

Rapport vulgarisé sur les ressources en eau souterraine en Chaudière-Appalaches, Québec, Canada

Déposé au Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les
changements climatiques, dans le cadre du
Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines

Par

Institut national de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement,
Institut de recherche et développement en agroenvironnement et
Regroupement des organismes de bassins versants de la Chaudière-Appalaches

Rapport de recherche INRS R-1580

Mars 2015

Conditions d'utilisation et notice bibliographique suggérée

Ce document a été préparé dans le cadre d'un projet réalisé avec le support du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES) du Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). Il peut être reproduit en tout ou en partie à des fins éducationnelles ou non lucratives s'il est cité de façon appropriée. Ce document devrait être cité comme suit:

Lefebvre, R., Ballard, J.-M., Carrier, M.-A., Vigneault, H., Beaudry, C., Légaré-Couture, G., Parent, M., Laurencelle, M. (2015) Rapport vulgarisé sur les ressources en eau souterraine en Chaudière-Appalaches, Québec, Canada. Projet réalisé conjointement par l'Institut national de la recherche scientifique (INRS), l'Institut de recherche et développement en agroenvironnement (IRDA) et le Regroupement des organismes de bassins versants de la Chaudière-Appalaches (OBV-CA) dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines, Rapport final INRS R-1581, soumis au MDDELCC en mars 2015.

L'INRS apprécierait recevoir une copie de toute publication utilisant ce document comme référence. Ce document ne peut être vendu ou utilisé d'aucune façon à des fins commerciales sans l'autorisation écrite de l'INRS.

Bien que ce document puisse être consulté de façon autonome, il sert aussi à décrire les livrables du projet PACES en Chaudière-Appalaches de façon vulgarisée. Ces livrables sont présentés dans le rapport suivant dont le rapport vulgarisé constitue un des annexes :

Lefebvre, R., Ballard, J.-M., Carrier, M.-A., Vigneault, H., Beaudry, C., Berthot, L., Légaré-Couture, G., Parent, M., Laurencelle, M., Malet, X., Therrien, A., Michaud, A., Desjardins, J., Drouin, A., Cloutier, M.H., Grenier, J., Bourgault, M.-A., Larocque, M., Pellerin, S., Graveline, M.-H., Janos, D. et Molson, J. (2015) Portrait des ressources en eau souterraine en Chaudière-Appalaches, Québec, Canada. Projet réalisé conjointement par l'Institut national de la recherche scientifique (INRS), l'Institut de recherche et développement en agroenvironnement (IRDA) et le Regroupement des organismes de bassins versants de la Chaudière-Appalaches (OBV-CA) dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES), Rapport final INRS R-1580, soumis au MDDELCC en mars 2015.

Ce rapport ainsi que les cartes qui lui sont associées représentent des conditions régionales à l'échelle 1/100 000, telles que pouvant être définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser les travaux d'analyse et d'interprétation des données ainsi que la production des cartes, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, les résultats présentés dans le présent rapport ainsi que sur les cartes associées à ce rapport ne peuvent remplacer les études requises pour définir les conditions réelles à l'échelle locale et n'offrent aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'intégralité des données et des conditions présentées dans le rapport et sur les cartes. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attache ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adaptation à une fin particulière de toute œuvre dérivée du contenu de ce rapport ni des cartes qui lui sont associées et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation du contenu du rapport, des cartes, des conditions présentées par les cartes ou des données y étant rattachées.

RÉSUMÉ

Ce rapport et les produits cartographiques qui l'accompagnent représentent les résultats d'un projet réalisé conjointement par le Centre Eau Terre Environnement de l'INRS (INRS-ETE), par l'Institut de recherche et développement en agroenvironnement (IRDA) et par le Regroupement des organismes de bassins versants de la Chaudière-Appalaches (OBV-CA). Le *Projet d'acquisition de connaissances sur l'eau souterraine en Chaudière-Appalaches* a été supporté financièrement par le Ministère du Développement durable, de l'Environnement, et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), par la Conférence régionale des élus (CRÉ) de la Chaudière-Appalaches et par l'IRDA ainsi que par des contributions en nature des organismes partenaires du projet. Les travaux réalisés s'intègrent dans le *Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines* (PACES) du MDDELCC. Ce programme a pour but de dresser un portrait de la ressource en eau souterraine du Québec municipalisé, dans le but ultime de la protéger et d'en assurer la pérennité. La région d'étude couvre la Chaudière-Appalaches (14 600 km²), excluant toutefois Lévis qui a été couvert par le projet PACES de la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ). Huit (8) des neuf (9) municipalités régionales de comté (MRC) et la Conférence régionale des élus (CRÉ) de la Chaudière-Appalaches sont partenaires du projet. Ce territoire couvre, en tout ou en partie, les territoires de six (6) OBV qui sont aussi partenaires du projet.

La compilation des données existantes a permis d'extraire de l'information sur près de 30 000 puits à partir du Système d'information hydrogéologie (SIH) du MDDELCC. Des données ont aussi été extraites de plus de 350 rapports obtenus des municipalités et des agences gouvernementales. Les données existantes ont été complétées par des levés de terrain ciblés. La foreuse de l'INRS a permis de faire 11 sondages au piézocône et 24 sondages par rotoperçusion ainsi que l'installation de 19 puits d'observation de petit diamètre (2.5 cm) dans les dépôts meubles. De plus, une foreuse conventionnelle a été utilisée pour installer neuf (9) puits de 150 mm (6 po) de diamètre ouverts au roc qui complètent les 20 puits déjà existants du réseau de suivi du MDDELCC dans la région d'étude. Des essais hydrauliques ont été réalisés dans les nouveaux puits d'observation. Une campagne d'échantillonnage d'eau souterraine a permis de récolter 131 échantillons provenant principalement de puits résidentiels. Ces échantillons ont été analysés principalement pour les ions majeurs et mineurs, ainsi que les gaz dissous (méthane) et plusieurs isotopes (²H, ¹⁸O, ³He, ¹⁴C) pour un sous-groupe représentatif. Presque 200 autres analyses chimiques ont été obtenues d'études antérieures ou en voie de réalisation dans la région d'étude.

La province géologique de la Plate-forme du Saint-Laurent couvre une étendue restreinte dans la moitié nord-ouest de la MRC de Lotbinière, alors que le reste de la région fait partie des Appalaches, incluant les zones de Humber interne et externe, la zone de Dunnage et la ceinture de Gaspé. Le roc fracturé représente un aquifère régional continu, alors que des aquifères granulaires d'étendue restreinte se retrouvent par endroits dans les dépôts meubles. Sur la base de la physiographie et de la nature des dépôts meubles, trois contextes hydrogéologiques peuvent être définis dans la région d'étude : 1) basses-terres du St-Laurent, 2) vallées appalachiennes, et 3) hautes-terres appalachiennes. Les basses-terres du St-Laurent se retrouvent sur une bande ayant 10 à 30 km de largeur en bordure du fleuve St-Laurent. On y retrouve une topographie de bas plateau qui a été recouvert par la Mer de Champlain, ce qui fait qu'on y retrouve d'épaisses accumulations de sédiments à grains fins (plus de 10 m). Au sud des basses-terres, on retrouve une topographie de collines, montagnes et vallées. Les hautes-terres appalachiennes ne sont généralement recouvertes que d'une mince couche de till relativement perméable, ce qui en fait une vaste zone de recharge préférentielle de l'aquifère régional. Les vallées appalachiennes peuvent être comblées d'épaisseurs importantes de sédiments (plus de 15 m) mais leur potentiel aquifère est généralement faible. Toutefois, on

retrouve par endroits des sédiments fluvioglaciers qui peuvent avoir un potentiel aquifère local. La conductivité hydraulique décroît avec la profondeur et les puits montrent des valeurs très variables, étant généralement de l'ordre de 10^{-8} à 10^{-5} m/s. Globalement, la recharge de l'aquifère rocheux est de 166 mm/an, avec des valeurs distinctes pour les hautes-terres appalachiennes (186 mm/an), les vallées appalachiennes (192 mm/an) et les basses-terres du St-Laurent (85 mm/an). La vulnérabilité suit généralement la même tendance, mais elle n'atteint généralement pas un niveau absolu élevé.

L'agriculture occupe 27% du territoire et se retrouve surtout dans les basses-terres du St-Laurent et les vallées appalachiennes, alors que 65% du territoire est forestier. L'usage total annuel de l'eau dans la région d'étude a été évalué à 109 million de m³, dont 42% provenait de l'eau souterraine. Globalement, les usages résidentiel (38%), agricole (32%) et industriel-commercial-institutionnel (30%) sont équilibrés, mais il y a des variations importantes entre les MRC. En tout, 36% de la population totale de la région d'étude, qui s'élève à 278 180 personnes (sans Lévis), s'alimente en eau à partir d'un puits privé, alors que le reste de la population est desservie par un réseau d'aqueduc municipal ou privé (20 personnes et plus). 60% des réseaux municipaux sont approvisionnés par de l'eau souterraine grâce à plus de 300 puits d'approvisionnement en eau. Bien que l'eau souterraine soit généralement de bonne qualité, on y retrouve localement certains éléments naturels à des concentrations excédant les normes de potabilité de l'eau de consommation (F, Ba, As). Sept (7) types d'eau ont été définis sur la base des proportions des ions majeurs. Certains de ces types d'eau représentent l'évolution géochimique naturelle de l'eau souterraine. Toutefois, d'autres types d'eau semblent indiquer une dégradation anthropique de la qualité de l'eau souterraine qui pourrait être liée à différentes activités, telles que l'agriculture, le sel déglacant ou les eaux usées. Les concentrations associées à ces types d'eau n'excèdent généralement pas les normes de potabilité. La présence de fortes concentrations en nitrite-nitrates est généralement associée à l'agriculture mais, malgré l'importance de ces activités en Chaudière-Appalaches, un seul échantillon a présenté des concentrations excédant le critère de potabilité et les concentrations atteignent rarement des niveaux importants. Dans la partie nord-ouest de la région à l'intérieur de la zone prospective pour le gaz de shale, 44 (59%) des 74 échantillons d'eau analysés ont montré des concentrations en méthane quantifiables. Onze (11) échantillons (15%) ont présenté des concentrations excédant le seuil d'alerte de 7 mg/L. Le méthane n'a pas d'incidence sur la santé. Ce méthane est d'origine biogénique prédominante, c'est-à-dire qu'il a été formé en place à faible profondeur.

