UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

# GÉOMORPHOLOGIE QUATERNAIRE DE LA RÉGION DE RAWDON/SAINT-GABRIEL-DE-BRANDON (QUÉBEC) : CARTOGRAPHIE, ÉCOULEMENTS GLACIAIRES ET PALÉOGÉOGRAPHIE DE LA DÉGLACIATION

MÉMOIRE PRÉSENTÉ COMME EXIGENCE PARTIELLE DE LA MAÎTRISE EN GÉOGRAPHIE

PAR

CAROLE-ANNE KENNY

OCTOBRE 2021

#### UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL Service des bibliothèques

#### Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.10-2015). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

#### REMERCIEMENTS

Je n'aurais pu accomplir ce mémoire sans les conseils et l'appui de mon directeur, Robert-André Daigneault. Je tiens à le remercier, d'abord d'avoir accepté de me diriger, mais surtout pour la confiance qu'il a su m'accorder dès les premiers instants. Sa rigueur, sa pédagogie, sa patience et sa disponibilité ont fortement contribué à l'aboutissement de ce projet. Je lui suis extrêmement reconnaissante.

Je souhaite également témoigner ma gratitude envers Mario Bédard, Jacques Schroeder et Olivier Caron, professeurs-chercheurs au Département de géographie de l'UQAM, qui ont été de précieuses ressources au cours de mes études au deuxième cycle.

Pour leur aide lors de la campagne de terrain, je désire remercier Claude, Alexis, Hugo, Alexandra, Claudie, ainsi que Sylvain Milette, animateur pédagogique à la Faculté des sciences et François Hardy, professionnel au Département des SCTA.

Pour la patience dont ils ont fait preuve face à mes nombreuses questions, je souhaite remercier le personnel professionnel du Département de géographie de l'UQAM.

Un merci tout spécial à mes « géocollègues » Caroline, Jessica, Mylène, Mathieu, Guillaume, Élie, Alexis et Alexandra pour leur énergie contagieuse et pour les nombreux moments mémorables.

Enfin, je remercie chaleureusement mes parents et mes ami-e-s légendaires qui m'ont encouragé à persévérer et qui m'ont offert écoute et confort lors de moments plus difficiles. Vous êtes exceptionnels.

#### AVANT-PROPOS

Entre 2008 et 2015, par les Projets d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES), le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) a mandaté diverses équipes de recherche afin d'approfondir les connaissances sur les eaux souterraines des zones habitées du Québec. Ainsi, les régions de la Mauricie, Bécancour, Saguenay-Lac-Saint-Jean, Abitibi-Témiscamingue, Montérégie-Est, Outaouais, la Communauté métropolitaine de Québec, Bas-Saint-Laurent, Vaudreuil-Soulanges, Chaudière-Appalaches, Nicolet-Saint-François et Charlevoix-Haute-Côte-Nord ont fait l'objet d'études (MELCC, 2018).

Dans le cadre de la Stratégie québécoise de l'eau 2018-2030, qui prend le relais de la Politique nationale de l'eau, le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) a relancé les PACES afin de compléter la couverture des zones habitées du territoire québécois (MELCC, 2018). Le Département de géographie et le Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère de l'Université du Québec à Montréal (UQAM) ont ainsi été conjointement mandatés pour recueillir des données et produire en partie ou en totalité une vingtaine de cartes des formations superficielles des régions de Lanaudière et des Laurentides (Hardy et *al.*, 2018). Ce mémoire utilise en partie les données obtenues lors de la première campagne de terrain et les cartographies des formations superficielles d'un territoire couvert par les feuillets cartographiques 31I/04, 31I/05 31I/06, 31I/11, 31I/12, 31I/13, 31J/09 et 31J/16, réalisés dans le cadre du PACES Laurentides-Lanaudière.

## TABLE DES MATIÈRES

AV	ANT-P	ROPOS	iii
LIS	TE DE	S FIGURES	vii
LIS	TE DE	S TABLEAUX	xii
LIS	TE DES	S ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES	xiii
LIS	TE DES	S SYMBOLES ET DES UNITÉS	XV
RÉS	SUMÉ .		xvi
INT	RODU	CTION	1
CH	APITRI	E I TERRAIN À L'ÉTUDE	3
1.1	Local	lisation	3
1.2	Physi	iographie	5
1.3	Hydr	ographie	7
1.4	Géolo	ogie du substrat rocheux	9
	1.4.1 1.4.2	La Province de Grenville La Plate-forme du Saint-Laurent	9 9
1.5	Trava	aux antérieurs	11
CH	APITRI	E II MÉTHODOLOGIE	
2.1	Photo	p-interprétation préliminaire	
2.2	Camp	pagne de terrain	20
2.3	Com	pilation et traitement de donnée	21
2.4	Carto	graphie des dépôts de surface	22
2.5	Utilis	ation des produits dérivés du LiDAR	22

CHAPIT	RE III L'ÉROSION GLACIAIRE	24
3.1 Ma	croformes	24
3.1.1	Les drumlins rocheux	24
3.2 Mé	soformes	26
3.2.1	Les roches moutonnées	27
3.3 Mie	croformes	30
3.3.1 3.3.2 3.3.3 3.3.4	Les stries Les sillons et rainures Les cannelures Les marques en croissant	31 32 33 34
3.4 Mo	uvements glaciaires	35
CHAPIT DÉPÔTS	RE IV LITHOSTRATIGRAPHIE ET GÉOMORPHOLOGIE DES QUATERNAIRES	37
4.1 Les	sédiments glaciaires (Trm, Tr, Tc, Tm)	40
4.1.1 4.1.2 4.1.3 4.1.4	Le till en couverture continue (Tc) Le till en couverture mince et discontinue (Tm) Le till remanié en couverture continue (Tr) Le till remanié en couverture mince et discontinue (Tr)	42 52 54 55
4.2 Les	sédiments fluvioglaciaires (Go, Gs, Gx et GxT)	56
4.2.1 4.2.2 4.2.3 4.2.4	Les sédiments de la Moraine de Saint-Narcisse (GxT) Les sédiments juxtaglaciaires (Gx) Les sédiments d'épandages proglaciaires subaérien (Go) Les sédiments d'épandages proglaciaires subaquatiques (Gs)	58 60 63 64
4.3 Les	sédiments glaciolacustres (LGa, LGb et LGd)	64
4.3.1 4.3.2 4.3.3	Les sédiments glaciolacustres d'eau profonde (LGa) Les sédiments glaciolacustres prélittoraux et littoraux (LGb) Les sédiments glaciolacustres deltaïques et prodeltaïques (LGd)	66 67 67
4.4 Les	sédiments glaciomarins (MGa, MGb et MGd)	68
4.4.1 4.4.2 4.4.3	Sédiments glaciomarins d'eau profonde (Mga) Sédiments glaciomarins littoraux et prélittoraux (MGb) Sédiments glaciomarins deltaïques et prodeltaïques (MGd)	69 71 73
4.5 Les	sédiments alluviaux	74
4.5.1 4.5.2	Les alluvions actuelles (Ap) Les alluvions de terrasses fluviales (At)	74 76

4.5.3 Les alluvions de terrasses anciennes (Ax)	76
4.6 Les sédiments éoliens (Ed)	77
4.7 Les sédiments organiques (O)	78
CHAPITRE V PALÉOGÉOGRAPHIE QUATERNAIRE	79
5.1 Événements antérieurs à la dernière glaciation	79
5.2 La dernière glaciation	79
5.3 La déglaciation	81
<ul> <li>5.3.1 La déglaciation au sud de la Moraine de Saint-Narcisse</li></ul>	86 88 90
5.4 La période post-glaciaire	91
CONCLUSION	92
ANNEXE A CARTOGRAPHIE DES FORMATIONS SUPERFICIELLES DE LA RÉGION DE SAINT-GABRIEL-DE-BRANDON (311/06-O)	<b>x</b> 94
ANNEXE B LOCALISATION DES SITES AYANT FAIT L'OBJET DE RELEV LORS DE LA CAMPAGNE DE TERRAIN	É 96
BIBLIOGRAPHIE	98

## LISTE DES FIGURES

## Figure

## Page

1.1	Localisation du territoire étudié dans le cadre du PACES Laurentides- Lanaudière (en jaune), de la région où la cartographie des formations superficielles a été effectuée en 2017-2018 (périmètre en noir), de la région visée par le présent mémoire (hachuré) et de la carte des dépôts superficiels réalisée par l'auteure (périmètre rouge ; voir annexe A)	4
1.2	Physiographie de la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon	6
1.3	Bassins hydrographique de la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de- Brandon. Modifié du Centre d'expertise hydrique du Québec, 2017	8
1.4	Géologie du substrat rocheux. Modifié de Thériault et Beauséjour, 2012	10
2.1	Couverture des lignes de vols et numéro des photos aériennes utilisées dans le cadre de la photo-interprétation préliminaire en préparation à la campagne de terrain 2017-2018 et pour la création du projet <i>Summit</i>	19
3.1	Diagramme illustrant l'orientation des macroformes d'érosion (8 sites)	25
3.2	Drumlins rocheux identifiées à l'aide du modèle d'ombrage LiDAR, orientés NNO-SSE (région de Saint-Gabriel-de-Brandon).	26
3.3	Diagramme illustrant l'orientation des mésoformes d'érosion (4 sites)	27
3.4	Roche moutonnée (A en coupe et C vue du nord-ouest) avec surface de débitage orientée vers le sud. Les stries (B) présentes sur la face amont glaciaire sont orientées vers le sud-est (170°) (Sainte-Émilie-de-l'Énergie, site CK070817003)	28

3.5	Roche moutonnée (A) avec surface de débitage orienté vers le S (B et D).Les stries (C) sont orientées vers le SE (170°) (Saint-Alphonse-Rodriguez,site 020)		
3.6	Diagramme illustrant l'orientation des microformes d'érosion (31 sites)	30	
3.7	À gauche de la troncature, les stries sont orientées vers le SE (154°). À droite, les stries sont orientés vers le S (188°) (Sainte-Émilie-de-l'Énergie, site AR090817029)		
3.8	Sillons et rainures orientés 342°-162° (Saint-Jean-de-Matha, site HR250817056)	32	
3.9	Cannelures, sillons et stries orientés 342°-162° (Saint-Jean-de-Matha, site HR250817056).	33	
3.10	Train de broutures concaves (Sainte-Émilie-de-l'Énergie, site AR090817030)	34	
3.11	Répartition spatiale des marques d'érosion glaciaire de la région étudiée	36	
4.1	Unités lithostratigraphiques quaternaires observés dans la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon	39	
4.2	Répartition spatiale des formes et des dépôts glaciaires. Aux fins cartographiques, les tills remaniés (Tr et Trm) ont été regroupés dans les sédiments glaciaires (Tc ou Tm) selon leur épaisseur	41	
4.3	Vue rapprochée d'une coupe de till compact et fissile localisée en périphérie de Saint-Didace (site AR240717007)	43	
4.4	Diagramme illustrant l'orientation des drumlins (58 sites)	44	
4.5	Coupe de 6 m à l'intérieur d'un drumlin (A). Il présente une structure compacte et fissile (B) et il est orienté vers le SE (C). Le drumlin est localisé dans la région de Saint-Gabriel-de-Brandon, au sud de la Moraine de Saint-Narcisse (site AR250717039)	45	
4.6	Diagramme illustrant l'orientation des drumlinoides (125 sites)	46	

4.7	Nappe de till fuselé à l'ouest du lac des Iles (Saint-Zénon)47		
4.8	Formes profilées et traineés de till (pre-crags) orientées NNO-SSE, localisées au sud-est du lac Mandeville	48	
4.9	Diagramme illustrant l'orientation des trainées morainiques (24 sites)	49	
4.10	Crêtes morainiques majeures, mineures, moraines de De Geer et formes fuselées (drumlins), dans la région de Saint-Gabriel-de-Brandon et de Saint-Didace. En bleu, la zone potentiellement envahie par la Mer de Champlain selon une limite marine établie à 233 m à l'ensemble de la région	51	
4.11	Till en couverture mince et discontinue (site CK200717037)	52	
4.12	Till d'ablation et bloc métrique (Mandeville)	53	
4.13	Till délavé (en vert) présentant des moraines mineures et des drumlins; région de Saint-Ambroise-de-Kildare	55	
4.14	Répartition spatiale des formes et des dépôts fluvioglaciaires	57	
4.15	Coupe transversale de la Moraine de Saint-Narcisse à Saint-Gabriel-de- Brandon. Tiré du livret-guide d'excursion Aspects du Quaternaire dans la région de Joliette de Denis et Prichonnet (1973)	59	
4.16	Delta-kame de plus de 28 m d'hauteur présentant une structure en stratification oblique plane, nord du lac Maskinongé (Saint-Gabriel-de-Brandon, site CK260717028).	61	
4.17	Coupe de 19 m à l'intérieur du delta-kame situé au sud-ouest du lac Maskinongé (Saint-Gabriel-de-Brandon, site AR270717047) (A) et vue rapprochée du lit sommital (B). L'altitude de ce delta associé à la Moraine de Saint-Narcisse varie entre 205 m et 213 m, indiquant l'altitude de la Mer de Champlain lors de la formation de la moraine (voir chapitre 5). La section est du delta est présentement exploitée par Lafarge Canada Inc	62	
4.18	Dépôts d'épandages subaériens (site HR240817054)	63	

4.19	Répartition spatiale des lacs proglaciaires recensés dans la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon	65
4.20	Rythmites sablo-silteuses localisées à 1,7 km au nord de la Moraine de Saint-Narcisse (site AR110817055). Ce faciès a été identifié dans la région de Saint-Côme, à 393 m d'altitude	66
4.21	Delta glaciolacustre localisé à 313 m d'altitude (Saint-Émilie-de-l'Énergie, site HR240817060)	68
4.22	Répartition spatiale des formes et des sédiments glaciomarins	70
4.23	Coupe montrant des sédiments prélittoraux (A) composés de lits de silt et sable très fins recouvrant des sédiments massifs d'eau profonde (B) de couleur gris-bleu (région de Saint-Didace; site AR260717043; altitude 153 m)	72
4.24	Delta glaciomarin localisé à 236 m d'altitude (Sainte-Béatrix, site CK210717053)	73
4.25	Répartition spatiale des formes et dépôts alluviaux	75
4.26	Coupe de 12 m dans les sédiments de la plaine alluviale du lac Maskinongé	76
4.27	Dépôts glaciomarins littoraux et prélittoraux surplombé par des sédiments éoliens	78
5.1	Diagramme illustrant l'orientation des 131 indicateurs de mouvements recensés	81
5.2	Isochrones illustrant la déglaciation de la Nouvelle-Angleterre et du sud du Québec (Dalton et <i>al</i> , 2020). Modifié des travaux de Dalton et <i>al</i> . (2020), qui ont effectué une mise à jour de la chronologie des marges glaciaires à partir de datation <sup>14</sup> C. : le point rouge localise la région à l'étude, les cercles blancs constituent des datations <sup>14</sup> C incluses dans les travaux de Dyke et <i>al</i> . (2003), alors que le symbole (+) de couleur orange constitue de nouvelles datations <sup>14</sup> C recensés entre 2003 et 2018 par divers chercheurs.	83

5.3	Compilations de datations <sup>14</sup> C réalisés par divers chercheurs en périphérie de la région à l'étude et positions de marge glaciaire suggérés par Dyke et <i>al.</i> (2003; en rouge), et Dalton et <i>al.</i> (2020; en noir)	84
5.4	Éléments géomorphologiques de la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de- Brandon et positions suggérées de la marge glaciaire lors de la déglaciation	85
5.5	Répartition spatiale de moraines mineures et de De Geer et estimation du taux de recul annuel (est du lac Maskinongé)	89

## LISTE DES TABLEAUX

Table	eau	Page
1.1	Superficie des bassins versants de la région à l'étude. Modifié du centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), 2017	7
4.1	Formations quaternaires de la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de- Brandon.	38

## LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

AMCG	Anorthosite-Mangérite-Charnockite-Granite	
BDTQ	Base de données topographiques du Québec	
BP	Before present	
BTSL	Basses-Terres du Saint-Laurent	
CEHQ	Centre d'expertise hydrique du Québec	
GPS	Global Positioning System	
LiDAR	Light detection and Ranging	
MELCC	Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques	
MDDEP	Ministère du Développement durable, Environnement et Parcs	
MERN	Ministère de l'Énergie et des ressources naturelles	
MNT	Modèle numérique de terrain	
MRC	Municipalité régionale de comté	
PACES	Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines	
SIG	Système d'information géographique	

SIGEOM	Système d'information géominière
SIH	Système d'information hydrogéologique
SNRC	Système national de référence cartographique
UQAM	Université du Québec à Montréal

## LISTE DES SYMBOLES ET DES UNITÉS

- cm Centimètre
- ka Milliers d'années
- km Kilomètre
- m Mètre

### RÉSUMÉ

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre du Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES) Laurentides-Lanaudière, administré par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). Dans ce contexte, une cartographie des formations superficielles couvrant un territoire d'approximativement 14,5 feuillets à l'échelle du 1 : 50 000 des régions des Laurentides et de Lanaudière ont notamment été réalisées.

L'objectif principal de ce mémoire consiste à approfondir les connaissances sur la paléogéographie quaternaire de la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon (feuillets 311/04, 311/05 et 311/06-O), par l'analyse et l'interprétation des relevés réalisés lors de la campagne de terrain, de la cartographie des formations superficielles et de la photo-interprétation du modèle d'ombrage LiDAR.

