pesticides).

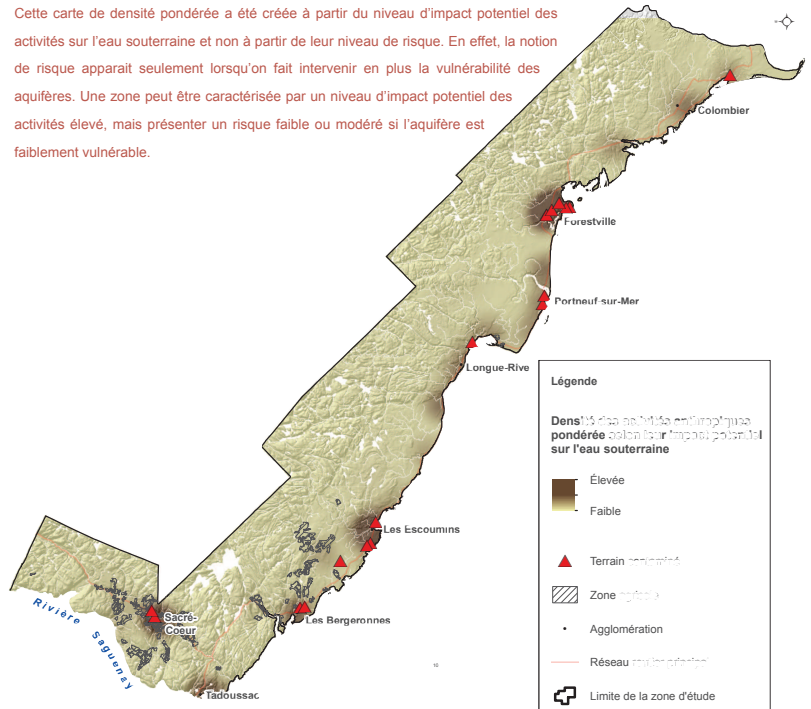
Les quatre paramètres sont d'abord pondérés. L'impact global est ensuite calculé en combinant les quatre paramètres à partir de la formule suivante :

$$\text{Impact potentiel} = \left(\text{Toxicité des contaminants} + \text{Quantité de contaminants} + \text{Zone d'impact de l'activité} \right) \times \text{Récurrence de rejets de contaminants}$$

Même si cette formule nous permet de quantifier l'impact potentiel lié à chaque activité, l'évaluation globale de ce dernier demeure qualitative. Cette évaluation vise à attribuer à chaque activité un poids relatif afin de permettre la préparation d'un portrait régional de la pression des activités anthropiques, sur la qualité des ressources en eau souterraine. Cet outil est destiné à une analyse régionale et ne peut remplacer la nécessité d'évaluer ponctuellement l'impact de chaque activité dans le cas de problématiques plus locales.

Impact potentiel ou risque ?

Cette carte de densité pondérée a été créée à partir du niveau d'impact potentiel des activités sur l'eau souterraine et non à partir de leur niveau de risque. En effet, la notion de risque apparaît seulement lorsqu'on fait intervenir en plus la vulnérabilité des aquifères. Une zone peut être caractérisée par un niveau d'impact potentiel des activités élevé, mais présenter un risque faible ou modéré si l'aquifère est faiblement vulnérable.

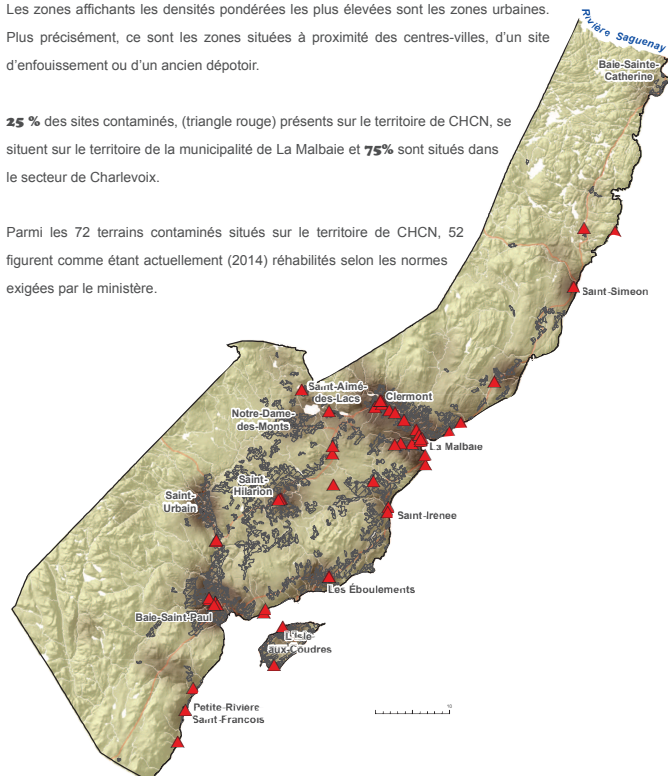


UNE RESSOURCE À PROTÉGER

Les zones affichant les densités pondérées les plus élevées sont les zones urbaines. Plus précisément, ce sont les zones situées à proximité des centres-villes, d'un site d'enfouissement ou d'un ancien dépotoir.

