Caractéristiques physiques du territoire du bassin versant de la baie Missisquoi (BVBM)

1. Géologie générale du bassin versant

Le bassin versant de la baie Missisquoi se situe à la limite de deux provinces géologiques : la plate-forme du Saint-Laurent et la province des Appalaches. La partie montérégienne du bassin versant fait partie de la sous-province géologique de la plate-forme des Basses-Terres du Saint-Laurent, alors que la section du bassin versant qui se situe en Estrie fait partie des Appalaches. (Ministère des Ressources naturelles et des Forêts [MRNF], 2021) En pratique, le passage des basses terres aux Appalaches, régionalement, se fait de façon peu sensible, car les premières roches appartenant au plateau affleurent dans des crêtes allongées qui ne dominent souvent les terres plus basses que de quelques mètres, tout au plus de 60 mètres comme dans la municipalité de Saint-Armand entre la route 133, secteur de Philipsburg, et le noyau urbain de Saint-Armand. (OBVBM, 2015)

Les deux ensembles géologiques permettent de définir le contexte de la naissance, du développement et de la disparition d'un océan, nommé l'Océan Iapetus. Son âge s'étale de moins 600-540 à moins 460-440 millions d'années. C'est dans cet immense bassin versant marin que presque toutes les roches de la région considérée ici se sont accumulées. (Le parc national de Miguasha, 2007)

1.1. Les Basses-terres du Saint-Laurent

es Basses-terres reposent sur un substrat géologique du Paléozoïque inférieur. (Hofmann, 1972; Globensky, 1985; Hocq et Dubé, 1994). L'âge de ces roches sédimentaires recouvre la période du Cambrien (moins 542 à moins 488 millions d'années) et celle de l'Ordovicien (moins 488 à moins 444 millions d'années). Seulement une petite portion de la partie Ouest du bassin versant appartient aux Basses-terres du Saint-Laurent selon leur définition physiographique, soit les rives Ouest et Nord de la baie Missisquoi jusqu'à Philipsburg (Saint-Armand) et la plaine en direction de Saint-Sébastien et Notre-Dame-de-Stanbridge. Ceci correspond aux parties Ouest et Nord des sous-bassins de la baie Missisquoi et de la rivière de la Roche et à la partie inférieure du sous-bassin de la rivière aux Brochets. Une grande fracture de la Terre, la Faille de Logan, marque ici la limite des roches de la Plateforme du Saint-Laurent. Celle-ci désigne des roches datant de l'Ordovicien, déposées dans la bordure Nord-Ouest de l'Océan Iapetus. Elle se poursuit en direction Nord-Nord-Est vers Bedford, Drummondville, Québec, etc., et vers le Sud en direction de Burlington aux États-Unis. Là, au bord du lac Champlain, elle participe à former une falaise impressionnante, comme au Québec. (Hofmann, 1972; Globensky, 1985; Hocq et Dubé, 1994)

Cette faille majeure est responsable d'un chevauchement, c'est-à-dire d'une remontée de grands ensembles de roches résistantes et très déformées des Appalaches et de leur déplacement vers l'Ouest et le Nord-Ouest, au-dessus de roches plus tendres des Basses-terres. Elle constitue la fracture la plus importante du Domaine externe appalachien, une division tectonique des ensembles de roches appalachiennes. (Hofmann, 1972; Globensky, 1985; Hocq et Dubé, 1994)

Les roches tendres sont des shales argileuses et carbonatées, de teintes grises à sombres, qui affleurent, bien que modestement, le long de la Pointe du Québec, de la Pointe Jameson et sur la rive Est de la baie. Le cas du littoral, près du quai de Philipsburg (Saint-Armand), est connu des chercheurs qui viennent y observer justement cette fameuse Faille de Logan. Là, en effet, des calcaires et dolomies de couleur plus

claire, à l'Est, contrastent avec les shales gris, à l'Ouest. (Hofmann, 1972; Globensky, 1985; Hocq et Dubé, 1994)

1.2. Les Appalaches

Les Appalaches couvrent environ les trois quarts du bassin versant de la baie Missisquoi, soit la partie Est des sous-bassins versants de la rivière de la Roche et de la rivière aux Brochets et l'ensemble du sous-bassin versant de la rivière Missisquoi. (MRNF, 2021)

Les Appalaches incluent des roches du même âge que celles des Basses-terres mais aussi des roches encore plus anciennes, soit de la fin du Précambrien et donc plus vieilles que 542 millions d'années (Charbonneau, 1980; Marquis et Kumarapeli, 1993; Castonguay et al., 2000). En effet, les Appalaches du territoire ici considéré se sont mises en place au Paléozoïque, principalement lors de la phase dite taconique, du nom de la chaîne Taconic Range, définie aux États-Unis au Sud du Québec. Cette déformation de la croûte terrestre débuta très tôt dans l'histoire de l'Océan Iapetus, vers moins 500 à 480 millions d'années, et s'acheva lors de sa disparition vers 460 millions d'années. Une autre phase, dite acadienne (un nom emprunté à l'Est du Canada) affecte à nouveau plus tard ces roches déjà bien déformées. (Charbonneau, 1980; Marquis et Kumarapeli, 1993; Castonguay et al., 2000)

Les Appalaches sont donc une ancienne chaîne de montagnes, aux roches fortement plissées et métamorphiques, dont il ne reste aujourd'hui qu'une succession de crêtes parallèles (Ex. : les collines du Chêne ; les monts Pinacle ; les monts Sutton, prolongement des Montagnes Vertes des États-Unis), qui sont découpés par de profondes vallées. (Charbonneau, 1980; Marquis et Kumarapeli, 1993; Castonguay et al., 2000)

Les roches des Appalaches sont donc beaucoup plus déformées que celles de la Plateforme des Basses-terres du Saint-Laurent. Les plissements sont particulièrement visibles dans les affleurements coupés par le réseau routier, dès la route 133 à Philipsburg et en s'éloignant de la Faille de Logan vers l'Est (chemin de Saint-Armand; autoroute 10; etc.). L'ensemble des roches est déformé en plis successifs, de plus en plus redressés à la verticale vers l'Est. Le phénomène peut être observé près des sorties de l'autoroute 10 dans la région du mont Orford. On se situe alors au cœur de la chaîne (Castonguay et al. 2000.).