L'orientation des marques d'érosion et des formes d'accumulation glaciaire indique trois mouvements glaciaires régionaux : SSE, SE, et S. Les mouvements SSE et SE, représentés par plus de 90% des indicateurs de mouvement, sont attribués au pléniglaciaire. Dans la région d'étude, la déglaciation a été marquée par la mise en place de la Moraine de Saint-Narcisse, qui témoigne d'une oscillation de la marge glaciaire vers 10,8 ka 14C BP (Occhietti, 2007) et par l'invasion marine dans la partie sud du territoire. La Moraine de Saint-Narcisse forme un complexe d'orientation OSO-ENE, qui s'étend sur 60 km de longueur et varie entre 3 m et 22 m de largeur, entre les municipalités de Saint-Didace et de Notre-Dame-de-la-Merci. Ce complexe est composé de 3 crêtes principales entres lesquelles on observe des moraines mineures qui pourraient être annuelles. L'orientation et la répartition spatiale des formes et des dépôts juxtaglaciaires (deltas, épandages sous-aquatiques, chenaux) au sud et au nord de ce complexe nous permet de proposer un modèle de déglaciation régional où 6 fronts glaciaires pré-Saint-Narcisse et 4 fronts post-Saint-Narcisse sont identifiés. Au sud de la Moraine de Saint-Narcisse, la Mer de Champlain a talonnné le retrait de la marge glaciaire : l'altitude maximale de la mer aurait atteint 238 m. Au nord de la Moraine de Saint-Narcisse, des deltas glaciolacustres témoignent de l'existence d'au moins 4 lacs glaciaires qui auraient été retenus par des barrages morainiques.

Mots clés : Géomorphologie glaciaire, cartographie des formations superficielles, paléogéographie, Moraine de Saint-Narcisse, Mer de Champlain, LiDAR.

#### INTRODUCTION

Le Quaternaire est une période géologique marquée par d'importantes oscillations climatiques (Dawson, 1992). Les températures plus froides lors de cycles glaciaires ont eu pour conséquence la formation d'inlandsis sur le territoire nord-américain (Occhietti, 1987). Au Québec, le passage de l'Inlandsis laurentidien, lors de la glaciation wisconsinienne, a nettement contribué au façonnement du paysage, laissant derrière lui de nombreuses marques d'érosion et un cortège de sédiments qui permettent de reconstituer l'histoire glaciaire et postglaciaire.

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre des Projets d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES) du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). Ces projets, réalisés dans diverses zones habitées du Québec, ont pour mandats d'acquérir plus d'informations sur l'eau souterraine pour la protéger et en assurer sa pérennité (MELCC, 2019). Afin de générer des connaissances sur les ressources aquifères, il importe de produire des cartes de la géologie du Quaternaire présentant la distribution spatiale des grands ensembles de sédiments meubles. Ainsi, les départements de géographie et des sciences de la Terre et de l'atmosphère de l'Université du Québec à Montréal (UQAM) ont été mandatés au printemps 2017 afin de produire les cartes des formations superficielles d'un territoire couvert par les feuillets cartographiques 31I/04, 31I/05 31I/06, 31I/11, 31I/12, 31I/13, 31J/09 et 31J/16 (voir section 1.1) situés dans Lanaudière et dans les Laurentides (Hardy et *al.*, 2018).

L'objectif principal de ce mémoire consiste à approfondir les connaissances sur la paléogéographie quaternaire, et principalement de la déglaciation, de la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon. Cette région a été choisie puisqu'on y retrouve d'importants vestiges sédimentaires associés à la Moraine de Saint-Narcisse et à l'invasion par la Mer de Champlain : tous deux des événements marquants de la déglaciation du sud du Québec (Prichonnet, 1977; Occhietti, 2007).

Afin de répondre à l'objectif de ce mémoire, quatre buts secondaires ont été poursuivis ; 1) définir les mouvements glaciaires régionaux, 2) caractériser les dépôts superficiels à l'échelle du 1 :50 000 des feuillets 31I/04, 31I/05 et 31I/06-O, 3) préciser le modèle de déglaciation régional et 4) préciser l'altitude et l'étendue de l'invasion marine.

Ce mémoire est divisé en cinq chapitres. Le premier chapitre brosse un portrait du cadre physique du terrain à l'étude et présente une recension des travaux antérieurs. Le second chapitre traite de la méthodologie utilisée afin de réaliser cette recherche. Le troisième chapitre porte sur l'érosion glaciaire, et le quatrième chapitre sur la lithostratigraphie des dépôts quaternaires. Le cinquième et dernier chapitre présente une reconstitution de la paléogéographie quaternaire de la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon, en insistant sur la déglaciation et sur le mode de mise en place de la Moraine Saint-Narcisse et de l'invasion par la Mer de Champlain.

#### CHAPITRE I

### TERRAIN À L'ÉTUDE

1.1 Localisation

D'une superficie de 2 380 km<sup>2</sup>, le territoire étudié se situe presque exclusivement dans la région administrative de Lanaudière. Il est localisé entre les latitudes 46°00'00, 46°30'00 N et les longitudes 74°00'00, 73°10'00 O (figure 1.1).

Le territoire est couvert par les feuillets 31I/04, 31I/05 et 31I/06-Ouest au 1 : 50 000 du Système national de références cartographiques du Canada (SNRC). Il comprend en partie les Municipalités régionales de comté (MRC) de Matawinie, des Pays-d'en-Haut, de Montcalm, de Joliette et D'Autray. La limite est du feuillet 31I/06 a d'ailleurs été découpée selon les limites administratives de la MRC d'Autray, représenté par les limites est des municipalités de Mandeville, Saint-Didace et Saint-Barthélemy. Les principales municipalités sont Rawdon et Saint-Gabriel-de-Brandon.

L'accès au territoire s'effectue par les routes 125, 131, 341 et 343 qui parcourent la région selon un axe nord-sud, ainsi que par les routes 347 et 348 traversent la région selon un axe est-ouest (figure 1.1). Le nord du territoire est sillonné par des chemins forestiers, qui permettent notamment l'accès à la réserve faunique Mastigouche.



Figure 1.1 Localisation du territoire étudié dans le cadre du PACES Laurentides-Lanaudière (en jaune), de la région où la cartographie des formations superficielles a été effectuée en 2017-2018 (périmètre en noir), de la région visée par le présent mémoire (hachuré) et de la carte des dépôts superficiells réalisée par l'auteure (périmètre rouge ; voir annexe A).

#### 1.2 Physiographie

Alors que la majorité de la région à l'étude se localise sur les hautes-terres laurentiennes du Bouclier canadien, le secteur sud-est se localise à la limite du contact entre les hautes-terres laurentiennes et les basses-terres du Saint-Laurent (figure 1.2).

Les hautes-terres laurentiennes constituent un plateau qui s'élève vers le nord-ouest, passant d'une altitude de 68 mètres au sud-est des limites de la municipalité de Saint-Liguori à 688 mètres d'altitude près des limites de la municipalité de Saint-Zénon. Ces hauts sommets sont caractérisés par un relief très accidenté et comportent de nombreux escarpements rocheux. Les hautes-terres sont disséquées par les vallées des rivières du Nord, Ouareau, de l'Assomption, et Mastigouche, qui sont généralement rectilignes et orientées nord-ouest/sud-est. La topographie du plateau laurentien est très accidentée et influencée par les structures et les lithologies des roches sous-jacentes.

Le sud-est du territoire étudié se localise dans la région physiographique des bassesterres du Saint-Laurent. La topographie y est généralement très plane et légèrement inclinée vers le fleuve Saint-Laurent. L'altitude varie en moyenne de 56 à 108 mètres au-dessus du niveau moyen de la mer. Ce secteur étant recouvert en grande partie par des dépôts marins argileux, on y observe de nombreux ravinements.

La zone de transition entre les deux régions physiographiques est caractérisée par un relief montagneux adouci où l'altitude varie entre 106 m et 300 m d'altitude. L'est de cette zone est caractérisé par la présence du bassin du lac Maskinongé. Celui-ci s'étend vers la vallée de la rivière Matambin à l'ouest, la Mastigouche au nord, la vallée de la Maskinongé à l'est et vers les lacs Mandeville et Déligny (Denis, 1974).



Figure 1.2 Physiographie de la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon.

#### 1.3 Hydrographie

Le territoire se situe à l'intérieur de huit bassins versants soit, d'ouest en est : Outaouais (146 334 km<sup>2</sup> ((Québec MDDEP, 2002)), l'Assomption (4 205 km<sup>2</sup>), Saint-Maurice (42 657,26 km<sup>2</sup>), Bayonne (364,11 km<sup>2</sup>), Maskinongé (1 105,64 km<sup>2</sup>), Chicot (176,36 km<sup>2</sup>), Sarrazin (42,30 km<sup>2</sup>) et Loup (1 600,11 km<sup>2</sup>) (Centre d'expertise hydrique du Québec, 2017; figure 1.3). Toutes les rivières s'écoulent vers le sud-est en direction du fleuve Saint-Laurent, à l'exception de celles de la partie sud du bassin versant de la rivière Saint-Maurice, dont les eaux s'écoulent d'abord vers le nord avant de bifurquer vers le sud-est.

Les bassins versants des rivières L'Assomption et Maskinongé couvrent à eux seuls 94% de la superficie totale (tableau 1.1). Le bassin versant de la rivière L'Assomption, qui couvre presque exclusivement le feuillet 311/04, comprend les deux sous-bassins versants les plus importants : la rivière Ouareau (1 680 km<sup>2</sup>) et la rivière Noire (412,37 km<sup>2</sup>). Le lac Maskinongé constitue la principale étendue d'eau de la région étudiée (figure 1.3).

Tableau 1.1 Superficie des bassins versants de la région à l'étude. Modifié du centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), 2017.

	Superficies	
Bassin versant	Km <sup>2</sup>	%
Outaouais	7,36	0,31
Saint-Maurice	0,93	0,04
L'Assomption	1588,49	66,73
Bayonne	81,95	3,44
Chicot	53,39	2,24
Maskinongé	640,13	26,89
Loup	7,28	0,31
Sarrazin	0,79	0,03
Total	2380,32	100



Figure 1.3 Bassins hydrographique de la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon. Modifié du Centre d'expertise hydrique du Québec, 2017.

#### 1.4 Géologie du substrat rocheux

La région à l'étude se situe majoritairement sur la Province de Grenville du Bouclier canadien ; seul un secteur localisé au sud-est est couvert par les roches de la Plate-forme du Saint-Laurent (figure 1.4). La compilation et la description des unités géologiques ont été établies selon les travaux de Thériault et Beauséjour (2012).

#### 1.4.1 La Province de Grenville

La Province de Grenville, vers la fin du Mésoprotérozoïque, fut la dernière formation géologique à façonner le Bouclier canadien (Davidson, 1998). Dans la région étudiée, les principales lithologies observées sont les suivantes : au sud-ouest, des roches intrusives de la Suite Anarthosite-Mangerite-Charnockite-Granite (AMCG) de Morin constituée principalement d'anorthosites; au centre, de gneiss, de paragneiss et de gabbros; et à l'est, de granites associés au massif de Saint-Didace. Ce dernier est délimité au sud, par une faille de type indéterminé qui traverse la région du sud-ouest au nord-est (Béland, 1960 ; Denis, 1974; Tremblay, 1977). Cette faille représente une délimitation entre les roches précambriennes (au nord-ouest) et les roches paléozoïques (au sud-est; Denis, 1974; Clark et Globensky, 1976).

#### 1.4.2 La Plate-forme du Saint-Laurent

Les roches de la Plate-forme du Saint-Laurent reposent sur le socle précambrien et sont issues du Cambrien supérieur (principalement des grès associés au Groupe de Potsdam) et de l'Ordovicien inférieur (dolomies et grès dolomitiques du Groupe de Beekmantown; Thériault et Beauséjour, 2012).



Figure 1.4 Géologie du substrat rocheux. Modifié de Thériault et Beauséjour, 2012.

#### 1.5 Travaux antérieurs

Un nombre limité d'ouvrages portant sur les caractéristiques de la dernière glaciation et sur la disposition des dépôts meubles ont été réalisés dans le sud de Lanaudière. De ce fait, il est nécessaire de présenter des ouvrages qui dépassent le cadre de la région étudiée afin de mettre en contexte les éléments associés notamment à la Moraine de Saint-Narcisse et à l'invasion marine. Les travaux sont classés selon l'ordre chronologique de parution.

Adams (1896) a été le premier à réaliser un rapport géologique régional au nord de l'île de Montréal.

Blanchard (1938) explique la présence de terrasses alluviales élevées autour de plusieurs lacs, dont le lac Noir et Maskinongé, par la présence d'obstacles empêchant les alluvions de s'y introduire. Il a émis l'hypothèse que des langues glaciaires aient occupé ces dépressions et « n'auraient reculé que lorsque le niveau de l'eau dans laquelle se déposait les alluvions aurait suffisamment baissé pour laisser hors d'atteinte les creux libérés de la présence glaciaire » (Blanchard, 1938, p35).

On doit à Osborne (1951; dans LaSalle et Elson, 1975) l'appellation de la Moraine de Saint-Narcisse. Il a affirmé que la moraine représente le dernier épisode glaciaire majeur de la fin du Wisconsinien supérieur. L'auteur avance l'hypothèse qu'une calotte résiduelle aurait été formée dans le parc des Laurentides suite au retrait de la calotte glaciaire laurentienne. La Moraine de Saint-Narcisse aurait ainsi été formée par une réavancée glaciaire de cette calotte résiduelle, suite à l'invasion de la Mer de Champlain. Cette hypothèse a été rejetée quelques années plus tard par Gadd (1955; dans Terasmae, 1960) et Karrow (1957; dans Terasmae, 1960).

Godbout (1957, 1962) a réalisé une étude pédologique des comtés de Berthier et de Maskinongé pour la Division des sols du ministère de l'Agriculture et de la Colonisation. Ce pédologue a notamment interprété l'étendue sud et ouest de la municipalité de Saint-Gabriel-de-Brandon et les abords du lac Maskinongé comme étant des sols limono-graveleux d'origine fluvioglaciaire, sans toutefois y distinguer la présence de la Moraine de Saint-Narcisse (Denis, 1974).

Karrow (1957 ; dans LaSalle et Elson, 1975 ; Denis et Prichonnet, 1973) a cartographié les dépôts meubles de Grondines, délimitant par le fait même la Moraine de Saint-Narcisse dans la région. L'observation de fossiles marins sous une couche de till à 1,6 km au nord de la crête morainique lui a permis d'établir que la construction de la moraine est liée à une faible réavancée glaciaire. La nature de ces microfossiles lui a permis d'estimer que la réavancée glaciaire a eu lieu en eau profonde (environ 30 mètres de profondeur) (LaSalle et Elson, 1975).

Gadd et Karrow (1959) ont réalisé une cartographie des dépôts meubles de la région de Trois-Rivières. Ils ont proposé que la Moraine de Saint-Narcisse s'étende jusqu'en Mauricie. Selon ces auteurs, la réavancée de la moraine était synchrone avec une partie de l'épisode de la Mer de Champlain.

Béland (1960) a réalisé une étude géologique et a brossé un portrait de l'histoire quaternaire de Rawdon jusqu'à Saint-Jean-de-Matha. Il a identifié des dépôts morainiques au nord de Rawdon et souligné l'existence d'une large terrasse au pied de l'escarpement, notant qu'elle est plus basse que les anciens deltas sur lesquels les villes de Rawdon et Sainte-Mélanie ont été érigées. Dans son rapport sur la géologie du substrat rocheux de Chertsey, Côté (1948, 1960) a observé des dépôts fluvioglaciaires, notamment aux abords de la rivière Ouareau, près de la Grande Jetté (Chertsey).

Laverdière et Courtemanche (1960) ont décrit en détail deux bourrelets morainiques près de Saint-Faustin. Ils ont interprété ces formes comme étant ceux d'une moraine de progression. Ils ont également constaté que « la Mer de Champlain poussait un bras respectivement jusqu'à Mont-Rolland et jusqu'à la tête du Lac Pontbriand (Rawdon) à 215 m » (Laverdière et Courtemanche, 1960, p.31).

Elson (1962 ; dans Denis et Prichonnet, 1973 et Gagnon, 1988) a observé des crêtes morainiques en marge du lac Maskinongé, du lac Noir et dans la région de Rawdon. Il a décrit ces bourrelets comme étant des accumulations de contact glaciaire qui se raccorderaient avec les systèmes morainiques observés à Saint-Faustin et Saint-Narcisse. Il a notamment cartographié la Moraine de Saint-Narcisse jusqu'à Saint-Raymond et suggéré l'altitude maximale de la Mer de Champlain à 215 m. Il a également suggéré l'hypothèse que la rivière Mastigouche préglaciaire s'écoulait vers le fleuve Saint-Laurent par une vallée nord-sud. Denis (1974) a également accepté cette hypothèse.

Dans sa thèse de doctorat, Parry (1963) a décrit la présence de fossiles dans le till à Saint-Narcisse. Selon lui, la réavancée du front glaciaire a dû s'être effectué à l'intérieur de la Mer de Champlain, interprétant ainsi la Moraine de Saint-Narcisse comme étant une moraine frontale.

Parry et MacPherson (1964) ont estimé la limite marine de la Mer de Champlain à 228,5 m d'altitude au nord de Montréal. Selon les auteurs, on retrouve des dépôts de la Moraine de Saint-Narcisse sur les hauts plateaux à l'ouest du lac Maskinongé. Ils ont

affirmé que le complexe deltaïque situé près de la municipalité de Saint-Gabriel-de-Brandon a été construit dans la Mer de Champlain, et qu'elle avait une profondeur d'au moins 30 mètres dans cette région.

LaSalle (1966) a proposé que la Moraine de Saint-Narcisse se soit édifiée lors du Dryas Récent, soit vers à 10 500 <sup>14</sup>C BP. Hillaire-Marcel et Occhietti (1977), et Occhietti (2007) ont démontré la plausibilité de son l'hypothèse.

