

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

ESTIMATION DE LA RESSOURCE GRANULAIRE ET DU POTENTIEL AQUIFÈRE  
DES ESKERS DE L'ABITIBI-TÉMISCAMINGUE ET  
DU SUD DE LA BAIE-JAMES (QUÉBEC)

MÉMOIRE  
PRÉSENTÉ  
COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN GÉOGRAPHIE

PAR  
SIMON NADEAU

JUIN 2011

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.01-2006). 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 tiens à remercier mon directeur de maîtrise Robert-André Daigneault de m'avoir offert ce projet. Il m'a fait confiance et a cru en mes moyens pour le réaliser jusqu'au bout. Ses compétences et son accessibilité m'ont permis d'être bien encadré tout au long de ces trois années. Je tiens à remercier, mon codirecteur, Vincent Cloutier, sans son support administratif, financier, et scientifique le projet n'aurait pas pu se réaliser. La confiance qu'il a maintenue envers moi m'a grandement aidé dans mon apprentissage. Un gros merci doit aussi être rendu à Jean Veillette qui, par son esprit visionnaire, est l'instigateur du projet. Malgré la retraite, il a été très présent pour suivre l'évolution du projet autant sur le terrain que sur papier. Ses connaissances sur le Quaternaire de la région et ses capacités de vulgarisation m'ont permis de saisir adéquatement les problématiques en présence et ainsi axer les travaux en fonction des besoins régionaux.

Je tiens aussi à remercier nos partenaires régionaux pour l'accès aux données numériques (CRÉAT et CRÉBJ), les partenaires de l'Entente spécifique sur le développement durable des ressources en eau souterraine dans la région de l'Abitibi-Témiscamingue (MDDEP, MDEIE, MAMROT, CRÉAT), le MDDEP pour le Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec (PACES), les partenaires régionaux du PACES-Abitibi-Témiscamingue (MRC d'Abitibi, MRC d'Abitibi-Ouest, MRC de la Vallée-de-l'Or, Ville de Rouyn-Noranda, MRC de Témiscamingue, CRÉAT, OBVAJ et OBVT) ainsi que le MRNF, Sylvain Lacroix et André Brazeau, pour leur contribution avec l'Inventaire des ressources granulaires de la région de Malartic.

Merci aussi au personnel du département de géographie de l'UQAM, du GRES-UQAT et du campus d'Amos de l'UQAT pour votre soutien.

Un merci privilégié à mes parents, Claire et Guy, qui m'ont appuyé et suivi tout au long de mon cheminement, et à ma sœur, Sara, qui s'intéressait à mes travaux. Malheureusement, elle ne sera pas là pour en voir la couleur.

Un gros merci à mes amis, juste pour ce que vous êtes.

Un doux merci à Gaëlle pour tout ce qu'elle fait pour moi; une chance que tu étais là dans le dernier droit.

MERCI à tous.

## TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES .....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET SYMBOLES .....	xii
RÉSUMÉ .....	xiii
MISE EN CONTEXTE ET OBJECTIF.....	1
CHAPITRE I	
CONTEXTE GÉNÉRAL.....	4
1.1 Localisation de la région d'étude.....	4
1.2 Physiographie .....	7
1.3 Hydrographie .....	7
1.4 Lithologie du substrat rocheux .....	10
1.5 Histoire glaciaire.....	13
1.5.1 L'écoulement glaciaire et les grandes formes du terrain.....	14
1.5.2 La submersion lacustre.....	15
1.5.3 La répartition et l'origine des dépôts.....	18
1.5.3.1 Dépôts glaciaires (Till) .....	20
1.5.3.2 Dépôts fluvioglaciaires .....	20
1.5.3.3 Dépôts glaciolacustres sublittoraux, de plage et deltaïques.....	21
1.5.3.4 Dépôts glaciolacustres d'eau profonde .....	22
1.5.3.5 Dépôts alluviaux .....	22
1.5.3.6 Dépôts éoliens.....	22
1.5.3.7 Dépôts organiques.....	22
1.6 Les eskers .....	23
1.6.1 Description générale.....	23
1.6.2 Description des eskers de la région d'étude .....	25

1.6.3 Classification des types d'esker de l'Abitibi-Témiscamingue en fonction de leur milieu de mise en place .....	26
1.6.4 Modèle conceptuel de la sédimentation et de l'évolution des eskers abitibiens en milieu sous-aquatique.....	28
1.7 Travaux antérieurs .....	31
CHAPITRE II MÉTHODOLOGIE.....	35
2.1 Inventaire des données numériques .....	35
2.1.1 Données topographiques .....	35
2.1.2 Modèle numérique d'altitude régionale. ....	36
2.1.3 Les données d'altitude des limites de lessivage .....	36
2.1.4 Sites visités lors de la campagne de terrain.....	36
2.1.5 Localisation des eskers.....	37
2.2 Toponymie des eskers de la région d'étude.....	37
2.3 Photo-interprétation .....	39
2.4 Campagne de terrain .....	39
CHAPITRE III ÉVALUATION DE LA RESSOURCE EN DÉPÔTS GRANULAIRES .....	40
3.1 Méthodologie.....	41
3.2 Analyse de la réserve de dépôts granulaires .....	47
3.2.1 Description de la réserve de dépôts granulaires de la région d'étude .....	47
3.2.2 Description de la masse granulaire pour chaque MRC de la région d'étude .....	51
3.2.2.1 La MRC d'Abitibi.....	51
3.2.2.2 La MRC d'Abitibi-Ouest .....	51
3.2.2.3 La MRC de La Vallée-de-l'Or .....	54
3.2.2.4 La Ville de Rouyn-Noranda.....	56
3.2.2.5 La partie sud de la Baie-James.....	56
3.2.2.6 La MRC de Témiscamingue .....	59

CHAPITRE IV	
ÉVALUATION DU POTENTIEL AQUIFÈRE.....	61
4.1 Le contexte de mise en place .....	61
4.1.1 La modélisation glaciolacustre et la profondeur d'eau maximale.....	62
4.1.2 Identification des unités lithostratigraphiques à proximité des eskers .....	73
4.1.2.1 Dépôts glaciolacustres sublittoraux et de plage .....	74
4.1.2.2 Dépôts glaciolacustres d'eau profonde (argile et silt).....	74
4.1.3 Les hauts fonds.....	74
4.1.4 Les milieux de mise en place des eskers .....	77
4.1.4.1 Répartition des types de milieux de mise en place sur la région d'étude.....	77
4.1.4.2 Répartition des types de milieux de mise en place à l'intérieur des MRC.....	80
4.1.4.2.1 La MRC d'Abitibi .....	81
4.1.4.2.2 La MRC d'Abitibi-Ouest.....	84
4.1.4.2.3 La MRC de La Vallée-de-l'Or.....	87
4.1.4.2.4 La Ville de Rouyn-Noranda .....	90
4.1.4.2.5 Le sud de la Baie-James .....	93
4.1.4.2.6 La MRC de Témiscamingue.....	96
4.2 Potentiel aquifère attribué aux segments d'eskers.....	99
4.2.1 Dépôts glaciolacustres et milieu de mise en place .....	99
4.2.2 Présence de till ou de roc.....	99
4.2.3 Analyse d'éléments hydrogéologiques.....	102
4.2.3.1 Identification des sources ponctuelles.....	102
4.2.3.2 Identification des zones d'émergence d'eau diffuse .....	103
4.2.3.3 Influence de la présence d'une source sur le potentiel aquifère d'un esker. ....	105
4.2.4 Critères indiquant la présence d'un aquifère dans les eskers .....	107
4.2.5 Potentiel aquifère des eskers .....	111
4.2.5.1 Répartition spatiale du potentiel aquifère dans la région d'étude .....	111
4.2.5.2 Répartition du potentiel aquifère dans les différentes MRC .....	114
4.2.5.2.1 La MRC d'Abitibi .....	115

4.2.5.2.2 La MRC d’Abitibi-Ouest.....	117
4.2.5.2.3 MRC de La Vallée-de-l’Or.....	119
4.2.5.2.4 La Ville de Rouyn-Noranda .....	121
4.2.5.2.5 Le sud de la Baie-James .....	123
4.2.5.2.6 La MRC de Témiscamingue.....	125
CHAPITRE V	
SYNTHÈSE ET CONCLUSION.....	127
5.1 Les grands constats.....	127
5.2 Limites de la méthode utilisée pour le calcul du volume de dépôts granulaires.....	130
5.3 Travaux complémentaires et problématiques de gestion .....	131
APPENDICE.....	134
MODÉLISATION DE L’ÉTENDUE DE LA SUBMERSION GLACIOLACUSTRE BASÉE SUR LA POSITION GÉOGRAPHIQUE ORIGINALE DES DONNÉES D’ALTITUDES DES LIGNES DE LESSIVAGE	
BIBLIOGRAPHIE.....	136

## LISTE DES FIGURES

Figure		Page
1.1	Localisation de la région étudiée et des MRC touchées par le projet....	5
1.2	Cartes récentes des dépôts de surface de l'Abitibi-Témiscamingue (échelle 1 : 100 000) produites par la Commission géologique du Canada .....	6
1.3	Physiographie de la région étudiée.....	8
1.4	Réseau hydrographique de la région étudiée.....	9
1.5	Lithologie de la roche en place de la région étudiée et les provinces géologiques associées.....	11
1.6	Dernier écoulement glaciaire et les grandes formes du terrain (eskers et moraines) de l'Abitibi-Témiscamingue.....	16
1.7	Répartition des unités lithostratigraphiques quaternaires de la région étudiée selon les travaux récents de la Commission géologiques du Canada.....	19
1.8	Mise en place des « fans » marquant la position de la marge glaciaire..	21
1.9	Distribution des eskers sur l'ensemble du territoire canadien et limites du Bouclier canadien. ....	23
1.10	Classification des types d'esker en fonction des milieux de mise en place des eskers de l'Abitibi-Témiscamingue.....	27
1.11	Modèle conceptuel de l'évolution d'un esker abitibien formé en milieu glaciolacustre.....	29
1.12	Modèle conceptuel en coupe transversale de l'esker formé en milieu glaciolacustre.....	30
2.1	Toponymie des eskers de l'Abitibi-Témiscamingue utilisée pour cette étude.....	38
3.1	Partie de l'esker utilisée dans le calcul du volume de la masse granulaire en fonction de trois milieux (A, B, C) de mise en place.....	42

3.2	Organigramme représentant la chaîne d'opération et les cinq étapes à suivre pour obtenir une estimation minimale du volume de dépôts granulaire d'un segment d'esker.....	43
3.3	A) MNA englobant un segment d'esker B) MNA extrait pour le segment d'esker C) TIN rejoignant les altitudes du pourtour de l'esker D) Soustraction du TIN au MNA de l'esker E) Section de l'esker émergeant au-dessus des dépôts avoisinants.....	44
3.4	Hauteurs des eskers de la région d'étude.....	48
3.5	Hauteurs des eskers de la MRC d'Abitibi.....	52
3.6	Hauteurs des eskers de la MRC d'Abitibi-Ouest.....	53
3.7	Hauteurs des eskers de la MRC de La Vallée-de-l'Or.....	55
3.8	Hauteurs des eskers de la Ville de Rouyn-Noranda.....	57
3.9	Hauteurs des eskers du sud de la Baie-James.....	58
3.10	Hauteurs des eskers de la MRC de Témiscamingue.....	60
4.1	Lignes de lessivage sur le pourtour des hautes collines et plages de blocs correspondant au niveau maximal atteint par le lac Ojibway.....	63
4.2	Répartition des altitudes des lignes de lessivage pour la submersion glaciolacustre Barlow-Ojibway.....	64
4.3	A) Distribution des altitudes des lignes de lessivage projetées sur l'axe N017°. B) Courbe de tendance calculée pour les altitudes des lignes de lessivage reportées sur l'axe N017° utilisé pour la modélisation des niveaux maximaux du lac glaciaire Barlow-Ojibway.....	65
4.4	Altitudes de lignes de lessivage reportées sur l'axe N017° utilisé pour la modélisation du maximum de la submersion glaciolacustre Barlow-Ojibway.....	67
4.5	Modélisation de la limite de la submersion des lacs proglaciaires Barlow et Ojibway (partie sud) et isolignes du gauchissement.....	69
4.6	Profondeurs maximales du lac glaciaire Barlow-Ojibway sur la région d'étude.....	71
4.7	Répartition spatiale des dépôts glaciolacustres.....	75

4.8	Segments d'eskers à l'intérieur de la plaine argileuse et situés sur des hauts-fonds.....	76
4.9	Répartition spatiale des milieux de mise en place des eskers selon la typologie proposée par Veillette <i>et al.</i> (2004).....	78
4.10	Profondeurs maximales du lac Ojibway sur la MRC d'Abitibi.....	82
4.11	Milieux de mise en place des eskers de la MRC d'Abitibi selon la typologie proposée par Veillette <i>et al.</i> (2004).....	83
4.12	Profondeurs maximales du lac Ojibway sur la MRC d'Abitibi-Ouest...	85
4.13	Milieux de mise en place des eskers de la MRC d'Abitibi-Ouest selon la typologie proposée par Veillette <i>et al.</i> (2004).....	86
4.14	Profondeurs maximales du lac Barlow-Ojibway sur la MRC de La Vallée-de-l'Or.....	88
4.15	Milieux de mise en place des eskers de la MRC de La Vallée-de-l'Or selon la typologie proposée par Veillette <i>et al.</i> (2004).....	89
4.16	Profondeurs maximales du lac Barlow-Ojibway sur la Ville de Rouyn-Noranda.....	91
4.17	Milieux de mise en place des eskers de la Ville de Rouyn-Noranda selon la typologie proposée par Veillette <i>et al.</i> (2004).....	92
4.18	Profondeurs maximales du lac Barlow-Ojibway au sud de la Baie-James.....	94
4.19	Milieux de mise en place des eskers du sud de la Baie-James selon la typologie proposée par Veillette <i>et al.</i> (2004).....	95
4.20	Profondeurs maximales du lac Barlow-Ojibway sur la MRC de Témiscamingue.....	97
4.21	Milieux de mise en place des eskers de la MRC de Témiscamingue selon la typologie proposée par Veillette <i>et al.</i> (2004).....	98
4.22	Segments d'eskers avec présence d'unités de till ou de roc à moins de 500 m.....	101
4.23	Identification d'une source sur le flanc ouest d'un esker près de Val-d'Or.....	102

4.24	Localisation des sources ponctuelles le long des eskers.....	104
4.25	Réseau hydrographique dendritique formé par l'émergence diffuse d'eau sur le flanc ouest de l'esker Saint-Mathieu-Berry.....	105
4.26	Localisation des sources d'émergence diffuses d'eau le long des eskers.....	106
4.27	Potentiel aquifère associé aux segments d'esker en fonction de leurs caractéristiques physiques.....	112
4.28	Potentiel aquifère associé aux segments d'eskers de la MRC d'Abitibi..	116
4.29	Géologie de surface et modélisation d'une coupe transversale des sédiments quaternaires entre la Moraine d'Harricana et l'esker de Barraute.....	117
4.30	Potentiel aquifère associé aux segments d'eskers de la MRC d'Abitibi-Ouest.....	118
4.31	Potentiel aquifère associé aux segments d'eskers de la MRC de La Vallée-de-l'Or.....	120
4.32	Potentiel aquifère associé aux segments d'eskers de la Ville de Rouyn-Noranda.....	122
4.33	Potentiel aquifère associé aux segments d'eskers du sud de la Baie-James.....	124
4.34	Potentiel aquifère associé aux segments d'esker de la MRC de Témiscamingue.....	126

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
3.1	Description de la masse granulaire pour les MRC de l'Abitibi-Témiscamingue.....	50
4.1	Profondeur d'eau maximale de la submersion glaciolacustre Barlow-Ojibway associée aux milieux de mise en place.....	72
4.2	Présence des sédiments glaciolacustres en fonction du milieu de mise en place des eskers.....	73
4.3	Proportion des milieux de mise en place des eskers pour la région d'étude et leur répartition dans les différentes MRC.....	79
4.4	Proportion des types de milieu de mise en place des eskers et leur répartition dans les différentes MRC.....	80
4.5	Critères indiquant la présence d'un aquifère et pointage associé.....	108
4.6	Niveau du potentiel aquifère associé aux segments d'esker en fonction des critères observables à la surface.....	110
4.7	Proportion des niveaux du potentiel aquifère des eskers pour la région d'étude et leur répartition dans les différentes MRC.....	113
4.8	Proportion des niveaux du potentiel aquifère des eskers pour chaque MRC.....	114

## LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET SYMBOLES

### ABRÉVIATIONS

ANUDEM	Australian National University Digital Elevation Model
BNDT	Base nationale de données topographiques
BDTQ	Base de données topographique du Québec
CGC	Commission géologique du Canada
CRÉAT	Conférence régionale des élus de l'Abitibi-Témiscamingue
CRÉBJ	Conférence régionale des élus de la Baie-James
DEM	Digital Elevation Models
GPS	Système de positionnement global
GRES	Groupe de recherche sur l'eau souterraine - Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue
INRS – ETE	Institut national de la recherche scientifique - Eau-Terre-Environnement
MERQ	Ministère de l'énergie et des ressources du Québec
MNA	Modèle numérique d'altitude
MRC	Municipalité régionale de comté
MRN	Ministère des ressources naturelles
MRNF	Ministère des ressources naturelles et de la faune
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OGS	Ontario Geological Survey
SIG	Système d'information géographique
SNRC	Système national de référence cartographique du Canada
STRM	Shuttle Topography Radar Mission
TIN	Triangulated Irregular Network
UQAT	Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

### SIGLES ET SYMBOLES

BP	Before present
cal.	Calibré
Ga	Milliard d'années
Ka	Millier d'années
km	Kilomètre
Lat.	Latitude
Long.	Longitude
m	Mètre
<sup>14</sup> C	Carbone 14
%	Pourcentage
°	Degré

## RÉSUMÉ

Les eskers de l'Abitibi-Témiscamingue sont des complexes fluvioglaciaires généralement mis en place dans un environnement sous-aquatique lors de la déglaciation. La submersion glaciolacustre Barlow-Ojibway, qui a suivi le retrait du front glaciaire, a favorisé l'accumulation de sédiments à grains fins dans les zones profondes recouvrant les irrégularités du terrain. Cette couverture de sédiments a affecté le volume apparent des dépôts granulaires en enfouissant partiellement ou complètement les flancs d'eskers. En plus d'être d'un intérêt en matériaux granulaires, les eskers de l'Abitibi-Témiscamingue sont des sources d'approvisionnement en eau potable pour plusieurs municipalités. Ce sont les sédiments à grains fins, peu perméables, sur les flancs qui favorisent la formation de réservoirs aquifères. La présence d'eau de haute qualité entre souvent en conflit avec certaines activités humaines. Pour éviter l'émergence de conflit d'usage et favoriser la protection de la ressource, un mode de gestion adapté à cette réalité est nécessaire. Pour y parvenir, ce mémoire dresse un portrait quantitatif de la réserve en dépôts granulaires de l'Abitibi-Témiscamingue et le sud de la Baie-James en plus d'évaluer le potentiel aquifère de l'ensemble des segments d'eskers.

À l'aide de la modélisation de la topographie des eskers, le volume de dépôts granulaires apparent a été estimé à 10 610 millions de m<sup>3</sup> pour l'ensemble de l'Abitibi-Témiscamingue. De ce volume, près du tiers (3 105 millions de m<sup>3</sup>) se concentre sur le territoire de la MRC de la Vallée-de-l'Or : 2 503 millions de m<sup>3</sup> dans le sud de la Baie-James, 1 950 millions de m<sup>3</sup> dans la MRC d'Abitibi, 1 630 millions de m<sup>3</sup> dans la MRC de Témiscamingue, 1 279 millions de m<sup>3</sup> dans la Ville de Rouyn-Noranda et 143 millions de m<sup>3</sup> dans la MRC d'Abitibi-Ouest. La disparité dans les volumes mesurés est liée à la taille des territoires couverts, aux milieux de mise en place des eskers et à l'épaisseur des dépôts glaciolacustres qui les recouvrent.

La modélisation des altitudes maximales de la submersion glaciolacustre et la présence ou l'absence des dépôts glaciolacustres ont permis de connaître l'environnement de sédimentation des eskers. Quatre milieux de mise en place ont pu être identifiés pour les segments d'esker de la région, soit : celui au-dessus du niveau maximal de la submersion (type A représentant 10 % de tous les eskers), celui de la zone sublittoral supérieure à l'altitude de la plaine argileuse (type B représentant 31 % de tous les eskers), celui de la zone profonde où les eskers sont partiellement enfouis par les sédiments à grains fins (type C représentant 58 % de tous les eskers) et celui de la zone profonde où les eskers sont complètement recouverts par les sédiments à grains fins (type D représentant 1 % de tous les eskers).

Ces milieux de mise en place jumelés à la présence ou à l'absence de résurgence d'eau ponctuelle ou diffuse et à la présence d'affleurement de till ou de roc à proximité des

segments permettent d'évaluer le potentiel aquifère des eskers. Quatre niveaux de potentiel aquifère ont été attribués aux segments d'eskers de la région selon ces caractéristiques; 4 signifie le meilleur potentiel et 1, le moins bon. Selon ce classement, 39 % des eskers sont de niveau 4, 32 % des eskers sont de niveau 3, 26 % des segments sont de niveau 2 et 3 % des segments sont de niveau 1. La répartition spatiale des eskers selon ce classement montre un accroissement progressif du potentiel aquifère de ces derniers vers le nord-ouest de la région : les eskers de niveau 1 se retrouvent en plus forte dominance au Témiscamingue; ceux de niveau 2 sont majoritairement localisés au sud de Val-d'Or et dans les hautes terres à l'est de Lebel-sur-Quévillon; ceux de niveau 3 se répartissent sur l'ensemble du territoire, mais avec une présence plus marquée au nord de Val-d'Or et les eskers de niveau 4 sont principalement localisés au nord d'Amos.

L'acquisition, à l'échelle régionale, du volume minimal de la réserve de dépôts granulaires et du potentiel aquifère des segments d'esker fourni une base de connaissance pour cibler des segments nécessitant des études plus détaillées. En ce sens, les segments d'eskers ayant le meilleur potentiel (le niveau 3 et 4) devront être mieux définis quant à la taille des aquifères, leur recharge et leur vulnérabilité.

### MOTS CLÉS

ESKERS, DÉPÔTS GRANULAIRES, POTENTIEL AQUIFÈRE, CARTOGRAPHIE, SUBMERSION GLACIOLACUSTRE

## MISE EN CONTEXTE ET OBJECTIF

La région administrative de l'Abitibi-Témiscamingue possède des réserves de dépôts granulaires imposantes qui renferment une eau souterraine de haute qualité. S'élevant, par endroits, à quelques dizaines de mètres au-dessus de la vaste plaine abitibienne, d'immenses cordons, constitués de sables et de graviers, recourent le territoire selon des axes d'orientation générale NO-SE ou NE-SO. Ces cordons, appelés « eskers » (du terme irlandais « eiscir » qui signifie sinueux), sont issus du dernier retrait glaciaire et ont été mis en place par les eaux de fontes de l'Inlandsis laurentidien. Les eskers ne sont pas exclusifs à l'Abitibi-Témiscamingue, le Canada en compte une grande quantité. Toutefois, leur mise en place en milieu glaciolacustre et l'occupation humaine qui s'y localise donnent un caractère unique à la région de l'Abitibi-Témiscamingue. Ces eskers s'avèrent d'excellentes sources de sables, graviers et cailloux amplement recherchés dans tous les domaines de la construction. Recouvrant près de 5 % du territoire abitibien, plusieurs compagnies d'extraction minérale de surface exploitent ces sédiments fluvioglaciaires. Toutefois, l'aspect quantitatif de cette réserve en dépôts granulaires est peu documenté; aucune donnée quantitative sur le volume de ces réserves n'est disponible à l'échelle régionale.

La topographie du socle rocheux sous-jacent aux eskers, la composition et la séquence de mise en place des dépôts fluvioglaciaires, glaciolacustres et postglaciaires ont, par endroits, favorisé la formation de réservoirs d'eau souterraine. L'eau qui y circule est continuellement filtrée par les sables et graviers ce qui lui confère, en de nombreux endroits, une qualité exceptionnelle. Malgré l'utilisation de certains de ces réservoirs naturels par plusieurs municipalités de l'Abitibi-Témiscamingue comme source d'approvisionnement en eau potable, leur localisation à l'ensemble de la région demeure mal connue. Soumis aux activités anthropiques à la surface des eskers, il est impératif de localiser ces réservoirs d'eau souterraine et de mieux connaître leur mode de formation afin non seulement de les répertorier, mais aussi d'en assurer la protection et la saine gestion.

