

# PROJET DE CONNAISSANCES SUR LES EAUX SOUTERRAINES DANS LA RÉGION DES LAURENTIDES ET DE LA MRC LES MOULINS

## RAPPORT SYNTHÈSE



# ÉQUIPE DE RÉALISATION

**Hydrogéologie**  
 Sylvain Gagné Agent de recherche, UQAM  
 Marie Larocque Spécialiste en hydrogéologie, professeure, UQAM  
 Alice Morard Agente de recherche, UQAM  
 Marjolaine Roux Agente de recherche, UQAM

**Collaborateurs**  
 Daniele Pinti Géochimiste isotopiste, professeur, UQAM  
 David Widory Géochimiste isotopiste, professeur, UQAM

**Étudiants MSc et PhD**  
 Fanny Pithon MSc Sciences de l'environnement - UQAM  
 Jonathan Chabot-Grégoire MSc Sciences de la Terre - UQAM  
 Rachel Laplante MSc Sciences de la Terre - UQAM  
 Frédérique Dubois MSc Sciences de la Terre - UQAM  
 Samuel Bolduc MSc Sciences de la Terre - UQAM

**Stagiaires BSc**  
 Jonathan Chabot-Grégoire, Frédérique Dubois, Samuel Bolduc et Claire Choisy

**Support logistique**  
 Frédéric Toupin Informaticien, UQAM

**Partenaires régionaux au projet**  
 Organisme de bassin versant Abrinord  
 Organisme de bassin versant COBALI  
 Organisme de bassin versant RPNS  
 Organisme de bassin versant COBAMIL  
 MRC d'Antoine-Labelle  
 MRC d'Argenteuil  
 MRC de la Rivière-du-Nord  
 MRC des Pays-d'en-Haut  
 MRC des Laurentides  
 MRC les Moulins

**Référence à citer**  
 Gagné, S., Larocque, M., Morard, A., Roux, M. 2022. Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines dans la région des Laurentides et de la MRC les Moulins - Rapport synthèse mars 2022, Rapport déposé au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Université du Québec à Montréal, Montréal, Canada. 47 p.





## AVANT-PROPOS

Ce rapport est le résultat de quatre années de travail d'acquisition de connaissances sur l'eau souterraine dans la région des Laurentides et de la MRC les Moulins. Ce projet a été financé par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), avec la contribution des MRC d'Argenteuil, de la Rivière-du-Nord, des Laurentides, Les Moulins, des Pays-d'en-Haut et d'Antoine-Labelle, ainsi qu'avec la contribution des organismes de bassin versant Abrinord (rivière du Nord), RPNS (rivières Rouge, Petite Nation et Saumon), COBALI (rivière du Lièvre), et du COBAMIL (Conseil des bassins versants des Mille-Îles).

Les auteurs remercient tous les partenaires pour leur implication financière et logistique dans le projet. Les auteurs désirent également remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation du projet, les collaborateurs scientifiques, les étudiants de maîtrise, les stagiaires ainsi que le personnel de soutien de l'UQAM. Les travaux de terrain n'auraient pas pu avoir lieu sans la collaboration des habitants de la région, des MRC, des municipalités et des ministères.

Il est important de souligner que toutes les cartes produites dans ce projet sont représentatives des conditions régionales à l'échelle 1/100 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional qui en découle 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, et ce, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données pour assurer la plus grande qualité possible aux résultats. Par conséquent, les données acquises ne peuvent remplacer les études requises pour définir les conditions réelles à l'échelle locale. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attache ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou à l'adaptation à une fin particulière de toute activité qui utiliserait les données du projet et n'assument aucune responsabilité pour les dommages qui pourrait découler de leur utilisation.

## RÉSUMÉ

Le *Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines dans la région des Laurentides et de la MRC Les Moulins* (PACES-LAULM), est financé par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). Ce projet avait pour but d'établir la cartographie hydrogéologique dans une portion de la région administrative des Laurentides et de la MRC Les Moulins, en incluant dans la cartographie les données d'un projet pilote de cartographie hydrogéologique Aquifères fracturés du sud-ouest du Québec (AFSOQ) complété il y a quelques années dans la partie la plus au sud de la région des Laurentides (superficie totale 11 477 km<sup>2</sup>). Il a été réalisé par l'Université du Québec à Montréal en collaboration avec les organismes de bassin versant Abrinord (rivière du Nord), COBALI (rivière du Lièvre), RPNS (rivières Rouge, Petite Nation et Saumon) et COBAMIL (rivière Mille-Îles), et en collaboration avec les MRC d'Antoine-Labelle, d'Argenteuil, de la Rivière-du-Nord, des Laurentides, des Pays-d'en-Haut et des Moulins.

Les résultats montrent que l'aquifère de roc fracturé du Bouclier canadien est dans l'ensemble peu productif et que les principaux aquifères sont dans les dépôts granulaires situés dans les vallées. L'eau souterraine s'écoule des sommets vers les vallées des grandes rivières. Une partie importante de cet écoulement souterrain est intercepté par les nombreuses rivières de la région qui drainent le territoire vers la rivière des Outaouais. À l'échelle régionale, la recharge de l'aquifère fracturé est estimée à 198 mm/an. Les volumes d'eau souterraine utilisés par les particuliers, les villes, l'agriculture et l'industrie représentent environ 0,5 % de la recharge potentielle. Il ne semble donc pas y avoir de pressions majeures sur les quantités d'eau souterraine disponibles régionalement. Toutefois, l'analyse des temps de séjour montre que l'eau souterraine est un mélange entre des eaux relativement jeunes et des eaux plus anciennes, ce qui souligne l'importance de développer avec parcimonie la ressource.

L'eau souterraine de la zone d'étude est de bonne qualité et peu de dépassements des normes pour l'eau potable ont été identifiés. Des dépassements de normes pour la qualité de l'eau potable ont été observés pour le baryum, le fluor, le manganèse et l'uranium, mais seraient d'origine naturelle. Les problématiques identifiées concernent certains critères esthétiques et notamment les concentrations en manganèse. Des dépassements de normes bactériologiques ont été observés à 29 % des puits échantillonnés. Les concentrations en nitrates ne dépassent pas la norme pour l'eau potable, mais reflètent l'impact anthropique des activités agricoles. De la même manière, la présence de pesticides et de produits pharmaceutiques montre un impact anthropique et confirme que les temps de séjour de l'eau souterraine peuvent être courts. L'activité <sup>222</sup>Rn dans l'eau souterraine est également importante dans certains secteurs, ce qui indique la présence d'un enjeu possible de santé publique en lien avec la présence de radon dans l'air des résidences. Les risques de contamination de l'eau souterraine dans la région ne sont pas négligeables, ce qui est souligné par une vulnérabilité DRASTIC moyenne sur la majorité de la zone d'étude.

Le développement résidentiel, touristique et industriel de la région, combiné aux pressions des changements climatiques, apportera des défis importants dans la région au cours des prochaines décennies. Les données acquises, les cartes produites et les analyses qui en découlent seront directement utiles pour la gestion durable de la ressource en eau et du territoire à l'échelle de toute la région.

# TABLE DES MATIÈRES

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
	CONTEXTE DE RÉALISATION DU PROJET .....	1
	OBJECTIFS DE L’ÉTUDE .....	1
	ORGANISATION DU RAPPORT SYNTHÈSE.....	1
<b>2</b>	<b>PRÉSENTATION DU TERRITOIRE À L'ÉTUDE .....</b>	<b>2</b>
	LOCALISATION.....	2
	TOPOGRAPHIE.....	3
	PENTE DU SOL.....	4
	HYDROGRAPHIE ET LIMITES DES BASSINS VERSANTS.....	5
	COUVERTURE VÉGÉTALE.....	6
	TYPE DE CULTURE .....	7
	MILIEUX HUMIDES .....	8
	PÉDOLOGIE .....	9
	RÉSEAU DE SURVEILLANCE ET PROGRAMME DE SUIVI .....	10
	POPULATION, CENTRES URBAINS ET ACTIVITÉS .....	13
<b>3</b>	<b>CONTEXTES GÉOLOGIQUES ET HYDROGÉOLOGIQUES RÉGIONAUX.....</b>	<b>15</b>
	GÉOLOGIE DU SOCLE ROCHEUX .....	15
	GÉOLOGIE DU QUATERNAIRE .....	16
	ÉPAISSEUR DES DÉPÔTS MEUBLES.....	18
	TOPOGRAPHIE DU SOCLE ROCHEUX.....	19
	CONTEXTES HYDROSTRATIGRAPHIQUES DES DÉPÔTS MEUBLES .....	20
	ÉPAISSEUR DES DÉPÔTS PERMÉABLES EN NAPPE LIBRE .....	23
	CONDITIONS DE CONFINEMENT .....	24
<b>4</b>	<b>CONDITIONS HYDROGÉOLOGIQUES .....</b>	<b>25</b>
	PROPRIÉTÉS HYDRAULIQUES.....	25
	PIÉZOMÉTRIE ET ÉCOULEMENT .....	27
	RECHARGE .....	28
	ÉCHANGES NAPPE-RIVIÈRE.....	30
	BILAN HYDRIQUE .....	31
	GÉOCHIMIE DE L'EAU SOUTERRAINE.....	32
<b>5</b>	<b>RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE.....</b>	<b>34</b>
	USAGE DE LA RESSOURCE .....	34
	QUALITÉ DE LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE .....	36
	VULNÉRABILITÉ DES AQUIFÈRES .....	39
	DENSITÉ DU RISQUE ANTHROPIQUE .....	40
	CONTEXTES HYDROGÉOLOGIQUES RÉGIONAUX.....	41
	GESTION DURABLE DE LA RESSOURCE .....	44
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONS.....</b>	<b>45</b>
<b>7</b>	<b>RÉFÉRENCES.....</b>	<b>46</b>

# LISTE DES CARTES

CARTE 1 : MRC ET MUNICIPALITÉS INCLUSES DANS LA ZONE D’ÉTUDE .....	2
CARTE 2 : TOPOGRAPHIE DE LA SURFACE DU SOL.....	3
CARTE 3 : PENTE DE LA SURFACE DU SOL .....	4
CARTE 4 : LIMITES DES BASSINS VERSANTS (MELCC, 2019A) .....	5
CARTE 5 : COUVERTURE VÉGÉTALE – TYPES DE PEUPELEMENTS FORESTIERS (SIEF, 2018) .....	6
CARTE 6 : COUVERTURE VÉGÉTALE – TYPE DE CULTURES (BDPPAD, 2020).....	7
CARTE 7 : MILIEUX HUMIDES (CIC 2019 ; MELCC 2019b) .....	8
CARTE 8 : PÉDOLOGIE (IRDA, 2018A ; 2018B ; SIEF, 2018) .....	9
CARTE 9 : RÉSEAU DE SUIVI MÉTÉOROLOGIQUE, HYDROLOGIQUE ET PIÉZOMÉTRIQUE.....	11
CARTE 10 : DISTRIBUTION SPATIALE DES TEMPÉRATURES ANNUELLES MOYENNES (1961-2017) .....	12
CARTE 11 : DISTRIBUTION SPATIALE DES PRÉCIPITATIONS ANNUELLES MOYENNES (1961-2017).....	12
CARTE 12 : OCCUPATION DU SOL (MELCC, 2019c).....	13
CARTE 13 : AFFECTATION DU TERRITOIRE (MAMH, 2020) .....	14
CARTE 14 : GÉOLOGIE DU SOCLE ROCHEUX (MERN, 2020A) .....	17
CARTE 15 : GÉOLOGIE DU QUATERNAIRE (MERN, 2020b).....	17
CARTE 16 : ÉPAISSEUR DES DÉPÔTS MEUBLES.....	18
CARTE 17 : TOPOGRAPHIE DU SOCLE ROCHEUX.....	19
CARTE 18 : LOCALISATION DES COUPES HYDROSTRATIGRAPHIQUES.....	20
CARTE 19 : CONTEXTES HYDROSTRATIGRAPHIQUES .....	22
CARTE 20 : ÉPAISSEUR DES DÉPÔTS PERMÉABLES EN NAPPE LIBRE.....	23
CARTE 20 : ÉPAISSEUR DES DÉPÔTS PERMÉABLES EN NAPPE LIBRE.....	23
CARTE 21 : INDICES DE CONFINEMENT .....	24
CARTE 22 : LOCALISATION ET GAMMES DE CONDUCTIVITÉS HYDRAULIQUES POUR LES AQUIFÈRES DE ROC FRACTURÉ ET LES AQUIFÈRES DE DÉPÔTS MEUBLES PROVENANT DES RAPPORTS DE CONSULTANTS ET DES RAPPORTS GOUVERNEMENTAUX .....	26
CARTE 23 : ÉLÉVATIONS PIÉZOMÉTRIQUES .....	27
CARTE 24 : RÉPARTITION SPATIALE DE LA RECHARGE POTENTIELLE MOYENNE ANNUELLE ENTRE 1961 ET 2017.....	29
CARTE 25 : ZONES DE RECHARGE PRÉFÉRENTIELLE (> 265 MM/AN).....	29
CARTE 26 : POTENTIEL D’ÉCHANGE NAPPE-RIVIÈRE POUR LE RÉSEAU HYDROLOGIQUE DU GRHQ.....	30
CARTE 27 : TYPES D’EAU ET INDICE DE CONFINEMENT .....	33
CARTE 28 : ACTIVITÉ EN <sup>222</sup> Rn DANS L’EAU SOUTERRAINE .....	33
CARTE 29 : PROVENANCE DE L’EAU DISTRIBUÉE DANS LES RÉSEAUX D’AQUEDUC MUNICIPAUX.....	35
CARTE 30 : CONSOMMATION DE L’EAU SELON LES USAGES PAR MRC .....	35
CARTE 31 : CRITÈRE DE POTABILITÉ INORGANIQUE (QUÉBEC, 2019) .....	37
CARTE 32 : CRITÈRE DE POTABILITÉ BACTÉRIOLOGIQUE (QUÉBEC, 2019) .....	37
CARTE 33 : LOCALISATION DES PESTICIDES ET PRODUITS PHARMACEUTIQUES DÉTECTÉS DANS L’EAU SOUTERRAINE .....	38
CARTE 34 : INDICE DE VULNÉRABILITÉ DRASTIC DU PREMIER AQUIFÈRE RENCONTRÉ.....	39
CARTE 35 : DENSITÉ DU RISQUE ANTHROPIQUE ET LOCALISATION DES SITES CONTAMINÉS (MELCC, 2019d) .....	40

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : TYPES DE PEUPLEMENTS FORESTIERS (SIEF, 2018) .....6

FIGURE 2 : TYPES D’AGRICULTURE (BDPPAD, 2020).....7

FIGURE 3 : TYPES DE MILIEUX HUMIDES (CIC 2019 ; MELCC 2019B) .....8

FIGURE 4 : TYPES DE DRAINAGE (IRDA 2018A ; 2018B; SIEF, 2018) .....9

FIGURE 5 : DÉBIT TOTAL ANNUEL POUR LES RIVIÈRES ROUGE (STATION 40204), DU NORD (STATION 40110) ET DU LIÈVRE (40624) .....10

FIGURE 6 : TYPES D’OCCUPATION DU SOL (MELCC, 2019c) .....13

FIGURE 7 : TYPES D’AFFECTATION DU TERRITOIRE (MAMH, 2020) .....14

FIGURE 8 : CONDUCTIVITÉS HYDRAULIQUES PROVENANT DES RAPPORTS DE CONSULTANTS ET DES RAPPORTS GOUVERNEMENTAUX POUR LES AQUIFÈRES DE ROC FRACTURÉ ET DE DÉPÔTS MEUBLES .....25

FIGURE 9 : FONCTIONNEMENT DU MODÈLE HYDROBUDGET UTILISÉ POUR CALCULER LA RECHARGE POTENTIELLE (DUBOIS ET AL., 2021) .....28

FIGURE 10 : VARIATION INTRA-ANNUELLE DE LA RECHARGE POUR TOUTE LA ZONE D’ÉTUDE DE 1961 À 2017 .....28

FIGURE 11 : MOYENNE MENSUELLE DES COMPOSANTES DU BILAN HYDRIQUE POUR LA PÉRIODE DE 1961 À 2017 POUR TOUTE LA ZONE DU PACES-LAULM.....31

FIGURE 12 : MOYENNES ANNUELLES DES COMPOSANTES DU BILAN HYDRIQUE POUR CHACUN DES ZGIE (PORTION INCLUSE DANS LA ZONE PACES-LAULM) ET POUR L’ENSEMBLE DE LA ZONE D’ÉTUDE POUR LA PÉRIODE 1961-2017 .....31

FIGURE 14 : MIGRATION DU RADON DANS L’EAU ET DANS L’AIR (SANTÉ CANADA, 2020) .....33

FIGURE 15 : VOLUME D’EAU PRÉLEVÉ SELON LA PROVENANCE DE L’EAU POUR LA PÉRIODE 2015-2019. LES DONNÉES PROVIENNENT DU REGISTRE DES GRANDS PRÉLEVEURS (> 75 m³/j) (MELCC, 2019e; DONNÉES CONFIDENTIELLES).....34

FIGURE 16 : RÉPARTITION DES INDICES DE VULNÉRABILITÉ DRASTIC .....39

FIGURE 17 : PROPORTION DE SUPERFICIES SELON L’INDICE DRASTIC POUR LES ZONES OÙ LA DENSITÉ DES ACTIVITÉS ANTHROPIQUES EST ÉLEVÉE .....40

FIGURE 18 : PROPORTIONS (%) DU TERRITOIRE DES ZGIE POUR LES DIFFÉRENTS CONTEXTES HYDROSTATIGRAPHIQUES.....41

FIGURE 19 : PROPORTIONS (%) DU TERRITOIRE DES ZGIE EN NAPPE LIBRE, SEMI-CAPTIVE ET CAPTIVE .....41

FIGURE 20 : PROPORTION (%) DU TERRITOIRE DES ZGIE POUR L’INDICE DRASTIC .....42

FIGURE 21 : PROPORTION DE TERRITOIRE (%) DES ZGIE POUR L’INDICE DE DENSITÉ ANTHROPIQUE ET LA COUVERTURE AGRICOLE .....42

FIGURE 22 : VOLUME D’EAU SOUTERRAINE PRÉLEVÉ SELON LE REGISTRE DES GRANDS PRÉLEVEURS POUR CHACUNE DES ZGIE (MELCC 2019e, DONNÉES CONFIDENTIELLES). .....43

FIGURE 23 : MODÈLE CONCEPTUEL DU BILAN HYDROGÉOLOGIQUE RÉGIONAL .....43

LISTE DES TABLEAUX

TABEAU 1 : SUPERFICIES DES BASSINS VERSANTS DANS LA ZONE D’ÉTUDE.....5

TABEAU 2 : STATIONS MÉTÉOROLOGIQUES ACTIVES EN 2019..... 10

TABEAU 3 : STATISTIQUES DES STATIONS HYDROMÉTRIQUES ACTIVES ..... 10

TABEAU 4 : DÉTAILS DES PUIITS D’OBSERVATION DU RSESQ..... 11

TABEAU 5 : CONDUCTIVITÉS HYDRAULIQUES ET TRANSMISSIVITÉS SELON LE TYPE DE GÉOLOGIE (RAPPORTS DE CONSULTANTS ET GOUVERNEMENTAUX) ET RÉSULTATS DES POMPAGES RÉALISÉS DANS LE CADRE DU PROJET ..... 26

TABEAU 6 : STATISTIQUES DU POTENTIEL DE CONNECTIVITÉ NAPPE-RIVIÈRE .....30

**TABEAU 7 : CONSOMMATION D’EAU PAR TYPE D’USAGE ET PAR MRC** .....34

TABEAU 8 : SOMMAIRE DES DÉPASSEMENTS DE NORMES DE QUALITÉ DE L’EAU POTABLE .....36

TABEAU 9 : SOMMAIRE DES DÉPASSEMENTS DE TYPE BACTÉRIOLOGIQUE .....36

TABEAU 10 : SOMMAIRE DES DÉPASSEMENTS OBJECTIFS ESTHÉTIQUES.....38

TABEAU 11 : RECHARGE MOYENNE ET MÉDIANE POUR CHACUNE DES ZGIE POUR LA PÉRIODE 1961-2017 .....41

TABEAU 12 : PROPORTION (%) DES ÉCHANTILLONS QUI DÉPASSENT LA NORME BACTÉRIOLOGIQUE ET OÙ DES PESTICIDES OU DES PRODUITS PHARMACEUTIQUES (PPP) ONT ÉTÉ DÉTECTÉS.....42

TABEAU 13 : ÉQUIVALENT EN MM/AN DES PRÉLÈVEMENTS EN EAU SELON LA ZGIE POUR L’ANNÉE 2019 .....43



# 1 INTRODUCTION

## Contexte de réalisation du projet

Le Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines dans la région des Laurentides et de la MRC Les Moulins (PACES-LAULM), est financé par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). Ce projet a pour but d'établir la cartographie hydrogéologique dans une portion de la région administrative des Laurentides et de la MRC Les Moulins, en incluant dans la cartographie les données d'un projet pilote de cartographie hydrogéologique Aquifères fracturés du sud-ouest du Québec (AFSOQ) complété il y a quelques années dans la partie la plus au sud de la région des Laurentides (Savard et al., 2013). Le PACES-LAULM est réalisé par l'Université du Québec à Montréal (UQAM), qui en est le maître d'œuvre, en collaboration avec un ensemble de partenaires régionaux.

## Objectifs de l'étude

Les objectifs généraux du projet étaient :

- 1) de dresser un portrait de la ressource en eaux souterraines d'une portion de la région des Laurentides et de la MRC Les Moulins;
- 2) de favoriser une saine gestion de la ressource en développant des partenariats entre les acteurs de l'eau et les gestionnaires du territoire dans l'acquisition des connaissances sur la ressource en eaux souterraines.

Plus spécifiquement, le projet visait à :

- 1) comprendre la nature des formations aquifères;
- 2) connaître l'origine et les directions d'écoulement de l'eau souterraine;
- 3) décrire la qualité de l'eau souterraine;
- 4) quantifier le bilan hydrique de l'aquifère;
- 5) estimer la pérennité de la ressource selon le taux de renouvellement naturel et des prélèvements anthropiques;
- 6) déterminer la vulnérabilité de l'eau souterraine aux activités humaines.

## Organisation du rapport synthèse

Ce rapport vise à résumer les livrables du projet PACES-Laurentides et Les Moulins. Le territoire à l'étude est d'abord présenté à la section 2, suivi par les contextes hydrogéologiques régionaux à la section 3. Dans la section 4, les conditions hydrogéologiques sont présentées. La ressource en eau souterraine est décrite à la section 5 et la section 6 présente les conclusions. Plusieurs résultats ne sont pas présentés dans ce rapport synthèse, mais peuvent être consultés dans le rapport scientifique du projet PACES-Laurentides et Les Moulins (Gagné et al., 2022).



Rivière à Simon, A. Morard



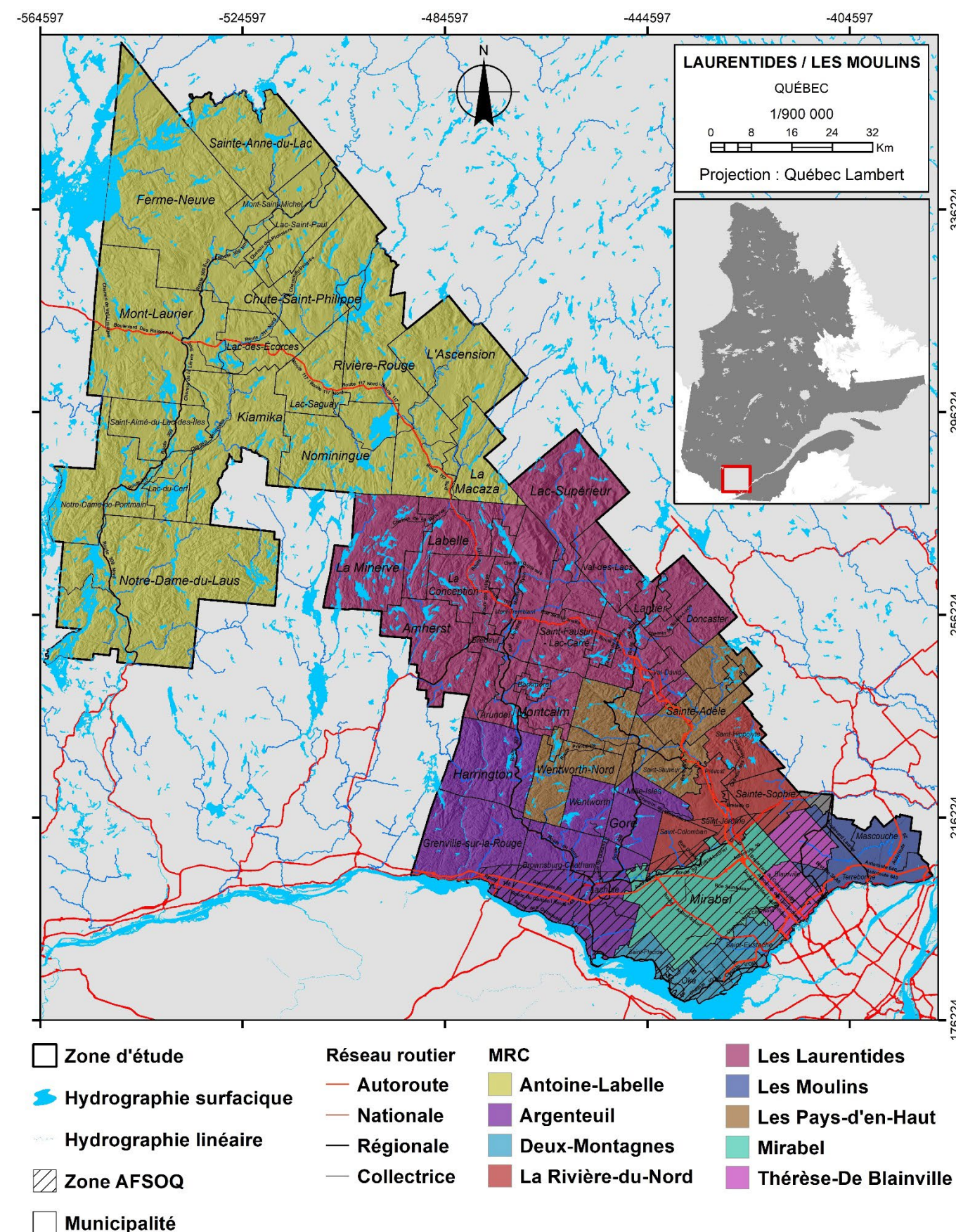
## 2 PRÉSENTATION DU TERRITOIRE À L'ÉTUDE

### Localisation

La zone d'étude représente 60 % de la région administrative des Laurentides et inclut le territoire couvert par le projet AFSSQ (Savard et al., 2013). Le territoire du PACES-LAULM inclut également une petite superficie de Lanaudière où se trouve la MRC les Moulins (**Carte 1**). La zone d'étude couvre une superficie totale de 11 477 km<sup>2</sup>, incluant les 1 027 km<sup>2</sup> du projet AFSSQ. Elle comprend une large partie des bassins versants des rivières du Lièvre, du Nord, Rouge, Mascouche, Petite-Nation, du Chêne et partiellement ceux des rivières Saumon, Blanche, Assomption et Gatineau, ainsi que plusieurs petits bassins versants connexes situés près du fleuve Saint-Laurent et de la rivière des Outaouais. L'inclusion de ces bassins versants connexes permet d'assurer la continuité hydraulique des écoulements souterrains de l'amont vers l'aval. Certains bassins versants ne sont pas inclus entièrement, en raison du découpage administratif de la zone d'étude.

La zone d'étude touche les territoires des municipalités régionales de comté (MRC) d'Argenteuil, de la Rivière-du-Nord, des Laurentides, les Moulins, des Pays-d'en-Haut et d'Antoine-Labelle. Les MRC sont toutes situées dans la région des Laurentides, à l'exception de la MRC les Moulins qui se trouve dans la région de Lanaudière. La zone d'étude recouvre les territoires de 78 municipalités dont 64 se situent en dehors de la zone AFSSQ. La population totale de la zone d'étude est estimée à 788 085 habitants, dont 324 074 habitants (MAMH, 2020) dans les MRC situées dans le secteur AFSSQ. Les municipalités les plus peuplées sont Terrebonne (117 664 habitants), Saint-Jérôme (78 839 habitants), Blainville (60 912 habitants), Mirabel (53 345 habitants) et Mascouche (47 885) (MAMH, 2020).

Les feuillets cartographiques où s'étend la zone d'étude sont 31O04, 31O03, 31J13, 31J14, 31J12, 31J11, 31J10, 31J05, 31J06, 31J07, 31J08, 31J04, 31J03, 31J02, 31J01, 31I04, 31G13, 31G14, 31G15, 31G16, 31H13, 31G10, 31G09, 31H12, 31H11, 31G08 et 31H05. La zone d'étude est parcourue par l'autoroute des Laurentides (15), l'autoroute des Outaouais (50), l'autoroute 25, l'autoroute 640 ainsi qu'une petite section des autoroutes Chomedey (13) et Félix-Leclerc (40). Plusieurs routes régionales (158, 309, 323, 327, 329, 335, 337, 344, 364) et nationales (117, 148, 158) traversent également la région.

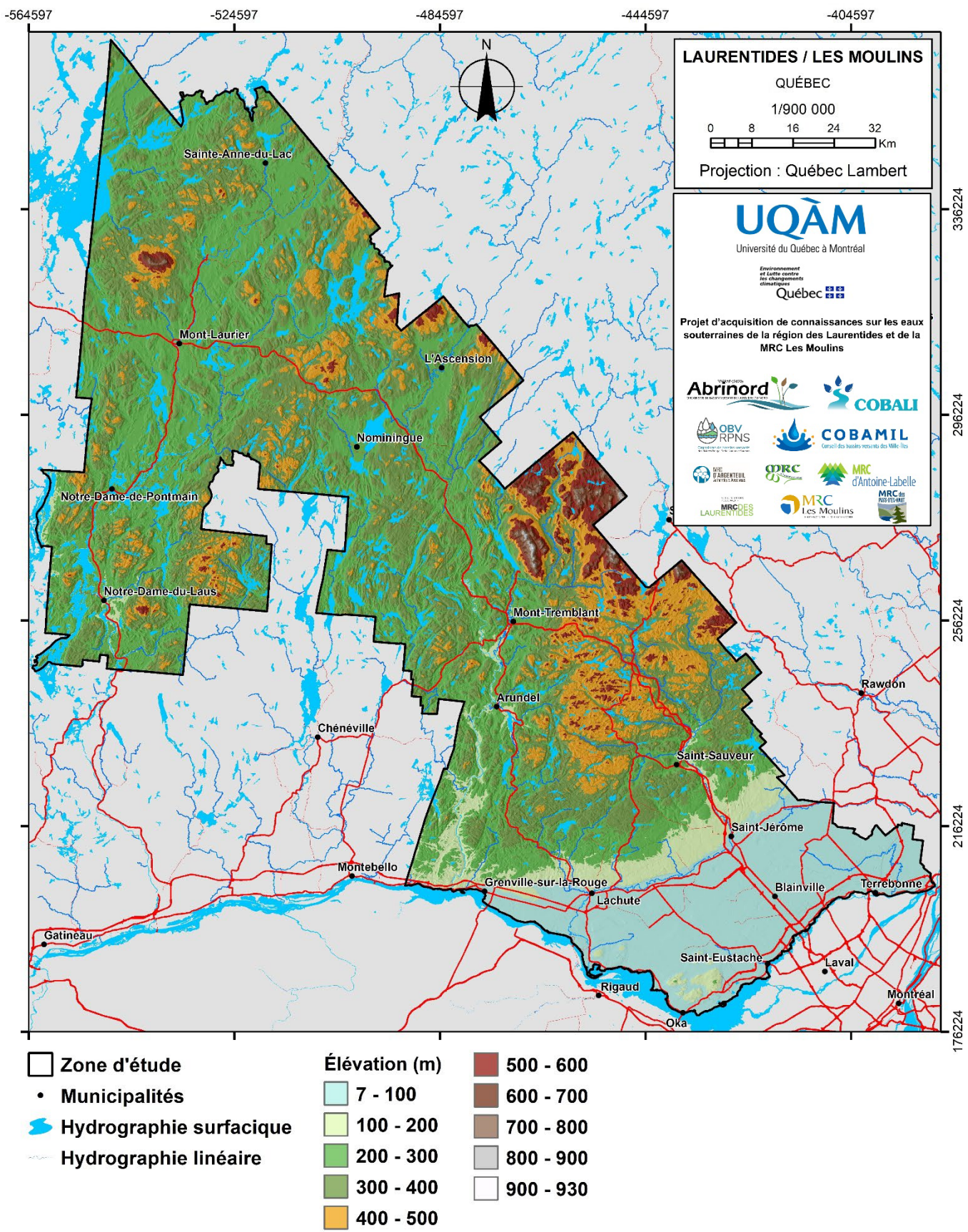


Carte 1 : MRC et municipalités incluses dans la zone d'étude



# Topographie

La représentation de la topographie a été rendue possible avec le modèle numérique d'élévation (MNE) fourni par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parc (MFFP). Ce MNE (matrice de pixels de 1 m) provient d'un relevé LiDAR. La zone étudiée présente deux sections distinctes, au sud les Basses-Terres du Saint-Laurent caractérisées par une topographie plane et au nord le Bouclier canadien caractérisé par une alternance de de sommets et de vallées (**Carte 2**). Dans la Basses-Terres du Saint-Laurent, l'altitude de la plaine varie de 20 m en bordure des rivières des Outaouais et des Mille-Îles à environ 150 m dans la région de Saint-Jérôme, Saint-Colomban et Brownsburg-Chatham où se trouve la frontière avec le Bouclier canadien. La topographie s'élève ensuite vers le nord. Dans la portion centrale à l'est de la zone d'étude, le Mont-Tremblant est le sommet le plus élevé avec une altitude de 930 m.

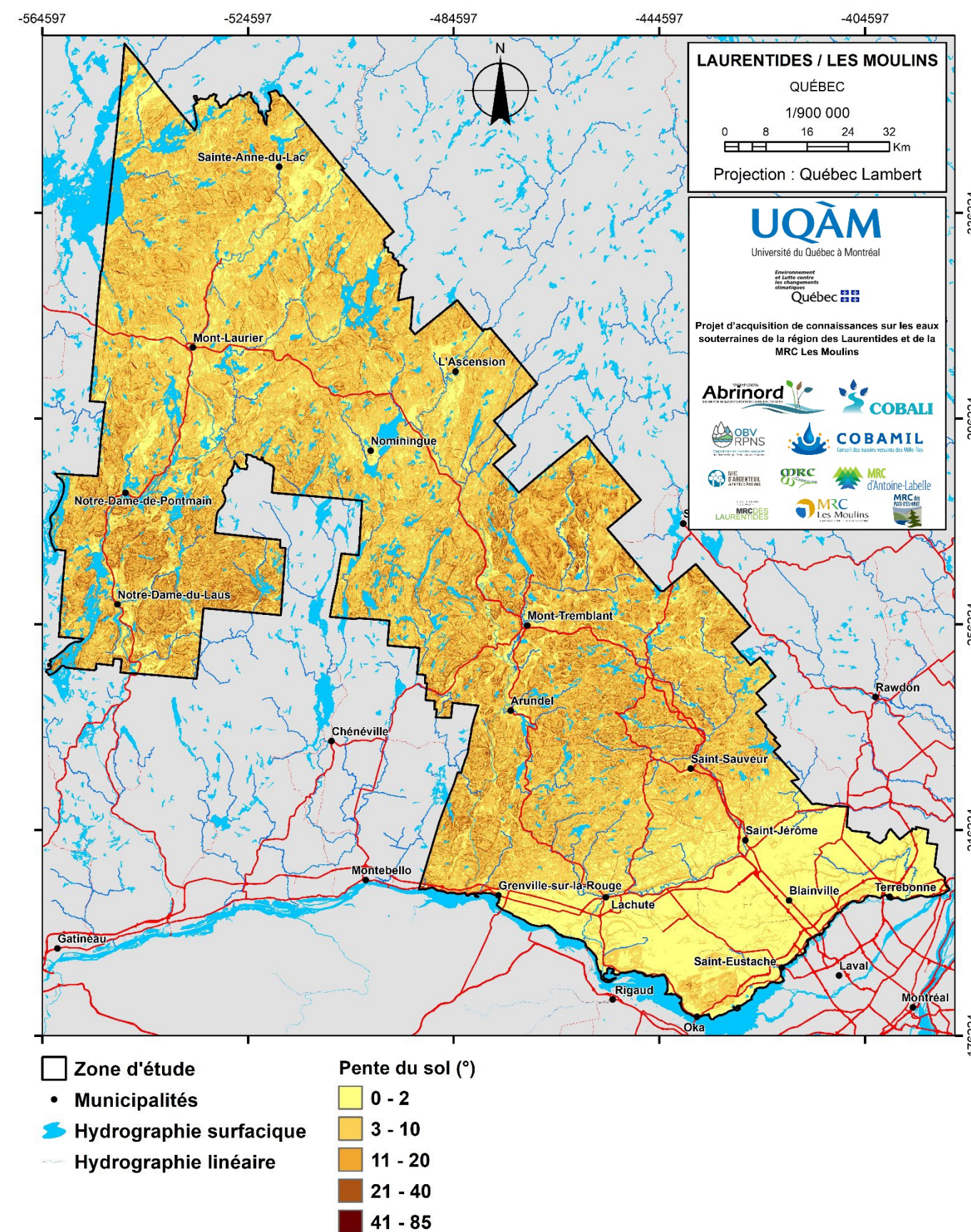
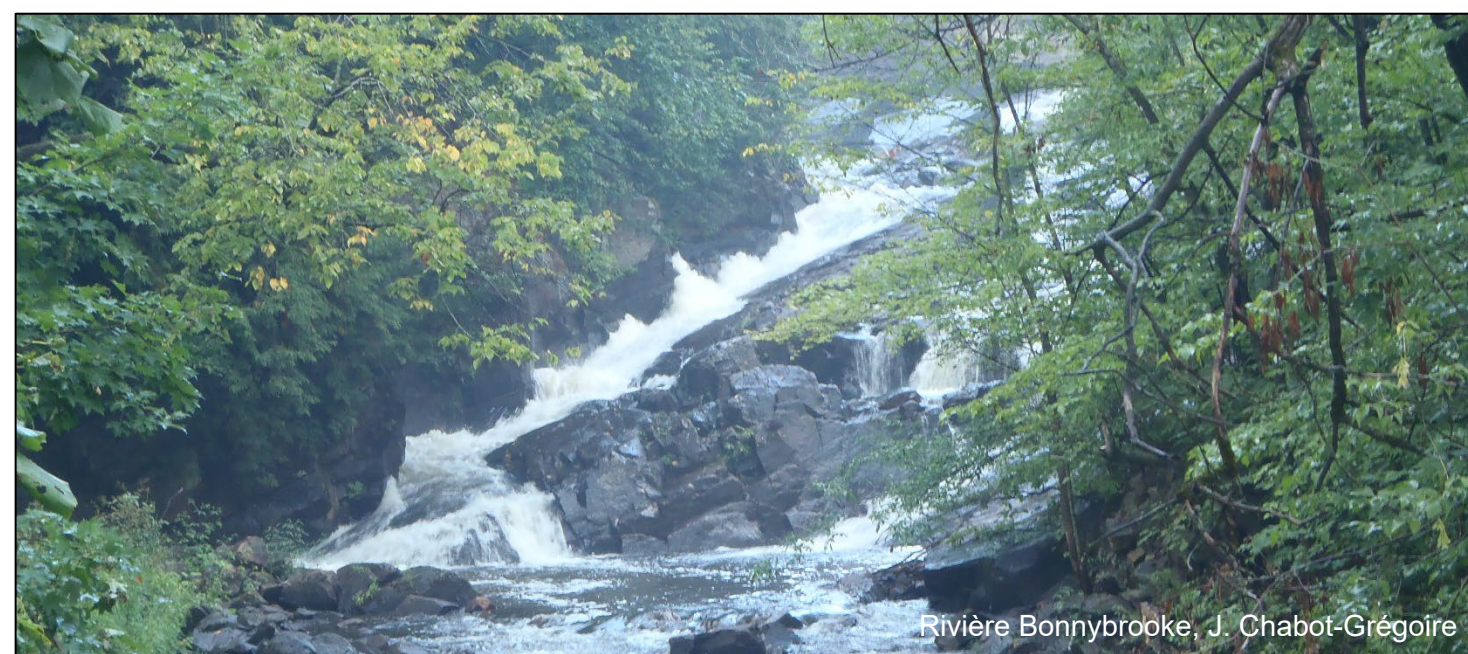


Carte 2 : Topographie de la surface du sol



## Pente du sol

La pente du sol varie de 0° à 85° avec une moyenne de 4,3° (**Carte 3**). Les pentes faibles sont situées dans la région des Basses-Laurentides et dans la MRC Les Moulins. Les zones ayant les pentes les plus fortes sont situées dans la zone centrale de la zone d'étude et également dans la partie basse du bassin versant de la rivière du Lièvre entre Notre-Dame-de-Pontmain et Notre Dame-du-Laus. Dans la partie nord de la zone d'étude, les pentes sont généralement plus faibles, notamment dans la zone amont de la rivière du Lièvre où la vallée est large et peu encaissée dans le relief du Bouclier canadien.