Le premier à s'intéresser de façon exhaustive à la géomorphologie quaternaire de Saint-Gabriel-de-Brandon a été Denis (1970, 1972, 1974; 1976). En 1970 et 1971, il a réalisé une étude sur la géochimie des sédiments de ruisseau de la région pour le service des Gites Minéraux du ministère des Richesses naturelles. En 1972, il a publié le rapport préliminaire de la géologie quaternaire de l'est de Saint-Gabriel-de-Brandon. Il y mentionne notamment que la région est marquée par plusieurs crêtes morainiques discontinues et d'un delta important (213 m) au sud du lac Maskinongé. Il a également estimé que l'altitude de la Mer de Champlain dans ce secteur est de 231 m. En 1976, il a réalisé un rapport géologique pour le ministère des richesses naturelles sur la région de Saint-Gabriel-de-Brandon et fut le premier à y réaliser une cartographie détaillée des formations superficielles. Ce rapport comporte également la description et l'interprétation d'une coupe géologique qui démontrent, par la succession de dépôts glaciaires et de dépôts marins, une oscillation ou un temps d'arrêt dans le recul de l'inlandsis lors de la déglaciation.

Denis et Prichonnet (1973) ont proposé, à partir des déformations observées dans des sédiments morainiques en périphérie du lac Noir, qu'il y ait pu y avoir certains débordements localisés des langues glaciaires par rapport au front général.

LaSalle et Elson (1975) ont proposé un âge minimum se situant entre 10 600 - 11 000 ans <sup>14</sup>C BP pour la mise en place de la Moraine de Saint-Narcisse. Occhietti et Hilaire-Marcel (1976) ont appuyé cette estimation et suggéré que cet équilibre glaciaire a perduré plusieurs années et s'est maintenu tant sur terre qu'à la limite de la marge glaciaire et de la Mer de Champlain. Ils ont également proposé que la Moraine de Saint-Narcisse, à proximité du lac Noir, ait été mise en place suite à une petite réavancée glaciaire.

Dans son rapport sur la géologie du quaternaire, Tremblay (1977) décrit la stratigraphie des sédiments meubles de la région de Rawdon-Laurentides-Shawbridge-Sainte-Agathe-des-Monts. Celui-ci affirme entre autres qu'aucun indice ne lui permet de conclure qu'il y a eu plus d'une avancée glaciaire dans cette région et que le mouvement glaciaire principal observé a été influencé par la topographie (Tremblay, 1977). Ayant observé des stries indiquant un mouvement prédominant vers le sud-est, vers le sud-ouest, et même vers l'est et l'ouest, l'auteur atteste toutefois qu'il fut impossible d'établir l'ordre de mise en place de celles-ci.

Pagé (1977) a notamment suggéré que l'élévation maximale de la Mer de Champlain dans la région de Sainte-Émilie-de-l'Énergie était de 234 m d'altitude, et que la dépression du lac Noir aurait été occupée par un lobe de glace qui aurait agi comme barrière aux lacs glaciaires.

Prichonnet (1977), dans une étude couvrant une superficie de près de 20 000 km<sup>2</sup>, de la frontière des États-Unis jusqu'aux hauteurs des Laurentides, et de l'Ontario jusqu'aux reliefs appalachiens propose une chronologie du retrait de la marge glaciaire et de l'invasion marine. L'auteur a affirmé que la limite abrupte des Laurentides avec les basses terres a favorisé la mise en place de dépôts proglaciaires, notamment dans la région de Rawdon. L'auteur atteste également que la fin de l'épisode de Saint-Narcisse

a été marquée par « des mouvements locaux divergents de la glace » et « que les phénomènes de poussée sont tardifs et de faible ampleur » (Prichonnet (1977, p. 341).

Lajoie (1978) a mis en évidence que la vallée de la rivière Maskinongé et le bassin du lac Maskinongé ont été ennoyés par la Mer de Champlain. Elle a également réitéré, comme Elson (1962) et Denis (1974), que la Moraine de Saint-Narcisse aurait été mise en place en travers des vallées préglaciaires et aurait emprisonné les eaux sur le versant nord, ce qui aurait provoqué le détournement de la décharge du lac Maskinongé vers l'est, le long d'une dépression linéaire dans la surface du Bouclier, soit l'actuelle vallée de la rivière Maskinongé (Lajoie, 1978).

Parent et Occhietti (1988) ont notamment évalué que l'élévation moyenne de la Mer de Champlain se situait entre 55 m au sud du Lac Champlain et 250 m au nord de Montréal.

À partir de datations radiocarbones de fossiles marins et de débris végétaux ainsi qu'en comparant le début de l'événement de la Moraine de Saint-Narcisse avec d'autres événements connus dans le sud du Québec et en utilisant également le taux de recul de la glace, Occhietti (2007) a précisé que la construction de la Moraine de Saint-Narcisse s'est fait entre le 10,8 et 10,5 <sup>14</sup>C ka BP (12,8 et 12,2 cal. ka BP).

Fleury (2008) a brossé un portrait de la paléogéographie quaternaire de Saint-Micheldes-Saints. L'auteure a noté l'orientation de l'écoulement glaciaire du secteur du lac Lusignan comme étant NNO-SSE et décrit l'évolution d'une série de lacs d'obturation glaciaire qui se sont succédé à mesure que la marge glaciaire se retirait vers le nord.

Légaré-Couture (2013) a réalisé une modélisation 3D de la stratigraphie du sud-ouest de la Mauricie à partir de données de forages et de géophysique. L'analyse de forages

effectués dans les dépôts de la Moraine de Saint-Narcisse confirme la présence de sédiments fins sous les dépôts de la Moraine de Saint-Narcisse, renforçant ainsi l'hypothèse que la moraine se soit mise en place lors d'une réavancée glaciaire.

### CHAPITRE II

### MÉTHODOLOGIE

Afin d'atteindre l'objectif visé par ce mémoire, cinq étapes méthodologiques ont été nécessaires, soit : 1) la photo-interprétation préliminaire, 2) la campagne de terrain, 3) la compilation et le traitement des données, 4) la mise en carte sous forme numérique des dépôts superficiels et finalement 5) l'utilisation des produits dérivés du LiDAR.

#### 2.1 Photo-interprétation préliminaire

Une photo-interprétation préliminaire a été réalisée en juin 2017 afin de se familiariser avec le territoire et identifier certains sites à cibler lors de la campagne de terrain. Les produits dérivés du LiDAR de la région visée par le projet de cartographie n'étant pas diffusés à ce moment, la photo-interprétation préliminaire a été réalisée de façon traditionnelle à l'aide de stéréoscope à miroirs, à partir de photos aériennes à l'échelle 1 :40 000 du ministère de l'Énergie et des ressources (1980, 1981, 1982 et 1985) et du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN; 2003). La figure 2.1 présente la couverture des lignes de vols et les numéros des photos aériennes utilisés dans le cadre de la photo-interprétation préliminaire et pour la création du projet numérique de visualisation 3D (projet *Summit*).



Figure 2.1 Couverture des lignes de vols et numéro des photos aériennes utilisées dans le cadre de la photo-interprétation préliminaire en préparation à la campagne de terrain 2017-2018 et pour la création du projet *Summit*.
#### 2.2 Campagne de terrain

Les travaux de terrain de la première phase du PACES Laurentides-Lanaudière ont été effectués sur une période de cinq semaines, en juillet et août 2017. Les feuillets 31I/04, 31I/05 31I/06, 31I/11, 31I/12, 31I/13, 31J/09 et 31J/16 ont été couverts en partie ou dans leur intégralité, et ce en patrouillant la quasi-totalité du réseau routier. L'ensemble des bords de rivières, coupes, sablières et gravières (actives ou abandonnées) ont fait l'objet d'arrêts afin d'y effectuer la description des unités lithostratigraphiques présentes. Les affleurements rocheux ont fait l'objet de relevés lorsqu'il y avait présence de formes d'érosion glaciaire. Chacun des arrêts effectués dans le cadre de cette campagne de terrain a été géoréférencé à l'aide d'un GPS Garmin 78cs.

Les données ont été recueillies par une équipe d'étudiants du Département de géographie (Carole-Anne Kenny, Alexis Robitaille, Claude Desrochers, Alexandra Imbeault) et du Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère (Hugo Raymond et Claudie Lefebvre-Fortier) sous la supervision de Robert-André Daigneault (professeur au Département de géographie), Martin Roy, Michel Lamothe (professeurs au Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère), Sylvain Milette (animateur pédagogique à la Faculté des sciences) et François Hardy (agent de recherche au Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère).

Deux méthodes de relevés ont été privilégiées. La première méthode a été d'annoter de façon manuscrite les photographies aériennes. Ainsi, les caractéristiques sédimentaires des dépôts observés, soit leur altitude, leur épaisseur ou toutes autres informations pertinentes ont pu être décrites rapidement. Lorsqu'un site présentait une lithologie différente ou nécessitait une description plus exhaustive de la stratigraphie, les géofiches du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) étaient plutôt utilisées. Au total, 511 relevés ont été réalisés lors de la campagne de terrain de la

première phase du PACES (Annexe B), soit : 424 sur la lithostratigraphie et 87 sur les mouvements glaciaires.

#### 2.3 Compilation et traitement de donnée

Les données inscrites sur les photographies aériennes ont d'abord été manuellement ajoutées à un fichier vectoriel dans ArcGIS (ESRI), puis les géofiches ont été compilées dans une base de données Microsoft Access ainsi que dans un fichier vectoriel. La compilation de l'orientation des formes d'érosion glaciaire a été réalisée à partir de l'outil *Polar Plots for ArcGIS*, développé par Jenness Entreprises. Ajouté manuellement à la barre Édition sur *ArcMAP* 10.5, cet outil favorise la création de diagramme polaire, permettant une observation visuelle simplifiée de l'orientation des formes d'érosion et d'accumulation glaciaire.

Afin d'avoir une meilleure idée de la nature, de l'épaisseur, et de l'étendue des dépôts de la sous-surface de la Moraine de Saint-Narcisse, les données de puisatiers localisés en périphérie de Saint-Gabriel-de-Brandon ont été téléchargées du Système d'information hydrologique (SIH) du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). Ce répertoire est constitué de rapports de forages réalisés par diverses entreprises pour « des ouvrages de captage desservant des résidences privées en eau potable » (MELCC, 2020). Quatre champs d'informations ont été privilégiés lors de l'extraction de données, soit : 1) la profondeur du puits, 2) la méthode de forage, 3) le numéro du puisatier et 4) la description lithologique.

#### 2.4 Cartographie des dépôts de surface

La cartographie des formations superficielles a été réalisée de façon numérique à l'automne 2017 et l'hiver 2018 à l'aide du logiciel de visualisation photogrammétrique 3D Summit Evolution 7.4 et du système d'information géographique ArcGIS (ESRI) 10.5. Le premier logiciel, jumelé à des écrans permettant la visualisation 3D, permet l'affichage de photographies aériennes en 3D. Le deuxième logiciel a été utilisé afin de numériser les unités lithostratigraphiques et la symbologie. L'interprétation des formations quaternaires a été effectuée à partir de critères visuels tels que la texture, la teinte, la forme, la taille, l'arrangement et la répartition spatiale et altitudinale des dépôts. Les unités ont été classifiées selon la description provenant de la légende des formations superficielles de la Commission géologique du Canada (Parent et al., 2010).

Préalablement à l'interprétation numérique, les photographies aériennes ont été numérisées et orthorectifiées dans *Summit Evolution* 7.4 afin de créer des stéréopaires 3D. L'orthorectification a été réalisée à l'aide du modèle numérique de terrain au 1 : 20 000 de la Base de données topographiques du Québec (BDTQ). Les travaux de cartographie ont été réalisés par François Hardy, à l'exception du feuillet cartographique 31I/05, réalisé par Sylvain Milette et du feuillet 31I/06-O qui a été attribué à l'auteure de ce mémoire (Annexe A).

#### 2.5 Utilisation des produits dérivés du LiDAR

La diffusion en 2019 des produits dérivés du LiDAR (notamment le MNT et le modèle d'ombrage LiDAR) par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) a permis de préciser notre interprétation de la nature et de l'étendue des dépôts de la région à l'étude. Cette technologie à laser pulsé à très haute résolution (1 m/pixel)

permet une excellente fidélité altimétrique et une visualisation incomparable du relief terrestre grâce à son modèle d'ombrage. L'interprétation du modèle d'ombrage LiDAR a notamment permis de faire l'observation de formes fuselées (trainées morainiques et drumlinoides), n'ayant pas été observées originalement par l'interprétation de photos aériennes conventionnelles. Le modèle d'ombrage a établi selon les réglages par défault de *ArcMAP*, soit selon un angle de 45° et un azimut de 315°.

## CHAPITRE III

# L'ÉROSION GLACIAIRE

Les divers processus d'érosion générés par le passage de l'Inlandsis laurentidien ont nettement contribué au façonnement du territoire. Résultant de ces processus, les marques d'érosion glaciaire, variant de taille millimétrique à kilométrique, sont de précieux indicateurs afin de déterminer le sens de l'écoulement glaciaire et peuvent également aider à établir une chronologie relative de l'évolution des écoulements glaciaires. On retrouve dans ce chapitre l'inventaire des marques d'érosion glaciaires observées dans la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon. Les conclusions tirées de leur direction sont présentées au chapitre 5, dans les sections traitant des caractéristiques de la glaciation (section 5.2) et de la déglaciation (section 5.3).

## 3.1 Macroformes

Les macroformes représentent les formes d'érosion glaciaire de plus de 100 m de longueur. Les drumlins rocheux constituent les seules macroformes d'érosion glaciaire identifiées dans la région d'étude.

## 3.1.1 Les drumlins rocheux

Au total, huit drumlins rocheux ont été identifiées à l'aide du modèle d'ombrage LiDAR. Ceux-ci sont principalement localisés au sud du lac Maskinongé (SaintGabriel-de-Brandon) ainsi qu'au sud et à l'ouest de la municipalité de Rawdon. L'orientation des drumlins rocheux situés au sud du lac Maskinongé oscillent entre le N-S et le NNO-SSE (335°-155° à 355°-175°), alors que le seul drumlin rocheux localisé au sud, à proximité de Rawdon, indique un écoulement glaciaire N-S (002°-182°, 010°-190° et 013°-193°; figure 3.1). La dimension des drumlins rocheux varie entre 120 m et 410 m de longueur et entre 30 m à 110 m de largeur, soit un ratio longueur/largeur entre 6:1 et 2:1.



Figure 3.1 Diagramme illustrant l'orientation des macroformes d'érosion (8 sites).

La figure 3.2 illustre deux drumlins rocheux, parallèles, à moins de deux kilomètres de l'un de l'autre, localisé au sud du lac Maskinongé. Ces drumlins rocheux, orientés NNO-SSE, sont d'une longueur approximative de 130 m et d'une largeur d'environ 50 m. Ceux-ci sont caractéristiques de ceux qu'on retrouve dans le secteur. Le substrat rocheux y est prédominant, et ceux-ci sont recouverts d'une mince couche de dépôts glaciaires.



Figure 3.2 Drumlins rocheux identifiées à l'aide du modèle d'ombrage LiDAR, orientés NNO-SSE (région de Saint-Gabriel-de-Brandon).

# 3.2 Mésoformes

Les mésoformes représentent les formes d'érosion glaciaire d'une longueur de 1 m à 100 m. Les roches moutonnées constituent les seules mésoformes d'érosion glaciaire observées dans la région d'étude.

#### 3.2.1 Les roches moutonnées

La présence de roches moutonnées sur le territoire constitue un précieux indicateur permettant d'établir le sens de l'écoulement glaciaire régional : leur côté amont en pente douce et le côté aval marqué par un plan de débitage représentent un aspect particulier indiquant le sens de l'écoulement glaciaire. De plus, toutes les roches moutonnées observées lors de la campagne de terrain sont couvertes par diverses microformes d'érosion (strie, bouture, marque en croissant) qui, si on estime que leur formation est synchrone à celle de la roche moutonnée, permettent de préciser la direction du mouvement glaciaire. Seules quatre roches moutonnées ont été observées lors de la campagne de terrain sont couvers au centre de la région à l'étude, et sont toutes orientées vers le SE (figure 3.3).



Figure 3.3 Diagramme illustrant l'orientation des mésoformes d'érosion (4 sites).

À quelques kilomètres au nord, à Saint-Michel-des-Saints, il est possible d'observer une dizaine de roches moutonnées orientés vers le SE et le SSE (Fleury, 2008). La dimension des roches moutonnées sur le territoire étudié est généralement très typique de ce que l'on retrouve dans les régions avoisinantes, soit de 1 à 3 mètres de hauteur, 4 à 8 mètres de longueur et près de 5 mètres de largeur (figure 3.4). Une roche moutonnée s'est toutefois particulièrement démarquée par sa dimension, près de Saint-Alphonse-de-Rodriguez : celle-ci atteint près d'une trentaine de mètres de longueur par six mètres de largeur (figure 3.5). La face d'arrachage indique un sens d'écoulement vers le SSE (154° à 173°).



Figure 3.4 Roche moutonnée (A en coupe et C vue du nord-ouest) avec surface de débitage orientée vers le sud. Les stries (B) présentes sur la face amont glaciaire sont orientées vers le sud-est (170°) (Sainte-Émilie-de-l'Énergie, site CK070817003).



Figure 3.5 Roche moutonnée (A) avec surface de débitage orienté vers le S (B et D). Les stries (C) sont orientées vers le SE (170°) (Saint-Alphonse-Rodriguez, site 020).

