



Développement d'un modèle hydrogéologique conceptuel pour le bassin de la rivière Chaudière, Québec

Georges Forest et Nicolas Benoit

Tecsult inc., Montréal, Québec, Canada

Nadine Roy

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs

Miroslav Nastev

Commission géologique du Canada, Québec, Québec, Canada

ABSTRACT

Located south of Quebec City, the Chaudière River Watershed encompasses an area of 6695 km², from the American border to the St. Lawrence River. This is mainly an agricultural area where approximately 65% of the population relies on groundwater as their main source of drinking water. The regional aquifer comprises two major units: sedimentary rocks of the Appalachian geological province, and surficial granular bodies. This paper presents the development of a conceptual model for the regional groundwater flow. Estimated average recharge rates are highest in coarse sediments where they attain a mean of 273 mm, and are much lower in rock where the average is 64 mm. In general, the chemical analysis of 155 groundwater samples shows potable water and good esthetical quality in relation to drinking water standards. Over 600 measurements show that groundwater levels closely drape topographic features. The groundwater flow is thus mainly controlled by the local topography. As a result in the hydrogeological model developed in the course of study, it is judged that there is little groundwater flows on a regional scale, and furthermore there is not much or no exchange between sub-watersheds.

RÉSUMÉ

Le bassin versant de la rivière Chaudière, d'une superficie de 6695 km², s'étend de la frontière américaine jusqu'au fleuve Saint-Laurent. Il s'agit d'une région à vocation principalement agricole et où environ 65% de la population utilise l'eau souterraine comme principale source d'eau potable. L'aquifère régional se compose de deux unités principales : le substratum de roches sédimentaires de la province géologique des Appalaches et les aquifères granulaires superficiels. Cet article présente le développement d'un modèle conceptuel d'écoulement de l'eau souterraine pour l'aquifère régional. Le taux de recharge moyen estimé est relativement élevé dans les sédiments granulaires où il atteint une moyenne de 273 mm/an, et beaucoup plus faible pour le roc, soit 64 mm/an. Les analyses chimiques de 155 échantillons d'eau souterraine indiquent une eau généralement potable et de bonne qualité esthétique en comparaison aux normes en vigueur. La piézométrie de l'aquifère régional est étroitement liée aux caractéristiques topographiques du territoire. L'écoulement de l'eau souterraine est ainsi contrôlé par la topographie locale. Il en résulte que dans le modèle hydrogéologique développé au cours de cette étude, il est jugé qu'il y a très peu d'écoulement d'eau souterraine à l'échelle régionale, donc peu ou pas d'échange entre les sous-bassins.

1 INTRODUCTION

Le modèle hydrogéologique conceptuel, la cartographie hydrogéologique et la caractérisation géochimique présentés dans cet article ont été réalisés pour les secteurs Basse-Chaudière et Moyenne-Chaudière du bassin de la rivière Chaudière (COBARIC et UPA 2008). La cartographie hydrogéologique, réalisée à l'échelle régionale, inclut la définition de l'aquifère régional et de sa piézométrie, ainsi que l'évaluation et la distribution de la recharge et de la vulnérabilité de l'aquifère régional. La caractérisation géochimique a pour but d'évaluer la qualité naturelle de l'eau souterraine sur l'ensemble du territoire étudié.

Les travaux présentés ont été réalisés dans le cadre du Projet eaux souterraines de la Chaudière (COBARIC et UPA 2008), financé par le Programme d'approvisionnement en eau Canada-Québec, une initiative fédérale-provinciale d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et du ministère de

l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ).

2 SECTEURS À L'ÉTUDE

Le territoire du bassin versant de la rivière Chaudière occupe une superficie de 6695 km². Ce territoire se divise en trois secteurs, en fonction du profil de la rivière Chaudière : Basse-Chaudière, Moyenne-Chaudière et Haute-Chaudière. La présente étude couvre la Basse-Chaudière (partie aval du bassin) et la Moyenne-Chaudière (partie centrale du bassin), soit environ 54% de la superficie totale du bassin versant.

Le bassin de la rivière Chaudière est situé au sud de la ville de Québec. La figure 1 présente le bassin avec le modèle numérique de terrain en arrière plan. Les élévations varient de 3 à 1185 m. Le réservoir principal du bassin est le lac Mégantic (391 m) au sud et son exutoire est le fleuve Saint-Laurent (3 m) au nord.

Ce bassin regroupe deux grandes unités naturelles, soit les basses-terres du Saint-Laurent et les Appalaches

qui se distinguent de par leurs propriétés physiques telles le climat, le relief, la géologie, les sols et l'hydrographie. La partie aval du bassin (Basse-Chaudière) est en grande partie localisée dans les basses-terres du Saint-Laurent (75 % du territoire) tandis que la partie amont du bassin (Moyenne-Chaudière et Haute-Chaudière) fait entièrement partie des Appalaches.