En ce sens, l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT) s'est donné le mandat de mieux connaître la ressource en eau souterraine associée aux eskers afin de fournir aux gestionnaires du territoire les outils nécessaires à la saine gestion et à la protection de la ressource. Suite aux études spécifiques réalisées par l'UQAT et ses partenaires de l'Institut national de la recherche scientifique Eau-Terre-Environnement (INRS-ETE) et de la Commission géologique du Canada (CGC) sur l'hydrogéologie des eskers de la MRC d'Abitibi, les projets actuels visent le développement de la connaissance sur les eaux souterraines à l'ensemble de l'Abitibi-Témiscamingue. La présente étude s'inscrit dans cette démarche et est le fruit d'une initiative du groupe de recherche sur l'eau souterraine de l'UQAT (GRES-UQAT) et d'une collaboration avec le département de géographie de l'Université du Québec à Montréal (UQAM).

Les objectifs principaux du mémoire sont :

- 1) de réaliser un inventaire quantitatif des réserves de dépôts granulaires dans les eskers de l'Abitibi-Témiscamingue et du sud de la Baie-James;
- 2) d'évaluer le potentiel aquifère des segments d'esker de l'Abitibi-Témiscamingue et du sud de la Baie-James.

Les résultats de cette étude devraient fournir un premier outil de travail aux gestionnaires du territoire afin de leur permettre d'établir les bases d'une politique d'utilisation du sol touchant des aspects aussi divers que l'eau souterraine, les matériaux de construction (agrégats), la villégiature, les pratiques forestières et l'écotourisme. On estime qu'avec les informations recueillies dans cette étude, ils seront en mesure de mieux évaluer l'impact de leurs activités sur la ressource et agir conséquemment afin de minimiser les conflits d'usage.

Une description détaillée de la zone d'étude ainsi que les connaissances déjà acquises en lien avec le projet sont présentées dans le premier chapitre. On y retrouve la physiographie, l'hydrographie, la lithologie du socle rocheux et l'histoire glaciaire. Un survol de l'état actuel de nos connaissances sur les eskers et une description sommaire de recherches similaires à la nôtre y sont également présentés. Dans le second chapitre, on présente les différentes données géoscientifiques régionales qui ont été nécessaires à l'atteinte de nos objectifs. Dans le

troisième chapitre, on présente plus spécifiquement la méthodologie utilisée pour obtenir une estimation du volume de la réserve en dépôts granulaires et on dresse un bilan de celle-ci pour chacune des différentes municipalités régionales de comté (MRC). Dans le quatrième chapitre, on estime le potentiel aquifère des segments d'eskers de la région d'étude en fonction de leur milieu de mise en place et des différentes caractéristiques observables à la surface. Une description des potentiels aquifères des segments d'eskers de chaque MRC y est présentée. Enfin, en conclusion, on dresse un bilan des principaux résultats, on discute des limites des méthodes utilisées et on suggère des travaux possibles pour compléter cette étude.

## CHAPITRE I

### CONTEXTE GÉNÉRAL

#### 1.1 Localisation de la région d'étude

La région d'étude se situe dans le sud-ouest du Québec et représente un peu plus de 68 000 km<sup>2</sup>. Elle couvre complètement les MRC d'Abitibi et d'Abitibi-Ouest, la Ville de Rouyn-Noranda, une partie des MRC de Témiscamingue et de La Vallée-de-l'Or et la partie sud de la région administrative du Nord-du-Québec, soit la partie à l'ouest du 76° Long. W et comprise entre le 49° et le 50° Lat. N du territoire de la Baie-James, que nous nommons dans ce mémoire « région du sud de la Baie-James » (voir figure 1.1). Au total, elle couvre, en entier ou en partie, 67 feuillets SNRC (Système national de référence cartographique) au 1 : 50 000. Les secteurs urbanisés de l'Abitibi-Témiscamingue et du Nord-du-Québec, tel que les villes d'Amos, La Sarre, Lebel-sur-Quévillon, Matagami, Rouyn-Noranda, Senneterre, Témiscaming et Val-d'Or, sont inclus dans les limites de la région d'étude laquelle correspond au territoire couvert par les cartes des formations en surfaces de l'Abitibi-Témiscamingue produites par la Commission géologique du Canada (CGC; figure 1.2).

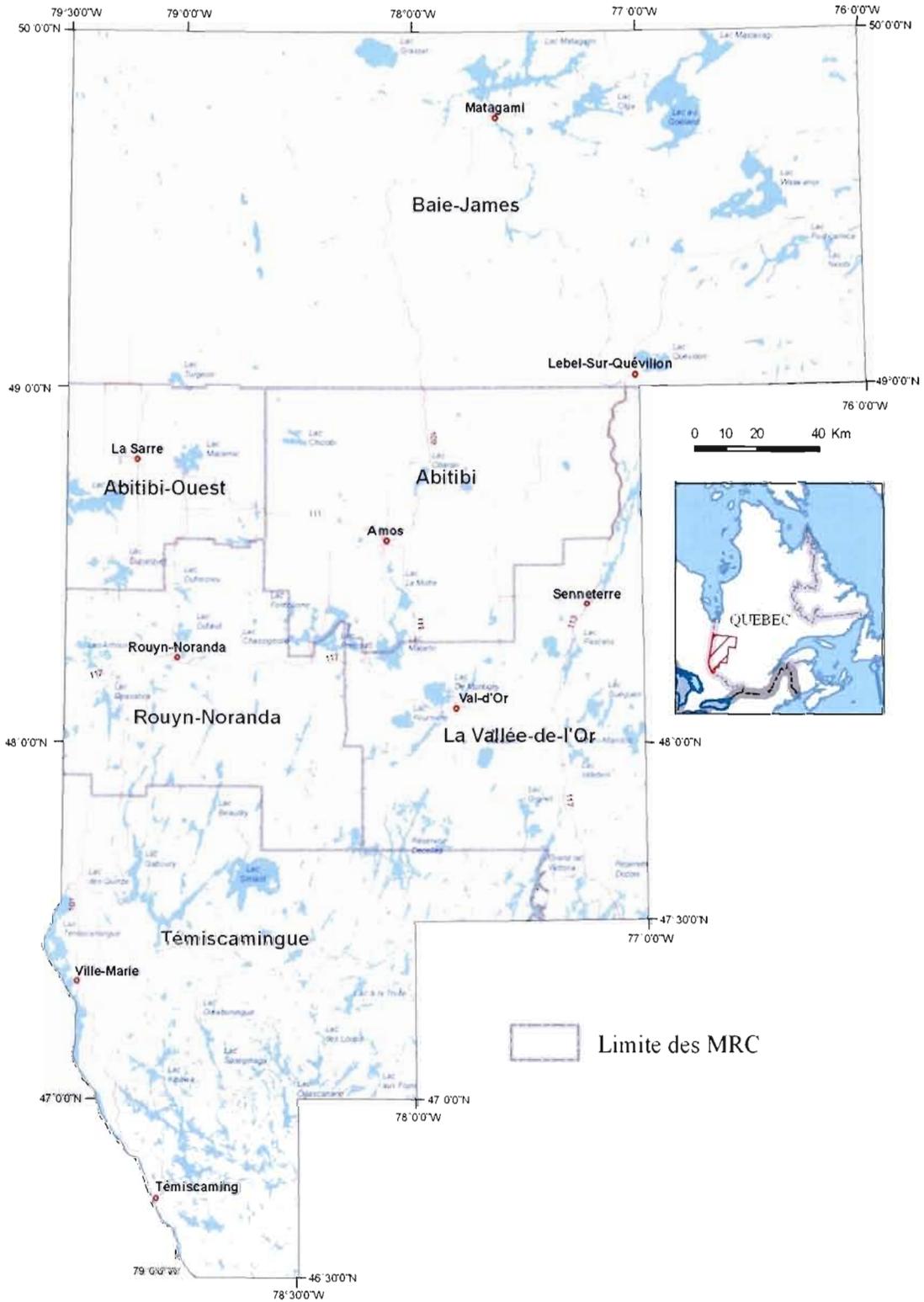
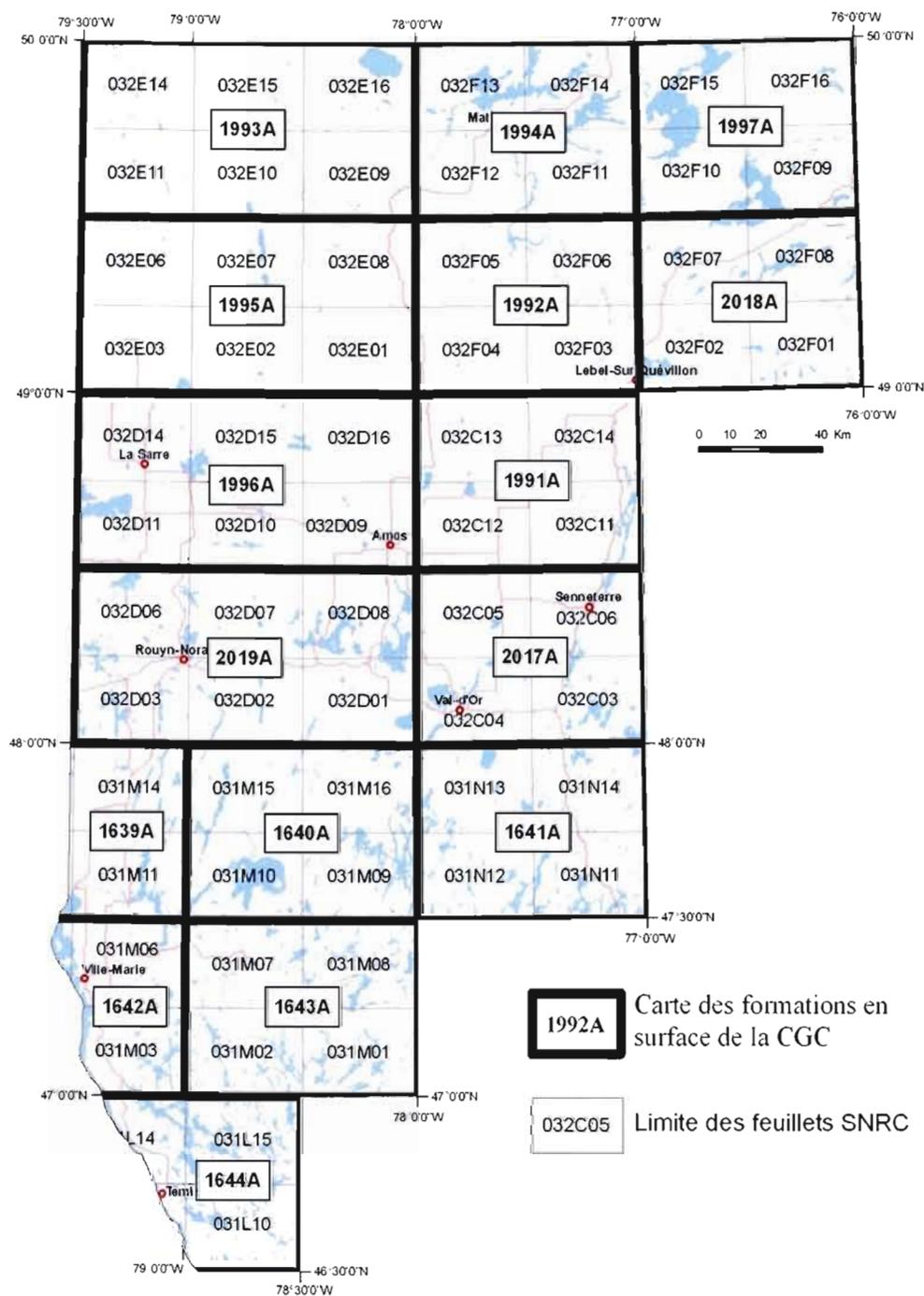


Figure 1.1 Localisation de la région étudiée et des MRC touchées par le projet.



**Figure 1.2** Cartes récentes des dépôts de surface de l'Abitibi-Témiscamingue (échelle 1 : 100 000) produites par la Commission géologique du Canada (Veillette, 1986a,b, cartes 1639A, 1642A; Veillette, 1987a,b,c, cartes 1640A, 1641A, 1643A; Veillette et Daigneault, 1987, carte 1644A; Veillette et Pomares, 2003, carte 1994A; Veillette, 2004, carte 2019A; Thibaudeau et Veillette, 2005, carte 1996A; Paradis, 2005, carte 1991A; Paradis, 2007a,b,c, cartes 1992A, 2017A, 2018A; Veillette et Thibaudeau, 2007, carte 1995A; Veillette, 2007a,b, cartes 1993A et 1997A).

## 1.2 Physiographie

La région chevauche deux régions physiographiques du Bouclier canadien soit la région Laurentienne, avec le plateau Laurentien, et la région de James, avec le bas plateau de l'Abitibi (Bostock, 1970; figure 1.3). Le plateau Laurentien s'élève en moyenne entre 300 et 360 m et atteint jusqu'à 450 m dans le nord-est du Témiscamingue. Il montre un relief montueux aux sommets aplanis. Quant au bas plateau de l'Abitibi, couvrant près de 75 % du territoire, il présente un relief dont l'altitude varie entre 275 et 350 m. Légèrement inclinée vers le nord, quelques sommets s'élèvent à plus de 450 m à l'est de la région. Les monts Deloge, le mont Plamondon, les collines Abijévis, les collines Kékéko, les montagnes Dalhousie, le mont Vidéo et les collines Waswanipi constituent les principales collines rocheuses qui s'érigent au-dessus de la plaine. La limite entre les deux régions correspond aussi à la limite entre les deux provinces géologiques présentes au niveau de l'Abitibi-Témiscamingue soient les provinces du Supérieur au nord et celle de Grenville au sud (figure 1.5).

## 1.3 Hydrographie

La région comprend la ligne de partage des eaux entre les bassins hydrographiques du Saint-Laurent et de la Baie-James (figure 1.4). Trois bassins versants de premier ordre, soit celui de la rivière Harricana, de la rivière Moose et de la rivière Nottaway acheminent les eaux vers le nord et un seul, soit celui de la rivière des Outaouais, les achemine vers le sud. Les rivières Bell, Harricana, Turgeon et des Outaouais drainent la majeure partie des cours d'eau et lacs de la région. La région renferme plusieurs grands lacs peu profonds dont les lacs Abitibi, Preissac, Macamic, Malartic et au Goéland.

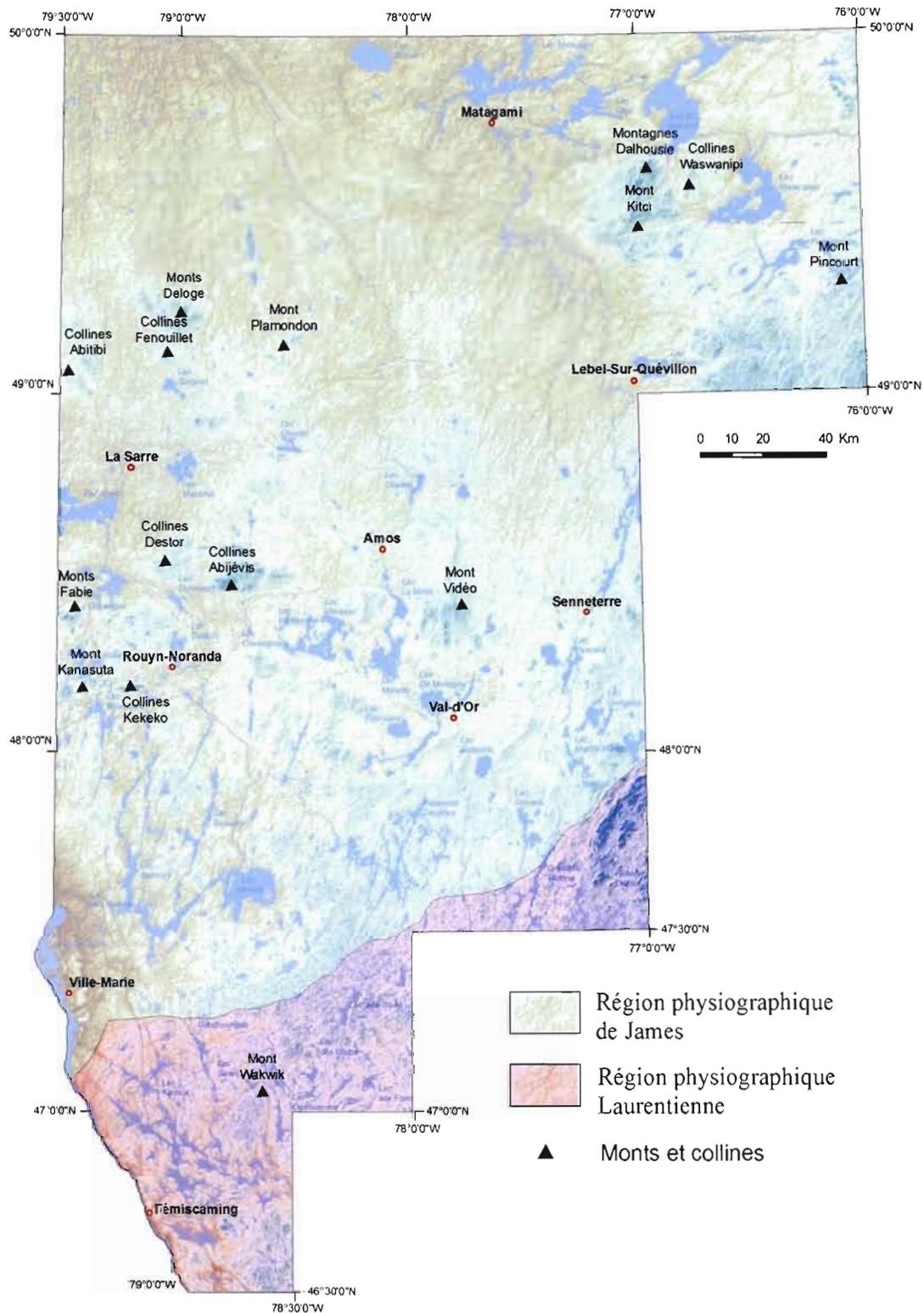


Figure 1.3 Physiographie de la région étudiée.

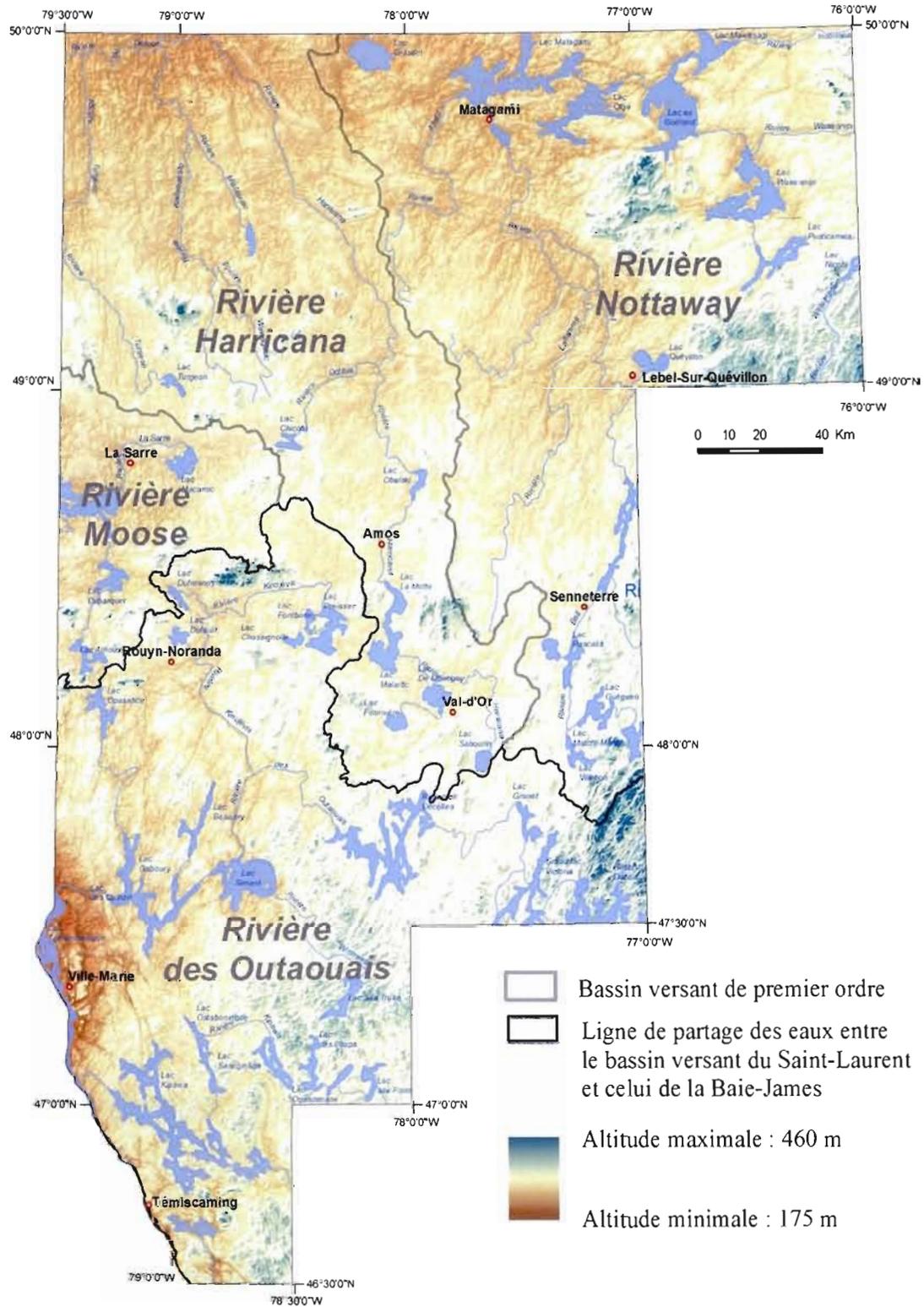
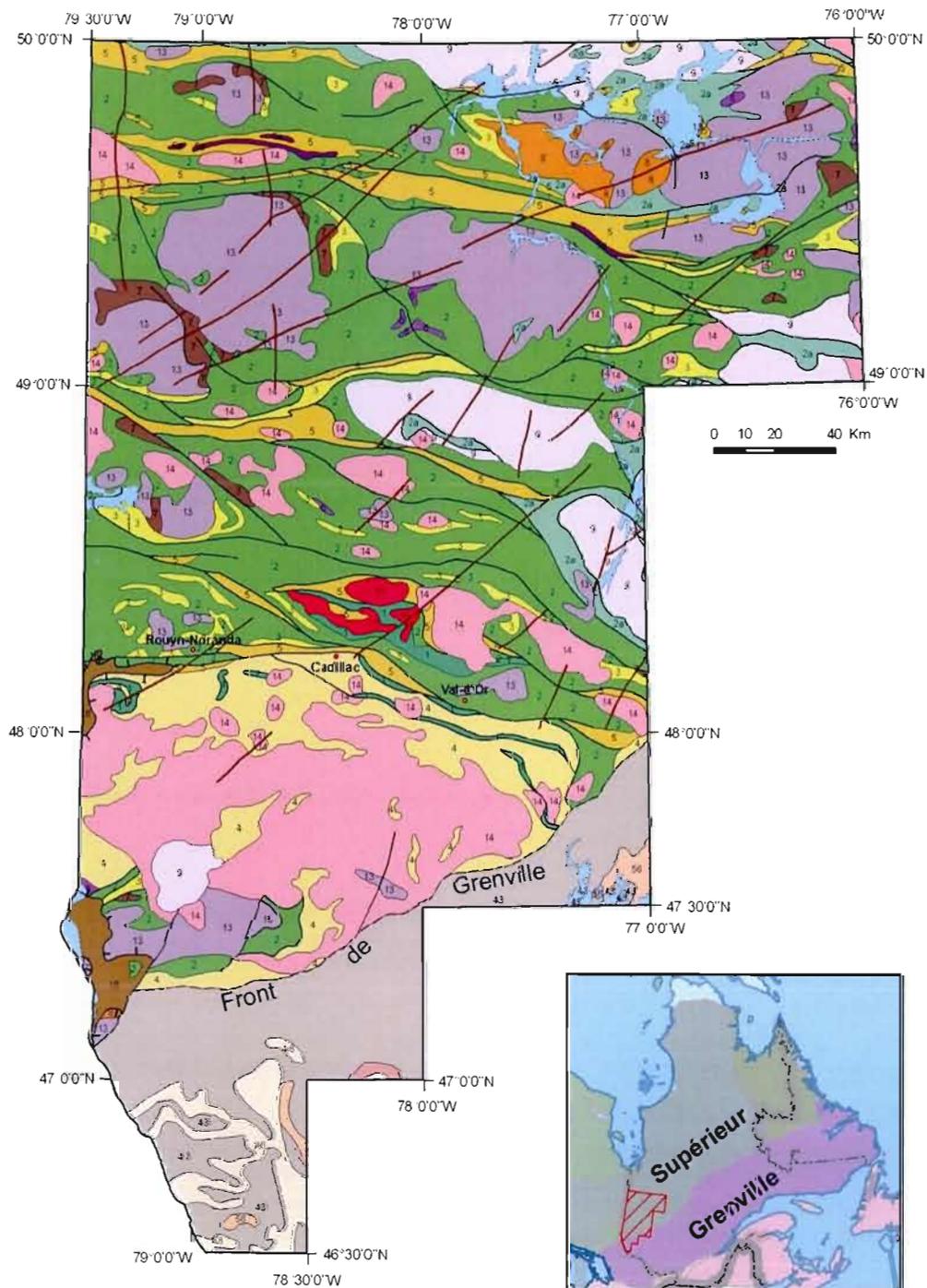


Figure 1.4 Réseau hydrographique de la région étudiée.