## 3.3 Microformes

Les microformes représentent les formes d'érosion glaciaire d'une longueur de 1 m et moins. Au total, 31 sites comprenant diverses microformes ont été observés, dont près du tiers de ces sites (12) possèdent plus d'un type de microformes. On y retrouve notamment des stries (31), sillons et rainures (8), cannelures (2) et formes en croissant (7). Le faible nombre de microformes recensées peut être associé à l'altération plutôt importante du socle rocheux sur le territoire étudié. La figure 3.6 illustre que les mesures d'orientation de ces formes varient entre 315°- 135° et 034°-214° (NO-SE à N-S).



Figure 3.6 Diagramme illustrant l'orientation des microformes d'érosion (31 sites).

## 3.3.1 Les stries

Les stries sont les formes d'érosion les plus communes dans la région à l'étude. L'observation de ces microformes à une échelle régionale permet notamment de démontrer les variations de l'orientation de l'écoulement glaciaire.

Constituant de petites rayures parallèles peu profondes, les 31 sites présentant des stries, réparties de facon uniforme sur le terrain d'étude, mesurent en moyenne 4 mm de largeur et peuvent atteindre plus d'un mètre de longueur. Elles sont fréquemment retrouvées sur les mésoformes (roches moutonnées) ou sont souvent associées avec d'autres microformes d'érosion (cannelures et formes en croissant). Localement, une variation dans la direction de l'écoulement glaciaire responsable des stries a généré une troncature entre les surfaces striées (figure 3.7; site AR090817029).



Figure 3.7 À gauche de la troncature, les stries sont orientées vers le SE (154°). À droite, les stries sont orientés vers le S (188°) (Sainte-Émilie-de-l'Énergie, site AR090817029).

## 3.3.2 Les sillons et rainures

Au total, huit sites comportant des sillons et rainures ont été observés, majoritairement au centre et à l'est de la région à l'étude (Saint-Jean-de-Matha, Mandeville et Saint-Alphonse-Rodriguez). Les sillons mesurent entre 0,6 cm et 1,5 cm de largeur et jusqu'à près d'un mètre de longueur. Leur orientation varie entre 330-150° et 344-164°, et elles sont souvent accompagnées de stries ou de trains de broutures concaves qui permettent d'établir le sens de l'écoulement glaciaire (SE; figure 3.8).



Figure 3.8 Sillons et rainures orientés 342°-162° (Saint-Jean-de-Matha, site HR250817056).

#### 3.3.3 Les cannelures

Quatre sites comportant des cannelures ont été observés. De façon générale, celles-ci sont situées au centre de la région à l'étude et sont toujours accompagnées de stries et des sillons. Elles ont également été observées sur une roche moutonnée (figure 3.5C).

Le site localisé à Sainte-Émilie-de-l'Énergie comporte trois cannelures striées orientées 352°-172° (N-S) mesurant entre 1 à 3 m de longueur, alors que le site HR250817056, localisé à Saint-Jean-de-Matha, comporte quatre cannelures parallèles mesurant chacune environ 2 à 5 mètres de longueur. L'ensemble des marques d'érosion de ce site sont orientées 342°-162° (NNO-SSE). Les stries et sillons sont peu perceptibles à l'intérieur et à proximité de ces cannelures (figure 3.9).



Figure 3.9 Cannelures, sillons et stries orientés 342°-162° (Saint-Jean-de-Matha, site HR250817056).

#### 3.3.4 Les marques en croissant

Seuls les trains de broutures possédant trois fractures de broutages alignées ou plus ont été considérés lors de la compilation de l'orientation des marques d'érosion glaciaire. Ainsi, sept sites présentant ces caractéristiques ont été observés : près de la moitié d'entre eux comportent plus d'un train de brouture.

Les broutures sont caractérisées par leur forme concave. Considérant que le pendage de la fracture principale indique le sens d'écoulement, ces marques indiquent une direction d'écoulement glaciaire identique à celles d'un des mouvements principaux déduits à partir des stries soit généralement vers le SE (entre 150° et 168°). Le site AR090817030, localisé dans la région de Sainte-Émilie-de-l'Énergie, permet notamment d'observer huit broutures orientées vers le SE (figure 3.10).



Figure 3.10 Train de broutures concaves (Sainte-Émilie-de-l'Énergie, site AR090817030).

#### 3.4 Mouvements glaciaires

La répartition des formes d'érosion glaciaire permet d'établir les grandes tendances des variations régionales de l'écoulement glaciaire. L'ensemble des marques d'érosion observées lors de la campagne de terrain sont localisées sur les hautes-terres laurentiennes du Bouclier canadien.

La figure 3.11 présente les formes d'érosion glaciaire observées lors de la campagne de terrain (roches moutonnées, marques en croissants, cannelures, sillons, rainures et stries) et identifiées à l'aide du modèle d'ombrage LiDAR (drumlins rocheux). Nous y avons également ajouté les marques répertoriées du Système d'information géominière (SIGEOM) du MERN (en rouge sur la figure) du feuillet topographique 311/04, afin de combler un manque de données dans ce secteur. Certaines marques observées lors de la campagne de terrain ont été volontairement omises de la cartographie afin de permettre une meilleure lisibilité de la figure. Lorsqu'un type de forme était observé plus d'une fois sur un même site, cette forme apparait sur la figure qu'une seule fois.



Figure 3.11 Répartition spatiale des marques d'érosion glaciaire de la région étudiée.

La compilation des formes d'érosion glaciaire permet de mettre en évidence deux mouvements principaux d'orientation NNO-SSE et NO-SE dans la région d'étude. Représentés par plus de 90% des indicateurs de mouvement, ces mouvements sont ainsi attribués au pléniglaciaire.

## CHAPITRE IV

# LITHOSTRATIGRAPHIE ET GÉOMORPHOLOGIE DES DÉPÔTS QUATERNAIRES

Ce chapitre présente la répartition spatiale, l'épaisseur, le pourcentage de couverture, ainsi que les caractéristiques sédimentologiques, stratigraphiques et géomorphologiques des unités lithologiques de la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon. Les unités ont été classées selon leur origine, soit : glaciaire (T), fluvioglaciaire (Gx, Gs, Go), glaciolacustre (LG), glaciomarin (MG), alluviale(A), et organique (O). Les données présentées au tableau 4.1 et à la figure 4.1 ont été extraites de la cartographie des dépôts de surface et de la campagne de terrain. Tableau 4.1 Formations quaternaires de la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon.

		Aire	Proportion
Unité lithostratigraphique	Code	(km²)	(%)
Roc	R	221,32	9,80
Till en couverture mince et discontinue	Tm	698,27	30,91
Till en couverture généralement continue	Tc	607,51	26,90
Till remanié en couverture continue	Tr	7,57	0,33
Till remanié en couverture discontinue	Trm	8,95	0,40
Sédiments de la Moraine de Saint-Narcisse	GxT	41,45	1,84
Sédiments juxtaglaciaires	Gx	24,90	1,10
Sédiments d'épandage proglaciaire subaquatique	Gs	12,12	0,54
Sédiments d'épandage proglaciaire subaérien	Go	109,77	4,86
Sédiments glaciolacustres fins d'eau profonde	LGa	2,32	0,10
Sédiments glaciolacustres littoraux et prélittoraux	LGb	1,08	0,05
Sédiments glaciolacustres deltaïques et prodeltaïques	LGd	1,45	0,06
Sédiments glaciomarins fins d'eau profonde	MGa	163,19	7,22
Sédiments glaciomarins littoraux et prélittoraux	MGb	33,79	1,50
Sédiments glaciomarins deltaïques et prodeltaïques	MGd	247,16	10,94
Alluvions des terrasses anciennes	Ax	7,47	0,33
Alluvions des terrasses fluviales	At	44,47	1,97
Alluvions actuelles	Ap	1,80	0,08
Sédiments organiques non différenciés	0	24,21	1,07



Figure 4.1 Unités lithostratigraphiques quaternaires observés dans la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon.

## 4.1 Les sédiments glaciaires (Trm, Tr, Tc, Tm)

Les dépôts d'origine glaciaire couvrent à eux seuls 58,5% (1 322 km<sup>2</sup>) du territoire étudié. Sur le terrain, il a été possible d'observer du till de fond et du till d'ablation, qui se différencient notamment par leur structure et leur texture. Alors que le premier est généralement associé au till en couverture continue (section 4.1.1), le second est associé au till en couverture mince et discontinue (section 4.1.2). L'épaisseur des unités de dépôts glaciaires varie selon leur répartition spatiale : le substrat rocheux étant généralement plus proéminent à l'ouest, la couverture du till y est plus mince et discontinue alors que les secteurs sud et est sont caractérisés par la présence de plusieurs dépressions topographiques, lesquels sont recouvertes d'une épaisse couche de till. Les dépôts s'observent à l'ensemble du territoire étudié, à l'exception du secteur couvert par les Basses-terres du Saint-Laurent. Localisés entre 68 m et 660 m d'altitude, les sédiments glaciaires possèdent la plus grande variabilité altitudinale.

Tout comme dans la légende de la Commission géologique du Canada, les unités glaciaires ont été divisées selon un critère d'épaisseur : 1) le till en couverture continue, d'une épaisseur supérieure à 1 m, et 2) le till en couverture mince et discontinue, d'une épaisseur inférieure à 1 m, 3) le till remanié en couverture continue, d'une épaisseur supérieure à 1 m et finalement 4) le till remanié en couverture mince et discontinue, d'une épaisseur inférieure à 1 m. Reposant directement sur le socle rocheux, ces dépôts constituent les formations superficielles basales. La figure 4.2 présente la répartition spatiale des formes et des dépôts glaciaires.



Figure 4.2 Répartition spatiale des formes et des dépôts glaciaires. Aux fins cartographiques, les tills remaniés (Tr et Trm) ont été regroupés dans les sédiments glaciaires (Tc ou Tm) selon leur épaisseur.

#### 4.1.1 Le till en couverture continue (Tc)

Le till en couverture continue couvre 607 km<sup>2</sup>, soit près de 26,9% de la superficie du territoire étudié. Typique de cette unité, on le retrouve généralement dans les dépressions topographiques des hautes-terres laurentiennes ou derrière des abris rocheux, en aval de l'écoulement glaciaire. L'épaisseur moyenne observée lors de la campagne de terrain varie entre 1 m et 6 m. Une coupe de 8 m, soit l'épaisseur maximale enregistrée lors de la campagne de terrain, a été observée dans la région de Saint-Côme (site AR110817059). Le till épais est parfois recouvert par d'autres dépôts d'origine glaciaire ou fluvioglaciaire, glaciomarins, glaciolacustres, alluviaux, et organiques.

Le till épais est caractérisé par une matrice à dominance sableuse pauvrement classée et comportant de nombreux cailloux et blocs non jointifs anguleux à sub-anguleux (figure 4.3). Compact et parfois fissile, il peut présenter localement de fines lentilles de sables moyens à grossier et des graviers centimétriques. La surface de l'unité est généralement oxydée et présente une couleur jaunâtre foncé (10YR4/4). Lorsqu'on creuse plus d'une trentaine de centimètres à l'intérieur de la coupe, la couleur du dépôt tend plutôt à être de couleur grisâtre-olive (10YR4/6). On retrouve cette unité entre 68 m et 645 m d'altitude.

Ce till se présente sous quatre types de formes d'accumulation glaciaire, soit : 1) les drumlins, 2) les drumlinoides, 3) les trainées morainiques derrière un abri rocheux (*crag-and-tail*) et 4) les moraines mineures.



Figure 4.3 Vue rapprochée d'une coupe de till compact et fissile localisée en périphérie de Saint-Didace (site AR240717007).

#### Les drumlins

Près de 60 drumlins ont été recensés dans la région à l'étude. La presque totalité de ceux-ci sont orientés vers le SE et le SSE (figure 4.4). En se basant sur les directions d'écoulement glaciaire déduites des formes d'érosion, on remarque que les drumlins situés à l'est du territoire sont majoritairement orientés vers le SE, alors qu'ils sont plus nombreux à être orientés vers le SSE à l'ouest, ce qui concorde également avec les formes d'érosion adjacentes. Les drumlins orientés vers le S se localisent généralement près de Saint-Ambroise-de-Kildare et de Rawdon.



Figure 4.4 Diagramme illustant l'orientation des drumlins (58 sites).

On retrouve un champ de 17 drumlins (147° à 165°) localisé au sud de la Moraine de Saint-Narcisse, (Saint-Gabriel-de-Brandon), et un deuxième champ de 32 drumlins (162° à 179°), dans la région de Saint-Ambroise-de-Kildare. La dimension des drumlins varie entre 120 m et 1,6 km de longueur et de 90 m à 260 m de largeur. Tous les drumlins observés sont localisés à une altitude inférieure à 400 m.



Figure 4.5 Coupe de 6 m à l'intérieur d'un drumlin (A). Il présente une structure compacte et fissile (B) et il est orienté vers le SE (C). Le drumlin est localisé dans la région de Saint-Gabriel-de-Brandon, au sud de la Moraine de Saint-Narcisse (site AR250717039).

#### Les drumlinoides

Plus d'une vingtaine de nappes de till fuselé, composé d'un total de 125 drumlinoides ont été observées à l'aide du modèle d'ombrage LiDAR. Leur orientation générale est concordante avec les deux principaux mouvements glaciaires régionaux, soit le SE et le SSE (figure 4.6). Seule une nappe de till fuselé orienté vers le S a été observée : elle est localisée à quelques mètres au sud d'un lobe de la Moraine de Saint-Narcisse.



Figure 4.6 Diagramme illustrant l'orientation des drumlinoides (125 sites).

À l'inverse des drumlins, les nappes de till fuselé se concentrent plutôt au nord et à l'ouest de la région à l'étude. Les drumlinoides mesurent en moyenne entre 10 m à 40 m de largeur et peuvent s'étendre jusqu'à 1 km de longueur. Ils se localisent entre 250 m et 550 m d'altitude. La plus vaste nappe de till fuselé est localisée à l'ouest du lac des Iles (région de Saint-Zénon, au NO de la région à l'étude), et comporte près d'une vingtaine de drumlinoides et de drumlins. Le fuselage y est bien préservé malgré la présence de chenaux juxtaglaciaires qui les recoupent (figure 4.7).



Figure 4.7 Nappe de till fuselé localisé à l'ouest du lac des Iles (Saint-Zénon).

Il est possible d'observer au sud-est du lac Mandeville quatre formes profilées qui se distinguent des autres : alors que l'orientation générale de ces formes indique un mouvement vers le SSE, celles-ci ont comme particularité d'avoir une «trainée» de dépôts localisée en amont glaciaire d'un abri rocheux, à l'inverse d'un *crag-and-tail* (figure 4.8). Ces formes profilées présentent sur leur surface des crêtes morainiques mineures et plusieurs chenaux juxtaglaciaires. Elles mesurent entre 300 m à 1200 m de longueur, entre 100 m à 250 m de largeur et entre 5 m à 22 m de hauteur.



Figure 4.8 Formes profilées et «trainées de till» (*pre-crags*) orientées NNO-SSE, localisées au sud-est du lac Mandeville.

#### Les trainées morainiques (crag-and-tail)

Une dizaine de trainées morainiques en aval glaciaire ont été observées. Leur orientation varie principalement entre le SE et le SSE (figure 4.9). Puis, tout comme les drumlins, on retrouve quelques trainées morainiques orientées vers le S, majoritairement au sud-ouest de la région à l'étude.

Les *crags-and-tails* mesurent entre 206 m et 2 000 m de longueur et leur largeur varie entre près de 60 m jusqu'à 307 m. Ils se localisent entre 215 m et 385 m d'altitude. Ceux-ci sont parfois recoupés perpendiculairement par des chenaux juxtaglaciaires, lesquels peuvent nous renseigner sur les positions de la marge glaciaire lors du retrait.



Figure 4.9 Diagramme illustrant l'orientation des trainées morainiques (24 sites).

#### Les moraines mineures

Près de 700 moraines mineures ont été recensées dans la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon. Suivant l'orientation générale de la Moraine de Saint-Narcisse, les moraines mineures sont distribuées sur le territoire selon un axe NE-SO (figure 4.10). De toutes les moraines mineures recensées, 204 ont été observés au nord de la Moraine de Saint-Narcisse, 178 à l'intérieur des limites de ses trois crêtes majeures de ce complexe morainiques et 310 au sud de celle-ci. Leur longueur varie de façon importante, soit de 5 m à plus de 1,5 km.

De façon générale, les moraines localisées sous la limite marine possèdent une morphologie différente de celles observées au-dessus de la limite marine. Sous la limite marine, elles sont de faible longueur et l'espacement entre chaque crête morainique est très régulier. Au-dessus de la limite marine, elles sont plus longues et moins régulièrement espacées. Les premières reposent généralement sur une nappe de till et semblent être également constituées de till. Puisqu'elles sont associées à la présence d'un plan d'eau, nous estimons qu'il pourrait s'agir de moraines de De Geer. Les secondes sont principalement associées au complexe morainique de Saint-Narcisse.

Afin d'estimer le taux de retrait du front glaciaire lors de la déglaciation, une analyse de la distance moyenne entre chaque moraine mineure de type De Geer a été réalisée et sera présentée au chapitre 5.



Figure 4.10 Crêtes morainiques majeures, mineures, moraines de De Geer et formes fuselées (drumlins), dans la région de Saint-Gabriel-de-Brandon et de Saint-Didace. En bleu, la zone potentiellement envahie par la Mer de Champlain selon une limite marine établie à 233 m à l'ensemble de la région.