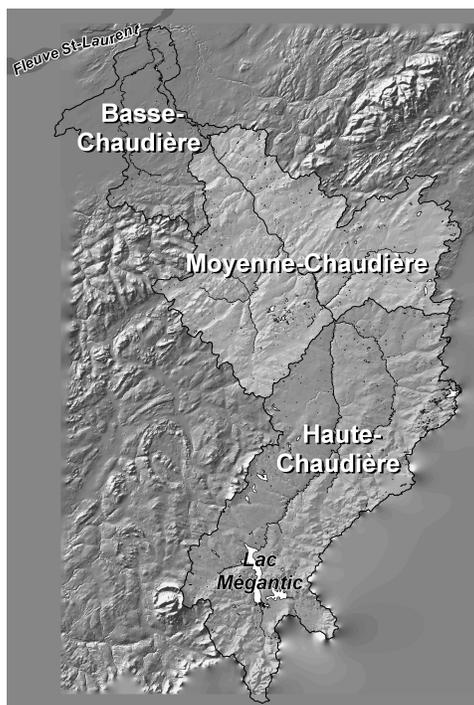


Figure 1. Zone à l'étude

3 MÉTHODOLOGIE

Le travail de cartographie hydrogéologique est essentiellement basé sur les données gouvernementales existantes, la cartographie géologique réalisée par l'UQAM (Caron et al.) à la demande du Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec en prévision d'une caractérisation hydrogéologique, ainsi que sur des données complémentaires acquises par le Comité de Bassin de la rivière Chaudière (COBARIC) dans le cadre du projet susmentionné. La méthodologie préconisée est fondée sur une approche évolutive permettant de préciser le modèle conceptuel d'écoulement en fonction de l'avancement de la cartographie et de l'accroissement des connaissances sur le milieu. La caractérisation géochimique est basée sur l'analyse de 155 échantillons d'eau souterraine prélevés à l'été 2007.

4 DÉFINITION DES AQUIFÈRES

4.1 Géologie régionale

La description de la géologie du bassin de la rivière Chaudière est basée sur la carte et le rapport de Slivitzky

(1987) et ceux de Caron (2007a, 2007b, 2007c). L'ensemble du bassin fait partie de la province géologique des Appalaches. Le socle rocheux, d'âge Cambrien à Dévonien inférieur, est principalement constitué de roches sédimentaires déformées et faiblement métamorphisées. Ces roches sont recouvertes de dépôts quaternaires d'épaisseurs variables.

La nature des roches à grains fins des formations rocheuses des secteurs à l'étude fait en sorte que la porosité primaire de celles-ci est négligeable; c'est la densité, l'aperture et le degré d'interconnexion des fractures (porosité secondaire) qui dictent la perméabilité du socle rocheux. Pour le bassin de la Chaudière, ces fractures présentent un potentiel hydrogéologique faible puisqu'elles sont principalement issues de mouvements de compression.

Selon les travaux de Caron et al. (2007a et 2007b), les dépôts meubles du bassin de la Chaudière sont composés majoritairement de sédiments marins littoraux, pré-littoraux et d'exondation, de sédiments glaciaires, de dépôts de couverture mince (ou absence) et de sédiments organiques. On retrouve de manière moins étendue des sédiments alluviaux, fluvioglaciaires, glaciolacustres, marins d'eau profonde et éoliens. De par leur nature, les matériaux constitués de sédiments alluviaux, fluvioglaciaires et marins littoraux forment de bons aquifères dans la mesure où le contexte hydrogéologique local fait en sorte qu'une épaisseur significative de l'horizon considéré est saturée. On les retrouve principalement dans l'axe de la rivière Chaudière et dans les vallées tributaires. Les sédiments éoliens, marins littoraux et d'exondation, glaciolacustres et les fluvioglaciaires (épandage proglaciaire) présentent un potentiel moyen. Les sédiments glaciaires peu perméables ont, pour leur part, un potentiel faible tandis que les sédiments organiques et marins d'eau profonde ont un potentiel jugé nul; ces deux derniers types de sédiments forment généralement des aquitards.

4.2 Identification de l'aquifère régional

Le bassin de la rivière Chaudière présente deux domaines aquifères, soit les aquifères du roc et les aquifères des horizons de dépôts meubles perméables (TECSULT, 2007a et 2007b).

La Basse-Chaudière se distingue de la Moyenne-Chaudière notamment par l'origine des sédiments quaternaires. En effet, le territoire de la Basse-Chaudière est couvert, par les dépôts de surface, à environ 48 % de matériau glaciaire ou de dépôts de couverture mince, alors que pour la Moyenne-Chaudière ces dépôts occupent près de 88 % du territoire. Cette différence vient principalement du fait que la Basse-Chaudière occupe l'ancien lit de la mer de Champlain où il y a prédominance de sédiments marins tandis que ce type de dépôts est pratiquement absent en amont du bassin.

Basé sur les cartes géologiques (roc et quaternaire) et les données extraites du Système d'information hydrogéologique du Québec (SIH), l'aquifère du socle rocheux se distingue des aquifères de dépôts meubles par l'existence d'un certain degré de continuité latérale et verticale, alors que les aquifères granulaires sont

discontinus sur le territoire. Pour l'ensemble des secteurs à l'étude, les transmissivités moyennes des aquifères rocheux, calculées à partir des données SIH ou de mesures de terrain, sont du même ordre de grandeur, soit $10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Il en résulte que l'aquifère du roc est jugé comme ayant un potentiel hydrogéologique faible à moyen reflétant le faible développement de réseaux de fracturation (porosité secondaire) dans ces formations rocheuses d'origine sédimentaire avec composante argileuse importante.

Dans les secteurs à l'étude, les aquifères du roc sont également le milieu aquifère majoritairement exploité pour l'approvisionnement en eau souterraine. Ces caractéristiques font en sorte que l'aquifère rocheux est identifié comme étant l'unité principale de l'aquifère régional et ce même si les formations rocheuses ne présentent que des capacités aquifères jugées de faibles à moyenne. En effet, il demeure que l'aquifère régional, associé à ces formations rocheuses, est en mesure de satisfaire les besoins de la plupart des utilisateurs agricoles, qui sont estimés inférieurs à $33 \text{ m}^3/\text{j}$ (Lemelin et al., en préparation).