En plus des livrables prévus par le PACES, des travaux spécifiques ont été réalisés par des étudiants de 2^e et 3^e cycles sur des thèmes d'intérêt pour les ressources en eau souterraine de la région. Les résultats initiaux de ces travaux sont documentés dans le présent rapport. Ces travaux comprennent la cartographie des sédiments superficiels et la définition des événements géologiques au Quaternaire, l'étude des milieux humides présents dans la zone du Chêne et de leur interaction avec les eaux souterraines, la modélisation de l'écoulement régional et de l'évolution géochimique de l'eau souterraine, et la modélisation hydrologique de l'écoulement de l'eau de surface ainsi que de la recharge des nappes.

Enfin, le projet PACES en Chaudière-Appalaches a fourni les connaissances requises pour assurer la bonne gouvernance de l'eau souterraine. Une section du rapport met en relation les préoccupations sur eaux souterraines exprimées par les acteurs de la région et l'éclairage apporté sur ces préoccupations par les connaissances acquises dans le cadre du présent projet. La concertation régionale au niveau des organismes intéressés pourrait assurer une cohérence dans les approches et les critères d'actions visant à assurer une bonne gouvernance de la ressource. Ces efforts devront être soutenus par les organismes gouvernementaux et les chercheurs intéressés à la ressource.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) ainsi que tous les organismes partenaires du projet pour leurs contributions de même que leur collaboration à la collecte de d'information données au cours du projet. Plus particulièrement, nous voulons souligner la contribution financière de la CRÉ de la Chaudière-Appalaches et les contributions en ressources humaines des organismes partenaires suivants :

- les municipalités régionales de comté (MRC) suivantes : Lotbinière, La Nouvelle-Beauce, Robert-Cliche, Beauce-Sartigan, Bellechasse, Les Etchemins, Montmagny et L'Islet
- les organismes de bassins versants (OBV) partenaires du projet : OBV de la zone du Chêne, Comité de bassin de la rivière Chaudière (COBARIC), Conseil de bassin de la rivière Etchemin (CBE), OBV de la Côte-du-Sud, Groupe de concertation des bassins versants de la zone Bécancour (GROBEC), OBV du fleuve Saint-Jean, et Conseil de la gouvernance de l'eau des bassins de la rivière Saint-François (COGESAF)

Les auteurs veulent également remercier les organismes suivants de leur appui au projet :

- les Fédérations de l'Union des producteurs agricoles (UPA) de la Chaudière-Appalaches (Lotbinière-Mégantic, Lévis-Bellechasse, Beauce, Côte-du-Sud)
- le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) - Direction régionale de la Chaudière-Appalaches

La collaboration de plusieurs autres organismes, via le partage de données ou de connaissances, doit également être soulignée :

- le ministère des Transports du Québec (MTQ)
- le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec (MERN)
- le ministère du Développement durable, de l'Environnement, et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec (MDDELCC) - Direction régionale de la Chaudière-Appalaches
- le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ)
- la Commission régionale sur les ressources naturelles et le territoire (CRRNT) de la Chaudière-Appalaches
- l'Université Laval
- l'Université du Québec à Montréal
- le Groupe de recherche interuniversitaire sur les eaux souterraines (GRIES)
- plusieurs municipalités de la région d'étude ayant fourni des rapports d'étude en lien avec le projet et des informations sur l'utilisation d'eau sur leur territoire

Nous tenons aussi à remercier nos collaborateurs scientifiques :

- Dr. Christine Rivard, Commission géologique du Canada (CGC), responsable du projet réalisé dans la région de Saint-Édouard-de-Lotbinière dans le cadre duquel nous avons échangé des données
- Dr. John Molson, Université Laval, qui a encadré le projet de maîtrise de Debora Janos sur la modélisation de l'écoulement régional et de la géochimie de l'eau souterraine
- Dr. Marie Larocque, UQAM, qui a encadré le projet de doctorat de Marc-André Bourgault sur les échanges entre les milieux humides en tête de bassin et les eaux souterraines

Enfin, nous remercions les résidents de la Chaudière-Appalaches ainsi que les municipalités qui ont collaboré au projet en donnant accès à leur propriété ou à leur puits, afin de réaliser des travaux de terrain.

Liste des livrables PACES

- Livable PACES no. 1 : TOPOGRAPHIE
- Livable PACES no. 2 : ROUTES ET LIMITES ADMINISTRATIVES
- Livable PACES no. 3 : MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN
- Livable PACES no. 4 : PENTE
- Livable PACES no. 5 : HYDROGRAPHIE
- Livable PACES no. 6 : BASSINS VERSANTS
- Livable PACES no. 7 : OCCUPATION DU SOL
- Livable PACES no. 8 : COUVERTURE VÉGÉTALE
- Livable PACES no. 9 : MILIEUX HUMIDES
- Livable PACES no. 10 : AFFECTATION DU TERRITOIRE
- Livable PACES no. 11 : PÉDOLOGIE
- Livable PACES no. 12 : GÉOLOGIE DU QUATERNAIRE
- Livable PACES no. 13 : GÉOLOGIE SIMPLIFIÉE DU ROC
- Livable PACES no. 14A : COUPE STRATIGRAPHIQUE SIMPLIFIÉE DES FORMATIONS SUPERFICIELLES
- Livable PACES no. 14B : COUPES GEOLOGIQUES CONCEPTUELLES DU ROC
- Livable PACES no. 15 : ÉPAISSEUR DES DÉPÔTS MEUBLES
- Livable PACES no. 16 : TOPOGRAPHIE DU ROC
- Livable PACES no. 17 : CONDITIONS DE CONFINEMENT
- Livable PACES no. 18 : CONTEXTES HYDROGÉOLOGIQUES
- Livable PACES no. 19 : PIÉZOMÉTRIE DANS LES DÉPÔTS MEUBLES (pas produit)
- Livable PACES no. 20 : PIÉZOMÉTRIE DANS LE ROC
- Livable PACES no. 21 : PARAMÈTRES HYDRAULIQUES
- Livable PACES no. 22 : VULNÉRABILITÉ DES AQUIFÈRES (DRASTIC)
- Livable PACES no. 23 : INDICE DE DENSITÉ DES ACTIVITÉS ANTHROPIQUES
- Livable PACES no. 24 : QUALITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE (CRITÈRES POUR L'EAU POTABLE)
- Livable PACES no. 25 : QUALITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE (CRITÈRES ESTHÉTIQUE)
- Livable PACES no. 26 : UTILISATION DE L'EAU
- Livable PACES no. 27 : EMBLEMES DES STATIONS MÉTÉO, HYDROMÉTRIQUES ET DE SUIVI DE LA NAPPE
- Livable PACES no. 28A : ZONES POTENTIELLES DE RECHARGE ET DE RÉSURGENCE PRÉFÉRENTIELLES
- Livable PACES no. 28B : RECHARGE DISTRIBUÉE

Livrable PACES no. 1 : TOPOGRAPHIE

Une carte topographique représente l'élévation du terrain par des lignes, appelée courbes de niveau, qui correspondent à une même élévation de la surface du sol par rapport au niveau moyen de la mer. Plus les courbes de niveau sont rapprochées l'une de l'autre, plus le relief est accidenté. À l'opposé, des courbes de niveau éloignées indiquent un relief plat. À l'échelle régionale, la topographie influence le climat, les directions d'écoulement des eaux souterraines et les zones de réalimentation (recharge) des aquifères. L'écoulement souterrain régional se fait généralement des hauts topographiques, qui sont souvent des zones de recharge des aquifères, vers les bas topographiques. Le livrable PACES no. 3 montrant le modèle numérique de terrain permet de représenter la topographie avec un autre mode de présentation.

La Chaudière-Appalaches présente trois contextes hydrogéologiques dont la topographie est distincte : 1) on retrouve dans les basses-terres du St-Laurent une topographie de bas plateau qui a été recouvert par la Mer de Champlain jusqu'à une élévation de 180 m par rapport au niveau moyen de la mer (NMM), les Basses-terres elles-mêmes ayant une altitude entre 10 m en bordure du fleuve Saint-Laurent et 90 m NMM à la limite des Appalaches; 2) les vallées appalachiennes incisent les reliefs montagneux et se trouvent à des élévations généralement inférieures à 350 m NMM; et 3) les hautes-terres appalachiennes peuvent atteindre jusqu'à 900 m NMM d'élévation, particulièrement dans leur partie centrale (Zone de Humber interne).