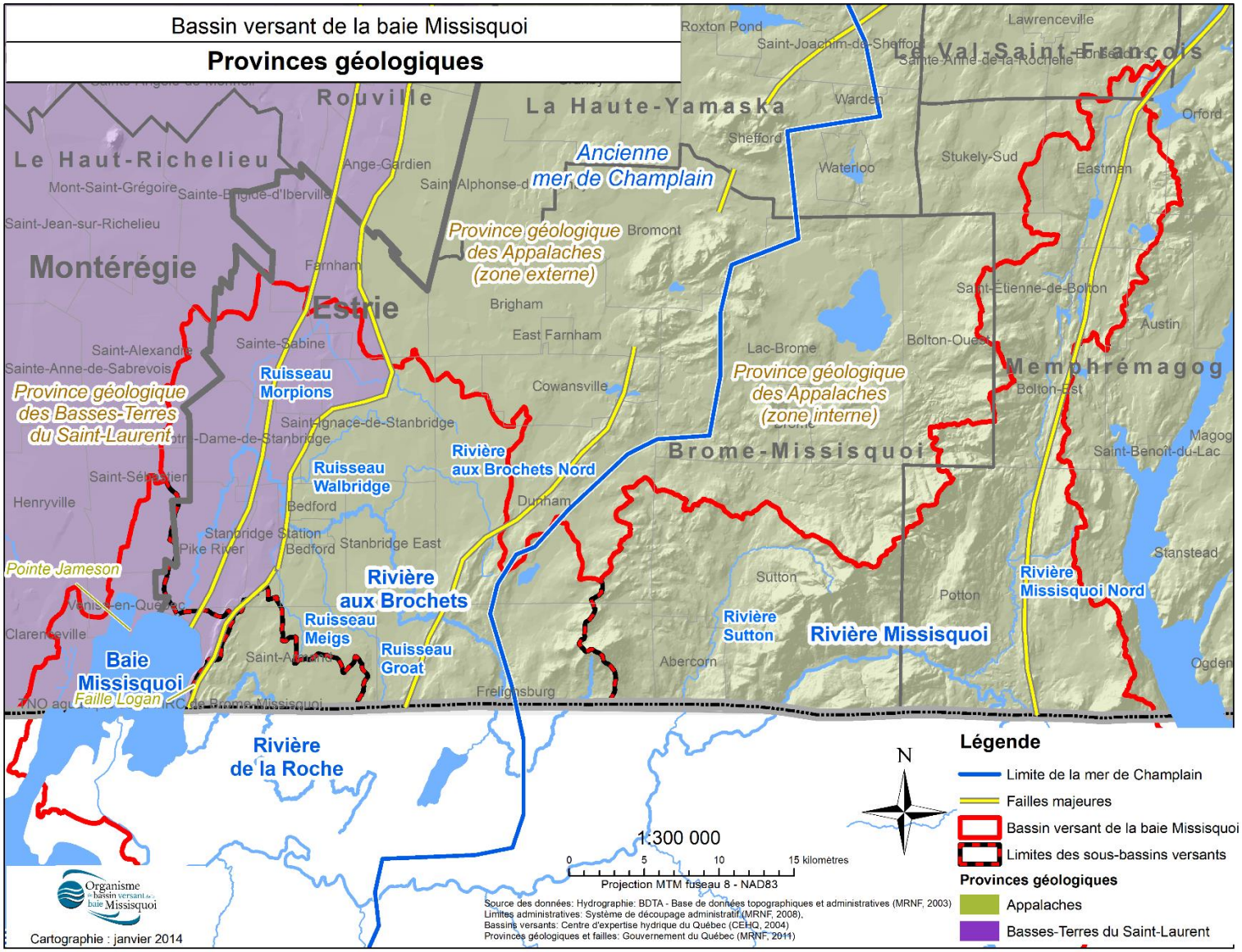
Les premières roches des Appalaches, immédiatement à l'Est de la Faille de Logan, comportent plusieurs variétés de roches carbonatées (calcaires et dolomies) et des grès composés de fins grains de quartz luisants. Une douzaine de formations différentes, portant des noms des localités, eux-mêmes empruntés aux noms des gens ayant occupé le territoire, affleurent entre la frontière internationale et Bedford (Globensky, 1981 ; Globensky, 1993): plusieurs sortes de calcaires et des dolomies, de couleur claire, sont exploitées dans quelques carrières le long de la crête rocheuse. Leur utilisation va de la pierre concassée, pour les routes et les bétons, au fondant industriel. En outre, ces roches carbonatées sont intéressantes car elles offrent un pouvoir tampon aux pluies acides, soit directement lorsqu'elles sont exposées, soit grâce à la fraction de roche broyée et amalgamée dans le till.

Des roches d'origine plus argileuse forment ce que Charboneau (1980) a décrit comme « une ceinture d'ardoises » pour l'ensemble de la région. Elles sont bien visibles dans le secteur de Frelighsburg et le long de la route de la frontière à l'Ouest de cette ville. Certaines ardoises furent même exploitées autrefois dans « l'écaille géologique » de Saint-Armand, près de la route 133.

Plus à l'Est, dans le massif du Pinacle, des roches plus anciennes que le Cambrien, d'origine volcanique, forment la base de la Série géologique sédimentaire déposée dans l'Océan Iapetus (Prichonnet, 2010). Les volcans ont alors émis des basaltes foncés, formant des couches épaisses et même des coulées de laves,

et des roches dites pyroclastiques (cendres et granulés très fins). Ces roches, très dures aujourd'hui, affleurent bien dans tout le secteur du mont Pinacle et à l'Ouest de Sutton. Quelques formations de carbonates et de roches schisteuses les interrompent, démontrant la transition du continent de l'époque à l'Océan Iapetus. Durant la révolution américaine, on a exploité dans les roches schisteuses du Pinacle un minéral de cuivre, la malachite, pour le vendre, à très fort prix pour l'époque, afin de produire du métal cuivre très recherché (Gauthier, 1986).

La carte 1 présente les provinces géologiques de la région du bassin versant.



Carte 1 : Provinces géologiques, failles majeures et limite approximative de la mer de Champlain

2. Dépôts meubles

L'ensemble du bassin versant est recouvert de dépôts meubles qui datent du Quaternaire. Le Quaternaire est une division des temps géologiques qui rassemble les sédiments âgés de moins de 1,6 million d'années, et ici de moins de 80 000 ans. Leur épaisseur, souvent de plusieurs mètres dans les zones de plaines et de vallées, devient généralement très faible sur les pentes des reliefs majeurs. La présence du roc à faible profondeur et la nature des dépôts meubles conditionnent les types de sols et les cultures.

Il est à retenir que, dans ce bassin versant aux reliefs de plus en plus prononcés en se dirigeant vers l'Est, la couverture de dépôts meubles peut être divisée en trois types :

- ceux qui sont en continuité avec la plaine des basses terres ;
- ceux des vallées encaissées à l'Est du bassin versant et ;
- ceux du plateau incluant les sommets alignés.

À l'Ouest, autour de la baie et dans le secteur du cours inférieur et moyen de la rivière aux Brochets, les dépôts argileux de la Mer de Champlain occupent les zones basses, avec des sables et graviers formant des auréoles autour des reliefs. Généralement, on reconnaît la nature des formations argileuses au tracé en méandres du réseau hydrographique, cours inférieur et moyen de la rivière aux Brochets. Il est difficile toutefois, comme dans les basses terres de l'Ouest du bassin versant (Acquin, 2002 ; White, 2003) de séparer les dépôts marins des dépôts superficiels lacustres, et même parfois ceux d'origine fluviale; sauf, bien sûr, dans le cas des petites terrasses alluviales creusées le long des cours d'eau. Comme c'est le cas bien évidemment à Pike River. (Gouvernement du Québec, 2019)

Les dépôts fins, argileux et silteux (appelés la « glaise ») masquent en général la couverture de till, témoin de la dernière glaciation, du Wisconsinien inférieur à supérieur : de moins 80 000 ans avant aujourd'hui à moins 13 000 ans. Un recul glaciaire progressif a laissé de nombreuses petites moraines de graviers dans les zones en reliefs et quelques eskers de gravier et sable, dont les orientations Sud-Est/Nord-Ouest, Sud-Sud-Est/Nord-Nord-Ouest et Nord-Sud, nous renseignent aussi sur le retrait du glacier continental. Ces dépôts granulaires ont été largement exploités comme granulats. On peut souhaiter que ceux qui restent, constituant de bons aquifères, soient préservés. L'exploitation des roches dont les volumes ne sont pas limités peut remplacer avantageusement les dépôts de surface, très limités en volume. (Gouvernement du Québec, 2019)