### Carte 3 : Pente de la surface du sol



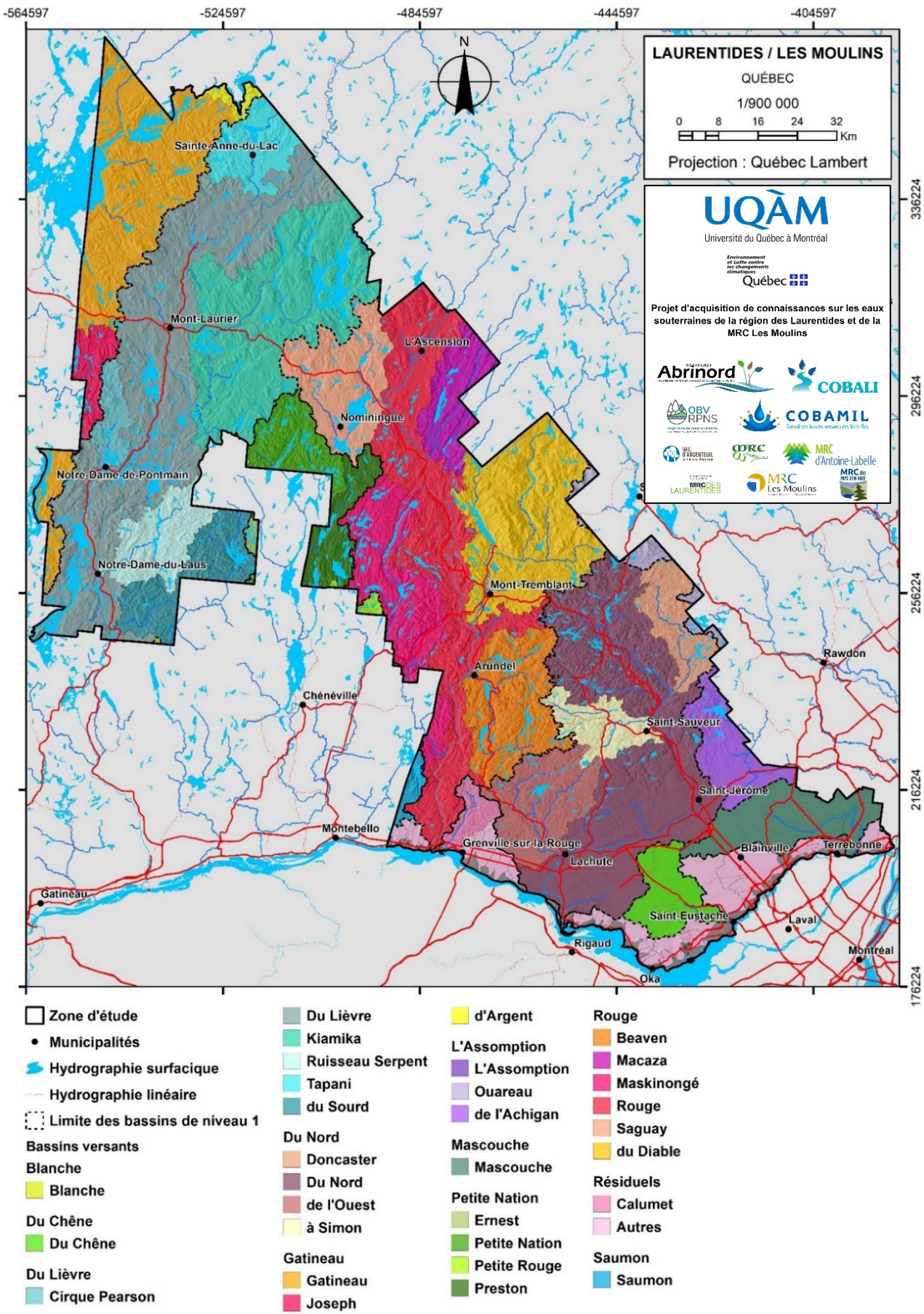
# Hydrographie et limites des bassins versants

Les principaux bassins versants et leurs rivières s'écoulent du nord vers le sud de la zone d'étude (**Carte 4**). Ensemble, les bassins des rivières du Lièvre et Rouge occupent plus de la moitié de la zone d'étude, respectivement 3 630 km<sup>2</sup> et 3 512 km<sup>2</sup> (**Tableau 1**). Les principaux affluents des rivières du Lièvre sont les rivières Kiamika (1093 km<sup>2</sup>), du Sourd (292 km<sup>2</sup>) et les ruisseaux Serpent (263 km<sup>2</sup>), Tapani (228 km<sup>2</sup>) et Cirque Pearson (117 km<sup>2</sup>). Les affluents de la rivière Rouge sont les rivières du Diable (815 km<sup>2</sup>), Maskinongé (499 km<sup>2</sup>), Beaven (463 km<sup>2</sup>), Saguay (426 km<sup>2</sup>) et Macaza (244 km<sup>2</sup>). Les deux autres bassins versants d'importance sur la zone d'étude sont ceux de la rivière du Nord (2 212 km<sup>2</sup>) et de la rivière Gatineau (1 148 km<sup>2</sup>). La rivière du Nord débute entre les municipalités de Saint-Donat et Lantier, tandis que la rivière Gatineau prend source dans le lac du Pain de Sucre, à 130 km au nord de la l'extrémité de la zone d'étude. Les affluents associés à la rivière du Nord sont les rivières de l'Ouest (373 km<sup>2</sup>), Doncaster (215 km<sup>2</sup>) et Simon (189 km<sup>2</sup>) tandis que ceux de Gatineau, Saint-Joseph (118 km<sup>2</sup>) et d'Argent (36 km<sup>2</sup>). Dans la partie aval de la zone d'étude qui est adjacente à la rivière des Outaouais et à la rivière des Mille-Îles se trouvent les bassins versants des rivières du Chêne (213 km<sup>2</sup>) et Mascouche (362 km<sup>2</sup>), en plus de 34 petits cours d'eau (422 km<sup>2</sup>) formant les bassins versants résiduels dont la superficie de chacun ne dépasse pas 80 km<sup>2</sup>.

Tous ces bassins versants se déversent directement dans la rivière des Outaouais. Cinq réservoirs hydroélectriques se retrouvent dans la zone d'étude. Trois réservoirs sont situés sur la rivière du Lièvre, soit le lac Poisson Blanc et le réservoir Aux Sables, tous deux sont retenus par le barrage des Rapides des Cèdres situé à Notre-Dame-du-Laus, et le réservoir l'Escalier situé plus en aval. Le réservoir du lac Kiamika situé au nord de la municipalité de Lac Saguay est retenu par le barrage Kiamika et finalement, une partie du grand réservoir Baskatong se retrouve dans la portion nord-ouest de la zone d'étude. On retrouve plus de 21 000 lacs répartis de manière uniforme sur la zone d'étude (sauf dans les Basses-Terres du Saint-Laurent où ils sont peu nombreux). Les cours d'eau temporaires représentent environ la moitié de tous les tronçons de cours d'eau linéaires répertoriés dans la Géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ).

Tableau 1 : Superficies des bassins versants dans la zone d'étude

Bassin versant	Surface dans la zone d'étude (km <sup>2</sup> )
Blanche	2
Du Chêne	213
Du Lièvre	3630
Du Nord	2212
Gatineau	1148
L'Assomption	327
Mascouche	362
Petite Nation	444
Rouge	3512
Résiduels	422
Saumon	41



Carte 4 : Limites des bassins versants (MELCC, 2019a)



Couverture végétale

La carte de couverture forestière a été créée à partir des cartes du 5<sup>e</sup> programme d’inventaire du Système d’information écoforestière (SIEF, 2018) du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP). Les données de couverture forestière indiquent que 9468 km<sup>2</sup> (85 %) du territoire est couvert par des terrains boisés (**Carte 5**). Ce pourcentage est similaire à celui défini à partir de la carte d'utilisation du sol. La couverture par les feuillus est majoritaire à 55 % et les résineux représentent 7 % du territoire, et sont situés principalement sur les sommets les plus élevés le long de la limite est de la zone d’étude (**Figure 1**). La forêt 38 % du couvert végétal. Parmi les espèces de feuillus, les érables, les bouleaux et peupliers représentent respectivement 46, 17 et 7 % des espèces rencontrées. Les résineux les plus abondants sont les sapins (8 %).

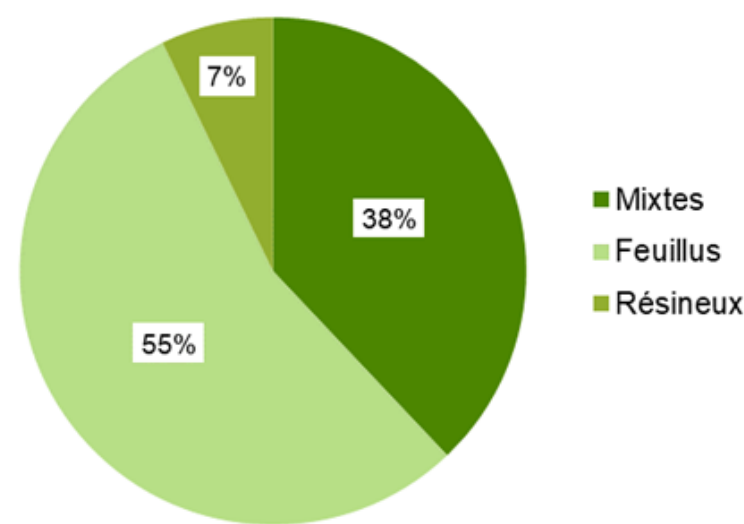
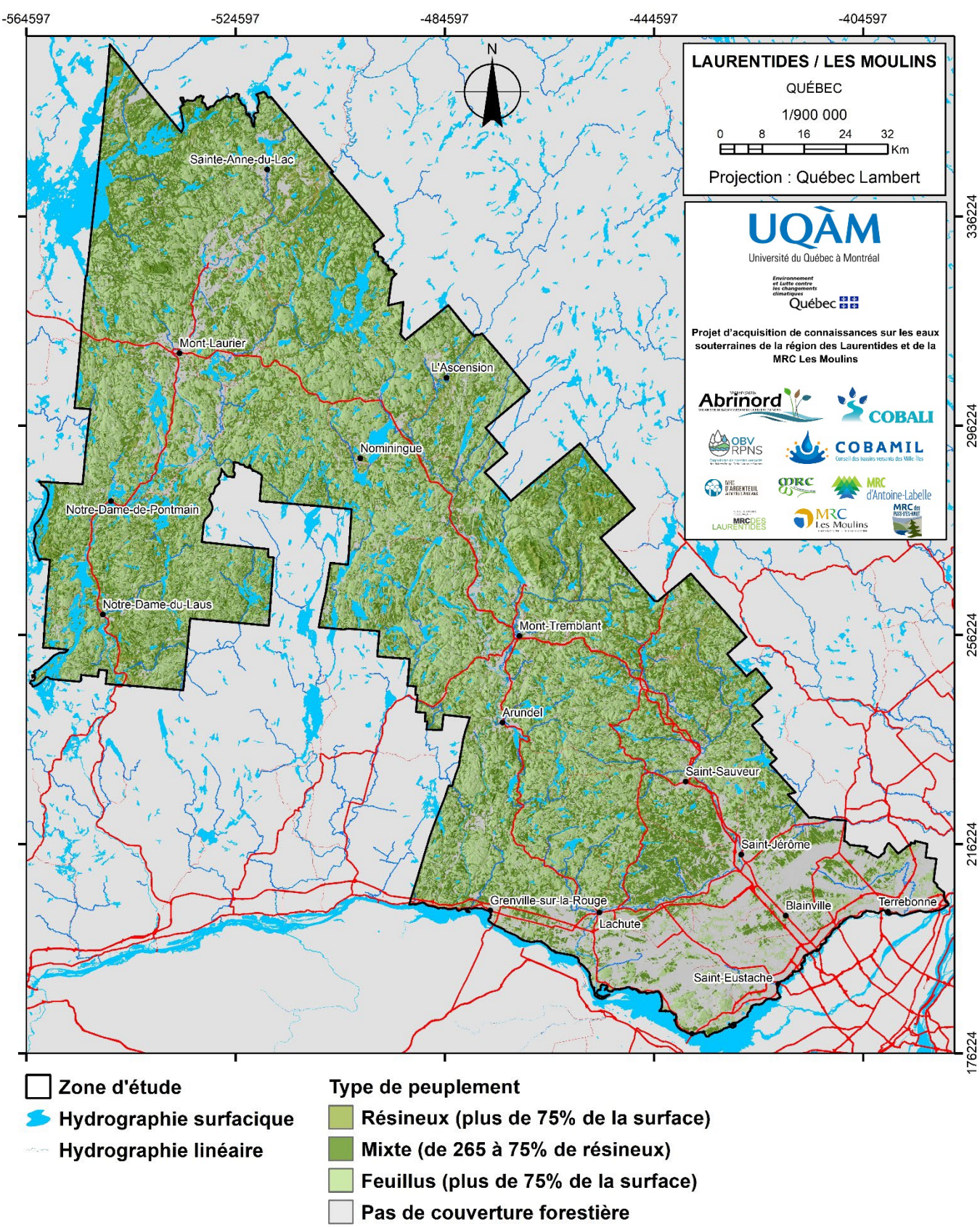


Figure 1 : Types de peuplements forestiers (SIEF, 2018)



Carte 5 : Couverture végétale – types de peuplements forestiers (SIEF, 2018)



Type de cultures

La carte de la couverture agricole a été réalisée à l'aide de la Base de données des cultures assurées (BDPPAD, 2020). Les types de cultures sont compilés à partir des déclarations des producteurs à la Financière agricole et 10 % de ces déclarations sont validées sur le terrain. Les parcelles agricoles en exploitation recouvrent 5,8 % du territoire à l'étude en 2020 (**Carte 6**). Le pourcentage calculé à partir des données de la BDPPAD est différent de celui de la carte d'utilisation du sol (8 %), probablement car les données de la BDCA réfèrent aux parcelles en exploitation, tandis que le SIEF répertorie tous les terrains agricoles, même s'ils sont en friche. Les parcelles agricoles se trouvent principalement dans la zone aval au niveau des Basses-Terres du Saint-Laurent, au sud des municipalités de Brownsburg, Saint-Jérôme et Sainte-Sophie. Les parcelles agricoles présentes dans la section du Bouclier canadien sont principalement situées dans les vallées des rivières du Lièvre et Rouge. En 2020, le soya représentait 16 % des cultures, le maïs représentait 13 % des cultures et le foin couvrait 15 % des parcelles agricoles actives (**Figure 2**). Les cultures maraîchères et de petits fruits couvraient 1 % du territoire cultivé. Entre 2011 et 2020, la superficie attribuée au foin a diminué de 631 km<sup>2</sup> et celle du maïs de 234 km<sup>2</sup> tandis que celle utilisée pour la culture du soya a diminuée de seulement 30 km<sup>2</sup>.

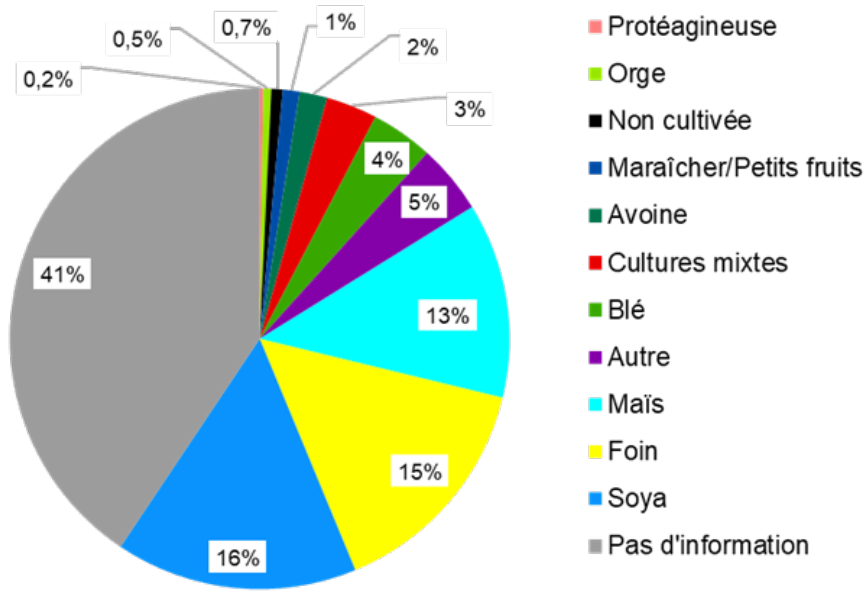
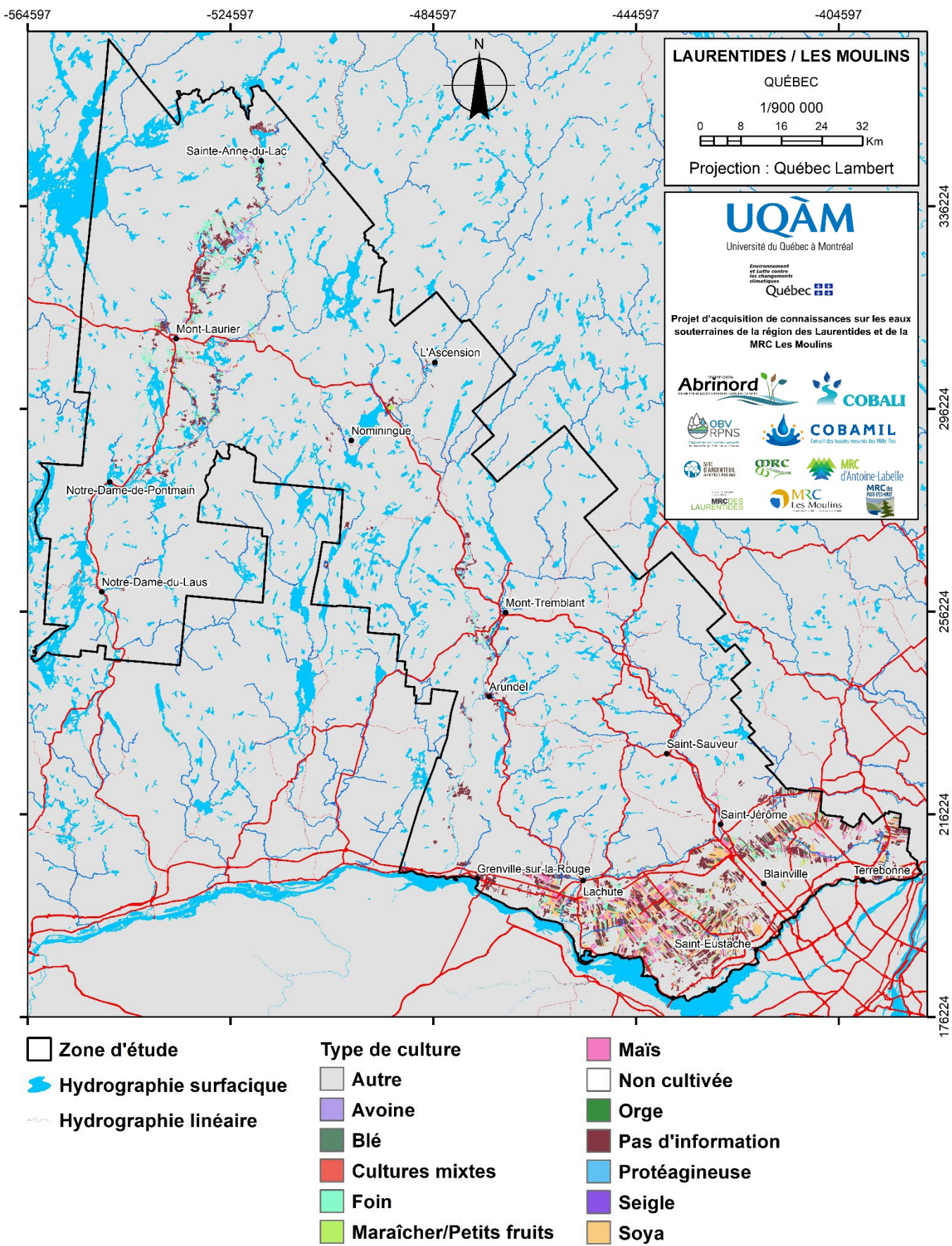


Figure 2 : Types d'agriculture (BDPPAD, 2020)



Carte 6 : Couverture végétale – type de cultures (BDPPAD, 2020)



Milieux humides

Canards illimités Canada (CIC) et le Ministère du Développement durable et des Changements climatiques (MDDELCC) ont réalisé la cartographie détaillée des milieux humides dans la portion sud du territoire, soit entre la rivière des Mille-Îles et la limite Sud de la MRC d’Antoine-Labelle (CIC et MDDELCC, 2016), dans la MRC d’Antoine-Labelle, seule une cartographie des milieux humides potentiels est disponible (MELCC, 2019b). Afin d’homogénéiser les deux sources de données, les classes des milieux humides détaillés ont été regroupées pour correspondre à celles des milieux humides potentiels. La classe « marécage » regroupe ainsi les marécages arborescent et arbustif, et la classe « tourbière boisée » regroupe les tourbières boisées indifférenciées, tourbières boisées minérotrophes et tourbières boisées ombrotrophes. Les milieux humides occupent 1243 km<sup>2</sup>, soit 11 % du territoire étudié.

Les tourbières boisées (29 %) et les marécages (24 %) sont les milieux humides les plus fréquemment rencontrés, suivi des tourbières minérotrophes (16 %), des tourbières ombrotrophes (11 %), des milieux humides de type eaux peu profondes (14 %), des non spécifiés (3 %), des marais (2 %) et des prairies humides (1 %) (**Figure 3**). La distribution spatiale des milieux humides est relativement homogène sur le territoire (il y a une plus forte densité de milieux humides dans la partie basse des Laurentides due aux données de la couche des milieux humides détaillés) et ils sont majoritairement localisés dans les creux de vallées (**Carte 7**). Deux grands complexes tourbeux se trouvent dans la MRC d’Antoine-Labelle, soit la tourbière Notawissi (~16 km<sup>2</sup>) à Ferme-Neuve et la tourbière Décarie (~40 km<sup>2</sup>) sur la limite des municipalités Saint-Anne-du-Lac et Mont-Saint-Michel. Sur le Bouclier canadien, on retrouve principalement des tourbières boisées et des marécages, tandis que dans les Basses-Terres du Saint-Laurent, ce sont plutôt des marécages et des marais qui sont rencontrés. Peu de milieux humides sont présents dans la MRC Les Moulins, mais deux complexes sont toutefois cartographiés au sud-est et au sud-ouest de cette dernière.

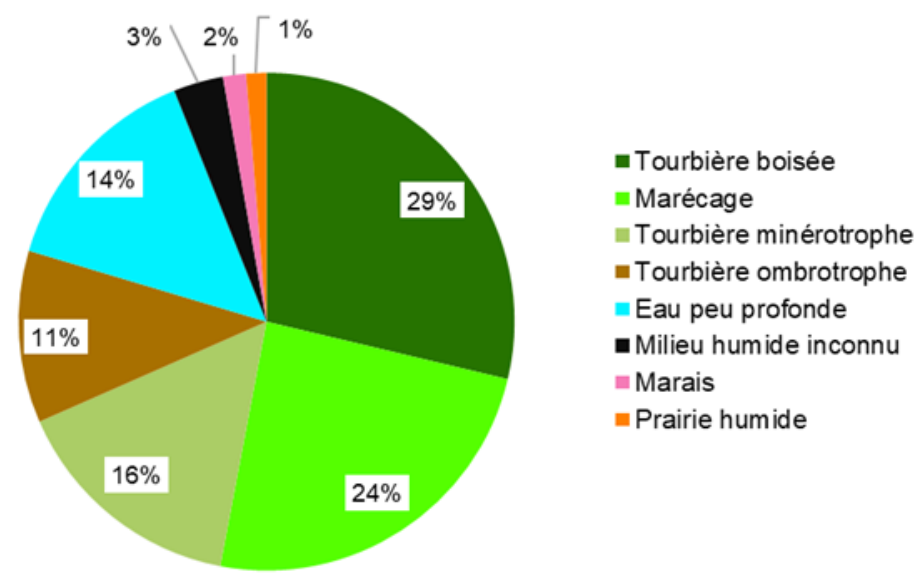
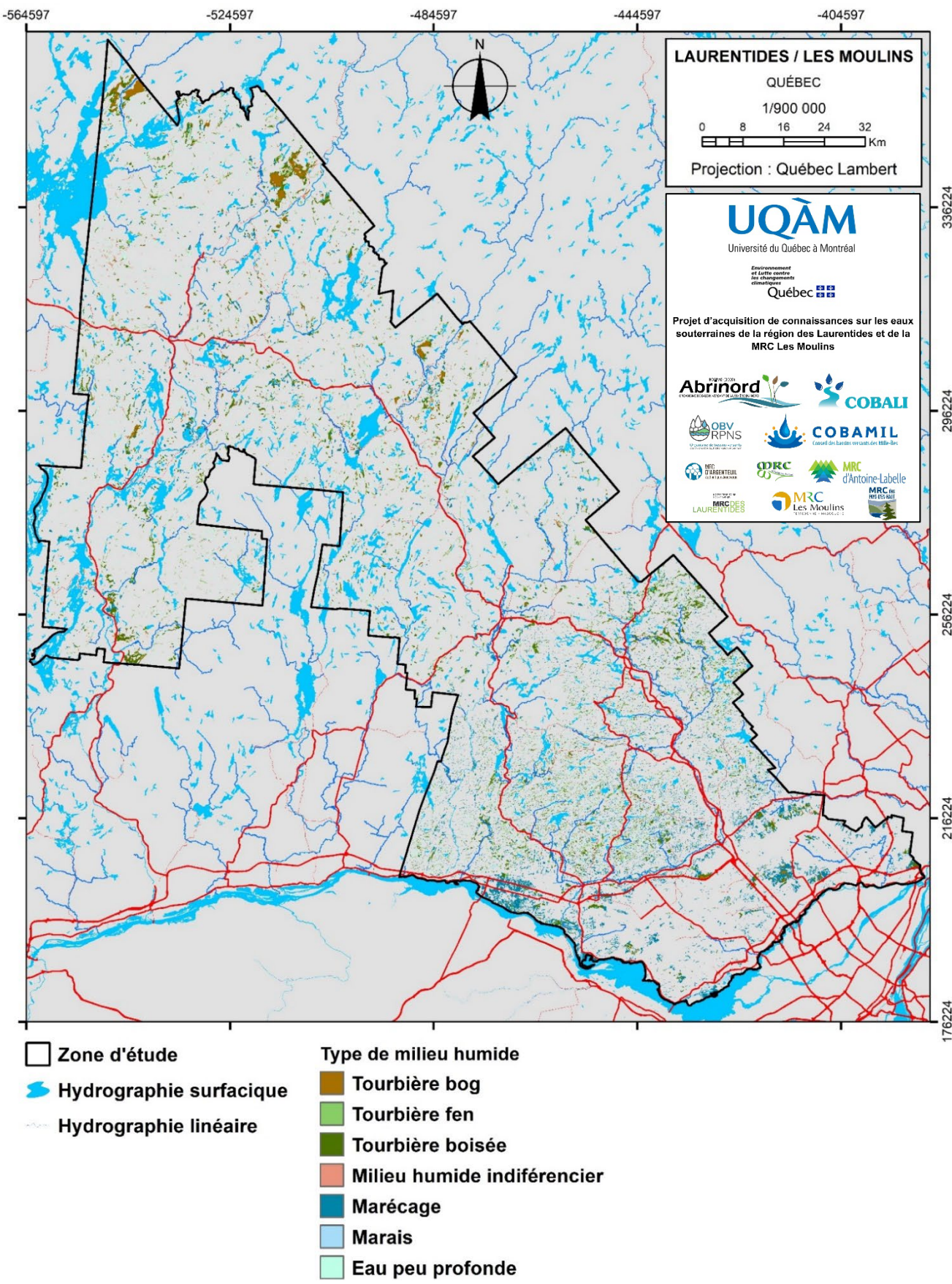


Figure 3 : Types de milieux humides (CIC 2019 ; MELCC 2019b)



Carte 7 : Milieux humides (CIC et MDDELCC 2016 ; MELCC 2019b)



## Pédologie

Les données pédologiques (IRDA, 2018a ; 2018b) disponibles ne couvraient pas la totalité du territoire du PACES LAULM. Les données pédologiques ont donc été combinées aux données du SIEF (2018). Afin de créer une classification homogène, les types de sols ont été classés selon la classe de drainage. Cette catégorisation était présente dans les deux sources de données et elle est aussi beaucoup plus utile en hydrogéologie.

Sur la zone d'étude, 80 % des sols sont de type « modérément bien drainé » et « bien drainé » (**Figure 4**). La zone d'étude présente deux régions pédologiques distinctes (**Carte 8**). Les sols situés sur la province géologique du Grenville et ceux formés sur la plateforme sédimentaire du Saint-Laurent. La délimitation est visible sur l'axe ouest-est, de Grenville-sur-la-Rouge jusqu'à Sainte-Sophie. Au nord de cette délimitation, on retrouve principalement des sols très rapidement drainés à modérément bien drainés. Ces sols sont le résultat de l'altération des dépôts glaciaires qui sont principalement composés de till. Dans cette zone, les sols mal drainés sont majoritairement des milieux humides. Dans les Basses-Terres du Saint-Laurent, la présence d'argile fait en sorte que les sols imparfaitement drainés dominent, mais des sols bien drainés sont aussi rencontrés aux endroits où le sable recouvre l'argile.

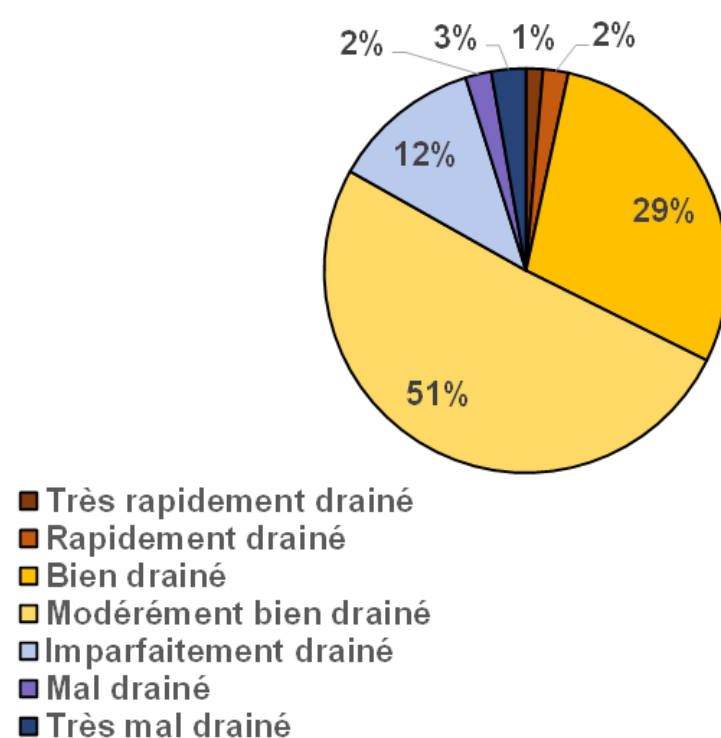
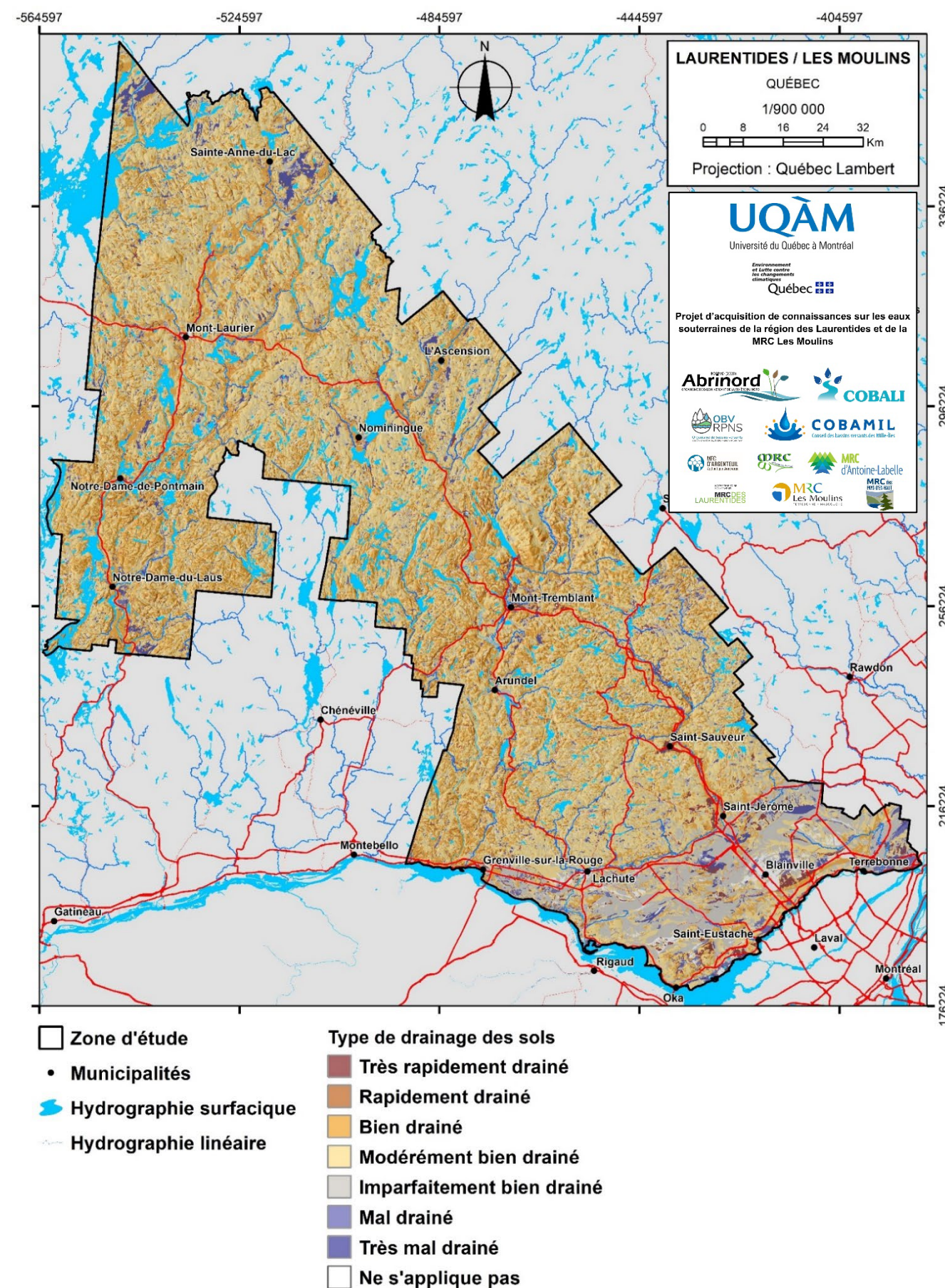


Figure 4 : Types de drainage (IRDA 2018a ; 2018b; SIEF, 2018)



Carte 8 : Pédologie (IRDA, 2018a ; 2018b ; SIEF, 2018)



## Réseau de surveillance et programme de suivi

### Données météorologiques

La zone d'étude héberge 47 stations météorologiques et 29 stations sont disponibles à proximité. Les données météorologiques ont été fournies par Climat Québec. Sur les 76 stations identifiées, seulement 18 sont actives et 13 ont des données depuis plus de 20 ans (**Tableau 2** et **Carte 9**).

Pour les analyses hydrologique et hydrogéologique de ce rapport, les données de Climat Québec de température et de précipitation de 1961 à 2017 interpolées sur un maillage de 0,1° sont aussi disponibles (Bergeron, 2016). La répartition spatiale des températures de l'air indique qu'il existe un gradient sud-nord d'environ 6°C entre les Basse-Terre et le nord de la zone d'étude (**Carte 10**). La partie centrale de la zone d'étude, où la topographie est la plus élevée, est aussi celle qui reçoit le plus de précipitations (~1100 mm/an) (**Carte 11**), tandis que les précipitations sont en moyenne plus faibles dans la vallée de la rivière du Lièvre (900 à 1000 mm/an).

Tableau 2 : Stations météorologiques actives en 2019

Nom des stations	Numéro	Altitude (m)	Durée (années)
Oka	7015730	114	82
Rigaud	7016470	46	61
Saint-Benoît	7016906	52	47
Saint-Roch-de-l'Achigan	7017698	57	12
Laval-Chomedey	7021450	46	9
Montréal (Autoroute 25)	7025237	10	9
Rivière-des-Prairies	7026612	13	47
Arundel	7030310	191	56
Barrage des Rapides-des-Cèdres	7030M51	202	89
Saint-Faustin-Lac-Carré	7032362	411	30
Ferme-Neuve-2	70323G0	225	13
Lac-du-Cerf	703363B	220	13
Lachute	7033650	83	61
La Macaza	7033939	236	52
Mont-St-Michel	7035334	260	28
Sainte-Anne-du-Lac	7036855	259	82
Saint-Hippolyte	7037310	366	58
Saint-Jérôme	7037400	166	87

### Données hydrométriques

Les données hydrométriques disponibles proviennent de la Direction de l'expertise hydrique du Québec (DEH, 2019). Sur les 63 stations situées sur la zone d'étude et pour lesquelles des données existent, 25 sont actives. Dix de celles-ci fournissent des données de débits tandis que les 15 autres stations enregistrent le niveau d'eau de barrages ou de lacs. L'historique des données remonte jusqu'à 1930 pour la rivière du Nord (88 années de mesures) et la station ayant l'historique le plus court est celle de la rivière du Diable (8 années de mesures) (**Tableau 3**). Les débits journaliers moyens varient de 0.8 m³/s (Lac Ludger) à 106 m³/s (rivière Rouge). Les équivalents en mm/an du débit total indiquent que ce dernier représente entre 54 et 79 % des précipitations (moyenne de 1000 mm/an). La **Figure 5** illustre les variations du débit total annuel pour les rivières Rouge, Du Nord et Du Lièvre pour la période 1980-2020. Le débit de la rivière du Nord est généralement plus élevé que les deux autres ce qui pourrait être liés à la différence de superficie entre les trois bassins versants, mais aussi à l'influence des barrages et des réservoirs présents sur les rivière Rouge et Du Lièvre qui pourraient favoriser une plus forte évaporation.