D'autre part, les horizons de sédiments granulaires superficiels, principalement situés dans les vallées des rivières principales, même s'ils ne présentent pas de continuité latérale à l'échelle régionale, peuvent devenir un élément important du système hydrogéologique régional. En effet, considérant leur fort potentiel aquifère, lorsque saturé, ces horizons de sédiments granulaires peuvent constituer localement l'aquifère principal pour répondre à des besoins en eau tant pour le milieu agricole que pour les municipalités. Ces dépôts meubles sont considérés comme étant l'unité secondaire de l'aquifère régional.

4.3 Caractérisation physique de l'aquifère régional

L'aquifère régional a été caractérisé physiquement en fonction de son degré de confinement défini à partir du modèle numérique 3D des dépôts quaternaires (Caron et al. 2007c). Ce modèle présente la stratigraphie simplifiée avec les surfaces de contact entre les diverses unités quaternaires. La précision des épaisseurs des unités a été jugée satisfaisante pour la définition du degré de confinement. Les critères suivants ont été utilisés :

- condition non confinée (nappe libre) : caractérisée par des dépôts de couverture mince ($< 1 \text{ m}$);
- condition confinée : caractérisée par des formations sus-jacentes épaisses et peu perméables (till $> 5 \text{ m}$ et/ou argile $> 2 \text{ m}$);
- condition semi-confinée : condition intermédiaire, caractérisée par des formations sus-jacentes minces peu perméables (till $< 5 \text{ m}$ et/ou argile $< 2 \text{ m}$).

C'est donc la nature des dépôts sus-jacents et leur épaisseur qui contrôlent, en majeure partie, le niveau de confinement des aquifères. Cette définition du confinement ne tient pas compte des conditions de mise en pression de l'aquifère mais reflète davantage la capacité d'infiltration verticale de l'eau à partir de la surface.

La définition des contextes hydrogéologiques régionaux permet de mieux comprendre l'influence du

confinement sur la recharge, l'écoulement et la résurgence des eaux souterraines. Les horizons perméables des dépôts meubles sont considérés comme partie intégrante de l'aquifère régional lorsque leur épaisseur, basée sur le modèle quaternaire 3D, est supérieure à 3 m . Leur étendue latérale dans la zone à l'étude est restreinte. Une partie de ces dépôts est considérée en lien hydraulique avec l'aquifère du roc puisqu'elle repose sur des dépôts peu perméables de faible épaisseur (till $< 5 \text{ m}$ ou argile $< 2 \text{ m}$). Soulignons que le till, omniprésent dans la région, est d'épaisseur variable et constitue une unité semi-confinante. Il limite partiellement l'interaction entre les deux unités aquifères principales. Ce till permet toutefois la recharge au roc (toute eau infiltrée à travers le till va se rendre au roc) et les résurgences de cette eau vers les eaux de surface situées dans l'axe des vallées. Dans les deux cas, il s'agit d'un écoulement dans le till induit par les gradients verticaux. Il est à noter que l'écoulement latéral y est très limité par rapport à celui observé dans l'aquifère régional.

La figure 2 présente les divers contextes hydrogéologiques de l'aquifère régional en fonction de leur degré de confinement (TECSULT, 2007e et 2007f). Les endroits où l'aquifère est non confiné constituent généralement soit des zones de recharge principales lorsque le gradient hydraulique est descendant, soit des zones de résurgence lorsque le gradient est ascendant.

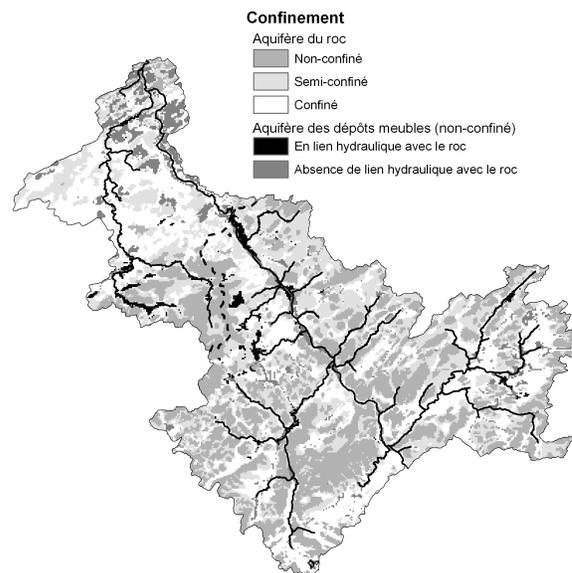


Figure 2. Contextes hydrogéologiques des aquifères

5 PIÉZOMÉTRIE RÉGIONALE

La définition de la piézométrie régionale est essentiellement basée sur les mesures de niveaux d'eau réalisées par le COBARIC pour la présente étude. Au total, plus de 600 mesures ont été effectuées dans des puits domestiques et municipaux.

Les analyses réalisées démontrent l'existence du lien hydraulique entre l'aquifère du roc et les dépôts meubles situés dans les vallées principales (zones de résurgence). Ces informations amènent à considérer que

ces dépôts meubles granulaires ne peuvent être dissociés de l'analyse qui est faite de la piézométrie de l'aquifère régional du roc.