Les fonds des vallées encaissées dans le secteur montagneux (Abercorn et cours inférieur de la Missisquoi Nord) ont préservé des dépôts varvés dits rythmiques. Ce sont des alternances de fines laminations claires et sombres de « sable et argile ». On a identifié plusieurs centaines de couplets, véritables varves représentant des cycles climatiques annuels aux hivers très rigoureux. Ces dépôts de décantation dans le fond des vallées corroborent l'importance et la durée de l'action littorale à l'origine des graviers et sables littoraux sur les pentes des montagnes et collines. Ceux-ci commencent en effet à être reconnaissables et même identifiables sur carte vers 380 mètres d'altitude. Ces deux sortes de dépôts sont intéressantes à conserver. Sur les varves, ce sont de bons sols fins qui se développent ; les dépôts granulaires, en mince couverture, absorbent bien les eaux de fonte et de pluie et permettent la lente infiltration de l'eau vers les aquifères profonds. Ce sont aussi des sols intéressants pour de nombreux usages : forêt, vergers, pâturages. (Prichonnet et al., 1982)

Les plans d'eau qui ont recouvert les grandes vallées lors de la déglaciation étaient des lacs glaciaires, et même proglaciaires à leur départ puisqu'ils recevaient les eaux de fonte directement du front de la glace. L'épisode a débuté probablement vers moins 13 000 ans avant aujourd'hui. Ce n'est que vers moins 12 000 ans que les eaux salées de l'Atlantique sont venues remplacer les eaux douces sur un continent encore

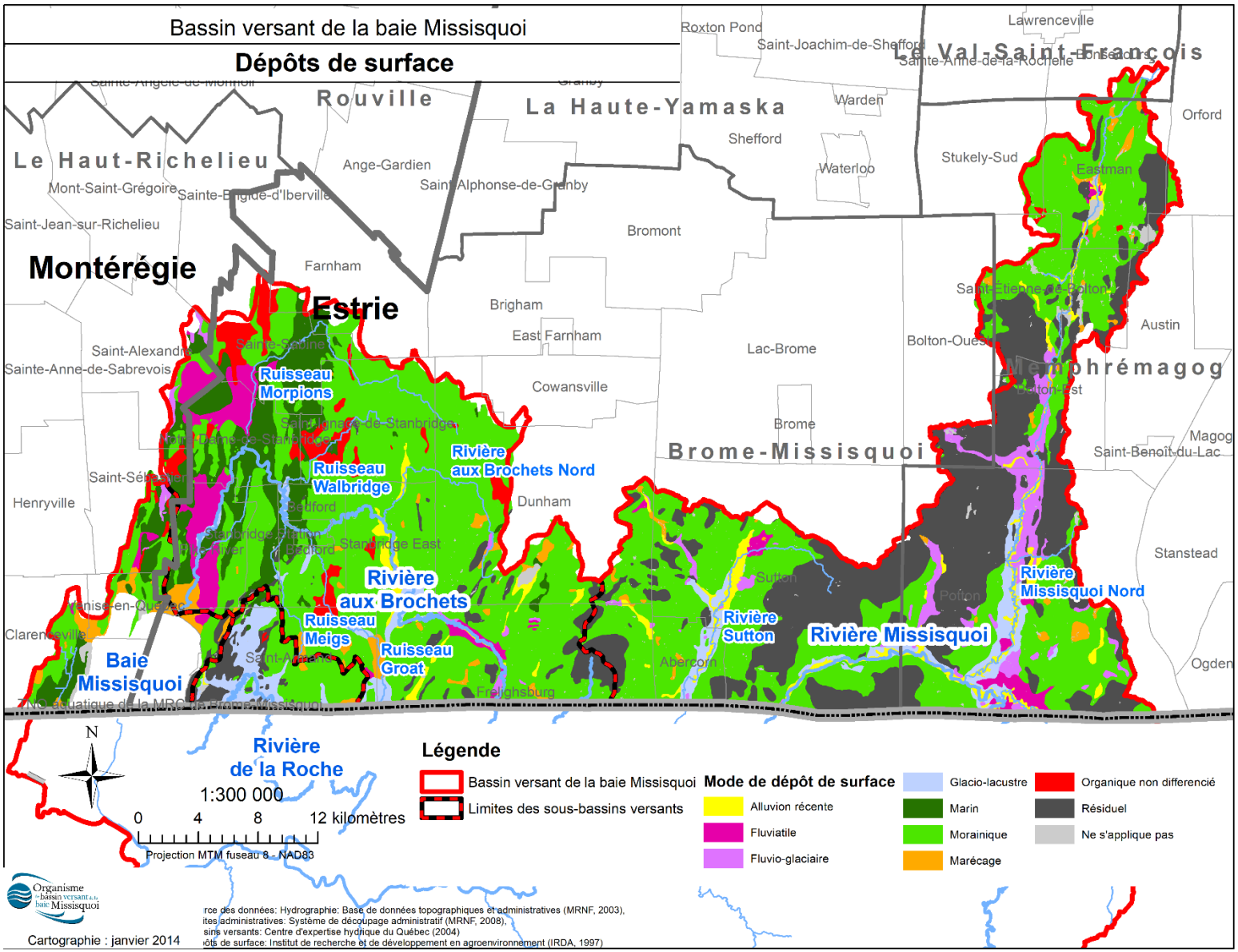
enfoncé dans les couches visqueuses de la croûte à cause du poids du glacier continental. La mer était de type arctique, avec des faunes de mollusques marins parfois abondantes dans les sables des anciens littoraux. D'ailleurs, une bonne vingtaine de restes de mammifères marins a été récupérée depuis environ 150 ans dans l'ensemble du bassin versant recouvert par la mer. (Occhietti et al., 2001)

L'ensemble du plateau est recouvert d'une mince couverture de till, sauf dans quelques formes de drumlins. Les dépôts de type argileux et silteux déposés dans les lacs et la mer qui auraient pu recouvrir ce till ont été rapidement érodés après l'exondation, à cause de leur fragilité. La forêt est venue fixer ces sols caillouteux. Elle a suivi une période de toundra de type arctique (Richard, 1978).

Des dépôts graveleux grossiers, déposés au front et sous la glace, peuvent représenter localement la majorité des dépôts dans certains secteurs de la région de Sutton. Et le till est le plus souvent caché sous un sol caillouteux, dont les particules les plus fines (mis à part dans l'horizon A du sol) ont été délavées par différents processus après le retrait du glacier : c'est le délavage par les vagues et le ruissellement qui fut surtout actif au début de la période postglaciaire ; il le redevient en cas de suppression de la couverture végétale. Il est d'autant plus efficace que le relief est prononcé. Des dépôts de cônes alluviaux, sortes d'éboulis de montagnes, sont reconnaissables sur les pentes Ouest des monts Sutton. Les dépôts alluviaux des rivières sont d'importance limitée, bien que l'érosion soit toujours active, à cause du caractère torrentiel du réseau fluvial : fort gradient de pente en amont et largeur limitée des lits mineurs en aval. (Prichonnet et al., 1982)

Les dépôts organiques sont d'extension limitée, généralement dans quelques dépressions encore boisées, anciens plans d'eau isolés et colmatés, et dans quelques cuvettes des plaines alluviales. Les milieux humides, à bien protéger car ils sont rares et importants pour la biodiversité et l'épuration des eaux, complètent parfois cette séquence stratigraphique des dépôts du Quaternaire. (Gouvernement du Québec, 2019)

La carte 2 illustre les modes de dépôts de surface sur le territoire du BVBM.



Carte 2 : Dépôts meubles de surface dans le BVBM

3. Pédologie

Les deux sections suivantes décrivent les types et la granulométrie des sols rencontrés localement dans les sous-bassins formant le BVBM.

3.1. Types de sols

La diversité des types de sols rencontrés sur le BVBM est détaillée à la carte 3.