#### 4.1.2 Le till en couverture mince et discontinue (Tm)

Le till en couverture mince et discontinue constitue l'unité lithologique qui couvre la plus grande étendue du territoire avec 30,9 % (698 km<sup>2</sup>). Cette unité, généralement associée à un till d'ablation, est présente sur les reliefs les plus accidentés des hautesterres laurentiennes (figure 4.11). Ce till est observé directement sur le substrat rocheux en couverture de moins d'un mètre et il recouvre parfois le till de fond. De par sa faible épaisseur, on y observe de nombreux affleurements rocheux et on devine la structure des roches sous-jacentes par l'analyse du modèle d'ombrage LiDAR. Cette unité se distingue par sa structure lâche, sa texture grossière et sa forte concentration en blocs anguleux, lesquels peuvent parfois atteindre une taille considérable (5 m X 5 m; figure 4.12). Sa matrice est également plus sableuse et moins compacte que celle du till épais. La couleur de ce dépôt non oxydée varie majoritairement dans les teintes de jaune-orange, soit entre 10YR 3/3 à 10YR 5/6. Sa teinte brun-jaune (7YR4/6) témoigne de son oxydation en surface. On retrouve le till en couverture mince et discontinue entre 102 m et 660 m d'altitude.



Figure 4.11 Till en couverture mince et discontinue (site CK200717037).



Figure 4.12 Till d'ablation et bloc métrique (Mandeville).

## 4.1.3 Le till remanié en couverture continue (Tr)

L'unité de till remanié en couverture continue a été cartographiée uniquement lorsque des observations de terrain ont permis de valider son remaniement par les eaux de la Mer de Champlain (Hardy *et al.*, 2018). Ceux-ci sont présents sur moins de 8 km<sup>2</sup>, soit seulement 0,33% de la superficie du territoire. Ces dépôts ont été observés à la limite du contact entre les hautes-terres laurentiennes et les basses-terres du Saint-Laurent, dans la région de Saint-Ambroise-de-Kildare. L'analyse du modèle d'ombrage LiDAR, suite à la cartographie initiale par photo-interprétation conventionnelle, a permis de mieux identifier ces dépôts et d'observer qu'ils sont recouverts par endroits par des dépôts littoraux. Ces dépôts ont été cartographiés entre 83 m et 190 m d'altitude.

Ce till comporte une proportion importante de cailloux et de blocs centimétriques. Sa matrice est dépossédée de ces particules fines, délavées par les eaux de la Mer de Champlain. On notera également que dans la région de Saint-Ambroise-de-Kildare, le remaniement par les eaux de la Mer de Champlain de la nappe de till n'a pas complètement effacé les nombreux drumlins et crêtes morainiques mineures présents (figure 4.13).



Figure 4.13 Till délavé (en vert) présentant des moraines mineures et des drumlins; région de Saint-Ambroise-de-Kildare.

# 4.1.4 Le till remanié en couverture mince et discontinue (Tr)

L'unité de till remanié en couverture mince et discontinue est présente sur près de 9 km<sup>2</sup>, soit moins de 1% de la superficie du territoire étudié. Tout comme le till remanié en couverture continue, ce dépôt se localise également dans la région de Saint-
Ambroise-de-Kildare, soit sous la limite maximale de la Mer de Champlain. Ce till se caractérise par une matrice délavée, comportant de nombreux cailloux et blocs en surface et laissant entrevoir un nombre important de blocs et d'affleurements rocheux. Ces dépôts ont également été cartographiés entre 83 m et 190 m d'altitude.

# 4.2 Les sédiments fluvioglaciaires (Go, Gs, Gx et GxT)

Les dépôts fluvioglaciaires couvrent près de 8% (188 km<sup>2</sup>) du territoire. Ils reposent directement sur le substrat rocheux ou sur des dépôts glaciaires, et ils sont localement recouverts par des dépôts glaciolacustres ou glaciomarins. Ils couvrent principalement les fonds de vallées situés à l'ouest de la région à l'étude et les plaines localisées en aval de la Moraine de Saint-Narcisse (figure 4.14).

De façon générale, ces dépôts sont bien triés et comportent de nombreux blocs arrondis ou sub-arrondis. L'épaisseur maximale observée lors de la campagne de terrain est de 28 mètres, à l'intérieur d'un delta-kame exploité en marge du lac Maskinongé (Saint-Gabriel-de-Brandon). Les dépôts fluvioglaciaires s'observent en majorité à une altitude supérieure à la limite glaciomarine : on les retrouve toutefois entre 150 m et 610 m d'altitude.

En suivant toujours le modèle de classification de la Commission géologique du Canada, les unités de sédiments fluvioglaciaires ont été divisées selon leur mode de mise en place, soit : 1) les sédiments de contact glaciaire (Gx et GxT), qui incluent les formes fluvioglaciaires (eskers, complexe morainique de Saint-Narcisse et deltas juxtaglaciaires) et 2) les sédiments proglaciaires subaériens et subaquatiques (Gs et Go) distribués sous la forme d'épandages.



Figure 4.14 Répartition spatiale des formes et des dépôts fluvioglaciaires.

#### 4.2.1 Les sédiments de la Moraine de Saint-Narcisse (GxT)

Sur le territoire étudié, l'orientation générale de la moraine est NE-SO. Elle s'étend sur 60 km entre les municipalités de Saint-Didace et celle de Notre-Dame-de-la-Merci. Ce complexe morainique est constitué de deux à trois crêtes morainiques majeures parallèles et de plusieurs centaines de bourrelets morainiques mineurs internes. Elle s'est mise en place au front de l'Inlandsis, dans des conditions subaquatiques et subaériennes (Occhietti, 2004). Elle est constituée de till, de sédiments fluvioglaciaires et de sédiments littoraux (Pagé, 1977). Sa mise en place, notamment dans le secteur de Sainte-Émilie-de-l'Énergie, a été influencée par la topographie (Pagé, 1977).

Les dépôts de la moraine varient entre 3 m et 22 m d'épaisseur. Les tronçons morainiques majeurs mesurent en moyenne entre 30 m et plus d'un kilomètre de longueur et leur largeur varient d'un mètre jusqu'à 24 mètres. On retrouve ces dépôts à une altitude variant entre 152 m et 608 m. Les sédiments du complexe morainique de Saint-Narcisse sont composés de sables, de graviers et de till grisâtre et comprend de nombreux cailloux et blocs subanguleux à subarrondis pouvant mesurer plus de 20 cm. De nombreux kettles sont présents en amont et entre les crêtes morainiques majeures de la région du lac Maskinongé.

Une coupe à l'intérieur de la moraine dans la région de Saint-Gabriel-de-Brandon, observé par Denis (1974), montre une couverture de till surmontant des dépôts fluvioglaciaires ou marins (figure 4.15; Denis et Prichonnet, 1973).



Figure 4.15 Coupe transversale de la Moraine de Saint-Narcisse à Saint-Gabriel-de-Brandon. Tiré du livret-guide d'excursion Aspects du Quaternaire dans la région de Joliette de Denis et Prichonnet (1973).

## 4.2.2 Les sédiments juxtaglaciaires (Gx)

Les sédiments juxtaglaciaires sont répartis sur 1,1% (25 km<sup>2</sup>) du territoire étudié. Reposant généralement sur le substrat rocheux, ils sont localement recouverts par des sédiments glaciomarins ou glaciolacustres. On retrouve une forte majorité des dépôts juxtaglaciaires au nord et à l'ouest de la région à l'étude. Les dépôts sont composés d'une matrice sableuse plutôt lâche, contenant de nombreux blocs arrondis à subarrondis, de dimensions centimétriques à métriques et jointifs. Ils présentent parfois des failles normales et des déformations synsédimentaires. L'épaisseur des dépôts observés sur le terrain varie en moyenne entre 0,5 m à 9 m. L'épaisseur maximale de 28 m a été observée à l'intérieur d'un delta-kame exploité, au sud du lac Maskinongé. Les dépôts se situent entre 160 m et 560 m d'altitude.

Deux types de formes associés aux sédiments juxtaglaciaires ont été identifiés dans la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon, soit : 1) les eskers, et 2) les deltas.

#### Les eskers

Au total, près de 60 crêtes d'eskers ont été recensées à l'aide du modèle d'ombrage LiDAR. De dimension variable, les crêtes mesurent rarement plus de 20 m de hauteur et entre 25 m et 1311 m de longueur. Suivant l'orientation générale des vallées de la région, les eskers situés au nord-est sont orientés N-S, alors que ceux observés au nord-ouest sont plutôt orientés NE-SO. Les eskers sont souvent associés à d'autres dépôts juxtaglaciaires disposés perpendiculairement (moraines mineures ou remplissage de crevasses) et sont parfois bordés par une plaine d'épandage. Quelques eskers localisés sous la limite marine ont été recouverts en partie par des sables littoraux et prélittoraux de la Mer de Champlain.

## Les deltas juxtaglaciaires

La région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon présente plus d'une dizaine de deltas juxtaglaciaires. Deux delta-kames se différencient par leur localisation et leur grosseur, et sont exploités pour leurs ressources granulaires: le premier est situé à 8 km au nord-est du lac Maskinongé et est adossé à une paroi rocheuse faisant plus d'une centaine de mètres de hauteur (Sablière LCMP, Figure 4.16), alors que le second est adossé à la Moraine de Saint-Narcisse, au nord du lac Maskinongé (Sablière Lafarge, Figures 4.17). Le premier culmine à une altitude de 197 m, alors que le second culmine à 213 m.



Figure 4.16 Delta-kame de plus de 28 m d'hauteur présentant une structure en stratification oblique plane, nord du lac Maskinongé (Saint-Gabriel-de-Brandon, site CK260717028).



Figure 4.17 Coupe de 19 m à l'intérieur du delta-kame situé au sud-ouest du lac Maskinongé (Saint-Gabriel-de-Brandon, site AR270717047) (A) et vue rapprochée du lit sommital (B). L'altitude de ce delta associé à la Moraine de Saint-Narcisse varie entre 205 m et 213 m, indiquant l'altitude de la Mer de Champlain lors de la formation de la moraine (voir chapitre 5). La section est du delta est présentement exploitée par Lafarge Canada Inc.

# 4.2.3 Les sédiments d'épandages proglaciaires subaérien (Go)

Répartis sur près de 110 km<sup>2</sup>, les dépôts d'épandages proglaciaires subaériens représentent près de 5% de l'ensemble des dépôts cartographiés. Ils couvrent une superficie près de dix fois plus vaste que les dépôts d'épandages subaquatiques. Ils peuvent être observés principalement dans le fond des vallées, à l'ouest de la région à l'étude (Rawdon, Saint-Alphonse-Rodriguez et Saint-Côme). L'épaisseur des dépôts est fréquemment de plus de 6 m. Ils sont composés de sables grossiers à moyens, de graviers, et d'un nombre important de cailloux arrondis et subarondis. La dimension des cailloux est fréquemment de plus de 10 cm de diamètre (figure 4.18). Ces dépôts constituent de vastes plaines d'épandage étendues entre 173 m et 533 m d'altitude.



Figure 4.18 Dépôts d'épandages subaériens (site HR240817054).

#### 4.2.4 Les sédiments d'épandages proglaciaires subaquatiques (Gs)

Les sédiments d'épandages subaquatiques couvrent 0,54% (12 km<sup>2</sup>) du territoire. On retrouve ces dépôts en aval de la Moraine de Saint-Narcisse, à la marge sud des lacs Noir et Maskinongé (Saint-Jean-de-Matha et Saint-Gabriel-de-Brandon). L'épaisseur maximale observée est de 16 m, dans une sablière de la région de Saint-Gabriel-de-Brandon. Ces dépôts, présents sous forme d'éventails, sont constitués de sables silteux, fins et moyens très bien triés. Stratifiés et peu compacts, on les retrouve localement présentant des lits de sable grossiers. Ces dépôts ont été cartographiés entre 160 m et 305 m d'altitude.

## 4.3 Les sédiments glaciolacustres (LGa, LGb et LGd)

Les sédiments glaciolacustres ont été cartographiés sur près de 5 km<sup>2</sup>, au nord de la Moraine de Saint-Narcisse (figure 4.19). La présence de dépôts glaciaires recensés exclusivement au nord de la moraine peut être expliqué par le fait que les dépôts associés à celle-ci ont agit comme une barrière à l'exutoire des eaux de fonte. Au total, quatre bassins glaciolacustres ont été recensés, soit :

- 1) à l'ouest du lac Noir (altitude minimale de 226 m; altitude maximale de 285 m).
- enclavé dans une dépression topographique au nord de la Moraine de Saint-Narcisse à Saint-Côme. (altitude minimale de 268 m; altitude maximale 405 m)
- dans une dépression topographique en périphérie du lac Côme, entre les municipalités de Sainte-Émilie-de-l'Énergie et Saint-Côme (altitude minimale 291; altitude maximale 336)
- à l'extrémité nord-ouest de la région à l'étude, dans la région de Saint-Zénon (altitude minimale 447 m; altitude maximale 499 m).



Figure 4.19 Répartition spatiale des lacs proglaciaires recensés dans la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon.

Trois types de dépôts glaciolacustres ont été cartographiés selon leur mode de mise en place, soit : 1) les sédiments fins d'eau profonde (LGa), 2) les sédiments littoraux et prélittoraux (LGb) et 3) les sédiments deltaïques et prodeltaïques (LGd).

# 4.3.1 Les sédiments glaciolacustres d'eau profonde (LGa)

Les dépôts glaciolacustres d'eau profonde sont généralement peu présents. Observés sur une superficie de moins de 1 km<sup>2</sup>, ces sédiments ont été cartographiés au pourtour nord-est du lac Côme (Sainte-Émilie-de-l'Énergie) et à l'est du lac Neuf (Sainte-Béatrix/Sainte-Émilie-de-l'Énergie). Ces sédiments se présentent sous la forme d'une alternance de sédiments silteux de couleur gris moyen et de sables fins à moyens. L'épaisseur des lits silteux varie de 2 à 5 cm (figure 4.20).



Figure 4.20 Rythmites sablo-silteuses localisées à 1,7 km au nord de la Moraine de Saint-Narcisse (site AR110817055). Ce faciès a été identifié dans la région de Saint-Côme, à 393 m d'altitude.

#### 4.3.2 Les sédiments glaciolacustres prélittoraux et littoraux (LGb)

Les sédiments glaciolacustres prélittoraux et littoraux occupent une superficie de près de 1 km<sup>2</sup> (0,05%). Ils constituent l'unité lithologique la moins vaste de la région à l'étude. Ces dépôts ont été observés à l'ouest et au sud-est du lac Côme (Sainte-Émilie-de-l'Énergie), au nord du lac Claire (Sainte-Béatrix). Ils surplombent les sédiments glaciolacustres fins d'eau profonde. Les dépôts sont composés majoritairement de sables fins à moyens, ainsi que de graviers et de petits cailloux arrondis et subarrondis. Ils se présentent généralement en stratifications planes.

#### 4.3.3 Les sédiments glaciolacustres deltaïques et prodeltaïques (LGd)

Les dépôts glaciolacustres deltaïques et prodeltaïques ont été cartographiés sur une superficie de 1,5 km<sup>2</sup> (0,07%). Il est possible d'observer un nombre important de deltas au nord-ouest de la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon, dans les dépressions topographiques des hautes-terres, soit à cinq endroits différents entre les vallées des rivières Noire et l'Assomption. L'altitude des deltas varie selon le bassin dans lequel il se trouve : au centre, ils se situent entre 275 et 336 m d'altitude, alors qu'au nord ils peuvent atteindre jusqu'à 499 m d'altitude. Le plus vaste complexe deltaïque est localisé à l'ouest, entre les municipalités de Sainte-Émilie-de-l'Énergie et de Saint-Côme à 313 m d'altitude (figure 4.21). Les deltas sont composés de sables moyens à grossiers, de graviers et de cailloux arrondis ou sub-arrondis, et se présentent en stratification oblique planes. L'épaisseur maximale observée des dépôts glaciolacustres deltaïques est de 15 m, dans la région de Sainte-Émilie-de-l'Énergie.



Figure 4.21 Delta glaciolacustre localisé à 313 m d'altitude (Saint-Émilie-de-l'Énergie, site HR240817060).

4.4 Les sédiments glaciomarins (MGa, MGb et MGd)

Les sédiments glaciomarins (et marins) de la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon ont été mis en place lors de l'épisode de la Mer de Champlain.

On retrouve ces dépôts principalement au sud-est du territoire étudié, dans la région de Saint-Ambroise-de-Kildare, ainsi que dans les vallées des rivières Ouareau, Rouge, L'Assomption, Noire, Mastigouche et Maskinongé (section suivante; figure 4.22). Couvrant près de 20% de la superficie totale (444 km<sup>2</sup>), ces dépôts représentent près du cinquième de l'ensemble des sédiments présents dans la région à l'étude.

Les dépôts glacimarins reposent parfois sur les dépôts glaciaires et fluvioglaciaires, et peuvent être surplombés par des dépôts alluviaux ou organiques. L'altitude de ces dépôts varie entre 50 et 238 m d'altitude. Aucun fossile a été recensé.

Trois unités lithostratigraphiques glaciomarines et leurs formes associées ont été observées : 1) les sédiments fins d'eau profonde (MGa), 2) les sédiments littoraux et prélittoraux (MGb) et 3) les sédiments deltaïques et prodeltaïques (MGd).

## 4.4.1 Sédiments glaciomarins d'eau profonde (Mga)

Mis en place par décantation lors de l'invasion de la Mer de Champlain, les dépôts fins d'eau profonde couvrent plus de 7% (163 km<sup>2</sup>) de la superficie du territoire. Caractérisés par une structure massive, stratifiée ou laminée, ces sédiments se composent de silt argileux et d'argile silteuse. L'épaisseur maximale des dépôts observés lors de la campagne de terrain est de 2 m. Les plus vastes accumulations de sédiments fins glaciomarins se retrouvent : 1) dans la région couverte par les bassesterres du Saint-Laurent (région de Saint-Ambroise-de-Kildare), 2) dans une dépression topographique localisée à l'ouest du lac Maskinongé (région de Saint-Damien) ainsi que 3) dans le ravinement des berges des rivières Chicot et Maskinongé.