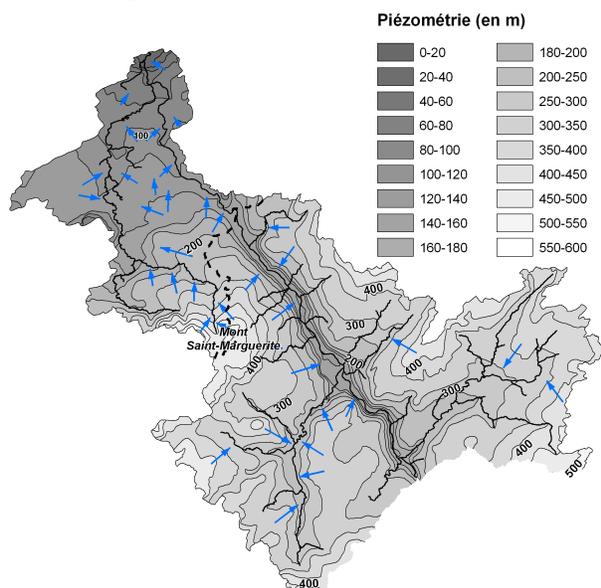


Figure 3. Piézométrie régionale

La figure 3 présente la piézométrie régionale définie à l'aide de traitements géostatistiques des données recueillies dans les puits retenus, auxquelles s'ajoutent des valeurs d'élévation des rivières principales, ainsi que des points fixes définissant les conditions en frontière du bassin (TECSULT, 2007c et 2007d).

Pour le secteur de la Basse-Chaudière, la piézométrie régionale indique une direction d'écoulement de la nappe vers le nord-ouest et le nord, et une diminution rapide des gradients hydrauliques horizontaux de l'amont (monts Sainte-Marguerite) vers l'aval hydraulique (fleuve Saint-Laurent). Pour le secteur de la Moyenne-Chaudière, les directions d'écoulements sont principalement dirigées vers les rivières principales (Chaudière et Bras St-Victor).

Ces gradients hydrauliques ne sont toutefois pas représentatifs de l'écoulement de la nappe d'eau régionale. Dans les faits, l'écoulement est davantage influencé par les réseaux hydrographiques et ce particulièrement en région à topographie accidentée. Il en résulte qu'il y a, régionalement, très peu de contribution en eau souterraine d'un sous-bassin à un autre.

La piézométrie régionale de la Basse-Chaudière se distingue nettement de celle de la Moyenne-Chaudière. Cette distinction est principalement causée par les reliefs très différents de ces deux secteurs du bassin; le relief de la Basse-Chaudière étant beaucoup moins accidenté que celui de la Moyenne-Chaudière. À titre comparatif, soulignons que la région des monts Sainte-Marguerite, un des rares endroits de la Basse-Chaudière à topographie accidentée, présente des gradients piézométriques élevés et des directions d'écoulements similaires à celles observées dans la Moyenne-Chaudière (c'est-à-dire vers les rivières).

6 RECHARGE DE L'AQUIFÈRE RÉGIONAL

La recharge a été évaluée pour la première unité rencontrée de l'aquifère régional, c'est-à-dire soit pour l'aquifère du roc, soit pour les horizons de dépôts meubles granulaires. Pour ce faire, plusieurs types de données ont été intégrés ou utilisés afin de paramétrer le modèle hydrologique HELP (Schroeder et al. 1994).

6.1 Analyse des données et paramétrisation du modèle

L'évaluation de la recharge à partir du modèle HELP nécessite un nombre considérable de données et une paramétrisation complexe. Ces données et ces paramètres portent sur la météorologie, la pédologie, la géologie (roc et dépôts quaternaires) ainsi que sur l'occupation des sols.

Les données météorologiques doivent être fournies sur une base journalière (précipitation, température moyenne et de rayonnement solaire), saisonnière (humidité relative) et annuelle (vitesse moyenne des vents). La carte d'occupation des sols est utilisée pour paramétrer la profondeur d'enracinement, la distance au drain, l'indice de surface foliaire et le coefficient de ruissellement. La stratigraphie du modèle comprend la pédologie, la géologie des dépôts quaternaires et parfois la géologie du socle rocheux.

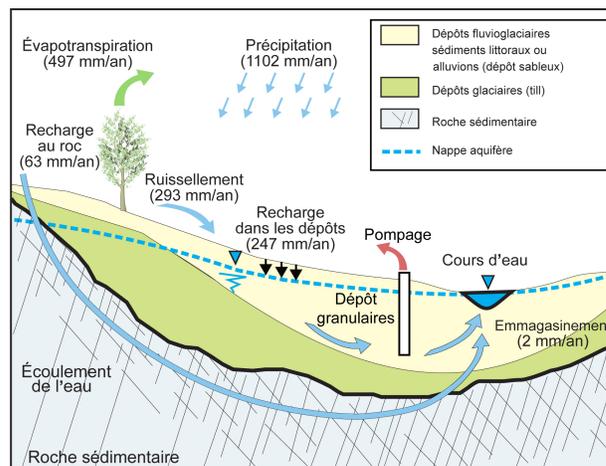


Figure 4. Bilan hydrologique estimé (sous-bassin de la rivière Beauvillage)

6.2 Calage du modèle

Le calage a été effectué sur le sous-bassin de la rivière Beauvillage. Ce sous-bassin est représentatif des caractéristiques de la Basse-Chaudière et de la Moyenne-Chaudière.

Le bilan hydrologique global, utilisé pour effectuer ce calage, a été évalué pour une période de 25 ans, soit de 1978 à 2002, par la technique de séparation de l'hydrogramme. Les résultats du calage indiquent que les taux de recharge moyens du roc et des dépôts granulaires correspondent respectivement à 6 % (63

mm/an) et 22 % (247 mm/an) des précipitations totales qui sont de l'ordre de 1 102 mm/an. Une proportion importante des précipitations se retrouve en évapotranspiration (45 % ou 497 mm/an) et en ruissellement de surface et de sous-surface (hypodermique) (27 % ou 293 mm/an). Les paramètres calés ont été par la suite utilisés pour distribuer la recharge sur l'ensemble du bassin.