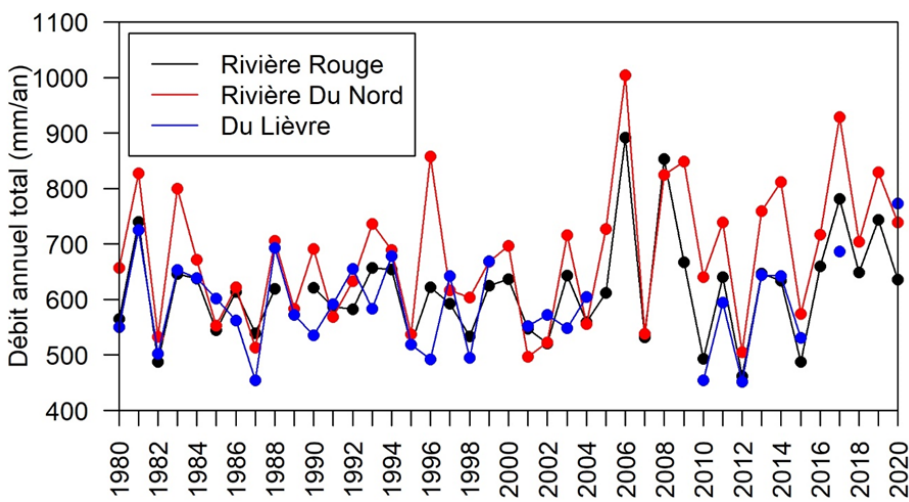


Figure 5 : Débit total annuel pour les rivières Rouge (station 40204), Du Nord (station 40110) et Du Lièvre (40624)

Tableau 3 : Statistiques des stations hydrométriques actives

Nom des stations	Station	Q moy. (m³/s)	Qmin moy. (m³/s)	Qmax moy. (m³/s)	Superficie (km²)	Q moy. (mm/an)	Nbr. d' année analysée
Du Nord	40110	23,9	5,1	188,7	1163	647	88
Du Nord	40122	7,1	1,2	52,4	311	709	47
Doncaster	40129	2,4	0,4	22,1	106	654	42
Du Chêne	46709	3,8	0,3	50	196	544	8
Lac Ludger	40132*	0,8	0,1	7,6	40	639	23
Rouge	40204*	106,0	25,5	546,8	5479	609	53
Saint-Louis	40212	1,0	0,1	13,0	40	785	49
Du Diable	40238	25,6	5,9	148,7	1160	659	8
Du Lièvre	40624*	87,1	30,2	315,5	4560	580	38
Kiamika	40627*	15,9	5,0	31,4	879	571	28

\*Influencée par un barrage

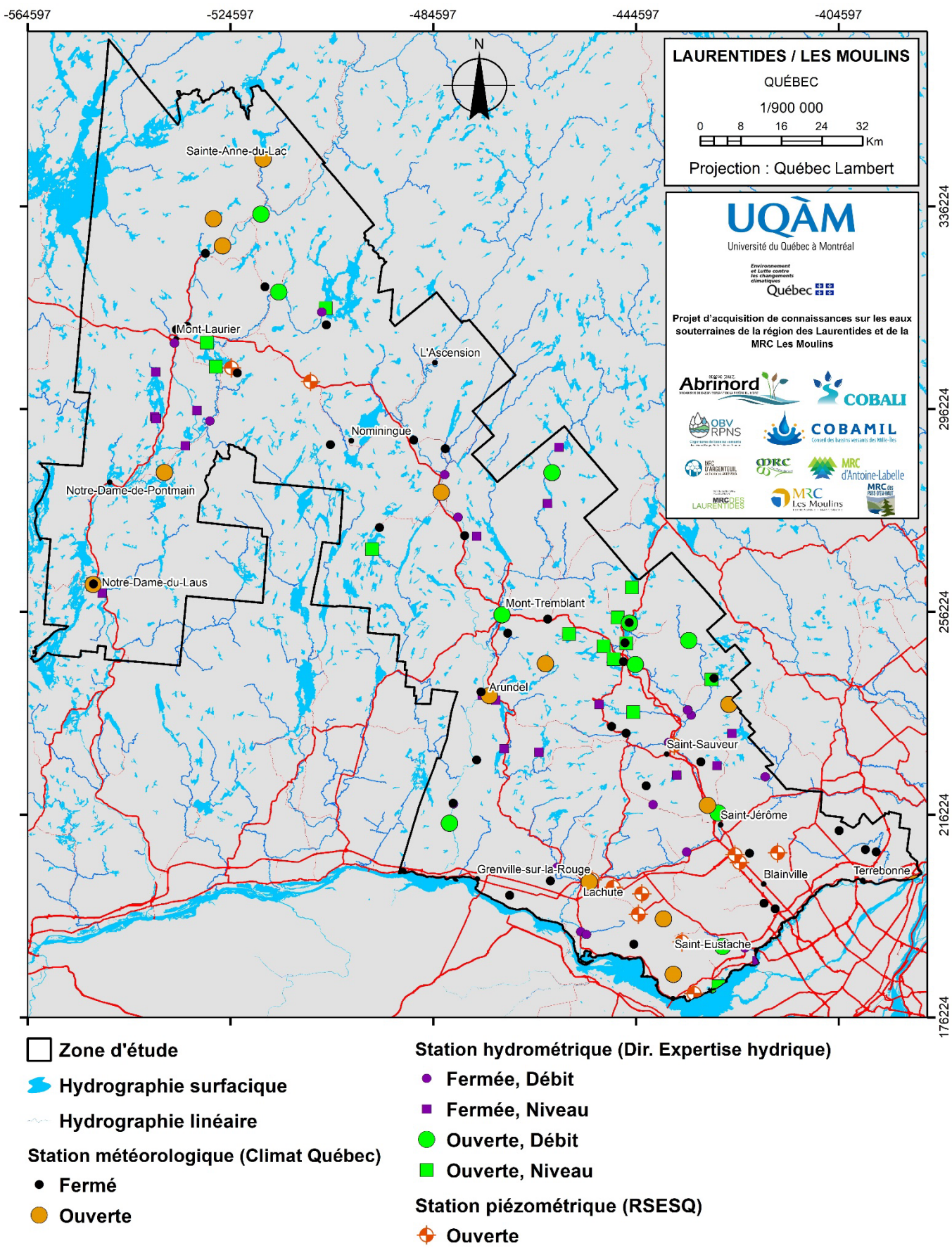


Données piézométriques

Le réseau de suivi des eaux souterraines du Québec (RSESQ ; MELCC, 2021) comporte 16 stations piézométriques sur la zone d'étude (**Tableau 4**). Les puits du RSESQ sont majoritairement présents dans la partie basse de la zone d'étude (zone AFISOQ). Seulement trois puits sont situés dans le Bouclier canadien, ceux de Lac-des-Écorces, Lac Saguy et Piedmont. Ces trois puits sont installés dans les dépôts meubles et seulement le puits de Lac-des-Écorces est en condition de nappe libre. Dans la partie sud, les puits sont principalement installés dans le roc (calcaire) et on y retrouve des conditions de nappe captive et libre à parts égales. Les puits du secteur de Mirabel ont un historique de mesure qui remonte à 1974, mais ce dernier a été interrompu durant les années 1990 pour reprendre autour de 2005.

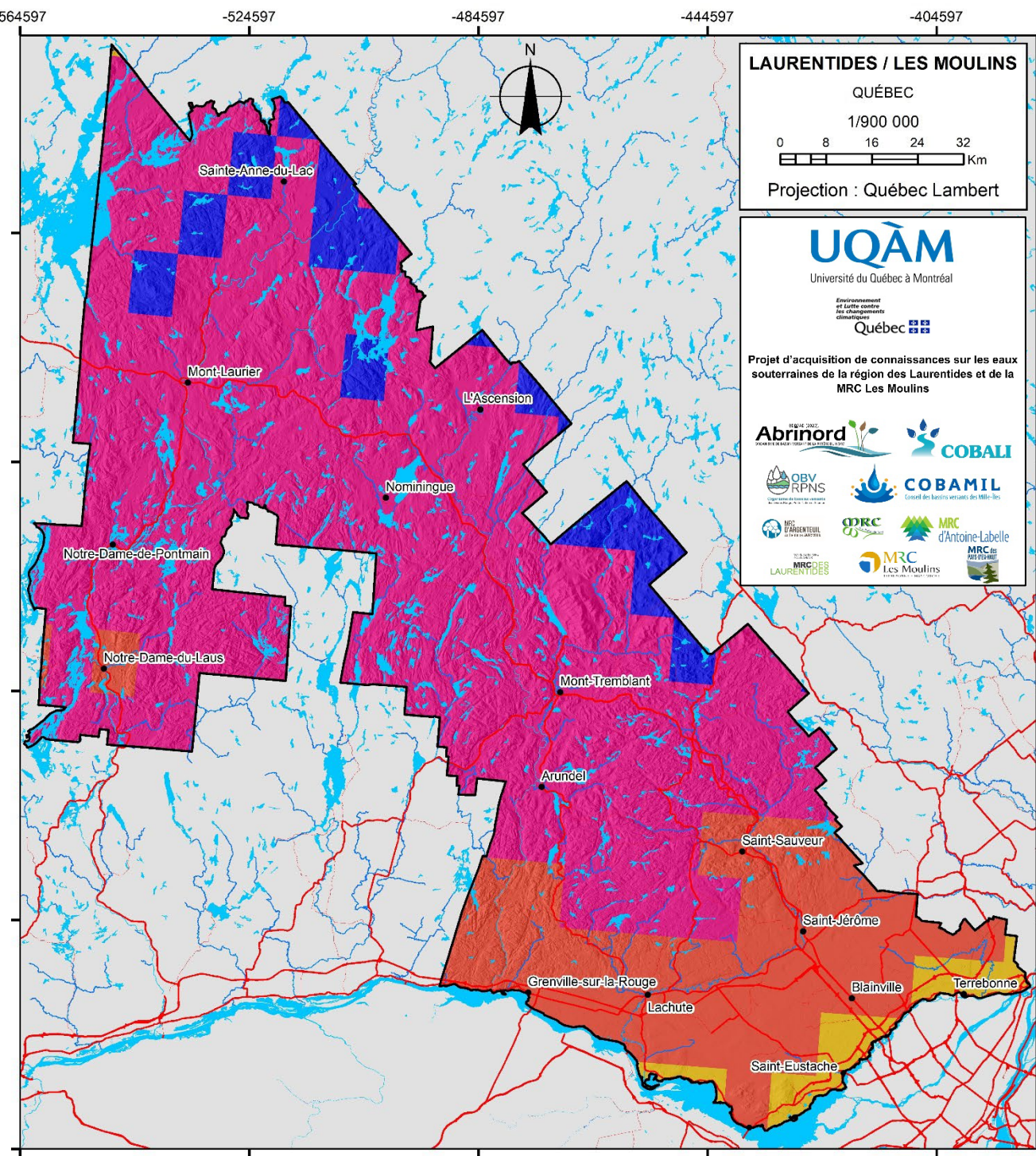
Tableau 4 : Détails des puits d'observation du RSESQ

Nom des stations	Numéro	Type aquifère	Confinement	Début des mesures
Mirabel	4010001	Roc	Semi-captif	2005
Piedmont	4010002	Sédiments	Captif	2014
Mirabel	4017011	Roc	Captif	2005
Lachute	4017041	Roc	Semi-captif	2007
Lachute	4017042	Roc	Captif	2007
Lachute	4017051	Roc	Captif	2006
Lac Saguy	4020001	Sédiments	Libre	2014
Lac-des-Écorces	4060001	Sédiments	Captif	2014
Brownsburg-Chatham	4300001	Roc	Libre	2005
Oka	4300014	Sédiments	Libre	2014
Grenville-sur-la-Rouge	4300015	Roc	Captif	2014
Mirabel	4640001	Roc	Libre	2006
Mascouche	4646001	Roc	Captif	Récent
Sainte-Anne-des-Plaines	4647001	Roc	Captif	2005
Mirabel	4647011	Roc	Libre	2006
Mirabel	4677031	Roc	Libre	2007

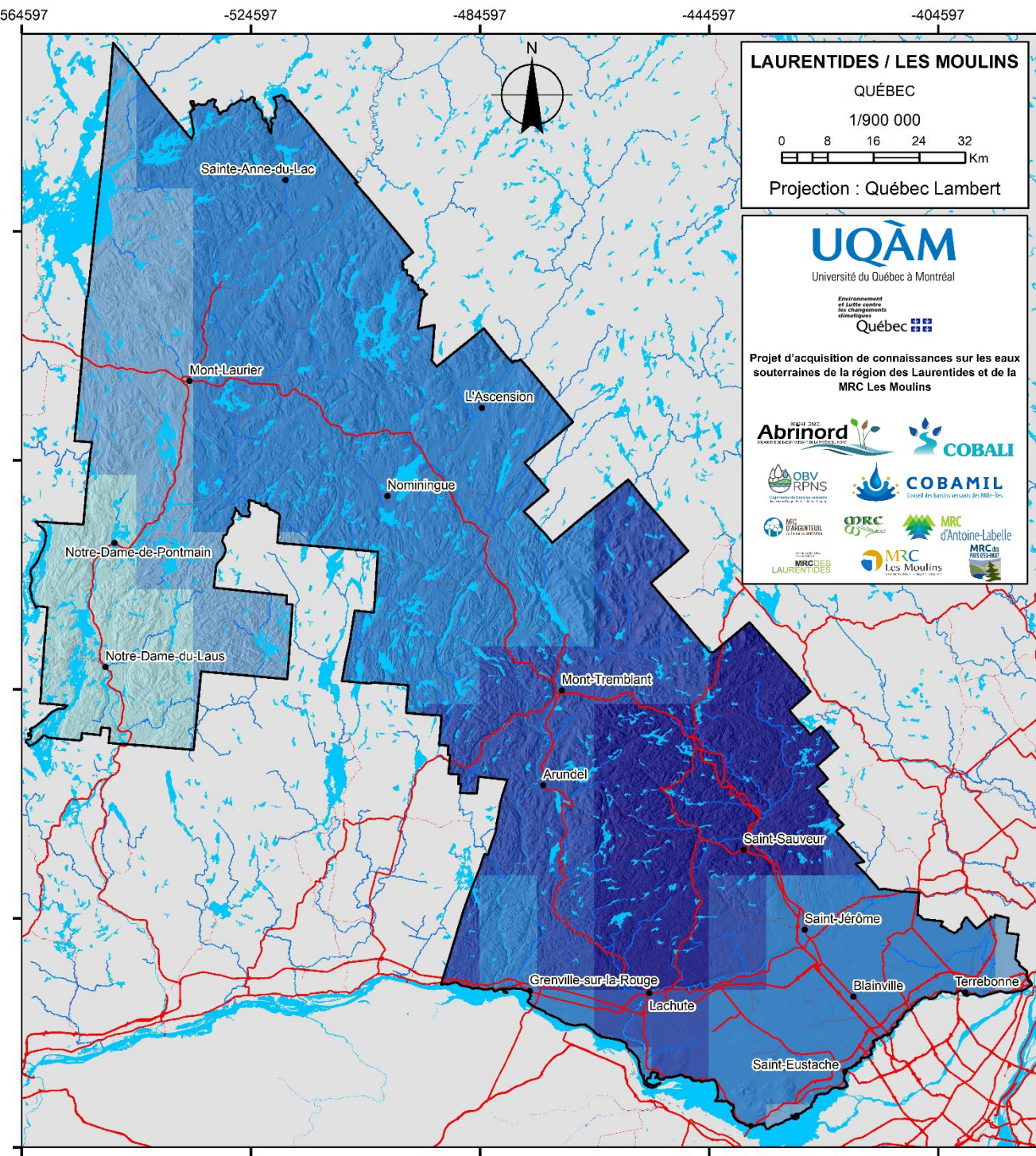


Carte 9 : Réseau de suivi météorologique, hydrologique et piézométrique





**Carte 10 : Distribution spatiale des températures annuelles moyennes (1961-2017)**



**Carte 11 : Distribution spatiale des précipitations annuelles moyennes (1961-2017)**



## Population, centres urbains et activités

### Occupation du sol

L'information relative à l'occupation du territoire a été compilée par le MELCC (2019c), à partir des informations provenant entre autres des bases de données de la BDPPAD, MELCC, SIEF, MERN, MFFP et CIC. La couche d'information a été synthétisée en sept catégories : agricole, aquatique, forestier, zone humide, milieu anthropique, coupe et régénération, et sol nu et lande. L'utilisation anthropique du sol, correspondant aux habitations, voies de circulations, mines et carrières, représente 7 % du territoire, et est particulièrement visible le long de la rivière des Mille-Îles et des autoroutes 15 et 117 (**Figure 6**). À l'échelle régionale, les zones urbaines et résidentielles sont observées le long des cours d'eau et autour des lacs. Les milieux humides couvrent 5 % de la zone d'étude et se retrouvent sur l'ensemble du territoire. Deux importants complexes de milieux humides sont localisés au nord du territoire dans les municipalités de Ferme-Neuve, Saint-Anne-du-Lac et Mont-Saint-Michel. Les zones de coupe et régénération représentent 1 %. Les sols dénudés et les landes représentent 0,03 % de la zone d'étude.

Les milieux forestiers sont les plus présents dans les Hautes-Laurentides, tandis que dans les Basses-Laurentides et la MRC Les Moulins, les zones agricoles sont majoritaires (**Carte 12**). Des zones agricoles se trouvent également dans les vallées de la rivière du Lièvre et de la rivière Rouge. Les zones aquatiques, qui regroupent les rivières et les lacs, sont réparties à travers toute la région. Les lacs importants sont situés au nord-ouest de la municipalité de Mont-Tremblant.

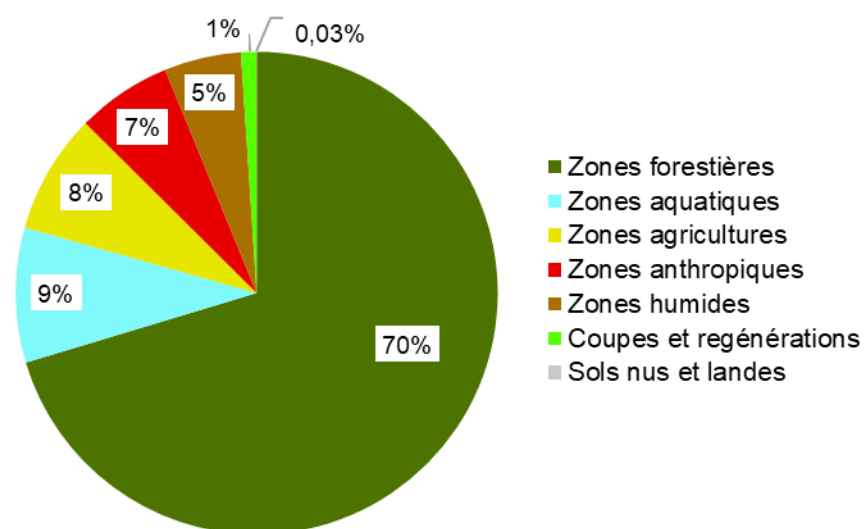
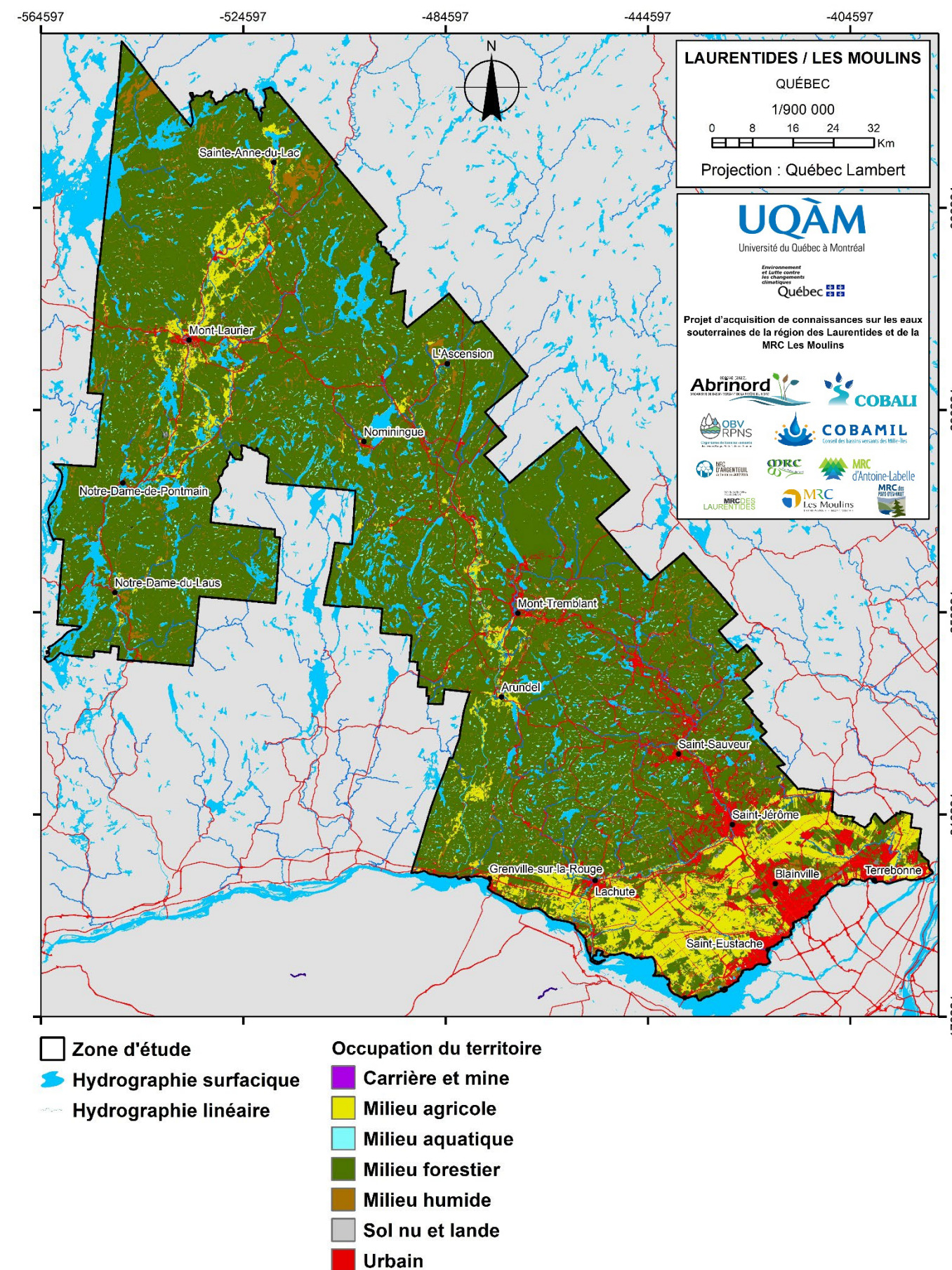


Figure 6 : Types d'occupation du sol (MELCC, 2019c)



Carte 12 : Occupation du sol (MELCC, 2019c)



## Affectation du territoire

L'affectation du territoire a été cartographiée à partir des informations relatives aux grandes classes d'affectation du ministère des Affaires Municipales et de l'Habitation (MAMH, 2020) (**Carte 13**). Les différences entre ces données et celles d'utilisation du sol ou de couverture végétale pour l'agriculture et la forêt s'expliquent par le fait que la carte du MAMH présente le zonage du territoire, qui ne correspond pas toujours à la réalité sur le terrain. Par exemple, un terrain forestier peut être résidentiel, ou zone agricole sans être pour autant développé.

Les terrains forestiers et résidentiels représentent respectivement 54 et 18 % de la superficie du territoire (**Figure 7**). Les terrains à vocation récréative (11 %) sont particulièrement nombreux dans la MRC Antoine-Labelle et dans la partie nord de la MRC Laurentides (11 %). Seulement 2 % de la zone d'étude est à vocation agroforestière. Les terrains agricoles (8 %) sont majoritairement présents dans les Basses-Laurentides, dans la MRC Les Moulins, dans la vallée de la rivière du Lièvre, et le long de la rivière Rouge. Les centres urbains se situent principalement le long de la rivière du Nord. Le sud-est des MRC des Laurentides, des Pays-d'en-Haut, de la Rivière-du-Nord, ainsi que l'est de la MRC d'Argenteuil regroupent la majorité des centres urbains (2 %) et la moitié des terrains à vocation résidentielle. Les terrains en conservation représentent 5 % de la zone d'étude et se trouvent principalement dans la MRC d'Argenteuil. Les terrains publics, à zonage industriel et commercial représentent respectivement 1 %, 0,3 % et 0,1 % de la zone d'étude.

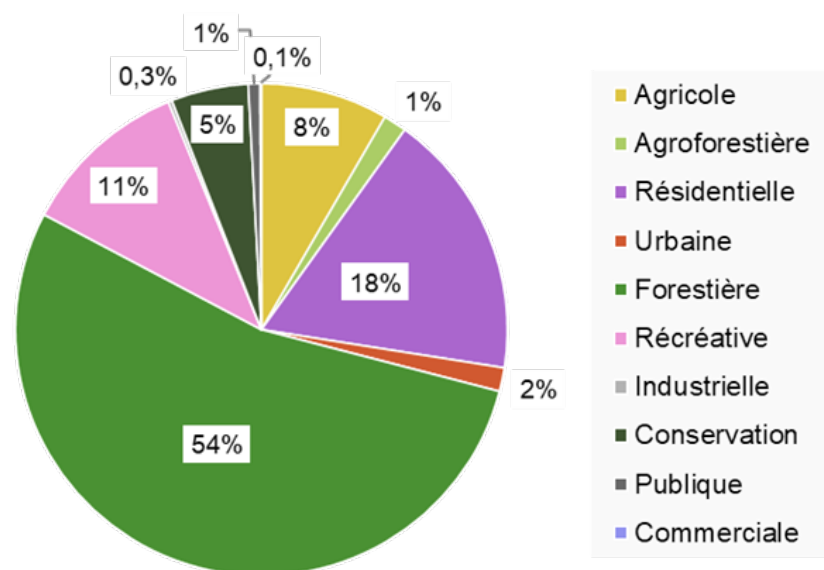
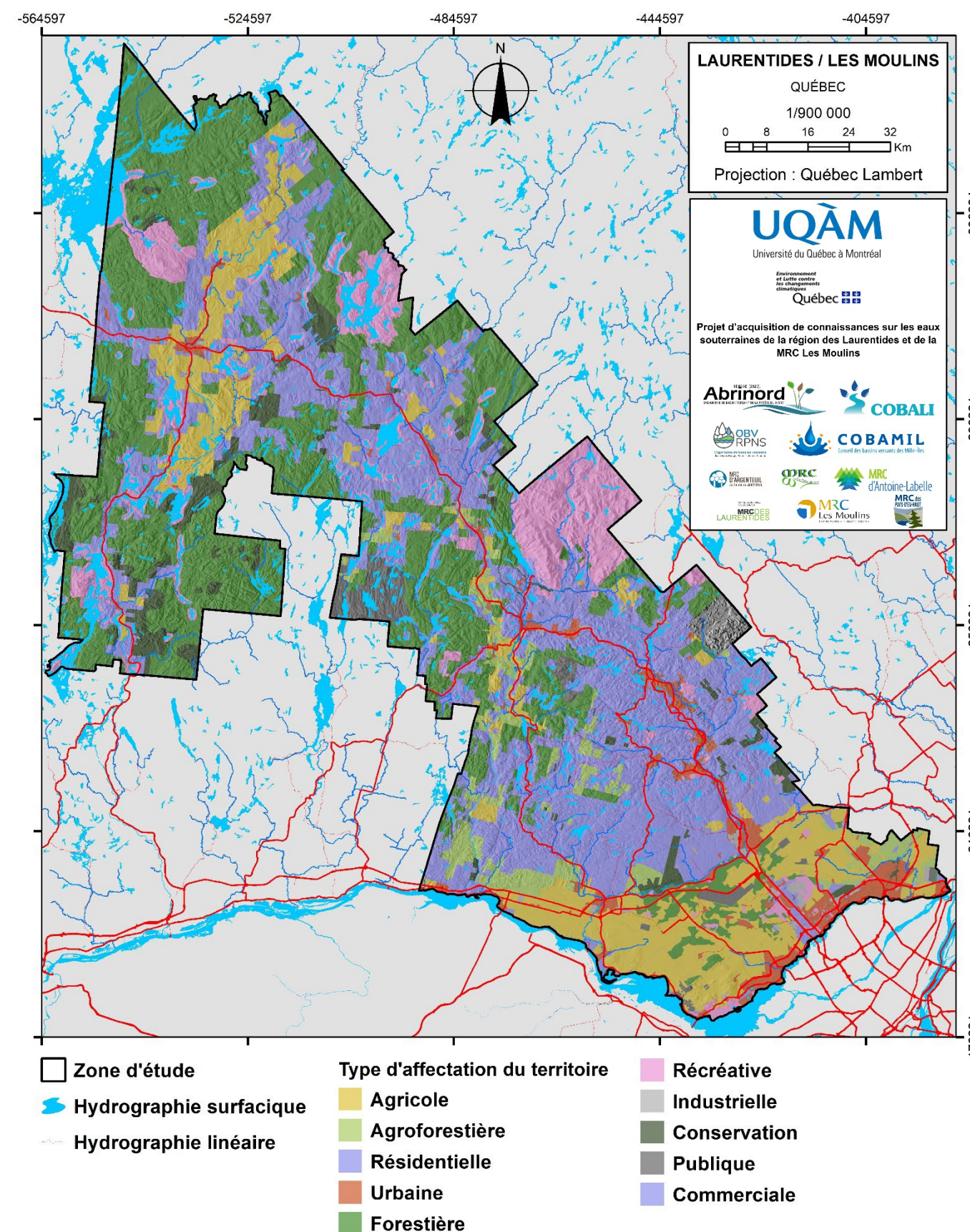


Figure 7 : Types d'affectation du territoire (MAMH, 2020)



Carte 13 : Affectation du territoire (MAMH, 2020)



### 3 CONTEXTES GÉOLOGIQUES ET HYDROGÉOLOGIQUES RÉGIONAUX

#### Géologie du socle rocheux

##### Histoire géologique et contexte général

La carte géologique du roc a été tracée à l'aide de l'information numérique provenant de la base de données du SIGÉOM (2020) (**Carte 14**). La zone d'étude est couverte par la province géologique du Grenville et la plateforme des Basses-Terres du Saint-Laurent. Les deux provinces sont séparées par les failles normales de Lachute et de New Glasgow datant du paléozoïque. Au nord de ces failles, la province du Grenville est majoritairement représentée par des lithologies métamorphiques et magmatiques datées du Mésoprotérozoïque (1.6-1 Ga), à l'exception des syénites de Chatham-Grenville (485-470 Ma). La première phase de l'orogénèse grenvillienne dure environ 300 Ma, entre 1,5 et 1,3 Ga où les grands bassins datant du Mésoprotérozoïque sont issus de la fragmentation progressive du protocontinent nord-Américain, l'anorthosite et des dykes de diabases sont la preuve de remonté de magma à travers des fractures nouvellement formées. L'océan qui s'est formé à cette période est à l'origine des protolithes de la ceinture centrale métasédimentaires. Il s'en est suivi une collision continentale ayant donné naissance à la chaîne de montagnes des Laurentides. Les Laurentides actuelles sont les vestiges de la racine profonde de ces hauts reliefs. Les contraintes lithostatiques et le fort gradient thermique ont formé des lithologies de grade métamorphique élevé à très élevé, avec des faciès amphibolites à faciès granulites.

La plateforme sédimentaire des Basses-Terres du Saint-Laurent s'est formée lors de plusieurs cycles de transgression et régression. À la suite de la formation d'un rift continental à la fin du protérozoïque, l'Océan Iapetus s'est mis en place entre les continents Laurentia et Baltica (Globensky, 1987). Les vestiges de paléoplagés (groupe du Postdam), puis les dépôts de grès dolomitiques et dolomie (Groupe Beekmantown) témoignent d'un environnement peu profond et calme formant peu à peu une plateforme sédimentaire. Une transgression marine est par la suite à l'origine, entre autres, les calcaires du Chazy. À la fin d'une longue sédimentation, les dépôts détritiques de milieux marins profonds des Shale d'Utica ont pris place, suivi des shales gris du groupe de Lorraine. Cette description est synthétisée et ne nomme pas tous les groupes formés par l'Océan Iapetus. Plusieurs millions d'années plus tard, durant le Crétacé, des intrusions alcalines se placent sur un axe nord-ouest à sud-est de la plateforme des Basses-Terres du Saint-Laurent. Dans la zone d'étude, c'est ceci a donné naissance aux collines montérégiennes de Saint-André et d'Oka.

##### Lithologies et structures régionales

Les connaissances sur la géologie de la zone d'étude proviennent d'un travail mené, entre autres, par Martignole et Corriveau (1991), Corriveau et Van Breeman (2000), Corriveau et Morin (2001), Nantel (2008), Davis et Nantel (2016) qui ont couvert l'ouest de la province du Grenville. La description lithologique des Basses-Terres du Saint-Laurent a été réalisée par les travaux de Globensky (1987).

Dans le secteur étudié, la province géologique du Grenville est divisée entre la ceinture centrale métasédimentaire et le Terrane de Morin, par la faille décrochante de Labelle. La ceinture centrale métasédimentaire est principalement située dans la MRC d'Antoine-Labelle caractérisée par la suite supracrustale de l'Ascension composée de paragneiss et la suite supracrustale du Sourd avec des marbres, orthogneiss granitoïdes et quelques coulées basaltiques. Les dépôts sédimentaires sont les vestiges de la présence d'un océan au début du mésoprotérozoïque, puis métamorphisés à un grade amphibolite supérieur. Le Terrane Morin est composé de la Suite AMCG de Morin avec le complexe anorthosite, et des granitoïdes à orthopyroxènes. Ainsi qu'une portion du complexe de Mékinac composée de gneiss charnokitique. Au sud-ouest du terrane, la syénite de Chatham-Grenville est datée de l'Ordovicien.

Les Basses-Laurentides et la MRC Les Moulins se trouvent sur la plateforme sédimentaire des Basses-Terre du Saint-Laurent. La MRC Les Moulins se situe aux deux tiers sur les calcaires du Groupe Chazy et à l'est de celle-ci sur des shales d'Utica et à l'extrémité sud-est les shales gris du Groupe de Lorraine. La série sédimentaire est datée de l'Ordovicien moyen et supérieur (470-458 Ma). La zone d'étude compte 20 formations géologiques présentes à l'affleurement et dans les premiers 100 m sous la surface. Dans le **Tableau 14**, les formations sont présentées des plus récentes aux plus anciennes.



Rivière à Simon, F. Dubois



## Géologie du Quaternaire

### Histoire géologique du Quaternaire

La cartographie la plus récente de la géologie du Quaternaire de la zone d'étude a été réalisée par Randour et al. (2020) et par Roy et al. (2015) (**Carte 15**). Les dépôts meubles de la région d'étude ont été déposés durant et après la dernière glaciation du Quaternaire qui s'est terminée il y a environ 12 500 ans. Durant la dernière glaciation, le glacier a érodé les roches du Bouclier canadien et cette érosion a engendré un volume très important de sédiments. Durant et après la déglaciation, ces sédiments ont été remaniés et ont été déposés de différentes manières selon l'environnement glaciaire dans lequel ils se trouvaient.

Bien que la majeure partie de la zone d'étude soit recouverte de dépôts de till, des séquences stratigraphiques complexes pouvant atteindre 90 m sont présentes dans les vallées des principales rivières de la zone d'étude (Du Lièvre, Rouge et Du Nord). La séquence stratigraphique type est composée à sa base de dépôts de till composés de sable, de gravier et parfois de bloc dans une matrice silteuse. Lors de la déglaciation, les eaux de fonte ont formé des chenaux sous-glaciaires dans lesquels des dépôts fluvioglaciaires se sont déposés. Ces derniers ont généralement érodé le till en place. Ils constituent donc, avec le till, la base de la séquence stratigraphique. Les sédiments fluvioglaciaires se retrouvent généralement dans le fond des vallées, mais parfois aussi sous forme de petits cordons d'esker dans les reliefs plus élevés. Ils sont composés de sable, de gravier et de blocs. Lors de la déglaciation, le retrait du glacier et l'enfoncement isostatique (enfoncement du socle rocheux sous le poids du glacier) ont permis la formation de lacs proglaciaires. La présence de masses d'eau près du front du glacier a entraîné la mise en place de dépôts deltaïques (sable et gravier), de dépôts d'eau profonde (silt) et de dépôts littoraux (sable et silt). Par la suite, l'invasion marine de la Mer de Champlain a aussi permis la déposition de sédiments d'eau profonde, deltaïques, lacustres et littoraux. Finalement, à mesure que le rebondissement isostatique (remonté du socle rocheux à son altitude d'avant la glaciation) se stabilisait et que le réseau hydrographique actuel se mettait en place, des sédiments alluvionnaires se sont déposés, principalement dans les vallées. Sur la zone d'étude, la séquence stratigraphique quaternaire est composée de cinq unités hydrostratigraphiques, deux unités imperméables et trois unités perméables.

### Couverture de dépôts meubles

**Sédiments glaciaires (Tm et Tc) :** Les unités de till en couverture continue (Tc) et discontinue (Tm) couvrent 60 % de la zone d'étude. Le Tm atteint une épaisseur maximale de 1 m et laisse apparaître la structure du socle rocheux sous-jacent. L'épaisseur du Tc peut atteindre 10 m sur les flancs de vallée en aval de l'écoulement glaciaire. Sur le Bouclier canadien, la matrice du till est composée de sable et de silt et est de couleur gris-brun.

**Sédiments fluvioglaciaires (Gxt, Gx, Go, Gs) :** Les dépôts d'épandage proglaciaires (Go, Gs), les sédiments juxtaglaciaires (Gx) et les sédiments de la moraine de Saint-Narcisse (Gxt) couvrent 7 % de la zone d'étude. Les dépôts Go et Gs sont principalement situés dans les vallées des grandes rivières et sont composés de sable et de gravier stratifiés. Leur épaisseur peut atteindre une dizaine de mètres. Les sédiments Gx sont composés de sable grossier, de graviers et de blocs. Ils sont communément exploités dans les gravières et sont principalement observés sur le Bouclier canadien. Leur épaisseur peut atteindre 25 m. Les sédiments de la moraine de Saint-Narcisse ont été déposés lors de la stagnation du front du glacier. Ils forment un segment morainique presque continue d'orientation ENE-OSO à la hauteur de Saint-Faustin-lac-Carré. Ces sédiments morainiques sont composés de till à matrice sableuse avec des blocs parfois de taille métrique.

**Sédiments glaciolacustres (LGb, LGd) :** Lors de la déglaciation, plusieurs lacs proglaciaires se sont développés dans les vallées au front du glacier. Ces lacs ont permis la sédimentation des dépôts provenant de la fonte du glacier. Ils couvrent 2,4 % de la zone d'étude. Les sédiments littoraux (LGb) sont composés de sable, de sable silteux et de gravier et leur épaisseur ne dépasse pas 5 m. Les sédiments deltaïque (LGd) sont composés de sable fin à grossier et leur épaisseur peut atteindre la dizaine de mètres.



Esker, Tiré de Randour et al. (2021)

**Sédiments glaciomarins (MGs, MGb, MGd) :** Les sédiments glaciomarins sont associés à l'invasion de la Mer de Champlain au cours de la déglaciation du territoire. L'altitude maximale de la mer de Champlain pour la zone d'étude est d'environ 250 m. Ces sédiments ont été distingués selon leur milieu de mise en place : sédiments fins d'eau profonde (MGa), sédiments littoraux et pré-littoraux (MGb), sédiments deltaïques et pro deltaïques (MGd). Au total, ces dépôts couvrent environ 10 % du territoire. Les sédiments Mga sont composés d'argile ou de silt et sont généralement de couleur grise. Ils peuvent atteindre une épaisseur de 15 m sur le Bouclier canadien et plus de 20 m dans les Basses-Terres du Saint-Laurent. Les sédiments MGb sont composés de sable et de gravier stratifiés et leur épaisseur est généralement inférieure à 5 m. Les sédiments MGd sont localisés sur le Bouclier canadien où ils remplissent les vallées. Ils sont composés de sable et des graviers stratifiés et bien triés. Leur épaisseur peut dépasser 25 m.