#### 1.4 Lithologie du substrat rocheux

Étant donné la grande superficie du territoire couvert, la description de la lithologie du substrat rocheux présentée est sommaire et prend en compte uniquement les grands ensembles géologiques observables sur l'Abitibi-Témiscamingue. La description est tirée d'une synthèse géologique présentée par Veillette (1996) et la figure 1.5 est une adaptation, à l'échelle de la région étudiée, de la carte géologie du Québec (MRN, 2002).

La région de l'Abitibi-Témiscamingue chevauche les sous-provinces de l'Abitibi et du Pontiac, des composantes de la Province du Supérieur du Bouclier canadien, et une partie de la Province du Grenville. La sous-province de l'Abitibi représente la plus grande étendue de granite et de « roches vertes » au monde (MERQ-OGS, 1983). Elle est formée d'assemblages volcaniques séparés de petites bandes sédimentaires d'orientation est-ouest. Datant de l'Archéen, ils résultent d'une période d'intenses activités volcaniques et de fortes accumulations de sédiments (l'orogénèse du Kénoranién : 2,48 Ga). Ces roches ont ensuite été plissées et métamorphosées par plusieurs intrusions granitiques issues de l'Archéen tardif. La sous-province de Pontiac se caractérise par des roches sédimentaires et volcaniques métamorphosées avec des intrusions granitiques, plus jeunes que dans la sous-province de l'Abitibi, formant un grand dôme dans sa partie centrale. Plusieurs systèmes de failles recoupent l'ensemble de la région d'est en ouest. Le mieux connu est celui de Cadillac-Larder Lake qui relie les localités de Val-d'Or, Cadillac et Rouyn-Noranda. Ce système de failles est reconnu pour son contrôle métallogénique. Il sépare les deux sous-provinces du Supérieur; l'Abitibi au nord et le Pontiac au sud. Plusieurs dykes, datant du Protérozoïque, recoupent l'ensemble des unités de ces deux sous-provinces. Près du lac Témiscamingue et jusqu'aux environs de Rouyn-Noranda, on retrouve le Groupe de Cobalt qui se caractérise par des roches sédimentaires d'âge protérozoïque reposant en discordance sur les roches archéennes. Le front de Grenville traverse la région selon un axe nord-est-sud-ouest sur environ 230 km et recoupe l'orientation structurale est-ouest de la Province du Supérieur. La Province de Grenville se caractérise par des déformations structurales complexes et par un métamorphisme modéré à élevé témoignant d'un soulèvement prononcé. On y retrouve les gneiss, les paragneiss, les migmatites à trame de gneiss et les granites associés.



**Figure 1.5** Lithologie de la roche en place de la région étudiée et les provinces géologiques associées. D'après MRN (2002).

## Province du Grenville

### Protérozoïque

#### Granitoïdes

56 Syénite, monzonite, granodiorite et diorite

#### Roches sédimentaires

48 Paragneiss, quartzite et amphibolite

### Archéen et/ ou Protérozoïque

46 Migmatite

### Archéen

43 Gneiss gris à quartz, plagioclase, biotite et/ou hornblende, gneiss mafique à hornblende et/ou biotite et amphibolite

## Province du Supérieur

### Protérozoïque

Dykes de diabase et gabbro

16 Argilite, wacke, conglomérat et tillite (Groupe de Cobalt et Formation de Chibougamau)

### Archéen

#### Granitoïdes

15 Roches granitiques post-tectoniques : granite alcalin à fluorine et monzogranite

14 Roches granitiques syn- à tarditectoniques : granite, granodiorite, monzonite et syénite; quantité mineure de diatexite

13 Roches tonaliques syn- à tarditectoniques : tonalite, trondhjémite et granodiorite; quantité mineure de diorite et de monzodiorite

9 Granitoïdes pré- à syntectoniques: gneiss tonalitique et trondhjémitique; gneiss non subdivisé; quantité mineure de diorite

#### Intrusions mafiques à ultramafiques

8 Complexes stratiformes : anorthosite, gabbro et pyroxénite

7 Roches intrusives mafiques : gabbro, gabbronorite, diorite et complexe de carbonatite; quantité mineure de roches ultramafiques intrusives et extrusives

6 Roches intrusives ultramafiques : pyroxénite, périclélite, hornblendite, serpentinite et filons-couches ultramafiques et mafiques

#### Roches sédimentaires

5 Roches sédimentaires : wacke, mudrock, conglomérat et formation de fer

5a Formation de fer

4 Roches métasédimentaires : paragneiss et schiste à biotite, grenat, orthopyroxène, sillimanite, andalousite, cordiérite, staurotite et/ou disthène; formation de fer, marbre et granite blanc d'anatexie associé aux roches métasédimentaires; présence commune de roches intrusives et volcaniques

#### Roches volcaniques

3 Roches volcaniques felsiques : rhyolite, rhyodacite, dacite, roches pyroclastiques et intrusions porphyriques felsiques; quantité mineure de roches volcaniques intermédiaires et mafiques et de roches sédimentaires

2 Roches volcaniques mafiques et intermédiaires: basalte, andésite et roches pyroclastiques; quantité mineure d'amphibolite, de roches volcaniques felsiques et ultramafiques, d'intrusions mafiques et de roches sédimentaires

2a Amphibolite, metabasalte et gneiss mafique

1 Roches volcaniques ultramafiques : komatiite, basalte magnésien et roches ultramafiques d'origine indéterminée; quantité mineure de roches volcaniques mafiques et de roches sédimentaires

Les accidents du socle rocheux constituent un facteur important pour la rétention et l'écoulement de l'eau souterraine dans les dépôts granulaires. En général, les intrusions granitoïdes forment des reliefs positifs contrairement aux roches volcaniques et aux métasédiments. Ces irrégularités du substrat rocheux, lesquelles forment la base du « contenant » des réservoirs d'eau souterraine dans les dépôts granulaires, posent problème aux endroits où l'absence d'indices en surface ne nous permet pas d'en évaluer la morphologie. La nature du socle rocheux joue aussi un rôle important sur la géochimie et la qualité de l'eau souterraine des aquifères rocheux fracturés puisqu'elle influence sa composition chimique (Cloutier *et al.*, 2007).

### 1.5 Histoire glaciaire

L'étude de l'histoire glaciaire d'une région en milieu de glaciation continentale constitue un outil indispensable pour comprendre la répartition de l'eau souterraine dans les dépôts meubles. Les propriétés physiques et minéralogiques des différents types de sédiments agiront différemment sur la circulation de l'eau et sur sa chimie. Le rendement de ces aquifères dépend de l'espace entre les grains qui est directement lié à leur granulométrie, à leur degré de compaction, aux liens entre les particules, à leur forme, à l'épaisseur de la formation, à la perméabilité des couches supérieures, au potentiel de recharge et à la structure de l'aquifère (Lüttig, 1990). La compréhension de l'écoulement des eaux souterraines dans les aquifères granulaires de l'Abitibi-Témiscamingue est donc directement liée à la dynamique de mise en place de ces dépôts. Les sables et graviers bien triés sont généralement des sédiments caractérisés par une porosité et une perméabilité élevées, constituant ainsi les meilleurs aquifères. Bien que les argiles puissent avoir des porosités très élevées, ces sédiments sont caractérisés par une faible perméabilité agissant comme aquitard. La cartographie des formations superficielles s'avère un outil indispensable pour comprendre la problématique associée à l'eau souterraine dans les eskers. La répartition, la stratigraphie et les caractéristiques sédimentologiques des unités sédimentaires influencent considérablement les caractéristiques hydrogéologiques des eskers en Abitibi-Témiscamingue. Leur potentiel aquifère découle de l'agencement de ces différents paramètres.

### 1.5.1 L'écoulement glaciaire et les grandes formes du terrain

Tout au long de son existence, la planète a été soumise à plusieurs phénomènes mécaniques et chimiques qui en ont modelé ses reliefs. Au Québec, la dernière glaciation, au cours du Wisconsinien supérieur, constitue le plus récent évènement majeur qui a participé à sculpter nos paysages actuels. Plusieurs chercheurs ont axé leurs recherches sur l'histoire glaciaire et postglaciaire de la région. Le résumé qui suit s'inspire notamment de la plus récente synthèse paléogéographique du Témiscamingue réalisée par Veillette (1996).

Il y a 18 ka<sup>14</sup> BP, l'Inlandsis laurentidien atteint son apogée et recouvre l'ensemble du Canada et le nord des États-Unis (Dyke et Prest, 1987). Une amélioration climatique entraîne un retrait graduel de la marge glaciaire vers le nord. C'est aux environs de 10 ka<sup>14</sup> BP que le sud du Témiscamingue a commencé à être libéré des glaces (Veillette, 1983, 1988).

L'inlandsis a laissé de nombreuses traces de son passage. Il a notamment creusé, aplani et poli la surface du substrat rocheux. Les surfaces rocheuses de l'Abitibi ont conservé un excellent registre des marques d'érosion glaciaire. Par endroits, elles portent des stries qui se recoupent, indiquant des changements de direction dans le mouvement des glaces. La compilation de ces marques d'érosion permet d'établir une chronologie relative des écoulements de l'Inlandsis laurentidien. Le dernier épisode d'écoulement glaciaire en Abitibi montre une séparation entre deux masses de glace : le glacier du Nouveau-Québec en retrait vers le nord-est et le glacier d'Hudson en retrait vers le nord-ouest. La séparation de ces deux systèmes aurait débuté dans le secteur de North Bay, en Ontario, et serait associée au vêlage du glacier dans les eaux glaciolacustres et à la présence d'un corridor d'écoulement plus rapide créé par une déglaciation accélérée dans la région des Grands Lacs (Veillette, 1983). L'ouverture de type « fermeture-éclair » entre ces deux systèmes a érigé la Moraine d'Harricana, mise en place en position interlobaire (Hardy, 1977; Veillette, 1983). Son appellation moraine est toutefois controversée (Seppälä, 1988). Il s'agit en fait d'un esker en position interlobaire (Allard, 1974; Veillette, 1986). Toutefois, considérant le rôle joué par ce complexe fluvioglaciaire dans l'histoire glaciaire et l'usage du terme « moraine » fortement répandu, celui-ci a été retenu (Veillette, 1988). Brennan et Shaw (1996) ont élargi le concept

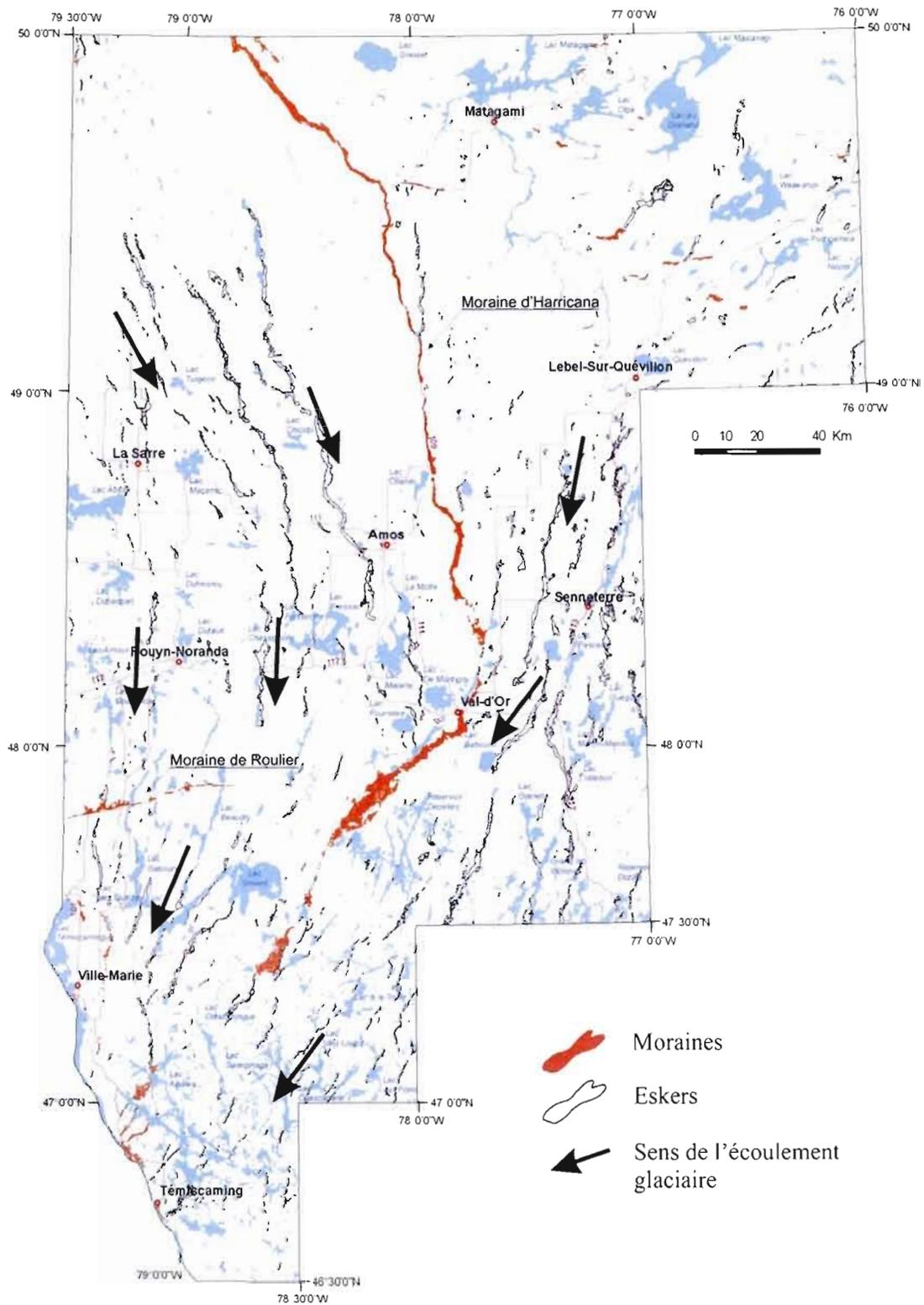
en proposant que son développement soit lié à un complexe fluvioglacière mis en place de façon synchrone à l'intérieur d'un conduit sous-glaciaire.

Sur l'ensemble du territoire, le mouvement glaciaire le plus répandu dans la région est en direction du sud-ouest (figure 1.6). À l'ouest de la Moraine d'Harricana, ce mouvement est, toutefois, recoupé par un mouvement plus récent vers le sud-est relié au glacier d'Hudson (Veillette, 1996). À l'est, l'écoulement aurait conservé l'orientation sud-ouest permettant l'ouverture entre les deux lobes glaciaires. L'appel au vide créé par la fonte plus rapide dans le droit de la Moraine d'Harricana aurait engendré ce changement dans l'écoulement de la glace du glacier d'Hudson. La déglaciation amorcée préférentiellement dans l'axe de la Moraine d'Harricana aurait favorisé des écoulements convergents dont témoigne l'orientation des eskers.

La moraine frontale de Roulier marque une pause de la marge du glacier d'Hudson (Veillette, 1983). Une langue de glace centrée sur le lac Témiscamingue est responsable de la mise en place d'une autre moraine; celle de Laverlochère (Daigneault, 1986). L'absence de moraine frontale au nord de la moraine de Roulier et l'envergure des eskers mis en place du côté ouest de la Moraine d'Harricana indiqueraient un retrait constant et rapide dans cette partie de l'Abitibi.

#### 1.5.2 La submersion lacustre

Lors du retrait glaciaire, des contraintes topographiques et le relèvement isostatique différentiel ont restreint l'évacuation des eaux de fonte vers la vallée du Saint-Laurent. Des lacs proglaciaires se sont développés et expliquent en partie la couverture sédimentaire actuelle. La submersion glaciolacustre de l'Abitibi-Témiscamingue a fait l'objet de plusieurs études tant pour expliquer son mécanisme de retenue que pour établir son étendue. Les premières études d'envergures ont été réalisées par Coleman (1909) qui a reconnu le prolongement du lac Algonquin vers le nord-est. Nous lui devons la désignation Ojibway pour le lac maintenu au nord de la ligne de partage des eaux. Wilson (1919) a, quant à lui, reconnu l'existence d'un plan d'eau joint au lac Ojibway au sud de la ligne de partage des



**Figure 1.6** Dernier écoulement glaciaire et les grandes formes du terrain (eskers et moraines) de l'Abitibi-Témiscamingue. D'après Veillette (1996).

eaux qu'il nomma Barlow du nom d'un géologue de la CGC. Sa formation serait liée à un barrage empêchant l'eau de se drainer vers le Saint-Laurent. Antevs (1925) émet l'hypothèse que ce barrage serait de type morainique. Il propose aussi l'appellation de « lac Barlow-Ojibway » pour l'entité glaciolacustre submergeant, à un certain moment, la ligne de partage des eaux et unifiant le lac Barlow et le lac Ojibway. Blanchard (1949) suggère la présence d'un culot de glace responsable de la formation du lac Barlow. Hughes (1955), quant à lui, identifie le relèvement isostatique comme étant, à lui seul, en mesure de contrôler l'évolution spatiale des entités glaciolacustres. Boissonneau (1968) revient avec l'idée d'un barrage morainique et identifie la moraine du lac McConnell comme responsable de ce barrage. Le premier travail de synthèse sur les étendues lacustres est venu de Vincent et Hardy (1977). Ils ont délimité les territoires inondés par les eaux glaciolacustres post-Algonquin, Barlow et Ojibway grâce aux exutoires répertoriés et aux indicateurs biologiques, tels que le *Mysis relicta* répertorié par Dadswell (1974). Ils ont déterminé par l'élévation des lignes de plage que le relèvement isostatique était suffisant pour maintenir un plan d'eau au contact de la marge glaciaire jusqu'à sa vidange complète dans la mer de Tyrrell. Maintes données issues d'analyses polliniques et d'âges radiocarbones des premiers dépôts organiques suivant la déglaciation ont permis à Veillette (1983, 1988, 1996) de proposer différents épisodes lacustres liés à l'émergence d'exutoires. La compilation des lignes de lessivage, archives du maximum de la submersion glaciolacustre, a permis à Veillette (1994) de calculer le gauchissement du plan d'eau.

Le lac proglaciaire Barlow aurait donc été le premier à prendre forme au Témiscamingue; Veillette (1996) attribue sa formation à l'obstruction du drainage de la rivière des Outaouais, au niveau de Kipawa, par la moraine du lac McConnell. L'ampleur du relèvement isostatique, établit entre 0,5 et 0,9 m/km par Vincent et Hardy (1977, 1979) et corroborée par Veillette (1983) à 0,9 m/km, aurait contrôlé, par la suite, l'émergence successive d'exutoires le long de la rivière des Outaouais faisant ainsi migrer le lac vers le nord suivant le retrait de la marge glaciaire. Pour une certaine période, ce lac proglaciaire a submergé la ligne de partage des eaux séparant le bassin versant du Saint-Laurent et celui de la Baie de James. Lors de l'émersion de la ligne de partage des eaux, le lac s'est scindé en deux entités glaciolacustres : le lac Barlow au sud et le lac Ojibway au nord. Ce dernier va subsister jusqu'à l'ouverture

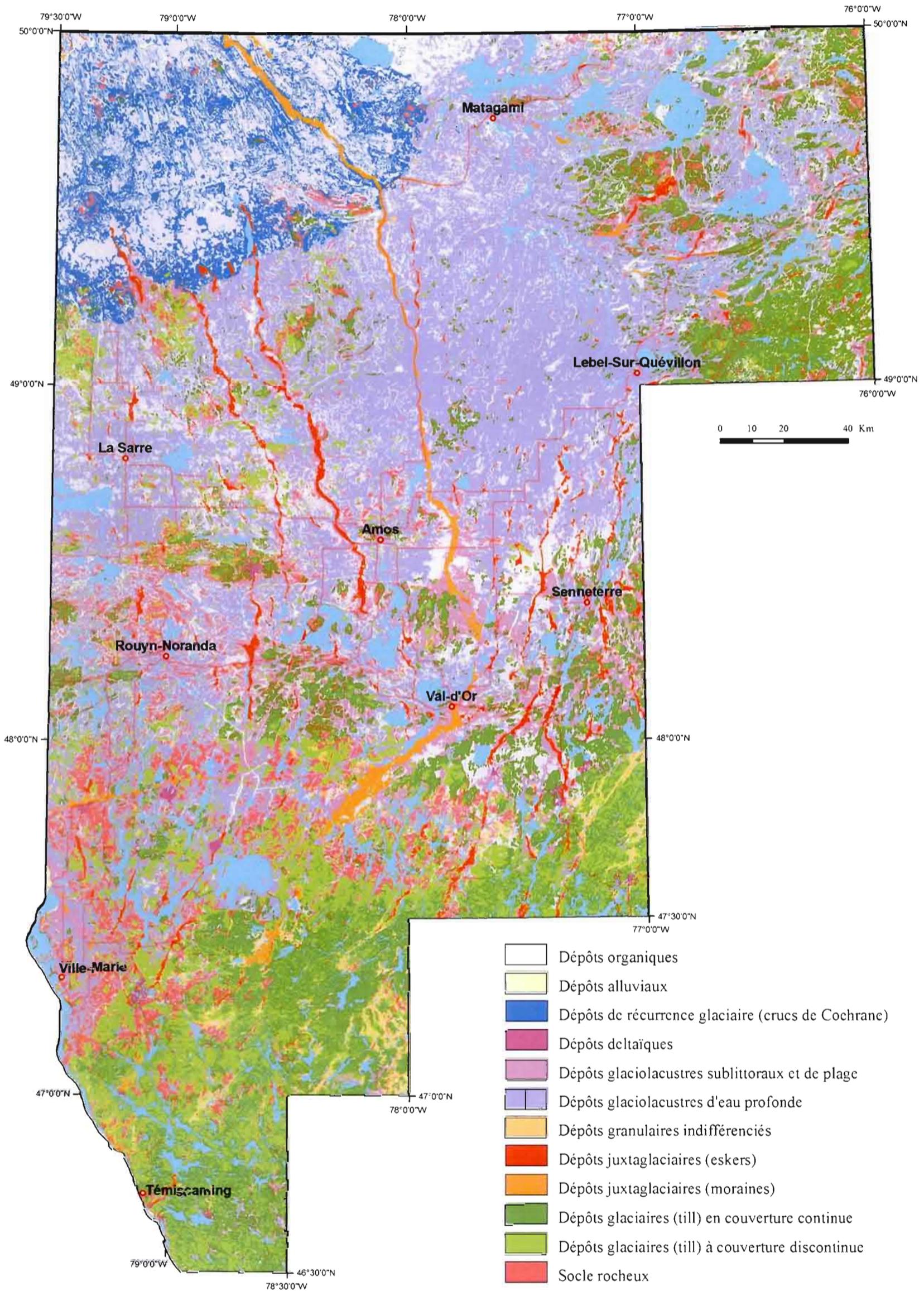
d'une brèche dans la glace permettant sa vidange dans la baie d'Hudson vers 7,7  $^{14}\text{C}$  ka BP (8,45 cal ka BP; Barber *et al.*, 1999).

La sédimentation d'argile par les eaux du lac proglaciaire Ojibway, un substrat déformable avec faible friction, aurait favorisé la création de crues glaciaires du glacier d'Hudson (Hardy, 1976). La marge glaciaire amincie et semi-flottée aurait alors facilement glissé sur l'argile sous-jacente. Trois phases ont été répertoriées et correspondent aux réavancées de Cochrane (Hardy 1976, 1977). La première serait celle qui a atteint le nord de la région vers 8,3  $^{14}\text{C}$  ka BP suivant un axe sud-est (Hardy, 1976).

### 1.5.3 La répartition et l'origine des dépôts

Plusieurs programmes de cartographie des dépôts meubles ont été réalisés à divers endroits de l'Abitibi-Témiscamingue (Vincent, 1971; Tremblay, 1974). Les cartes écoforestières du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) montrent aussi la répartition des dépôts de surface de l'Abitibi-Témiscamingue. Toutefois, pour la présente étude, les cartes des dépôts de surface de la Commission géologique du Canada ont été retenues (figures 1.2 et 1.7). Ces cartes sont plus complètes puisqu'elles sont appuyées par des vérifications au sol. Elles possèdent aussi une meilleure répartition des affleurements rocheux, une composante importante dans la cartographie des zones propices à la retenue des eaux souterraines.

L'histoire glaciaire et postglaciaire de l'Abitibi-Témiscamingue explique la nature et la répartition des différentes unités lithostratigraphiques quaternaires de la région. Ces différentes unités sont principalement le résultat de la dynamique glaciaire locale et des épisodes glaciolacustres qui ont submergé le territoire. La séquence sédimentaire qui en résulte affecte la distribution, l'écoulement et le comportement des eaux souterraines. La figure 1.7 montre une mosaïque simplifiée des unités lithostratigraphiques quaternaires cartographiées par les équipes de la Commission géologique du Canada. Nous présentons dans les sous-sections suivantes, les principales caractéristiques de ces unités telles que définies par ces auteurs.