En surface, cette plaine argileuse, notamment dans le bassin du lac Maskinongé, ainsi qu'au point de confluence entre les rivières Noire et L'Assomption, est profondément incisée par l'érosion fluviale et affectée par de nombreux glissements de terrain. Les talus en bordure de la rivière Maskinongé peuvent faire couramment plus de 30 m de hauteur. On retrouve ces dépôts entre 56 m et 212 m d'altitude.



Figure 4.22 Répartition spatiale des formes et des sédiments glaciomarins.

### 4.4.2 Sédiments glaciomarins littoraux et prélittoraux (MGb)

Les sédiments glaciomarins littoraux et prélittoraux ont été mis en place par l'action des vagues en bordure de la rive. Stratigraphiquement, les dépôts glaciomarins littoraux et prélittoraux surplombent souvent les dépôts fluvioglaciaires. Cartographiés sur 1,5% (33,8 km<sup>2</sup>) de la superficie du territoire, ils constituent les dépôts glaciomarins les moins vastes de la région à l'étude. Les sédiments prélittoraux sont constitués d'une succession de lits sableux et silteux bien triés (figure 4.23). Les sédiments littoraux sont plutôt composés de sables moyens à grossiers et de graviers à stratification subhorizontale ou oblique formant des plages et des cordons littoraux. On retrouve ces sédiments dans trois secteurs, soit : 1) au sud-est (Saint-Ambroise-de-Kildare), 2) au sud du lac Noire (Saint-Jean-de-Matha) et au sud et à l'est du lac Maskinongé (Saint-Gabriel-de-Brandon). L'altitude maximale observée de ces dépôts est de 233 m.



Figure 4.23 Coupe montrant des sédiments prélittoraux (A) composés de lits de silt et sable très fins recouvrant des sédiments massifs d'eau profonde (B) de couleur grisbleu (Saint-Didace, site AR260717043; altitude 153 m).

# 4.4.3 Sédiments glaciomarins deltaïques et prodeltaïques (MGd)

Les sédiments glaciomarins deltaïques et prodeltaïques couvrent 10,9 % (247 km<sup>2</sup>) de la région à l'étude. Ils proviennent d'un apport de sédiments lors du retrait de la Mer de Champlain, entrainant l'abaissement du niveau de la mer. Les dépôts sont composés de lits de sables généralement grossiers, de graviers et de petits cailloux en stratification subhorizontal ou oblique (figure 4.24). Ces dépôts sont souvent surmontés par des sédiments alluviaux. On les retrouve dans les vallées des rivières Saint-Esprit, Ouareau, Rouge, L'Assomption, Noire, Mastigouche et Maskinongé, ainsi qu'à l'intérieur du bassin glaciomarin du lac Maskinongé. Ils se localisent entre 98 m et 238 m d'altitude.



Figure 4.24 Delta glaciomarin localisé à 236 m d'altitude (Sainte-Béatrix, site CK210717053).

#### 4.5 Les sédiments alluviaux

Les dépôts alluviaux occupent une superficie de 54 km<sup>2</sup>, soit près de 2% du territoire étudié. Ils ont été mis en place par le réseau hydrographique actuel, en incisant les formations quaternaires sous-jacentes (figure 4.25). Dans la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon, les sédiments alluviaux reposent sur les dépôts glaciomarins.

Il est possible d'observer : 1) les alluvions actuelles (Ap), 2) les alluvions des terrasses fluviales qui correspondent au lit majeur des rivières actuelles (At), et 3) les alluvions de terrasses anciennes (Ax).

#### 4.5.1 Les alluvions actuelles (Ap)

Présentes sur les rives et les rivières du territoire étudié, les alluvions actuelles sont généralement trop peu étendues pour être cartographiées au 1 : 50 000. Elles se retrouvent toutefois en assez grande quantité pour être cartographiées à trois emplacements au nord-ouest de la région à l'étude, dans la région de Saint-Côme et de Sainte-Émilie-de-l'Énergie.

De façon générale, ces dépôts sont constitués de sables fins et peuvent contenir de la matière organique. L'épaisseur de ces dépôts est généralement de moins de 5 m. Ils ont été cartographiés entre 205 et 367 m d'altitude.



Figure 4.25 Répartition spatiale des formes et dépôts alluviaux.

# 4.5.2 Les alluvions de terrasses fluviales (At)

Les alluvions des terrasses fluviales constituent 2% de l'ensemble des dépôts alluviaux. Répartis à l'ensemble de la région, ils sont surtout localisés au pourtour des rivières Mastigouche, Mastigouche Nord, Noire, L'Assomption, Ouareau, qui suivent un axe nord-ouest/sud-est. Ces dépôts sont composés de sable fin à sable moyen et de graviers, à interlits de sables très fins à stratifications horizontales, et présentant parfois des rides de courants comme dans la plaine alluviale du lac Maskinongé (Figure 4.26). Ces dépôts sont également caractérisés par un nombre important de barres alluviales et de chenaux fluviatiles.



Figure 4.26 Coupe de 12 m dans les sédiments de la plaine alluviale du lac Maskinongé.

## 4.5.3 Les alluvions de terrasses anciennes (Ax)

Les sédiments de terrasses anciennes ont été observés à deux endroits dans les fonds de vallées à l'ouest de la région à l'étude ainsi qu'au point de confluence de la rivière

Noire et de la rivière L'Assomption. Celles-ci prennent la forme de plaines alluviales incisées par le réseau hydrologique en place. Il est possible d'y observer un nombre important de chenaux fluviatiles abandonnées. Ces sédiments sont composés de sable et de silt silteux généralement stratifiés, et contiennent parfois un peu de matière organique. Il est également possible d'y observer l'abaissement du niveau de base par l'étagement de 5 niveaux de terrasses alluviales, soit 177 m, 162 m, 158 m, 155 m et 151 m.

#### 4.6 Les sédiments éoliens (Ed)

Peu de sédiments éoliens ont été observés dans la région à l'étude. Les dépôts étant peu étendus et généralement disparates, ceux-ci n'ont pu être cartographiés à l'échelle 1 : 50 000.

Ces dépôts s'observent sur quelques plaines deltaïques et sur des dépôts littoraux et prélittoraux (figure 4.27). Ils sont constitués de sables très fins. À l'extérieur de la région d'étude, dans la région de Saint-Michel-des-Saints, il est possible d'observer quelques petites dunes paraboliques qui auraient probablement été mises en place par un vent provenant du SO.



Figure 4.27 Dépôts glaciomarins littoraux et prélittoraux recouverts par des sédiments éoliens.

# 4.7 Les sédiments organiques (O)

Près de 370 milieux humides ont été cartographiés, totalisant une superficie de près de 24 km<sup>2</sup>. Au sommet de la séquence stratigraphique, les dépôts organiques sont composés de tourbe en décomposition, de matière ligneuse et de sable. Ils prennent la forme de tourbières, marécages, étangs et marais.

Alors que les dépôts organiques localisés au nord sont circonscrits principalement dans des dépressions mal drainées des hautes-terres laurentiennes, ceux localisés dans la région de Saint-Gabriel-de-Brandon, au sud-est du complexe morainique de Saint-Narcisse ont été plutôt mis en place dans des kettles et dans des anciens chenaux d'eau de fonte ou en périphérie des nombreux lacs de la région. Ces dépôts se situent entre 140 m et 600 m d'altitude.

### CHAPITRE V

# PALÉOGÉOGRAPHIE QUATERNAIRE

La reconstitution des événements glaciaires et postglaciaires de la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon a été réalisée à partir de travaux antérieurs, de données récoltées dans le cadre du PACES Laurentides-Lanaudière et de formes géomorphologiques observées à partir du modèle d'ombrage LiDAR. Ce chapitre est divisé en quatre sections : 1) les événements antérieurs à la dernière glaciation, 2) la dernière glaciation, 3) la déglaciation, et 4) la période postglaciaire.

# 5.1 Événements antérieurs à la dernière glaciation

Alors que certains chercheurs, dont notamment MacDonald et Shilts (1971), Gadd (1971), Shilts (1981, 1982), Occhietti (1979, 1982), Lamothe (1989), Parent (1987), Parent et Occhietti (1988), Clet et Occhietti (1996), Ross et *al.* (2006) et Caron (2013), ont identifiés à divers endroits dans le sud du Québec des sédiments antérieurs à la dernière glaciation, aucune évidence de dépôts antérieurs à la glaciation wisconsinienne n'a été observée dans la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon.

# 5.2 La dernière glaciation

Le paysage actuel des Laurentides et de Lanaudière est hérité en grande partie du passage de glaciers lors de la glaciation wisconsinienne. Vers 21,4 cal. ka (18 ka <sup>14</sup>C

BP; Dyke et Prest, 1987), l'Inlandsis laurentidien, dernière calotte glaciaire continentale à avoir occupé la région à l'étude, couvrait la majeure partie du Canada et le nord-est des États-Unis et son épaisseur variait entre 2 et 3 km (Dyke et Prest, 1987; Dyke et al, 2003; Dyke, 2004). Constitué de trois dômes coalescents, cet inlandsis a façonné le substrat rocheux du Bouclier canadien, mettant ainsi en place de nombreuses formes d'érosion et d'accumulation glaciaires (Dyke et Prest, 1987). Quant à la région à l'étude, celle-ci a été envahie par le dôme glaciaire du Nouveau-Québec, qui couvrait le Québec et les provinces maritimes (Dyke *et al.*, 1982; Occhieti, 1983; Dyke et Prest, 1987).

Une compilation de l'orientation des macroformes (drumlins rocheux), mésoformes (roches moutonnées) et microformes d'érosion (stries, sillons, rainures, cannelures et marques en croissant), ainsi que de formes d'accumulation glaciaire (drumlins, cragand-tail et drumlinoïdes) a été effectuée afin de définir les directions d'écoulement dominants dans la région. Ainsi, 131 indicateurs de mouvements ont été observés, soit : 85 indicateurs d'écoulements en direction du SSE, 40 en direction du SE, et 6 en direction du S. (figure 5.1). Les écoulements en direction du SSE et SE sont donc responsables de la grande majorité des formes d'accumulation et d'érosion glaciaire, et sont ainsi attribués à la période pléniglaciaire. Ces écoulements ont également été observés par Tremblay (1977), Pagé (1977), et Denis (1974). Le mouvement SSE a également été observé dans plusieurs régions périphériques : notamment à Mont-Tremblant (Laverdière et Courtemanche, 1965), Saint-Faustin-Saint-Jovite (Lamothe, 1977), Mont-Laurier (Caron, 2007), et Saint-Michel-des-Saints (Fleury, 2008). L'écoulement est en direction du SE et du SSE à l'est et au nord de la région à l'étude, alors que l'écoulement est en direction du S à l'ouest et au sud de la région à l'étude.



Figure 5.1 Diagramme illustrant l'orientation des 131 indicateurs de mouvements recensés.

# 5.3 La déglaciation

À son étendue maximale vers 25,5 cal. ka (21,3 ka <sup>14</sup>C B.P.), l'Inlandsis laurentidien atteignait l'État du Wisconsin, au États-Unis (Dyke, 2004). Selon le modèle de déglaciation de Dalton et *al.* (2020), la marge glaciaire aurait commencé son retrait à la frontière du Québec avec la Nouvelle-Angleterre vers 13,5 cal. ka (11,5 ka <sup>14</sup>C BP; figure 5.2; Dalton et *al.*, 2020). Quant à la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon, le retrait glaciaire se serait effectué à partir de 12,8 cal. ka (11 ka <sup>14</sup>C BP; figure 5.3; Dalton et *al.*, 2020).

Il est établi que la fonte de l'Inlandsis laurentidien a entrainé un apport d'eau douce important. Résultant de la coalescence de plusieurs lacs glaciaires, dont les lacs Vermont, Iroquois et Memphrémagog (Parent et Occhietti, 1988; Parent et Occhietti, 1999) suite au retrait de la marge glaciaire des vallées du haut Saint-Laurent, des Outaouais, Saint-François et du lac Champlain, le lac Candona aurait submergé une superficie de près de 30 000 km<sup>2</sup> (Occhietti et Richard, 2003). La coalescence de l'eau douce du lac Candona et des eaux salées de la Mer de Champlain se serait produite entre 13,5 cal. ka et 13 cal. ka (Occhietti, 2007; Dyke, 2004), suite à la fonte d'un barrage de glace dans la région de Québec. Aucune évidence ne permet toutefois d'affirmer que le lac Candona aurait atteint la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon.

Le Dyas récent (12.94-12.7 à 11.64-11.4 cal. ka; 10,9 ka à 10 ka <sup>14</sup>C BP) constitue une période plus froide où la baisse des températures a eu pour conséquence la stabilisation et l'oscillation de la marge glaciaire, favorisant ainsi la construction de la Moraine de Saint-Narcisse (Lasalle et Elson, 1975; Occhietti et *al.*, 2004; Occhietti, 2007). Celle-ci s'étend sur 750 km au nord de la vallée du Saint-Laurent, entre la rivière des Outaouais jusqu'au fjord du Saguenay (Lasalle et Elson, 1975 ; Dionne et Occhietti, 1996 ; Occhietti et *al.*, 2004 ; Occhietti, 2007). Vers l'ouest, Daigneault et Occhietti (2006) ont proposé son extension jusqu'au massif Algonquin. L'hypothèse avancée par les chercheurs prolongerait le tracé du front glaciaire de plus de 400 km.

La déglaciation de la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon est traitée en trois temps, soit : 1) la déglaciation au sud de la Moraine de Saint-Narcisse, 2) la Moraine de Saint-Narcisse et sa mise en place et 3) la déglaciation au nord de la moraine.



Figure 5.2 Isochrones illustrant la déglaciation de la Nouvelle-Angleterre et du sud du Québec (Dalton et *al*, 2020). Modifié des travaux de Dalton et *al*. (2020), qui ont effectué une mise à jour de la chronologie des marges glaciaires à partir de datation <sup>14</sup>C. : le point rouge vif localise la région à l'étude, les cercles blancs constituent des datations <sup>14</sup>C incluses dans les travaux de Dyke et *al*. (2003), alors que le symbole (+) de couleur orange constitue de nouvelles datations <sup>14</sup>C recensés entre 2003 et 2018 par divers chercheurs.



Figure 5.3 Compilations de datations <sup>14</sup>C réalisés par divers chercheurs en périphérie de la région à l'étude et positions de marge glaciaire suggérés par Dyke et *al*. (2003; en rouge), et Dalton et *al*. (2020; en noir).

À la figure 5.4, on propose un modèle de la déglaciation de la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon. Celui-ci a été conçu à partir de la corrélation des formes juxtaglaciaires observées lors de la campagne de terrain et lors de l'analyse des photos-aériennes et du modèle d'ombrage LiDAR. Les positions suggérées dans les sous-sections suivantes seront décrites des plus anciennes (au sud) au plus récentes (au nord), et de l'est vers l'ouest.



Figure 5.4 Éléments géomorphologiques de la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon et positions suggérées de la marge glaciaire lors de la déglaciation.

### 5.3.1 La déglaciation au sud de la Moraine de Saint-Narcisse

Dans la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon, 6 fronts glaciaires pré-Saint-Narcisse sont proposés. Ces fronts, qui représentent sans doute des pauses dans le retrait glacicaire, sont tous orientés OSO-ENE, et sont généralement parallèles au complexe morainique de Saint-Narcisse.

Certains des fronts pourraient se corréler avec ceux proposés par Dubois-Verret (2015) en Outaouais. Alors que les positions proposées ici constituent l'alignement d'une combinaison d'éléments géomorphologiques telles que des deltas juxtaglaciaires, des crêtes morainiques, ainsi que des chenaux juxtaglaciaires, les 5 positions pré-Saint-Narcisse proposées en Outaouais par Dubois-Verret consistent principalement en l'alignement d'épandages proglaciaires subaquatiques.

Le premier front pré-Saint-Narcisse (I) proposé correspond essentiellement à l'isochrone 11 ka <sup>14</sup>C BP présenté par Dalton et *al*. (2020) (figures 5.3 et 5.4). Quelques moraines orientées E-O localisés en périphérie de Saint-Liguori pourrait avoir été mis en place simultanément avec d'autres moraines orientées NE-SO situées à environ 5 km plus à l'ouest. Ce front se prolonge sur environ 5 km vers l'ouest et bifurque ensuite vers le S, sortant des limites de la région d'étude.

La distance entre le premier et le second front (II; 10 km) est la plus grande d'entre tous les fronts proposés pré-Saint-Narcisse, laissant supposer qu'il y aurait eu une plus longue période de temps ou un taux de retrait plus rapide. Dans la région de Saint-Ambroise-de-Kildare, on retrouve une nappe de till remanié qui présente également quelques crêtes morainiques mineures, qui pourrait être corrélées à celles localisées près du lac Beaulac (au NO). Quant aux troisième (III) et quatrième fronts (IV), ils partagent plusieurs similitudes. D'abord, ils sembleraient s'être succédés plus rapidement que les précédents. En effet, la distance entre ces fronts est la plus petite d'entre tous les fronts pré-Saint-Narcisse : on observe au pourtour nord du lac des Français une quinzaine de moraines de type De Geer, ayant une distance moyenne de 100 m entre chaque crête, ce qui permet d'estimer le taux annuel de retrait à environ 100 m. Chaque front est caractérisé par la présence de deltas-kames localisés à 238 m d'altitude qui correspondent à l'altitude maximale de la Mer de Champlain au moment de ces positions du front glaciaire. Le prolongement de la partie ouest des fronts III et IV est incertain faute d'indices géomorphologiques.

Le cinquième front (V) a été estimé avec peu d'indices géomorphologiques. On observe quelques moraines au sud des limites de Saint-Jean-de-Matha ainsi qu'à Saint-Alphonse-Rodriguez, puis un delta juxtaglaciaire de même altitude que les précédents, soit 238 m d'altitude.