25 % des sites contaminés, (triangle rouge) présents sur le territoire de CHCN, se situent sur le territoire de la municipalité de La Malbaie et **75 %** sont situés dans le secteur de Charlevoix.

Parmi les 72 terrains contaminés situés sur le territoire de CHCN, 52 figurent comme étant actuellement (2014) réhabilités selon les normes exigées par le ministère.



ACTIVITÉS ANTHROPIQUES POUVANT AVOIR UN IMPACT SUR L'EAU SOUTERRAINE CHCN

CUBF	Description	Nombre d'entités	
Niveau d'impact TRÈS ÉLEVÉ 34			
4854	Enfouissement sanitaire	5	
4855	Dépotoir ou ancien dépotoir (MRC)	25	
4874	Récupération et triage de métaux	4	
Niveau d'impact ÉLEVÉ 25			
3019	Autres industries d'impression commerciale	1	8120 Ferme (les céréales sont la récolte prédominante)
3140	Fonderie de fer	1	8142 Ferme (d'autres fruits sont la récolte prédominante)
3399	Autres industries de la machinerie et de l'équipement industriel	1	8144 Ferme (d'autres légumes sont la récolte prédominante)
3470	Industrie de la construction et de la réparation de navires	2	8150 Ferme (produits laitiers prédominants à plus de 50 %)
3821	Industrie d'engrais chimiques et d'engrais composés	1	8161 Ferme et ranch (animaux de boucherie à plus de 50 %)
3998	Industrie d'apprêtage et de teinture de fourrure	1	8162 Ferme et ranch (porcs à plus de 50 %)
4311	Aéroport et aérodrome	4	8163 Ferme et ranch (moutons à plus de 50 %)
4823	Transport et gestion du gaz par canalisation	1	8165 Ferme et ranch (chevaux à plus de 50 %)
6242	Cimetières	11	8170 Ferme (la volaille prédominante à plus de 50 %)
8541	Pierre de taille	2	8180 Ferme en général (aucune prédominance)
Niveau d'impact MODÉRÉ 20 934			
1000	Logement	13 304	8191 Terrain de pâture et de pacage (non intégré à une ferme ou à un ranch appartenant en général au domaine public)
1100	Chalet ou maison de villégiature	3 097	8192 Serre, spécialité de la floriculture (semence de fleurs)
1211	Maison mobile	1 260	8199 Autres activités agricoles et connexes
1521	Local pour les associations fraternelles	2	8311 Production du bois (bois de pulpe)
1522	Maison des jeunes	3	8312 Production du bois (bois de sciage prédominant)
1541	Maison pour personnes retraitées non autonomes (inclut les CHSLD)	11	8317 Produit du bois et des arbres (usage mixte)
1543	Maison pour personnes retraitées autonomes	9	8319 Autres productions forestières et services connexes
1552	Monastère	1	8321 Pépinière sans centre de recherche
1553	Presbytère	6	8329 Autres services forestiers
1559	Autres maisons d'institutions religieuses	3	8331 Production de tourbe
1590	Autres locaux de groupes	2	8390 Autres activités forestières et services connexes
1600	Hôtel résidentiel	1	Niveau d'impact FAIBLE 172
1890	Autres résidences provisoires	2	2081 Industrie de confiseries chocolatées
1911	Pourvoirie avec droits exclusifs	31	2093 Industrie de la bière
1912	Pourvoirie sans droits exclusifs	30	3630 Industrie de produits en pierre
1913	Camp de chasse et pêche	103	3649 Autres industries de produits en béton
1914	Camp forestier	135	3650 Industrie du béton préparé
1990	Autres immeubles résidentiels	628	3662 Industrie de produits en verre (sauf les contenants en verre)
2713	Industrie de produits de scierie et d'ateliers de rabotage	15	4811 Centrale hydraulique ou hydroélectrique
2793	Industrie de panneaux de particules et de fibres	1	4812 Éolienne
2799	Autres industries du bois	3	4819 Autres activités de production d'énergie
2913	Industrie du papier journal	1	4841 Usine de traitement des eaux usées
2919	Autres industries du papier	1	4879 Autres activités de récupération et de triage
3252	Industrie de fils et de câbles métalliques	1	5811 Restaurant et établissement avec service complet (sans terrasse)
4849	Autres systèmes d'égouts	1	5812 Restaurant et établissement avec service complet (avec terrasse)
5531	Station-service avec réparation de véhicules automobiles	25	6411 Service de réparation d'automobiles (garage)
5533	Station libre-service ou avec service et dépanneur sans réparation de véhicules automobiles	17	8193 Rucher
5593	Vente au détail de pièces de véhicules automobiles et d'accessoires usagés	4	8194 Ferme (produits de l'élevage à plus de 50 %)
6413	Service de débousselage et de peinture d'automobiles	9	8421 Pisciculture
6415	Service de remplacement de pièces et d'accessoires d'automobiles	1	8429 Autres services d'élevage du poisson
7412	Terrain de golf (avec chalet et autres aménagements sportifs)	4	8543 Extraction du sable et du gravier
TOTAL			21 165