**Figure 1.7** Répartition des unités lithostratigraphiques quaternaires de la région étudiée selon les travaux récents de la Commission géologique du Canada. (voir la figure 1.2 pour la liste des différents auteurs)

### 1.5.3.1 Dépôts glaciaires (Till)

Les plus anciens dépôts qui affleurent en Abitibi-Témiscamingue sont des tills. Déposés en discordance sur le socle rocheux, les couches de tills résultent du transport par la glace des sédiments arrachés au substrat rocheux et de la reprise en charge de dépôts meubles anciens. Ils sont dispersés sur l'ensemble de l'Abitibi-Témiscamingue avec des épaisseurs variables allant de quelques centimètres à plusieurs mètres. Toutefois, le till affleure peu dans la partie à basse altitude du bassin glaciolacustre étant très souvent masqué par des sédiments fluvioglaciaires, glaciolacustres, éoliens et/ou organiques. Dans certains cas, le développement de grands tunnels fluvioglaciaires formés sous le glacier a érodé la presque totalité du till déposant des sédiments fluvioglaciaires en contact avec le socle (Bolduc *et al.*, 2005). Les dépôts glaciaires se présentent comme un sédiment hétérométrique à matrice sableuse. La granulométrie moyenne de sa matrice (taille inférieure à 2 mm) varie entre environ 60-70 % de sable, 20-25 % de limon et moins de 5 % d'argile. La forte dominance des sables résulte de la nature des roches locales principalement cristallines (Veillette, 1996).

### 1.5.3.2 Dépôts fluvioglaciaires

Les dépôts fluvioglaciaires sont des sédiments mis en place au contact ou à proximité du glacier par les eaux de fonte, au-dessus ou en dessous du niveau maximal atteint par les eaux glaciolacustres. L'esker est la forme fluvioglaciaire la plus commune de la région. Ce dépôt juxtaglaciaire est généralement très hétérométrique montrant des variations brusques de granulométrie autant horizontalement que verticalement. Compte tenu des objectifs de notre travail, nous présentons de façon plus détaillée, les caractéristiques des eskers abitibiens dans une section distincte (section 1.6).

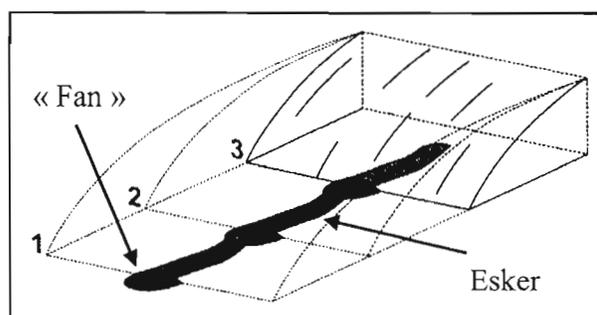
Outre les eskers, quelques vallées contiennent des sables d'épandage déposés par les eaux de fonte à proximité du glacier et à quelques kilomètres en aval. On les retrouve dans les zones supra-aquatiques (donc en position subaérienne), et ils se confondent souvent avec les sables glaciolacustres peu profonds. Ces sédiments, généralement constitués de sables et petits graviers, présentent un granoclassement montrant la perte de compétence des eaux avec

l'éloignement de la marge glaciaire. Les sables d'épandages subaquatiques sont aussi associés aux eskers créant une succession de « fans » marquant des positions de la marge glaciaire (figure 1.8). Cependant, en Abitibi-Témiscamingue, localement des dépôts glaciolacustres d'eau profonde et/ou d'exondation peuvent empêcher leur identification. Cette particularité est présentée plus en détail dans la section 1.6.3.

### 1.5.3.3 Dépôts glaciolacustres sublittoraux, de plage et deltaïques

Les sédiments sublittoraux et les sédiments de plage sont liés au retrait progressif des eaux glaciolacustres. Ils résultent souvent du remaniement des dépôts fluvioglaciaires et témoignent d'un environnement d'eau peu profonde. L'épaisseur générale de ces dépôts varie entre 1 et 20 m et ils sont principalement constitués de sables, sables limoneux et graviers. Ils présentent généralement une disposition en lits planaires. En Abitibi-Témiscamingue, ils se retrouvent souvent sur le flanc des eskers et en discordance sur les sédiments d'eau profonde.

Les sédiments deltaïques se retrouvent principalement dans les deltas d'esker. Ils sont constitués de sables et de graviers et occupent la zone de transition entre les dépôts fluvioglaciaires et lacustres. Les deltas d'esker présentent des épaisseurs atteignant par endroits 50 m et sont souvent marqués par des lignes de rivage sur leurs flancs témoignant du retrait progressif des eaux glaciolacustres.



**Figure 1.8** Mise en place des « fans » marquant la position de la marge glaciaire. Tirée de Burke (2008).

#### 1.5.3.4 Dépôts glaciolacustres d'eau profonde

Les sédiments d'eau profonde ont été mis en place sous une tranche d'eau variant de 30 à 50 m d'épaisseur dans les eaux glaciolacustres (Veillette, 1983). Ce sont des sédiments à grains fins formant des rythmites d'argiles et de limons (varves). Ils peuvent atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, camouflant ainsi une grande partie du substrat rocheux et des sédiments plus anciens. Ils forment une plaine argileuse qui atténue les accidents du socle rocheux. L'altitude maximale de ces dépôts à grain fin dans la région excède rarement 320 m.

#### 1.5.3.5 Dépôts alluviaux

Les dépôts alluviaux se composent majoritairement de sables limoneux, limons argileux, sables et graviers mis en place dans les plaines alluviales. Ils atteignent au plus quelques mètres d'épaisseur et occupent les plaines inondables de rivières et de ruisseaux.

#### 1.5.3.6 Dépôts éoliens

Les sédiments éoliens se localisent principalement sur le flanc est des formations fluvioglaciaires. Ils forment des dunes paraboliques de quelques mètres de hauteur et leur granulométrie (sable moyen à fin) est très uniforme.

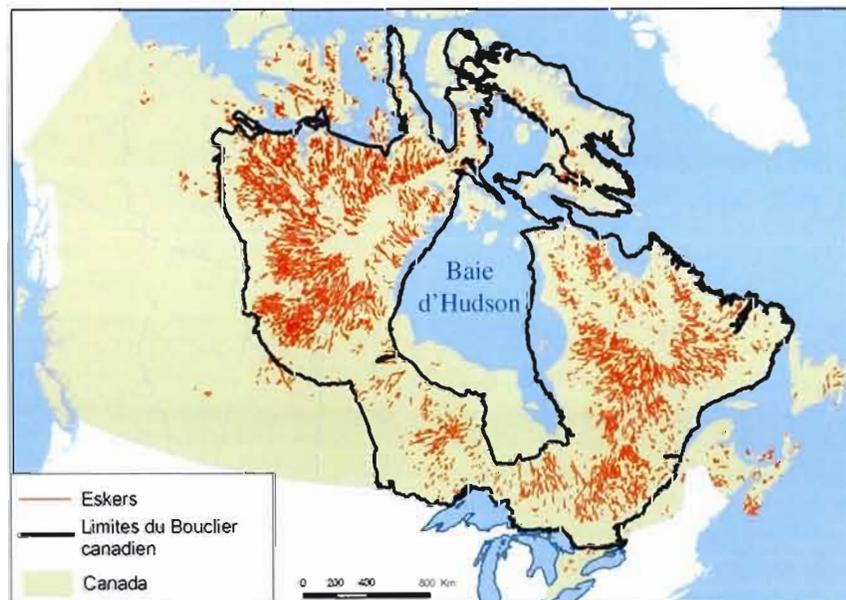
#### 1.5.3.7 Dépôts organiques

Les dépôts organiques correspondent généralement aux tourbières et abondent sur les sédiments glaciolacustres à grains fins dans la partie nordique de la région. Les tourbières couvrent, plus particulièrement, de grandes superficies au voisinage des grands eskers et de la Moraine d'Harricana. L'épaisseur de ces dépôts organiques varie entre 3 et 5 m.

## 1.6 Les eskers

### 1.6.1 Description générale

L'esker est une accumulation linéaire de sables et de graviers, stratifiés, déposée dans un chenal confiné par la glace. Étant typique d'un paysage glaciaire, et essentiellement d'un glacier tempéré, on le retrouve en abondance, en Amérique du Nord au sud du 72° parallèle (Banerjee et McDonald, 1975). L'esker typique présente une crête rectiligne ou sinueuse pouvant atteindre plusieurs mètres de hauteur et plusieurs dizaines, voire centaines, de kilomètres de longueur. Son orientation est généralement parallèle au sens d'écoulement de la glace. Lors de la fonte du glacier, l'eau s'infiltré et circule dans la glace (par les moulins et les crevasses) et s'achemine à l'intérieur de tunnels intraglaciers et sous-glaciaires jusqu'au front glaciaire. Cette eau prend en charge des dépôts anciens accumulés à la base du glacier et des sédiments arrachés à la glace avoisinante. La figure 1.9 montre la répartition des eskers au Canada. On note une forte concentration d'eskers sur le Bouclier canadien. La majorité d'entre eux se retrouve en milieu de pergélisol où l'occupation humaine est négligeable. Selon les travaux de Brennand (2000), les eskers du Bouclier canadien correspondent



**Figure 1.9** Distribution des eskers sur l'ensemble du territoire canadien et limites du Bouclier canadien. Adaptée de Fulton *et al.* (1995).

généralement à un système de drainage sous-glaciaire de type « R-channel » signifiant qu'ils incisent la partie basale de la glace et créent un réseau de drainage de type arborescent. Leur distribution est une combinaison complexe entre le drainage superficiel et intraglaciaire de l'eau de fonte, de la pente à la surface de la glace, de l'épaisseur de cette glace et de sa vitesse, ainsi que de la perméabilité, de la topographie et de la rigidité du lit rocheux. Ils se localiseraient ainsi davantage sur des socles rocheux rigides (roches cristallines du Bouclier canadien) puisqu'ils facilitent la décharge d'eau au contraire des bassins de roches sédimentaires déformables (Clark et Walder, 1994). La pression hydrostatique influence la vitesse d'écoulement de l'eau dans le tunnel et détermine la sédimentation des granulats. Cette sédimentation est donc tributaire de la perte de compétence du courant qui elle peut être liée à plusieurs facteurs : une surcharge sédimentaire des chenaux, une inclinaison du lit sous-glaciaire à contre-pente de l'écoulement de l'eau dans le conduit, la présence d'un plan d'eau stagnant sous la glace et à une diversion du chenal ou de son élargissement (Levasseur, 1995). La dynamique d'écoulement intraglaciaire et sous-glaciaire va influencer la structure interne des eskers. Cette dynamique est associée aux phénomènes glaciologiques étudiés par plusieurs chercheurs, dont Clark et Walder (1994), Clarke (2005) et Boulton *et al.* (2007a, 2007b, 2009). Quant à la structure des lithofaciès à l'intérieur des eskers, elle joue un rôle important dans la circulation de l'eau souterraine. Heinz *et al.* (2003) ont montré que les processus sédimentaires responsables de l'hétérogénéité de ces faciès affectent localement l'écoulement de l'eau souterraine.

Au Québec, peu d'études ont été réalisées sur les eskers dans une perspective régionale. Dubois (1972) s'est intéressé à la position et à l'orientation des eskers des Cantons de l'Est en lien avec l'écoulement glaciaire. Bolduc (1992) a étudié les indices morphologiques, stratigraphiques et lithologiques expliquant la formation des eskers du Labrador et évalué des distances de transport des débris rocheux. Levasseur (1993) a décrit les caractéristiques générales et la dispersion fluvioglaciaire clastique des éléments grossiers des eskers de la région de Chapais.

### 1.6.2 Description des eskers de la région d'étude

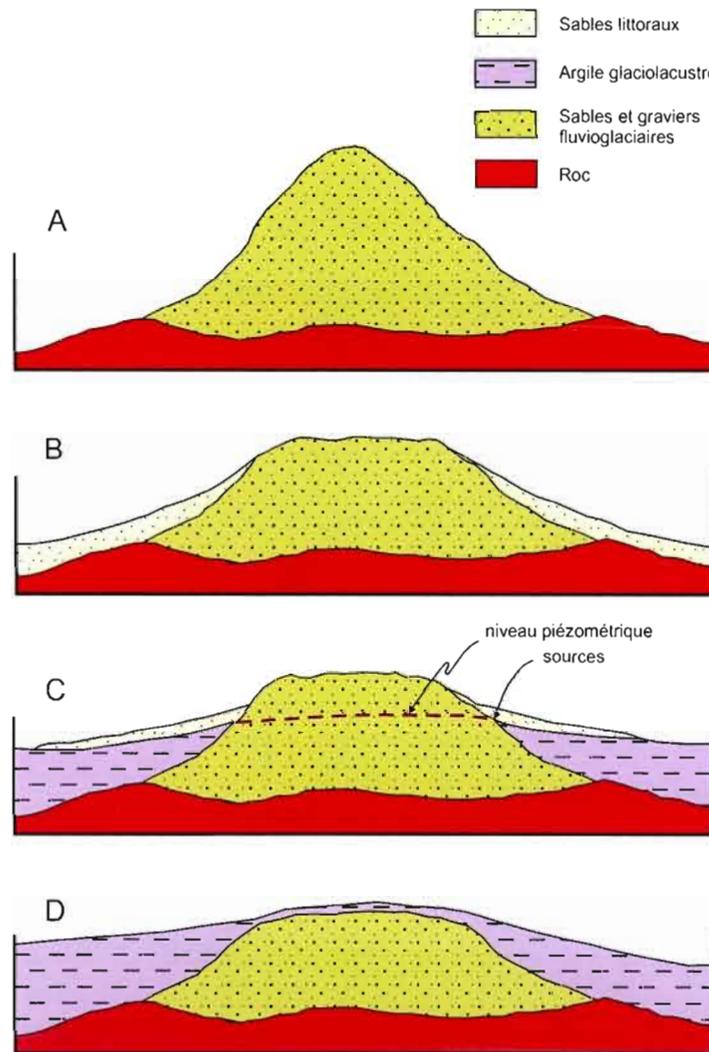
La présence d'eskers en Abitibi-Témiscamingue est connue depuis le début du siècle dernier. Toutefois, les travaux concernant ces eskers sont très rares et se retrouvent généralement à l'intérieur d'études régionales. Tanton (1920) note la présence d'eskers entre Amos et La Sarre. Bell et Bell (1933) décrivent brièvement des crêtes graveleuses dans la région de Senneterre qu'ils identifient comme étant des eskers. Wilson (1938) effectue la première description détaillée des plus imposants eskers de la région, il fournit notamment les premières descriptions de la Moraine d'Harricana. Ce n'est qu'avec les travaux de LaSalle et Warren (1968), qui présentent une carte de la distribution des eskers effectuée dans le cadre d'une campagne de prospection minérale alluvionnaire, que la répartition des eskers est montrée à l'échelle de l'Abitibi. Tremblay (1974) décrit l'ensemble des formations superficielles que l'on retrouve pour une partie de l'Abitibi. Il présente la répartition des eskers et expose quelques éléments de leur sédimentologie. Allard (1973) a classifié les eskers abitibiens de l'interfluve Bell-Harricana (voir figure 1.4) selon leurs caractéristiques morphologiques. Il a proposé six types morphologiques d'eskers associables aux différents segments : soit le type « sand plain », « De Geer », « rétrogressif », « court et indéterminable », « structuraux » et « Strandmark ». Des descriptions générales de l'ensemble des eskers sont présentées ainsi que des éléments sur la sédimentologie et la granulométrie des eskers. Veillette (1986c et 1996) décrit les différents types d'eskers susceptibles de se retrouver au Témiscamingue en fonction de leur milieu de mise en place et de leur morphologie. Il adapte au contexte abitibien un modèle de mise en place élaboré pour la Finlande par Sauramo (1929). C'est ainsi qu'il distingue trois groupes; le premier comprend les eskers mis en place dans la zone supra-aquatique (au-dessus du niveau maximal atteint par les eaux du lac Barlow-Ojibway). Ces eskers sont généralement petits, se retrouvent dans les vallées de certains points hauts et présentent une morphologie montrant une crête sinueuse et des flancs à pente raide. Le deuxième groupe inclut les eskers mis en place en milieu glaciolacustre (sous le niveau maximal atteint par le lac Barlow-Ojibway mais au-dessus du niveau de la plaine argileuse; il s'agit d'un niveau intermédiaire). Ils sont beaucoup plus imposants et présentent une morphologie modifiée par l'action des vagues des eaux glaciolacustres. Le troisième groupe comprend les eskers partiellement ou totalement

enfouis sous la couverture de sédiments à grains fins. Leur taille réelle est partiellement masquée par ces dépôts. Ils montrent également des sommets aplanis par l'action des vagues. Brennand et Shaw (1996) présentent la genèse du complexe fluvioglaciaire Harricana (Moraine d'Harricana) et son implication dans le régime d'écoulement et la dynamique glaciaire. Brazeau (2001 a,b,c,d et 2007 a,b), Brazeau *et al.* (1987) et Lessard *et al.* (1994) ont produit des documents d'inventaire des ressources en granulats pour plusieurs régions de l'Abitibi. Ces ressources granulaires se localisent généralement dans les formations fluvioglaciaires et plus particulièrement dans les eskers. En 2004, une classification des eskers et de la Moraine d'Harricana de la MRC d'Abitibi en fonction du milieu de mise en place a été proposée dans le cadre d'un projet d'étude des eaux souterraines dans la MRC d'Abitibi (Veillette *et al.*, 2004). Puisque nous utilisons cette classification dans la présente étude, nous la présentons plus en détail à la section suivante. Enfin, Riverin (2006) a étudié le potentiel aquifère d'un segment de l'esker Saint-Mathieu-Berry afin de documenter le lien entre la dynamique d'écoulement des eaux et la gestion de la ressource.

#### 1.6.3 Classification des types d'esker de l'Abitibi-Témiscamingue en fonction de leur milieu de mise en place

On observe quatre différents milieux de mise en place pour les eskers de l'Abitibi-Témiscamingue (figure 1.10). Ces différents milieux de mise en place peuvent être tous présents le long du même esker. Dans le cas illustré à la figure 1.10, en A l'esker a été mis en place au-dessus du niveau maximal de la submersion. Il présente la morphologie typique d'un esker sans remaniement important. Il est généralement de petite taille et est uniquement constitué de sédiments juxtaglaciaires. En B, l'esker se situait sous le niveau maximal du lac, mais au-dessus du plus haut niveau atteint par les sédiments à grains fins. Le sommet a été quelque peu remanié et aplani par la présence du lac proglaciaire. Des sables d'exondations associés au retrait du lac tapissent les flancs de l'esker. En C, l'esker a été mis en place sous le plus haut niveau atteint par les sédiments à grains fins. Les flancs d'esker sont partiellement enfouis par ces sédiments et lors de l'exondation du lac, des sables provenant du remaniement des sommets ont été redistribués sur les flancs couvrant par endroits ces sédiments à grains fins (voir section 1.6.4). Ce type d'esker présente généralement le plus haut potentiel aquifère. En D, l'esker a été complètement recouvert par les sédiments à grains

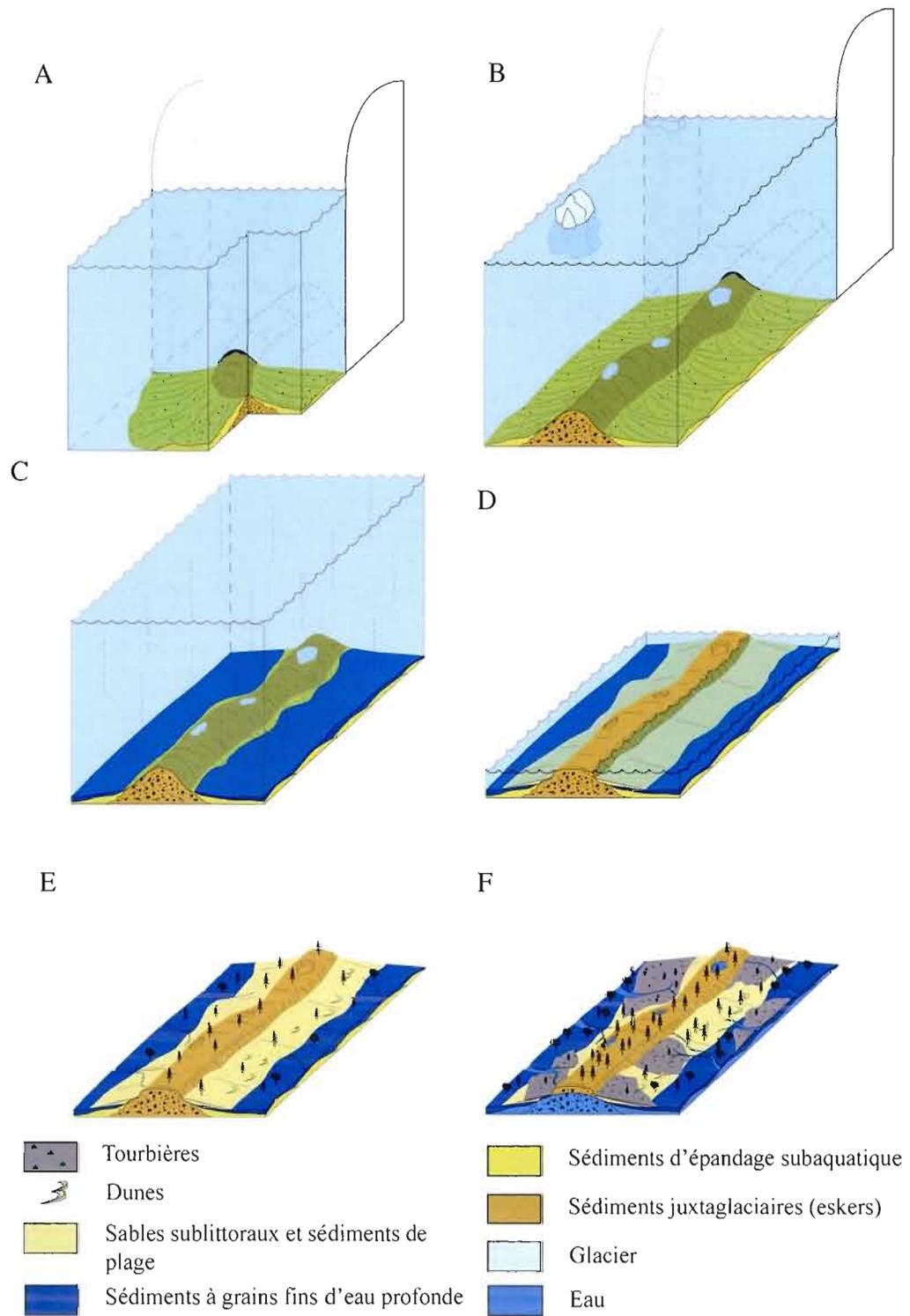
fins. Par endroits, il est difficile de distinguer sa présence; des kettles (dépressions formées par la fonte tardive de blocs de glace) et des lacs de kettles révèlent généralement l'axe central de l'esker.



**Figure 1.10** Classification des types d'esker en fonction des milieux de mise en place des eskers de l'Abitibi-Témiscamingue. Tirée de Veillette *et al.* (2004).

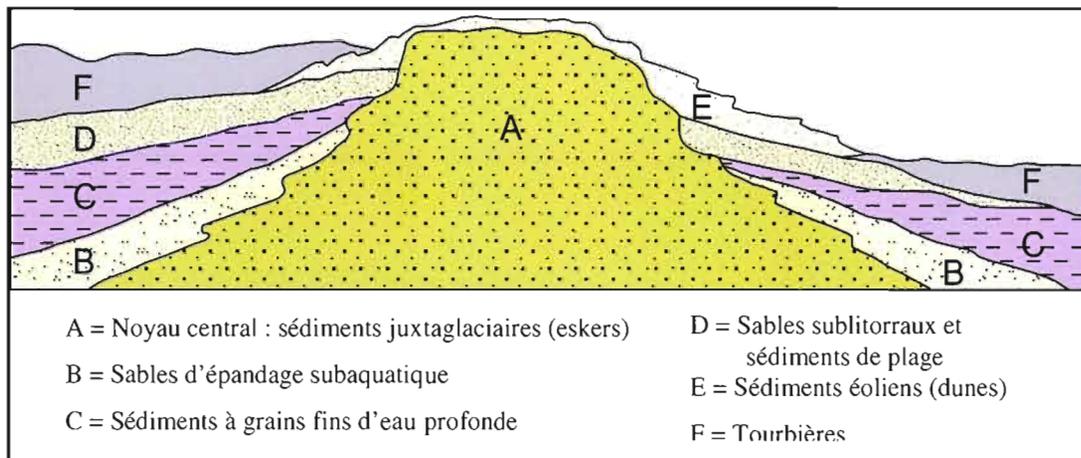
#### 1.6.4 Modèle conceptuel de la sédimentation et de l'évolution des eskers abitibiens en milieu sous-aquatique.