Localisé entre Saint-Gabriel-de-Brandon et Sainte-Béatrix, le sixième et dernier front (VI) pré-Saint-Narcisse est constitué de deux regroupements de moraines de De Geer localisées au sud de Saint-Gabriel-de-Brandon (figure 5.5). Ces moraines possèdent un espacement moyen entre 53,6 m et 66 m ce qui sembent démontrer un ralentissement dans le taux de retrait de la marge glaciaire par rapport aux taux mesurés précédemment. À l'ouest, on observe les vestiges de 7 chenaux proglaciaires, dont le plus important localisé près de Chertsey fait plus de 1.5 km de longueur et 160 m de largeur. Ces chenaux juxtglaciaires constituent de bons indicateurs de la position de la marge glaciaire.

### 5.3.2 La Moraine de Saint-Narcisse

Le complexe morainique de Saint-Narcisse témoigne d'une oscillation de la marge glaciaire vers 10,8 ka <sup>14</sup>C BP (Occhietti, 2007). Cette réavancée lors de la mise en place de la moraine ne semble pas avoir modifié l'orientation des formes profilées et des stries, selon nos observations terrain et l'analyse du modèle d'ombrage LiDAR.

Comme décrit à la section 4.2.1, elle s'étend dans la région à l'étude sur près de 60 km, soit entre les municipalités de Saint-Didace (à l'est) et la région au sud de Notre-Damede-la-Merci (à l'ouest), et elle est constituée de deux à trois crêtes principales généralement parallèles et orientées dans un axe NE-SO. Elle comprend entre ses crêtes principales au moins 300 moraines mineures ainsi que quelques centaines de moraines régulièrement espacées qui auraient été mises en place dans la Mer de Champlain et qui s'apparentent encore ici à des moraines de type De Geer (figure 4.12).

La présence de sédiments marins sous les dépôts de la Moraine de Saint-Narcisse, tels qu'observés par Denis (1974; section 4.2.1) dans la région de Saint-Gabriel-de-Brandon, permet d'affirmer que sa mise en place s'est faite alors que celle-ci était en contact avec la Mer de Champlain et qu'il y a eu une réavancée de la marge glaciaire. De plus, la présence d'un delta-kame à Saint-Gabriel-de-Brandon, localisé à la marge sud de la moraine, à 215 m d'altitude permet de supposer qu'il y aurait eu un abaissement du niveau de la Mer entre la déglaciation du secteur au sud (altitude de la mer à 238 m) et la mise en place de la Moraine de Saint-Narcisse. Des observations similaires ont également été faites en Outaouais par Hurtubise (2014) et Dubois-Verret (2015).

En considérant l'hypothèse que les moraines mineures espacées régulièrement entre les crêtes principales de la Moraine de Saint-Narcisse seraient associées à des pauses dans le retrait glaciaire et que celles-ci constitueraient des accumulations annuelles comme

le sont les moraines de De Geer, un taux de recul de la marge glaciaire a été calculé (figure 5.5). Ainsi, les 160 moraines localisées entre la deuxième et la troisième crête principale sont distancées d'une moyenne de 49,7 m. Quant aux 38 moraines mineures localisées au nord du segment morainique plus récent, elles sont distancées en moyenne de 64,3 m. Ces taux sont en accord avec celui observé pour le front VI pre-Saint-Narcisse et semblent indiquer ici encore un ralentissement de la fonte à cette période reliée à la mise en place de la moraine par rapport à celui mesuré au début de la déglaciation de la région étudiée.



Figure 5.5 Répartition spatiale de moraines mineures et de De Geer et estimation du taux de recul annuel (est du lac Maskinongé).

#### 5.3.3 La déglaciation au nord de la Moraine de Saint-Narcisse

Le nord de la région à l'étude comportant moins de vestiges géomorphologiques que le sud, les positions des fronts glaciaires proposées sont donc généralement plus incertaines. Ainsi, au nord de la Moraine de Saint-Narcisse seulement quatre fronts post-Saint-Narcisse, orientés NE-SO, sont proposés. Dans cette région. l'eau de fonte, jumelée à la présence de nombreuses dépressions topographiques présentes au NO de la région à l'étude a favorisé l'accumulation d'eau douce, initiant ainsi le dévelopement de lacs proglaciaires.

Le premier front post-Saint-Narcisse (A) proposé se situe à partir du lac Deligny et pourrait se prolonger jusque dans la région de Saint-Côme. Au NE de ce lac, il est possible d'observer quelques moraines mineures dont l'orientation est NE-SO et un delta situé à 190 m d'altitude qui aurait été mis en place dans la Mer de Champlain (voir figure 4.24). À environ 8 km plus à l'ouest, soit au nord du lac Maskinongé, on observe la présence d'un delta-kame à 197 m d'altitude (décrit à la section 4.2.2; également associé à la Mer de Champlain) et une moraine qui s'étend jusqu'au nord du lac Noir. Puis, à environ 5 km à l'ouest du lac Noir, deux deltas localisé à 285 m d'altitude, dans la vallée de la rivière Mastigouche indique la présence d'un lac glaciaire lorsque le front aurait libéré le secteur ennoyé par le lac. Celui-ci aurait été localisé entre la Moraine de Saint-Narcisse et ce front. L'eau se serait ensuite évacuée vers le S.

Quant aux deuxième, troisième et quatrième (B, C et D) fronts proposés, ils sont tous localisés au NNO, dans la région de Saint-Zénon. Ils sont caractérisés par la présence de deltas juxtaglaciaires à 436 m, 442 m, 445 m et 499 m d'altitude. Les eaux de ces lacs d'obturation glaciaire se sont probablement écoulés vers l'ouest, à l'extérieur de la région à l'étude. Selon le modèle de déglaciation de Dalton et *al.*, (2020) la marge

glaciaire se serait finalement retirée de la région de Rawdon/Saint-Gabriel de Brandon vers 10,5 cal. ka.

#### 5.4 La période post-glaciaire

La période post-glaciaire est caractérisée par le retrait graduel des eaux de la Mer de Champlain suite au relèvement isostatique de la lithosphère. Ce retrait progressif marque la formation du réseau hydrographique actuel (Gagnon, 1988). Les vallées de la rivière Ouareau et Mastigouche témoignent de cet abaissement par la présence de 5 niveaux de terrasses alluviales étagées (177 m, 162 m, 158m, 155 m et 151 m; Denis, 1974), et de quelques centaines de chenaux fluviatiles abandonnés. Localement, alors que les conditions climatiques était probablement caractéristique d'une toundra ou d'une steppe à la suite du retrait récent de la marge glaciaire, des dépôts littoraux et deltaïques ont été repris par l'action du vent et se sont déposés. Ces sédiments éoliens forment par endroits un plaquage de plus de 60 cm.

L'encaissement du réseau hydrographique dans les dépôts argileux serait à l'origine de nombreux ravinements majeurs, notamment dans la région de Saint-Ambroise-de-Kildare et Saint-Gabriel-de-Brandon. La rivière Maskinongé, parfois encaissée de plus de 20 m, est caractérisée par la présence de plusieurs cicatrices de glissements. L'accumulation tourbeuse s'est formée dans les dépressions structucturales des hautes-terres laurentiennes, ainsi que dans des kettles et d'anciens chenaux mal drainés, notamment au sud de la Moraine de Saint-Narcisse.
## CONCLUSION

Ce mémoire, réalisé dans le cadre du Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES) Laurentides-Lanaudière, avait pour but d'apporter de nouvelles connaissances sur l'histoire glaciaire et postglaciaire de la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon. Pour ce faire, quatre objectifs secondaires ont été poursuivis : 1) définir l'orientation des mouvements glaciaires régionaux, 2) caractériser les dépôts superficiels à l'échelle du 1 :50 000 des feuillets 311/04, 311/05 et 311/06-O, 3) préciser le modèle de déglaciation régional et 4) préciser l'altitude et l'étendue de l'invasion marine. Ainsi, une photo-interprétation effectuée à partir de photographies aériennes, une campagne de terrain, la compilation et le traitement de données de terrain et géomatiques, une cartographie des dépôts de surface à l'échelle du 1 : 50 000 ont été accomplis.

Dans la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon, la compilation de l'orientation des marques d'érosion glaciaire (drumlins rocheux, roches moutonnées, stries, sillons, rainures, cannelures, marques en croissant) et de formes fuselées (drumlins, drumlinoides, trainées morainiques) observées lors de la campagne de terrain et à partir du modèle d'ombrage LiDAR indique un écoulement glaciaire principal vers le SSE et le SE. Ces résultats concordent également avec ceux obtenus par divers chercheurs ayant réalisé leurs travaux en périphérie ou à l'intérieur de la région étudiée.

La répartition des dépôts juxtaglaciaires (crêtes morainiques, eskers, deltas-kames, épandages) a permis l'identification de 6 positions pré-saint-narcisse, de trois crêtes morainiques principales et de nombreuses moraines mineures dans le complexe morainique de Saint-Narcisse et de 4 positions post-saint-narcisse de la marge glaciaire lors de la déglaciation. La répartition et l'altitude des deltas glaciomarins observées lors de la campagne de terrain et à l'aide du modèle d'ombrage LiDAR a permis d'établir plus précisément les limites de l'extension marine de la Mer de Champlain dans la région de Rawdon/Saint-Gabriel-de-Brandon.

Le retrait de la marge glaciaire, qui aurait été en direction du NNO, se serait effectué selon le modèle de déglaciation de Dalton et *al*. (2020) entre 12,8 cal. ka et 10,5 cal. ka. Des taux de retrait de la marge glaciaire ont été estimés à partir du calcul de l'espacement entre des moraines de De Geer : on y observe notamment qu'au sud de la Moraine de Saint-Narcisse, le recul aurait été d'environ 53 m/an à 66 m/an, alors qu'à l'intérieur des crêtes principales le recul aurait été de 49,7 m/an (période de mise en place de la moraine). Au nord du segment morainique le plus récent, celui-ci aurait été d'approximativement 64 m/an.

Considérant la vaste superficie du territoire québécois et son couvert forestier important, l'accessibilité à certains secteurs éloignés ou difficiles d'accès peut être limitée et couteuse. Les produits dérivés du LiDAR maintenant disponibles sur une couverture de plus en plus étendue permettront, dans le cadre de recherches futures, de préciser la localisation de nombreuses formes glaciaires et postglaciaires jusqu'alors non observées et d'apporter ainsi plus de précision à l'histoire glaciaire et postglaciaire d'un grand secteur recouvert par le dome du Labrador de l'Inlandsis laurentidien.

# ANNEXE A

# CARTOGRAPHIE DES FORMATIONS SUPERFICIELLES DE LA RÉGION DE SAINT-GABRIEL-DE-BRANDON (311/06-O)



Aborbon and demonse Borbins : while on about while processes of pro-cesses in a new one is whith represent on - if a mathematic white processes in the stands of process balance in the standard and the standard and the standard standard standard and the standard standard standard standard standard standard standards a standard stand standard stand standard stan

NOTE Sociences mis en place ces de l'apirode de la liter de Champiain, a proximite de ou devant ave marge glaceure el composée procipationnel de alla, activa, argines es dismittors.

# Бакітанска кайтаўцым агрызайсканама, канне, канна раннічка на раніаг, за XMD не Бакатата данама — та наявалагат пак на прака каленичатата па кака дота ля на пакатата дана калена за маге с XMD наявала за каленае стала за наявала та дана пакататата на калена за маге с XMD наявала за каленае стала за наявала та данама та да пакатата да Naciota Annatat Antiperson The control of the contro

 Sideren för dompstare synchten på bag, hvir i balaren tille proderen bude i fasteradisk för som etter i versamenen. ACIOLACUSTRES

### NOTE Bédiments struttles mis en place par les caux de fonte au contact ou a proximité du glacer. Les unités caux le tente manes auglisentacientes en genéralement été remaniées par les vagues et les ocurants lors de la submersion entrellementement

 Notice the adjusticity perplanation and allows in calls you in a clear calls for a net calls of the displanation of the last state and sources that and and of any phone dependence of the address of sources registery and the calls and the phone calls and address address of the phone calls and the address of the calls and the cal Antiburne dispatible particles and particles. An interview of the particles are a set of the particle of the set of the s 
 Self-straid, and galaxies of solid of parts. They are started after when the parts of the parts of the solid of Setting of the set of

NOTE Biencitori e subice al plantis cabinatir. Lo remainent par le super elles de codiere han die et paties cabinatir. Lo remainent par le super elles tes super al les estantistications de la codiere de la codiere de la codiere source i conzolate par de concettrificans de losse de losser lo cabination de codiere des conjuntes marines. Nor concern globacter sectors according to the location of the sector of the sect All is converse when at decremes checking class over the region rate (20).
 All is converse when at decrements when a converse taken a solution of the converse region and the graduate share to be region of the converse when a converse of the region of the converse over the converse of the converse over the converse over the converse of the converse over the converse over the converse of the converse over the convers

# TUNES AND INTERNET

A database with a software and a software and a software a softwar Generative assigned

# MAR IN ICARDONI

Coal: to de gleaner, defaner (x. ee Auronawers) FORMES ALL UVIALES 

### - - Antonni zivez

 Omnikasikezholm Stochus drug eter construction along

### FORMER LADURTRER OU MARINER

----ES FLEVIOGLACIATÆS A Constanting of the

### . All bast

(i) well part bobobobbo Pownerskawererand

### DRWIS GLACINIRIS

----···· Granasp.com

## FORMES DU BOCLE ROCHEUX

AAAAAA. Silweelinneenin'inter-Attacson schweisel

# ANNEXE B

# LOCALISATION DES SITES AYANT FAIT L'OBJET DE RELEVÉ LORS DE LA CAMPAGNE DE TERRAIN



# BIBLIOGRAPHIE

- Adams, F. D. (1896). Rapport sur la géologie d'une partie du massif laurentien situé au nord de l'île de Montréal (Vol VIII, Partie J.). Ottawa : Commission Géologique du Canada. https://doi.org/10.4095/297221
- Béland, R. (1949). Rapport préliminaire sur la région de Rawdon Comtés de Montcalm et de Joliette (226), p. 6. Québec : Ministère des mines, service de la carte géologique. Récupéré de http://gq.mines.gouv.qc.ca/documents/EXAMINE/RP226/RP226.pdf
- Béland, R. (1960). Région de Rawdon [Rapport géologique]. (92), p. 54. Québec : Ministère des mines, service de la carte géologique. Récupéré de http://gq.mines.gouv.qc.ca/documents/EXAMINE/RG092/RG092.pdf
- Béland, R. (1967). Région de Saint-Gabriel-de-Brandon [Rapport géologique]. (133), p. 31. Québec : Ministère des Richesses naturelles du Québec. Récupéré de http://gq.mines.gouv.qc.ca/documents/EXAMINE/RG133/RG133.pdf
- Benn, D. I. et Evans, D. J. A. (2010). *Glaciers and Glaciations*, (2nd ed.). London : Hodder Education.
- Blanchard, R. (1938). Études canadiennes (Deuxième série). III, Les Laurentides. *Revue de géographie alpine*, 26(1), 1-183. https://doi.org/10.3406/rga.1938.3993
- Brazeau, A. (1991). Inventaire des ressources en granulats de la région de Rawdon, Série des manuscrits bruts, MB90-18, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Gouvernement du Québec. Récupéré de http://gq.mines.gouv.qc.ca/documents/EXAMINE/MB9018/MB9018.pdf
- Brazeau, A. (1993). Inventaire des ressources en granulats de la région de Sainte-Émilie-de-L'Énergie, Série des manuscrits bruts, MB90-18, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Gouvernement du Québec. Récupéré de http://gq.mines.gouv.qc.ca/documents/EXAMINE/MB9307/MB9307.pdf

- Caron, O. (2007). Le Quaternaire de la région de Mont-Laurier (Québec) : cartographie, sédimentologie et paléogéographie. (Mémoire de maîtrise). Université du Québec à Montréal. Récupéré de https://archipel.uqam.ca/1699/1/M10583.pdf
- Caron, O. (2013). Synthèse et modèle cartographique 3D des dépôts quaternaires pour les bassins-versants des rivières Chaudière et Saint-François : Géochronologie, sédimentologie et paléogéographie wisconsinienne du sud du Québec (Thèse de doctorat). Université du Québec à Montréal. Récupéré de https://archipel.uqam.ca/5982/1/D2412.pdf
- Clark, P. U. et Mix, A. C. (2002). Ice sheets and sea level of the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, (21), 1-7. Récupéré de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277379101001184
- Clark, T. H. et Globensky, Y. (1976) Rapport géologique RG-157: Région de Laurentides (moitié est) et de Rawdon (partie sud-est). Ministère des Richesses Naturelles: Direction générale des mines. Rapport et document cartographique. Récupéré de http://gq.mines.gouv.qc.ca/documents/EXAMINE/RG157/RG157.pdf
- Clark, T. H. et Globensky, Y. (1976) Rapport géologique RG-164: Région de Trois-Rivières. Ministère des Richesses Naturelles: Direction générale des mines. Rapport et document cartographique. Récupéré de http://gq.mines.gouv.qc.ca/documents/EXAMINE/RG164/RG164.pdf
- Clet, M. et Occhietti, S. (1996). La sous-séquence des sédiments de Saint-Pierre rythmites du Saint-Maurice - Sables des Vieilles-Forges, Pléistocène supérieur de la vallée du Saint-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 50(3), 287-310. Récupéré de https://www.erudit.org/en/journals/gpq/1900-v1n1-gpq1910/033101ar.pdf
- Côté, P. E. (1948). Rapport préliminaire sur la région de Chertsey Comtés de Montcalm, de Joliette et de Terrebonne (214), p. 16. Québec : Ministère des mines, service de la carte géologique. Récupéré de http://gq.mines.gouv.qc.ca/documents/EXAMINE/RP214/RP214.pdf
- Côté, P. E. (1960). Région de Chertsey Districts électoraux de Joliette, Montcalm et Terrebonne. (93), p. 50. Québec : Ministère des mines, Service de la carte

géologique. Récupéré de http://gq.mines.gouv.qc.ca/documents/EXAMINE/RG093/RG093.pdf

- Daigneault, R.-A. et Occhietti, S. (2006). Les moraines du massif Algonquin, Ontario, au début du Dryas récent, et corrélation avec la Moraine de Saint-Narcisse. *Géographie physique et Quaternaire*, 60(2), 103-118. Récupéré de https://www.erudit.org/fr/revues/gpq/2006-v60-n2-gpq1951/016823ar/
- Dalton, A. S. *et al.*, (2020). An updated radiocarbon-based ice margin chronology for the last deglaciation of the North American Ice Sheet Complex. *Quaternary Science Reviews*, (234). Récupéré de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0277379119307619
- Davidson, A. (1998). Carte géologique de la province de Grenville, Canada et parties adjacentes des Etats-Unis d'Amérique. [Carte]. Echelle 1 : 2 000 000. Ottawa : Commission géologique du Canada. https://doi.org/10.4095/210351
- Dawson, A.G. (1992). *Ice Age Earth ; Late Quaternary Geology and Climate*. London : Routledge.
- Denis, R. (1970). Géochimie des sédiments de ruisseau, région de St-Gabriel-de-Brandon (DP-254), p. 5. Ministère des Richesses naturelles du Québec, Direction générale des Mines. Récupéré de http://gq.mines.gouv.qc.ca/documents/examine/DP254/DP254.pdf
- Denis, R. (1972). Géologie du Quaternaire de la région de Saint-Gabriel-de-Brandon (Moitié est) (DP-65), p. 19. Ministère des Richesses naturelles, Direction générale des Mines. Récupéré de http://gq.mines.gouv.qc.ca/documents/examine/dp065/DP065.pdf
- Denis, R. (1974). Late Quaternary geology and geomorphology in the Lake Maskinongé area (Thèse de doctorat) Uppsala Universitet Naturgeografiska Institutionen.
- Denis, R. (1976). Région de Saint-Gabriel-de-Brandon [Rapport géologique]. (168), p. 65. Québec : Ministère des Richesses naturelles.
- Denis, R. et Prichonnet, G. (1973, octobre). Aspects du Quaternaire dans la région au Nord de Joliette – Livret guide d'excursion. Le Quaternaire du Québec – 2<sup>e</sup> colloque. Communication présentée au Congrès de l'ACFAS, Montréal, Québec.