La figure 4 présente les interactions entre les divers paramètres du bilan hydrologique des aquifères du bassin de la Chaudière (pour les secteurs étudiés).

6.3 Définition de la recharge de l'aquifère régional

La recharge calculée correspond à la quantité d'eau infiltrée dans la première unité rencontrée de l'aquifère régional. La figure 5 présente la distribution spatiale de cette recharge (TECSULT, 2007e et 2007f).

Sur l'ensemble de la Basse-Chaudière et de la Moyenne-Chaudière, la recharge annuelle moyenne (sur 25 ans) est de 81 mm/an. Sa distribution est de type bimodal, reflétant la grande différence de recharge entre l'unité du roc (faible recharge) et les aquifères granulaires de l'unité granulaire (forte recharge). Dans 95 % des cas, la recharge de l'unité du roc est de 2 à 126 mm/an (moyenne de 64 mm/an), alors que pour l'unité granulaire elle est de 143 à 402 mm/an (moyenne de 273 mm/an). En terme quantitatif, cette recharge correspond à un apport annuel moyen de 294 Mm³ dans l'aquifère régional, ce qui représenterait environ 6 % de toute l'eau emmagasinée dans l'aquifère (évalué jusqu'à 100 m de profondeur).

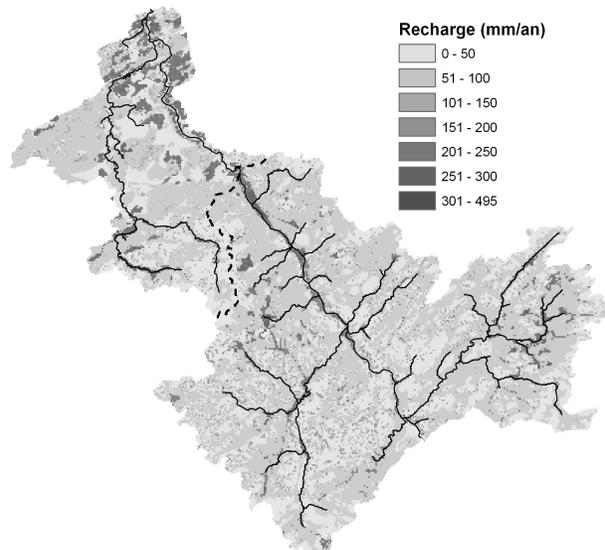


Figure 5. Recharge régionale

Selon les données disponibles, fournies par le COBARIC et le MAPAQ, l'exploitation qui est faite de l'aquifère régional représente environ 5,3 % de la recharge ou seulement 0,3 % de l'eau emmagasinée. Ce calcul de l'eau emmagasinée suppose une fissuration moyenne de l'aquifère de roc de 1 % sur une épaisseur

de 100 m (profondeur maximale de la majorité des puits) et une porosité moyenne des dépôts granulaires de 20 %.

Soulignons que de manière générale, la recharge de l'unité du roc est plus élevée dans les secteurs où les dépôts sus-jacents sont plus importants et elle est moindre dans les secteurs de roc affleurant ou de dépôts meubles minces (< 1 m).

Le secteur de la Basse-Chaudière se distingue de la Moyenne-Chaudière notamment par sa proportion plus importante de l'unité granulaire (très perméable). Ceci se traduit par un taux de recharge annuelle moyen de la Basse-Chaudière environ 24 % plus élevé que celui de la Moyenne-Chaudière. La carte de la distribution de la recharge indique que certaines municipalités se trouvent dans des zones favorables à une recharge plus importante de l'aquifère régional. C'est le cas notamment des municipalités Scott, Saint-Bernard, et Saint-Lambert-de-Lauzon, qui sont situées dans la Basse-Chaudière et des municipalités de Sainte-Marie, Vallée-Jonction et Saint-Joseph-de-Beauce dans la Moyenne-Chaudière.

7 VULNÉRABILITÉ DE L'AQUIFÈRE RÉGIONAL

La vulnérabilité de l'aquifère régional à la contamination provenant de la surface a été évaluée à l'aide de la méthode DRASTIC (Aller et al. 1987), pour laquelle plus l'indice est élevé, plus l'aquifère est jugé vulnérable. La notion de vulnérabilité est reliée aux caractéristiques physiques intrinsèques du milieu et ne tient pas compte de la présence ou non de sources de contamination dans le milieu. La figure 6 présente la vulnérabilité de l'aquifère régional (TECSULT 2007g et 2007h).

Les valeurs calculées de la vulnérabilité à partir de la méthode DRASTIC, varient entre 46 et 146 pour l'unité du roc, et entre 116 et 195 pour toute l'unité des dépôts granulaires (sableux). La valeur d'indice DRASTIC de 100 est la limite au-delà de laquelle un aquifère est jugé vulnérable pour l'application du Règlement sur le captage des eaux souterraines du Québec (RCES, 2008 et RQEP, 2008). La distribution spatiale des données de vulnérabilité fait donc en sorte que 100 % de l'unité des dépôts granulaires et environ 39 % du territoire de l'unité du roc sont considérées vulnérables. La proportion totale de territoire jugée vulnérable est d'environ 45 %.