Sous-bassin de la baie Missisquoi

Le pourtour Ouest et Nord de la baie Missisquoi est caractérisé par des sols de l'ordre gleysolique et de l'ordre organique. En effet, on retrouve dans ces secteurs des gleysols humiques orthiques (argile et loam argileux) et de l'humisol terrique (matière organique bien décomposée). (Gagné et al., 2013; Gouvernement du Québec, 2019)

De plus, selon le rapport sur l'état de santé des sols cultivées fait par l'Institut de Recherche et de Développement en Agroenvironnement (IRDA), les terres agricoles dans le sous-bassin de la baie Missisquoi se situent sur des tills loameux-fins et alcalins avec un mauvais drainage naturel (Gasser et al., 2023).

Sous-bassin de la rivière de la Roche

Un croissant de gleysols humique orthique longe les limites Nord-Est du sous-bassin de la rivière de la Roche avec quelques intrusions de podzols. La partie centrale du sous-bassin de la rivière de la Roche est quant à elle dominée par des sols de l'ordre brunisolique, plus précisément, des brunisols dystrique orthique (loam et loam sableux). Finalement, on retrouve dans la pointe Nord et dans le secteur Est des sols de l'ordre dystrique, soit des podzols humo-ferriques orthiques et gleyifiés. (Gagné et al., 2013; Gouvernement du Québec, 2019)

Les sols agricoles de ce sous-bassin ont les mêmes caractéristiques que ceux du sous-bassin de la baie Missisquoi, c'est-à-dire qu'ils se composent de tills loameux-fins et alcalins avec un mauvais drainage naturel (Gasser et al., 2023).

Sous-bassin de la rivière aux Brochets

Le sous-bassin de la rivière aux Brochets est composé majoritairement, sur près de 50 % du territoire, de sol gleysolique (gleysols humiques orthiques) réparti principalement dans la partie Ouest. Suivent ensuite en importance les podzols (podzol ferro-humique orthique, podzol humo-ferrique gleyifié, podzol humo-ferrique orthique) couvrant un peu plus de 20 % du territoire. On note aussi une multitude de sols de l'ordre brunisolique est retrouvé dans l'ensemble du sous-bassin. La partie Sud-Est comprend majoritairement des brunisols dystriques éluviés et des brunisols dystriques éluviés gleyifiés alors que l'on retrouve des brunisols dystriques gleyifiés et des brunisols dystriques orthiques dans la partie Ouest. Finalement, on retrouve quelques secteurs d'humisol, principalement sur les limites Sud du sous-bassin. (Gagné *et al*., 2013; Gouvernement du Québec, 2019)

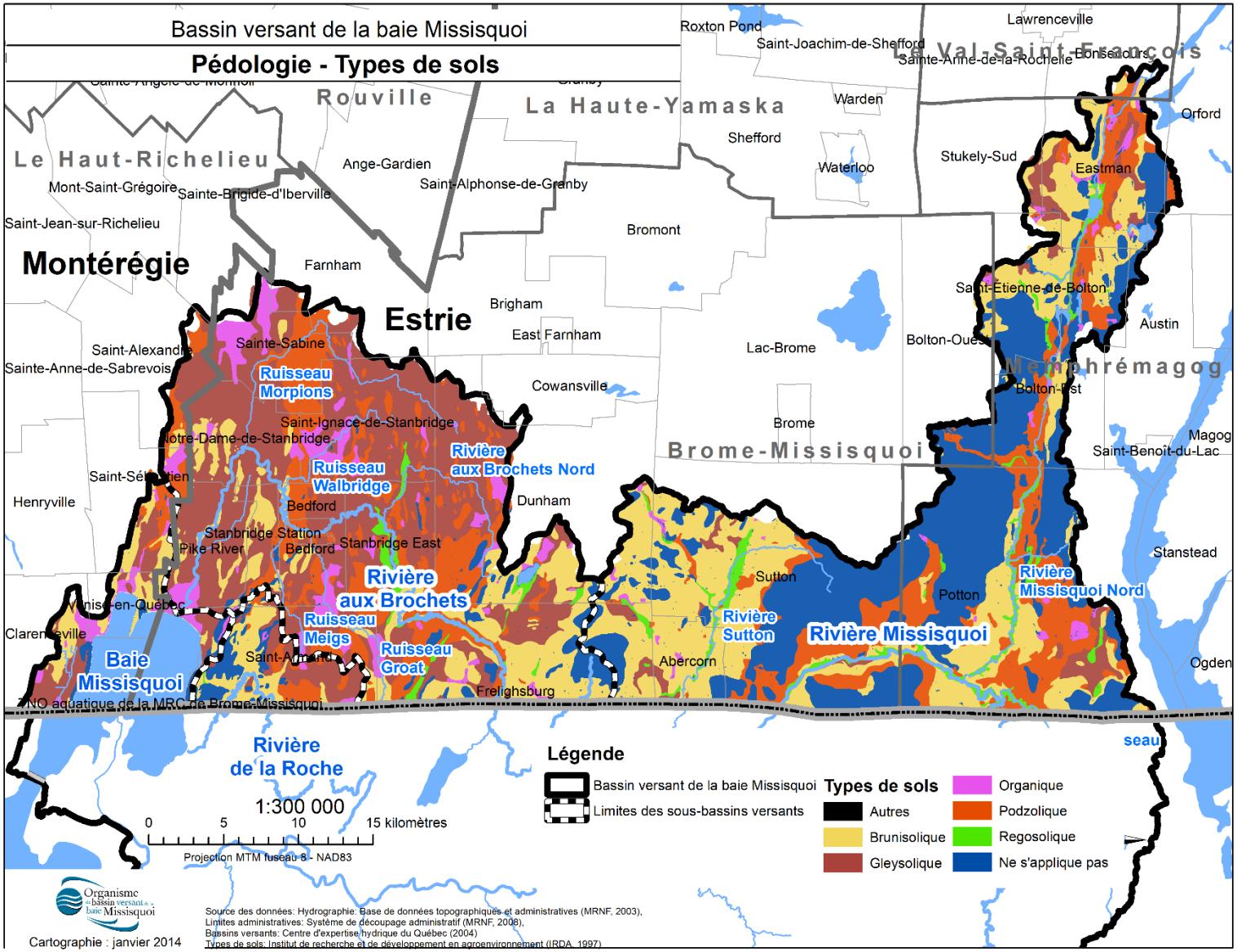
L'étude de Monsieur Marc-Olivier Gasser a déterminé que les terres agricoles dans la partie ouest de ce sous-bassin sont majoritairement composées de tills squelettiques-loameux et acides. La partie plus à l'est de ce sous-bassin a des terres qui sont faites de tills loameux-grossiers à squelettiques-loameux, en plus d'être acides. Ces deux types de sols ont un bon drainage naturel. (Gasser et al., 2023)

Sous-bassin de la rivière Missisquoi

La nature des dépôts de surface dominants du sous-bassin versant de la rivière Missisquoi fait en sorte que les sols sont minces, voire absents, là où le roc affleure. C'est le cas notamment des monts Sutton où les cartes pédologiques ne montrent aucune donnée sur les sols présents. Le reste du bassin versant est dominé par des sols de l'ordre brunisoliques (32,7 %). Les brunisols sont divisés en quatre groupes distincts, soient les brunisols dystriques éluviés (27,3 %), les brunisols dystriques éluviés gleyifiés (1,6 %), les brunisols dystriques gleyifiés (3,4 %) et les brunisols dystriques orthiques (0,4 %). Les brunisols sont principalement retrouvés dans la portion Ouest du bassin versant (sous-bassin versant de la rivière Sutton) et dans la partie Nord. (Gagné et al., 2013; Gouvernement du Québec, 2019)