La connaissance du mode de mise en place et de l'évolution des eskers de l'Abitibi-Témiscamingue est essentielle pour comprendre leur rôle hydrogéologique. La morphologie et la stratigraphie des eskers résultent de ce mode de mise en place et seront déterminantes pour identifier le potentiel aquifère des eskers. Se fondant sur l'histoire glaciaire de la région et sur de nombreuses observations de terrain obtenues de gravières et sablières excavées dans des eskers et de forages, un modèle conceptuel de mise en place des eskers en milieu sous-aquatique est proposé (figure 1.11; Veillette et Nadeau, inédit). Lors de la formation des eskers mis en place au contact du lac Barlow-Ojibway, l'embouchure des tunnels sous-glaciaires était submergée entraînant une diminution drastique de la compétence des eaux de fonte confinées par la glace. Ce changement dans l'environnement de sédimentation a permis l'épandage de sables subaquatiques sur des centaines de mètres à l'aval et sur les flancs d'un noyau central constitué de dépôts grossiers (figure 1.11A). Il en résulte, suite au retrait progressif du front glaciaire, un mode de mise en place donnant naissance à des nappes de dépôts granulaires emboîtées les unes dans les autres et s'affinant vers l'aval (Rust, 1977). Des icebergs, dus au vêlage du glacier, ont dérivé dans les eaux glaciolacustres. Quelques blocs de glace, arrachés au glacier par les eaux fluvioglaciaires de contact, se sont retrouvés prisonniers dans les sédiments de l'esker (figure 1.11B). Dans une eau calme et de profondeur suffisante, avec un front glaciaire situé loin au nord, des sédiments à grains fins (argiles) ont recouvert les sédiments fluvioglaciaires masquant certaines irrégularités du relief et une partie du volume granulaire. Les blocs de glaces maintenues dans l'esker fondaient progressivement (figure 1.11C). Lors de la baisse du niveau du lac suite au relèvement isostatique, de son retrait vers le nord et éventuellement lors de sa vidange, les vagues ont remanié les crêtes d'eskers émergentes; elles ont été aplanies et redistribuées sur les flancs en sables littoraux et en sédiments de plage de chaque côté formant ainsi des terrasses d'érosion. La fonte tardive des blocs de glace forme une chaîne de dépressions semi-circulaires : une chaîne de kettles (figure 1.11D). Mis à nu lors de l'exondation totale du plan d'eau, les sables sublittoraux ont été pris en charge par l'action du vent de façon à former des



**Figure 1.11** Modèle conceptuel de l'évolution d'un esker abitibien formé en milieu glaciolacustre. Source : Veillette et Nadeau (inédit).

champs de dunes généralement du côté est à l'aval des vents dominants de l'époque dirigés vers l'est et le sud-est. Un début d'érosion fluviale incise les sédiments glaciolacustres et une végétation commence à coloniser ces nouveaux sols (figure 1.11E). Enfin, sur les pentes douces, dans les milieux mal drainés et généralement sur le flanc des eskers, des tourbières, principalement alimentées par l'émergence diffuse d'eau provenant de l'esker, se sont développées. Des sources d'eau de plus fort débit, situées au contact entre l'esker et les dépôts à grains fins, participent à l'augmentation de l'érosion fluviale. La végétation se densifie et l'accumulation de matière organique (gyttja) scelle le fond des kettles favorisant la formation de lacs (figure 1.11F). La coupe transversale de la figure 1.12 montre la séquence sédimentaire résultante de la formation d'un esker abitibien en milieu glaciolacustre.



**Figure 1.12** Modèle conceptuel en coupe transversale de l'esker formé en milieu glaciolacustre. Tirée de Veillette *et al.* (2004).

## 1.7 Travaux antérieurs

L'importance des dépôts quaternaires comme réservoirs d'eau souterraine et d'agrégats a fait l'objet de plusieurs études dans le but de mieux gérer le territoire. Dans plusieurs pays nordiques où les contextes géologiques et géomorphologiques sont semblables aux nôtres, ce type de recherche fait l'objet d'études depuis plusieurs années déjà. Dans les pays du nord-ouest de l'Europe, telles la Finlande et la Suède, de tels travaux sont indispensables à la bonne gestion du territoire. Les zones urbaines situées à proximité d'aquifères granulaires qui approvisionnent une grande partie de la population en eau potable ont forcé l'émergence de ce créneau de recherche. Au début des années 1990, les scientifiques scandinaves ont évalué de façon rigoureuse l'apport de la géologie glaciaire à la géologie économique de leurs pays et publié plusieurs articles dans un numéro spécial de la revue *Striae* en 1990. Königsson (1990) a démontré que les études de la géologie quaternaire sont très souvent négligées par rapport aux autres domaines de la géologie. Il a fait valoir les avantages économiques multiples des formations quaternaires pour le développement régional et l'aménagement territorial; notamment pour l'eau souterraine et l'industrie des agrégats. Korpela (1990) a exposé le besoin de recourir à des études sur les formations quaternaires en raison du mode de vie de la population actuelle. La demande croissante en matériaux granulaires due à la croissance de la consommation et à l'expansion urbaine et le besoin de les inventorier pour protéger les réserves en eau souterraine exigent la mise en place de projets multidisciplinaires dans l'étude des formations quaternaires (Lüttig, 1990). Dans cette optique, l'utilisation de matériaux granulaires pour les pays nordiques a été quantifiée par Neeb (1990) et plus spécifiquement pour la Finlande et la Suède par Kontturi (1990). L'inventaire de la ressource en dépôts granulaires a aussi été présenté pour l'ensemble de la Suède (Linden, 1990). Une classification des formations granulaires a été proposée pour l'ensemble de la Finlande par Britschgi et Gustafsson (1996); 7 141 segments associés à des formations granulaires ont été classés dans trois catégories selon leur utilisation pour l'approvisionnement en eau. Cette classification fait maintenant office de référence pour ce pays en ce qui concerne les plans de protection adoptés. En date de 2009, 6 200 sites d'aquifères étaient catégorisés : 2 200 étaient considérés comme des sites de grande importance pour l'approvisionnement en eau souterraine, 1 550 comme des sites propices à l'approvisionnement en eau souterraine et

2 450 comme des zones d'eau souterraine non déterminée (R. Britschgi, communication personnelle, 2010). Compte tenu du manque de connaissance de la sous-surface et surtout de la morphologie irrégulière du substrat rocheux, des études hydrogéologiques spécifiques ont été nécessaires pour comprendre l'écoulement souterrain dans des régions d'étude restreintes (Väisänen, 1997; Artimo *et al.*, 2003). Cette problématique est aussi observable en Abitibi-Témiscamingue; les irrégularités du roc sous-jacent aux eskers obligent la réalisation d'études spécifiques pour mieux comprendre les particularités à grandes échelles.

Dans une optique de gestion et de protection de la ressource, Eliasson (2000) a développé une méthode basée sur des simulations hydrogéologiques pour faciliter la compréhension de l'écoulement de l'eau souterraine et faciliter l'évaluation des impacts des activités anthropiques afin d'améliorer la prise de décision quant aux mesures de protection à adopter. Une petite section d'un esker du sud-est de la Suède a servi de région pilote pour l'application de la méthode. Une autre étude axée sur la recherche de compromis à adopter entre la protection des eaux souterraines et la demande en agrégats a été effectuée pour la région la plus peuplée de la Finlande, l'Uusimaa (Kinnunen *et al.*, 2006). Cette étude est associée à un projet gouvernemental, le projet Poski, qui a comme objectif la protection de la valeur environnementale des formations géologiques tout en conservant un approvisionnement en eaux souterraines et en agrégats pour la Finlande. Par le biais de ce projet, une estimation quantitative du volume aquifère et granulaire des régions a été réalisée. Le volume de sables et graviers est évalué à 1 770 millions de m<sup>3</sup> où seulement 64 millions de m<sup>3</sup> sont considérés comme exploitables. Étant fortement dominés par les sables, seulement 15 millions de m<sup>3</sup> de ce volume ont une granulométrie équivalente ou supérieure au gravier. Ils ont estimé qu'au rythme de la consommation actuelle, il n'en restait que pour quatre ans. Une évaluation préliminaire des risques de contaminations des aquifères finlandais a montré que près de 25% des aquifères utilisés pour l'approvisionnement en eau potable étaient à risque (Gustafsson *et al.*, 2006). La source d'une contamination est, dans certains cas, très difficile à repérer. La protection des eaux souterraines se fait donc par la prévention et exige beaucoup de précautions. Pour les secteurs urbanisés, et dépendants de l'eau souterraine, de Turku et de Kaarina Rusko, en Finlande, une étude propose un plan de protection pour leurs eaux souterraines (Joronen, 2009).

La vulnérabilité des eaux souterraines de la Finlande est fonction des activités humaines ayant cours à la surface des eskers. C'est ainsi qu'il devient nécessaire d'effectuer des études sur les impacts des activités anthropiques sur la ressource en eau. L'extraction du gravier augmente les risques de contamination de l'eau souterraine et peut affecter le niveau piézométrique (Hatva, 1994). Les travaux de Seppälä (1999) ont montré que les infrastructures routières utilisent préférentiellement les formations fluvioglaciales étant donné leur bon drainage. Cette utilisation peut devenir dommageable pour les eaux souterraines sous-jacentes, notamment lors du salage pendant l'hiver. Une étude sur les effets du coupage de bois sur la quantité et la qualité des eaux souterraines a été effectuée pour le contexte finlandais (Rusanen *et al.*, 2004). Les résultats n'ont pas permis de constater des impacts significatifs dus à une coupe sur plusieurs des composantes hydrochimiques de l'eau. Toutes ces activités sont présentes sur les eskers abitibiens, justifiant ainsi l'importance de développer des activités de recherche sur ces milieux.

Au nord de l'Irlande, un inventaire des réserves en dépôts granulaires a été réalisé (Knight *et al.*, 1999). Dans cette région, les dépôts fluvioglaciers recouvrent entre 3 et 4 % du territoire et la réserve en sables et graviers se situerait entre 2 400 et 14 675 millions de tonnes. Cette étude a montré qu'il existe une grande variabilité dans le volume et dans les caractéristiques des matériaux extraits d'un esker par rapport à ceux d'un complexe deltaïque.

En Amérique du Nord, les études sur le sujet sont beaucoup moins avancées. Quelques-unes d'entre elles se sont intéressées à la quantité de la réserve granulaire pour une région donnée (Bliss, 1998; Sutphin, 2002). Dans ces études, on estime le volume en agrégats par l'entremise des systèmes d'informations géographiques. Toutefois, la superficie des zones étudiées est restreinte si on la compare à celle de l'Abitibi-Témiscamingue. Ces secteurs possèdent beaucoup de données de forages et de nombreux milieux habités, ce qui permet une meilleure connaissance de la profondeur du roc. En ce qui concerne l'hydrogéologie dans les formations granulaires, quelques études sur de petits secteurs ont été réalisées. Aux États-Unis, des études sur l'écoulement d'eau souterraine dans des aquifères granulaires ont été réalisées par des chercheurs de l'USGS (United States Geological Survey) dans le secteur de Grand Rapids au Minnesota (Jones, 2004) et à Marathon dans l'état de New York (Miller,

2000). Au Canada, un modèle géologique 3D de la Moraine de Oak ridge (Ontario) a démontré l'utilité de telles études pour les recherches en hydrogéologie (Sharpe *et al.*, 2007). La modélisation de l'architecture géologique d'un segment de l'esker Saint-Mathieu-Berry a aussi été réalisée pour modéliser l'écoulement de l'eau souterraine dans un esker abitibien (Bolduc *et al.*, 2005; Riverin, 2006). Toutefois, l'utilisation de ces études ne permet pas d'obtenir une idée régionale de la ressource. Au Québec, les études hydrogéologiques dans la MRC de Portneuf (Murat *et al.*, 2000) et dans le bassin versant de la rivière Châteauguay (Côté *et al.*, 2006) sont des exemples d'études réalisées à une échelle régionale.

Inspiré par les travaux déjà réalisés en Scandinavie, le présent projet vise à fournir les bases géoscientifiques nécessaires à une saine gestion des eskers et de l'eau souterraine en Abitibi-Témiscamingue.

## CHAPITRE II

### MÉTHODOLOGIE

#### 2.1 Inventaire des données numériques

La grande superficie de la région d'étude a nécessité l'utilisation de système d'information géographique (SIG). Le logiciel ArcGIS 9,3 a été utilisé pour le traitement des données et leur présentation cartographique. L'emploi de ce logiciel implique l'utilisation de données numériques sous la forme de « shapefiles ». Plusieurs types de données de sources différentes ont été traités dans le but d'obtenir des résultats relatifs aux différents objectifs. Voici la liste des différentes données numériques utilisées dans le cadre du projet et leur source.

##### 2.1.1 Données topographiques

Les données sur la topographie de l'Abitibi-Témiscamingue proviennent de la base de données topographiques du Québec. Ces données sont à l'échelle du 1 : 20 000. Leur acquisition a été possible grâce à une entente entre l'UQAT et la Conférence régionale des élus de l'Abitibi-Témiscamingue (CRÉAT) et celle de la Baie-James (CRÉBJ). L'uniformité des unités de mesure utilisées (le système métrique), l'équidistance de 10 m entre les courbes de niveau et la précision de l'information (échelle 1 : 20 000) justifient l'emploi de ces données. Les courbes de niveau, les points d'altitude, les cours d'eau et les plans d'eau sont les couches numériques (*shapefiles*) mises à contribution.

### 2.1.2 Modèle numérique d'altitude régionale.

À des fins de représentations cartographiques, 24 modèles numériques d'altitudes (Digital elevation models, DEM), rendus disponibles par la NASA, ont été unis afin de couvrir l'ensemble des données utilisées dans ce projet. Leur résolution est de 3 arcs-seconde équivalant approximativement à 90 mètres le pixel (Shuttle Topography Radar Mission, STRM, 2010). Ces DEM ont aussi été utilisés pour calculer l'épaisseur maximale de la tranche d'eau lors de la submersion glaciolacustre (voir chapitre IV).

### 2.1.3 Les données d'altitude des limites de lessivage

Pour connaître l'épaisseur maximale de la tranche d'eau du lac Barlow-Ojibway sur l'ensemble de l'Abitibi-Témiscamingue, nous avons dû modéliser l'étendue de la submersion à l'aide de l'altitude des lignes de lessivage associées aux niveaux glaciolacustres maximaux mesurés par Veillette (1994). Les données sur les niveaux les plus élevés du lac Barlow-Ojibway sont regroupées dans un fichier Excel (Veillette, données inédites). Les altitudes fournies ont été mesurées par photogrammétrie à l'aide des « stéréoplotters » à haute précision de la Division de Topographie du Ministère de l'Énergie des mines et ressources à Ottawa et par altimètre sur le terrain dans certains cas. Au total, 712 points d'altitudes ont été identifiés à 145 endroits différents du nord-ouest québécois et nord-est ontarien sur des photos aériennes à l'échelle du 1 : 60 000 et du 1 : 40 000. Ces points, identifiés sur photos aériennes le long de limites visibles sur le pourtour des hautes collines qui formaient jadis des îles dans les eaux proglaciaires, ont été alors mesurés. La médiane des altitudes mesurées pour chaque endroit a été retenue pour la modélisation. L'utilisation de ces données est présentée plus en détail au chapitre IV. Grâce aux coordonnées géographiques des altitudes mesurées, les données ont pu être numérisées et intégrées à l'inventaire des données numériques.

### 2.1.4 Sites visités lors de la campagne de terrain

Les coordonnées géographiques de chaque site visité ont été collectées à l'aide d'un système de positionnement global (GPS) Garmin 76 Csx. Le transfert de l'information entre le GPS et le

SIG se fait aisément par un logiciel d'appoint (DNR Garmin) qui importe les données du GPS et crée un *shapefile* de points compatible avec le logiciel ArcGIS 9,3.

#### 2.1.5 Localisation des eskers

La localisation des eskers et leur étendue proviennent des cartes des dépôts de surface (figure 1.2) accessible par GÉOSCAN (site Internet donnant accès aux publications de la CGC). Ces cartes numérisées sont à l'échelle du 1 : 100 000. La qualité de la cartographie, l'uniformité entre les feuillets et la taille de la superficie couverte par ces cartes font de celles-ci des outils indispensables pour le projet. La disponibilité numérique des cartes des formations en surface est un atout indéniable qui nous a permis de cibler rapidement les formations fluvioglaciales.

Aux fins de ce mémoire, le terme « esker » est utilisé pour l'ensemble des corps sédimentaires de nature juxtaglaciale de la région étudiée. Le terme inclut donc quelques formes morainiques et quelques formations granulaires indéterminées. Leur profil stratigraphique similaire aux eskers leur confère des caractéristiques analogues nous permettant de les considérer au même niveau quant à leur potentiel aquifère et granulaire. Ainsi, les eskers analysés correspondent à l'ensemble des formations juxtaglaciaires cartographiées sur les cartes de dépôts de surface de l'Abitibi-Témiscamingue (voir figure 1.7).

#### 2.2 Toponymie des eskers de la région d'étude.

Pour faciliter l'analyse et l'identification des segments d'eskers, l'utilisation de noms appropriés s'est avérée essentielle. Dans le cadre de cette recherche, les noms attribués aux eskers proviennent des noms employés dans les travaux antérieurs ou dans le domaine scientifique local. Seuls les plus imposants ont été nommés et pourront être utilisés dans le texte, les autres seront présentés de façon régionale. La figure 2.1 présente les eskers, ou moraines, de la région d'étude avec les noms attribués à chacun d'eux.

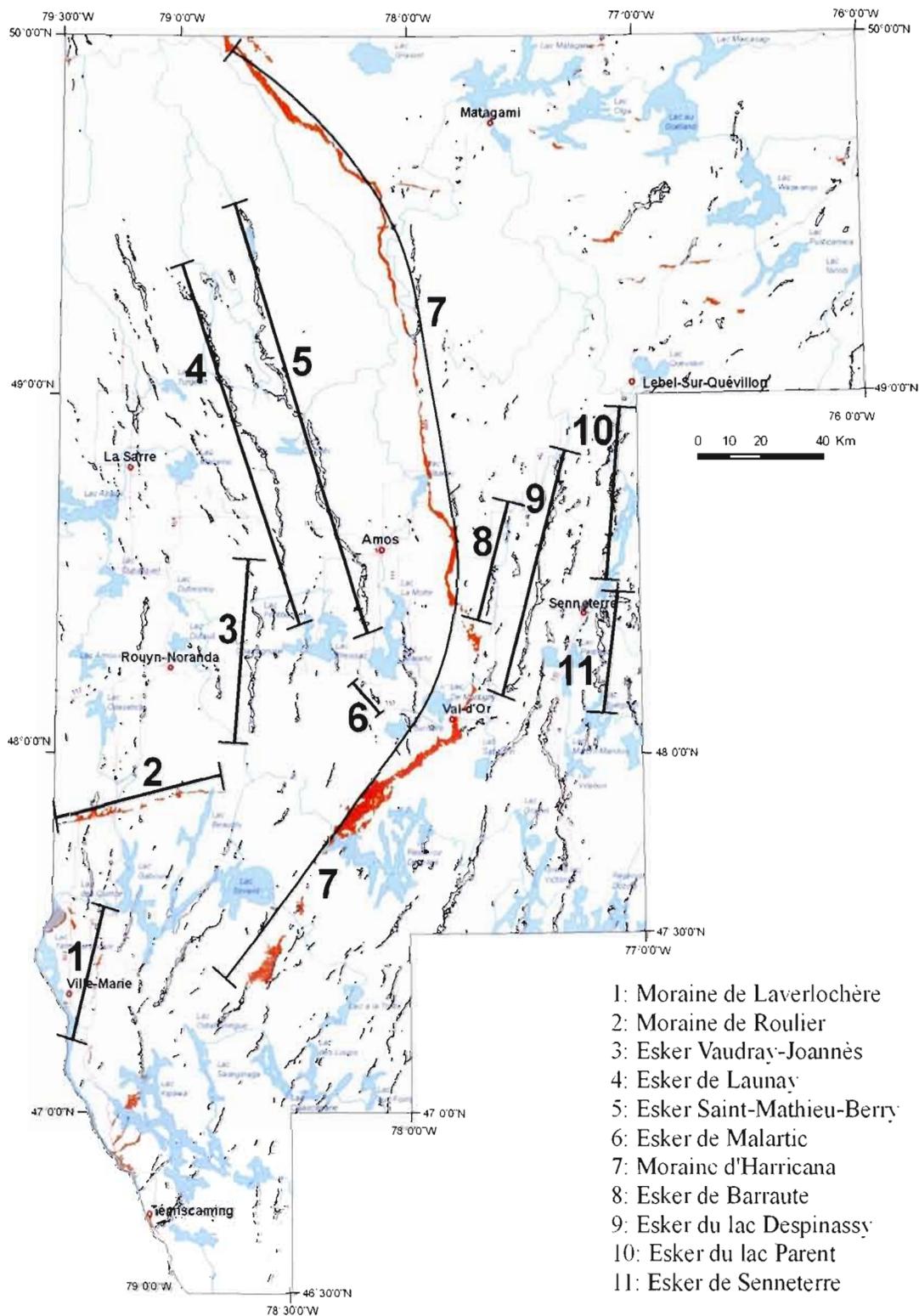


Figure 2.1 Toponymie des eskers de l'Abitibi-Témiscamingue utilisée pour cette étude.

### 2.3 Photo-interprétation

Avant la période de terrain, une photo-interprétation préliminaire a été réalisée sur l'ensemble des eskers de l'Abitibi à l'aide des photos utilisées pour la cartographie des dépôts de surface (photographies à l'échelle du 1 : 40 000 prises entre les années 1970 et 1990) afin de se familiariser avec la géomorphologie des formes de terrain. La disposition des unités lithostratigraphiques à proximité des eskers a pu être identifiée afin de déterminer le type d'esker en fonction de la classification de Veillette *et al.* (2004). Cette photo-interprétation a aussi servi à mettre en évidence les zones d'émergence d'eau souterraine, ponctuelles ou diffuses, le long des eskers. Dans certains cas, des photos aériennes à l'échelle du 1 : 15 000 ont aussi été utilisées. L'ensemble de ces interprétations a été numérisé et joint aux données numériques inventoriées.

La cartographie de l'information photo-interprétée a été faite par numérisation à l'écran. Les photographies aériennes interprétées ont été numérisées par balayage optique. Les images créées ont ensuite été géoréférencées en donnant des coordonnées géographiques à différents endroits de l'image. La numérisation des éléments de l'image, par l'édition des *shapefiles*, a ainsi permis la création des éléments spatialement positionnés.

### 2.4 Campagne de terrain

Une campagne de terrain a été nécessaire pour mieux comprendre le contexte de mise en place des eskers et les problématiques liées aux eaux souterraines. La campagne de terrain s'est échelonnée sur trois mois lors de l'été 2009. Au total, 114 gravières ont été visitées pour bien définir les caractéristiques qui restreignent le volume granulaire apparent et qui affectent le potentiel aquifère des eskers. Lors de cette campagne, certaines sources de résurgences d'eau ont pu être validées, tandis que d'autres ont été rajoutées, car elles étaient non détectables sur les photographies aériennes à l'échelle du 1 : 40 000.