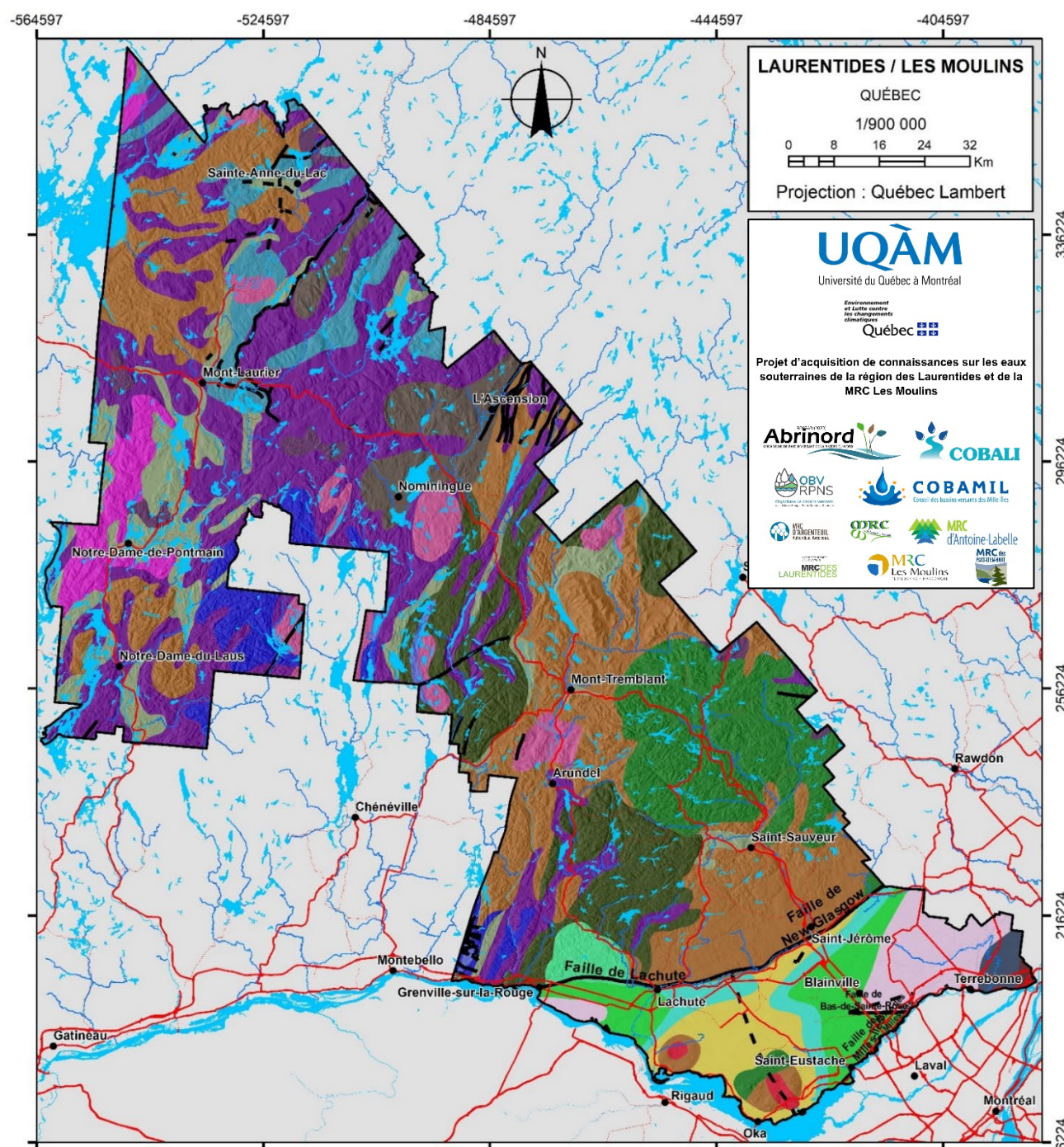
**Sédiments lacustres (Lb) :** ces sédiments ont été déposés à la suite de la formation du lac à Lampsilis. Ils sont uniquement localisés dans la partie est des Basses-Terres du Saint-Laurent dans la zone d'étude. Ils représentent 1,3 % de la zone d'étude et sont composés de sable.

**Alluvions, dépôts éoliens organiques et de versants (Ax, At, Ap, Ed, O, Cg) :** Les alluvions (Ax, At, Ap), les dépôts éoliens (Ed), les dépôts organiques (O) et les dépôts de versant (Cg) couvrent près de 5 % de la zone d'étude. Les alluvions actuelles (Ap) sont uniquement rencontrées près du fleuve Saint-Laurent. Les alluvions de terrasses fluviales (At) affleurent le long des grandes rivières (Lièvre, Rouge, Du Nord, etc.). Leur granulométrie est généralement liée aux sédiments en amont du cours d'eau et va des graviers aux sables silteux. Leur épaisseur ne dépasse généralement pas 2 m. Les alluvions anciennes (Ax) ont été déposées par le paléo-fleuve Saint-Laurent. Ils sont localisés dans les Basses-Terres du Saint-Laurent, notamment au pied du Bouclier canadien et près du fleuve Saint-Laurent actuel. Leur épaisseur peut atteindre la dizaine de mètres.

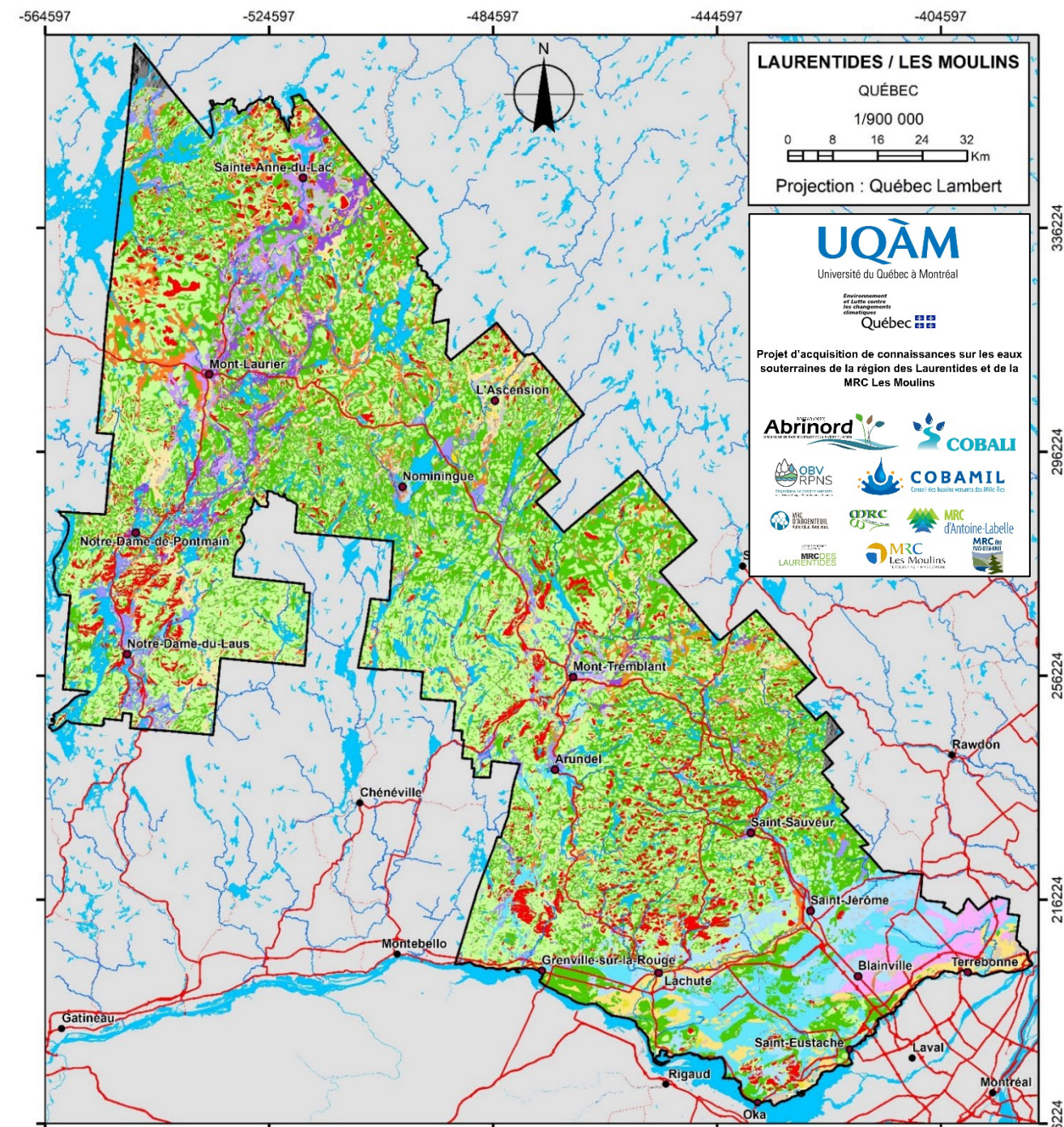


Dépôts argileux, Tiré de Randour et al. (2021)





Carte 14 : Géologie du socle rocheux (MERN, 2020a)



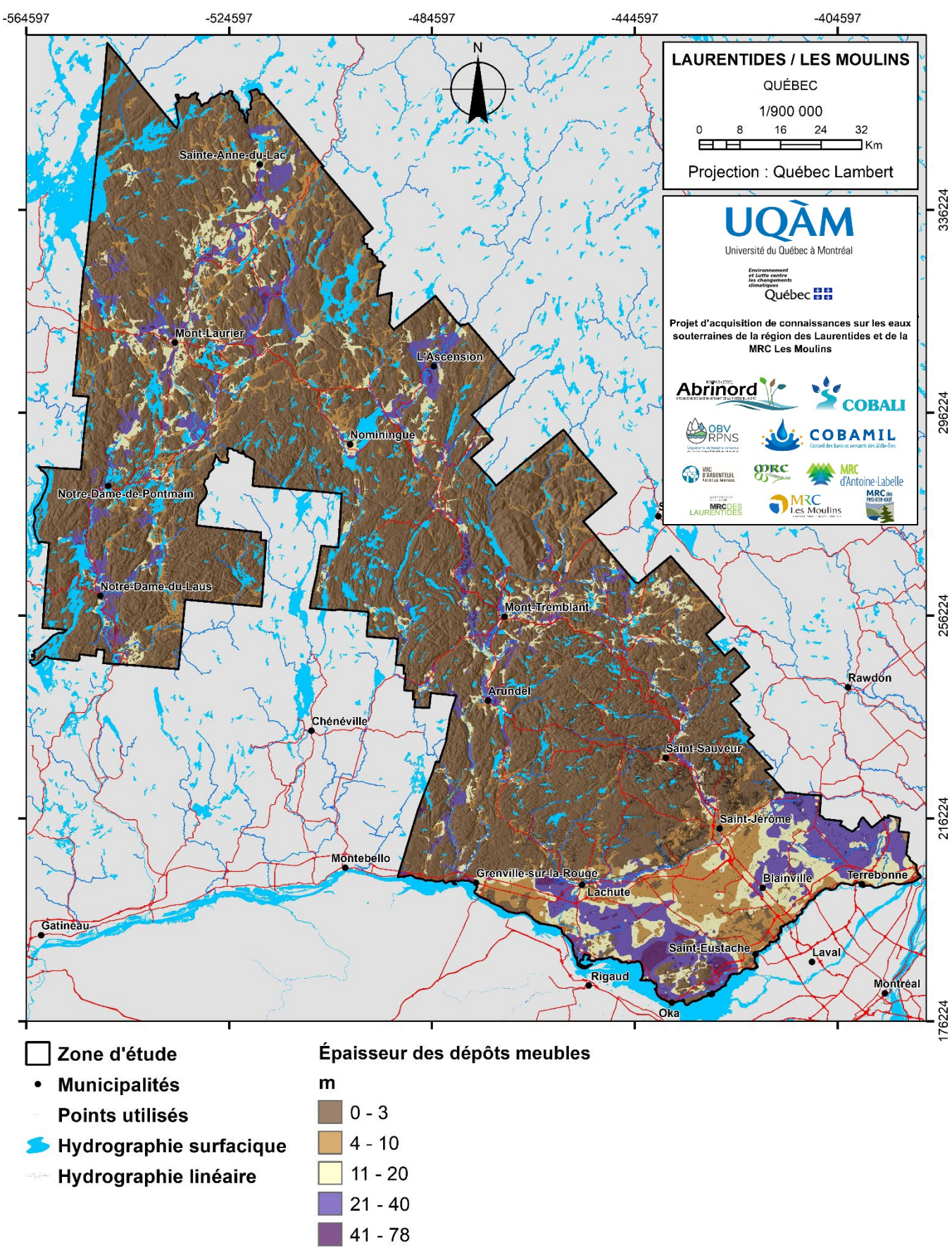
Carte 15 : Géologie du Quaternaire (MERN, 2020b)



# Épaisseur des dépôts meubles

Sur la zone d'études, les dépôts meubles peuvent atteindre une épaisseur de 80 m (**Carte 16**). On retrouve les épaisseurs les plus importantes le long des vallées de la rivière Rouge, de la rivière du Lièvre, de la rivière Kiamika et, dans une moindre mesure, dans la vallée de la rivière du Nord. L'orientation nord-sud de ces rivières (sensiblement la même que celle de l'écoulement glaciaire), a favorisé le remplissage par les sédiments de ces dépressions dans le socle rocheux. Ces profondeurs importantes de dépôts meubles ont d'ailleurs été observées lors du forage du puits 01020004 à La Conception (78 m), du puits 04060004 à Ferme-Neuve (45 m), et du puits 04060002 à Notre-Dame-du-Laus (47 m), ainsi que dans plusieurs puits municipaux (L'Ascension, La Conception, Brébeuf, Saint-Sauveur, pour ne nommer que ceux-ci). Dans la vallée de la rivière Rouge, les profondeurs importantes pourraient être expliquées par un changement de lithologie et la présence de la ligne de décrochement de Labelle.

Dans la majorité des zones de fortes épaisseurs, les sédiments forment un relief plat au fond de la vallée sur lequel les rivières méandrent. Cependant, dans la partie amont de la rivière Rouge, d'importants segments d'esker sont visibles (p.ex. : sur la topographie issue du LIDAR) en bordure ou au centre de la vallée. Dans le secteur de la municipalité de Mont-Tremblant, sur un axe est-ouest, des superficies importantes sont recouvertes de dépôts d'une épaisseur de 10 à 20 m. Ces sédiments font partie du complexe de la Moraine de Saint-Narcisse. En plus de former la moraine, la stagnation du front du glacier a mis en place des sédiments fluvioglaciaires dans les nombreuses grandes dépressions topographiques du secteur. Plus en aval, dans la vallée de la rivière du Nord, des épaisseurs de dépôts atteignant 40 m sont observées dans le secteur de Saint-Sauveur et jusqu'en amont de la ville de Saint-Jérôme. La zone amont des vallées des rivières du Lièvre et Kiamika comporte aussi des épaisseurs de dépôts meubles importantes, notamment à Ferme-Neuve, Mont-Laurier et Kiamika. Plus au sud, c'est dans la région de Notre-Dame-du-Laus que se trouvent les épaisseurs de dépôts meubles les plus importantes. Finalement, au sud de la zone d'étude, des dépôts de 10 à 30 m d'épaisseur sont présents. Ils ont été mis en place lors de l'invasion marine de la Mer de Champlain et ont couvert la zone des Basses-Terres du Saint-Laurent de manière plus ou moins homogène. Une épaisseur de 27 m de dépôts meuble a été mesurée au lors de la mise en place du forage 04646001 au nord de la ville de Mascouche.

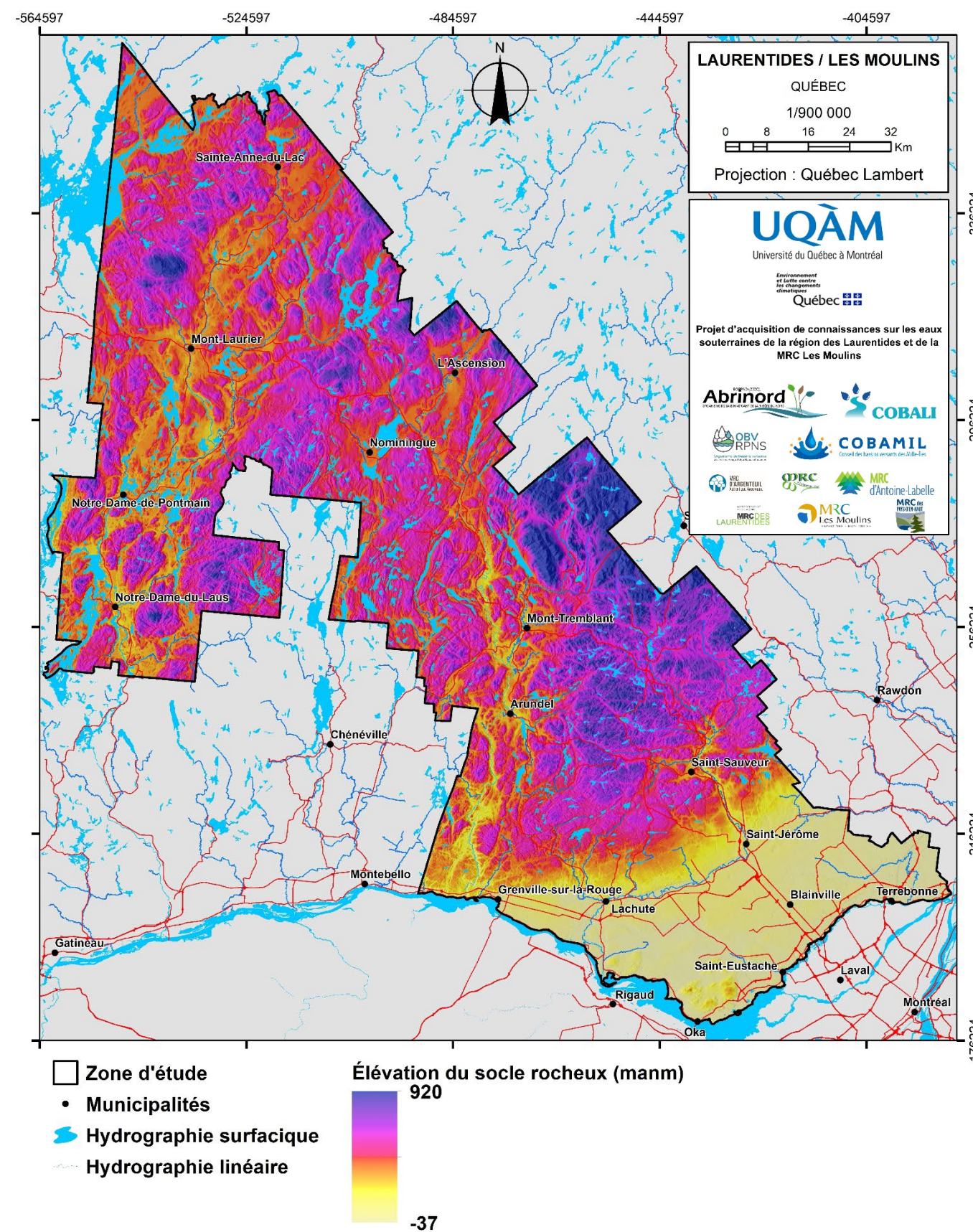


Carte 16 : Épaisseur des dépôts meubles



## Topographie du socle rocheux

Étant donné la faible épaisseur des dépôts meubles sur la grande majorité de la zone d'étude, la topographie du socle rocheux (**Carte 17**) est très similaire à la topographie de la surface sur sol sur une la majeure partie du territoire. Dans les Basses-Terres du Saint-Laurent, le socle rocheux comporte deux dépressions, une au sud-ouest et une au nord-est. Dans le Bouclier canadien, les vallées de la rivière Du Nord, de la rivière Rouge et la rivière du Lièvre forment les principales dépressions dans la topographie du socle, là où l'épaisseur des dépôts meubles est la plus importante.



Carte 17 : Topographie du socle rocheux



## Coupes hydrostratigraphiques

Afin d'illustrer les principaux contextes hydrogéologiques de la zone d'étude, six coupes hydrostratigraphiques ont été réalisées. Leur localisation est montrée sur la **Carte 18**.

La **Coupe 1** est située à la hauteur du puits RSESQ 04060004 à Ferme-Neuve. Lors du forage, des dépôts de sable, gravier et blocs ont été rencontrés sous les dépôts argileux et silteux qui forment un aquitard recouvrant une partie importante de la vallée de la Lièvre. Ces dépôts constituent probablement les vestiges d'un front de moraine ou simplement une accumulation importante de till. Le niveau de l'eau souterraine dans cette unité sédimentaire perméable indique que la nappe qui s'y trouve est en condition captive. La séquence stratigraphique suggère que la rivière du Lièvre n'est pas en connexion hydraulique avec cette unité. Dans l'aquifère superficiel, l'eau souterraine s'écoule des hauts topographiques vers les cours d'eau. Dans les dépôts sous l'argile, l'eau provient des zones de recharge où le roc affleure. Elle s'écoule ensuite vers les vallées, mais aussi de manière perpendiculaire à celles-ci, vers l'aval de la rivière.

La **Coupe 2** est située à la hauteur du puits RSESQ 04060002 à Notre-Dame-du-Laus. Les données de forage indiquent une importante épaisseur de sable de près de 30 m surmontant une couche d'argile et des dépôts fluvioglaciaires ont été observés à la base de la séquence. Les dépôts sableux en surface forment un important aquifère à nappe libre. Dans la partie gauche de la coupe, le niveau de l'eau souterraine est maintenu près de la surface par les milieux humides et le roc fracturé (faible conductivité hydraulique). L'eau souterraine s'écoule des affleurements rocheux vers la rivière du Lièvre. Peu d'information stratigraphique est disponible dans la zone près de la rivière, mais l'altitude du sommet de l'argile mesuré au puits 04060002 suggère que la rivière du Lièvre coule sur l'argile et qu'elle est en contact étroit avec l'aquifère superficiel, mais pas avec le socle rocheux.

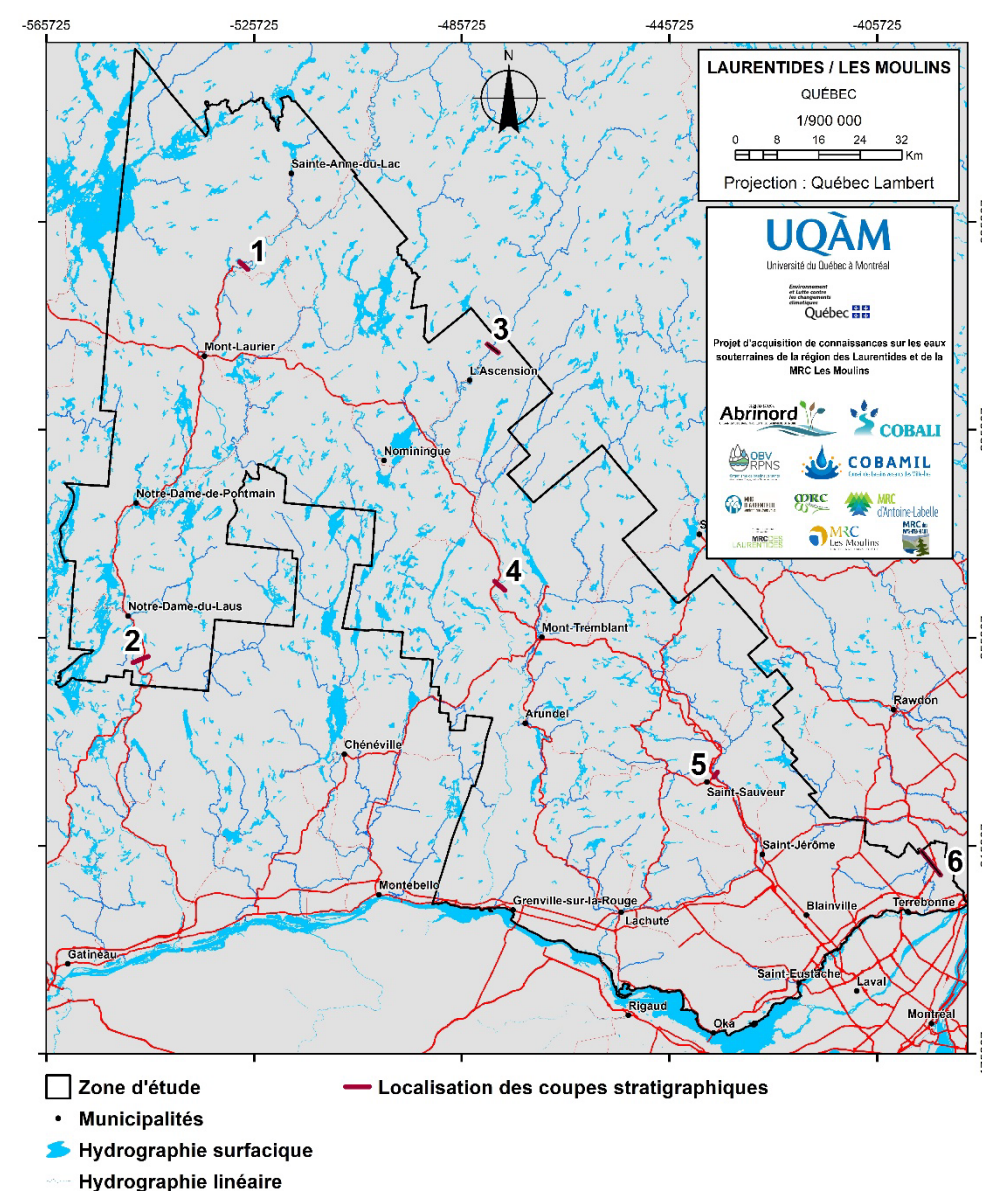
La **Coupe 3** montre une coupe hauteur du puits RSESQ 04020002 dans la municipalité de L'Ascension. Ce puits est installé dans une formation de sable et gravier avec blocs. Des milieux humides sont présents dans l'ancien méandre de la rivière Rouge. Le niveau de l'eau souterraine au puits 04020002 se situe en moyenne à 15 m sous la surface du sol. Les données indiquent que la rivière Rouge est en lien direct avec l'aquifère de la vallée. Les milieux humides présents sur la rive gauche maintiennent le niveau de l'eau souterraine près de la surface comparativement à la rive droite où aucun milieu humide n'est présent.

La **Coupe 4** est située à la hauteur du puits RSESQ 04020004 dans la municipalité de La Conception. Dans ce secteur l'épaisseur des dépôts meubles atteint près de 80 m. Une unité de sable de plus de 25 m d'épaisseur est superposée à une unité de silt argileux de plus de 30 m qui recouvre des dépôts fluvioglaciaires. L'eau souterraine s'écoule des sommets rocheux vers les sédiments, mais aussi à partir de la recharge au sein de la zone sédimentaire, vers la rivière Rouge tandis que l'aquifère captif est principalement alimenté par l'eau du socle rocheux. Toutefois, à certains endroits, la couche aquitard pourrait être absente et permettre des échanges entre l'aquifère de surface et l'unité sédimentaire profonde. Des milieux humides sont présents sur la rive gauche dans les anciens méandres de la rivière Rouge et contribuent à maintenir le niveau de l'eau souterraine près de la surface.

La **Coupe 5** montre l'hydrostratigraphie de la vallée de la rivière du Nord à la hauteur des puits d'alimentation en eau potable des municipalités de Saint-Sauveur et de Piedmont. Dans cette zone, les dépôts argileux dominent en surface et sont limités à la vallée. Ces dépôts forment un aquitard qui recouvre des dépôts d'origine fluvioglaciaire qui sont exploités par les municipalités de Saint-Sauveur et de Piedmont. L'eau souterraine s'écoule à partir de la recharge sur le socle rocheux vers la rivière du Nord et ensuite parallèlement à la rivière vers l'aval. Certaines zones de dépôts fluvioglaciaires sont en conditions de nappe libre et reçoivent la recharge directement

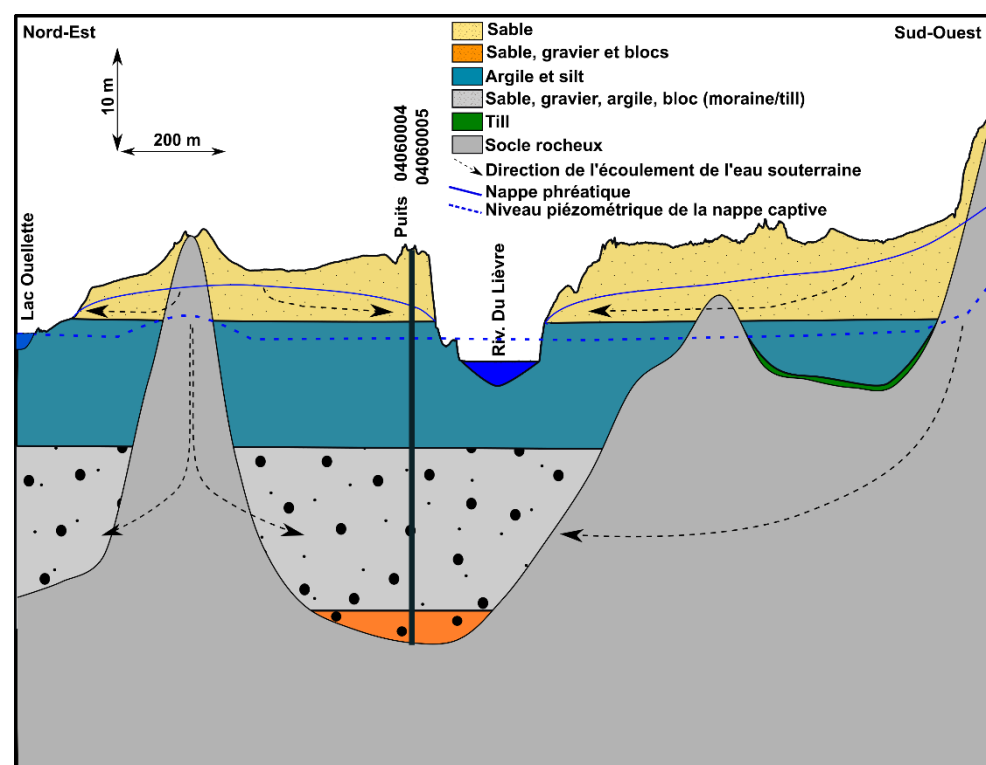
de la surface. Les données n'indiquent pas clairement si la rivière du Nord est en lien hydraulique avec l'aquifère sous-jacent.

La **Coupe 6** est située dans le secteur des Basses-Terres de la zone d'étude et passe par le puits RSESQ 04646001. Cette zone est caractérisée par d'importantes épaisseurs d'argile qui recouvrent le socle rocheux composé de calcaire. Ces calcaires forment un aquifère confiné. Des dépôts sableux d'origine littorale sont présents dans la partie basse de la coupe. L'eau souterraine de ces dépôts s'écoule à la fois vers le fleuve Saint-Laurent et vers le ruisseau des Grandes-Prairies (bassin versant de la rivière Mascouche). Dans l'aquifère du roc fracturé, l'eau souterraine s'écoule du Nord-Ouest vers le fleuve Saint-Laurent. La zone de recharge de ce secteur est située plus au nord où les dépôts argileux disparaissent. La coupe passe par le puits RSESQ 04646001 dans lequel le niveau de l'eau souterraine à cet endroit se situe à 25 m de profondeur. Finalement, les cours d'eau du secteur ne sont pas alimentés par l'aquifère du socle rocheux, mais plutôt par les quelques zones où des dépôts sableux sont présents en surface.