La vulnérabilité de l'aquifère régional peut se résumer selon trois contextes typiques :

- La vallée de la rivière Chaudière : la présence des dépôts sableux perméables (unité granulaire) fait en sorte que les indices de vulnérabilité y sont élevés.
- La plaine des Basses-Terres : une partie des Basses-Terres renferme des sédiments marins littoraux (unité granulaire) qui présentent également une vulnérabilité élevée. Toutefois, une grande partie de cette plaine est recouverte d'une épaisse couche de sédiments glaciaires (till) ou d'une couche d'argiles marines très peu perméables; ces dernières contribuent largement à diminuer le niveau de vulnérabilité de l'unité du roc.
- Les Appalaches, généralement recouvertes d'une couche peu perméable de till d'épaisseur variable, montrent une vulnérabilité relativement faible à l'exception des endroits où la couverture de dépôts

est mince (< 1 m) ou bien où le roc affleure (DRASTIC généralement supérieur à 100).

Bien que l'unité granulaire possède un potentiel aquifère nettement supérieur à l'unité du roc, son degré de vulnérabilité élevé fait en sorte que l'aquifère granulaire est plus sensible à la contamination et requiert des mesures de protection plus importantes. À l'inverse, l'unité principale de l'aquifère régional (unité du roc) possède un potentiel aquifère moindre mais a l'avantage d'être moins vulnérable.

La Basse-Chaudière se distingue de la Moyenne-Chaudière notamment par une distribution spatiale plus variable de la vulnérabilité. La proportion légèrement plus importante de l'unité granulaire fait en sorte que le territoire de la Basse-Chaudière est, en moyenne, un peu plus vulnérable.

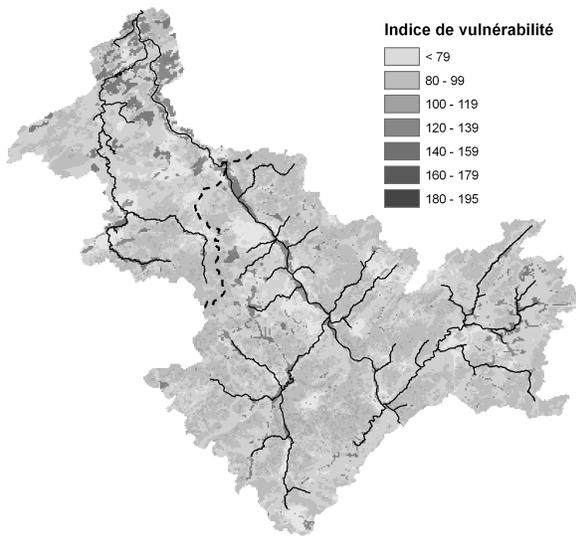


Figure 6. Vulnérabilité de l'aquifère régionale (DRASTIC)

La distribution spatiale de la vulnérabilité indique que l'aquifère régional au droit des municipalités de Scott, Saint-Bernard, Saint-Lambert-de-Lauzon se trouve dans les zones vulnérables. La même constatation est faite pour certaines municipalités localisées sur le territoire de la Moyenne-Chaudière dont Sainte-Marie, Vallée-Jonction et Saint-Joseph-de-Beauce. Toutes ces municipalités avaient été précédemment identifiées comme bénéficiant d'une bonne recharge de leur aquifère.

8 CARACTÉRISATION GÉOCHIMIQUE

La caractérisation géochimique visait avant tout à évaluer la qualité naturelle de l'eau souterraine sur l'ensemble du territoire étudié, pour :

- Identifier les paramètres physicochimiques susceptibles de causer d'éventuels problèmes de qualité;
- Établir les concentrations naturelles de différents paramètres physicochimiques;
- Recueillir l'information permettant ultérieurement de déterminer les parcours d'écoulement de l'eau

souterraine par l'étude de la composition géochimique.

Au cours de l'été 2007, 155 échantillons d'eau souterraine ont été prélevés dans les puits de particuliers, soit environ 1 pour chaque maille de 36 km² (Figure 7). Une attention particulière a été portée à la sélection des puits de façon à obtenir une bonne répartition des puits profonds et des puits de surface. Les échantillons étaient recueillis, en amont de tout système de traitement, et certains paramètres étaient mesurés in situ (température, le pH, la conductivité et l'oxygène dissous). Les échantillons recueillis étaient par la suite envoyés aux laboratoires du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) du MDDEP afin de déterminer les concentrations de 50 paramètres qui peuvent se retrouver dans l'eau souterraine à l'état naturel.

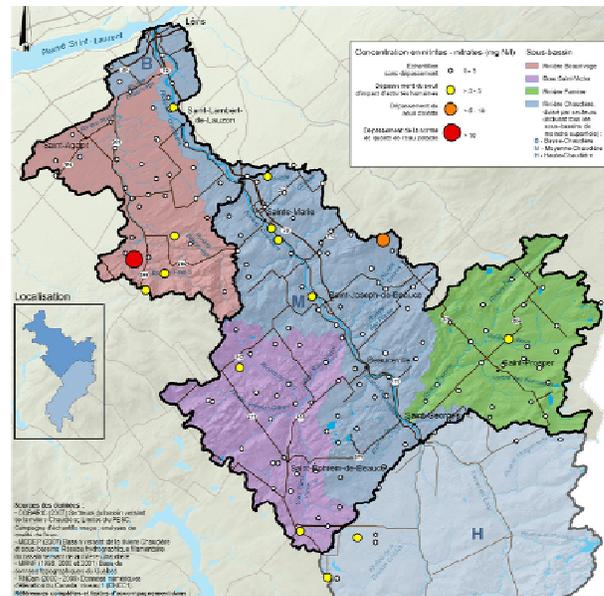


Figure 7. Distribution des puits échantillonnés et concentrations mesurées de nitrites-nitrates.