Livrable PACES no. 2 : ROUTES ET LIMITES ADMINISTRATIVES

La carte du réseau routier et des limites administratives permet de situer dans l'espace les données acquises sur l'eau souterraine et les points d'intérêt avoisinants. La notation du nom des lieux, routes et municipalités facilitent d'autant plus cette localisation. La carte montre les limites des MRC et des municipalités de la région d'étude, et elle donne une indication de la population des municipalités.

Le projet couvre la région administrative de la Chaudière-Appalaches, mais en excluant Lévis qui a été couvert par le projet PACES de la CMQ. La région d'étude de 14 600 km² est bornée au nord-est par la région du Bas-Saint-Laurent, au nord-ouest par le fleuve Saint-Laurent et la région de la Capitale-Nationale, au sud-ouest par les régions du Centre-du-Québec et de l'Estrie et au sud-est par la frontière internationale avec les États-Unis (Vermont et Maine). La Chaudière-Appalaches comprend neuf municipalités régionales de comté (MRC) qui incluent 134 municipalités. De plus, la région couvre, en tout ou en partie, les territoires de neuf organismes de bassins versants qui ont formé le Regroupement des organismes de bassins versant de la Chaudière-Appalaches pour concerter leurs travaux dans la région.

Le réseau routier du territoire à l'étude comprend deux axes routiers principaux, soient les autoroutes 20, et 73. L'autoroute 20 est parallèle au fleuve Saint-Laurent et il assure les échanges avec les régions du Bas Saint-Laurent, à l'est, et celle du Centre-du-Québec, à l'ouest, en passant à proximité des municipalités de Laurier-Station, Montmagny, L'Islet et Saint-Jean-Port-Joli. L'autoroute 73 (Autoroute de la Beauce) relie la ville de Lévis, au nord-ouest, avec la frontière des États-Unis, au sud-est, en passant par les principales municipalités de la Beauce, notamment Saint-Lambert-de-Lévis, Sainte-Marie, Beauceville et Saint-Georges. Plusieurs routes nationales et secondaires parcourent également ce territoire.

Livable PACES no. 3 : MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN

Le modèle numérique de terrain (MNT) rapporte l'élévation de la surface du sol par rapport au niveau moyen de la mer sur un maillage régulier de cellules dont la dimension est de 10 m par 10 m. Le modèle numérique de terrain constitue une autre forme de représentation de la surface du terrain et est donc comparable à la topographie (livable PACES no. 1). La représentation de la topographie avec le MNT utilise une échelle de couleur correspondant à différentes plages d'élévation. Ce format de présentation permet de visualiser plus facilement les variations de la topographie. Le texte associé au livable PACES no. 1 décrit la topographie de la région d'étude. Le livable PACES no. 4 de la pente du sol est dérivé du modèle numérique de terrain.

Livrable PACES no. 4 : PENTE

La pente de la surface du sol représente le degré d'inclinaison de la surface du sol par rapport à l'horizontale. Les pentes montrées sur le livrable PACES no. 4 ont été calculées sur un maillage régulier de 10 m par 10 m à l'aide d'un logiciel de cartographie en utilisant le modèle numérique de terrain (livrable PACES no. 3). La pente du sol influence le ruissellement des précipitations et ainsi la recharge des aquifères. En effet, plus la pente est forte, plus il y aura de ruissellement à la surface du sol et moins il y aura d'infiltration d'eau dans le sol pour réalimenter les aquifères.

On retrouve la même distinction au niveau de la pente que ce qui était apparent pour la topographie : 1) dans les basses-terres du St-Laurent la topographie plane fait en sorte que les pentes y sont en général faibles avec des valeurs entre 0 et 2%; 2) les vallées appalachiennes on des pentes un peu plus fortes, particulièrement à leur périphéries, et les valeurs varient généralement de 2 à 12 %; et 3) les hautes-terres appalachiennes on des pentes généralement fortes dépassant souvent 18 %, notamment dans la partie la plus élevée de la Zone de Humber interne ainsi qu'au sud de la limite des Appalaches et des Basses-terres entre Montmagny et Saint-Jean-Port-Joli.

Livrable PACES no. 5 : HYDROGRAPHIE

L'hydrographie est la description de la distribution dans un territoire de l'ensemble des cours d'eau (ruisseaux, rivières et fleuve) et des plans d'eau (lacs) qui y sont présents. La connaissance de l'hydrographie est essentielle pour identifier les endroits où les eaux souterraines et les eaux de surface peuvent être en contact. À ces endroits, l'eau souterraine peut s'écouler vers les eaux de surface et ainsi les réalimenter, si les aquifères sont en contact avec le cours d'eau. Au Québec, l'écoulement est rarement dans la direction inverse, c'est-à-dire des eaux de surface vers les eaux souterraines.

La carte 5 montre le réseau hydrographique (seuls les sous-bassins principaux sont présentés) ainsi que les limites des bassins versants. Le réseau hydrographique est plus dense dans les Appalaches que dans les basses-terres étant donné la topographie plus variable de la région appalachienne. Les rivières importantes sont évidemment les principaux cours d'eau des cinq bassins versants principaux : la rivière Du Chêne, la rivière Chaudière, la rivière Etchemin, la rivière du Sud et la rivière Saint-Jean. Les rivières Boyer, Nicolet, Saint-François, Bécancour et Ouelle possèdent elles aussi des bassins versants importants. Les débits des rivières étaient disponibles pour 37 des 47 stations de jaugeage situées dans la zone d'étude. Au total, 15 stations sont encore actives et 3 de ces stations sont situées relativement en aval des bassins, soit près de l'exutoire de rivières importantes (ex. Chaudière, Beauvillage, du Sud).

Livable PACES no. 6 : BASSINS VERSANTS

Un bassin versant est un territoire dont les eaux de surface se déversent vers un lieu donné, comme un cours d'eau, un lac ou un ouvrage artificiel. Le territoire d'un bassin versant est contrôlé par la topographie du terrain (livrables PACES no. 1 et no. 2). Les bassins versants de niveau 1 sont distingués sur la carte du livrable PACES no. 6. Ce sont généralement les bassins dont la rivière principale se déverse dans le fleuve Saint-Laurent et dont la superficie est de plus de 25 km².

La Chaudière-Appalaches couvre, en tout ou en partie, les territoires de 9 organismes de bassins versants : de la zone Bécancour, de la zone du Chêne, de la Côte-du-Sud, du Fleuve Saint-Jean, de la rivière Chaudière, de la rivière Etchemin, des rivières Kamouraska, L'Islet, Rivière-du-Loup (OKABIR), de la rivière Nicolet et de la rivière Saint-François. Ces organismes ont formé le Regroupement des organismes de bassins versant de la Chaudière-Appalaches (OBV-CA) pour concerter leurs travaux dans la région.

Livrable PACES no. 7 : OCCUPATION DU SOL

La carte d'occupation du sol montre les usages qui sont faits de la surface du territoire. Une connaissance de l'occupation du sol est utile pour cibler les secteurs où les activités sont susceptibles d'exercer une pression sur la ressource en eaux souterraines et d'en modifier la qualité ou la quantité par rapport à son état présent. L'occupation du sol influence aussi le cycle de l'eau. Par exemple, en zone urbaine dense, le ruissellement de l'eau à la surface du terrain est généralement plus élevé qu'en région rurale. En zone de couvert forestier, l'évapotranspiration des plantes sera beaucoup plus importante qu'en région urbaine.

En Chaudière-Appalaches, plus de la moitié du territoire (65.1%) est en zone forestière et l'agriculture occupe un peu plus du quart du territoire (26.7%). Dans la zone agricole couvrant près de 4 200 km², les cultures agricoles indifférenciées et les pâturages occupent la majeure partie (respectivement 40 % et 39 %), suivies par le maïs (6.7 %), les céréales (6.6 %) et le soya (6 %). Le reste du territoire, soit environ 1 280 km², est occupé par les zones d'activités anthropiques (1.8 %), les milieux humides (6.3 %) et les activités non différenciées (0.1 %).

Livrable PACES no. 8 : COUVERTURE VÉGÉTALE

La carte de la couverture végétale montre l'ensemble des végétaux qui recouvrent le sol. Les végétaux utilisent l'eau pour leur croissance et ont donc un impact sur le cycle de l'eau. Les végétaux contiennent beaucoup d'eau qu'ils retournent à l'atmosphère par évapotranspiration. Les précipitations sont soit interceptées par les feuilles avant que la pluie n'atteigne le sol ou par leurs racines qui retirent une partie l'eau contenue dans le sol. Le type de couvert végétal, sa densité et sa maturité aura un impact sur la quantité d'eau disponible pour la recharge des aquifères (livrable PACES no. 28).

Les peuplements forestiers ont été regroupés en trois classes afin de simplifier la représentation cartographique : feuillus, résineux et mélangés (mixte). Les forêts mixtes occupent la plus grande partie du territoire (32%), suivi des conifères (18%) et des feuillus (15%). Au total, 64% du territoire est ainsi forestier. Le couvert forestier est dominant dans les haute-terres appalachiennes, mais il est faible dans les vallées appalachiennes et dans les basses-terres.