L'ordre des sols podzoliques suit en importance en recouvrant 18,6 % du territoire du bassin versant et est divisé en deux grands groupes : les podzols ferro-humiques orthiques (3,7 %) et les podzols humo-ferriques orthiques (14,9 %). Les podzols ferro-humiques sont principalement observés dans la partie Nord du bassin versant tandis que les podzols humo-ferriques se retrouvent principalement dans la partie Sud et Sud-Est du bassin versant. (Gagné et al., 2013; Gouvernement du Québec, 2019)

Le rapport de l'IRDA paru en 2023 établit que les terres agricoles du sous-bassin de la rivière Missisquoi sont formées de tills loameux-grossiers à squelettiques-loameux et acides, tout comme la partie est du sous-bassin de la rivière aux Brochets. Ainsi, le drainage naturel est bon dans ce secteur. (Gasser et al., 2023)



Carte 3 : Types de sols du BVBM

3.2. Granulométrie des sols

La diversité de granulométrie des sols rencontrée sur le BVBM est détaillée à la carte 4.

Sous-bassin de la baie Missisquoi

À partir de l'Est, on retrouve en majorité des loams sableux puis graveleux. En périphérie Est de la baie se trouvent des sols rocailleux et accidentés qui s'étirent vers le Nord-Est. Les abords du ruisseau Black, à sa tête, sont bordés de sable et de loams sableux alors que, vers le centre, dominent les argiles bordées de loams argileux. Les loams argileux sont également présents du côté du ruisseau East Swamp. Enfin, les loams graveleux couplés aux milieux humides occupent la périphérie de la baie de Venise-en-Québec tandis que la partie Sud de la baie Missisquoi se trouve en sol de type loam argileux. (Gagné et al., 2013; Gouvernement du Québec, 2019)

Sous-bassin de la rivière de la Roche

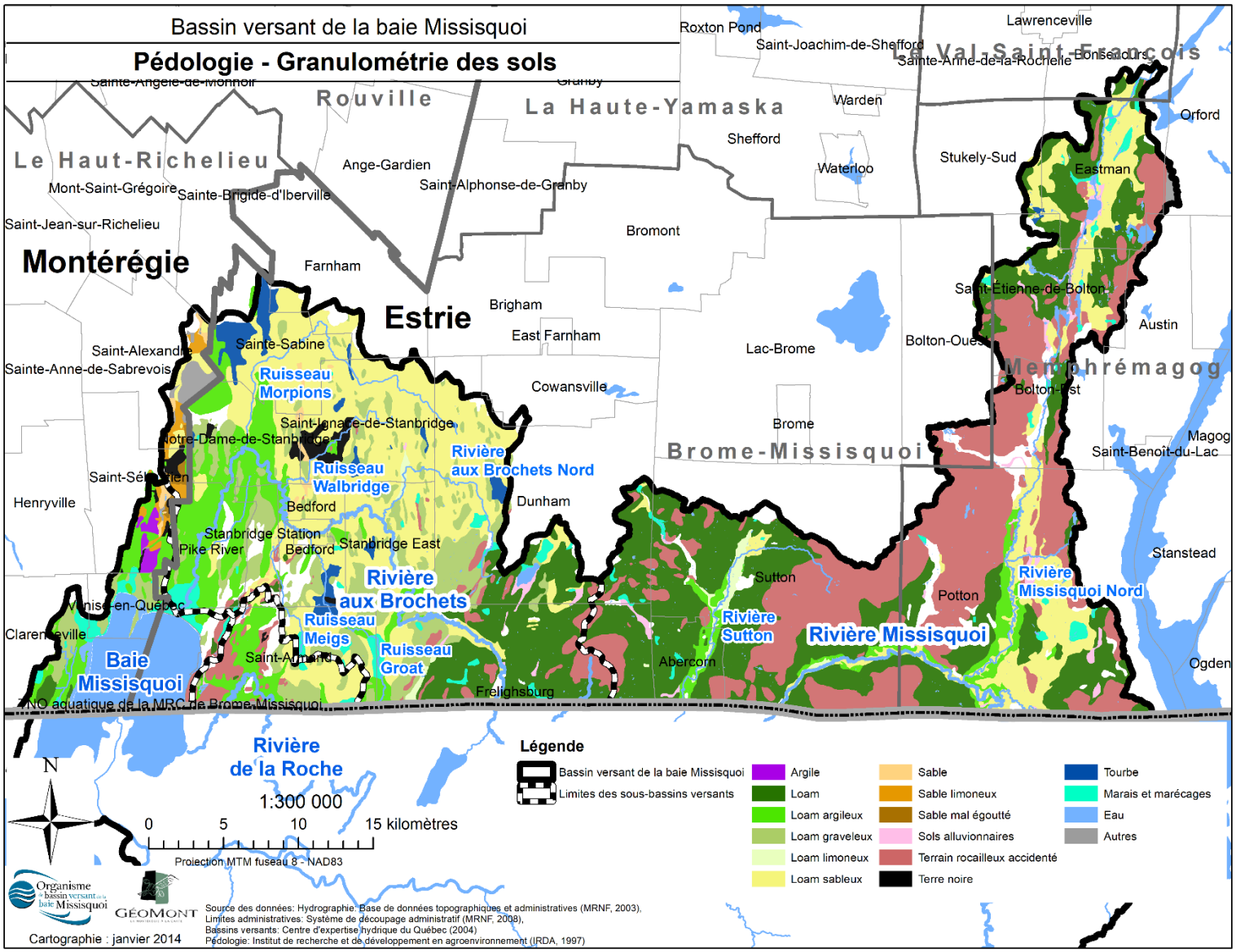
La rivière de la Roche coule dans un loam de type argileux ce qui couvre la majorité du sous-bassin. Cette masse de sol de type loam argileux s'étend du Nord au Sud du sous-bassin en son centre. Sa portion Ouest est surtout couverte de terrains rocailleux accidentés. Une petite masse de terres noires se trouve au centre du sous-bassin. La portion Est du sous-bassin est couverte en grande partie de loam sableux puis de loam graveleux. (Gagné et al., 2013; Gouvernement du Québec, 2019)

Sous-bassin de la rivière aux Brochets

L'extrême Est du sous-bassin se compose de loams graveleux (Sud-Est) et de loam sableux en se dirigeant davantage vers le Nord (rivière aux Brochets Nord). Le ruisseau Morpions est entouré de loam sableux sur sa plus grande partie alors qu'à l'approche de sa jonction avec la rivière aux Brochets, les loams argileux dominent ses terres situées à l'Ouest. Plus au centre, une forte proportion de terre noire compose les terres adjacentes au ruisseau Walbridge. On retrouve également des sols tourbeux en mi-parcours du ruisseau Groat et au Nord/Nord-Est du ruisseau Morpions. Les loams argileux sont par la suite omniprésents le long de la rivière aux Brochets en parcourant Pike River jusqu'à la jonction du milieu humide de l'embouchure. (Gagné et al., 2013; Gouvernement du Québec, 2019)

Sous-bassin de la rivière Missisquoi

Puisqu'une grande partie du bassin versant de la rivière Missisquoi est occupée par les massifs montagneux, les sols de types rocailleux accidentés dominent son parcours du Nord au Sud. Les loams sableux occupent également ses terres adjacentes, notamment sur son côté Est. On retrouve, plus au Sud, dans le Canton de Potton une zone dominée par les loams sableux et argileux. La partie Ouest du sous-bassin de la rivière Missisquoi se caractérise par la présence de loams sur sa majeure partie alors que les abords de la rivière Sutton présentent des sols loameux et loam limoneux ceinturés de loam. (Gagné et al., 2013; Gouvernement du Québec, 2019)