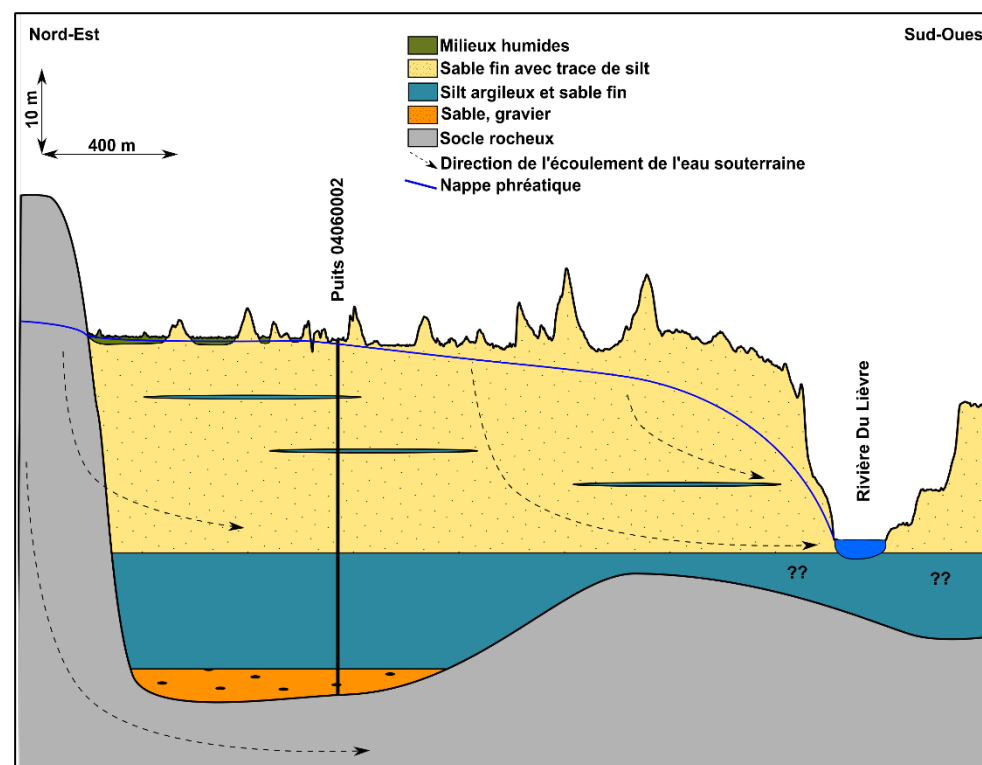


**Carte 18 : Localisation des coupes hydrostratigraphiques**

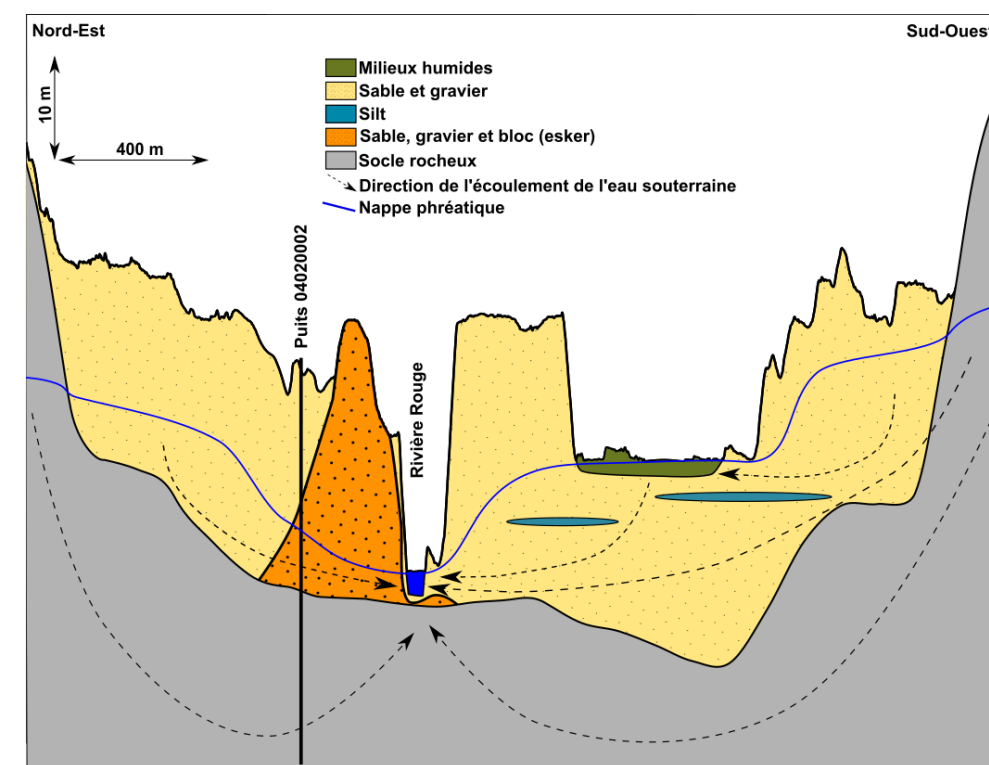




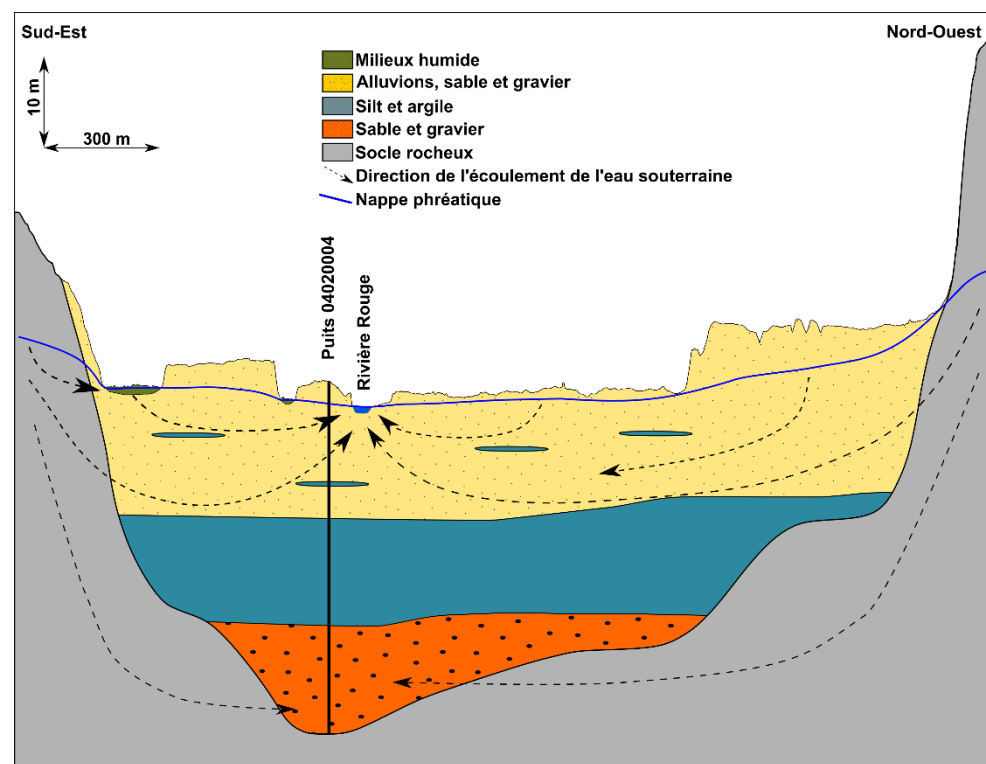
Coupe 1



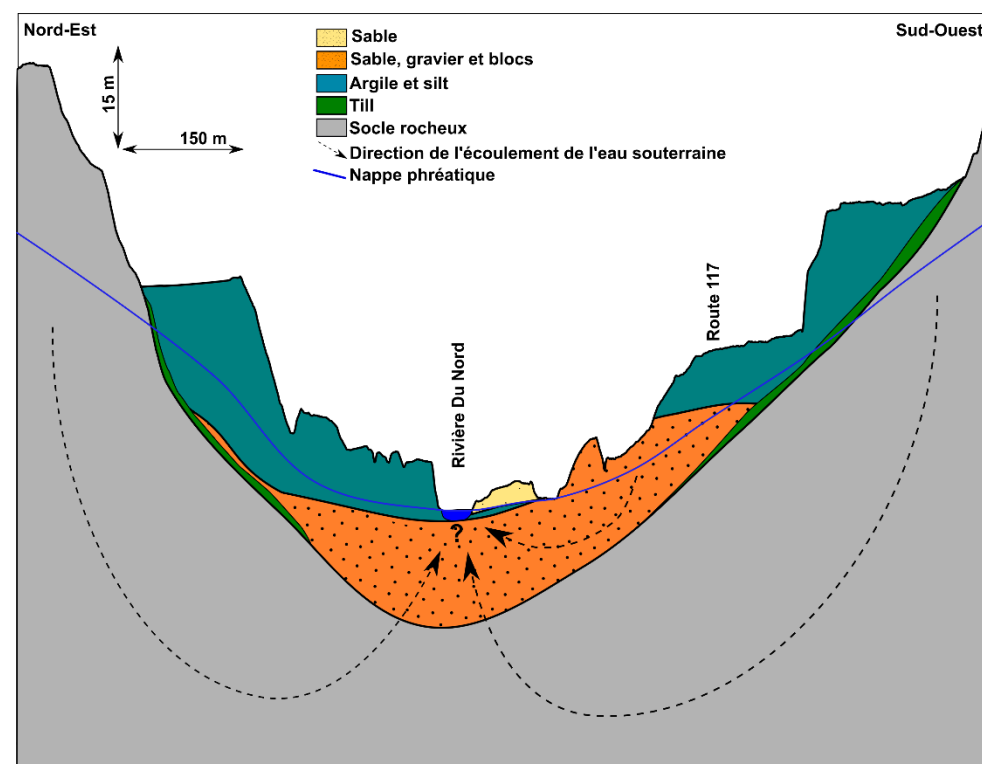
Coupe 2



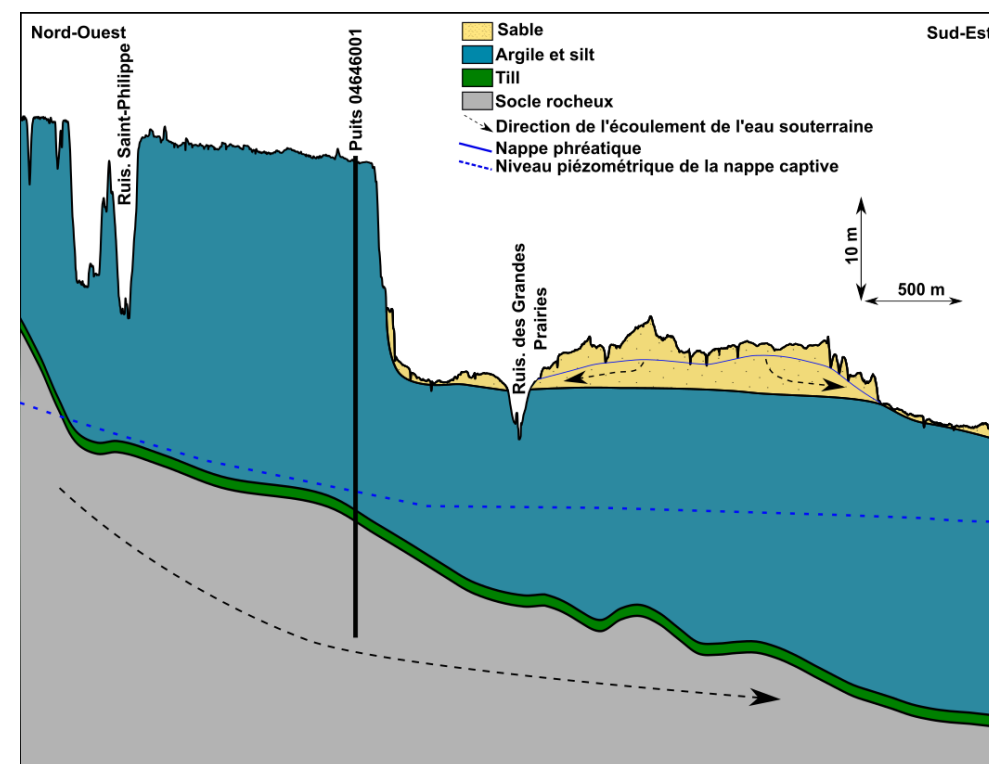
Coupe 3



Coupe 4



Coupe 5



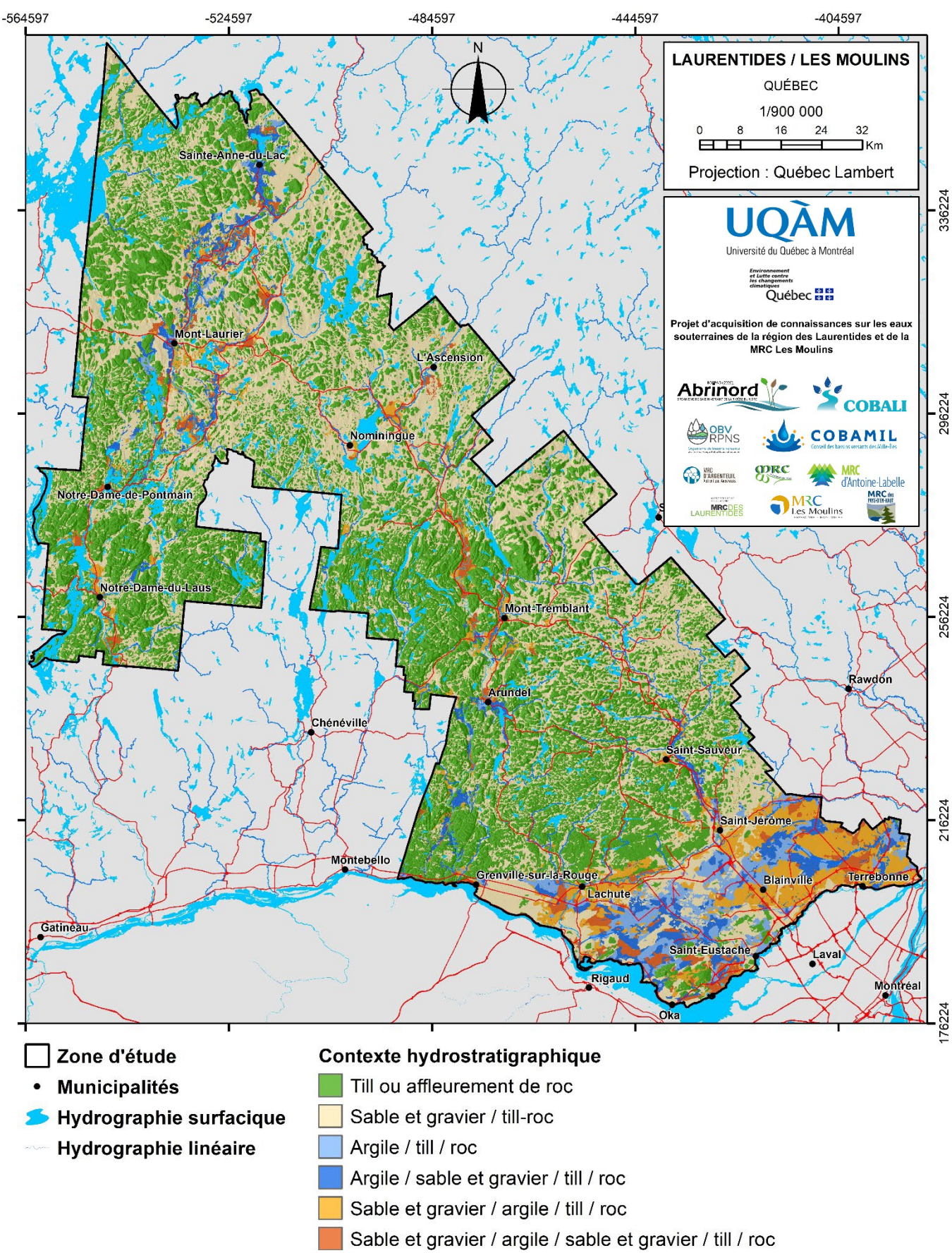
Coupe 6



# Contextes hydrostratigraphiques des dépôts meubles

Les contextes hydrostratigraphiques de la région d'étude représentent la séquence verticale d'empilement des unités géologiques de dépôts meubles, vers le bas à partir de la surface (**Carte 19**). Puisque tous les contextes reposent sur le socle rocheux, celui-ci n'est pas mentionné dans la légende de la carte dans le but d'alléger la légende. La zone du PACES LAULM est majoritairement couverte par des contextes hydrostratigraphiques de till sur roc et de sable et gravier reposants sur le till ou sur le socle rocheux. La forte présence de ce dernier contexte est causée par les dépôts de till continu qui sont souvent remaniés. Ces dépôts ne constituent généralement pas de bons aquifères.

Dans les Basses-Terres du Saint-Laurent, les contextes sont plus variés, allant des affleurements rocheux, comme les collines d'Oka, aux contextes plus complexes avec une séquence de sable et gravier/argile/till-roc ou une alternance de sable et gravier/argile/sable/till-roc dans le secteur de Mascouche. Plus au nord, c'est dans les vallées des grandes rivières que se trouvent les contextes hydrostratigraphiques les plus complexes avec, notamment des zones de sable et gravier/argile/sable et gravier/till/roc et des zones d'argile/sable et gravier/till-roc dans la portion aval de la rivière du Nord. Dans les parties les plus en amont des principaux cours d'eau, les épaisseurs d'argile diminuent et les contextes hydrostratigraphiques rencontrés sont surtout les sables et gravier sur till et roc. Des contextes till et roc sont observés dans la partie aval de la rivière Rouge. Dans la partie centrale de ce cours d'eau, des contextes plus complexes sont rencontrés avec des séquences sable et gravier/argile/sable et gravier/till-roc, tandis que plus en amont, l'argile laisse sa place aux séquences de sable et gravier sur till et roc. Les contextes hydrostratigraphiques de la portion aval de la rivière du Lièvre sont principalement de type sable et gravier/argile/sable/till-roc et gravier/till-roc. Plus en amont, on retrouve plus d'argile en surface et dans la vallée de la rivière Kiamika des contextes de sable et gravier/argile/sable et gravier/till-roc sont rencontrés. Dans l'ensemble, on retrouve des contextes hydrostratigraphiques complexes dans les vallées et à plusieurs endroits, des dépôts granulaires sont présents sous l'argile. Des dépôts granulaires perméables sont présents sur une grande proportion du territoire, pas seulement dans les vallées, et les contextes de till sur roc sont majoritaires.



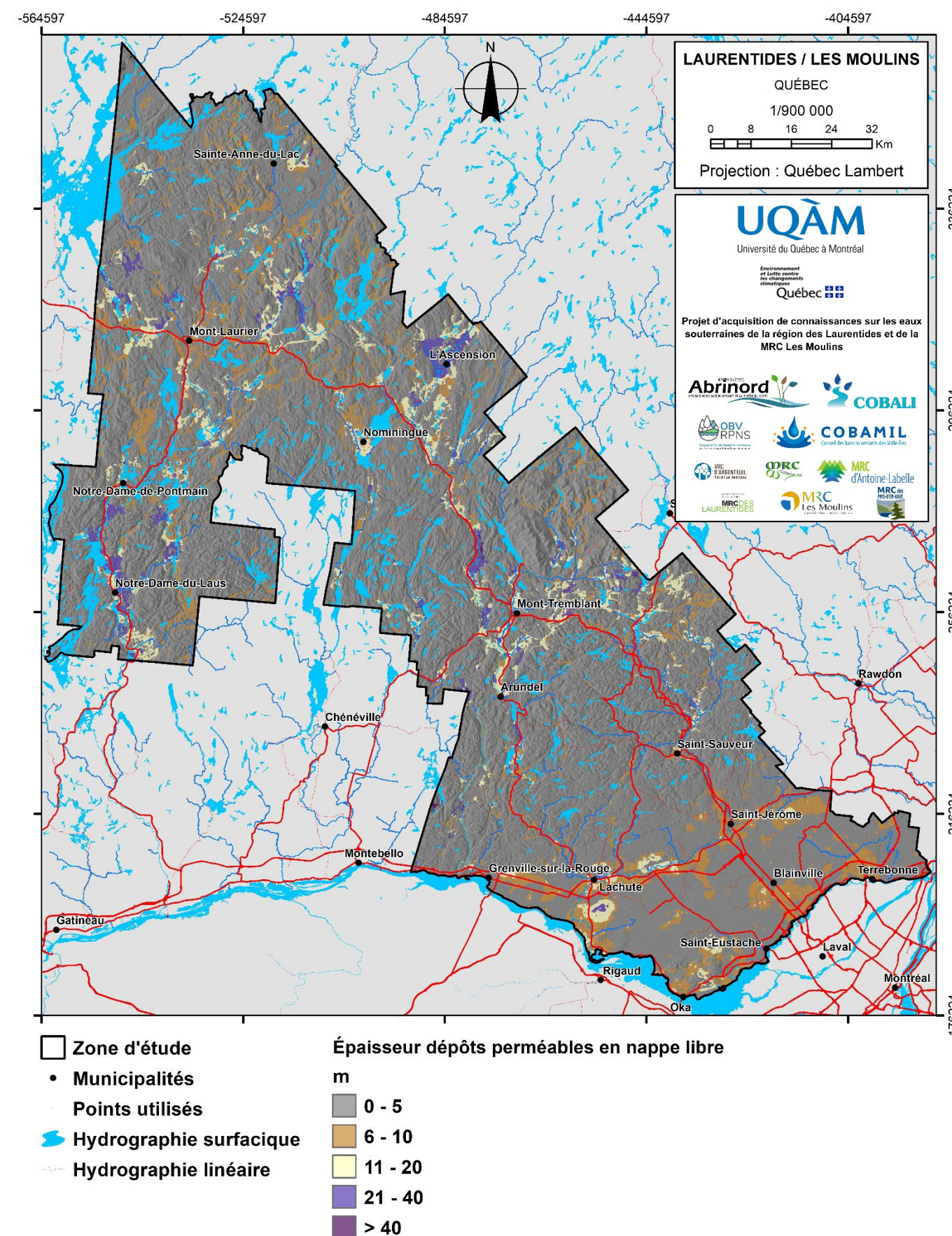
Carte 19 : Contextes hydrostratigraphiques



## Épaisseur des dépôts perméables en nappe libre

La carte des dépôts perméables en nappe libre illustre l'épaisseur des dépôts perméables, principalement des sables et graviers (**Carte 20**). S'ils sont saturés, ils pourraient former un aquifère si leur épaisseur est suffisante. Si ces dépôts ne sont pas saturés, comme, par exemple certaines sections de la moraine de Saint-Narcisse situées sur des crêtes de collines, ils ne forment pas un aquifère.

Des dépôts perméables en nappe libre de 5 à 20 m d'épaisseur sont présents à plusieurs endroits sur le territoire. Ces dépôts ne se trouvent pas seulement dans les vallées des trois grandes rivières, mais sont aussi présents dans plusieurs vallées de plus petits cours d'eau. Ils sont principalement composés de dépôts fluvio-glaciaires, de dépôts deltaïques et de dépôts littoraux. Les épaisseurs de dépôts dépassant 20 m sont localisées dans la partie centrale et dans la partie amont et la partie aval (dans la zone d'étude) de la rivière Rouge, dans la partie amont de la rivière du Lièvre et finalement dans le complexe de la moraine de Saint-Narcisse.



**Carte 20 : Épaisseur des dépôts perméables en nappe libre**







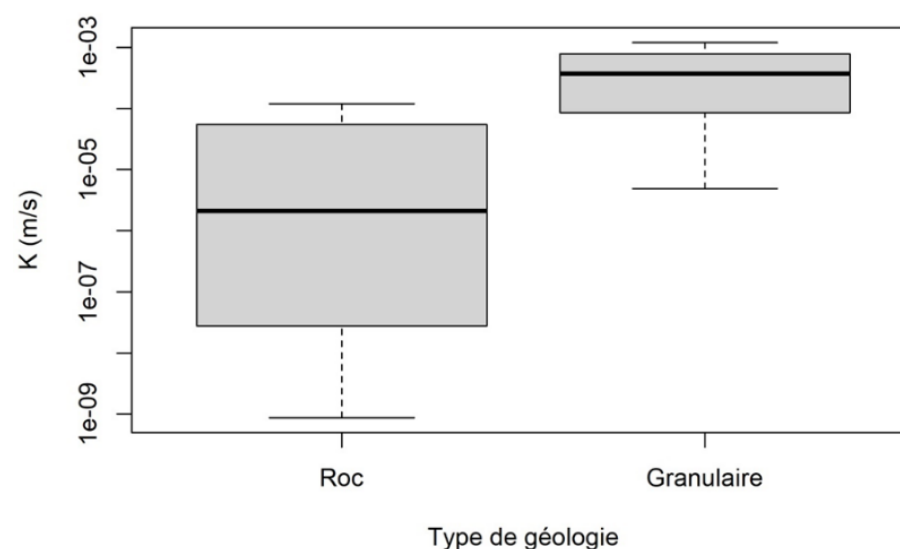
## 4 CONDITIONS HYDROGÉOLOGIQUES

### Propriétés hydrauliques

L'eau souterraine remplit les porosités du milieu géologique, c'est-à-dire les fractures (dans les aquifères rocheux) et les espaces entre les grains (dans les aquifères de dépôts meubles). Plus la porosité est élevée, plus il y a d'espace disponible pour emmagasiner de l'eau dans ce qui constitue l'aquifère. Pour qu'une unité géologique soit intéressante pour l'approvisionnement en eau souterraine, il faut aussi que cette eau se renouvelle, c'est-à-dire qu'il faut que les vides communiquent entre eux pour que l'eau puisse s'infiltrer et circuler d'un endroit à un autre. Pour évaluer si le contenant qu'est le milieu géologique constitue un bon aquifère, il faut d'abord connaître sa porosité et son degré de fracturation. La **conductivité hydraulique** d'une formation géologique est sa capacité à transmettre l'eau rapidement d'un vide à l'autre. Plus cette dernière est élevée et plus l'aquifère est productif. Il est possible de mesurer la conductivité hydraulique du milieu par différents essais hydrauliques réalisés directement dans les forages.

Les données d'archive issues des rapports de consultants et gouvernementaux compilées dans le cadre de ce projet ont permis d'avoir accès à 51 valeurs de conductivité hydraulique, à 43 valeurs de transmissivité et à 24 valeurs de coefficients d'emmagasinement (**Tableau 5**). Les moyennes géométriques de conductivité hydraulique mesurée dans les dépôts meubles et dans le roc sont  $2,9 \times 10^{-4}$  m/s et de  $1,8 \times 10^{-6}$  m/s, respectivement. Celles des transmissivités varient de  $4,3 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s pour les puits dans les dépôts meubles et de  $1,5 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s pour les puits au roc. Étant donné que ces valeurs ont été obtenues dans le cadre de recherches pour des puits d'alimentation en eau potable, elles représentent principalement des valeurs pour des aquifères productifs et pourraient refléter la gamme supérieure des propriétés hydrauliques des aquifères de la région. Les valeurs de coefficients d'emmagasinement, qui sont moins nombreuses, car leur mesure nécessite au moins un puits d'observation durant l'essai de pompage, varient de 0,07 pour les sédiments et de 0,01 pour le roc.

Les données compilées (**Figure 8** et **Carte 22**) montrent une gamme de valeurs plus étroite pour les aquifères de dépôts meubles et pour ceux de roc fracturé. Cette différence majeure provient de la plus grande hétérogénéité du socle rocheux dont la conductivité hydraulique est contrôlée par le réseau de fractures qui peut être très hétérogène à l'échelle locale que la conductivité hydraulique des sédiments.



**Figure 8 : Conductivités hydrauliques provenant des rapports de consultants et des rapports gouvernementaux pour les aquifères de roc fracturé et de dépôts meubles**



Essais de Pompage à Arundel, S. Gagné

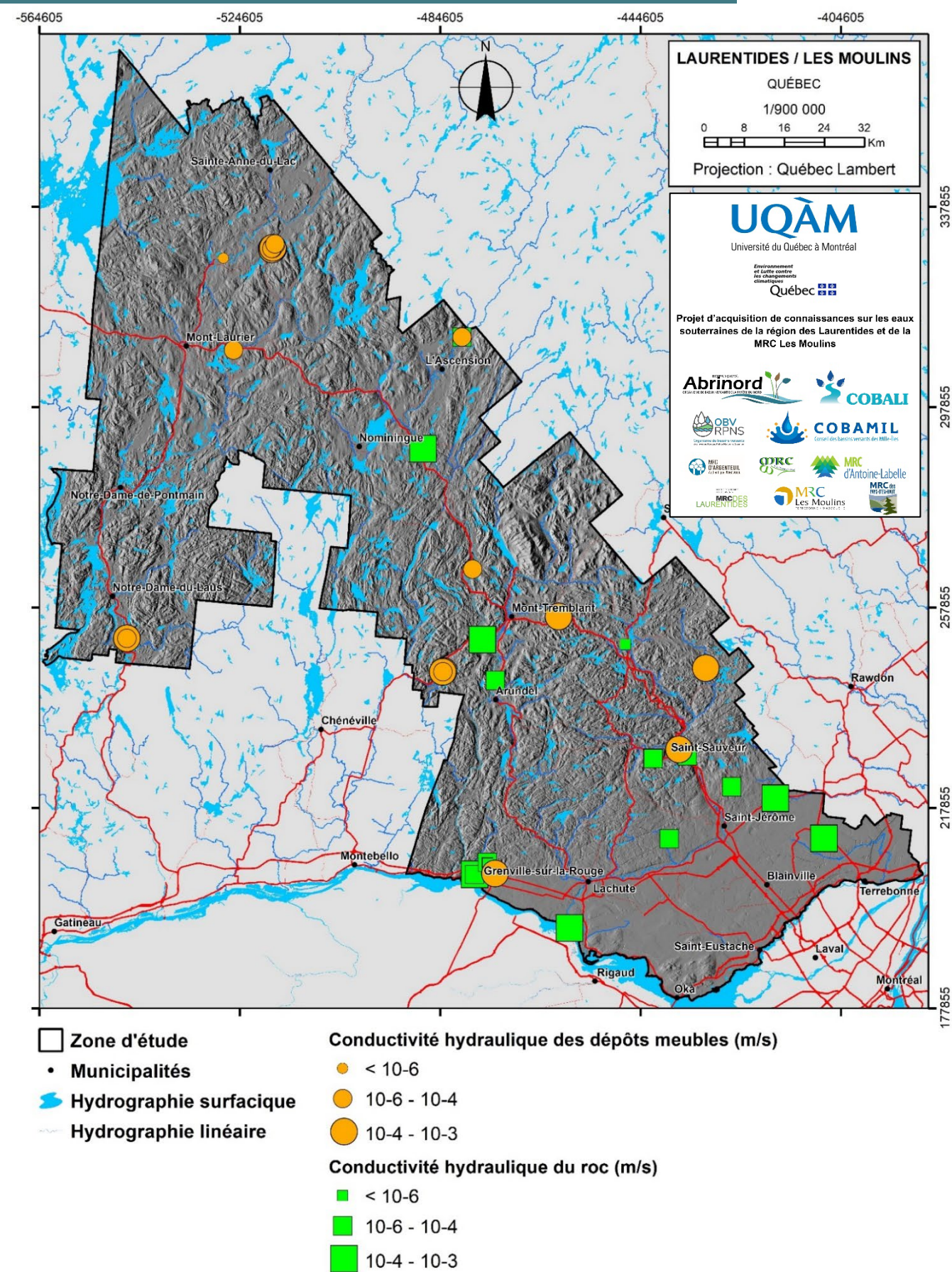


Puits d'observation à la tourbière Décarie, S. Gagné



**Tableau 5 : Conductivités hydrauliques et transmissivités selon le type de géologie (rapports de consultants et gouvernementaux) et résultats des pompages réalisés dans le cadre du projet**

Source des données	Puits	Type aquifère	Confinement	T moy. (m <sup>2</sup> /s)	K moy. (m/s)	S <sub>y</sub>
Consultants	-	Dépôts meubles	-	4,3 x 10 <sup>-3</sup> (14)	2,9 x 10 <sup>-4</sup> (23)	0,07 (5)
	-	Roc fracturé	-	1,5 x 10 <sup>-4</sup> (29)	1,8 x 10 <sup>-6</sup> (28)	0,01(19)
UQAM	RSESQ 04010003	Roc fracturé	Libre	1,6 x 10 <sup>-3</sup>	8,1 x 10 <sup>-5</sup>	-
	RSESQ 04010004	Roc fracturé	Libre	2,7 x 10 <sup>-5</sup>	1,4 x 10 <sup>-6</sup>	-
	RSESQ 04010005	Roc fracturé	Libre	<1,0 x 10 <sup>-7</sup>	<1,0 x 10 <sup>-7</sup>	-
	RSESQ 04020002	Roc fracturé	Libre	1,7 x 10 <sup>-3</sup>	7,7 x 10 <sup>-5</sup>	-
	RSESQ 04020003	Dépôts meubles	Libre	2,0 x 10 <sup>-4</sup>	3,6 x 10 <sup>-5</sup>	-
	RSESQ 04020004	Dépôts meubles	Captif	4,7 x 10 <sup>-5</sup>	2,5 x 10 <sup>-6</sup>	-
	RSESQ 04020005	Dépôts meubles	Libre	2,0 x 10 <sup>-4</sup>	1,4 x 10 <sup>-5</sup>	0,105
	RSESQ 04020006	Roc fracturé	Libre	6,0 x 10 <sup>-5</sup>	1,5 x 10 <sup>-6</sup>	-
	RSESQ 04060002	Dépôts meubles	Semi-captif	7,2 x 10 <sup>-4</sup>	1,0 x 10 <sup>-4</sup>	-
	RSESQ 04060003	Dépôts meubles	Libre	3,0 x 10 <sup>-3</sup>	3,0 x 10 <sup>-4</sup>	0,167
	RSESQ 04060004	Dépôts meubles	Captif	5,2 x 10 <sup>-6</sup>	2,6 x 10 <sup>-7</sup>	-
	UQAM Arundel	Dépôts meubles	Libre	9,0 x 10 <sup>-4</sup>	3,0 x 10 <sup>-4</sup>	-



**Carte 23 : Localisation et gammes de conductivités hydrauliques pour les aquifères de roc fracturé et les aquifères de dépôts meubles provenant des rapports de consultants et des rapports gouvernementaux**

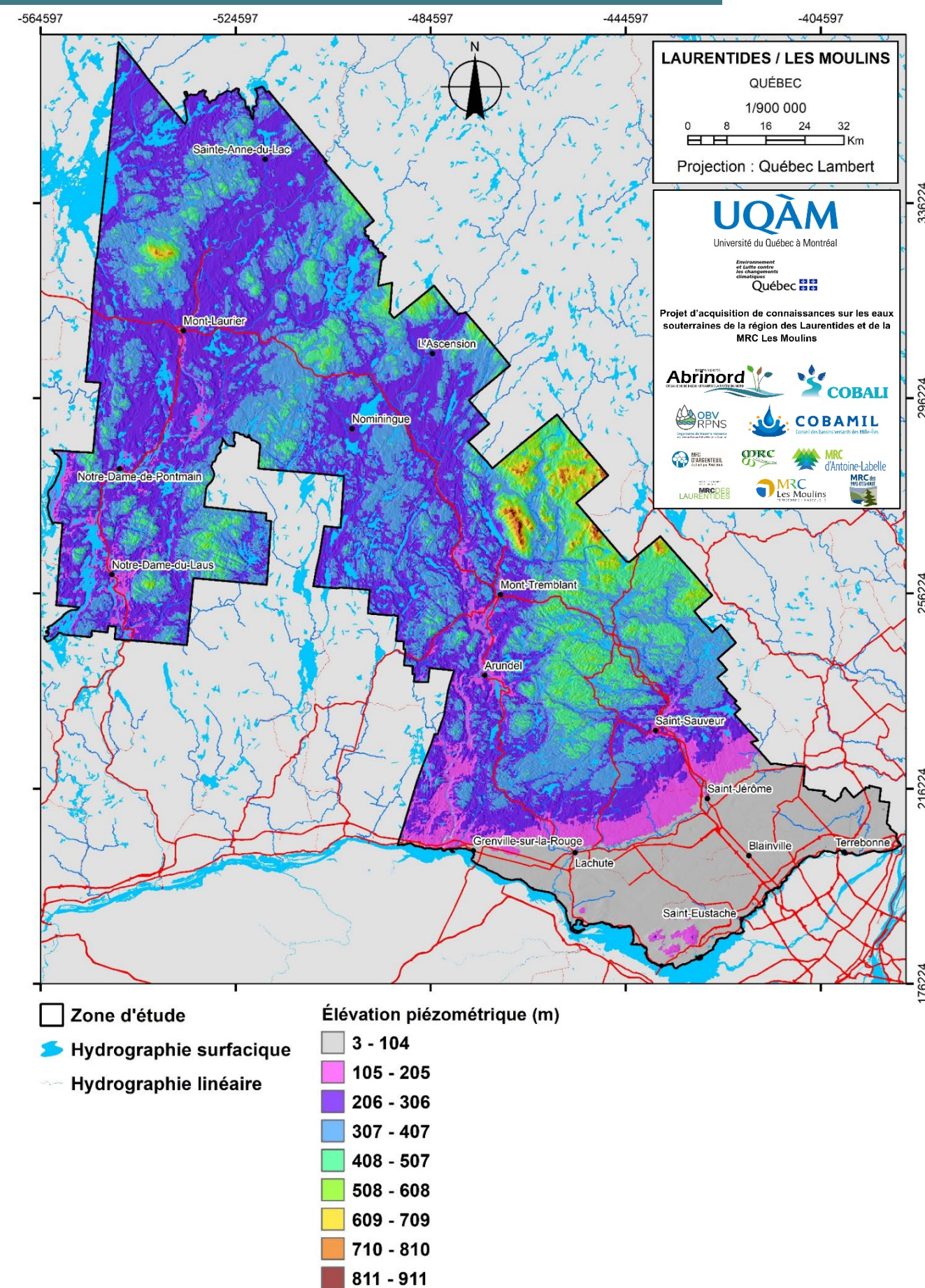


## Piézométrie et écoulement

Le **niveau piézométrique** est le niveau que l'eau souterraine atteint dans un puits. La surface imaginaire qui relie tous les niveaux mesurés représente l'**élévation piézométrique**. Pour la représenter sur une carte, des lignes sont tracées entre différents points de même niveau piézométrique (appelées **isopièzes ou courbes piézométriques**), comme sur une carte topographique. L'écoulement de l'eau souterraine se produit des points de piézométrie élevée aux points de piézométrie plus basse.

La carte des niveaux piézométriques (**Carte 23**) a été générée par l'interpolation spatiale de 38 300 points de mesure du niveau d'eau provenant du SIH (MELCC, 2018), de la base de données du RSESQ et de rapports de consultants. Les points de mesure de charge se situent principalement dans les vallées et au sud du territoire, plus précisément au sud de la municipalité de Mont-Tremblant. Les cours d'eau ayant une connexion potentielle ou connue avec l'aquifère ont aussi été utilisés comme points de forçage lors de l'interpolation (niveau piézométrique égal à la topographie), notamment aux rivières Gatineau, du Lièvre, Rouge, du nord, Mascouche et du Chêne, ainsi qu'à leurs principaux affluents. Aucun forçage aux cours d'eau n'a été imposé dans les Basses-Terres du Saint-Laurent ou d'importantes épaisseurs d'argile entraînent une déconnexion entre le réseau hydrographique de surface et l'aquifère. L'interpolation a été réalisée avec la profondeur du niveau piézométrique et la carte piézométrique a été obtenue en soustrayant la profondeur du MNT. La carte piézométrique combine les charges dans les aquifères rocheux et celles dans les aquifères granulaires, en suppose une connexion hydraulique entre les deux.

Les niveaux piézométriques sur la zone d'étude varient d'une altitude maximale de 911 m sur les plus hauts sommets (secteur du Parc national du Mont-Tremblant et de la municipalité de Val-des-Lacs) à moins de 50 m près de la rivière des Outaouais et la rivière des Mille-Îles. La profondeur moyenne du niveau par rapport au sol est de 9,2 m (médiane 6,1 m). Dans les secteurs accidentés, les directions d'écoulement sont très variables spatialement et s'orientent des secteurs de topographie élevée vers les vallées et les rivières. Les données indiquent qu'il n'existe pas d'écoulement régional important du nord de la zone d'étude vers le fleuve. L'eau souterraine s'écoule plutôt des sommets vers les vallées pour ensuite faire résurgence dans les rivières ou, avec un faible gradient hydraulique, vers le fleuve parallèlement aux rivières principales. Un écoulement régional nord-sud est observable à partir des zones au nord de Saint-Sauveur vers les Basses-Terres du Saint-Laurent. Le gradient hydraulique régional est de 0,0013 entre l'Ascension et Lachute, tandis qu'il est plus faible du côté de la rivière du Lièvre, avec une valeur de 0,0006 dans l'axe Sainte-Anne-du-Lac – Notre-Dame-du-Laus.



Carte 24 : Élévations piézométriques



# Recharge

La **recharge** correspond à l'eau qui s'infiltre dans le sol et qui atteint la nappe. Pour assurer la pérennité de l'eau souterraine dans une région, il est nécessaire de connaître les quantités disponibles ainsi que le taux de renouvellement de l'eau souterraine qui correspond à la recharge.

Trois méthodes ont été utilisées pour définir la recharge sur la zone d'étude.

1) Débits obtenus par séparation des hydrogrammes

L'application de filtres récuratifs sur les séries temporelles de débits permet de séparer les débits de base des débits totaux. À l'échelle annuelle et mensuelle, les débits de base calculés avec ces filtres fournissent une estimation de la recharge sur le bassin versant, selon l'hypothèse que toute la recharge sur un bassin versant fait résurgence à l'exutoire du cours d'eau.

2) Recharge par analyse des fluctuations de niveaux de nappe

Les séries temporelles du niveau de l'eau souterraine peuvent aussi être analysées pour obtenir une estimation du taux de recharge. Bien que fournissant des résultats très locaux, cette méthode est un outil supplémentaire qui contribue à l'intercomparaison des méthodes. Le calcul est réalisé à partir des chroniques de niveaux de nappe provenant de puits d'observation installés dans des aquifères en nappe libre et est basé sur l'hypothèse que les fluctuations de niveau d'eau souterraine sont directement causées par la recharge provenant des précipitations (Healy et Cook, 2002).

3) Recharge spatialisée simulée par bilan hydrique spatialisé

Dans le cadre du projet PACES-LAULM, la recharge potentielle spatialement distribuée a été calculée pour toute la zone d'étude à l'aide du modèle HydroBudget (HB, **Figure 9** ; Dubois et al, 2021). Ce modèle permet de simuler la recharge potentielle, i.e. celle qui pourrait atteindre la nappe en l'absence de dépôts peu perméables en profondeur, avec un pas de temps mensuel sur un maillage de 500 m x 500 m.

## Interprétation pour la zone d'étude

La recharge moyenne pour toute la zone d'étude est 198 mm/an et varie entre 0 et 468 mm/an dans l'espace (**Carte 24**). Sur une grande partie de la zone d'étude, la recharge annuelle moyenne varie entre 200 et 300 mm/an. Les zones où la recharge potentielle est la plus élevée correspondent aux secteurs d'aquifère granulaire en nappe libre, comme les sections amont et centres de la rivière Rouge, la partie amont du bassin versant de la rivière du Nord, et le secteur amont de la rivière du Lièvre, à la limite de la zone d'étude. Les zones de faible recharge se trouvent où les dépôts argileux affleurent, comme dans la vallée de la rivière du Nord et dans la MRC Les Moulins. Entre 1961 et 2017, la recharge annuelle médiane a varié de 150 mm/an à près de 320 mm/an pour les années les plus humides (**Figure 10**).

Le 75<sup>e</sup> percentile des valeurs spatialement distribuées de recharge annuelle moyenne, i.e 265 mm/an, a été sélectionné comme valeur seuil pour la recharge préférentielle. Cette valeur a été utilisée pour cartographier les zones de recharge préférentielles sur toute la zone d'étude. Celles-ci sont réparties de manière relativement homogène sur toute la zone d'étude. Le secteur amont de la rivière du Nord et la région de Notre-Dame-du-Laus, sont les endroits où la concentration de pixels ayant une recharge supérieure à 265 mm/an est la plus élevée (**Carte 25**).