- Dionne, J.-C. (1984). Le rocher profilé : une forme d'érosion glaciaire négligée. *Géographie physique et Quaternaire* 38(1), 69-74.
- Dionne, J.-C. et Occhietti, O. (1996). Aperçu du quaternaire à l'embouchure du Saguenay, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*. 50(1), 5-34. Récupéré de http://id.erudit.org/iderudit/033072ar
- Dubois-Verret, M. (2015). Géomorphologie Quaternaire de L'Outaouais (Québec) : Écoulements glaciaires et paléogéographie de la déglaciation. (Mémoire de maîtrise). Université du Québec à Montréal. Récupéré de https://archipel.uqam.ca/7900/1/M13995.pdf
- Dyke, A. S. et Prest, V. K. (1987). Late Wisconsinan and Holocene History of the Laurentide Ice Sheet. *Géographie physique et Quaternaire, 41*(2), 237. Récupéré de https://www.erudit.org/fr/revues/gpq/1987-v41-n2gpq1945/032681ar/
- Dyke, A. S., (2004). An outline of North American deglaciation with emphasis on central and northern Canada, *Developpements in Quaternary Sciences*, 2(Part B) 373-424. Récupéré de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1571086604802094
- Dyke, A. S., Andrews, J. T., Clark, P. U., England, J. H., Miller, G. H., Shaw, J. et Veillette, J. J. (2002). The Laurentide and Innuitian ice sheets during the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, 21(1-3), 9-31. Récupéré de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277379101000956
- Dyke, A. S., Moore, A. et Robertson, L. (2003). *Deglaciation of North America*. (Geological Survey of Canada, Open File) (Vol. 1574). Récupéré de https://geoscan.nrcan.gc.ca/starweb/geoscan/servlet.starweb?path=geoscan/ful le.web&search1=R=214399
- Elson, J. A. (1969). Late Quaternary marine submergence of Quebec. *Revue de Géographie de Montréal*, vol 23 (3), 247-258.
- Fleury, M. (2008). Paléogéographie Quaternaire de la région de Saint-Michel-des-Saints : cartographie, stratigraphie et sédimentologie (Mémoire de maîtrise). Montréal: Université du Québec à Montréal. Récupéré de : https://archipel.uqam.ca/1700/1/M10586.pdf

- Gadd, N. R. et Karrow, P. F. (1959) Surficial geology of Trois-Rivières: Saint-Maurice, Champlain, Maskinongé and Nicolet Counties, Québec. [Carte] MAP 54-1959. https://doi.org/10.4095/108651
- Gadd, N. R., (1971). Déglaciation du sud du Québec. Géologie des dépôts meubles, Ottawa : Commission géologique du Canada, étude 71-47, carte 10-1971.
- Gadd, N. R., McDonald, B.C., et Shilts, W.W. (1972). *Deglaciation of southern Quebec*. Ottawa : Geological Survey of Canada. Paper 71-47, 19 p., map 10-1971.
- Gagnon, P. (1989). Les dépôts Quaternaires sur la bordure du Bouclier canadien Laurentidien (Rawdon-Québec) : cartographie, stratigraphie, sédimentologie et mode de retrait glaciaire. (Mémoire de maîtrise) Montréal : Université du Québec à Montréal, Département des Sciences de la Terre.
- Gibbard, P.H. et Head, M.J. (2010). Formal ratification of the Quaternary System/Period and the Pleistocene Series/Epoch with a base at 2.58 Ma. *Journal of Quaternary Science*, vol. 25(2). doi : https://doi.org/10.1002/jqs.1338
- Globensky, Y. (1987). Géologie des Basses-Terres du Saint-Laurent. Ministère des Ressources naturelles, Direction générale de l'exploration géologique. 63 p. Récupéré de http://gq.mines.gouv.qc.ca/documents/EXAMINE/MM8502/MM8502.pdf
- Godbout, G. (1957). Étude pédologique de comté de Berthier. Ministère de l'Agriculture du Québec, Division des Sols, (5) 112. Récupéré de https://www.erudit.org/fr/revues/cgq/1960-v5-n9-cgq2583/020302ar.pdf
- Godbout, G. (1962). Étude pédologique de comté de Maskinongé. Ministère de l'Agriculture et de la colonisation, Division des Sols, (9) 87. Récupéré de https://www.yumpu.com/fr/document/read/17041873/pq36-etude-pedologique-du-comte-de-maskinonge-irda
- Grenier, C. et Denis, R. (1974). Étude hydrogéomorphologique dans la région du Lac Maskinongé, Québec. *Journal canadien des sciences de la Terre*, 11(6). Récupéré de https://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.1139/e74-075
- Hardy, F., Daigneault, R. -A., et Roy, M. (2017). *Géologie des formations superficielles. Région de Saint-Michel-des-Saints*. Feuillet 3109-11-12-13 et 31J16. [Carte]. 1 : 50 000. Montréal : Université du Québec à Montréal.

- Hardy, F., Daigneault, R.-A., Milette, S., Kenny, C.A., Robitaille, A., Raymond, H., Lefebvre-Fortier, C., Desrochers, C., Imbeault, A. et Lamothe, M. (2018).
  Rapport final sur les travaux de cartographie des formations superficielles de la région de Lanaudière (Québec) en 2017-2018. Montréal : Université du Québec à Montréal.
- Hillaire-Marcel, C. et Occhietti, S. (1977). Fréquence des datations au <sup>14</sup>C de faunes marines post-glaciaires de l'est du Canada et variations paléoclimatiques. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 21, 17-54. Récupéré de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0031018277900037
- Jenness Entreprises (2014). Polar plots for ArcGIS(Version 1.0.253) [Logiciel]. Flagstaff : Jeff Jenness
- Karrow, P. F. (1961). The Champlain Sea and its sediments. *Soils in Canada* (ed. R.F. Legget), 3, 97-108. Ottawa : The Royal Society of Canada
- Kenny, C.-A., Daigneault, R. -A., et Roy, M. (2017). *Géologie des formations superficielles. Région de Saint-Gabriel-de-Brandon*. SNRC 3106. [Carte]. 1 : 50 000.
- Lajoie, G. (1978). La présence et la distribution des coulées argileuses de la vallée de la rivière Maskinongé : aspects topographiques, stratigraphiques et géotechniques. (Mémoire de maîtrise). Université McGill. Récupéré de http://escholarship.mcgill.ca/concern/file\_sets/g732db19d?locale=en
- Lamothe, M. (1977). Les dépôts meubles de la région de Saint-Faustin-Saint-Jovite, Québec : cartographie, sédimentologie et stratigraphie. (Mémoire de maîtrise). Montréal : Université du Québec à Montréal, Département des Sciences de la Terre.
- Lamothe, M. (1989). A new framework for the Pleistocene stratigraphy of the central St. Lawrence Lowland, Southern Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 43(2), 109-129. Récupéré de https://www.erudit.org/fr/revues/gpq/1990-v44-n1-gpq1931/032764ar/
- Lasalle, P. (1966). Late Quaternary vegetation and glacial history in the St. Lawrence lowlands, Canada., 38, 91-128. Récupéré de https://pdfs.semanticscholar.org/c924/9ebcb2a73b74fad7e51314d95b2a22719 4ad.pdf?\_ga=2.150821110.1998973497.1592176412-341534520.1591740146

- LaSalle, P. (1985). Stratigraphie du Quaternaire du Québec: une revue, *Quaternary of Canada A contribution to IGCP Project*, 24, 84-10. Récupéré de http://gq.mines.gouv.qc.ca/documents/examine/MB8511/MB8511.pdf
- Lasalle, P. et Elson, J.A. (1975). Emplacement of the St.Narcisse moraine as a climatic event in eastern Canada. *Quaternary Research*, 5(4), 621-625. Récupéré de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0033589475900186
- Laverdière, C. et Comtemanche, A. (1965). La géomorphologie glaciaire de la région du Mont Tremblant. Partie 3: Écoulement glaciaire et rétentions lacustres. *Revue de géographie de Montréal* (19), 99-1 22.
- Laverdière, C. et Courtemanche, A. (1960). La géomorphologie glaciaire de la région du mont Tremblant. Deuxième partie: La région de Saint-Faustin - Saint-Jovite. *Cahiers de géographie du Québec*, 5(9), 5-5. Récupéré de https://www.erudit.org/fr/revues/cgq/1960-v5-n9-cgq2583/020260ar.pdf
- Légaré-Couture, G. (2013). *Hydrostratigraphie et modélisation géologique 3D du sud-ouest de la Mauricie*. (Mémoire de maîtrise) Université du Québec à Trois-Rivières. Récupéré de http://depote.uqtr.ca/id/eprint/7310/1/030621770.pdf
- Milette, S., Daigneault, R. -A., et Roy, M. (2017). *Géologie des formations superficielles. Région de Sainte-Émilie-de-l'Énergie*. Feuillet 31I05. [Carte]. 1 : 50 000. Montréal : Université du Québec à Montréal.
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements climatiques (2018). Projets d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines. Récupéré de http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/souterraines/programmes/acquisiti on-connaissance.htm
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (2018). *Centre d'expertise hydrique*. Récupéré de http://www.cehq.gouv.qc.ca/index.asp
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (2018). *Stratégie québécoise de l'eau 2018-2030*. Récupéré de http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/strategie-quebecoise

- Ministère de l'Environnement et Lutte contre les changements climatiques (2017) Système d'information hydrogéologique, données de puisatiers de Saint-Gabriel-de-Brandon. Récupéré de http://www.sih.environnement.gouv.qc.ca/index.html
- Occhietti, S. (1979). Le Quaternaire de la région de Trois-Rivières-Shawinigan, Québec : Contribution à la paléogéographie de la vallée moyenne du Saint-Laurent et corrélations stratigraphiques (Thèse de doctorat). Université d'Ottawa. http://dx.doi.org/10.20381/ruor-7124
- Occhietti, S. (1982). Synthèse lithostratigraphiques et paléoenvironnements du Quaternaire au Québec méridional; Hypothèse d'un centre d'englacement wisconsinien au Nouveau-Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 36(1-2), 15-49. Récupéré de https://www.erudit.org/fr/revues/gpq/1982-v36n1-2-gpq1939/032468ar/
- Occhietti, S. (1987). Dynamique de l'Inlandsis laurentidien du Sangamonien à l'Holocène. *Géographie physique et Quaternaire*, 41(2), 301-313. Récupéré de https://www.erudit.org/en/journals/gpq/1900-v1-n1-gpq1945/032685ar.pdf
- Occhietti, S. (1990). Lithostratigraphie du Quaternaire de la vallée du Saint-Laurent: méthode, cadre conceptuel et séquences sédimentaires. *Géographie physique et Quaternaire*, 44(2), 137-145. Récupéré de https://www.erudit.org/fr/revues/gpq/1990-v44-n2-gpq1934/032813ar/
- Occhietti, S. (2007). The Saint-Narcisse morainic complex and early Younger Dryas events on the southeastern margin of the Laurentide Ice Sheet. *Géographie physique et Quaternaire*, 61(2-3), 89-117. Récupéré de https://www.erudit.org/fr/revues/gpq/2007-v61-n2-3-gpq3583/038987ar/
- Occhietti, S. et Richard, P.J.H. (2003). Effet réservoir sur les âges 14 C de la Mer de Champlain à la transition Pleistocène-Holocène : révision de la chronologie de la déglaciation au Québec méridional. *Géographie physique et Quaternaire*, 57(2-3), 115-138. Récupéré de https://www.erudit.org/fr/revues/gpq/2003v57-n2-3-gpq954/011308ar/
- Occhietti, S., Govare, E., Klassen, R., Parent, M., et Vincent, J. (2004). Late Wisconsinan-Early Holocene deglaciation of Quebec-Labrador. *Developments* in Quaternary Science, 2(part B), 243-273. Récupéré de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1571086604802021

- Osborne, F. (1951). Parcs des Laurentides ice cap and the Quebec Sea. *Naturaliste Canadien*, 78, 222-251.
- Pagé, P. (1977). Les dépôts meubles de la région de Saint-Jean-de-Matha-Sainte-Émilie-de-l'Énergie, Québec, cartographie, sédimentologie et stratigraphie. (Mémoire de maîtrise). Université du Québec à Montréal.
- Parent, M. (1987). *Late Pleistocene stratigraphy and events in the Asbestos-Valcourt region, southeastern Québec* (Thèse de doctorat). University of Western Ontario. Récupéré de https://ir.lib.uwo.ca/cgi/viewcontent.cgi?article=2663&context=digitizedthese s
- Parent, M. et Occhietti, S. (1988). Late Wisconsinan deglaciation and Champlain sea invasion in the Sr. Lawrence valley, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 42(3), 215-246. Récupéré de https://www.erudit.org/fr/revues/gpq/1988-v42-n3-gpq1929/032734ar/
- Parent, M., Paradis, S. et Boivin, R. (2010). Formations superficielles: légende et notes descriptives 1150 000 à 11125 000 (11). Ottawa : Commission géologique du Canada.
- Parry, J. T. et Macpherson, J. C. 1964. The Saint-Faustin Saint-Narcisse Moraine and the Champlain sea. *Revue de géographie de Montréal*, vol, 18 : 235-248.
- Parry, J. T.(1963). *The Laurentians : A study in gemorphological development* (Thèse de doctorat), Université McGill. Récupéré de http://escholarship.mcgill.ca/concern/file\_sets/3j3335773?locale=en
- Prichonnet, G. (1977). La déglaciation de la vallée du Saint-Laurent et l'invasion marine contemporaine. *Géographie physique et Quaternaire*, 31(3-4), 323-345. https://doi.org/10.7202/1000281ar
- Ross, M., Parent, M., Benjumea, B. et Humer, J. (2006). The late Quaternary stratigraphic record northwest of Montreal: Regional ice-sheet dynamics, icestream activity, and early deglacial events. *Canadian journal of Earth Sciences*, 43(4), 461-485. Récupéré de https://www.researchgate.net/publication/230822377\_The\_Late\_Quaternary\_s tratigraphic\_record\_northwest\_of\_Montreal\_regional\_ice\_sheet\_dynamics\_ic e\_stream\_activity\_and\_early\_deglacial\_events

- Shilts, W.W. (1981). Surficial Geology of the Lac Mégantic area, Québec. (Memoir 397). Ottawa : Geological Survey of Canada. https://doi.org/10.4095/109357
- Shilts, W.W. (1982). Glacial dispersal principles and applications, *Geoscience Canada*. (9)1. Récupéré de https://journals.lib.unb.ca/index.php/GC/article/view/3285
- Terasmae, J. (1960). Contributions to Canadian palynology No. 2, Part 1, A palynological study of post-glacial deposits in the St. Lawrence Lowlands. (Bulletin 56). Ottawa : Geological Survey of Canada.
- Thériault, R et Beauséjour, S. (2012). Carte numérique de la géologie du Québec [Rapport géologique DV 2012-06]. Échelle 1 : 2 000 000. Québec : Ministère des Ressources naturelles.
- Tremblay, G. (1977). Géologie du Quaternaire de la région de Rawdon-Laurentides-Shawbridge-Ste-Agathe-des-Monts. (DP-551), p. 31. Ministère des Richesses naturelles, Direction générale des Mines. Récupéré de http://gq.mines.gouv.qc.ca/documents/examine/DP551/DP551.pdf