Livrable PACES no. 9 : MILIEUX HUMIDES

Les milieux humides sont des terres qui sont inondées ou saturées d'eau assez longtemps pour modifier la composition du sol ou de la végétation. Au même titre que les eaux de surface, les milieux humides peuvent être des lieux d'échanges importants entre l'eau de surface et l'eau souterraine. Certains milieux humides représentent parfois d'importantes zones de résurgence de l'eau souterraine.

Au total, les milieux humides (potentiels et détaillés) couvrent 1 923 km², soit 12.3 % de la région. Pour la majeure partie de la Chaudière-Appalaches, seuls les milieux humides potentiels non différenciés sont disponibles et ils couvrent 1 549 km², soit 9.9% de la région. Dans la région de Lotbinière, une cartographie détaillée des milieux humides est disponible. Bien que les vastes milieux humides de Lotbinière soient bien connus, on retrouve aussi de grandes étendues de milieux humides potentiels dans les vallées et les points bas des Appalaches.

Livrable PACES no. 10 : AFFECTATION DU TERRITOIRE

En aménagement du territoire ou en urbanisme, l'affectation du territoire représente l'attribution à un territoire d'une utilisation, d'une fonction ou d'une vocation déterminée. Les grandes affectations du territoire indiquent formellement comment une municipalité locale ou une municipalité régionale de comté (MRC) entend utiliser son territoire. L'affectation du territoire peut être utilisée comme un moyen de contrôle pour régir les activités sur le territoire. Pour la protection des eaux souterraines, l'affectation du territoire peut être établie en tenant compte des zones de recharge des aquifères, où les eaux qui s'infiltrent à partir de la surface du sol atteignent directement les aquifères.

La grande majorité du territoire de la Chaudière-Appalaches est à vocation agricole (36.7 %), forestière (31.4 %) et agroforestière (19.9 %). Les principales zones urbaines sont situées dans la vallée de la rivière Chaudière et la vallée de la rivière Etchemin ainsi qu'autour de la municipalité de Thetford Mines et le long de l'autoroute 20. Plusieurs zones d'affectation récréative sont aussi réparties sur le territoire, notamment dans le secteur du Massif du Sud et du Lac Saint-François. Les zones d'affectation industrielle couvrent une faible superficie (< 1 %) et sont concentrées dans les centres urbains, dont une majorité à proximité de Thetford Mines.

Livrable PACES no. 11 : PÉDOLOGIE

La pédologie est la science étudiant la formation et les modifications du sol, ainsi que ses propriétés. La connaissance de la composition des sols aide à la compréhension de plusieurs processus dynamiques liés à l'eau, notamment l'infiltration de l'eau dans le sol et la vulnérabilité des nappes d'eau souterraine.

La carte pédologique a été constituée à partir des cartes pédologiques publiées à différentes échelles dans les différentes parties de la région d'étude au fil des années. Elle a servi aux travaux d'évaluation de la recharge (livrable no. 28) ainsi qu'à l'estimation de la vulnérabilité (livrable no. 22) et à la modélisation hydrologique. Toutes ces données ont permis de classifier et représenter chaque série de sols selon six catégories de texture (sableux, loameux, argileux, graveleux, tills et autres) et sept classes de drainage (très rapidement drainé, rapidement drainé, bien drainé, modérément bien drainé, mal drainé et très mal drainé). Les sols issus de till sont les plus répandus (67 %) dans la zone d'étude, particulièrement dans les hautes-terres appalachiennes, suivis des sols graveleux (8.5%) et sableux (5.1%), qui dominent dans les basses-terres, où les sols argileux (3.2%) se prédominent surtout dans le bassin de la rivière du Sud. Les sols organiques (3.4%) sont présents à la fois dans les basses-terres et les vallées appalachiennes.

Livrable PACES no. 12 : GÉOLOGIE DU QUATERNAIRE

La géologie du Quaternaire porte sur les dépôts meubles qui recouvrent le socle rocheux et qui sont généralement associés à la glaciation de la période géologique du Quaternaire. Ces dépôts meubles, aussi appelés sédiments superficiels, ont des propriétés aquifères variables selon leur nature. Les tills sont des dépôts glaciaires de nature, compacité et textures variables, et qui agissent généralement en tant qu'aquitard (unité hydrogéologique peu perméable). À l'opposé, les dépôts fluvioglaciers, tels que ceux formant des eskers ou des épandages proglaciaires, contiennent des sédiments sablo-graveleux qui peuvent constituer d'excellents aquifères. Les sédiments silto-argileux déposés dans des lacs ou les mers formés avant ou après la glaciation constituent également des aquitards. De plus, selon leur nature, les dépôts meubles influencent l'écoulement de l'eau souterraine dans les aquifères rocheux fracturés sous-jacents. Ils peuvent, entre autres, influencer la recharge, le confinement de l'aquifère, la vulnérabilité de l'aquifère à la contamination et les conditions d'émergence de l'eau souterraine.

La carte de la géologie du Quaternaire de la région de Chaudière-Appalaches a été assemblée à partir de trois sources : 1) une nouvelle cartographie réalisée par l'UQAM de douze (12) feuillets à l'échelle 1/50 000 dans la partie sud de la région, 2) une cartographie détaillée par un doctorant de l'INRS de toute la bande nord de la région située sous la limite marine où des levés LiDAR étaient disponibles, et 3) pour le reste de la région, des cartes existantes ont subi des corrections semi-automatiques à l'aide de SIG les rendre cohérentes avec les cartes récentes. Ces derniers secteurs se trouvent dans les Appalaches et ont une couverture quaternaire relativement simple.

Dans les basses-terres, on retrouve typiquement en surfaces des unités marines et glaciomarines associées à la Mer de Champlain ou de Goldthwait. C'est dans ce secteur que sont recoupées les épaisseurs les plus importantes de dépôts meubles, bien que celles-ci soit très variables, allant de nulles à plus de 20 m d'épaisseur. Le secteur des Hautes-terres appalachiennes est quant à lui dominé par des sédiments glaciaires. De grandes zones de till mince ou d'affleurements rocheux sont observées sur les sommets topographiques, mais le till peut atteindre jusqu'à 5 m d'épaisseur où la topographie est moins accidentée. Les vallées appalachiennes sont orientées principalement nord-ouest/sud-est, comme celle de la rivière Chaudière dans l'axe Sainte-Marie–Saint-Georges. Des complexes de dépôts fluvioglaciers, mis en places principalement lors du retrait des glaces, occupent souvent les fonds de vallées.

Livrable PACES no. 13 : GÉOLOGIE SIMPLIFIÉE DU ROC

La carte de la géologie du roc présente les différents types de roches ainsi que les principales structures géologiques, telles que les plis et les failles. Lorsque les roches sont fracturées, elles peuvent constituer un aquifère et des puits peuvent y être aménagés pour exploiter l'eau souterraine. Le type de roche a une incidence sur les propriétés hydrauliques de l'aquifère rocheux et les conditions d'écoulement. Puisque l'eau souterraine circule généralement à des vitesses très faibles dans les formations géologiques, elle y réside suffisamment longtemps pour dissoudre une partie des minéraux contenus dans la roche. Cela peut avoir un effet sur la qualité de l'eau souterraine lorsque la concentration de certains composés dissous dans l'eau souterraine dépasse les critères de potabilité.

Dans la région à l'étude, on distingue deux régions géologiques : la Plate-forme du Saint-Laurent et les Appalaches. La Ligne (ou faille) de Logan, s'étendant du lac Champlain à la Ville de Québec, sépare la Plate-forme du Saint-Laurent et les Appalaches. Les roches de la Plate-forme du Saint-Laurent sont d'origine sédimentaire et d'âge Cambrien et Ordovicien. Elles reposent en discordance sur les roches ignées et métamorphiques de la Province du Grenville (socle Précambrien) et sont généralement disposées en strates horizontales, légèrement déformées lors de la formation des Appalaches. Les roches des Appalaches sont également des roches d'origine sédimentaires d'âge Cambrien et Ordovicien mais ayant subies un métamorphisme régional et plusieurs épisodes de déformations d'intensité variable, notamment lors des orogénèses taconienne et acadienne. Ces roches chevauchent en séquence progressives les roches de la Plate-forme du Saint-Laurent.

Livrable PACES no. 14 : COUPE STRATIGRAPHIQUE SIMPLIFIÉE DES FORMATIONS QUATÉRNAIRES

Une coupe « stratigraphique » montre la superposition des unités géologiques. Les informations en découlant peuvent servir à préparer une coupe « hydrostratigraphique » qui identifie les matériaux géologiques constituant des aquifères (matériaux perméables) ou des aquitards (matériaux peu perméables). Les coupes sont généralement dessinées à partir de la carte Géologie du Quaternaire (livrable PACES no. 12) et des données de forages qui donnent des informations sur les matériaux géologiques rencontrés en surface et en profondeur, respectivement. Une interprétation doit ensuite être faite sur les regroupements de matériaux géologiques ayant des propriétés hydrogéologiques similaires ainsi que sur la continuité latérale des unités d'un forage à l'autre. Des levés géophysiques peuvent aussi être utilisés pour la construction des coupes.

En Chaudière-Appalaches, une dizaine de coupes stratigraphiques simplifiées ont été préparées afin d'illustrer l'architecture des dépôts dans des contextes typiques. Ces coupes ont été élaborées à partir des données de forages colligées et validées dans le cadre du projet, mais également à partir de la géologie du Quaternaire, des données sur les affleurements et des données géophysiques interprétées (sismique réflexion). Ces coupes permettent de déduire les conditions hydrogéologiques régionales qui prévalent dans la région d'étude.