## CHAPITRE III

### ÉVALUATION DE LA RESSOURCE EN DÉPÔTS GRANULAIRES

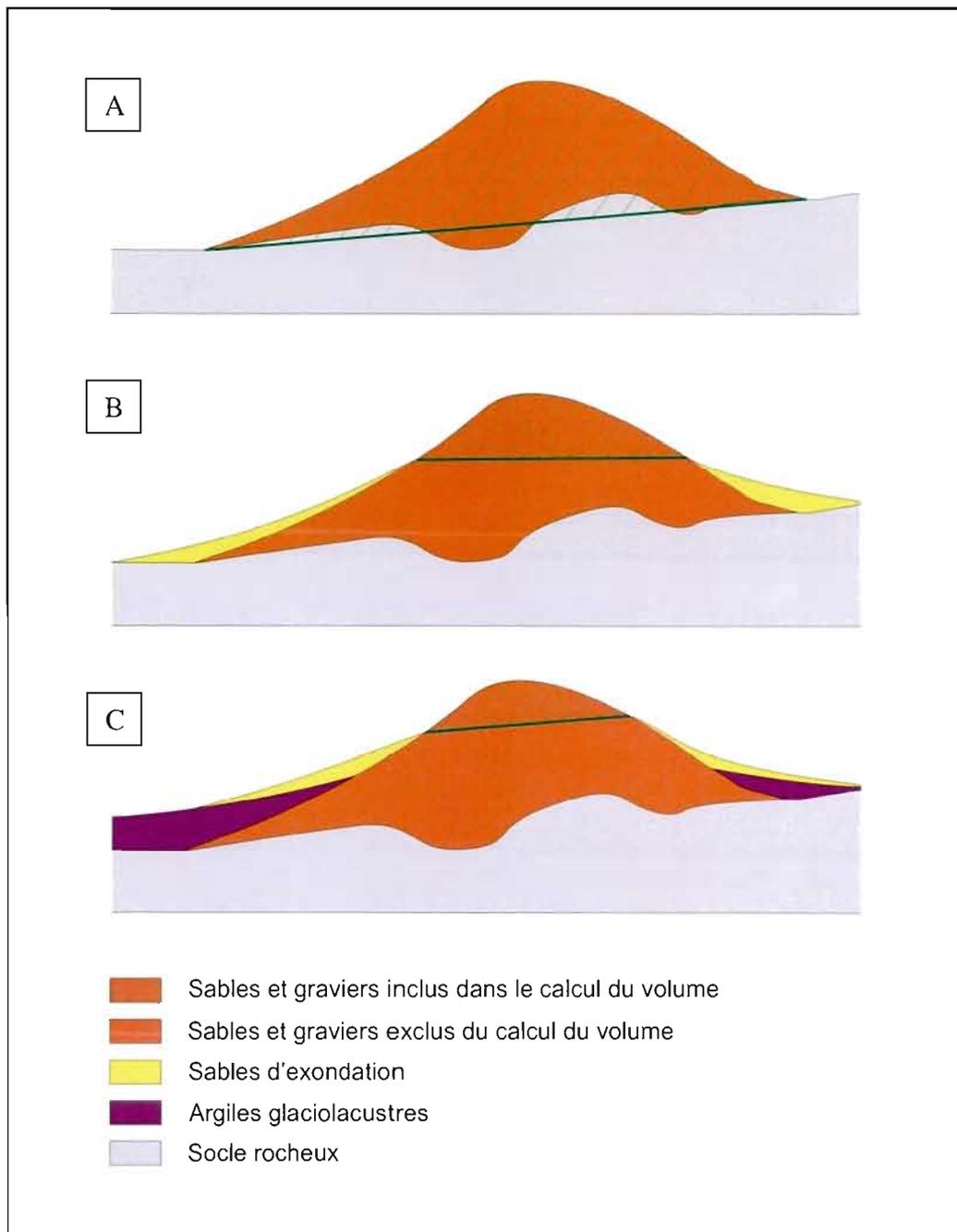
Les eskers constituent de loin la principale source de dépôts granulaires de l'Abitibi-Témiscamingue. Ces matériaux granulaires sont utilisés pour la construction (béton et remblais), pour l'infrastructure routière et pour la voirie forestière. Outre ces activités d'extraction, les eskers sont aussi utilisés pour l'exploitation forestière, pour la villégiature et, dans le voisinage des zones habitées, pour le captage de l'eau souterraine. Comme nous l'avons vu précédemment, la répartition des eskers et autres dépôts granulaires de la région est connue grâce aux travaux de cartographie existants (voir figure 1.2 et 1.7). Cependant, malgré l'importance de la ressource pour l'activité économique, le volume de ces dépôts granulaires demeure inconnu. Aucune étude, avant le présent travail, n'a traité de l'aspect quantitatif de cette ressource.

La cartographie des dépôts de surface, le modèle de mise en place des eskers, les travaux réalisés à l'extérieur de notre région et dans d'autres régions nordiques du monde, et l'expérience acquise lors des travaux précédents et actuels de l'UQAT, nous ont permis d'apprécier les facteurs pouvant faire obstacle aux essais d'évaluation de la masse granulaire des eskers. La question est complexe puisque le manque de connaissance sur la topographie du socle rocheux sous-jacent aux eskers et l'enfouissement total ou partiel de la partie basale de plusieurs eskers par des dépôts plus jeunes nous empêchent d'évaluer avec précision le volume de sables et graviers qu'ils contiennent à partir uniquement de cartes et de photographies aériennes. Toutefois, malgré ces contraintes, nous disposons de données cartographiques de surface nous permettant de proposer des volumes de dépôts granulaires

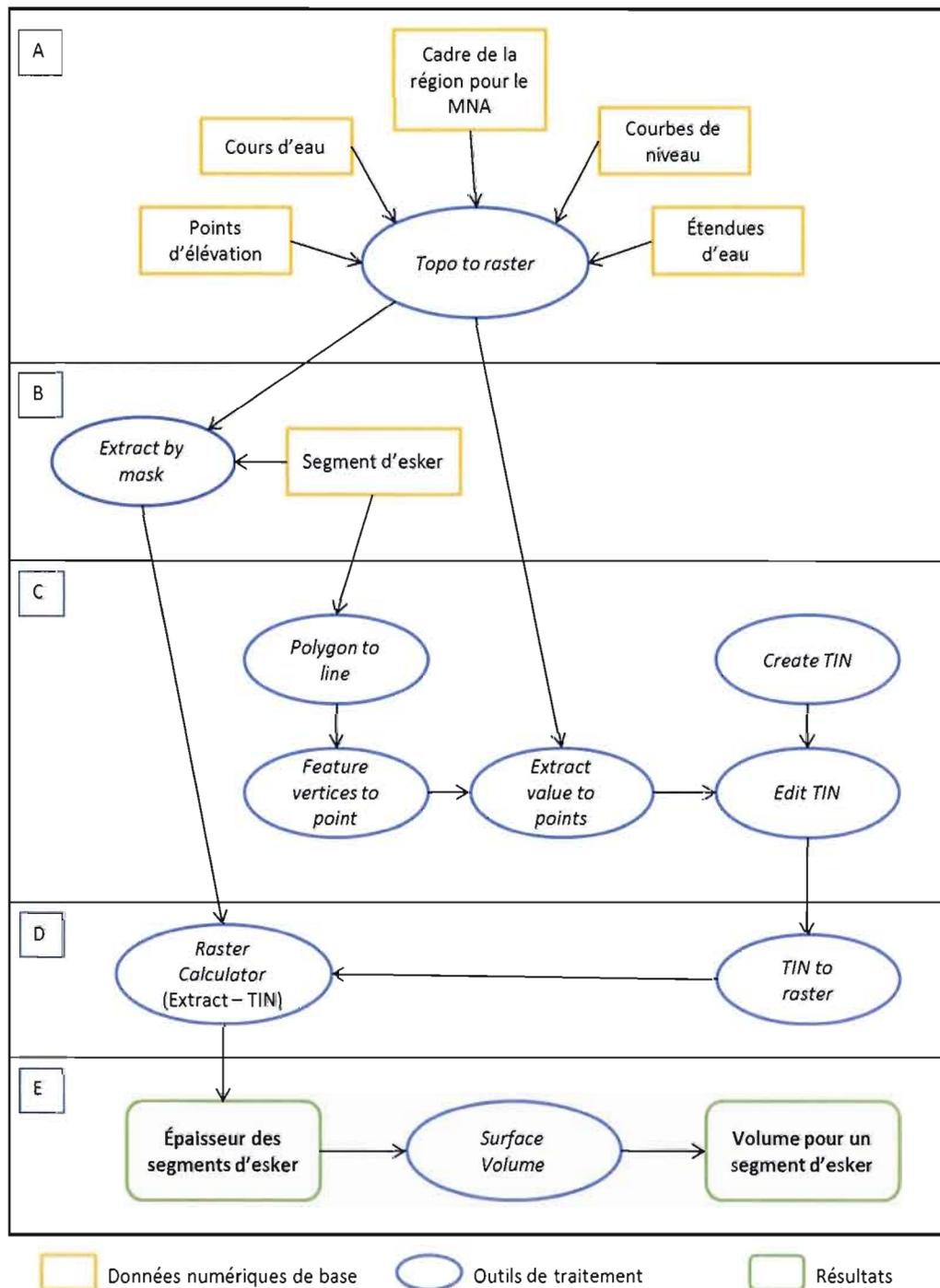
représentatifs de la partie non saturée des eskers (au-dessus du niveau phréatique) et d'observer leur distribution sur la région d'étude. Il s'agit forcément d'une évaluation minimale du volume de ces eskers. La section qui suit présente la méthode utilisée face à ces contraintes.

### 3.1 Méthodologie

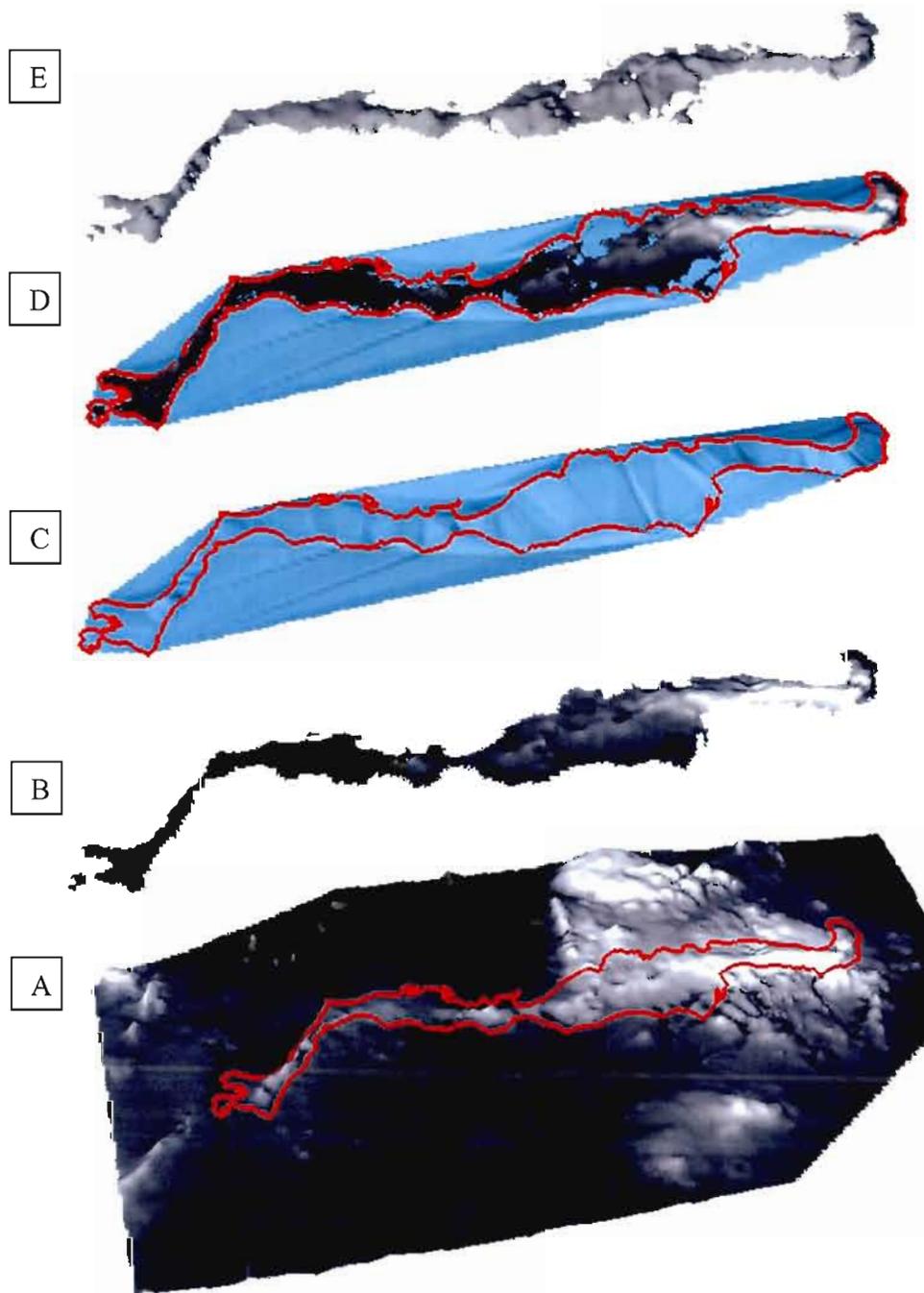
L'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) est indispensable pour intégrer et traiter l'ensemble des données nécessaires à l'estimation du volume des différents segments d'eskers cartographiés. Les SIG sont utilisés autant dans la phase de modélisation topographique de l'esker que dans celle du calcul des épaisseurs apparentes des eskers et de l'interprétation des résultats. Knight *et al.* (1999) et Sutphin *et al.* (2002) ont calculé le volume granulaire d'un esker en utilisant une forme géométrique, le trapèze, pour représenter sa forme en coupe transversale. Dans les présents travaux, compte tenu de l'hétérogénéité de la morphologie des eskers sur un même segment et afin de réduire le biais causé par l'utilisation d'une forme géométrique, nous avons reproduit la forme de l'esker à l'aide d'un modèle numérique d'altitude (MNA). Ainsi, on obtient une tranche d'épaisseur qui représente fidèlement la géométrie apparente de l'esker. La figure 3.1 illustre la partie de l'esker utilisée pour les calculs de volume de la masse granulaire en fonction des milieux de mise en place des eskers. Ces schémas montrent l'effet de l'enfouissement des dépôts fluvioglaciers par les sédiments glaciolacustres sur la masse granulaire incluse dans le calcul du volume. Le calcul du volume exige le traitement de données vectorielles, sur la topographie de surface, réalisable par les outils du logiciel ArcGIS. La figure 3.2 présente, sous forme d'organigramme, les différents outils utilisés pour obtenir le volume de dépôts granulaires à partir des données topographiques. Cinq grandes étapes ont été suivies pour chacun des segments d'esker analysés. La figure 3.3 illustre les résultats obtenus pour chacune des étapes pour un segment d'esker.



**Figure 3.1** Partie de l'esker utilisée dans le calcul du volume de la masse granulaire en fonction de trois milieux (A, B, C) de mise en place de la classification proposée par Veillette *et al.* (2004, voir figure 1.10).



**Figure 3.2** Organigramme représentant la chaîne d'opération et les cinq étapes à suivre pour obtenir une estimation minimale du volume de dépôts granulaires d'un segment d'esker.



**Figure 3.3** A) MNA englobant un segment d'esker. B) MNA extrait pour le segment d'esker. C) TIN rejoignant les altitudes du pourtour de l'esker D) Soustraction du TIN au MNA de l'esker. E) Section de l'esker émergeant au-dessus des dépôts avoisinants.

#### A- Création d'un modèle numérique d'altitude (MNA).

Cette étape consiste à créer un MNA qui englobe un segment d'esker. Le MNA est réalisé par l'interpolation des données topographiques au 1 : 20 000 (courbes de niveau, cours d'eau, points cotés, plans d'eau) à l'aide de l'outil *Topo to Raster* d'ArcGIS, basé sur l'algorithme ANUDEM qui crée un modèle numérique respectant les notions d'hydrologie (figure 3.3A). L'utilisation des données au 1 : 20 000 augmente la précision du MNA et leur uniformité facilite leur utilisation. Contrairement aux données au 1 : 50 000 issues de la BNDT (Base nationale de données topographiques), tous les feuillets possèdent la même unité de mesure : le mètre. La taille utilisée pour les pixels de la matrice est de 10 m. Cette résolution a été choisie compte tenu de la grande superficie de la région étudiée. Il s'agit d'un compromis; une meilleure résolution (pixel inférieur à 10 m) aurait accru considérablement le temps de traitement, tandis qu'une moins bonne résolution (pixel supérieur à 10 m) aurait rendu l'estimation trop grossière.

#### B- MNA pour un esker.

Cette étape consiste à extraire de ce MNA, un MNA représentant fidèlement le segment d'esker à évaluer (figure 3.3B). L'outil *extract by mask* d'ArcGIS permet la réalisation de cette étape.

#### C- Création d'un plan de référence

Afin d'obtenir la hauteur d'un segment d'esker, il faut déterminer un plan de référence. Cette épaisseur représentera la différence entre ce plan et le MNA du segment d'esker. Tel que présenté précédemment, puisque très peu de données sur la portion granulaire sont disponibles, seule la hauteur du segment d'esker (portion émergeant des dépôts littoraux et postglaciaires) a été déterminée. Ainsi, les altitudes du pourtour des segments d'esker ont agi comme plan de référence. Nous avons créé un TIN (Triangulated Irregular Network) en utilisant ces altitudes afin de recouper le segment transversalement (figure 3.3C).

#### D- Matrice correspondant à la hauteur de l'esker

Le TIN doit ensuite être transformé en matrice où la taille des pixels est la même que celle du MNA. Le plan de référence peut ensuite être soustrait du MNA. Une nouvelle matrice est créée avec des valeurs représentant la différence entre l'altitude de la surface de l'esker et le plan de référence issu de l'altitude des pourtours de l'esker (figure 3.3D).

#### E- Calcul du volume

L'outil *Surface Volume* dans *3D Analyst* permet le calcul du volume au-dessus ou en dessous d'un plan de référence. Dans ce cas-ci, les valeurs positives sont considérées pour le calcul du volume (figure 3.3E).

Comme nous l'avons vu, la taille choisie pour les pixels lors de la création des MNA influence la taille des fichiers de données produits pour les grandes superficies. Aussi, compte tenu de la grande étendue de la région d'étude et de la taille du pixel choisi (10 m par 10 m ou 100 m<sup>2</sup>) et afin de réduire le temps de traitement, ces étapes ont dû être effectuées pour chaque segment d'esker séparément. De même, afin d'éviter l'exécution redondante des opérations, un modèle de traitement a été réalisé pour automatiser la chaîne d'opération. À l'intérieur du logiciel ArcGIS 9.3, un modèle de traitement est réalisable par l'outil « model Builder ». Le modèle de traitement est basé sur l'organigramme de la figure 3.2 qui présente la suite des opérations à accomplir. Par la suite, une boucle a été programmée pour répéter le modèle de traitement à tous les segments d'esker successivement. Le développement d'un programme bâti spécialement pour ce type de travail pourrait être élaboré afin de réduire considérablement les manipulations.

### 3.2 Analyse de la réserve de dépôts granulaires

Afin d'observer et de comprendre la répartition du volume de la réserve de dépôts granulaires, la figure 3.4 montre, à l'échelle régionale, la hauteur de tous les segments d'eskers au-dessus du plan de référence. La répartition du volume granulaire est hétérogène, les eskers ne présentent pas la même morphologie sur l'ensemble du territoire. Pour obtenir davantage de spécifications sur cette disparité, différentes caractéristiques attribuables à la réserve granulaire ont été calculées pour la région en entier ainsi que pour le territoire des MRC inclus dans la région d'étude. L'utilisation des limites administratives permet d'apprécier la répartition de la réserve granulaire par MRC et ainsi faciliter l'analyse régionale. Les gestionnaires et utilisateurs du territoire connaîtront la quantité de dépôts granulaires disponibles dans leur MRC ainsi qu'une meilleure idée des conditions géologiques affectant leur répartition. Les données sur les caractéristiques du volume granulaire de chaque secteur sont recueillies dans le tableau 3.1.

#### 3.2.1 Description de la réserve de dépôts granulaires de la région d'étude

Le volume apparent des eskers pour l'ensemble de la région est de 10 610 millions de m<sup>3</sup>. Il couvre 2 179 km<sup>2</sup> de superficie correspondant à 3,19 % du territoire à l'étude (voir tableau 3.1). Ce volume apparent de la réserve granulaire divisé par sa superficie donne une hauteur moyenne de 4,87 m pour les eskers. Peu d'eskers atteignent des épaisseurs apparentes supérieures à 25 m (figure 3.4). La Moraine d'Harricana est la formation granulaire la plus imposante ayant le plus grand nombre de secteurs dont la hauteur excède 25 m. Le segment au sud de Val-d'Or est le plus imposant avec une crête excédant 25 m sur de longues distances, atteignant même par endroits plus de 50 m. Le secteur à l'est d'Amos possède aussi une crête avoisinant les 50 m. Des relevés d'altitude effectués au GPS à cet endroit ont confirmé ces grandes épaisseurs de matériaux granulaires. Quelques secteurs de l'esker Saint-Mathieu-Berry excèdent aussi de 25 m et plus, plus particulièrement dans sa partie sud. Dans la plupart des autres eskers, la hauteur se situe entre 10 et 25 m. Ces épaisseurs apparentes se répartissent de façon hétérogène sur le territoire. Les eskers de l'ouest de la région d'étude montrent des épaisseurs apparentes qui atteignent rarement 10 m. Toutefois, à l'est, les

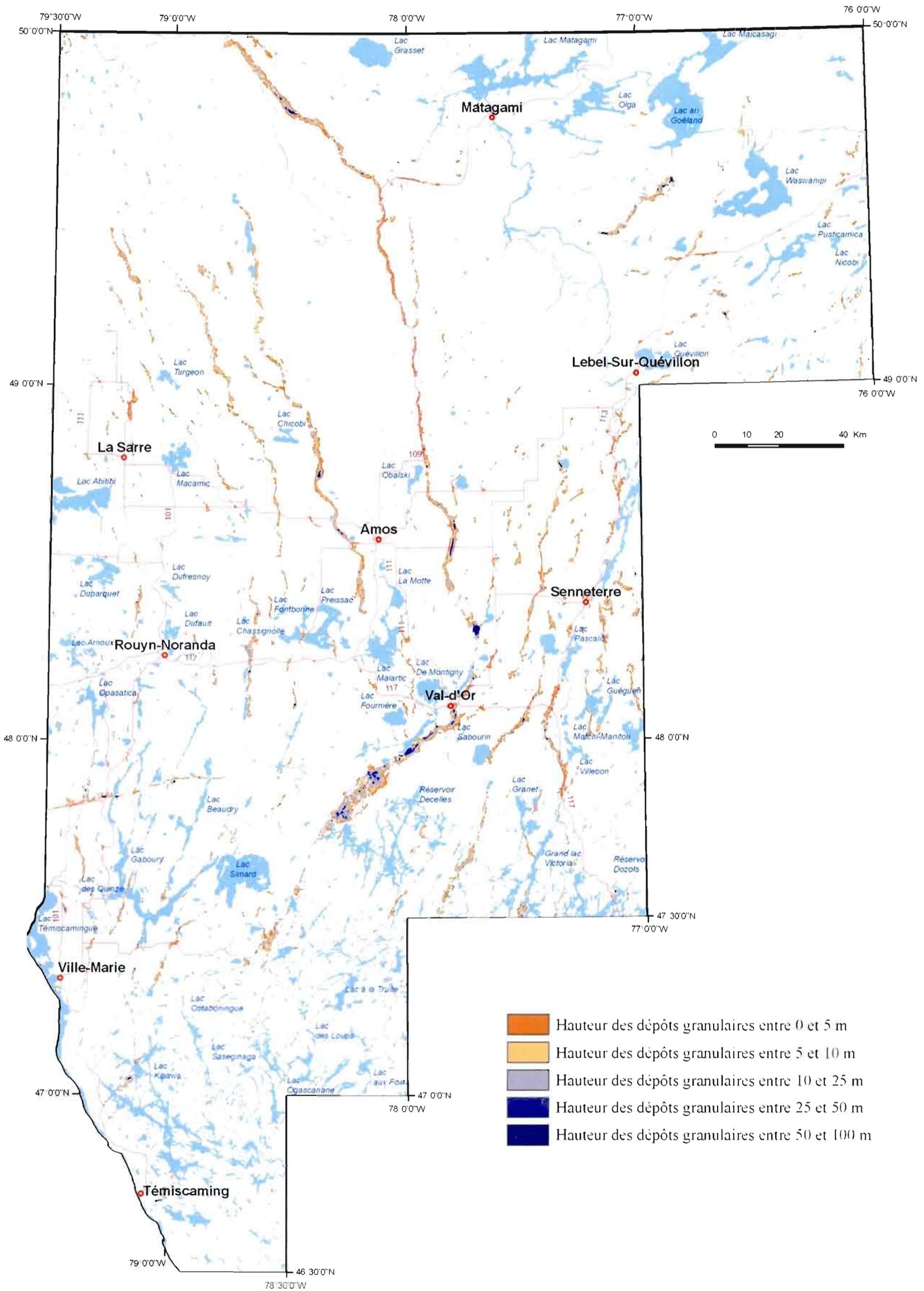


Figure 3.4 Hauteurs des eskers de la région d'étude au-dessus du plan de référence.

eskers montrent des épaisseurs apparentes plus importantes, régulièrement près de 25 m, et sur des distances beaucoup plus continues. À l'extrême sud de la région d'étude, les eskers présentent aussi de faibles épaisseurs apparentes. En fait, le centre de la région montre davantage d'eskers d'épaisseurs élevées.

L'épaisseur moyenne de la réserve de dépôts granulaires a aussi été calculée. Le volume granulaire apparent a été divisé par la superficie de toute la région étudiée. Il en résulte une épaisseur de sables et graviers disponible pour chaque unité de surface. En Abitibi-Témiscamingue et le sud de la Baie-James, 16 cm de dépôts granulaires pourraient être étalés sur toute la superficie couverte.