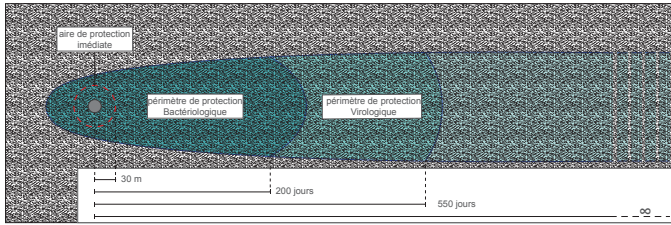
Protection de la ressource en eaux souterraines

Les eaux souterraines constituent un réservoir important d'eau potable. En milieu urbain ou industriel, celles-ci peuvent devenir rapidement fragiles à la surexploitation ou à la contamination. Les hydrogéologues, les acteurs du milieu et le gouvernement du Québec mettent ainsi en place des outils et un cadre législatif pour une protection et une exploitation rationnelle de la ressource.

Aires d'alimentation et de protection des captages

Tel qu'illustré, l'aire d'alimentation correspond à la surface sur laquelle toute l'eau qui s'y infiltre sera captée un jour ou l'autre par l'ouvrage de captage. Les aires de protections constituent une partie de cette aire d'alimentation qu'il est indispensable de protéger convenablement, on distingue :

- l'aire de protection immédiate qui correspond à un cercle de 30 m de rayon autour de l'ouvrage;
- le périmètre de protection bactériologique correspondant à un temps de résidence de 200 jours;
- le périmètre de protection virologique correspondant à un temps de résidence de 550 jours.



Au Québec, il est exigé par le Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (RPEP) d'estimer l'aire d'alimentation de tout ouvrage de captage servant à l'alimentation en eau potable de 21 personnes et plus.

Le tableau ci contre présente le nombre d'ouvrages de captage municipaux et le nombre d'aires d'alimentation disponibles dans le cadre du projet PACES-CHCN. Au total, 30 figures représentant l'aire d'alimentation d'un ou de plusieurs puits sont extraites des rapports de consultants récupérés auprès des municipalités. Certains puits

ont plus d'une aire d'alimentation estimée. En effet, en changeant certains paramètres dont le débit de captage du puits, l'aire d'alimentation d'un puits peut être modifiée. La liste présentée au tableau n'est pas exhaustive, elle a été créée à partir de l'inventaire réalisé par l'équipe du CERM dans le cadre du projet PACES-CHCN. Toutefois, un recensement précis des aires d'alimentation et de protection des puits de captage est fortement recommandé dans le futur.

Territoire	Nombre d'ouvrages de captage	Nombre d'aires d'alimentation
MRC CHARLEVOIX	12	4
Baie-Saint-Paul	3	2
Les Éboulements	3	Nd
L'Isle-aux-Coudres		non applicable
Petite-Rivière-Saint-François	2	Nd
Saint-Hilarion	1	2
Saint-Urbain	3	Nd
MRC CHARLEVOIX-EST	10	11
Baie-Sainte-Catherine	1	1
Clermont	4	2
La Malbaie	8	8
Notre-Dame-des-Monts	1	Nd
Saint-Aimé-des-Lacs	1	Nd
Saint-Irénée		non applicable
Saint-Siméon	3	Nd
MRC de LA HAUTE-CÔTE-NORD	15	14
Colombier	4	Nd
Forestville	1	Nd
Sacré-Coeur	2	4
Les Bergeronnes		non applicable
Les Escoumins		non applicable
Longue-Rive	3	5
Portneuf-sur-Mer	4	5
Tadoussac	1	Nd
Total CHCN	45	29

Nd : Non disponible parmi les rapports d'étude hydrogéologique consultés

Les plans directeurs de l'eau (PDE)

En 2002, le gouvernement du Québec a établi la politique nationale de l'eau. Le but de cette politique étant la gestion de l'eau par bassin versant et la participation de la population à cette gestion.