Livrable PACES no. 14B : COUPES GEOLOGIQUES CONCEPTUELLES DU ROC

Les coupes géologiques sont des représentations verticales des matériaux géologiques présents sous la surface du sol. Les coupes géologiques présentées ici sont qualifiées de « conceptuelles » car elles représentent les conditions géologiques prédominantes sans toutefois prétendre à l'exactitude des conditions représentées. Ces coupes ont été préparées dans le cadre d'un rapport synthèse (Séjourné et al., 2013) à partir de l'interprétation de levés sismiques profonds, d'un levé aéromagnétique régional, de données de forages pétroliers et gaziers ainsi que de la cartographie géologique de surface et de la cartographie structurale. Aux endroits où les forages disponibles ne fournissaient pas un contrôle suffisant, les épaisseurs et profondeurs ont été interprétées ou interpolées pour respecter l'architecture générale de chaque coupe.

La coupe géologique est présentée à la figure 3.3 du rapport. De la base au sommet, la coupe distingue cinq grands groupes d'unités géologiques : le socle précambrien, les roches sédimentaires déposées horizontalement et peu déformées de la Plate-forme du Saint-Laurent, le Shale d'Utica, la formation de Nicolet (aussi constituée en grande partie de shale) et les roches appartenant aux Appalaches. La coupe montre l'extension verticale et latérale des groupes d'unités géologiques ainsi que les principales failles caractérisant la région. On distingue notamment la ligne (ou faille) de Logan qui correspond à la limite entre la Plate-forme du Saint-Laurent et la zone externe des Appalaches.

Référence :

Séjourné, S., Lefebvre, R., Malet, X., et Lavoie, D. (2013) Synthèse géologique et hydrogéologique du Shale d'Utica et des unités sus-jacentes (Lorraine, Queenston et dépôts meubles), Basses-Terres du Saint-Laurent, Province de Québec. Commission géologique du Canada, Dossier Public 7338, 163 p.

Livrable PACES no. 15 : ÉPAISSEUR DES DÉPÔTS MEUBLES

15A : Épaisseur totale. 15B : Sédiments argileux. 15C : Sédiments sous-jacents à l'argile. 15D : Sédiments sus-jacents à l'argile.

L'épaisseur et les propriétés des dépôts meubles qui recouvrent le roc influencent l'écoulement de l'eau souterraine à l'échelle régionale. Lorsque les dépôts meubles sont grossiers (sables et graviers) et que leur épaisseur est suffisamment importante, ils constituent un aquifère potentiellement exploitable. Cependant, si les dépôts meubles sont fins (argile et silt) et donc peu perméables, ils formeront plutôt un aquitard. Parce qu'il est peu perméable, un aquitard situé au-dessus d'un aquifère le protégera d'une contamination potentielle venant de la surface. La recharge de l'aquifère sous-jacent à partir des précipitations sera cependant réduite en présence de l'aquitard. Les informations sur l'épaisseur et le type de dépôts meubles proviennent majoritairement des données de forage. L'épaisseur totale des dépôts meubles a été estimée en interpolant les données colligées et validées dans le cadre du projet, incluant les forages, les affleurements rocheux (qui indiquent une épaisseur nulle de dépôts), les données géophysiques interprétées (ex. sismique réflexion) et, de manière indirecte, les données sur la distribution des sédiments du Quaternaire (livrable no. 12).

Pour la Chaudière-Appalaches, différentes méthodes d'interpolation ont été utilisées pour estimer les épaisseurs de dépôts meubles dans les basses-terres et les Appalaches et une validation itérative des résultats a été réalisée. L'épaisseur de dépôts meubles est plus importante dans les basses-terres, allant de 0 à 30 m (moyenne de 4.7 m), et l'épaisseur est particulièrement importante dans la partie nord-ouest des basses-terres, entre Sainte-Croix et Lévis. On peut aussi retrouver des épaisseurs de dépôts meubles pouvant excéder 15 m dans les vallées appalachiennes, où l'épaisseur moyenne est de 3 m. Les hautes-terres appalachiennes sont généralement recouvertes de faibles épaisseurs de till et l'épaisseur moyenne de dépôts meubles y est d'un peu moins de 2 m. En plus de l'épaisseur totale de dépôts meubles, des cartes ont aussi été produites pour montrer l'épaisseur de différents types des sédiments : les sédiments fins argileux, les sédiments au-dessus des sédiments fins et les sédiments retrouvés sous les sédiments fins. Les accumulations importantes des sédiments fins ne se retrouvent que dans les basses-terres où ces sédiments ont des épaisseurs entre 5 et 10 m, mais peuvent localement excéder 15 m. C'est encore une fois dans la partie nord-ouest des basses-terres qu'on retrouve des épaisseurs importantes et continues de sédiments fins. Il y a peu de sédiments au-dessus ou en-dessous des sédiments fins et ces sédiments sont généralement retrouvés dans les basses-terres ou dans les vallées appalachiennes.

Livrable PACES no. 16 : TOPOGRAPHIE DU ROC

La carte de la topographie du roc représente une estimation de l'élévation de la surface du roc qui se trouve souvent sous une certaine épaisseur de dépôts meubles. Donc, contrairement à la topographie de la surface (livrable PACES no. 1), il n'est pas possible de connaître la topographie du roc à moins de disposer de données de forages, ou d'affleurements rocheux indiquant que le roc est présent à la surface. La précision de l'estimation de la topographie du roc dépend donc surtout de la quantité et de la répartition spatiale des données de forage. La topographie du roc sert à identifier les dépressions (creux) importantes du roc où peuvent s'être accumulés une grande quantité de dépôts meubles qui peuvent avoir un potentiel aquifère intéressant si ces sédiments sont grossiers (sables et graviers). La topographie du roc a été obtenue en soustrayant l'épaisseur totale des dépôts meubles (livrable PACES no. 15) du modèle numérique de terrain (livrable PACES no. 3).

En Chaudière-Appalaches, la topographie du roc reflète généralement la topographie de la surface, à l'exception de certaines vallées appalachiennes comblées d'épaisseurs importantes de sédiments (Chaudière et Etchemin) ainsi que de la partie nord-ouest des basses-terres du St-Laurent où on observe des différences marquées entre le relief de surface du sol et celui du roc. Dans les basses-terres, des dépressions dans la surface du roc sont aussi associées aux vallées enfouies sous certains cours d'eau, notamment pour les rivières du Chêne, Beaurivage, paléo-Chaudière, paléo-Etchemin, Boyer et du Sud. Dans le cas des rivières Chaudière et Etchemin, leur présente position dans les basses-terres ne correspond pas à celles qu'elles ont occupées dans l'histoire géologique. On retrouve donc les dépressions de la surface du roc associées aux positions anciennes (« paléo ») de ces vallées et non à leur position actuelle.

Livrable PACES no. 17 : CONDITIONS DE CONFINEMENT

Le confinement d'un aquifère est lié à son recouvrement par une couche de matériaux peu perméables (aquitard) qui isole l'eau souterraine qu'il contient. La nature et l'épaisseur des dépôts meubles ou des unités géologiques déterminent le niveau de confinement des aquifères, qui va de non confiné (nappe libre), à semi-confiné (nappe semi-captive) et jusqu'à confiné (nappe captive). Les dépôts meubles fins (silt et argile) sont des matériaux confinants. Lorsque les matériaux fins qui recouvrent un aquifère sont plus ou moins perméables, discontinus ou de faible épaisseur, on considère l'aquifère sous-jacent comme étant semi-confiné. En l'absence de couverture de dépôts meubles, ou lorsque ceux-ci sont perméables, les conditions seront libres. Le confinement influence les divers processus dynamiques et chimiques de l'eau souterraine, en limitant ou favorisant la recharge de l'aquifère ou encore sa protection par rapport à une contamination provenant de la surface.

En Chaudière-Appalaches, trois types de conditions de confinement ont été définies à partir des épaisseurs de sédiments fins estimées pour l'aquifère rocheux régional : nappe libre, semi-captive et captive. Trois catégories de conditions semi-captives distinguent les différentes séquences de sédiments reliées à ce type de condition. Les conditions captives (en vert) couvrent des étendues très restreintes de la région d'étude (603 km² ; 3.8%), principalement dans la partie nord-ouest, entre la limite marine et le fleuve Saint-Laurent, ainsi que dans les portions avals des rivières Boyer et du Sud. La distribution spatiale des conditions semi-captives (trois tons de beige) est assez semblable à celle des conditions captives, mais les conditions semi-captives couvrent une plus grande étendue au nord-ouest de la limite marine et particulièrement à l'intérieur des vallées appalachiennes, pour un total de 3158 km² (20.1% de la région). Ce sont les conditions libres qui prévalent sur la très grande majorité de la région d'étude (11 982 km² ; 76.1%). En dehors de la limite marine, on retrouve des conditions libres sur pratiquement tout le territoire, excepté dans les vallées appalachiennes. Les conditions libres dominent aussi la partie est des basses-terres du St-Laurent, entre Lévis et St-Jean-Port-Joli, où les accumulations de sédiments sont restreintes, particulièrement les sédiments fins.