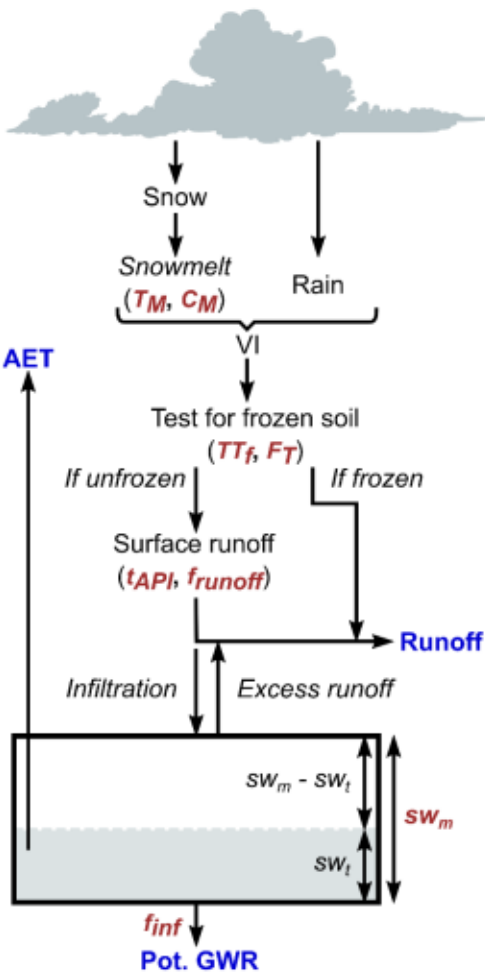


Figure 9 : Fonctionnement du modèle HydroBudget utilisé pour calculer la recharge potentielle (Dubois et al., 2021)

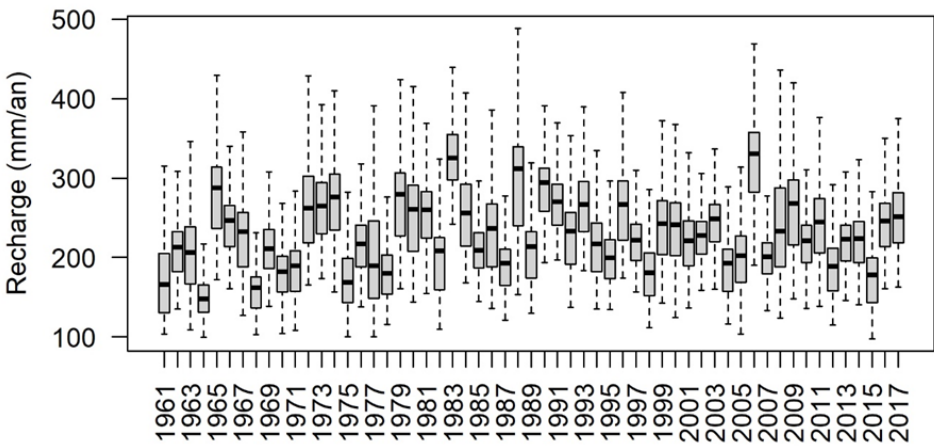
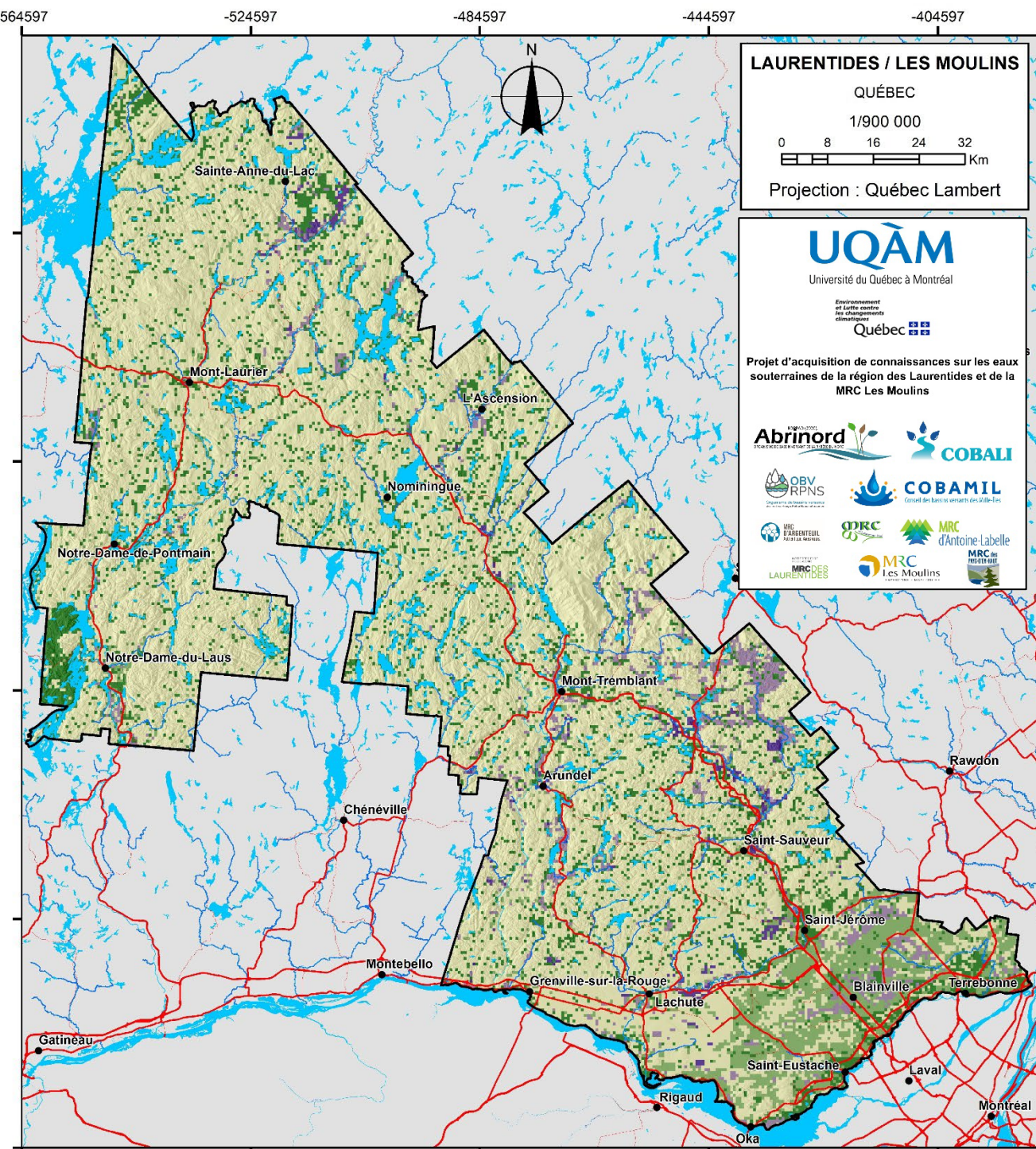
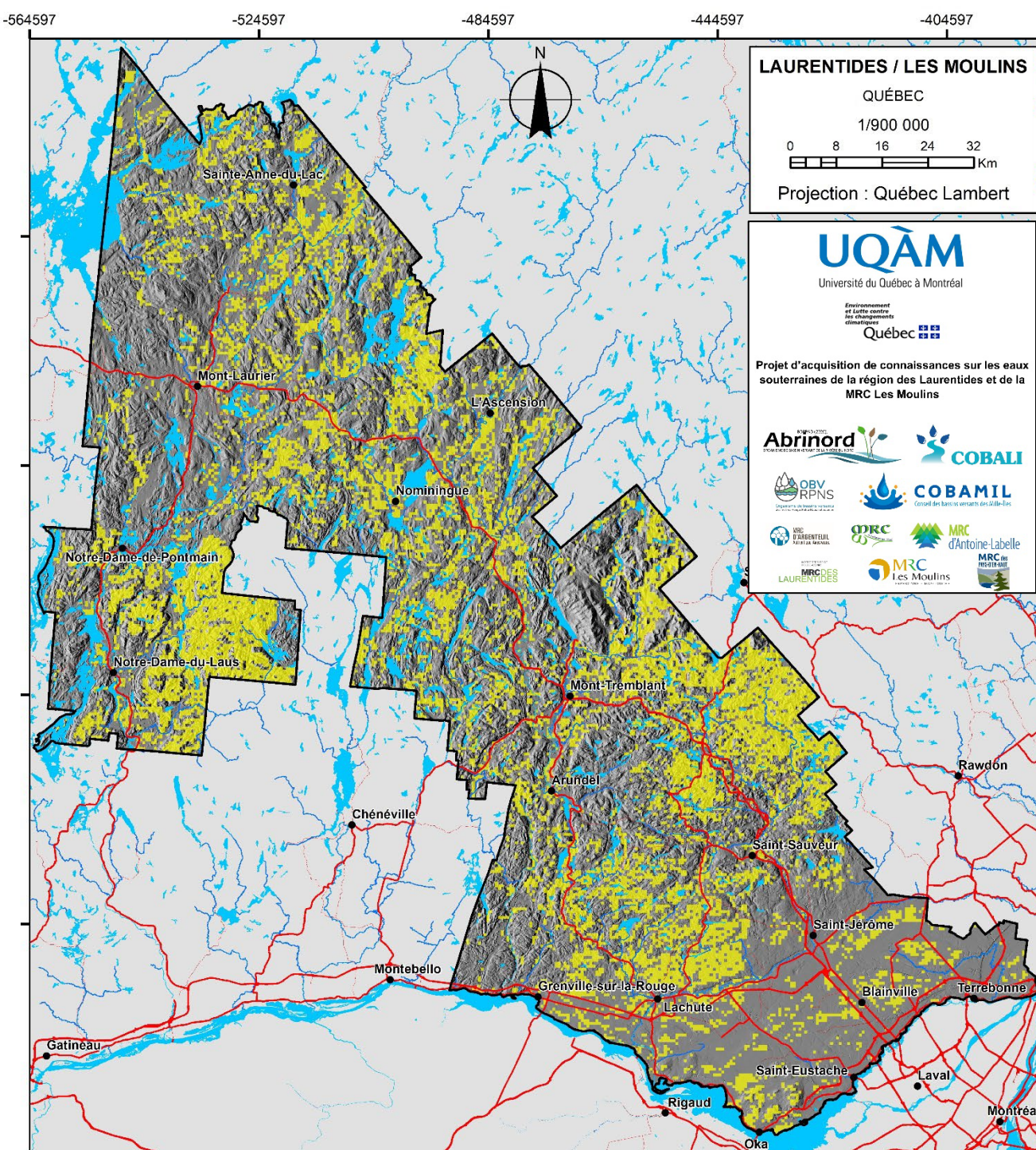


Figure 10 : Variation intra-annuelle de la recharge pour toute la zone d'étude de 1961 à 2017





**Carte 25 : Répartition spatiale de la recharge potentielle moyenne annuelle entre 1961 et 2017**



**Carte 26 : Zones de recharge préférentielle (> 265 mm/an)**



## Échanges nappe-rivière

La **connectivité hydrologique** représente le lien entre l'eau souterraine et l'eau de surface. Elle peut être cartographiée à l'aide de données à l'échelle régionale, ce qui est fait dans ce projet, mais pour une analyse plus fine des conditions rencontrées, elle doit être étudiée localement.

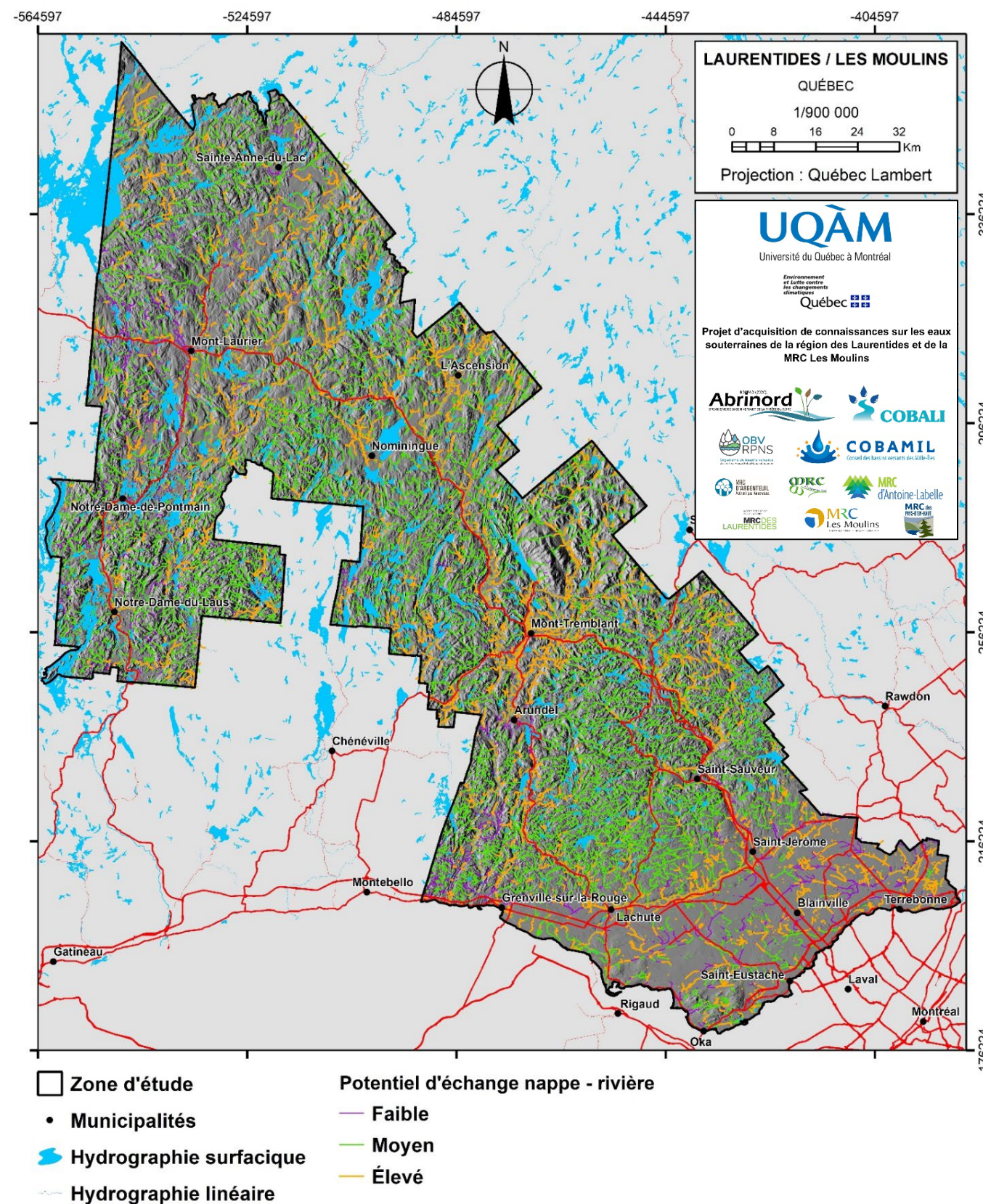
Afin de déterminer les zones de résurgence et les zones d'échange possibles entre l'eau souterraine et l'eau de surface, une analyse spatiale des cours d'eau a été réalisée de manière automatisée. Pour chacun des tronçons de cours d'eau du GRHQ (2019), l'information de la géologie du Quaternaire a été extraite sur une zone tampon de 100 m et le type de dépôt ayant la superficie la plus importante a été conservé. Par la suite, les types de dépôts meubles ont été classés selon leur potentiel aquifère (faible, moyen, élevé). Les dépôts granulaires perméables ont une conductivité hydraulique généralement plus élevée que le roc et le till et ils ont généralement aussi une porosité plus importante. Ces deux facteurs font que leur potentiel à décharger des volumes d'eau souterraine importants aux cours d'eau est plus élevé que le roc et le till. Le potentiel de connectivité aquifère-cours d'eau ne permet pas de déterminer si un cours d'eau est en connexion ou non avec l'eau souterraine ni de déterminer le sens des échanges.

### Interprétation pour la zone d'étude

Les cours d'eau situés dans les grandes vallées où des aquifères en nappe libre sont présents ont tous un potentiel d'échange élevé (**Tableau 6** et **Carte 26**). Dans les secteurs montagneux où le roc et le till dominant, les potentiels d'échanges sont généralement moyens. Les zones avec une forte concentration de dépôts argileux et, dans une moindre mesure, les zones avec une forte concentration de milieux humides constituent les zones à faible potentiel d'échange. Les résultats montrent que 29 % des cours d'eau ont un potentiel de connectivité nappe-rivière élevée, que près de la moitié (58 %) ont un potentiel de connectivité moyen et 13 % ont un potentiel de connectivité faible.

### Tableau 6 : Statistiques du potentiel de connectivité nappe-rivière

Potentiel	Longueur totale de tronçon (km)	Proportion (%)
Faible	1805	13
Moyen	8782	58
Élevé	4349	29



**Carte 27 : Potentiel d'échange nappe-rivière pour le réseau hydrologique du GRHQ**



## Bilan hydrique

Le bilan hydrique est une évaluation des quantités d'eau qui contribuent aux différents flux du cycle de l'eau :

Les **précipitations**, sous forme de pluie ou de neige, sont la source d'apport en eau dans le système. Elles dépendent principalement des conditions climatiques.

L'**évapotranspiration** correspond à l'eau qui est transpirée par les plantes et évaporée au niveau du sol. Elle dépend du type de végétation, des propriétés physiques du sol, de la température, du taux d'humidité dans l'air et de l'insolation solaire.

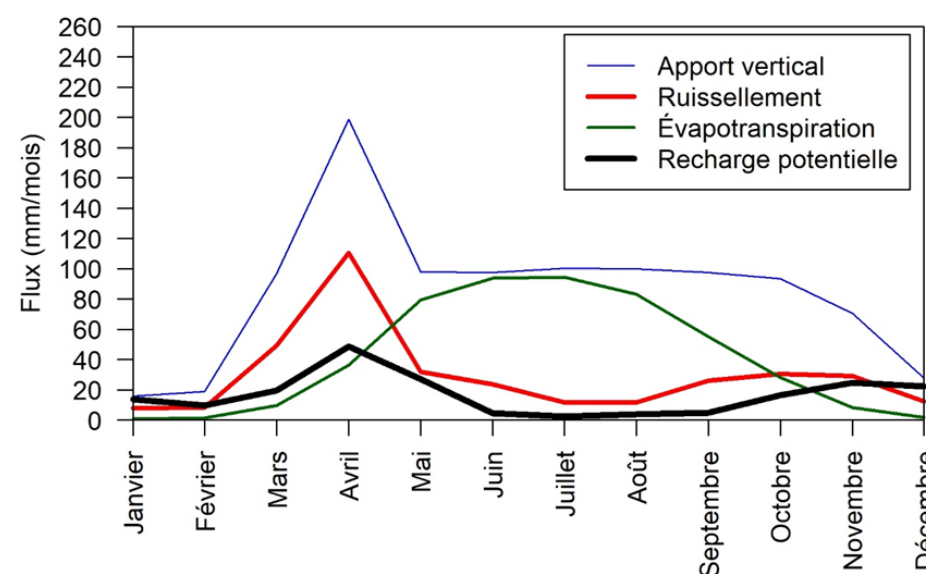
Le **ruissellement** peut être divisé en deux :

- Le ruissellement de surface survient lors d'un événement de précipitation durant lequel la capacité d'infiltration du sol est atteinte de sorte que l'eau ne peut plus y pénétrer et s'écoule en surface. Il dépend, entre autres, du climat, de la pente, du type, des propriétés physiques et de l'utilisation du sol;
- Le ruissellement hypodermique s'effectue sous la surface et est constitué de l'eau qui s'infiltre dans le sol et qui circule horizontalement dans les couches supérieures jusqu'à ce qu'elle fasse résurgence à la surface, à la faveur de changements de pente ou de géologie.

La **recharge potentielle** correspond à l'eau qui s'infiltre dans le sol, mais seulement une fraction de cette eau infiltrée atteindra l'aquifère.

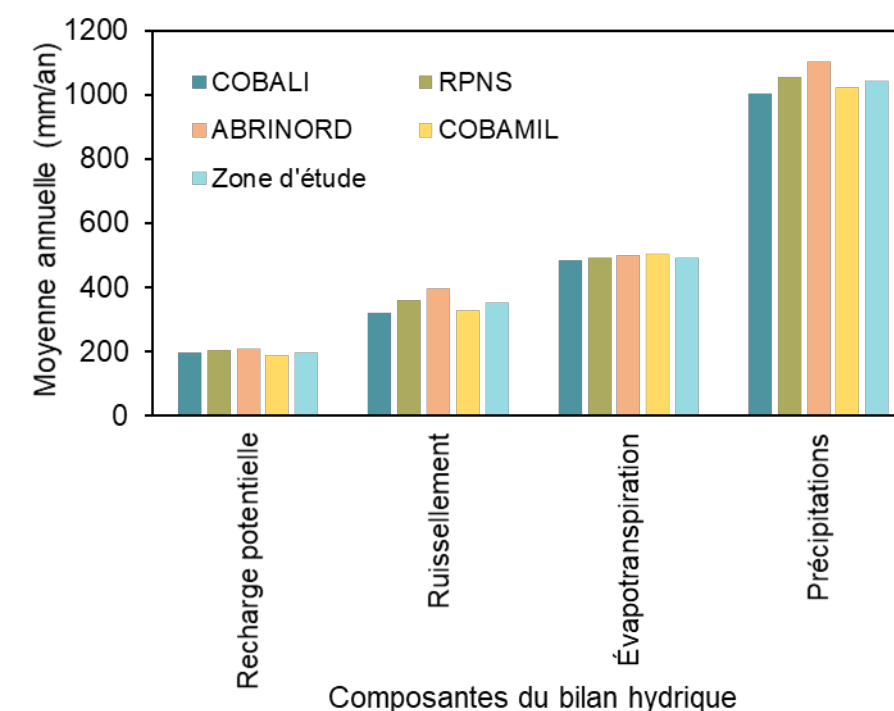
### Interprétation pour la zone d'étude

Pour l'ensemble de la zone du PACES-LAULM, et pour la période 1961 à 2017, les apports verticaux mensuels moyens varient de 18 mm/mois en janvier à 200 mm/mois en avril (**Figure 11**). Les apports verticaux sont importants en avril en raison de la fonte printanière (peu de précipitations liquides entre décembre et mars). Les précipitations neigeuses s'accumulent durant l'hiver et beaucoup devient disponible au moment de la fonte printanière. Les sols parfois gelés et souvent saturés peuvent alors limiter l'infiltration et contribuent au ruissellement. C'est à cette période (avril et mai) que le ruissellement (110 mm/mois) et la recharge potentielle (40 mm/mois) sont les plus importants. Durant les mois d'été (juin à septembre), l'augmentation de l'évapotranspiration jusqu'à 100 mm/mois fait en sorte que la recharge potentielle diminue, même si les apports verticaux sont relativement stables. À l'automne, une seconde augmentation de la recharge potentielle est observée à la suite de la diminution de l'évapotranspiration. La répartition temporelle des composantes du bilan hydrique est très similaire pour les quatre zones de gestion intégrée de l'eau (ZGIE). La ZGIE COBAMIL se distingue légèrement des autres avec des apports verticaux un peu plus importants en mars et une recharge moyenne interannuelle légèrement plus faible et moins variable d'une année à l'autre.



**Figure 11 : Moyenne mensuelle des composantes du bilan hydrique pour la période de 1961 à 2017 pour toute la zone du PACES-LAULM**

Pour l'ensemble de la zone d'étude entre 1961 et 2017, la recharge représente 19 % des apports verticaux, le ruissellement représente 34 % des apports verticaux et l'ETP représente 47 % des apports verticaux (**Figure 12**). Les moyennes annuelles 1961-2017 ne montrent pas de différences très marquées entre les ZGIE. Une augmentation de l'évapotranspiration est toutefois visible du nord vers le sud, i.e. de la ZGIE COBALI vers celle du COBAMIL. Elle est sans doute engendrée par des températures moyennes plus élevées. Cette augmentation de l'évapotranspiration est sans doute en partie responsable, avec la plus grande couverture d'argile en surface, de la plus faible recharge dans la ZGIE COBAMIL. Le ruissellement est aussi plus élevé pour les zones RPNS et ABRINORD. Le relief de ces zones est beaucoup plus accidenté que celui des deux autres ZGIEs, ce qui contribue à augmenter le ruissellement.



**Figure 12 : Moyennes annuelles des composantes du bilan hydrique pour chacun des ZGIE (portion incluse dans la zone PACES-LAULM) et pour l'ensemble de la zone d'étude pour la période 1961-2017**



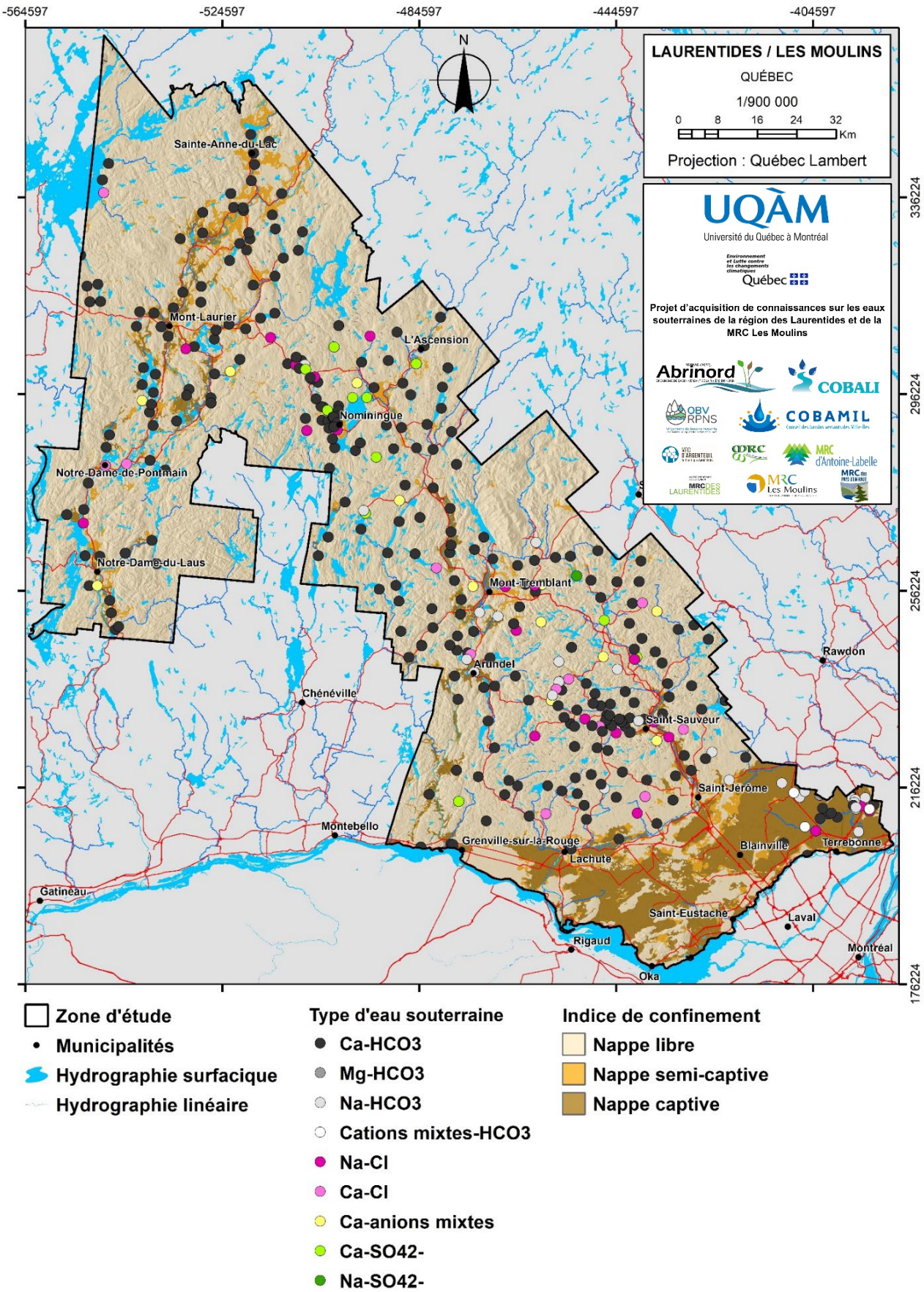
## Géochimie de l'eau souterraine

Depuis les précipitations, jusqu'à ce qu'elle atteigne l'aquifère et tout au long de l'écoulement dans ce dernier, l'eau est soumise à des processus successifs qui modifient sa composition chimique. Les processus hydrogéochimiques sont généralement contrôlés ou influencés par différents facteurs tels que la dissolution de certains minéraux présents dans les roches et dans les sols, l'infiltration et l'écoulement de l'eau dans la matrice aquifère, les interactions entre les minéraux dissous, et la salinisation lorsque l'eau souterraine est en contact prolongé avec des argiles d'origine marines. Selon les processus auxquels elle est soumise, l'eau souterraine acquiert ainsi une signature particulière en fonction du milieu où elle se trouve et de ceux qu'elle rencontre lors de son parcours.

Les types d'eau sont définis en fonction des concentrations en ions majeurs ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ ) selon leur prédominance à représenter plus de 50 % de la charge de la solution. Les concentrations pour les anions  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{CO}_3^{2-}$  ont été calculées à partir de la mesure de l'alcalinité totale et du pH.

### Interprétation pour la zone d'étude

L'analyse des données géochimiques montre un type d'eau dominant de composition  $\text{Ca-HCO}_3$  dans 75 % (275 puits) des puits échantillonnés. Ce faciès est associé à des eaux peu minéralisées issues des précipitations récemment infiltrées et est rencontré dans des conditions de nappe libre dans 82 % des cas (227 puits). Au total, 17 % des puits échantillonnés ayant le type d'eau  $\text{Ca-HCO}_3$  (48 puits) sont en condition de nappe captive ou semi-captive, ce qui indique que les conditions hydrogéologiques limitant la recharge sont généralement de faible étendue. Les eaux de recharge des zones en nappe libre s'infiltrent et circulent vers les zones captives influençant la géochimie de ces aquifères. Les faciès de type  $\text{Na-HCO}_3$  et  $\text{Na-Cl}$  (respectivement 8 %, 28 puits, et 6 %, 22 puits) représentent des eaux plus minéralisées ayant séjourné plus longtemps dans l'aquifère depuis la recharge. Ces types d'eau souterraine sont rencontrés dans différents contextes hydrogéologiques, à la fois en nappe libre et en nappe captive. La majorité des nappes captives les plus évoluées se situent dans la MRC Les Moulins où les types d'eau  $\text{Na-HCO}_3$ , Cation mixte- $\text{HCO}_3$  et  $\text{Na-Cl}$  peuvent refléter une influence de dépôts salins hérités de la mer de Champlain ou un faible taux de recharge (**Carte 27**). Le type d'eau  $\text{Ca-SO}_4^{2-}$  se trouve principalement dans des nappes libres dans le secteur de Nominigüe. Cette composition provient probablement de l'influence des sulfates des lithologies locales riche en sulfure. Le type d'eau Ca-anions mixtes est souvent caractérisé par une concentration en chlorures à plus de 20 %. L'absence de bromures dans ces eaux traduit une influence anthropique sur la provenance des chlorures (Pithon, 2021).



Carte 27 : Type d'eau et indice de confinement

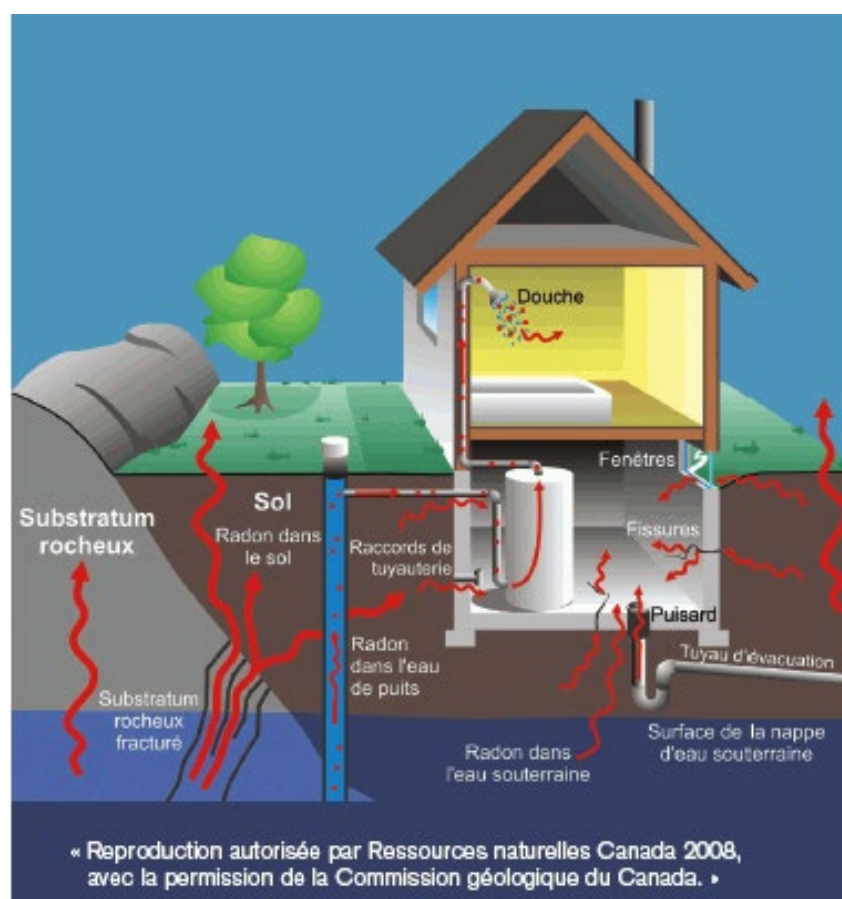


## Radon ( $^{222}\text{Rn}$ )

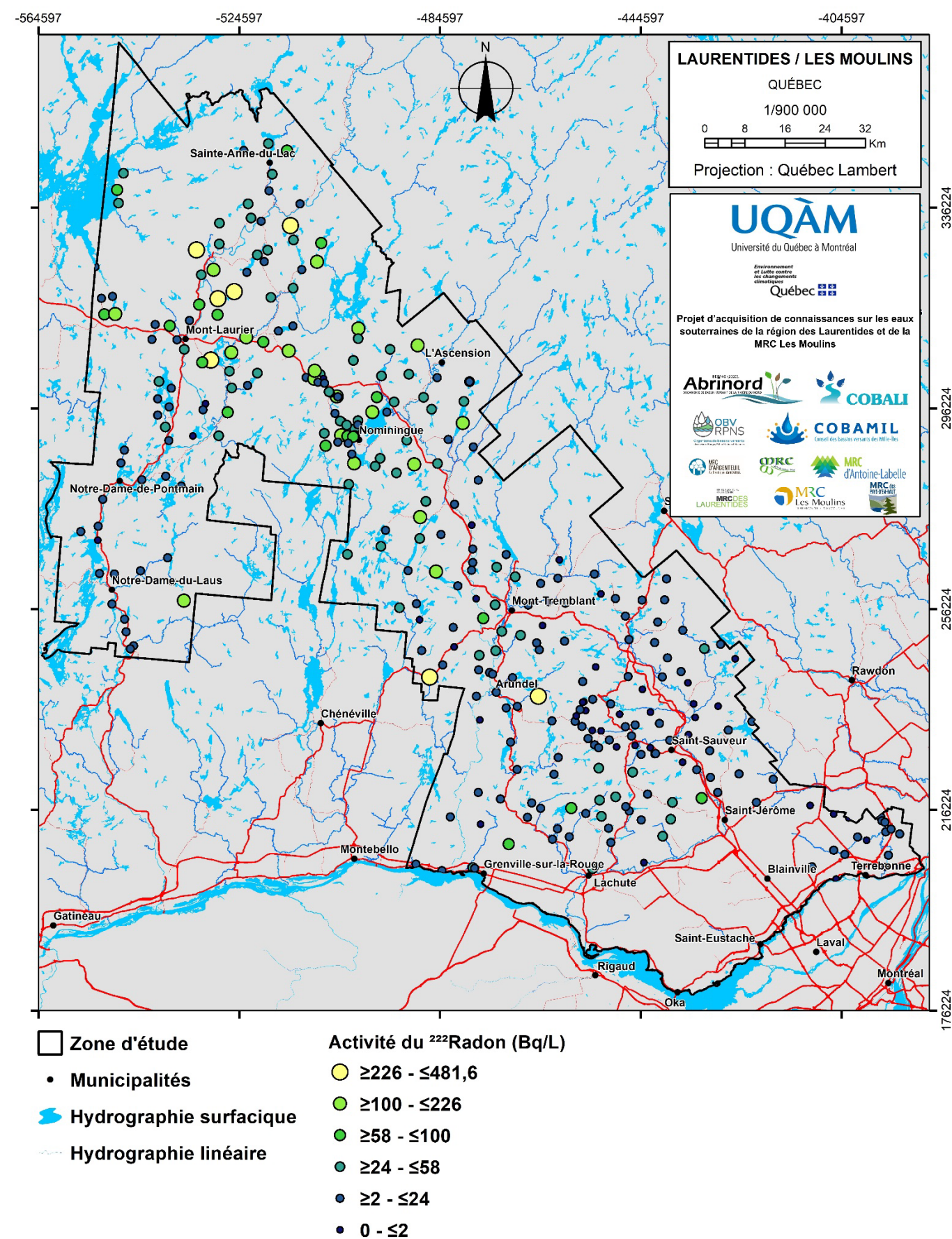
Le  $^{222}\text{Rn}$  est un gaz inerte soluble dans l'eau issu de la désintégration radioactive du  $^{226}\text{Ra}$  faisant partie de la chaîne de désintégration du  $^{238}\text{U}$ . L'uranium étant naturellement présent dans la plupart des types de roches, le  $^{222}\text{Rn}$  est un gaz ubiquiste dans l'eau souterraine. Toutefois, dès que l'eau souterraine atteint la surface, dans un lac, un cours d'eau ou un milieu humide, le  $^{222}\text{Rn}$  se volatilise rapidement dans l'atmosphère. Sa présence dans l'eau des réservoirs superficiels est donc une indication d'un apport d'eau souterraine très récent.

Parmi les 392 puits échantillonnés, 358 ont été analysés pour le  $^{222}\text{Rn}$ , 69 % se trouvent dans un aquifère de roc fracturé et 29 % dans un aquifère granulaire (**Carte 28**). Les secteurs de la région où les activités en  $^{222}\text{Rn}$  les plus élevées ont été mesurées sont celles riches en uranium dans le granite et l'anorthosite de la suite de AMCG de Morin. Dans la MRC Les Moulins, les activités  $^{222}\text{Rn}$  sont faibles avec une moyenne de 4 Bq/L.

Bien qu'il n'existe pas de norme au Québec pour l'activité du  $^{222}\text{Rn}$  dans l'eau potable, le  $^{222}\text{Rn}$  dans l'air des maisons est une préoccupation dans plusieurs régions (**Figure 13** ; Santé Canada, 2019). Le  $^{222}\text{Rn}$  n'est pas problématique lors de sa consommation, mais il peut s'avérer cancérigène si son inhalation dure longtemps (Darby, 2005 ; Chen, 2019). La présence de  $^{222}\text{Rn}$  dans l'eau souterraine est un bon indicateur des régions où le  $^{222}\text{Rn}$  dans l'air des maisons peut dépasser les normes (Drolet et al., 2013).



**Figure 13 : Migration du radon dans l'eau et dans l'air (Santé Canada, 2020)**



### Carte 29 : Activité en $^{222}\text{Rn}$ dans l'eau souterraine



# 5 RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE

## Usage de la ressource

Les usages de l’eau habituellement répertoriés incluent les usages résidentiels, les usages industriels, commerciaux et institutionnels (ICI), et les usages agricoles (cultures et élevages). Au Québec, les municipalités ayant un système d’aqueduc s’approvisionnent dans les rivières ou dans les aquifères. En dehors des centres urbains, l’approvisionnement en eau se fait habituellement à partir de puits privés.

Dans la région d’étude, 49 municipalités (58 %) s’approvisionnement en eau souterraine, 21 municipalités (17 %) utilisent de l’eau de surface provenant de lacs ou de cours d’eau et trois utilisent à la fois l’eau souterraine et l’eau de surface. Les autres municipalités (25 %) ne possèdent pas de système d’approvisionnement et de distribution d’eau, ce sont souvent les moins peuplées. Certaines de ces municipalités importent parfois l’eau d’une municipalité voisine (p.ex. : Estérel) ou les habitants s’approvisionnent à partir de puits résidentiels. La répartition des approvisionnements souterrains ou de surface est répartie sur la zone d’étude (**Carte 29**). Ce sont surtout les municipalités avec le plus de population (p.ex. : Terrebonne, Mascouche, Mont-Laurier, Saint-Jérôme) qui ont recours à un approvisionnement en eau de surface. Sur la zone d’étude (sans la zone AFSOQ), environ 62 Mm<sup>3</sup> sont consommés par année (**Tableau 7**). Ce sont les MRC Les Moulins, des Laurentides et de la Rivière-du-Nord qui ont les consommations totales les plus importantes, avec respectivement 27, 24 et 23 % de la consommation totale d’eau sur la zone d’étude. Les trois autres MRC présentent des consommations moindres en raison d’un nombre de résidents plus faible et une activité industrielle moins importante. Ainsi, les MRC des Pays-d’en-Haut, d’Argenteuil, d’Antoine-Labelle consomment respectivement 12, 7 et 7 % de toute l’eau utilisée sur le territoire. L’eau consommée est majoritairement utilisée à des fins résidentielles, avec 37 Mm<sup>3</sup>/an, soit 60 % de l’utilisation régionale. La catégorie des usages industriels, commerciaux et institutionnels (ICI) et pertes représente 32 % de la consommation et 8 % des volumes pompés sont dédiés à un usage agricole.

Les données compilées à partir du registre des grands préleveurs d’eau (GPE ; soumis à la réglementation sur le prélèvement d’eau si le débit pompé > 75 m<sup>3</sup>/j) indiquent que sur la zone d’étude (sans la zone AFSOQ), la grande majorité de l’eau prélevée provient des eaux de surface (**Figure 15** et **Carte 30**). Cependant, cette eau est principalement prélevée par les grandes villes de la partie sud de la zone d’étude. Les prélèvements en eau de surface sont relativement stables depuis 2015 avec une moyenne de 55 Mm<sup>3</sup>/an. Pour l’eau souterraine, les données indiquent une hausse de ~30 % des prélèvements pour la période 2018-2019 comparativement à la période 2015-2017. La moyenne des prélèvements annuels d’eau souterraine est de 7,8 Mm<sup>3</sup>/an. Répartie sur toute la zone d’étude, le volume d’eau de surface prélevé équivaut à une lame d’eau de 5 mm/an et le volume d’eau souterraine à une lame d’eau de 1 mm/an.