Carte 4 : Granulométrie des sols

4. Géomorphologie

Le relief du bassin versant de la baie Missisquoi est fortement marqué par la structure des roches déformées principalement lors de l'orogenèse taconique. En effet, ce qui a causé cette phase de construction de la première chaîne de montagnes des Appalaches, qui commence dans les profondeurs de la croûte terrestre vers moins 500-480 millions d'années, c'est le rapprochement des plaques tectoniques. En s'écartant, elles créèrent l'Océan Iapetus pendant plus de 100 millions d'années. Puis, en se rapprochant, elles ont compressé les sédiments et les roches du fond océanique. Il en résulte une chaîne élevée, aux plis serrés et déversés vers le Nord-Ouest d'une part et vers le Sud-Est d'autre part. L'observateur « prudent » est capable de constater le phénomène en suivant l'autoroute 10, particulièrement à partir de la vallée de la Missisquoi Nord (sorties le long de l'autoroute 10). Puis, l'érosion fera son travail lent et bénéfique pour l'observation actuelle des structures géologiques profondes, créant une série de chaînons parallèles tels que nous les voyons aujourd'hui. (Rousselle-Brosseau et al., 2019; OBVBM, 2015)

Les événements du Quaternaire, incluant le modeste façonnement des reliefs par les grands glaciers continentaux, ajoutent une couverture relativement mince de dépôts meubles. Toutefois, leur importance est majeure pour le développement des sols qui supportent la végétation naturelle et l'agriculture. Leur conservation doit être favorisée par tous les moyens possibles. Ne serait-ce que pour ralentir l'engorgement des cours d'eau et l'apport de sédiments dans les lacs et la baie. (Rousselle-Brosseau et al., 2019)

Bien sûr, les millions d'années d'action des agents naturels de l'érosion ont taillé de profondes et larges vallées. L'une d'elles est suivie par la rivière Sutton : la coïncidence d'une déformation des roches en un grand plissement synclinal (couches plissées comme le fond d'une barque) et la forme creusée par l'érosion font de cette vallée un bel exemple de val (Prichonnet et al., 1982). La vallée, sise à environ 150 m près d'Abercorn, est ainsi dominée à l'Ouest par la chaîne du Pinacle – culminant à 710 m, et à l'Est par les monts Sutton – culminant à 960 m. (Rousselle-Brosseau et al., 2019)

Plus à l'Ouest, le long du tracé de la faille de Logan, les agents d'érosion ont façonné le relief abrupt de la falaise, à l'Est de la baie, à cause de la plus grande résistance des roches calcaires qui affleurent du côté Est de la faille. Près de la frontière avec les États-Unis, ce relief prend la forme d'une paroi verticale qui atteint plus de 60 mètres de haut. La fracture sépare bien les basses terres des premières petites crêtes rocheuses appalachiennes. (Rousselle-Brosseau et al., 2019)

Les processus fluviaux sont encore actifs le long de la rivière aux Brochets tout particulièrement, mais les dépôts récents de type alluvions n'occupent que de faibles surfaces sur les petites terrasses qui la bordent et le long des zones à méandres en aval de Frelighsburg. Le lit de cette rivière est souvent tapissé de blocs et cailloux, bien visibles durant l'étiage : il s'agit de l'héritage des matériaux grossiers laissés par les glaciers. Leur concentration est souvent remarquable; elle est liée à l'érosion des sédiments fins marins recouvrant le till et de la matrice fine de ce dernier. Les glaces printanières, lors de la débâcle, modifient un peu ce paysage relativement stable depuis environ 5 000 ans, date des premières occupations amérindiennes (Chapdelaine, 1996).

Le relief appalachien peut être considéré comme relativement mature, mais le réseau hydrographique est encore en évolution et le sera pour longtemps puisqu'il coule essentiellement sur des dépôts récents, meubles et facilement érodés. Les méandres sont encore jeunes et pas toujours encaissés dans des terrasses assez larges, d'où l'attaque prononcée des terres en bordure, dans les rives concaves partout le long de la rivière aux Brochets. (Lussier et al., 2003; CBVBM, 2002)

Même les bordures externes des talus des terrasses principales peuvent être affectées par les hautes eaux printanières et dans certains secteurs le long du cours d'eau, on peut s'attendre à des rectifications de ces talus si les conditions dynamiques extrêmes s'installent suffisamment longtemps comme les crues de fonte de neige et les périodes de pluies intenses, surtout en prévision des changements climatiques. (Lussier et al., 2003; CBVBM, 2002)

Quant à la rivière Missisquoi, elle constitue un cas particulier dans le bassin versant de par ses contextes géologiques et géomorphologiques qui font que ses berges sont très vulnérables à l'érosion et présentent beaucoup de méandres actifs (Lussier et al., 2003; CBVBM, 2002).

5. Topographie et pentes du territoire

Du point de vue de la topographie, on peut subdiviser le territoire du bassin versant en deux parties qui possèdent des caractéristiques très différentes. À l'Est, la portion québécoise du sous-bassin versant de la rivière Missisquoi est une région montagneuse et forestière. Dans la partie Ouest, qui inclut les sous-bassins des rivières aux Brochets et de la Roche, on retrouve plutôt une plaine agricole qui s'étend jusqu'à la baie Missisquoi, la plaine argileuse de la mer de Champlain. La topographie du bassin versant de la baie Missisquoi est effectivement très variable, passant de 30 mètres d'altitude à la baie Missisquoi à environ 960 mètres dans les monts Sutton. Globalement, l'altitude augmente de l'Ouest vers l'Est, c'est-à-dire des Basses-terres du Saint-Laurent vers les Appalaches. L'étude de la topographie comprend également l'étude des pentes. Les pentes influencent grandement la vitesse d'écoulement des eaux. De fortes pentes jumelées à des précipitations fréquentes et intenses auront un effet sur le débit d'eau ainsi que sur l'augmentation de l'érosion des rives et des sols dénudés de leur végétation. (Rousselle-Brosseau *et al.*, 2019; Gouvernement du Québec, 2019)

Tel qu'expliqué précédemment par l'étude de la géologie et de la géomorphologie du secteur, les fortes pentes se retrouvent principalement dans le secteur appalachien du bassin versant, dans le sous-bassin versant de la rivière Missisquoi, là où l'on retrouve les successions de crêtes formant entre autres les monts Sutton. (Rousselle-Brosseau *et al.*, 2019; Gouvernement du Québec, 2019)

Sous-bassin de la baie Missisquoi

L'élévation du sous-bassin de la baie Missisquoi est relativement faible variant généralement entre 30 et 50 mètres au-dessus du niveau de la mer, et ce, pour les parties Ouest et Nord de la baie Missisquoi. Cette partie présente donc un relief assez plat où les pentes sont inférieures à 1 %. On retrouve une plus forte élévation sur les rives Est de la baie (Faille de Logan) où l'altitude atteint 70 mètres à 80 mètres, engendrant ainsi des pentes de plus de 10 % par endroits. (Rousselle-Brosseau *et al.*, 2019; Gouvernement du Québec, 2019)

Sous-bassin de la rivière de la Roche

Plus à l'Est, dans le sous-bassin de la rivière de la Roche, l'altitude continue de monter graduellement pour atteindre un peu plus de 120 mètres à l'extrémité Est de ce sous-bassin. Dans l'ensemble, les pentes sont encore faibles sur la majorité du territoire. Cependant, on retrouve dans la partie Sud et Ouest du territoire (rive Est de la baie Missisquoi) des pentes modérées à fortes allant de 15 à 30 % par endroits. (Rousselle-Brosseau *et al.*, 2019; Gouvernement du Québec, 2019)