Livrable PACES no. 18 : CONTEXTES HYDROGÉOLOGIQUES

Le livrable PACES no. 18 définit les contextes hydrogéologiques sur la base de la séquence verticale de matériaux meubles recouvrant l'aquifère rocheux. Ces contextes peuvent être générés sur la base des données de forages, de la géologie du Quaternaire (livrable PACES no. 12), de la géologie du roc (livrable PACES no. 13), des épaisseurs de sédiments (livrable PACES no. 15) et des levés géophysiques. Ces séquences de sédiments, de même que des critères géomorphologiques, distinguent les grands contextes hydrogéologiques

La **carte 18** présente les trois grands contextes hydrogéologiques définis en Chaudière-Appalaches : 1) les basses-terres du St-Laurent, 2) les vallées appalachiennes et 3) les hautes-terres appalachiennes. Les basses-terres du St-Laurent forment une bande de 10 à 30 km de largeur entre la bordure du fleuve Saint-Laurent et la limite marine (180 m NMM). Dans ce contexte, l'épaisseur totale de sédiments va de nulle jusqu'à plus de 30 m. De la surface au roc, ces sédiments forment une séquence typique de sable mince (parfois absent) sur de l'argile, parfois épaisse (10-15 m), reposant sur du till ou directement sur le roc. Les vallées appalachiennes sont reliées aux principaux cours d'eau qui incisent le relief montagneux à des élévations généralement inférieures à 350 m NMM. On y retrouve des séquences de sédiments semblables à celles des basses-terres, à l'exception qu'on y retrouve par endroits des sédiments anciens et que le roc à la base des vallées peut être altéré. De plus, on peut y retrouver des intervalles de sédiments granulaires plus grossiers, soit en profondeur ou en bordure des vallées. En dehors des vallées, les hautes-terres appalachiennes occupent la majorité des Appalaches où elles montrent des topographies de collines ou de montagnes, pouvant atteindre une élévation de 900 m NMM. Les hautes-terres sont typiquement recouvertes d'une mince (< 5 m) couche de till relativement perméable sur le roc. On y retrouve aussi des accumulations localement plus importantes de sédiments fluvio-glaciaires.

Les séquences de sédiments typiques montrées sur la **carte 18** ont été définies à partir des épaisseurs estimées des sédiments : 1) roc affleurant, 2) sédiments fins sur roc, 3) sédiments fins sur sédiments indifférenciés sur roc, 4) sédiments indifférenciés sur roc, 5) sédiments indifférenciés sur sédiments fins sur roc et 6) sédiments indifférenciés sur sédiments fins sur till sur roc. Les séquences sont distinctes dans les différents contextes hydrogéologiques. La distribution de ces séquences sur la **carte 18** indique toutefois une prédominance de la séquence sédiments indifférenciés sur roc dans tous les contextes. Cette carte peut fournir des informations d'intérêt pour l'exploitation et la gestion des ressources en eau souterraine lorsque combinée à d'autres données, telles que la géologie du Quaternaire (livrable PACES no. 12) et les épaisseurs des sédiments (livrable PACES no. 15).

Livrable PACES no. 19 : PIÉZOMÉTRIE DANS LES DÉPÔTS MEUBLES

La piézométrie, aussi appelé niveau piézométrique, est une mesure de l'élévation du niveau de l'eau souterraine dans un puits. Lorsqu'il y a suffisamment de puits dans un secteur ou une région, il est possible d'interpoler ces niveaux pour créer une carte piézométrique qui illustre la tendance de l'élévation des niveaux piézométriques sur le territoire. Un peu comme la carte topographique l'est pour l'élévation du sol, la carte piézométrique représente les variations de l'élévation du niveau de l'eau dans un aquifère donné sous la surface du sol. La piézométrie indique le sens de l'écoulement de l'eau souterraine dans l'aquifère, qui va des zones à piézométrie plus élevée vers celles où la piézométrie est plus basse.

En Chaudière-Appalaches, les aquifères granulaires ont une extension limitée et ne sont pas d'envergure régionale. Il n'a donc pas été possible de produire une carte piézométrique pour les aquifères granulaires.

Livrable PACES no. 20 : PIÉZOMÉTRIE DANS LE ROC

La piézométrie, aussi appelé niveau piézométrique, est une mesure de l'élévation du niveau de l'eau souterraine dans un puits. Lorsqu'il y a suffisamment de puits dans un secteur ou une région, il est possible d'interpoler ces niveaux pour créer une carte piézométrique qui illustre la tendance de l'élévation des niveaux piézométriques sur le territoire. Un peu comme la carte topographique l'est pour l'élévation du sol, la carte piézométrique représente les variations de l'élévation du niveau de l'eau dans un aquifère donné sous la surface du sol. La piézométrie indique le sens de l'écoulement de l'eau souterraine dans l'aquifère, qui va des zones à piézométrie plus élevée vers celles où la piézométrie est plus basse.

La **carte 20** montre des plages d'élévation des niveaux d'eau allant de moins de 30 m à plus de 730 m. Cette carte piézométrique régionale donne une vue d'ensemble de l'écoulement de l'eau souterraine dans l'aquifère rocheux régional et permet de constater que les conditions d'écoulement sont très distinctes dans les contextes hydrogéologiques de la Chaudière-Appalaches. Dans les basses-terres, les très faibles changements des niveaux d'eau indiquent que l'écoulement y est généralement faible et se fait généralement vers le fleuve Saint-Laurent. Au contraire, dans les Appalaches au sud de la limite marine, les fortes variations de la topographie donnent des niveaux d'eau beaucoup plus élevés et variables. L'élévation topographique maximale se trouve au centre des Appalaches et cela crée une grande ligne de partage des eaux souterraines orientée du sud-ouest au nord-est. Du côté nord de la ligne de partage, l'eau souterraine s'écoule généralement vers le nord, tandis que du côté sud l'écoulement se fait vers le sud. Plusieurs vallées orientées perpendiculairement à la topographie créent toutefois des directions d'écoulement opposées à l'écoulement régional. L'écoulement est convergent vers les vallées appalachiennes, quelle que soit leur orientation. De plus, l'orientation de l'écoulement n'est pas régulière parce que la topographie des Appalaches est très morcelée par un dense réseau de cours d'eau qui sont des exutoires de l'eau souterraine qui a circulée dans l'aquifère rocheux régional. L'écoulement de l'eau souterraine dans les Appalaches doit ainsi être rapide et les voies d'écoulement généralement assez courtes. Il en découle que le temps de résidence de l'eau souterraine devrait être généralement court, ce qui est confirmé par la géochimie de l'eau souterraine.

Livrable PACES no. 21 : PARAMÈTRES HYDRAULIQUES

Les propriétés hydrauliques d'un aquifère sont généralement obtenues en pompant l'eau d'un puits et en y mesurant les variations du niveau d'eau. La conductivité hydraulique (K ; m/s) est la capacité d'un milieu géologique à permettre l'écoulement de l'eau souterraine dans les pores des dépôts meubles ou les fractures d'un aquifère rocheux. La transmissivité (T ; m²/s) est le produit de la conductivité hydraulique et de l'épaisseur verticale saturée b (m) de l'aquifère ($T = K \cdot b$). Enfin, la capacité spécifique (CS , Q/s; m²/s) est le rapport entre le débit d'un puits (Q ; m³/s) et l'abaissement du niveau d'eau (« rabattement » s ; m) dans le puits par rapport au niveau mesuré en l'absence de pompage. La capacité spécifique est une propriété d'un puits de pompage qui permet une estimation indirecte et approximative de la transmissivité T . Puisque les données de capacité spécifique CS sont beaucoup plus courantes que celles sur T ou K , la capacité spécifique est fréquemment utilisée pour l'estimation de T , puis K .

En Chaudière-Appalaches, l'analyse a été faite des données de capacité spécifique associées à 9 061 puits terminés dans le roc et de 274 puits installés dans dépôts meubles. Les valeurs de K du roc vont généralement de 10^{-8} à 10^{-5} m/s. Il y a un écart moyen d'environ 2 à 3 ordres de grandeur entre les K des aquifères granulaires et les K de l'aquifère rocheux régional. Les valeurs de K pour l'aquifère rocheux régional montrent 1) que K diminue rapidement avec la profondeur dans le roc, 2) que la distribution de la profondeur des puits dans le roc est très semblable pour les puits dans les Appalaches (20-40 m) mais plus importante dans la Plateforme du St-Laurent (30-90 m), et 3) que la différence entre les valeurs moyennes de K pour différentes unités géologiques n'est pas importante, surtout considérant la variabilité de K . Le tableau 4.1 du livrable PACES no. 21 montre les plages de valeur de K et de T pour les différentes unités géologiques du roc présentes en Chaudière-Appalaches.

Livrable PACES no. 22 : VULNÉRABILITÉ DES AQUIFÈRES (DRASTIC)

La vulnérabilité d'un aquifère est sa sensibilité à la pollution de l'eau souterraine à partir de l'émission de contaminants à la surface du sol. Une carte de vulnérabilité permet donc d'identifier les zones les plus vulnérables à la contamination et de fournir un outil d'aide à la prise de décision pour aménager le territoire tout en protégeant la ressource en eau souterraine. La carte de vulnérabilité permet d'intégrer un ensemble de conditions qui contribuent à la vulnérabilité d'un aquifère, « traduisant » ainsi la connaissance hydrogéologique en un outil facilement applicable par des non spécialistes. Le programme PACES spécifie que la méthode DRASTIC doit être utilisée pour évaluer la vulnérabilité. La méthode DRASTIC permet le calcul d'un indice à partir de 7 paramètres, chacun correspondant à l'une des lettres du mot « DRASTIC ».