**Tableau 3.1** Description de la masse granulaire pour les MRC de l'Abitibi-Témiscamingue.

MRC	Superficie des MRC (km <sup>2</sup> )	Volume de dépôts granulaires apparents (millions de m <sup>3</sup> )	Superficie des eskers		Hauteur moyenne des eskers (m) (Vol/superficie_eskers)	Hauteur moyenne de la réserve en dépôts granulaires (m) (Vol/superficie_MRC)	Répartition du volume granulaire (%)
			km <sup>2</sup>	%			
Abitibi	7939,9	1950,48	338,5	4,26	5,76	0,25	18,4
Abitibi-ouest	3617,9	143,00	82,2	2,27	1,74	0,04	1,3
La Vallée-de-l'Or	8447,5	3105,04	496,5	5,88	6,25	0,37	29,3
Ville de Rouyn-Noranda	6477,9	1278,78	184,1	2,84	6,95	0,20	12,1
Sud de la Baie-James	28274,7	2503,39	524,4	1,85	4,77	0,09	23,6
Témiscamingue	13478,8	1629,55	552,8	4,10	2,95	0,12	15,4
Région d'étude	68236,7	10612,08	2178,5	3,19	4,87	0,16	100,0

### 3.2.2 Description de la masse granulaire pour chaque MRC de la région d'étude

#### 3.2.2.1 La MRC d'Abitibi

Les données recueillies sur la réserve en dépôts granulaires montrent que la MRC d'Abitibi est au-dessus de la moyenne régionale dans toutes les catégories présentées au tableau 3.1. Les eskers qu'on y retrouve sont d'imposantes formations granulaires continues. Le volume, calculé à 1 950 millions de m<sup>3</sup> (18,4 % de la réserve régionale), est dispersé dans six eskers tels que montrés par la figure 3.5. Les eskers de Saint-Mathieu-Berry et la Moraine d'Harricana sont les principales formations granulaires et contiennent la plus grande part de la réserve de dépôts granulaires de la MRC. Toutefois, outre la partie de la Moraine d'Harricana à l'est d'Amos et les deux parties de l'esker de Saint-Mathieu-Berry, un à l'ouest d'Amos et l'autre près de Guyenne, peu de sections atteignent des épaisseurs supérieures à 50 m. C'est la continuité de leur crête, observable sur plusieurs dizaines de kilomètres de long avec des épaisseurs apparentes avoisinant souvent 25 m, qui fait de ces deux formations granulaires les plus importantes de toute la région d'étude. Les eskers de Launay, Barraute, Despinassy et du Lac Parent sont les autres eskers importants de la MRC. Toutefois, dans la plupart des cas, ces eskers, continus sur plusieurs dizaines de kilomètres, ont des épaisseurs apparentes limitées à seulement quelques mètres; ils atteignent rarement plus de 10 m. Néanmoins, la hauteur moyenne des eskers (5,76 m) et de la réserve en dépôts granulaires (0,25 m) surpassent les valeurs moyennes de la région.

#### 3.2.2.2 La MRC d'Abitibi-Ouest

La MRC d'Abitibi-Ouest possède le plus petit volume de dépôts granulaires de la région d'étude avec seulement 140 millions de m<sup>3</sup> ce qui représente seulement 1,3 % de la réserve granulaire régionale. Ce petit volume résulte d'une faible présence d'eskers à la surface du sol (2,27 %) et d'une hauteur moyenne de seulement 1,74 m. Cette MRC, malgré sa petite superficie, possède aussi la plus petite hauteur moyenne de la réserve en dépôts granulaires avec uniquement 0,04 m. Peu de segments atteignent des hauteurs excédant 10 m (figure 3.6). L'esker de Launay qui traverse le nord-est de la MRC est celui qui présente les plus hautes épaisseurs apparentes avec une partie de sa crête qui s'élève à plus de 10 m sur une dizaine de

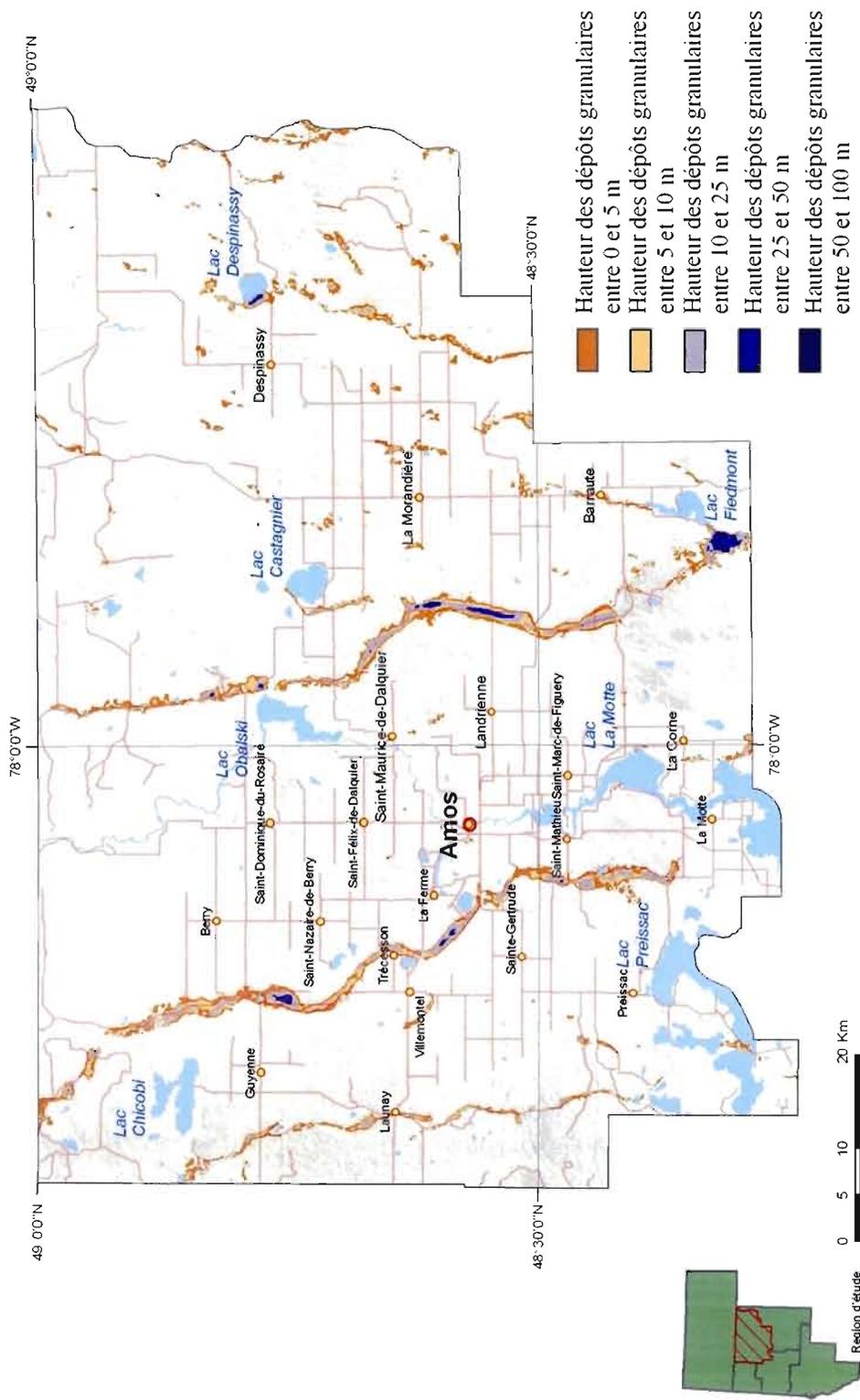
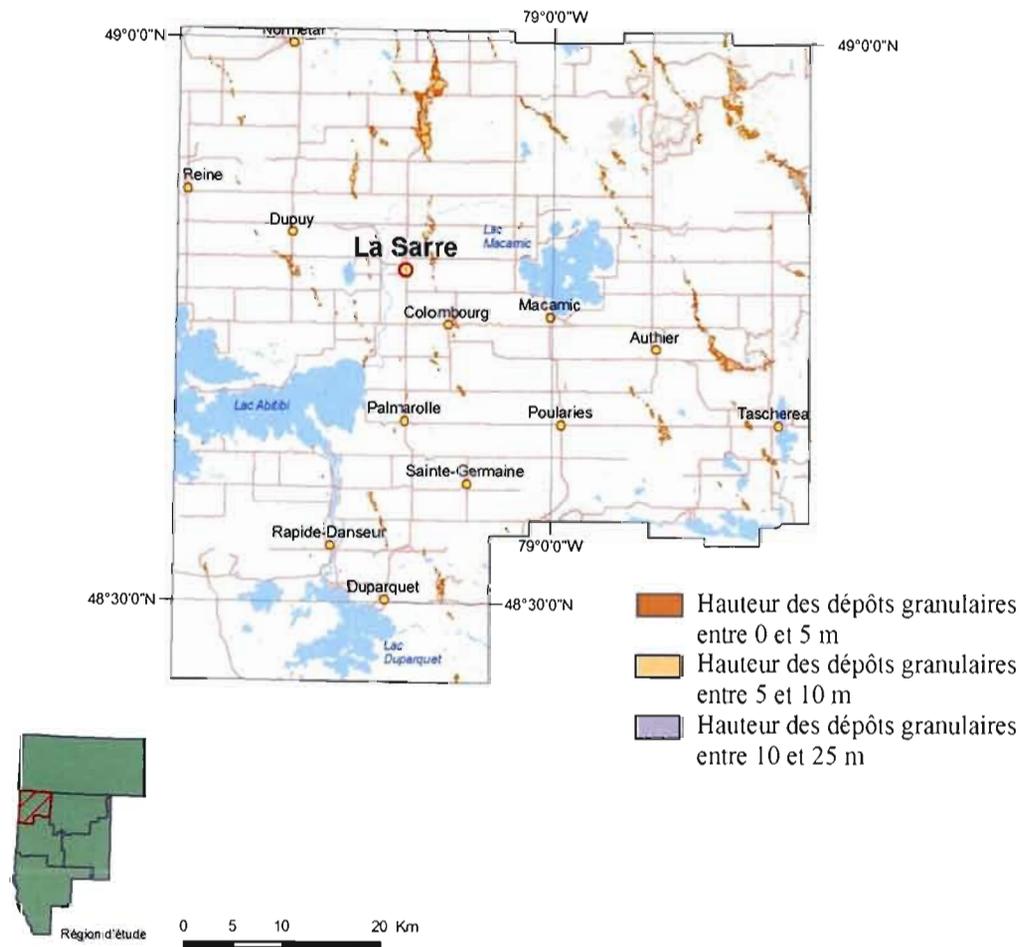


Figure 3.5 Hauteurs des eskers de la MRC d'Abitibi.

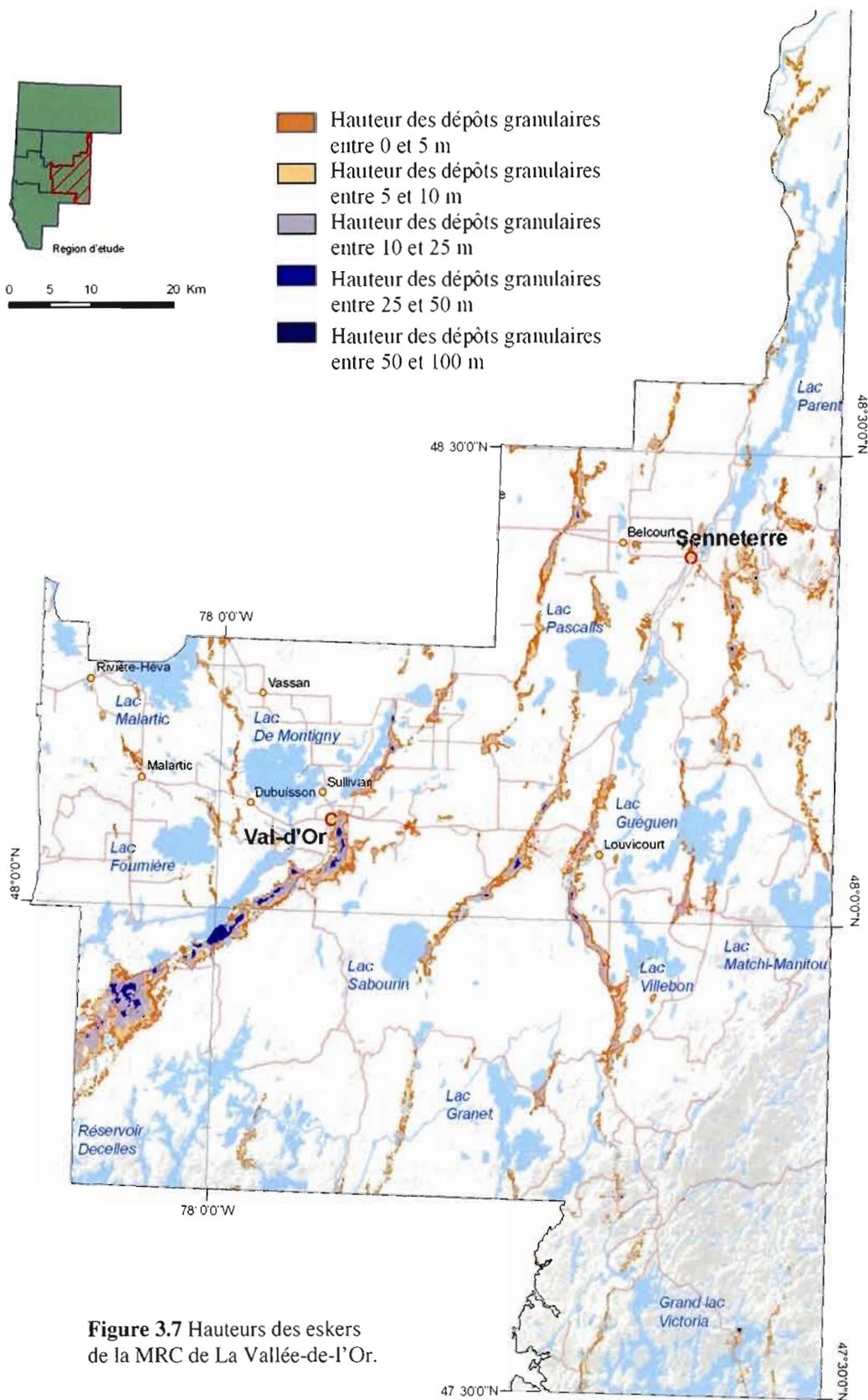


**Figure 3.6** Hauteurs des eskers de la MRC d'Abitibi-Ouest.

kilomètres. L'esker à l'est du lac Macamic et celui au nord de La Sarre sont les deux autres qui affleurent sur un peu plus d'une dizaine de kilomètres. À plusieurs endroits, c'est la succession de très petits segments d'eskers affleurants, alignés selon le même axe, qui révèle la présence d'une crête enfouie sous les sédiments à grains fins (argile). Dans ces cas, le volume de dépôts granulaires de la partie enfouie n'est pas inclus dans notre calcul.

### 3.2.2.3 La MRC de La Vallée-de-l'Or

La MRC de La Vallée-de-l'Or contient le plus fort volume de dépôts granulaires de la région avec 3 110 millions de m<sup>3</sup> équivalent à 29,3% de l'ensemble de la réserve granulaire régionale. La densité des eskers (5,88 %) est la plus forte de tous les territoires étudiés. Les eskers qu'on y retrouve montrent une hauteur moyenne élevée de 6,25 m. Cette valeur est probablement attribuable à son enfouissement généralement faible par les sédiments à grains fins compte tenu de l'altitude plus élevée de ce secteur. La figure 3.7 montre que la plus grande formation granulaire est la Moraine d'Harricana, plus spécifiquement le segment au sud-ouest de Val-d'Or. Il couvre la plus grande superficie de tous les dépôts fluvioglaciaires et atteint régulièrement des épaisseurs de plus de 50 m (figure 3.4). Deux segments continus, mais plus effilés et dont les crêtes atteignent à quelques endroits plus de 25 m sont présents à l'ouest de Louvicourt. L'esker de Senneterre et une section de l'esker de Despinassy participent aussi au volume de la réserve de dépôts granulaires avec des sections de leur crête se situant entre 10 et 25 m de hauteur. La continuité des segments d'eskers, s'étalant souvent sur des dizaines de kilomètres, jumelée aux épaisseurs granulaires apparentes, atteignant régulièrement plus de 25 m, et à la densité de leur distribution à l'intérieur de la MRC, la plus élevée de toute la région d'étude, donnent à la MRC la plus grande réserve en dépôts granulaires. La hauteur moyenne de la réserve en dépôts granulaires est aussi la plus élevée avec 0,37 m.



**Figure 3.7** Hauteurs des eskers de la MRC de La Vallée-de-l'Or.

#### 3.2.2.4 La Ville de Rouyn-Noranda

Les eskers de la Ville de Rouyn-Noranda possèdent l'épaisseur granulaire apparente moyenne la plus élevée de toute la région d'étude avec 6,95 m. Les eskers de la MRC couvrent seulement 2,8 % du territoire. Leur étalement et leurs épaisseurs apparentes sont présentés dans la figure 3.8. Trois segments d'eskers, plus imposants que les autres, semblent contenir la plus grande part de la réserve en dépôts granulaires; soit l'esker Vaudray-Joannès, une petite partie de la Moraine d'Harricana au sud-est de la MRC et un segment situé au nord-ouest de la ville de Rouyn-Noranda. Outre ces trois segments, les eskers sont petits, peu étendus et d'une hauteur excédant rarement 10 m. Au total, la réserve atteint près de 1 280 millions de m<sup>3</sup> correspondant à 12,1 % de la réserve granulaire régionale. Ce volume granulaire apparent est le deuxième plus faible des MRC. Toutefois, la superficie restreinte de la MRC permet, tout de même, une hauteur moyenne de la réserve granulaire plus élevée (0,20 m) que la valeur régionale (0,16 m).

#### 3.2.2.5 La partie sud de la Baie-James

Le territoire de la Baie-James possède un peu plus de 2 500 millions de m<sup>3</sup> de dépôts granulaires correspondant à 23,6 % de la réserve régionale. Ce volume élevé est attribuable à la taille du territoire couvert qui est nettement supérieure aux autres. En fait, ce volume est concentré sur seulement 1,85 % du territoire. Cette particularité entraîne une faible (0,09 m) épaisseur moyenne pour la réserve en dépôts granulaires sur le territoire. La figure 3.9 permet de visualiser la répartition de ce volume à l'ensemble de la région. La Moraine d'Harricana contient la majeure partie de ce volume. Elle traverse le territoire selon un axe général nord-ouest-sud-est et sa crête qui atteint un peu plus de 50 m de hauteur à plusieurs endroits est continue. À l'ouest de celle-ci, les eskers de Launay, de Saint-Mathieu-Berry ainsi que quelques autres segments plus à l'ouest, au nord-ouest du lac Turgeon, sont continus sur plusieurs dizaines de kilomètres avant de disparaître sous les sédiments à grains fins. Ils atteignent sur de longues distances un peu plus de 10 m de hauteur. Dans certains cas, leur morphologie est distincte sur quelques kilomètres sous la couche de sédiments à grains fins. Du côté est de la Moraine d'Harricana, la répartition des eskers est plus sporadique. Un segment sur une région relativement élevée au sud du lac Goéland (450 m en moyenne) est

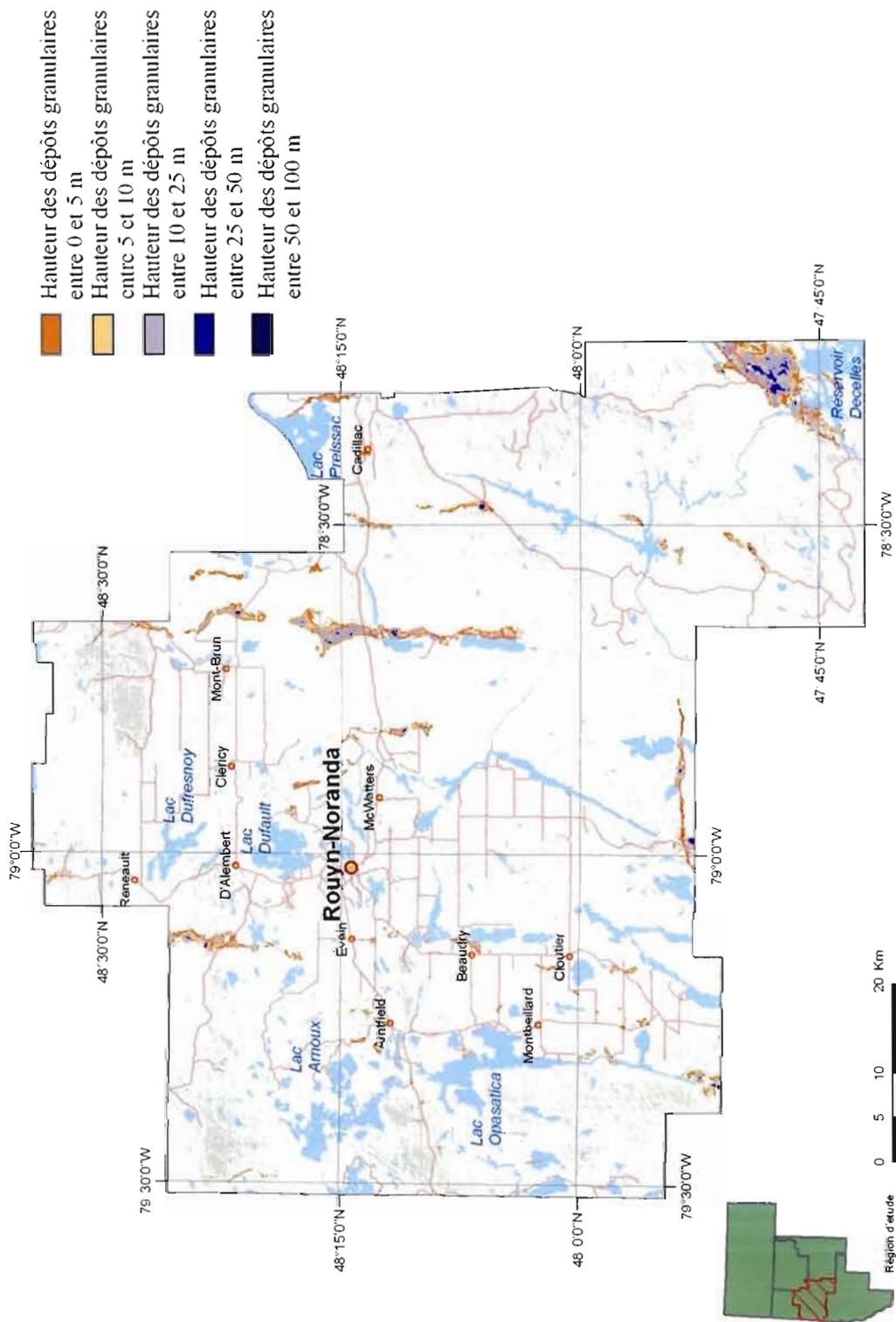


Figure 3.8 Hauteurs des eskers de la Ville de Rouyn-Noranda.

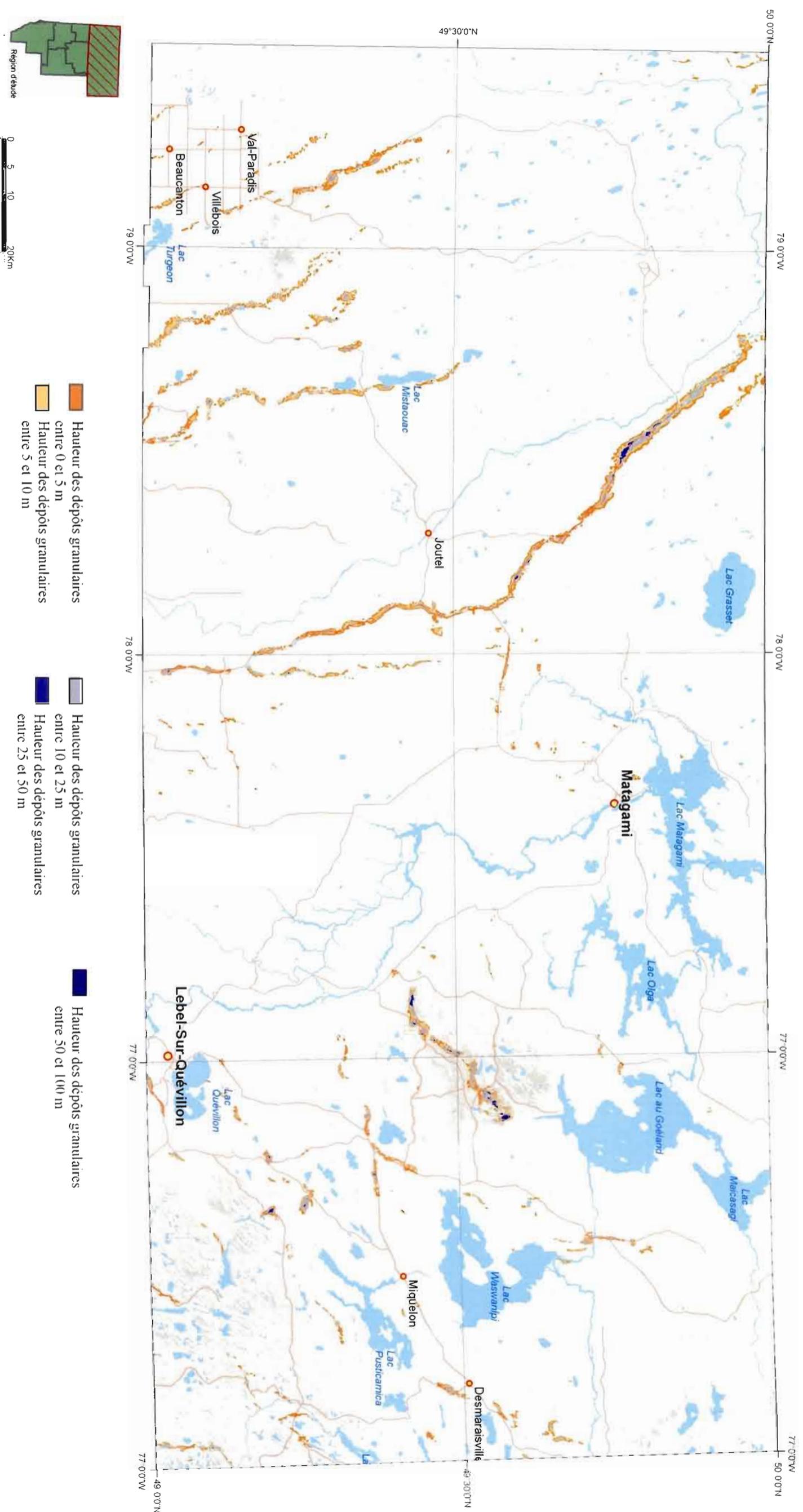


Figure 3.9 Hauteurs des eskers du sud de la Baie-James.

néanmoins plus imposant que les autres. Ce segment, malgré sa longueur limitée à une trentaine de kilomètres, possède un volume granulaire apparent non négligeable puisque sa crête atteint à plusieurs reprises plus de 50 m de hauteur.