Les résultats obtenus ont été comparés aux normes édictées par le Règlement sur la qualité de l'eau potable du MDDEP (RQEP, 2008), et aux objectifs esthétiques de Santé Canada. Cette comparaison a révélé que, de façon générale, l'eau souterraine est naturellement potable sur l'ensemble du territoire étudié. Les paramètres les plus susceptibles de dépasser les normes de qualité de l'eau potable sont l'arsenic (As), le baryum (Ba), les fluorures (F-) et les nitrites-nitrates (NO₂-NO₃-). Au niveau esthétique, les problèmes de fer et manganèse sont fréquents, comme un peu partout au Québec. Par ailleurs, la campagne d'échantillonnage a révélé des problèmes ponctuels avec le sodium, les chlorures, les sulfures et le pH. Malgré ces quelques problèmes, l'eau souterraine est généralement de bonne qualité esthétique. Les détails des résultats obtenus sont présentés dans l'Atlas des eaux souterraines du bassin versant de la rivière Chaudière (Cobaric et UPA, 2008).

9 MODÈLE CONCEPTUEL D'ÉCOULEMENT

Sur la base des résultats issus de la cartographie hydrogéologique, un modèle conceptuel d'écoulement de l'aquifère régional a été établi. Ce modèle, présenté à la figure 8, a pour but de mieux visualiser l'influence des contextes hydrogéologiques sur l'écoulement.

L'unité du roc de l'aquifère régional est généralement non confinée près des sommets et aux endroits où les dépôts sont minces. Ailleurs, le roc peut être semi-confiné ou confiné, selon l'épaisseur des dépôts peu perméables (till et argile) qui le recouvrent.

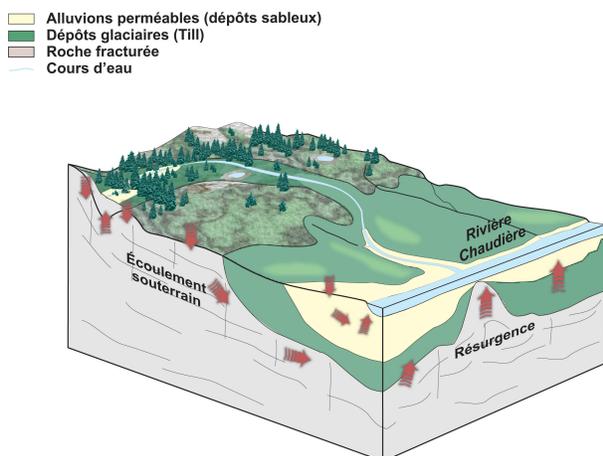


Figure 8. Modèle conceptuel d'écoulement

L'écoulement à travers le roc se fait principalement dans sa partie supérieure, là où le degré de fracturation est plus important. Cet écoulement est surtout local et parcourt de faibles distances à partir des zones de recharge vers les rivières les plus proches (zones de résurgence). L'écoulement régional est négligeable en raison de la perméabilité relativement faible du roc en profondeur. L'unité de dépôts granulaires (sableux) de l'aquifère régional se trouve généralement dans les vallées principales en bordure des rivières, et présente une condition non confinée. L'écoulement y est local et fait rapidement résurgence aux rivières.

10 CONCLUSION

La présente étude a permis de développer un modèle hydrogéologique conceptuel du bassin versant de la rivière Chaudière basé sur la cartographie hydrogéologique régionale (la piézométrie, la recharge et la vulnérabilité).

L'unité du roc, qui constitue généralement l'unité principale des aquifères régionaux au Québec, est ici composée de formations rocheuses sédimentaires peu perméables. Il en résulte que l'écoulement de l'eau dans les formations rocheuses se fait principalement dans la portion supérieure du roc. L'étude de la piézométrie de l'aquifère régional démontre d'ailleurs que celle-ci est fortement influencée par la topographie et par le réseau hydrographique, et cela, particulièrement en région à

topographie accidentée. Il en résulte qu'une des particularités de la portion étudiée du bassin de la Chaudière est qu'il y a peu de contribution en eau souterraine d'un sous-bassin à un autre. Par conséquent l'écoulement des eaux souterraines à l'échelle régionale est négligeable.

Les horizons granulaires des dépôts meubles, bien qu'ils soient discontinus, peuvent constituer, par endroit, des aquifères productifs. Ils sont associés à l'aquifère régional en tant qu'unité secondaire de celui-ci. Ces horizons granulaires sont composés de sédiments alluviaux, marins littoraux et fluvioglaciaires, situés généralement dans les vallées principales. Sur l'ensemble du territoire, ces deux unités sont séparées par une unité semi-confinante (till glaciaire) peu perméable. Bien que le till ne permette pas l'écoulement latéral, il ne bloque toutefois pas l'écoulement vertical et permet ainsi la recharge de l'aquifère du roc, de même que sa résurgence dans les vallées principales.

La recharge de l'aquifère régional, calculée sur une période de 25 ans à partir du modèle hydrologique HELP indique un taux annuel moyen de 64 mm/an pour l'unité du roc et de 273 mm/an pour l'unité des dépôts granulaires (moyenne globale de 81 mm/an). Globalement, la recharge correspond à un apport annuel moyen de 294 Mm³ d'eau à l'aquifère régional, ce qui représenterait environ 6 % de l'eau emmagasinée dans l'aquifère. Le niveau d'exploitation actuel des eaux souterraines correspondrait à environ 5,3 % de la recharge ou seulement 0,3 % de l'eau emmagasinée.