En Chaudière-Appalaches, la méthode DRASTIC a été appliquée uniquement pour l'aquifère rocheux régional puisque les aquifères granulaires n'y sont pas assez étendus pour être cartographiés à l'échelle régionale. Deux présentations différentes des cartes de vulnérabilité ont été faites : 1) en utilisant les intervalles de valeurs des indices DRASTIC et les couleurs standards de la méthode (carte 22A), et 2) en utilisant des plages de valeurs relatives basées sur les percentiles des indices DRASTIC rencontrés dans la région, ce qui permet de représenter la vulnérabilité relative des conditions de la région (carte 22B).

Les basses-terres du St-Laurent ont les plus grandes étendues (60%) de vulnérabilité relative faible ou même très faible. La vulnérabilité est particulièrement faible sur de grandes étendues l'ouest de Lévis où il y a des sédiments fins épais. On trouve tout de même des vulnérabilités relatives élevées dans plusieurs secteurs où les conditions sont libres et la recharge importante. Dans les hautes-terres appalachiennes, puisqu'elles occupent la majorité de la région d'étude, on retrouve en majorité des zones à vulnérabilité moyenne. Les hauts topographiques les plus importants n'ont toutefois que des vulnérabilités faibles parce que les pentes y sont fortes, la recharge modérée et la profondeur à la nappe plus importante. Les plus fortes vulnérabilités des hautes-terres sont présentes en marge des plus hauts sommets, dans les secteurs de plateaux ou en bordure des vallées, où se trouvent aussi parfois d'intenses activités anthropiques. C'est dans les vallées appalachiennes qu'on trouve proportionnellement le plus de zones à vulnérabilité élevée ou très élevée. Les plus fortes vulnérabilités dans les vallées se retrouvent toutefois dans des secteurs où la densité de population est moindre qu'ailleurs en Chaudière-Appalaches. La vulnérabilité dans les vallées est plutôt moyenne, ou même faible, là où on retrouve de plus grandes épaisseurs de sédiments fins et des conditions semi-captives. Toutefois, la vulnérabilité est souvent élevée, ou même très élevée, en bordure des vallées où se trouvent souvent des activités anthropiques assez intenses ainsi que de l'agriculture.

Livrable PACES no. 23 : ACTIVITÉS ANTHROPIQUES

L'intensité des activités anthropiques peut poser un risque pour la qualité de l'eau souterraine car une plus grande intensité peut augmenter la possibilité d'émission de contaminants en surface. Le livrable PACES no. 23 présente l'indice de densité des activités anthropiques et vise principalement à faire ressortir les tendances régionales de la pression que ces activités pourraient exercer sur la qualité de l'eau souterraine. Le format cartographique du livrable représente la densité des activités pondérée par le poids de l'impact potentiel des activités anthropiques pour la région d'étude. Cet indice ne représente qu'une indication et il comporte un certain niveau d'incertitude. Une validation de la nature des activités dans un secteur à fort indice de densité des activités anthropiques sera donc nécessaire avant d'entreprendre des actions visant à réduire les pressions sur la qualité de l'eau souterraine.

Le livrable PACES no. 23 montre qu'il y a trois grands axes avec des indices plus élevés d'activités anthropiques en Chaudière-Appalaches : 1) la bordure du fleuve Saint-Laurent, de Sainte-Croix à Saint-Jean-Port-Joli, 2) la vallée de la rivière Chaudière, entre Lévis et Saint-Georges, et 3) entre Thetford Mines et la vallée de la Chaudière. Il y a aussi de forts indices au nord-ouest de Saint-Pamphile. Ces activités anthropiques potentiellement polluantes doivent être mises en relation avec l'usage de l'eau souterraine et la vulnérabilité de l'aquifère dans les secteurs à fort indice d'activité anthropique. Il faut noter que cet indice ne tient pas compte des activités agricoles qui peuvent aussi avoir une incidence sur la qualité de l'eau souterraine.

Livrable PACES no. 24 : QUALITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE (POTABILITÉ)

L'usage de l'eau souterraine dépend de sa qualité, c'est-à-dire de la concentration dans l'eau de différents composés chimiques, par rapport à des critères de qualité fixés par les instances gouvernementales. Dans le cas du livrable PACES no. 24, les critères de la qualité de l'eau considérés sont les concentrations maximales acceptables (CMA) pour que l'eau soit potable. La consommation d'une eau dont la concentration d'un composé chimique dépasse la concentration maximale acceptable pose un risque pour la santé.

En Chaudière-Appalaches, une campagne d'échantillonnage d'eau souterraine a permis de récolter 131 échantillons provenant principalement de puits résidentiels qui ont fait l'objet d'analyses chimiques. Presque 200 autres analyses chimiques ont aussi été obtenues d'études antérieures ou en voie de réalisation dans la région d'étude. La densité d'échantillonnage relativement faible donne un portrait régional mais ne permet pas de préciser exactement les zones où des dépassements de critères pourraient être rencontrés. De plus, la géochimie de l'eau varie d'un endroit à l'autre, de sorte que les résultats des analyses chimiques permettent de donner des indications sur la « probabilité » de dépassements de critères, mais la situation réelle doit être définie pour chaque puits individuellement.

Des dépassements par rapport à des normes pour l'eau potable relatives à la santé ont été observés pour certains composés. Il n'y a pas de problème significatif de qualité relié aux métaux puisque Cd, Pb et Sb n'ont qu'un ou deux dépassements chacun. Par contre, il y a des problématiques de potabilité de l'eau reliées à la présence naturelle d'arsenic (As), de fluorures (F⁻) et de baryum (Ba) dans l'eau souterraine. Les dépassements de la CMA pour l'arsenic affectent 4,2% de l'ensemble des puits. Ces dépassements sont en majorité associés aux aquifères rocheux (10 dépassements) et sont localisés dans une zone géologique spécifique des Appalaches. Les problématiques en fluorures et en baryum affectent respectivement 3,3% et 1,5% des puits étudiés et sont aussi associées majoritairement aux aquifères au roc situés sous la limite marine de la mer de Champlain, particulièrement près du fleuve Saint-Laurent. La présence de fortes concentrations en nitrite-nitrates est généralement associée à l'agriculture mais, malgré l'importance de cette activité en Chaudière-Appalaches, un seul échantillon a présenté des concentrations excédant le critère de potabilité et les concentrations en nitrite-nitrates atteignent rarement des niveaux importants.

Livrable PACES no. 25 : QUALITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE (ESTHÉTIQUE)

Le livrable PACES no. 24 porte sur la qualité de l'eau en lien avec les critères de potabilité tandis que le livrable PACES no. 25 compare la qualité de l'eau avec des objectifs esthétiques. La consommation d'une eau dont la concentration d'un composé chimique dépasse les objectifs esthétiques peut entraîner des désagréments (goût, odeur, couleur) mais n'a pas d'incidence sur la santé.

Le texte explicatif du livrable PACES no. 24 décrit le programme d'échantillonnage de puits et les analyses chimiques disponibles en Chaudière-Appalaches. La comparaison des résultats analytiques avec les objectifs d'ordre esthétique montre des dépassements pour 9 paramètres : chlorures (Cl), sodium (Na), matières dissoutes totales (MDT), dureté, fer (Fe), manganèse (Mn), sulfures (S^{2-}), pH et méthane. Les problématiques reliées aux objectifs d'ordre esthétique sont nombreuses, bien qu'elles n'affectent pas la potabilité de l'eau. Près de la moitié des puits analysés présentent une trop grande concentration en manganèse (Mn). Notons aussi que le pH est soit trop acide ou trop alcalin pour 23% des puits. Les pH trop élevés sont surtout associés aux aquifères granulaires. D'autres critères esthétiques présentent des dépassements : les chlorures et le sodium ont quelques dépassements, surtout en bordure du fleuve; l'eau est souvent dure ou a trop de solides dissous totaux, particulièrement en bordure du fleuve et dans le bassin de la rivière Chaudière; et il y a des dépassements en sulfures et en aluminium par endroits. Au nord-ouest de la région à l'intérieur de la zone prospective pour le gaz de shale, 44 (59%) des 74 échantillons d'eau analysés ont montré des concentrations en méthane quantifiables, dont 11 (15%) à des valeurs excédant le seuil d'alerte de 7 mg/L. Le méthane n'a pas d'incidence sur la santé. Ce méthane est d'origine biogénique prédominante, c'est-à-dire qu'il a été formé en place à faible profondeur.

Livrable PACES no. 26 : UTILISATION DE L'EAU

Les besoins en eau pour différents usages peuvent être comblés par différentes sources d'approvisionnement, selon la disponibilité et la qualité de la ressource en eau. De façon générale, les utilisateurs s'alimentent en eau de surface ou en eau souterraine par l'intermédiaire des systèmes publics (par exemple des aqueducs) ou de systèmes privés comme des puits au roc. Au Québec, les données sur l'utilisation de l'eau et les sources d'approvisionnement proviennent soit d'organismes publics (ministères provinciaux, municipalités, MRC, régies inter-municipales, etc.) ou d'entreprises privées.