Sous-bassin de la rivière aux Brochets

Pour le sous-bassin de la rivière aux Brochets, on remarque une gradation d'Ouest en Est de l'élévation du terrain. La première moitié du territoire comprend majoritairement des élévations se situant entre 30 et 100 mètres présentant des pentes très faibles. L'augmentation de l'altitude s'accélère dans la partie

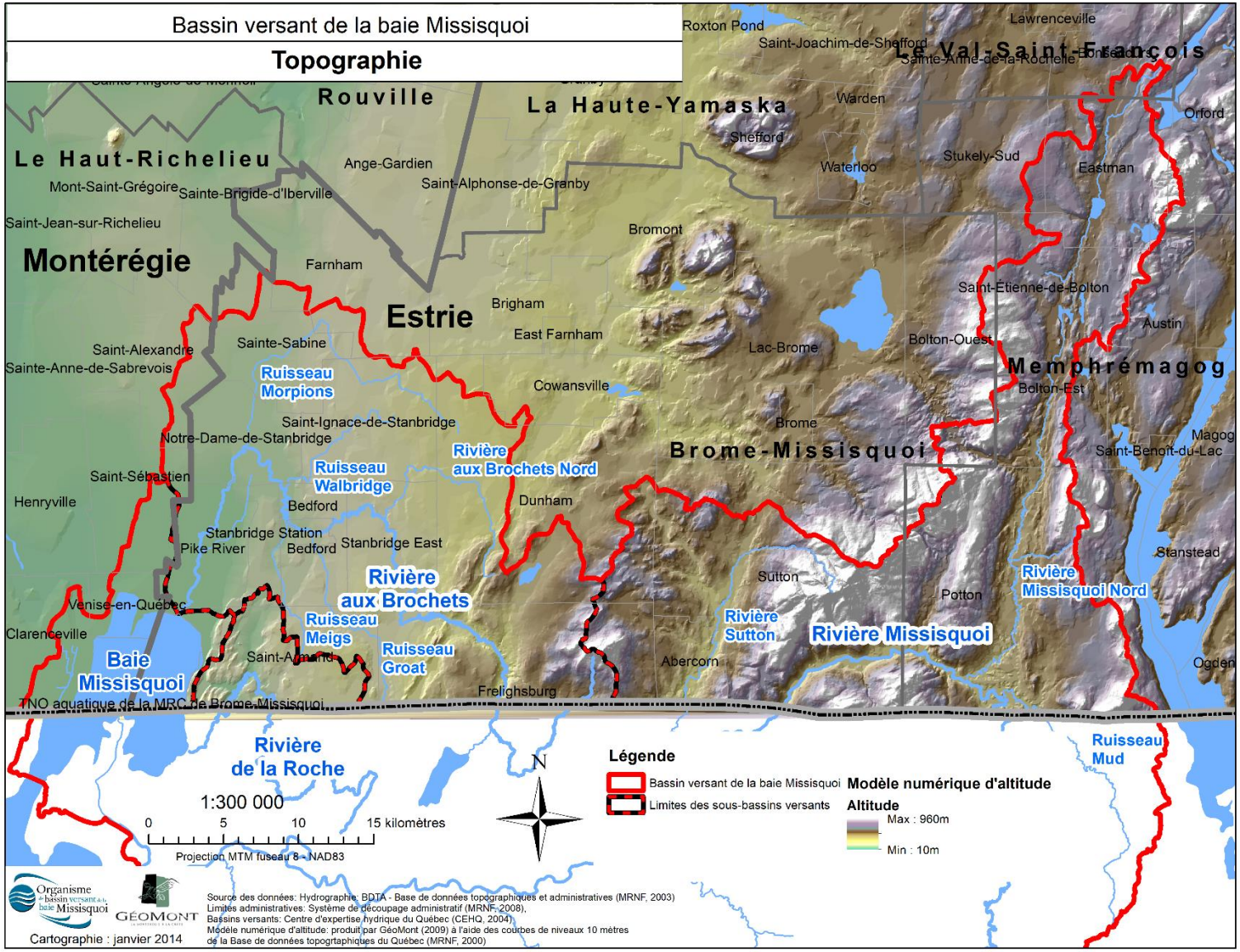
Est pour atteindre près de 700 mètres au sommet du mont Pinacle. La partie Sud-Est de la région est d'ailleurs celle qui montre les pentes les plus fortes. (Rousselle-Brosseau *et al.*, 2019; Gouvernement du Québec, 2019)

Sous-bassin de la rivière Missisquoi

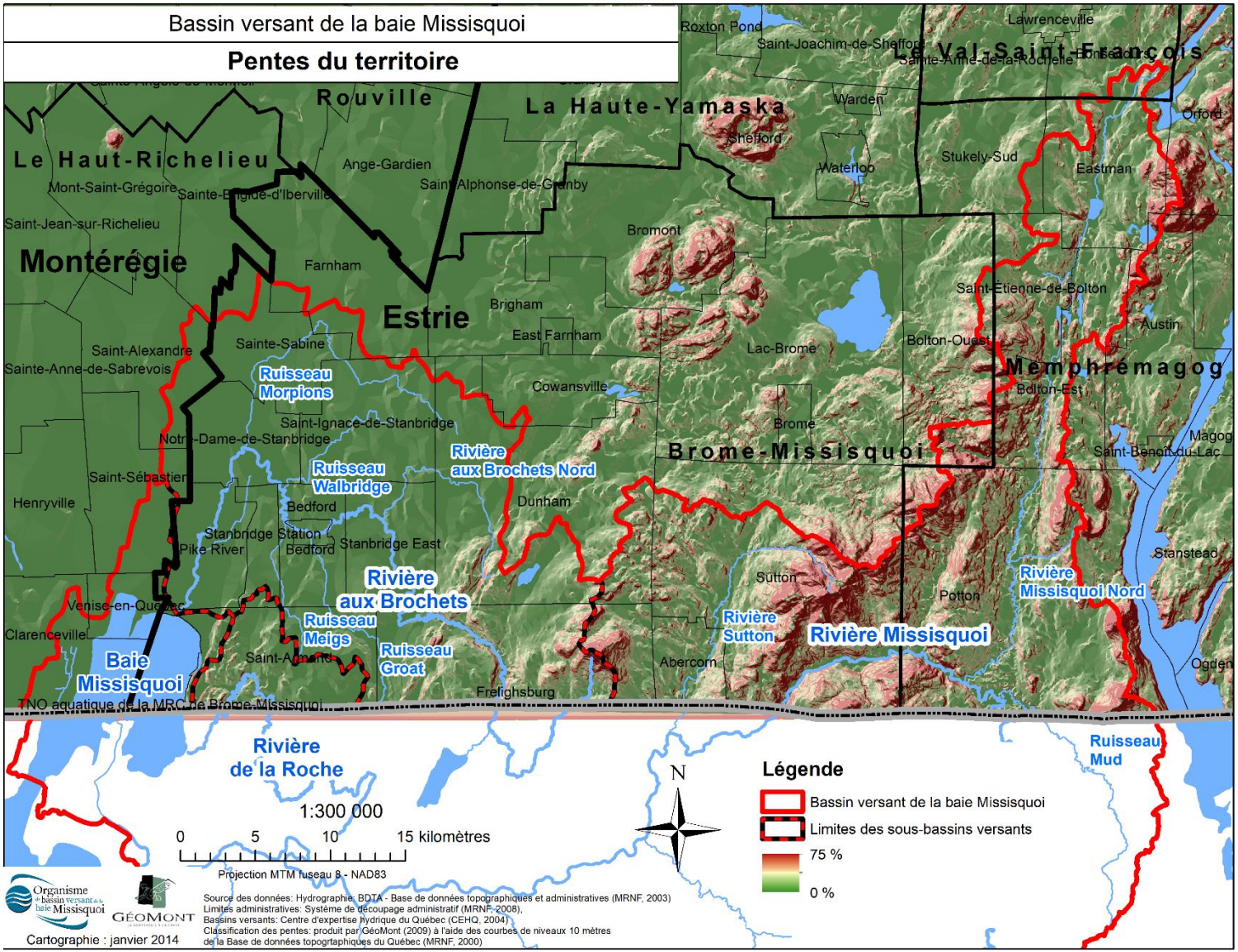
Le sous-bassin versant de la rivière Missisquoi arbore un relief accidenté dont l'altitude varie de 133 mètres à 962 mètres. Le point le plus bas se situe à quelques kilomètres au Sud d'Abercorn, au croisement de la rivière Sutton avec la frontière canado-étasunienne. À partir de ce point, l'altitude remonte graduellement vers le Nord-Est pour atteindre plus de 900 mètres dans le massif des monts Sutton. Ce massif, situé dans le centre du bassin versant, est le prolongement des montagnes Vertes du Vermont (États-Unis). Le sommet Rond, qui culmine à 962 mètres, est le plus haut sommet de ce massif et également de l'ensemble du bassin versant. (Rousselle-Brosseau *et al.*, 2019; Gouvernement du Québec, 2019)