La vulnérabilité de l'aquifère régional est ici en étroite relation avec la recharge. Les zones de vulnérabilité plus élevées se trouvent ainsi au droit des dépôts sableux perméables (unité granulaire), localisés dans les vallées principales et dans la plaine des basses-terres du Saint-Laurent (sédiments marins littoraux). Une attention particulière devrait être portée sur la protection de ces zones de recharge puisqu'il s'agit à la fois de lieux privilégiés pour l'exploitation des eaux souterraines lorsque des débits importants sont requis et de lieux de recharge significatifs. Pour le reste de la plaine, recouverte d'une épaisse couche de sédiments glaciaires (till) ou d'une couche d'argiles marines très peu perméables, la vulnérabilité est jugée faible. Le même constat est fait pour la zone des Appalaches, qui est recouverte d'une couche peu perméable de till d'épaisseur variable, à l'exception des endroits où la couverture est mince (< 1 m) ou bien où le roc affleure et pour lesquels la vulnérabilité est moyenne.

L'eau souterraine est généralement de bonne qualité ce qui peut être, en partie, associée à la protection naturelle dont dispose l'aquifère du roc.

Le modèle conceptuel d'écoulement et la cartographie hydrogéologique régionale du bassin de la rivière Chaudière aura permis d'accroître les connaissances au sujet des eaux souterraines permettant ainsi une meilleure gestion de la ressource. Rappelons cependant qu'il s'agit d'une étude régionale dont les résultats dépendent de la précision des données et surtout de l'échelle à laquelle ces données sont interprétées. Ainsi, pour toute étude plus locale, il s'avère nécessaire de revoir l'échelle de l'interprétation hydrogéologique avant de conclure sur les propriétés

hydrogéologiques (piézométrie, recharge et vulnérabilité) des secteurs étudiés.

REMERCIEMENT

Les auteurs voudraient remercier le Comité de bassin de la rivière Chaudière (COBARIC), les fédérations de l'UPA de la Beauce, de Lévis-Bellechasse et de Lotbinière-Mégantic, la Commission géologique du Canada, le ministère du Développement durable de l'Environnement et des Parcs du Québec, le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Agriculture et Agroalimentaire Canada, ainsi que la population locale pour leur contribution à l'étude.

RÉFÉRENCES

- Aller, L., Bennet, T., Lehr, J.H., Petty, R., Hackett, G. (1987), "DRASTIC: A standard system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings", National Water Well Association, U.S. Environmental Protection Agency, ADA, Oklahoma, 455 pages.
- Caron, O., Lamothe, M., et Tremblay, T., 2007a : Géologie des formations superficielles du bassin versant de la Rivière Chaudière, Québec, Université du Québec à Montréal, 21L11, 21L10, 21L09, 21L06, 21L07, 21L08, 21L03, 21L02, 21L01, 21E14, 21E15, 21E16, 21E11, 21E10, 21E06, 21E07, 1 : 100 000, 3 cartes.
- Caron, O., Lamothe, M., et Tremblay, T., 2007b : Synthèse cartographique des formations superficielles du bassin-versant de la rivière Chaudière, Québec, Université du Québec à Montréal, Rapport, 31 p.
- Caron, O., Tremblay, T., et Lamothe, M., (2007c): 3D hydrostratigraphic modelization using relative calculation method, Chaudière watershed, Québec, unpublished.
- COBARIC et UPA (2008) Atlas des eaux souterraines du bassin versant de la rivière Chaudière : secteurs de la Basse-Chaudière et de la Moyenne-Chaudière. CD-Rom
- SLIVITZKY, A., et ST-JULIEN, P., (1987). Compilation de la région de l'Estrie-Beauce, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Rapport MM 85-04, 40 p.
- Lemelin, D. et Beaudoin, É. (en préparation). Estimation de la quantité d'eau souterraine utilisée à des fins agricoles dans les secteurs de la Basse-Chaudière et de la Moyenne-Chaudière. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Direction régionale de la Chaudière-Appalaches.
- RCES, 2008. Règlement sur le captage des eaux souterraines. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/souterraines/index.htm>
- RQEP, 2008. Règlement sur la qualité de l'eau potable. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/potable/brochure/index.htm>
- Schroeder, P.R., Aziz, N.M., Lloyd, C.M., Zappi, P.A., 1994, The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Model: Engineering Documentation for Version 3, EPA/600/R-94/168b.
- Tecsult Inc. (2007a). « Définition des aquifères – Basse-Chaudière », rapport d'activité no 1, projet 05-15919, Février 2008.
- Tecsult Inc. (2007b). « Définition des aquifères – Moyenne-Chaudière », rapport d'activité no 1, projet 05-15919, Février 2008.
- Tecsult Inc. (2007c). « Piézométrie régionale – Basse-Chaudière », rapport d'activité no 2, projet 05-15919, Février 2008.
- Tecsult Inc. (2007d). « Piézométrie régionale – Moyenne-Chaudière », rapport d'activité no 2, projet 05-15919, Février 2008.
- Tecsult Inc. (2007e). « Recharge de l'aquifère RÉGIONALE – Basse-Chaudière », rapport d'activité no 2, projet 05-15919, Février 2008.
- Tecsult Inc. (2007f). « Recharge de l'aquifère RÉGIONALE – Moyenne-Chaudière », rapport d'activité no 2, projet 05-15919, Février 2008.
- Tecsult Inc. (2007g). « Vulnérabilité de l'aquifère régionale – Basse-Chaudière », rapport d'activité no 2, projet 05-15919, Février 2008.
- Tecsult Inc. (2007h). « Vulnérabilité de l'aquifère régionale – Moyenne-Chaudière », rapport d'activité no 2, projet 05-15919, Février 2008.