Dans ce contexte les organismes de bassins versants (OBV) ont été mis en place pour «élaborer et mettre à jour un plan directeur de l'eau (PDE) et en promouvoir et suivre la mise en œuvre, en s'assurant d'une représentation équilibrée des utilisateurs et des divers milieux intéressés, dont le milieu gouvernemental, autochtone, municipal, économique, environnemental, agricole et communautaire, dans la composition de cet organisme» (Art. 14 (3) 1).

La gestion intégrée de l'eau

Cette politique s'inscrit dans une vision de gestion intégrée de l'eau. Elle représente ainsi un mode de gestion qui tient compte de l'ensemble des usages qui ont un impact sur la ressource eau. Cette approche permet d'avoir une vision globale et de connaître les effets cumulatifs des activités sur la ressource eau et sur les autres usages de l'eau.

Lorsque l'on considère les utilisations et les activités qui touchent l'eau de façon isolée, ces usages peuvent sembler avoir un effet négligeable sur la ressource, mais lorsqu'on les considère globalement, l'impact peut être majeur.

Les PDE

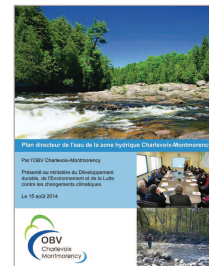
Les PDE s'inscrivent clairement comme un outil majeur dans la protection des eaux de surface et souterraines. Ce document de planification se compose :

- d'une analyse du territoire du bassin considéré (enjeux, qualité, quantité, sécurité, etc.);
- d'un diagnostic qui expose la causalité et les effets de problèmes rencontrés;
- d'un plan d'action qui permet de planifier les actions entreprises par les acteurs de l'eau afin d'atteindre les objectifs d'une saine gestion de la ressource en eau.

Une grande partie des objectifs et problèmes exposés dans les diagnostics des PDE concernent directement les eaux souterraines, notamment :

1. la réduction des risques de contamination en provenance des systèmes collectifs ou individuels de traitement des eaux usées ou liés aux usages agricoles;
2. le développement des connaissances sur la qualité des eaux souterraines;
3. la sensibilisation des propriétaires de puits à l'importance de vérifier la qualité de leur eau potable;
4. la réduction des usages inappropriés (gaspillage) de l'eau potable.

Selon les OBV, les PDE sont déposés auprès du MDDELCC ou en cours d'élaboration. Dans le cadre du projet PACES-CHCN :



<http://www.charlevoixmontmorency.ca>

• Le PDE de la rivière Les Escoumins et le PDE de la Zone de Gestion Intégrée en Eau de la Haute-Côte-Nord sont accessibles en version préliminaire via leur site internet :



<http://www.obvhautebotenord.org>

POUR PLUS D'INFORMATIONS

POUR PLUS D'INFORMATIONS

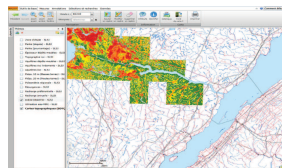
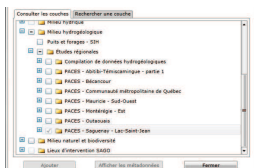
Diffusion des résultats

Outil du MDDELCC

L'intégralité des livrables cartographiques réalisés dans le cadre des projets PACES sont mis à la disposition du public via internet sur le site de diffusion cartographique du MDDELCC.

Ces données sont disponibles dans l'onglet «Études régionales» du catalogue ministériel de l'information géographique.

www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/souterraines/diffusion-carto-hydrogeologique.htm



Site internet du PACES de l'UQAC

Tous les livrables produits pour le PACES-CHCN sont disponibles en format PDF sur le site du PACES de l'UQAC.



Autres sources d'informations

- ▶ **Système d'information géomineière du Québec (SIGÉOM)** www.sigeom.mn.gouv.qc.ca
- ▶ **Système d'information hydrogéologique (SIH)** www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/souterraines/sih/
- ▶ **UQAC** : Groupe de recherche Risque Ressource Eau (R2Eau) Romain_Chesnaux@uqac.ca
Professeur Alain Rouleau : Alain_Rouleau@uqac.ca
- ▶ **Réseau québécois sur les eaux souterraines (RQES)** <http://rqes-gries.ca/>
- ▶ **Organisme des bassins versants de la Haute-Côte-Nord** www.obvhautecotenord.org
- ▶ **Organisme de bassins versants Charlevoix-Montmorency** www.charlevoixmontmorency.ca
- ▶ **Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ)** <https://www.cehq.gouv.qc.ca/>
- ▶ **Santé Canada** <http://www.hc-sc.gc.ca/>
- ▶ **Règlement sur la qualité de l'eau potable (RQEP)** <http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/>



© Jean-Pierre Lavoie