Outre le massif des monts Sutton, plusieurs autres monts d'importance ceinturent les limites du bassin versant. Mentionnons notamment le mont Orford (850 m) situé au Nord-Est, le mont Owl's Head (750 m) à l'Est, le mont Pinacle (712 m) à l'Ouest et le mont Brock (678 m) au Sud. (Rousselle-Brosseau *et al.*, 2019; Gouvernement du Québec, 2019)

La carte 5 présente la topographie du territoire alors que la carte 6 illustre les pentes résultantes sur le territoire du bassin versant.



Carte 5 : Topographie du territoire



Carte 6 : Pentes du territoire

Références

Acquin, M.-C. (2002). Géologie du secteur de la baie Missisquoi – Aménagement des paysages, économie et environnement. UQAM, Département des sciences de la terre et de l'atmosphère.

Castonguay, S, Tremblay, A. et D. Lavoie, D. (2000). Compilation géologique, Montréal-Mégantic, Section appalachienne : les Ponts Géologiques de l'Est du Canada, Transect 1, Québec; Commission géologique du Canada, Dossier Public 3872 (A,B). Affiche.

Charbonneau, J.-M. (1980). Région de Sutton (W). Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec. DPV. 681. 89 p. Carte annexée.

Gagné, G., Beaudin, I., Leblanc, M., Drouin, A., Veilleux, G., Sylvain, J. D. et Michaud, A. (2013) Classement des séries des sols minéraux du Québec selon les groupes hydrologiques. Rapport final. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), Québec, Canada, 81 p. https://irda.blob.core.windows.net/media/2133/gagne-et-al-2013_rapport_classement_sols_mineraux_groupes_hydro.pdf

Gasser, M.-O., Bossé C., Clément, C.C., Bernard, C., Grenon., L., Mathieu, J.-B., Tremblay, M.-E. (2023). Rapport 1 de l'Étude sur l'état de santé des sols agricoles du Québec : État de santé des principales séries de sols cultivées. Rapport final présenté au ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ). IRDA. 190 pages. https://irda.blob.core.windows.net/media/8200/eessaq-rapport-1-final-juin2023.pdf

Gauthier, M. (1986). Synthèse métallogénique de l'Estrie et de la Beauce (Secteur Sud). Rapport intérimaire. Université du Québec à Montréal. https://gq.mines.gouv.qc.ca/documents/examine/MB8646/MB8646.pdf

Globensky, Y. (1981). Régions de Lacolle, Saint-Jean(S) - R. G. 197. Min. de l'Énergie et des Ressources. 210 p.

Globensky, Y. (1985). Géologie des Basses Terres du saint-Laurent. Min. de l'Énergie et des Ressources du Québec, Québec. MM 85-02. carte géologique 1999.

Globensky, Y. (1993). Lexique stratigraphique canadien – Volume V-B Région des Appalaches, des Basses-terres du Saint-Laurent et des îles de la Madeleine. Ministère de l'Énergie et des Ressources, 327p. DV 91-23. https://gq.mines.gouv.qc.ca/documents/examine/DV9123/DV9123.pdf

Gouvernement du Québec. (2019). Forêt Ouverte. https://www.foretouverte.gouv.qc.ca/?context=_telechargement&zoom=6&center=-72.29688,59.21013&invisiblelayers=*&visiblelayers=634387214b14c87b4f78d72d2717829f,1da64ddfeaf23710b8a9ad95133fb5d8

Hocq, M. et Dubé, C. (1994). Géologie du Québec. Les Publications du Québec, 153 p. https://gq.mines.gouv.qc.ca/documents/EXAMINE/MM9401/MM9401.pdf

Hofmann, H. (1972). Stratigraphie de la région de Montréal. Excursion B.03, 24è Congrès géologique international, Montréal, Québec, 34 p.

Le parc national de Miguasha. (2007). La fermeture d'un océan. https://www.miguasha.ca/mig-fr/la_fermeture_dun_ocean.php

Marquis, R. et Kumarapeli, P.S. (1993). An Early cambrian deltaic-fluvial model for an Iapetan rift-arm drainage system, southeastern Québec. Revue canadienne des Sciences de la Terre, 30 (6) : 154-1261.

Ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF). (2021). Provinces géologiques - Carte interactive. https://sigeom.mines.gouv.qc.ca/signet/classes/I1108_afchCarteIntr

Occhietti, S., Chartier, H. M., Hillaire-Marcel, C., Cournoyer, M., Cumbaa, S. L. et Harington, R. (2001). Paléoenvironnements de la mer de Champlain dans la région de Québec, entre 11 300 et 9750 bp : le site de Saint-Nicolas. Géographie physique et Quaternaire, 55(1), 23–46. https://doi.org/10.7202/005660ar

Organisme de Bassin Versant de la Baie Missisquoi (OBVBM). (2015). Plan directeur de l'eau du Bassin Versant de la Baie Missisquoi: Portrait 2015 https://obvbm.org/wp-content/uploads/2021/05/portrait_2015.pdf

Prichonnet, G., Doiron, A., et Cloutier, M. (1982). Le mode de retrait tardiwisconsinien de la bordure appalachienne au Sud du Québec. Géographie physique et Quaternaire. Vol. XXXVI (1-2), p. 125-137.

Prichonnet, G. (2010). Histoire de l'Océan Iapetus. De la baie Missisquoi au lac d'Argent, Sud du Québec. 3 octobre 2010. Sortie de terrain « Géologue d'un jour » - Cœur des Sciences, UQAM; et Geoterap; 8 p.

Richard, P. (1978). Histoire tardiglaciaire et postglaciaire de la végétation au mont Shefford, Québec. Géographie physique et Quaternaire, 32(1), 81–93. https://doi.org/10.7202/1000290a

White, A. (2003). Caractérisation des sédiments quaternaires de la baie Missisquoi et de la rivière aux Brochets. UQAM, Département des sciences de la terre et de l'atmosphère.