Tableau 7 : Consommation d’eau par type d’usage et par MRC

MRC	Résidentielle (m³/an)	ICI et pertes (m³/an)	Agricole (m³/an)	Total (m³/an)
d'Antoine-Labelle	2 772 129	1 003 735	285 604	4 061 468
d'Argenteuil	2 624 662	1 699 727	231 350	4 555 739
de la Rivière-du-Nord	10 685 592	3 285 168	115 922	14 086 683
des Laurentides	3 993 956	6 650 450	4 066 575	14 710 981
des Pays D'en-Haut	4 029 197	3 738 167	1 680	7 769 044
Les Moulins	13 176 529	3 758 052	73 140	17 007 721
Total (m³/an)	37 282 066	20 121 361	4 774 271	62 191 636

Zone d’étude PACES-LAULM sans la zone AFSOQ

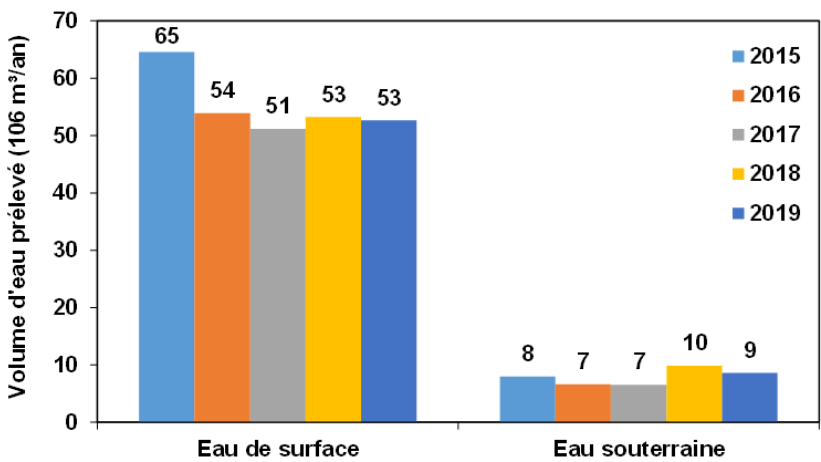
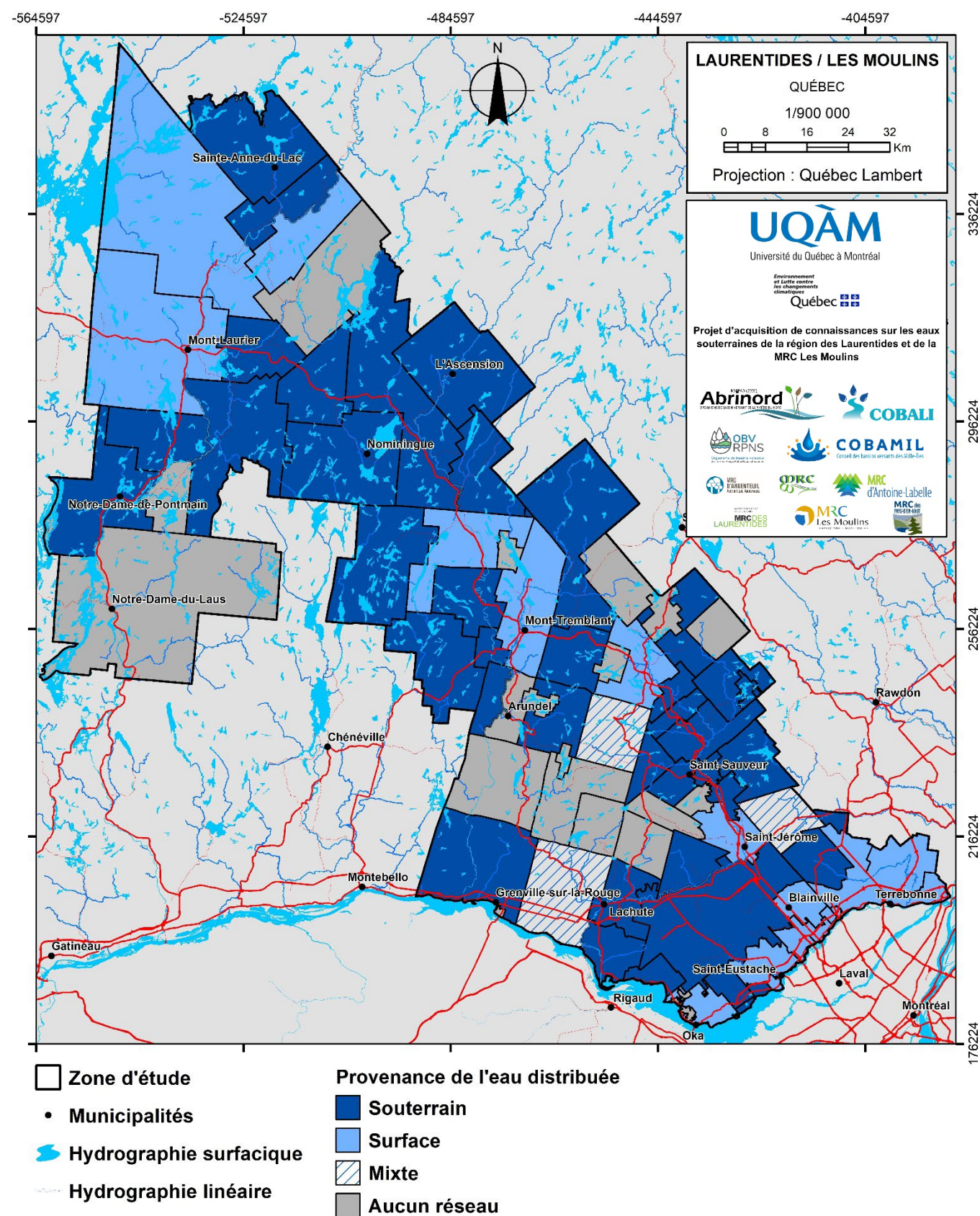
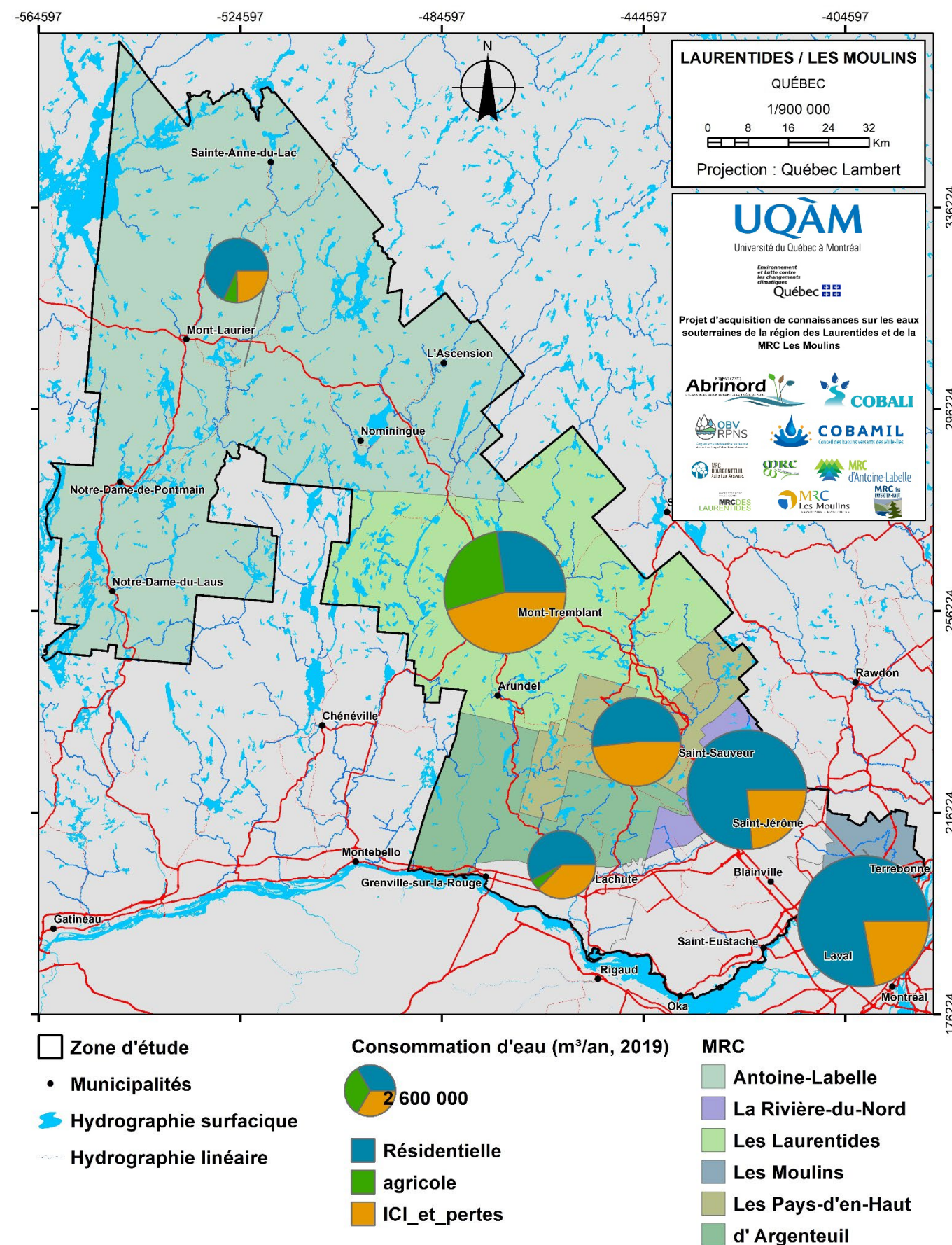


Figure 14 : Volume d’eau prélevé selon la provenance de l’eau pour la période 2015-2019. Les données proviennent du registre des grands préleveurs (> 75 m<sup>3</sup>/j) (MELCC, 2019e; données confidentielles)





Carte 30 : Provenance de l'eau distribuée dans les réseaux d'aqueduc municipaux



Carte 31 : Consommation de l'eau selon les usages par MRC



## Qualité de la ressource en eau souterraine

### Norme de potabilité

Selon le règlement sur la Qualité de l'eau potable (Québec, 2019), dix dépassements de normes de potabilité ont été relevés dans 392 puits (**Tableau 8** et **Carte 31**). Un dépassement en baryum, sept dépassements en fluor et deux dépassements en uranium ont été répertoriés. À ceux-ci s'ajoutent 40 dépassements en manganèse selon les recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada (Santé Canada, 2019). Les dépassements en baryum, fluor et uranium proviennent de puits pompant dans un aquifère au roc fracturé. Les dépassements en manganèse proviennent également des aquifères de roc fracturé et de dépôts meubles. Les dépassements en uranium se trouvent dans le secteur de Mont-Laurier et Ferme-Neuve connu pour la présence de lithologies riches en uranium (Lacoste, 2000). Les dépassements en fluor et baryum sont en majorité présents dans la MRC Les Moulins, expliqués par la présence de lithologies sédimentaires et la présence de nappe captive.

Les paramètres bactériologiques ont été analysés dans tous les puits domestiques. Les résultats pointent des conditions très locales découlant de l'état et de l'entretien du puits, et de la présence de contaminations ponctuelles ou diffuses à proximité de ce dernier. Selon les normes du règlement sur la Qualité de l'eau potable (Québec, 2019), 105 puits ont au moins un dépassement de la norme de potabilité, soit 29 % des puits échantillonnés (**Tableau 9** et **Carte 32**). Selon le règlement sur la qualité de l'eau potable, une eau est considérée potable seulement si elle ne contient aucune bactérie d'origine fécale (*E. coli* ou entérocoques). Dans le cas contraire, l'eau est considérée non potable et un avis d'ébullition est émis au propriétaire du puits, et celui-ci est dans l'obligation de le désinfecter. Si l'eau contient plus de 10 coliformes totaux et/ou plus de 200 bactéries atypiques, l'eau est considérée non conforme. La majorité des dépassements de normes de portabilité ont été observés dans des puits de surface en nappe libre. Ces derniers sont plus vulnérables aux sources de contamination potentielles des alentours et aux variations hydrologiques au printemps et à l'automne.

**Tableau 8 : Sommaire des dépassements de normes de qualité de l'eau potable**

Paramètres*	Statistiques (mg/L)					Critères de potabilité (mg/L)	Fréquence
	Nombre	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type		
Arsenic (As)	392	0	0,002	0,000004	0	0,01	0 (0 %)
Bore (B)	392	0	1,900	0,045	0,172	5	0 (0 %)
Baryum (Ba)	392	0	3,000	0,045	0,164	1	1 (1%)
Cadmium (Cd)	392	0	0,002	0,00001	0	0,005	0 (0 %)
Chrome (Cr)	392	0	0,002	0,0001	0	0,05	0 (0 %)
Fluor (F)	392	0	4,100	0,210	0,394	1,5	7 (2%)
Manganèse (Mn)**	392	0	2,000	0,050	0,158	0,12	40 (10 %)
Nitrite/Nitrate (NO <sub>2</sub> -NO <sub>3</sub> , mg N/L)	392	0	5,200	0,481	0,765	10	0 (0 %)
Plomb (Pb)	392	0	0,003	0,0003	0	0,01	0 (0 %)
Antimoine (Sb)	392	0	0,000	0,000	0	0,006	0 (0 %)
Sélénium (Se)	392	0	0,000	0	0	0,01	0 (0 %)
Uranium (U)	392	0	0,033	0,001	0,003	0,02	2 (1 %)

\*Règlement sur la qualité de l'eau potable (Québec, 2019)

**Tableau 9 : Sommaire des dépassements de type bactériologique**

Paramètres	Nb	Critère de potabilité	Nb dépassements	Proportion (%)
Bactéries atypiques	361	< 200	58	16 %
Coliformes totaux	361	< 10	100	28 %
E. coli	361	> 0	25	7 %
Entérocoques fécaux	361	< 0	38	11 %
Puits avec au moins un dépassement			105	29 %

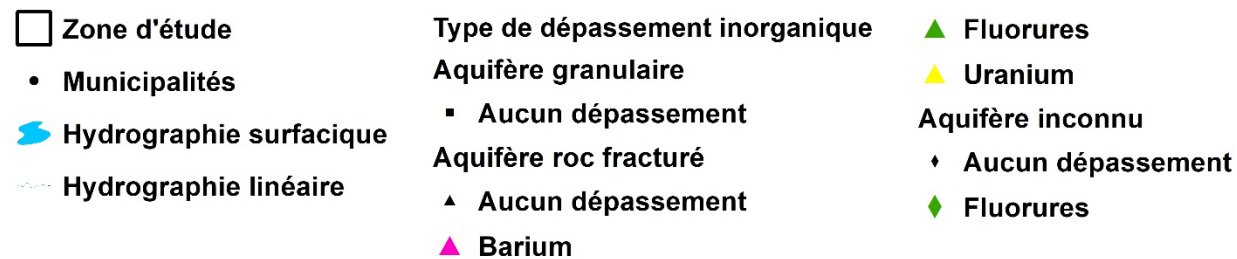
### Objectifs esthétiques

Les objectifs esthétiques ne font pas l'objet de normes de potabilité (Santé Canada, 2019) puisqu'ils n'ont pas d'incidence sur la santé. Ils sont des recommandations afin d'éviter des inconvénients lors de l'utilisation de l'eau comme l'odeur, le goût, des tâches ou des obstructions du système de tuyauteries.

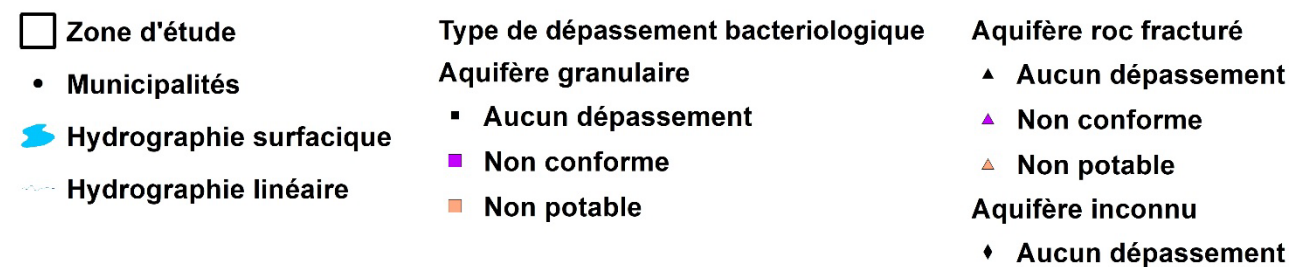
Les dépassements d'objectifs esthétiques présents dans la région d'études sont en pH (181), manganèse (103), dureté (28), fer (30), MTD (40), sulfures (16), aluminium (9), sodium (8), chlorures (5) et température (3) (**Tableau 10**).

Les recommandations pour un pH entre 7 et 10,5 sont importantes afin de contrôler la corrosion et diminuer le relargage des éléments composant la plomberie. Le manganèse est un élément issu de la dissolution des minéraux que l'on retrouve dans les sols et roches, il devient problématique lorsque la concentration est telle qu'elle engendre de la précipitation et des dépôts qui peuvent colmater les tuyaux. La dureté est contrôlée par les concentrations en calcium et magnésium, notamment dans les sédiments ou les roches sédimentaires d'origine chimique ou biochimique. Ce type de roche est très peu présent dans le secteur du Bouclier canadien, mais caractéristique dans le secteur de la MRC Les Moulins placé sur la plateforme sédimentaire des Basses-Terres du Saint-Laurent. Les dépassements en chlorures (Cl<sup>-</sup>), sodium (Na) et sulfures (S<sup>2-</sup>) sont d'ailleurs également retrouvés dans ce secteur dû aux roches carbonatées et la présence de sédiments de la mer de Champlain (Globensky, 1987).





**Carte 32 : Critère de potabilité inorganique (Québec, 2019)**



**Carte 33 : Critère de potabilité bactériologique (Québec, 2019)**



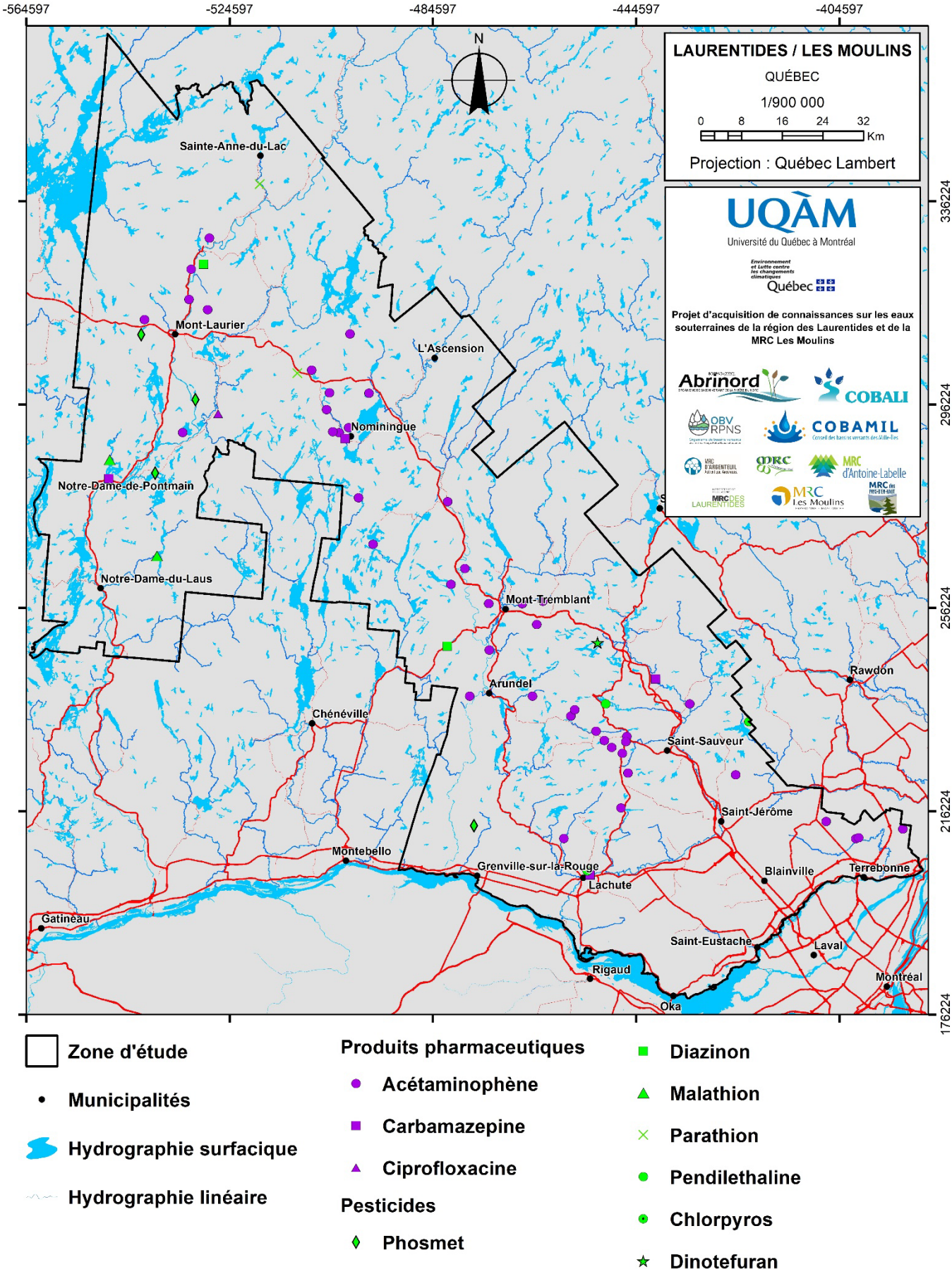
Tableau 10 : Sommaire des dépassements objectifs esthétiques

Paramètres	Statistiques (mg/L)					Critères de potabilité (mg/L)	Fréquence
	Nombre	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type		
Aluminium (Al) (mg/L)	392	0	0,34	0,01	0,03	0,10	9 (2 %)
Chlorures (Cl <sup>-</sup> ) (mg/L)	392	0,12	1900	27,07	110,77	250	5 (1 %)
Fer (Fe) (mg/L)	392	0	8,80	0,18	0,84	0,30	30 (7 %)
Manganèse (Mn) (mg/L)	392	0	2,00	0,05	0,16	0,02	103 (26 %)
Sodium (Na) (mg/L)	392	0,64	1200	24,11	84,66	200	8 (2 %)
pH	392	4,90	10,13	7,15	0,99	7-10,5	181 (46 %)
Sulfure (S <sup>2-</sup> ) (mg/L)	392	0	1,20	0,02	0,10	0,05	16 (4 %)
Sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) (mg/L)	392	0	180	16,26	20,31	500	0 (0 %)
Température (°C)	392	1,13	17,43	9,33	1,79	15	3 (1 %)
Dureté (mg/L)	392	21	826	175,66	128,10	200	28 (7 %)
TDS (mg/L)	392	0	469,51	89,12	68,38	500	40 (1 %)

Pesticides et produits pharmaceutiques (PPP)

Des pesticides ou des produits pharmaceutiques ont été retrouvés dans 63 puits sur les 386 puits échantillonnés. L’herbicide pendilethaline et les insecticides phosmet, diazinon, malathion, parathion, chlorpyros et dinotéfuran sont les sept pesticides analysés pour cette étude et comptabilisent 14 détections à l’échelle de traces (ng/L) (**Carte 33**). Aucun dépassement de norme de potabilité n’a été observé. Il est important de souligner que seulement 16 pesticides sont normés au Québec.

Trois produits pharmaceutiques sont retrouvés dans l’eau souterraine, l’acétaminophène, le ciprofloxacine et la carbamazépine, pour un total de 49 détections. Les traces d’acétaminophène sont retrouvées à l’échelle régionale dans des puits résidentiels. Les traces de ciprofloxacine et de carbamazépine sont présentes dans cinq puits d’approvisionnement municipaux. Les produits pharmaceutiques ont différentes sources possibles, mais la plus probable pour la région est une fuite diffuse de fosses septiques, la présence de champs d’épuration résidentiels ou les rejets de stations d’épuration (Husk et al., 2019).



Carte 34 : Localisation des pesticides et produits pharmaceutiques détectés dans l’eau souterraine



## Vulnérabilité des aquifères

La meilleure approche pour protéger un aquifère à l'échelle régionale est d'utiliser des outils de prévention de la contamination. Les méthodes d'estimation de la vulnérabilité des nappes permettent de répondre à ce besoin. Suivant les variations de la topographie, de l'occupation du sol et de la géologie, certaines portions de l'aquifère sont naturellement mieux protégées que d'autres et sont ainsi moins vulnérables à une éventuelle contamination causée par les activités de surface. Il existe de nombreuses méthodes pour évaluer la vulnérabilité des aquifères. La méthode la plus utilisée, et celle préconisée par le MELCC est la méthode DRASTIC (Aller et al., 1987) qui permet de cartographier la vulnérabilité de l'eau souterraine à un contaminant provenant de la surface et circulant verticalement vers la zone saturée. La méthode DRASTIC évalue la vulnérabilité d'un aquifère à la contamination à partir de sept paramètres : la profondeur de la nappe d'eau (D), la recharge (R), la nature de l'aquifère (A), la texture du sol en surface (S), la topographie (T), la nature de la zone vadose (I), et la conductivité hydraulique de l'aquifère (C). Chaque paramètre est cartographié individuellement, puis les résultats sont combinés pour obtenir la carte des indices de vulnérabilité DRASTIC. Les indices obtenus selon cette méthode peuvent varier de 23 à 226. Plus l'indice est élevé, plus l'aquifère est vulnérable. Dans ce présent projet, l'indice DRASTIC est calculé pour le premier aquifère rencontré. Les classes sont basées sur le RPEP (2020), i.e. qu'un indice faible est < 100, un indice moyen est entre 100 et 180 et un indice élevé est > 180.

### Interprétation pour la zone d'étude

Sur la zone d'étude, 78 % du territoire présente une vulnérabilité DRASTIC moyenne (entre 100 et 180), 16 % présente une vulnérabilité DRASTIC faible (< 100) et 6 % présente une vulnérabilité DRASTIC élevée (> 180) (**Figure 15**). La forte proportion du territoire ayant une vulnérabilité moyenne provient du fait que les paramètres DRASTIC sont relativement homogènes sur la zone d'étude. Les contrastes importants dans les conditions hydrogéologiques et dans la répartition spatiale de l'indice DRASTIC (**Carte 34**) se trouvent dans les secteurs de dépôts granulaires perméables des grandes vallées (profondeur de la nappe faible, recharge importante, aquifère perméable, sol bien drainé, pente faible, zone non saturée peu épaisse et conductivité hydraulique élevée) et dans les zones argileuses des Basses-Terres du Saint-Laurent (nappe profonde, aquifère captif, recharge faible, aquifère peu perméable, sol mal drainé, conductivité hydraulique moyenne à faible).

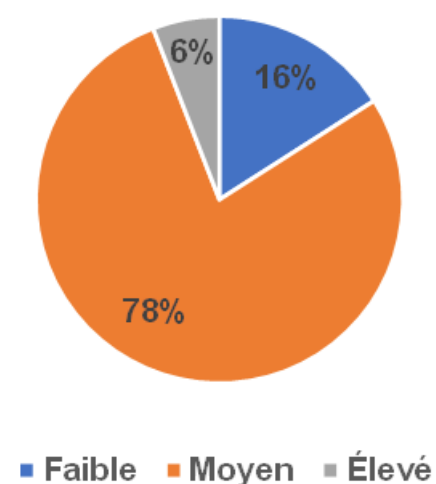
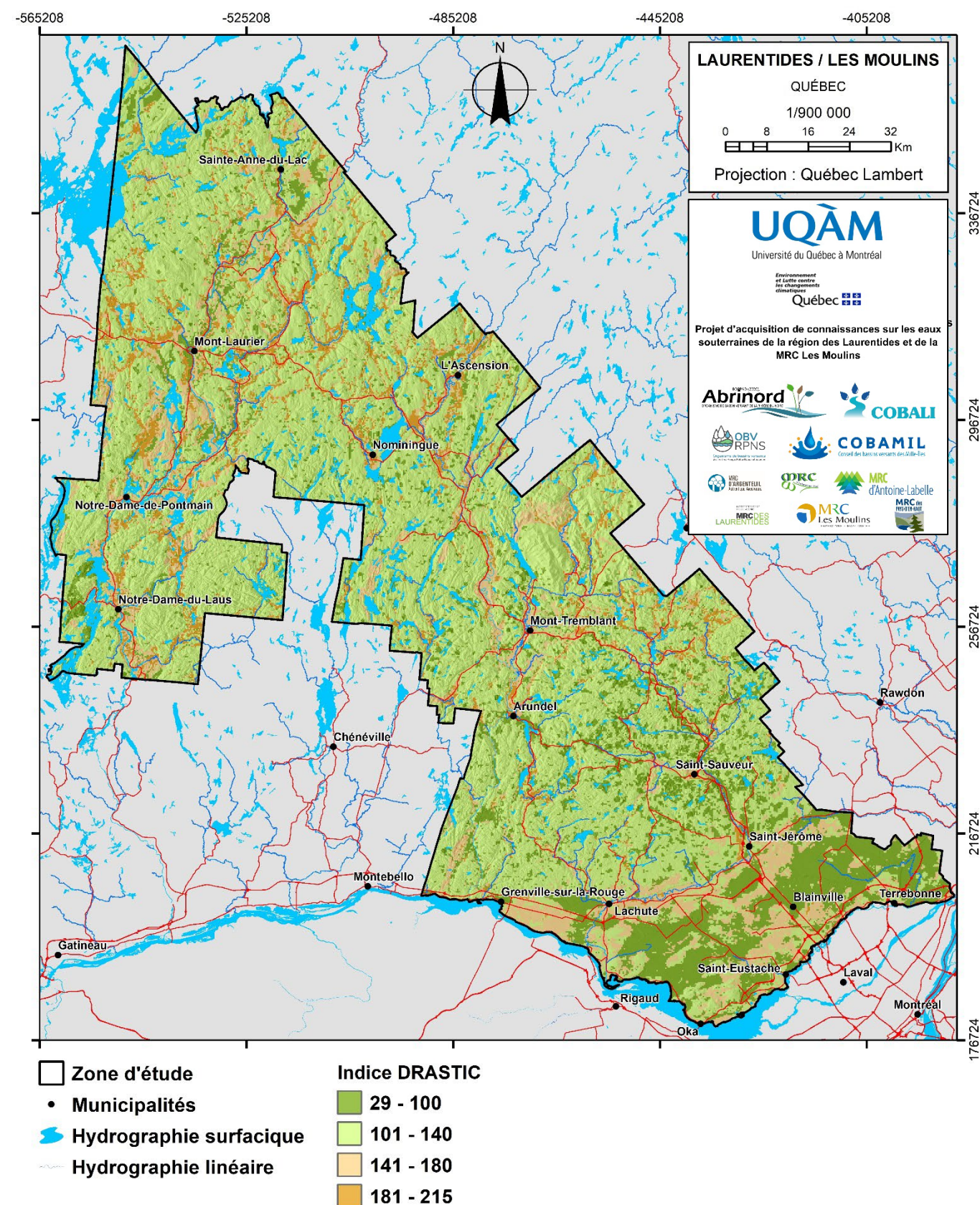


Figure 15 : Répartition des indices de vulnérabilité DRASTIC



Carte 35 : Indice de vulnérabilité DRASTIC du premier aquifère rencontré



## Densité du risque anthropique

Les sources de contamination peuvent être diffuses, i.e. des faibles quantités de polluants atteignant l'aquifère sur de grandes surfaces (p.ex. épandages agricoles ou sels de route), ou ponctuelles, i.e. des quantités plus importantes de polluants atteignant l'aquifère sur des surfaces limitées (p.ex. : stations-service, usines, sites d'enfouissement). Afin de cartographier les activités anthropiques ont été classées selon le risque qu'elles représentent pour l'eau souterraine à l'aide des données des Codes d'utilisation des biens-fonds (CUBF).

Les valeurs maximales et minimales de la densité du risque anthropique pour les activités rencontrées sur la zone d'étude varient de 48 (p.ex. : raffinage et transformation de produits pétroliers, sites d'enfouissement) à 7 (p.ex. : commerce de détail, production et distribution d'électricité et de gaz). La densité du risque anthropique (DRA) est calculée en faisant la somme des risques de chacune des activités anthropiques par km<sup>2</sup>, donc plus la valeur est élevée, plus il y a d'activités ayant un potentiel d'impact anthropique sur l'eau souterraine élevé.

### Interprétation pour la zone d'étude

Les valeurs de DRA pour chaque km<sup>2</sup> varient de 0 (faible) à 101 (élevé) (**Carte 35**). Le 75<sup>e</sup> percentile de toutes les valeurs de DRA estimées pour la zone d'étude est 4,3. Cette valeur a été utilisée, de manière arbitraire, pour cartographier les secteurs de densités faibles et élevées. Les zones ayant les DRA élevées sont principalement situées dans le secteur de la rivière du nord où la densité de la population est élevée, le secteur de la municipalité de Mont-Tremblant, ainsi que quelques noyaux urbanisés de la MRC Antoine-Labelle. Il est intéressant de constater que les points où des sites contaminés sont répertoriés (MELCC, 2019d) se trouvent dans les zones de DRA élevées. Ces zones sont donc à surveiller pour la contamination potentielle de l'eau souterraine. Dans la zone à de DRA élevée, l'indice DRASTIC moyen est 117 (écart-type de 37), i.e. un indice représentant une vulnérabilité moyenne. Près de 70 % de la zone a un indice DRASTIC inférieur à 140 ce qui indique qu'en moyenne, les zones à fort risque anthropique ont une vulnérabilité faible (près de 100) à moyen (< 140) (**Figure 16**). Il est important de considérer qu'une activité ponctuelle n'entraînera habituellement pas une contamination à l'échelle régionale. Cependant, la présence de plusieurs activités anthropiques présentant un risque pour l'eau souterraine pourrait entraîner, à long terme, avoir un impact sur un grand volume d'aquifère.

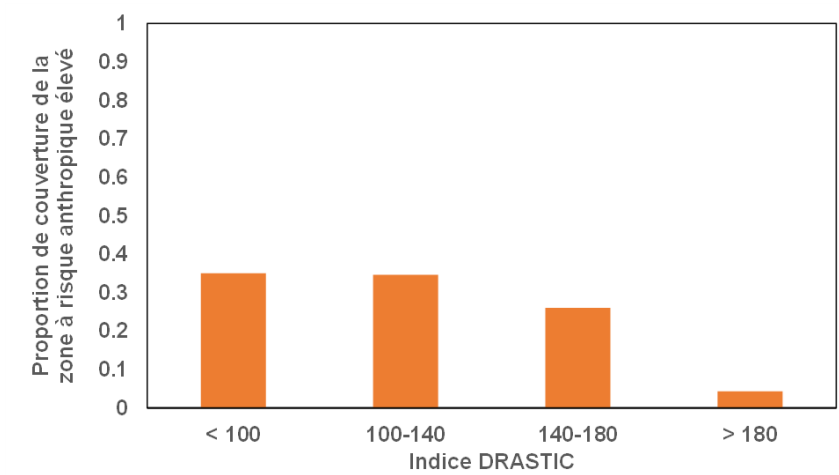
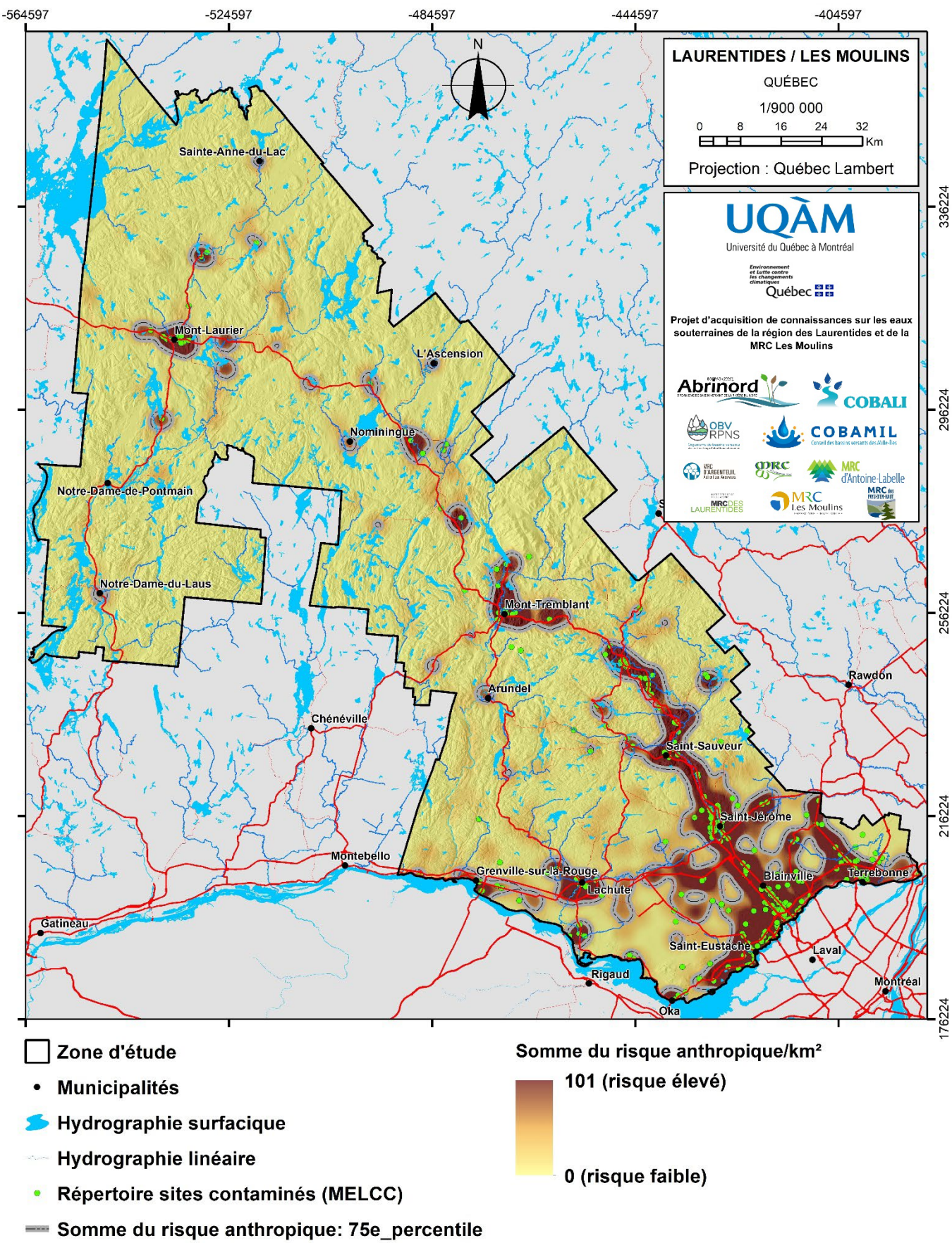


Figure 16 : Proportion de superficie selon l'indice DRASTIC pour les zones où la densité des activités anthropiques est élevée



Carte 36 : Densité du risque anthropique et localisation des sites contaminés (MELCC, 2019d)



## Contextes hydrogéologiques régionaux

Le portrait hydrogéologique de la zone d'étude du PACES LAULM peut être établi à la lumière des données stratigraphiques, géochimiques et hydrogéologiques. Afin d'établir le plus possible un lien avec les quatre grands bassins versants principaux (rivières du Lièvre, Rouge, du Nord et Mascouche), le portrait hydrogéologique est tracé pour chaque zone de gestion intégrée de l'eau (ZGIE), celle du COBALI, celle du RPNS, celle d'ABRINORD et celle du COBAMIL.