Pour la Chaudière-Appalaches, le tableau 5.3 du rapport résume plusieurs informations sur l'usage de l'eau à l'échelle des MRC et le rapport présente plusieurs cartes donnant un portrait complet de l'utilisation de l'eau. La carte 26A montre la source de l'approvisionnement en eau municipal, qui provient de l'eau souterraine pour 84 municipalités (62%), alors que 14 municipalités (10%) utilisent l'eau de surface ou une source mixte et 38 municipalités (28%) n'ont pas de réseau. La carte 26B illustre l'utilisation totale d'eau par MRC et montre que la consommation totale d'eau est généralement corrélée à la population des MRC, avec des exceptions vers le haut et le bas. Globalement, l'eau souterraine comble un peu plus que 40% de l'utilisation totale d'eau, mais cette proportion est très variable. La carte 26C présente l'utilisation d'eau souterraine par MRC et les proportions des usages résidentiel, agricole et industriel-commercial-institutionnel (ICI). L'approvisionnement par l'eau souterraine est en moyenne de 42%, et varie entre 29% pour la MRC de Bellechasse et 72% pour la MRC de L'Islet. En termes absolus, ce sont les MRC de la Nouvelle-Beauce (8.9 Mm³), de Lotbinière (8.1 Mm³) et de Bellechasse (7.4 Mm³) qui font la plus grande consommation d'eau souterraine. Les trois usages de l'eau souterraine consommée ont souvent des proportions équivalentes. Toutefois, on peut remarquer la faible proportion d'usage ICI pour la MRC de Montmagny (4.7%), tandis que dans la MRC Robert-Cliche cette proportion d'usage ICI est de 53%. C'est la MRC de Bellechasse qui a la plus grande proportion d'usage agricole (46%) de l'eau souterraine, alors que cette proportion n'est que de 13% pour la MRC des Etchemins. La proportion de l'usage résidentiel d'eau souterraine est plus important dans les MRC des Etchemins (69%) et de Beauce-Sartigan (57%). La carte 26D montre le pourcentage de l'utilisation résidentielle de l'eau souterraine par municipalité. Ce sont les municipalités situées au sud-est des MRC de l'Islet, Montmagny et des Etchemins qui ont les plus grandes proportions d'utilisation résidentielle de l'eau souterraine. Au contraire, les municipalités situées dans un axe allant de Lévis à Saint-Georges (mais excluant Saint-Georges) ont plus souvent de faibles proportions d'usage résidentiel de l'eau souterraine. La carte 26E montre la densité des puits par municipalité. Sans surprise, la densité des puits tend à refléter aussi la densité de population. On voit ainsi des axes avec de fortes densités de puits entre Sainte-Croix et Montmagny, en bordure du fleuve Saint-Laurent, entre Lévis et Saint-Georges, en bordure de la vallée de la rivière Chaudière, et aussi entre Saint-Georges et Thetford Mines. La carte 26F présente l'utilisation de l'eau par rapport à la recharge par municipalité pour donner une indication sur les conditions durables de l'exploitation de l'eau souterraine. Cette carte montre que la proportion de la recharge correspondant à l'exploitation de l'eau souterraine est généralement inférieure à 15% de la recharge. Ces proportions d'utilisation de la recharge apparaissent a priori permettre une exploitation soutenable de la ressource en eau souterraine. Il y a toutefois 6 municipalités dont la proportion de l'exploitation dépasse 15%, dont deux municipalités dépassent 25%. Ces seuils d'exploitation indiquent qu'une évaluation plus détaillée de l'approvisionnement en eau souterraine pourrait être prudente.

Livrable PACES no. 27 : EMBLEMENTS DES STATIONS MÉTÉO, HYDROMÉTRIQUES ET DE SUIVI DE LA NAPPE

Le livrable PACES no. 27 présente la répartition spatiale des stations de mesure permanentes pour la météorologie, l'hydrométrie (débit des principaux cours d'eau) et la piézométrie (niveau de l'eau souterraine).

En Chaudière-Appalaches, le CEHQ a opéré ou opère 32 stations de jaugeage des débits, parmi lesquelles 21 stations sont inactives, incluant 6 qui possèdent un historique de données de 3.5 à 9 ans se terminant après l'année 2000. Des 11 stations encore ouvertes, 7 stations possèdent un historique de mesures d'une durée de plus de 30 ans.

La Chaudière-Appalaches compte 38 stations météorologiques actives, dont 19 stations actives possédant au moins 30 ans de données (depuis 1980). De plus, dix (10) stations sélectionnées en périphérie de la zone d'étude ont servi à générer certains des livrables du projet.

Avant la réalisation du projet PACES en Chaudière-Appalaches, le MDDELCC avait dans son réseau 21 stations de suivi (puits de surveillance) du niveau d'eau dans, ou tout juste en bordure de la région à l'étude. Des forages conventionnels ont permis la mise en place de 8 autres puits d'observation au roc dans le cadre du présent projet. Le MDDELCC a intégré les nouveaux puits d'observation à son réseau de suivi après la fin du projet PACES en avril 2015.

Livrable PACES no. 28A : ZONES POTENTIELLES DE RECHARGE ET DE RÉSURGENCE PRÉFÉRENTIELLES

L'évaluation de la recharge est nécessaire pour définir les ressources en eau souterraine disponibles, puisque les débits qui peuvent être exploités de façon durable dépendent grandement du renouvellement de l'eau souterraine, qui est la recharge. Cependant, la quantité d'eau qui s'infiltré pour recharger les aquifères est un des paramètres hydrogéologiques les plus difficiles à évaluer.

En Chaudière-Appalaches, les zones préférentielles de recharge et de résurgence, présentées sur la carte du livrable no. 28a avec la piézométrie (livrable no. 20) en arrière-plan, ont été définies en utilisant deux types de critères : une recharge importante au-dessus de 250 mm/an et la présence d'un dôme piézométrique hors des zones captives. À l'inverse, les zones de résurgence préférentielles ont été identifiées dans les dépressions de la surface piézométrique et les zones de nappe affleurante hors des zones captives avec une recharge faible (< 50 mm/an). Ces dépressions correspondent souvent à la présence de cours d'eau. La carte 28A montre aussi la nature du lien entre l'aquifère rocheux et les cours d'eau qui a été définie sur la base des conditions de confinement (carte 17) et de l'épaisseur de la couche argileuse (carte 15B). Dans les basses-terres du St-Laurent, de grandes étendues ont une recharge très faible (< 15 mm/an), mais on retrouve tout de même des zones locales de recharge associées à des affleurements du roc où les conditions sont libres. Il y a un contraste marqué entre les parties ouest et est des basses-terres, de part et d'autre de Lévis : à l'ouest on retrouve très peu de zones de résurgence et les liens entre l'aquifère rocheux régional et les cours d'eau sont souvent diffus ou inexistants; à l'est les cours d'eau sont souvent en lien direct avec l'aquifère et représentent des exutoires de l'eau souterraine. Au-delà de la limite marine, à l'intérieur des Appalaches, on retrouve sur les hauts topographiques des zones de recharge importantes favorisées par de faibles épaisseurs de sédiments assez perméables sur le roc et des conditions libres. Par contre, dans les vallées appalachiennes où il y a des accumulations importantes de sédiments, généralement fins, et des conditions semi-captives, la recharge peut être très faible (<15 mm/an). Les vallées appalachiennes représentent toutefois d'importantes zones de résurgence, même si parfois le lien entre les cours d'eau et l'aquifère rocheux est diffus.

Livrable PACES no. 28B : RECHARGE DISTRIBUÉE

L'évaluation de la recharge est nécessaire pour évaluer les ressources disponibles en eau souterraine, puisque les débits qui peuvent être exploités de façon durable dépendent grandement du renouvellement de l'eau souterraine, qui est la recharge. Cependant, la quantité d'eau qui s'infiltre pour recharger les aquifères est un des paramètres hydrogéologiques les plus difficiles à évaluer.

En Chaudière-Appalaches, la recharge de l'aquifère rocheux régional a été estimée à l'aide du logiciel HELP (*Hydrological Evaluation of Landfill Performance*). Ce logiciel intègre plusieurs données sur le climat, la végétation, l'occupation du territoire et sur les propriétés des sols, des dépôts et du roc. En plus d'estimer la recharge sur l'ensemble du territoire, HELP calcule aussi les autres paramètres du bilan hydrologique, soient l'évapotranspiration des végétaux, le ruissellement de l'eau à la surface du sol et en profondeur. Globalement, avec 166 mm/an en moyenne pour l'ensemble de la Chaudière-Appalaches, la recharge de l'aquifère rocheux régional peut être considérée relativement importante. Toutefois, la répartition spatiale de cette recharge est très variable à l'intérieur même des contextes hydrogéologiques. La recharge moyenne est de 85 mm/an dans les basses-terres, significativement moins que dans les hautes-terres appalachiennes (186 mm/an) et les vallées appalachiennes (192 mm/an). On trouve tout de même localement des zones de recharge dans les basses-terres où le roc est peu profond ou affleurant et où les conditions sont libres. À l'intérieur des Appalaches, au-delà de la limite marine, une recharge importante se produit sur presque tout le territoire, que ce soit dans les hautes-terres ou les vallées, sauf où il y a accumulation de sédiments fins dans les vallées. Le livrable 28A montre où se trouvent les zones de recharge et d'émergence de l'eau souterraine.