### Hydrostratigraphie et confinement

Les ZGIE du COBALI, du RPNS et ABRINORD, situées en grande partie dans la Province géologique du Grenville, sont dominées par les contextes de till, d'affleurement rocheux et de dépôts meubles reposant directement sur le roc (89, 95 et 84 % respectivement) (**Figure 17**). Ces trois ZGIE ont des proportions relativement faibles de dépôts perméables captifs sous argile, mais sans dépôts perméables affleurants (argile/till-roc et argile/sable-gravier/till-roc), mais celle de COBALI présente les valeurs les plus importantes (4 %). Parmi ces trois ZGIE, celle d'ABRINORD a une proportion plus importante (7 %) d'aquifères de dépôts meubles affleurants (sable/argile/till-roc et sable-gravier/argile/sable et gravier/till-roc) (total 9 %). La ZGIE COBAMIL, située dans les Basses-Terres du Saint-Laurent, est couverte par les dépôts perméables sur argile (sable/argile/till-roc; 29 %) et par les contextes hydrostratigraphiques où l'argile est en surface (21 % argile/till-roc et 16 % argile/sable-gravier/till-roc).

La prédominance de l'argile en surface a un impact direct sur le confinement de l'aquifère régional (roc fracturé) et de certaines zones de dépôts granulaires en nappe captive. Ainsi, sur la ZGIE COBAMIL, 68 % du territoire est en conditions de nappe captive et seulement 25 % sont en conditions de nappe libre (**Figure 18**). À l'inverse, les ZGIE de COBALI, RPSN et ABRINORD sont très majoritairement en conditions de nappe libre respectivement sur 87, 93 et 84 % de leur territoire.

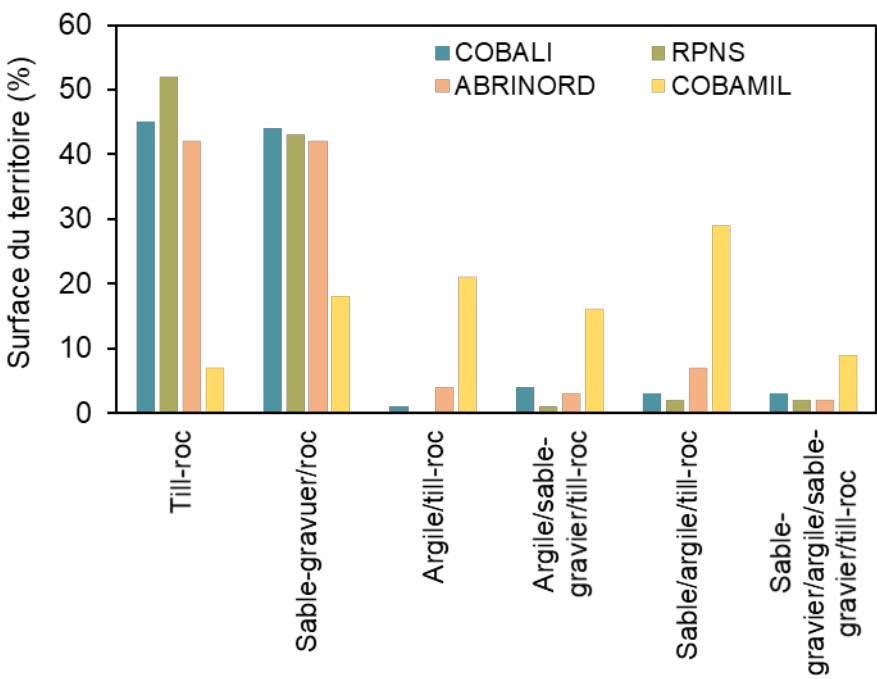


Figure 17 : Proportions (%) du territoire des ZGIE pour les différents contextes hydrostratigraphiques

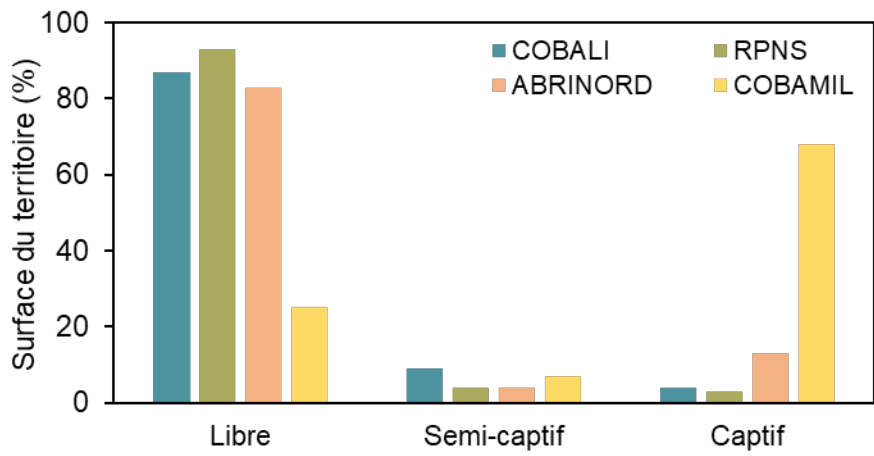


Figure 18 : Proportions (%) du territoire des ZGIE en nappe libre, semi-captive et captive

### Recharge

La recharge potentielle moyenne et médiane varie relativement peu d'une ZGIE à l'autre (**Tableau 11**). Les ZGIE COBALI, ABRINORD, et RPNS reçoivent en moyenne légèrement plus de recharge que la ZGIE COBAMIL. La présence importante de zones captives sur cette dernière a un impact direct sur la recharge qui peut atteindre l'aquifère régional puisque 68 % de ce territoire est en condition de nappe captive. La majeure partie de la recharge potentielle sur la ZGIE COBAMIL ne s'infiltre donc pas en profondeur, mais retourne plutôt rapidement dans le réseau hydrographique et les milieux humides sous forme de débit de base ou de résurgences. Pour les autres ZGIE, les secteurs d'aquifères captifs peuvent aussi limiter la recharge à certains endroits, mais ceux-ci sont généralement localisés dans les vallées et leur impact sur la recharge de l'aquifère régional est limité.

Tableau 11 : Recharge moyenne et médiane pour chacune des ZGIE pour la période 1961-2017

ZGIE	Moyenne (mm/an)	Médiane (mm/an)	% de confinement
COBALI	198	236	4
RPNS	203	236	3
ABRINORD	209	243	13
COBAMIL	187	197	68



Vulnérabilité, activité anthropique et qualité de l’eau souterraine

L’analyse de l’indice DRASTIC par ZGIE montre bien le lien entre les contextes hydrostratigraphiques et la vulnérabilité. Les ZGIE qui sont dominées par des contextes de till et d’affleurement de roc ont un indice DRASTIC plus élevé (**Figure 19**). La présence de contextes argileux réduit fortement l’indice DRASTIC dans la zone du COBAMIL. C’est sur la zone du COBALI que l’on retrouve le plus fort pourcentage de couverture d’indice DRASTIC élevé. Cependant, c’est aussi dans cette zone que l’indice de densité anthropique est le plus faible quoique similaire à la zone RPNS (**Figure 20**). Dans la zone d’ABRINORD, la combinaison d’une couverture de 74 % d’indice DRASTIC moyen et de 19 % de densité anthropique élevée constitue un risque plus important pour l’altération de la qualité de l’eau souterraine. Pour la zone du COBAMIL, la proportion d’indices anthropiques élevés est la plus importante (54 %) parmi les quatre ZGIE, mais la zone est dominée par des indices DRASTIC faibles (69 %) et la proportion d’indices élevés est nulle. La combinaison des indices DRASTIC moyens et élevés et de densité anthropique élevée ne se traduit pas nécessairement par un impact anthropique plus important sur l’eau souterraine. En effet, les proportions de dépassement de la norme bactériologique et de détection des PPSP sont assez uniformes entre les ZGIE. Une proportion légèrement plus élevée de dépassement de la norme bactériologique dans la zone de COBAMIL pourrait cependant être liée à la présence d’agriculture (**Tableau 12**).



Puits de surface, F. Python

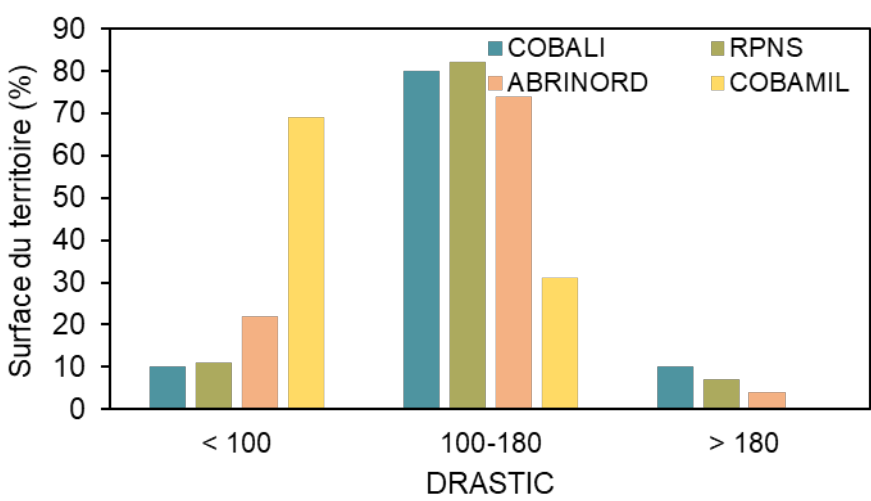


Figure 19 : Proportion (%) du territoire des ZGIE pour l’indice DRASTIC

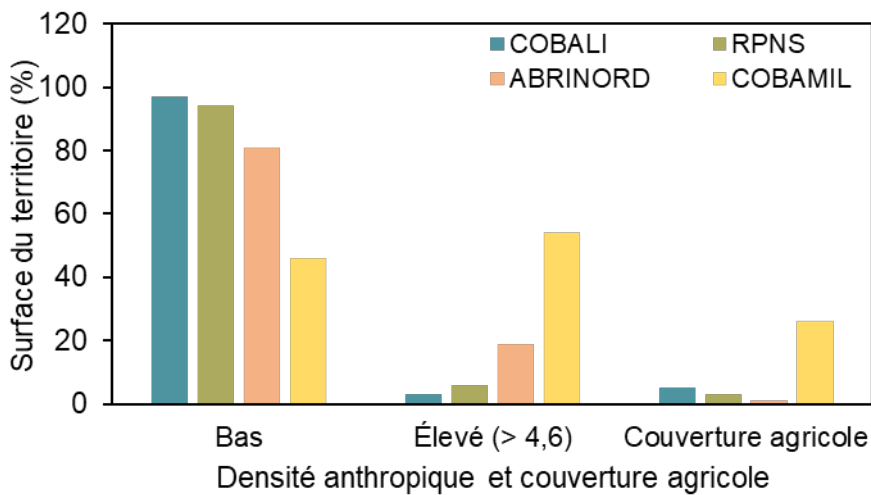


Figure 20 : Proportion de territoire (%) des ZGIE pour l’indice de densité anthropique et la couverture agricole

Tableau 12 : Proportion (%) des échantillons qui dépassent la norme bactériologique et où des pesticides ou des produits pharmaceutiques (PPP) ont été détectés

ZGIE	Avec dépassement bactériologique	Détection PPP
COBALI	24	20
RPNS	35	17
ABRINORD	21	18
COBAMIL	39	15

En résumé, il existe un contraste important entre les ZGIE de la partie nord de la zone d’étude et celle des Basses-Terres du Saint-Laurent. Malgré ce contraste, la proportion de dépassement de norme bactériologique et de détection des PPSP est assez homogène entre ces quatre zones. Comme il a été mentionné à la section 6.2.1 les dépassements sont liés aux conditions locales (champ d’épuration, mauvais état du puits, lien avec l’eau de surface, etc.) du puits plutôt qu’à une problématique régionale. Cependant, les ZGIE COBALI, RPNS et ABRINORD demeurent des zones avec des indices DRASTIC moyens à élevés et une approche par précaution est de mise dans la planification régionale.



Prélèvement en eau souterraine

Les données des prélèvements de plus de 75 m³/jour (grands préleveurs d'eau - GPE), ont été résumées pour chacune des ZGIE (incluant la zone AFSOQ). Les résultats montrent qu'il existe une importante différence dans les prélèvements d'eau entre les ZGIE (**Figure 21**). Cette différence peut s'expliquer par la densité de population contrastée entre les ZGIE. Les ZGIE ABRINORD et COBAMIL sont celles où les prélèvements sont les plus importants et aussi celles qui ont les plus grandes populations. L'augmentation de prélèvement en eau souterraine semble être principalement située sur la zone ABRINORD. Les autres ZGIE ne montrent pas d'augmentation et ont des prélèvements plutôt stables dans le temps. Lorsque répartis sur les superficies des ZGIE, les volumes d'eau prélevés pour l'eau souterraine représentent de 0 à 9 mm/an (**Tableau 13** et **Figure 22**). Comparés à la recharge, ces prélèvements en eau souterraine représentent de < 1 à 5 % de la recharge selon la ZGIE. Cependant, en considérant que seulement le tiers de la zone du COBAMIL est à nappe libre et peut recevoir de la recharge, les prélèvements en eau souterraine représentent 16 % de la recharge pour cette ZGIE.

Tableau 13 : Équivalent en mm/an des prélèvements en eau selon la ZGIE pour l'année 2019

ZGIE	Prélèvement en eau souterraine (mm) et proportion de la recharge (%)
COBALI	0 (< 1 %)
RPNS	1 (< 1 %)
ABRINORD	7 (3 %)
COBAMIL	9 (5 %)

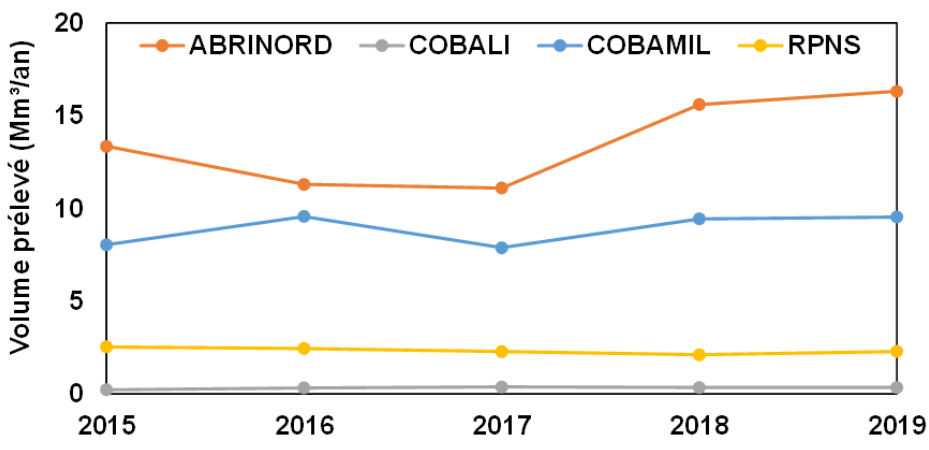


Figure 21 : Volume d'eau souterraine prélevé selon le registre des grands préleveurs pour chacune des ZGIE (MELCC 2019e, données confidentielles).

Bilan hydrique régional

En combinant les résultats du calcul de la recharge des et différentes composantes du bilan hydrique simulé (**modèle HydroBudget**) avec les résultats de l'analyse des prélèvements en eau il est possible de dresser un portrait global du bilan hydrique de la zone d'étude. Le schéma conceptuel présenté à la **Figure 21** illustre les grandes lignes du bilan hydrique régional. À l'échelle du territoire étudié (excluant la zone AFSOQ), près de la moitié (491 mm/an) des précipitations (apports verticaux) retourne à l'atmosphère sous forme d'évapotranspiration. Le tiers ruisselle (353 mm/an) et atteint rapidement le réseau hydrographique, tandis qu'environ 20 % (198 mm/an) atteignent la nappe phréatique et constituent la recharge. Cette recharge peut circuler rapidement dans le roc ou les sédiments pour faire résurgence dans les milieux humides et les petits cours d'eau. Elle peut aussi circuler plus longuement et former l'écoulement régional pour éventuellement se décharger dans les grandes rivières qui drainent la zone d'étude.

Les prélèvements en eau de surface, répartis sur toute la zone étudiée représentent une lame d'eau de 5 mm/an et les prélèvements en eau souterraine représentent 1 mm/an. Le volume d'eau pompé représente donc une faible proportion de la recharge à l'échelle régionale. Cependant, tel que présenté au **Tableau 13**, à une échelle plus locale, les prélèvements en eau souterraine peuvent représenter un pourcentage de la recharge plus important.

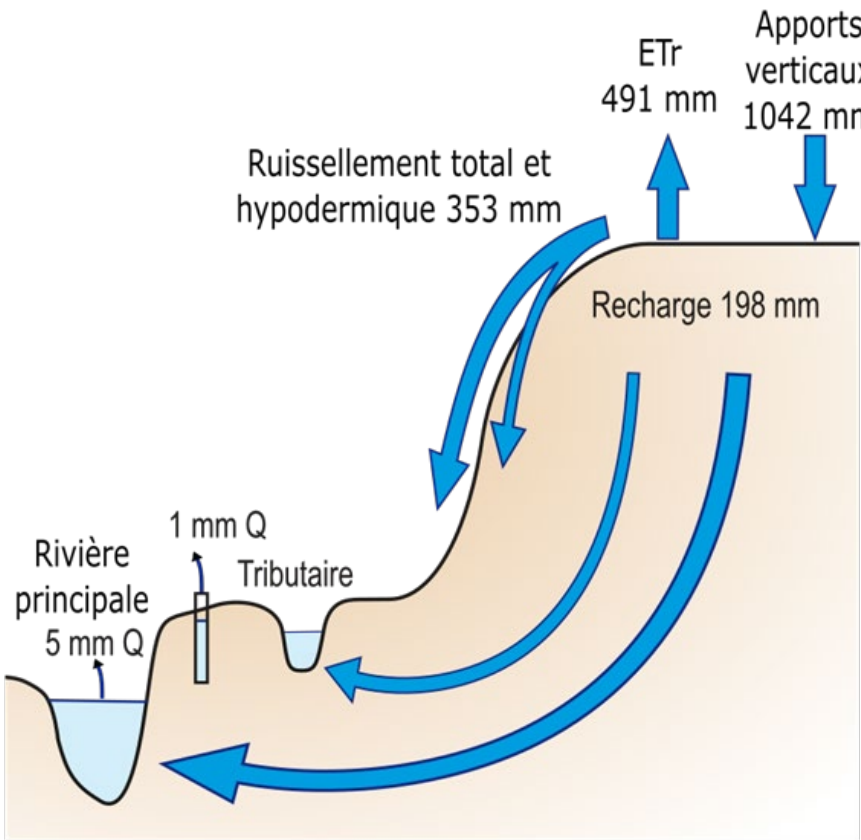


Figure 22 : Modèle conceptuel du bilan hydrogéologique régional



## Gestion durable de la ressource

### Principes de gestion durable

La gestion durable des ressources en eau est basée sur le principe du développement durable selon lequel les ressources doivent être utilisées de manière à répondre aux besoins de la société tout en préservant leur pérennité à long terme. Comme pour d'autres types de ressources, la gestion durable des ressources en eau est le résultat d'un ensemble de compromis définis et acceptés par la société. Les ressources en eau sont exposées à un ensemble de pressions parmi lesquelles certaines concernent plus spécifiquement l'eau souterraine. Celles-ci incluent entre autres les pressions suivantes :

- Les changements dans l'utilisation du territoire qui peuvent avoir des effets sur les processus du cycle de l'eau à l'échelle des bassins versants, incluant par exemple l'étalement urbain, le développement de nouvelles terres agricoles ou la mise en place de nouvelles industries ;
- L'augmentation des prélèvements d'eau souterraine pour répondre aux changements dans l'utilisation du territoire, notamment pour l'alimentation en eau potable.
- L'augmentation de la pollution d'origine diffuse, par exemple en lien avec l'intensification des pratiques agricoles et l'augmentation de pollutions ponctuelles accidentelles en lien avec le développement industriel du territoire ;
- La réduction de la recharge de l'eau souterraine à la suite de l'imperméabilisation des surfaces, du développement forestier, de l'assèchement des milieux humides ou du réchauffement du climat.

Le projet PACES-LAULM a permis de construire une base de données fiable des connaissances actuelles sur l'eau souterraine pour une région où peu de données étaient jusqu'ici disponibles. Les cartes développées ainsi que l'ensemble des travaux complémentaires réalisés dans le cadre de ce projet forment une base solide sur laquelle pourra s'appuyer la gestion durable des ressources en eau.

Cette gestion doit maintenant être réalisée de concert avec les acteurs de l'eau de la région. Plusieurs ont d'ailleurs été partenaires du PACES-LAULM, ce qui témoigne de leur grand intérêt pour la question. Pour y parvenir, les acteurs locaux doivent toutefois disposer d'indicateurs de quantité et de qualité qui traduisent l'état actuel de la ressource en eau souterraine dans la région. Afin de permettre une gestion à long terme, ces indicateurs devront faire l'objet d'un suivi à long terme.

### Indicateurs de quantité

Dans son ensemble, la zone du PACES-LAULM ne présente pas de déficit en eau. Comme ailleurs dans le Québec méridional, les précipitations sont largement excédentaires et l'évapotranspiration est limitée. Cependant, en raison de l'omniprésence du roc fracturé du Bouclier canadien qui forme un aquifère peu productif et de la faible étendue spatiale des aquifères granulaires situés dans les vallées, certaines régions de la zone d'étude peuvent éprouver des difficultés à s'approvisionner, ou encore se voir contraintes à limiter les débits exploités.

Les prélèvements actuels d'eau souterraine dans la région représentent 1 mm/an, soit 0,5 % de la recharge annuelle. Ces chiffres régionaux peuvent toutefois cacher des disparités locales importantes en raison de la nature même des matériaux géologiques (contraste entre le roc fracturé peu productif et les aquifères granulaires plus productifs). Une augmentation des pompages dans les aquifères granulaires pour satisfaire aux besoins en eau de nouveaux développements résidentiels, ou pour répondre à une intensification des activités agricoles ou industrielles, pourraient poser des contraintes sur les ressources en eau souterraine et entraîner des conflits d'usage. Selon les données disponibles, dans les conditions actuelles, il ne semble toutefois pas y avoir de problématique de quantité d'eau disponible dans les aquifères superficiels. Néanmoins, les temps de séjour montrent que, malgré la présence d'eau souterraine relativement jeune (quelques décennies), une certaine proportion de l'eau souterraine peut également séjourner dans l'aquifère pendant plusieurs millénaires. La présence de cette eau souterraine plus ancienne doit inciter à la prudence dans l'exploitation de la ressource.

Une baisse des niveaux de nappe qui résulterait par exemple d'une diminution de la recharge en raison de l'imperméabilisation des surfaces ou des changements climatiques pourrait avoir un impact global sur le cycle de l'eau dans l'ensemble de la zone d'étude, notamment par l'augmentation du ruissellement de surface et la diminution des débits de base des cours d'eau. Ces changements pourraient entraîner une réduction des volumes d'eau souterraine disponibles pour les municipalités, altérer la qualité de l'eau en rivière et modifier les écosystèmes aquatiques de la région.

### Indicateurs de qualité

La zone d'étude ne présente aucun problème important de qualité de l'eau souterraine, et ce, malgré une vulnérabilité DRASTIC moyenne dans 78 % de la région. Afin d'assurer une eau souterraine de qualité, la gestion durable de la ressource en eau doit néanmoins inclure le suivi d'indicateurs de qualité. Le PACES-LAULM a permis de mettre en évidence certains indicateurs de qualité de l'eau qui devraient être suivis par les différents acteurs de l'eau de la région. Ceux-ci incluent certains polluants normés dits *naturels* parce qu'ils proviennent de la roche elle-même (baryum, fluor, manganèse et uranium), d'autres proviennent de sources anthropiques (nitrates, bactéries, pesticides et produits pharmaceutiques). Plusieurs objectifs esthétiques ont également été dépassés, mais ceux-ci ne représentent pas nécessairement une problématique pour la santé humaine.

Seuls quelques dépassements des normes pour la qualité de l'eau potable ont été observés, la plupart étant causés par des échanges naturels entre les formations géologiques et l'eau souterraine qui circule dans les aquifères. Ces dépassements, dans l'ensemble peu nombreux, concernent le baryum (un puits), le fluor (7 puits) et l'uranium (2 puits). Les teneurs en manganèse ont dépassé la norme de Santé Canada (2019) à 10 % des puits échantillonnés. Ces concentrations sont le résultat du contact entre les formations géologiques et l'eau souterraine et ne sont pas de source anthropique, mais peuvent poser des problèmes de santé publique notamment pour les jeunes enfants (cf. Bouchard et al., 2011).

Les pesticides et les produits pharmaceutiques ont été détectés dans 16 % des puits de la zone d'étude, mais leurs concentrations sont près du seuil de détection et aucun dépassement de norme n'a été observé. Néanmoins, leur détection dans l'eau souterraine indique que certains produits d'origine anthropique peuvent migrer rapidement des réseaux d'égouts municipaux et des systèmes individuels de traitement de l'eau usée vers l'eau souterraine. Leur détection confirme également la présence d'eau souterraine ayant séjourné relativement brièvement dans l'aquifère avant d'être pompée, ce qui est indicateur de problématiques possibles de contamination à court et moyen terme. Par ailleurs, au moins un dépassement de normes bactériologiques a été observé dans 29 % des échantillons, ce qui indique des cas locaux de contamination.

L'activité en  $^{222}\text{Rn}$  dans l'eau est déterminée par la nature des formations géologiques, mais ne fait pas l'objet d'une norme pour la qualité de l'eau potable au Canada. Néanmoins, une eau dans laquelle l'activité en  $^{222}\text{Rn}$  est élevée peut être la source du radon dans l'air (p.ex. : par dégazage dans la douche) et peut être indicatrice de la présence de  $^{222}\text{Rn}$  dans l'air et dans les sous-sols. Il serait pertinent de sensibiliser les propriétaires à cette problématique dans les zones où les activités les plus élevées ont été mesurées.



## 6 CONCLUSIONS

Le but du projet PACE-LAULM était d'établir la cartographie hydrogéologique d'une portion de la région administrative des Laurentides et de la MRC Les Moulins, incluant une partie ou l'entièreté des ZGIE COBALI, RPNS, ABRINORD et COBAMIL, tout en intégrant les données du projet AFSOQ (Savard et al., 2013). Les travaux réalisés ont permis d'atteindre les objectifs spécifiques suivants : 1) comprendre la nature des formations aquifères, 2) connaître l'origine et les directions d'écoulement de l'eau souterraine, 3) décrire la qualité de l'eau souterraine, 4) quantifier le bilan hydrique de l'aquifère et les volumes d'eau exploitables de façon durable, et 5) déterminer la vulnérabilité de l'eau souterraine aux activités humaines.

Les travaux réalisés ont permis de décrire la nature des formations géologiques aquifères et de délimiter les principaux aquifères granulaires de la région. De manière générale, le roc fracturé du Bouclier canadien est peu productif et la majorité des villes pompent dans des aquifères de dépôts meubles situés dans les vallées. L'eau souterraine circule généralement des hauts topographiques vers les vallées qui drainent l'eau vers la rivière des Outaouais au sud. La recharge potentielle de l'aquifère est relativement importante et se produit principalement au printemps. Le bilan hydrique des aquifères fracturés et granulaires montre que les volumes d'eau souterraine utilisés par les particuliers, les villes, l'agriculture et l'industrie représentent environ 0,5 % de la recharge. En général, il est admis que l'exploitation de l'eau souterraine est durable tant qu'elle ne dépasse pas 10 % de la recharge. Même s'il ne semble pas y avoir de pression anthropique importante sur les volumes d'eau souterraine à l'échelle régionale, la situation pourrait être différente localement. Les temps de séjour de l'eau souterraine montrent toutefois que l'eau souterraine résulte d'un mélange d'eau relativement jeune et d'eau plus ancienne. Les vitesses d'écoulement souterrain apparaissent donc comme étant très variables.

L'eau souterraine de la zone d'étude est de bonne qualité de manière générale. Mis à part des dépassements pour la bactériologie, peu de dépassements des normes pour la qualité de l'eau potable ont été identifiés. Certaines problématiques doivent néanmoins être suivies pour éviter des problèmes de santé publique. En particulier, la présence de nitrates, de pesticides et de produits pharmaceutiques, même si leurs concentrations ne dépassent pas les normes pour l'eau potable, elles sont indicatrices de sources de pollution qui devraient être suivies. Les concentrations élevées en manganèse sont également une préoccupation, de même que les importantes activités en radon dans certains secteurs. La vulnérabilité DRASTIC de l'aquifère est considérée moyenne sur la grande majorité de la zone d'étude. Des secteurs de vulnérabilité élevée ont été identifiés dans les aquifères granulaires de vallée en condition de nappe libre, tandis que les aquifères granulaires en condition de nappe captive de la portion sud de la zone d'étude sont peu vulnérables.

Le PACES-LAULM fournit des données hydrogéologiques de base à l'échelle régionale. Dans l'ensemble de la région, l'aquifère fracturé est peu productif et les principales ressources en eau souterraine proviennent d'aquifères de dépôts meubles dont l'étendue est limitée. Il est recommandé de réaliser des études complémentaires à l'échelle locale avant tout nouveau projet d'exploitation de l'eau souterraine ou le développement de projets qui pourraient avoir un impact sur la quantité ou la qualité de l'eau souterraine.

- Il est recommandé d'assurer le suivi à long terme des nouveaux forages mis en place dans le PACES-LAULM et récemment intégrés au RSESQ.
- La recharge potentielle est relativement importante dans l'ensemble de la région. Toutefois, en raison de l'omniprésence du roc fracturé peu perméable du Bouclier canadien, de vastes régions ne présentent pas un potentiel aquifère important. Il est donc recommandé d'assurer la protection des zones de recharge, dans le but d'assurer un renouvellement maximal de la nappe. Ceci implique de planifier le développement urbain de manière à limiter l'imperméabilisation des surfaces.
- Il est recommandé de réaliser un suivi à long terme des forages où des dépassements de normes ont été observés, de même qu'un suivi à long terme des secteurs où les concentrations en nitrates les plus élevées ont été mesurées et où des pesticides ont été détectés. Un suivi annuel de la qualité bactériologique est recommandé dans les secteurs où des dépassements ont été observés.
- Il est recommandé d'informer la population au sujet de certaines problématiques de santé publique liées à l'utilisation de l'eau souterraine par les particuliers. Notamment, la contamination bactériologique de l'eau des puits individuels, la présence fréquente de manganèse et les importantes activités en 222Rn dans certains secteurs pourraient faire l'objet d'une campagne de sensibilisation.



# 7 RÉFÉRENCES

- Aller, L., Bennet, T., Lehr, J.H., Pretty, R.J., Hackett, G. (1987) DRASTIC: A standardised system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. EPA-600/2-87-035.
- BDPPAD (2020) Base de données des parcelles et productions agricoles déclarées (BDPPAD). Financière agricole du Québec. Téléchargé du site : [Base de données des parcelles et productions agricoles déclarées \(BDPPAD\) - Jeu de données - Données Québec \(donneesquebec.ca\)](https://donneesquebec.ca/).
- Bergeron, O. (2016) Guide d'utilisation 2016 - Grilles climatiques quotidiennes du Programme de surveillance du climat du Québec, version 1.2. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction du suivi de l'état de l'environnement. Québec, Canada, 33 p.
- Bouchard, M.F., Sauvé, S., Barbeau, B., Legrand, M., Brodeur, M.-E., Bouffard, T., Limoges, E., Bellinger, D.C., Mergler, D. (2011) Intellectual impairment in school-age children exposed to manganese from drinking water. *Environmental Health Perspectives* 119(1), <https://doi.org/10.1289/ehp.1002321>.
- Chen, J. (2019) A discussion on issues with radon in drinking water. *Radiation Protection Dosimetry* 185(4): 526-531.
- CIC (Canards Illimités Canada) et MDDELCC (2016) Cartographie détaillée des milieux humides. Téléchargé du site : [Milieux humides cartographie détaillée - Jeu de données - Données Québec \(donneesquebec.ca\)](https://donneesquebec.ca/).
- Corriveau, L., Morin, D (2001) Modelling 3D architecture of western Grenville from surface geology, xenoliths, styles of magma emplacement, and Lithoprobe reflectors. *Canadian Journal of Earth Sciences* 37.
- Corriveau, L., Van Breeman, O (2000) Docking of the Central Metasedimentary Belt to Laurentia in geon 12 : evidence from the 1.17-1.16 Ga Chevreuil intrusive suite and host gneisses. *Canadian Journal of Earth Sciences* 37: 253-269.
- Darby et al. (2005). Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ* doi: 10.1136/bmj.38308.477650.63
- Davis, D. W., Nantel, S. (2016) Datations U-Pb dans la partie nord de la Ceinture centrale des métasédiments, Province de Grenville, région de Mont-Laurier. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles: 52 p.
- DEH (2019) Direction de l'expertise hydrique du Québec. Données hydrométriques. Récupéré de <http://www.cehq.gouv.qc.ca/hydrometrie/index.htm>
- Drolet et al. (2013). An approach to define potential radon emission level maps using indoor radon concentration measurements and radiogeochemical data positive proportion relationships. *Journal of Environmental Radioactivity* 124: 57-67.
- Dubois, E., Larocque, M., Gagné, S., Meyzonnat, G. (2021) Simulation of long-term spatiotemporal variations in regional-scale groundwater recharge : contributions of a water budget approach in cold and humid climates. *HESS*, 25: 6567-6589.
- Gagné, S., Larocque, M., Morard, A., Roux, M. (2022). Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines dans la région des Laurentides et de la MRC Les Moulins – Rapport final mars 2022. Rapport déposé au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Université du Québec à Montréal, Montréal, Canada. 222 p.
- Globensky, Y. (1987) Géologie des Basses-Terres du Saint-Laurent, Ministère de l'Énergie et des Ressources: 63 p.
- GRHQ (2019) Geobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ). Téléchargée du site: [Géobase du réseau hydrographique du Québec \(GRHQ\) - Jeu de données - Données Québec \(donneesquebec.ca\)](https://donneesquebec.ca/).
- Healy, R. W., Scanlon, B. R. (2010) Estimating Groundwater Recharge, Cambridge University Press, United Kingdom.
- Husk, B., Sebastian, S., Leduc, R., Takser, L., Savary, O., Cabana, H. (2019) Pharmaceuticals and pesticides in rural community drinking waters of Quebec, Canada- a regional study on the susceptibility to source contamination. *Water Quality Research Journal*, 54(1) : 47-56.
- IRDA (2018a) Pédologie : région 14 - Lanaudière. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement. Récupéré de <https://www.irda.qc.ca/fr/services/protection-ressources/sante-sols/information-sols/etudes-pedologiques/>
- IRDA (2018b) Pédologie : région 15 - Laurentides. Québec : Institut de recherche et de développement en agroenvironnement. Récupéré de <https://www.irda.qc.ca/fr/services/protection-ressources/sante-sols/information-sols/etudes-pedologiques/>
- Lacoste, P. (2000) Géologie de la région de Ferme-Neuve (31J/11), Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles: 36 p.
- MAMH (2020) Portrait provincial en aménagement du territoire. ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (MAMH). Gouvernement du Québec.
- Martignole, L., Corriveau, L. (1991) Lithotectonic studies in the Central Metasedimentary Belt of the southern Grenville Province: lithology and structure of the Saint-Jovite map area, Quebec. Commission Géologique du Canada, 77-87.
- MELCC (2018) Système d'information hydrogéologique (SIH). Québec : ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Récupéré de [www.sih.mddep.gouv.qc.ca/](http://www.sih.mddep.gouv.qc.ca/)
- MELCC (2019a) Bassins hydrographiques multi-échelle. Téléchargé du site : [Bassins hydrographiques multiéchelles du Québec - Jeu de données - Données Québec \(donneesquebec.ca\)](https://donneesquebec.ca/).
- MELCC (2019b) Milieux humides potentiels. Téléchargé du site : [Milieux humides potentiels - Jeu de données - Données Québec \(donneesquebec.ca\)](https://donneesquebec.ca/)
- MELCC (2019c) Utilisation du territoire. Téléchargé du site : [Utilisation du territoire - Jeu de données - Données Québec \(donneesquebec.ca\)](https://donneesquebec.ca/)
- MELCC (2019d) Répertoire des terrains contaminés. Récupéré de <http://www.environnement.gouv.qc.ca/sol/terrains/terrains-contamines/recherche.asp>
- MELCC (2019e) . Registre des grands préleveurs d'eau (GPE). Données confidentielles soumises à une entente d'utilisation obtenues auprès du MELCC.
- MELCC (2021) Réseau de suivi des eaux souterraines du Québec (RSESQ). : Ministère de l'Environnement et de la lutte contre les Changements climatiques. Récupéré de <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/piezo/index.htm>
- MERN (2014) Symboles et abréviations de la carte géoscientifique. DV 2014-06. Gouvernement du Québec, direction générale de Géologie Québec. <https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/2976606>
- MERN (2020a) Géologie du socle. Jeu de données cartographique. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles. [Géologie du socle - Jeu de données - Données Québec \(donneesquebec.ca\)](https://donneesquebec.ca/)
- MERN (2020b) Géologie du Quaternaire. Jeu de données cartographique. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles. [Géologie du quaternaire - Jeu de données - Données Québec \(donneesquebec.ca\)](https://donneesquebec.ca/).
- Nantel, S. (2008) Géologie et aperçu de la géochronologie et des indices métalliques découverts entre 1996 et 2007 dans la partie nord de la Ceinture centrale des métasédiments, Province de Grenville, région de Mont-Laurier. Québec, Ministère des Ressources naturelles: 20 p.



- Pithon, F. (2021) Caractérisation de la géochimie de l'eau souterraine et de l'impact anthropique sur la qualité de l'eau dans la région des Laurentides et de la MRC Les Moulins. Mémoire de maîtrise en sciences de la Terre, UQAM. 206 p.
- Québec (2019) Règlement sur la qualité de l'eau potable (RQEP). Q-2, r.40. [g-2, r. 40 - Règlement sur la qualité de l'eau potable \(gouv.qc.ca\)](http://gouv.qc.ca).
- Randour, I., Daigneault R.-A., Lamothe M., Roy M., Robitaille Al. (2020) Cartographie des formations superficielles de la région des Laurentides phase 2. Rapport soumis à Énergie et Ressources Naturelles Québec. MB 2020-08. 51 p.
- Roy M., Daigneault R.-A., Lamothe M., Milette S., Dubois-Verret M., Godbout P.-M., Horth N., Hurtubise M.-A., Lamarche O., Leduc É. (2015) Rapport présenté à Énergie et ressources naturelles Québec. MB 2015-03. 43 p.
- RPEP (2020) chapitre Q-2, r. 35.2: Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection Loi sur la qualité de l'environnement Québec : Législateur du Québec. Récupéré de <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/Q-2,%20r.%2035.2>
- Santé Canada (2019) Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada - Tableau sommaire. Santé Canada. Récupéré de [https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/ewh-semt/alt\\_formats/pdf/pubs/water-eau/sum\\_guide-res\\_recom/sum\\_guide-res\\_recom-fra.pdf](https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/ewh-semt/alt_formats/pdf/pubs/water-eau/sum_guide-res_recom/sum_guide-res_recom-fra.pdf)
- Santé Canada (2020) : [Le radon : Il y en a dans votre maison - Canada.ca](http://Canada.ca)
- Savard, M. M., Nastev, M., Paradis, D., Lefebvre, R., Martel, R., Cloutier, V., . . . Hamel, A. (2013) Inventaire canadien des ressources en eau souterraine : Caractérisation hydrogéologique régionale et intégrée du système fracturé du sud-ouest du Québec. (Vol. Bulletin 587). Commission géologique du Canada.
- SIEF (2018) Cartographie du 5e inventaire écoforestier du Québec méridional, méthode et données associées. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Secteur des forêts, Direction des inventaires forestiers. Téléchargé du site: [Carte écoforestière originale et résultats d'inventaire - Jeu de données - Données Québec \(donneesquebec.ca\)](http://Carte%20écoforestière%20originale%20et%20résultats%20d'inventaire%20-%20Jeu%20de%20données%20-%20Données%20Québec%20(donneesquebec.ca).).