#### 3.2.2.6 La MRC de Témiscamingue

La MRC de Témiscamingue, avec plus de 4 % d'eskers, possède la plus grande superficie (552 km<sup>2</sup>) de territoire recouvert par des eskers. Toutefois, la hauteur moyenne de 2,95 m est peu élevée comparativement aux autres MRC. Il en résulte un volume de 1 630 millions de m<sup>3</sup> qui représente 15,4 % de la réserve granulaire régionale et une hauteur moyenne (0,12 m) inférieure à la moyenne régionale (0,16 m). La dispersion du volume dans les eskers est présentée par la figure 3.10. Du point de vue volumique, deux types d'eskers se partagent le territoire. Dans la moitié sud, les eskers sont effilés, de hauteurs peu élevées (rarement plus 5 m), et de longueur restreinte (rarement plus d'une dizaine de kilomètres de longueur). Dans la partie nord, les segments sont plus imposants. Ils ont des hauteurs apparentes se situant généralement entre 10 et 25 m et des crêtes continues sur plusieurs dizaines de kilomètres. La moraine de Roulier, de Laverlochère et la Moraine d'Harricana y sont les trois formations granulaires les plus connues. D'autres segments importants pour leur teneur en dépôts granulaires se retrouvent également entre le lac Simard et le lac Témiscamingue et à l'est du Réservoir Decelles.

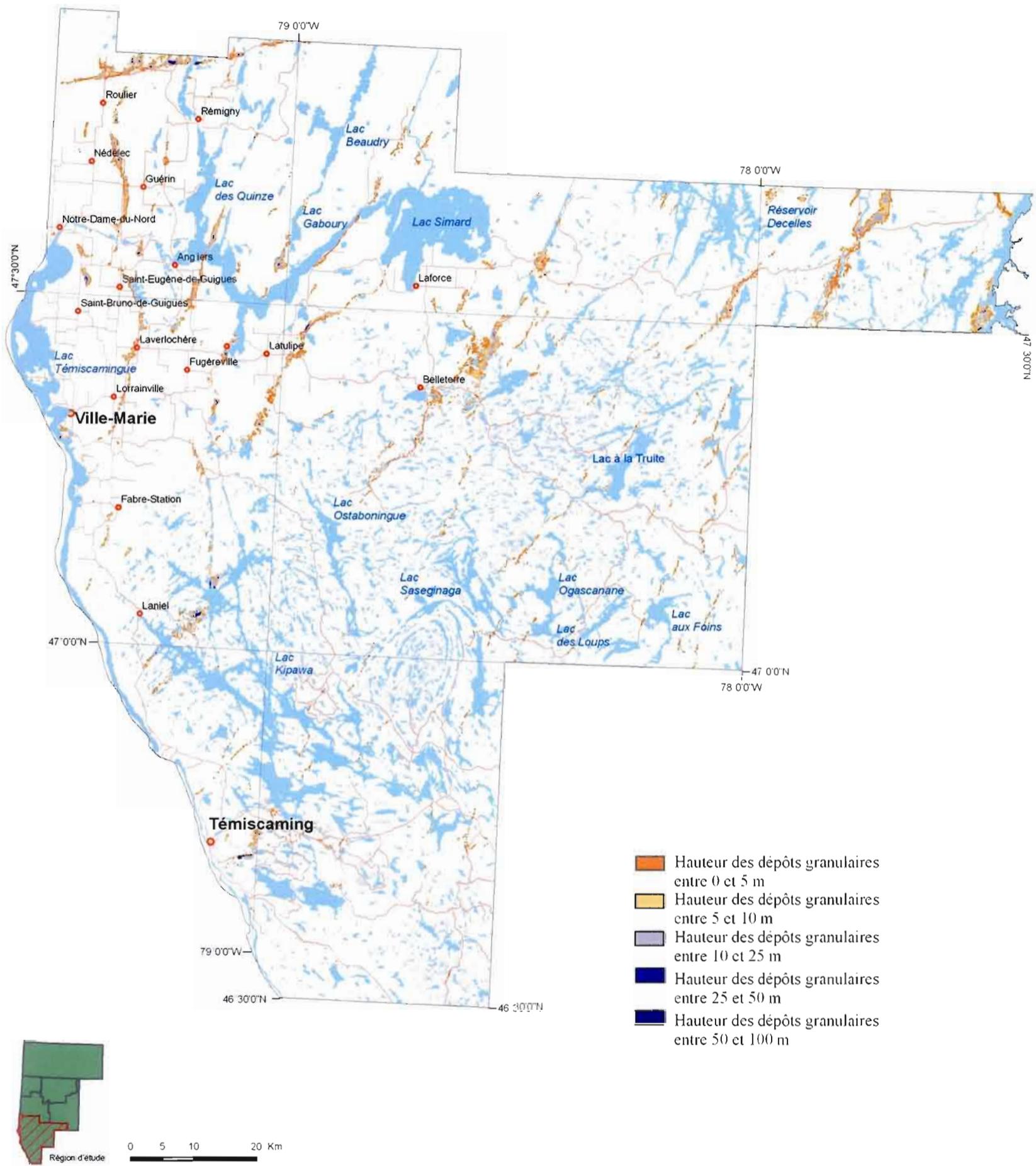


Figure 3.10 Hauteurs des eskers de la MRC de Témiscamingue.

## CHAPITRE IV

### ÉVALUATION DU POTENTIEL AQUIFÈRE

En Abitibi-Témiscamingue, l'eau maintenue dans les eskers est l'une des principales sources d'eau potable pour les résidents. Toutefois, la répartition de ces réservoirs d'eau souterraine est mal connue. Pour en améliorer la gestion et la protection sur le territoire, il est essentiel de connaître le potentiel aquifère de chaque segment d'eskers de la région. L'évaluation de ce potentiel a été effectuée par l'analyse des caractéristiques géomorphologiques observables à la surface, lesquelles permettent d'identifier le milieu de mise en place des eskers selon la classification proposée par Veillette *et al.* (2004). Des indices lithostratigraphiques et hydrogéologiques ont aussi été utilisés pour hiérarchiser ce potentiel aquifère.

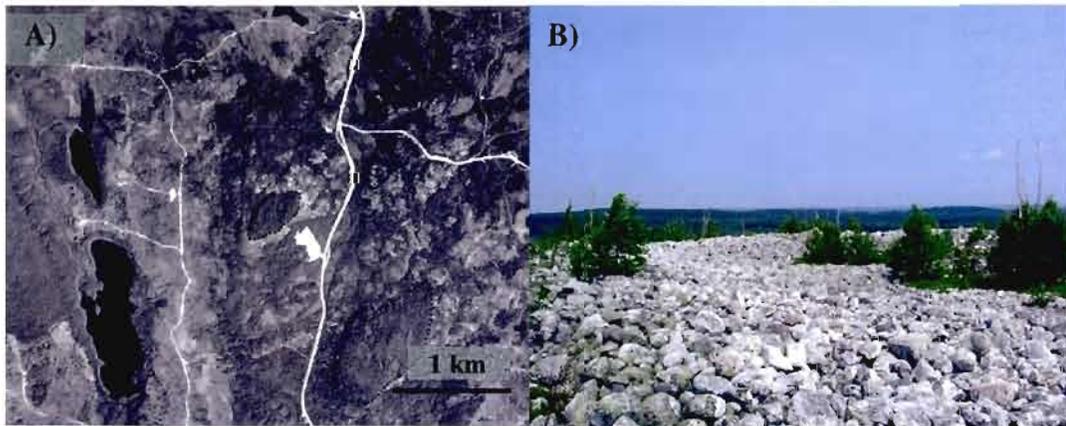
#### 4.1 Le contexte de mise en place

Une première évaluation du milieu de mise en place a été rendue possible par la modélisation de la submersion glaciolacustre affectant le territoire. La présence du lac proglaciaire Barlow-Ojibway a été un facteur important dans l'assemblage sédimentaire de l'Abitibi, car la mise en place des différents sédiments varie selon la profondeur d'eau. Ainsi, en délimitant la zone submergée et en déterminant les zones où l'ampleur de la submersion implique une sédimentation particulière, il est possible d'identifier le milieu de mise en place des eskers. Les zones au-dessus du niveau maximal atteint par les eaux glaciolacustres et les zones de sédiments à grains fins, sous une épaisseur d'eau de 50 m ou plus pour l'Abitibi-Témiscamingue (Veillette, 1983), ont servi de base pour l'identification typologique des eskers.

#### 4.1.1 La modélisation glaciolacustre et la profondeur d'eau maximale

Certains travaux ont déjà réalisé des modélisations numériques d'étendues glaciolacustres. C'est le cas de Leverington *et al.* (2000 et 2002) qui a reproduit les différents niveaux du lac glaciaire Agassiz et de Clark (2008) avec la reconstruction numérique du lac glaciaire Oshkosk au Wisconsin. Ces reconstitutions ont principalement servi à déterminer l'étendue de la submersion et le volume d'eau associé, à localiser les exutoires et à suivre l'évolution spatiale dans le temps des étendues d'eau. Dans ces régions, des lignes de rivages sont continues sur de grandes distances. Ce n'est pas le cas en Abitibi-Témiscamingue; les traces des anciens niveaux du lac Barlow-Ojibway se retrouvent de façon ponctuelle sur les plus hauts sommets de la région. Une modélisation nécessite forcément l'interpolation de ces données ponctuelles collectées à l'ensemble de la région. À ce jour, aucune étude n'a été effectuée afin de modéliser numériquement l'étendue de la submersion et de mesurer l'épaisseur maximale de la tranche d'eau sur l'Abitibi-Témiscamingue.

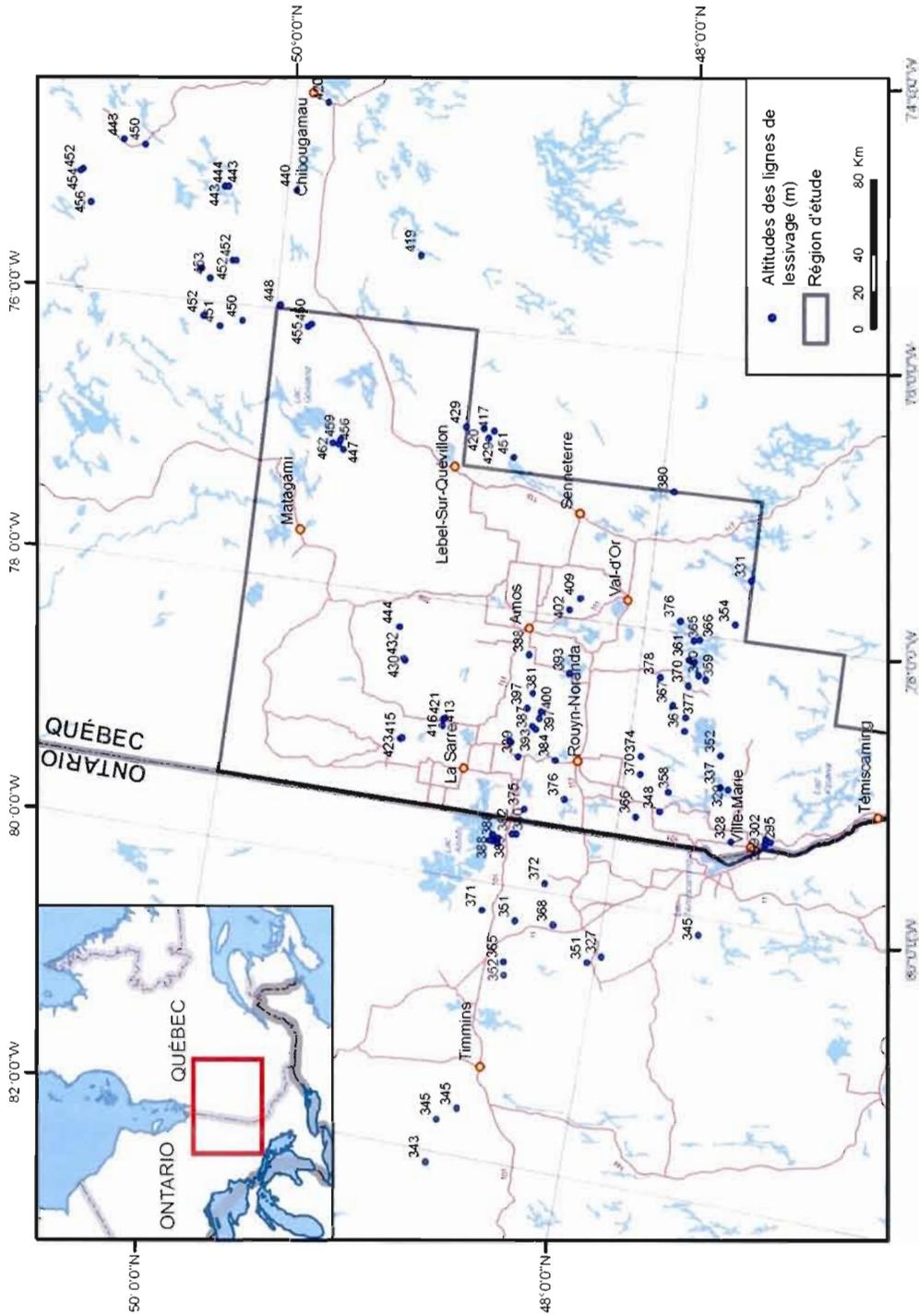
Sur des pentes inclinées composées de dépôts meubles, et dont la partie supérieure était située au-dessus du plus haut niveau glaciolacustre, des bandes concentriques de teintes blanchâtres sont visibles sur les photos aériennes. Elles correspondent aux endroits où les sédiments (till ou fluvioglaciaires) ont été lessivés par l'action des vagues (figure 4.1). Ces lignes de lessivage ont été observées à plusieurs endroits en Abitibi-Témiscamingue, à la Baie-James et en Ontario et sont associées aux limites maximales atteintes par le lac glaciaire Barlow-Ojibway (figure 4.2). L'altitude d'un grand nombre de ces limites a permis de déterminer celle du plan d'eau lors de la déglaciation et de cartographier son étendue. Les points d'altitude projetés sur l'axe N017° à partir de la région de Matawa, Ontario, (représentant l'axe du relèvement isostatique) permettent d'observer le gauchissement des altitudes maximales atteintes par ce lac proglaciaire (Veillette, 1994; figure 4.3A).



**Figure 4.1** Limites de lessivage sur le pourtour des hautes collines (pointillé en A) et plages de blocs (B) correspondant au niveau maximal atteint par le lac Ojibway. Source : courtoisie J. J. Veillette.

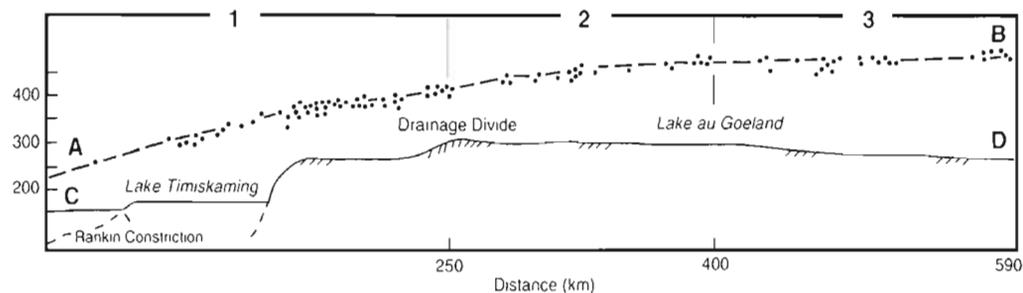
Le relèvement isostatique est la réponse de la croûte terrestre suite à la fonte du glacier. La surface du sol se relève en fonction de la diminution du poids de la glace. Ce relèvement est différentiel puisqu'il atteint des valeurs différentes selon la distance de la marge glaciaire. Les endroits libérés plus rapidement des glaces, donc plus éloignés du front glaciaire, ont subi un relèvement plus hâtif comparativement aux endroits près du front glaciaire. Il en résulte donc une déformation de la surface submergée reconstituée à partir des lignes de rivage; cette déformation constitue le gauchissement.

Pour représenter numériquement l'étendue du lac glaciaire Barlow-Ojibway, nous avons déterminé la fonction mathématique représentant le mieux la surface courbe résultant du gauchissement. Afin d'obtenir un plan d'eau uniforme et minimiser les facteurs affectant les variations locales d'altitude du plan d'eau, nous avons calculé une courbe de tendance. Nous avons sélectionné les 100 points d'altitudes les plus représentatifs du niveau maximal de la submersion parmi les 145 points mesurés par Veillette (données inédites) afin d'estimer la paléo-surface du plan d'eau. Cette sélection s'est avérée nécessaire compte tenu de l'hétérogénéité des valeurs associées à différents facteurs affectant l'altitude des lignes de lessivage (irrégularité de la configuration de la marge glaciaire, fonte tardive de culots de glace, force des vents dominants). Certaines des données non retenues constituent des

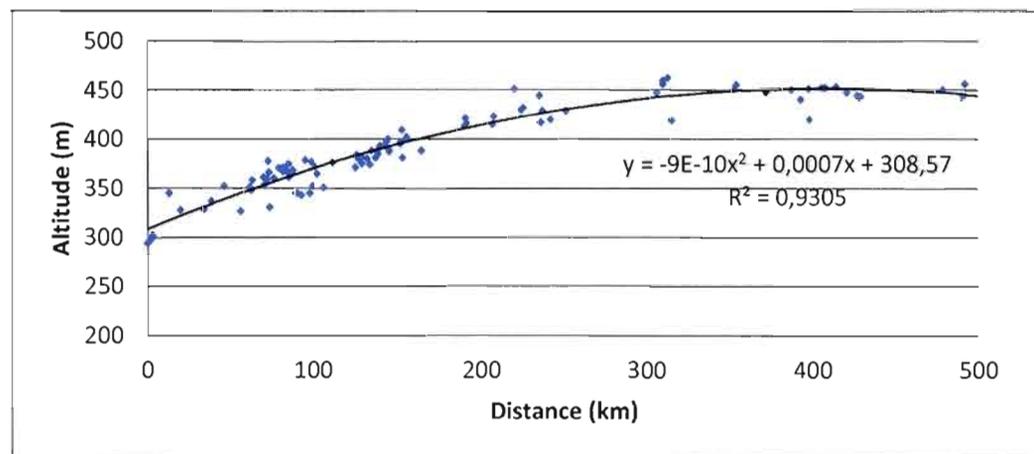


**Figure 4.2** Répartition des altitudes des lignes de lessivage pour la submersion glaciolacustre Barlow-Ojibway collectées par Veillette (données inédites).

A)



B)

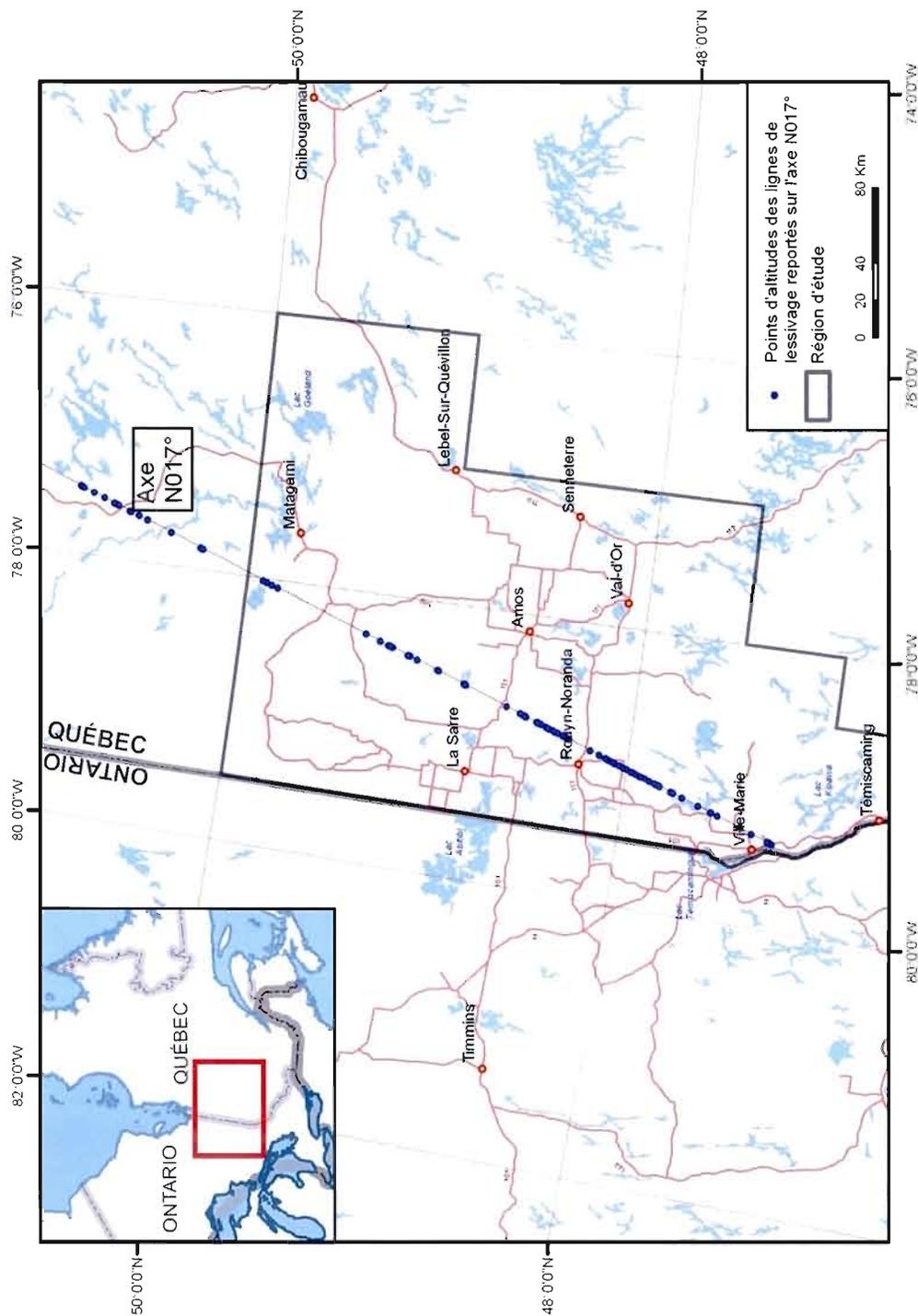


**Figure 4.3** A) Distribution des altitudes des lignes de lessivage projetées sur l'axe N017° (tirée de Veillette, 1994). B) Courbe de tendance calculée pour les altitudes des lignes de lessivage reportées sur l'axe N017° utilisé pour la modélisation du niveau maximal du lac glaciaire Barlow-Ojibway.

niveaux intermédiaires donc plus bas que le niveau maximal. Les données choisies ont été projetées sur l'axe N017° établi par Vincent et Hardy (1979) et repris par Veillette (1994). La figure 4.3B illustre la courbe de tendance s'approchant le plus de la courbe résultant des données empiriques de Veillette (figure 4.3A).

La courbe de tendance suit une fonction polynomiale de deuxième ordre dont l'équation et le  $R^2$  sont présentés sur le graphique (figure 4.3B). Le  $R^2$  est l'indice de corrélation indiquant l'adéquation entre les données et la courbe, plus sa valeur est proche de 1, plus la corrélation est forte. Le coefficient de 0,9305 est donc indicateur d'une très bonne corrélation entre les données et la courbe calculée. L'outil *Trend* d'ArcGIS permet d'interpoler les données d'altitude et de reproduire cette courbe de tendance. Pour obtenir une surface qui recouvre l'ensemble de la région d'étude, nous avons dupliqué la courbe de tendance de chaque côté de l'axe initial. Cette méthode suit l'hypothèse que la variation des altitudes maximales glaciolacustres se fait de façon graduelle et selon l'axe N017° sur l'ensemble du territoire. L'axe des courbes de tendance utilisée pour modéliser la submersion glaciolacustre sur la région d'étude et les points d'altitude projetés sur cet axe sont présentés à la figure 4.4.

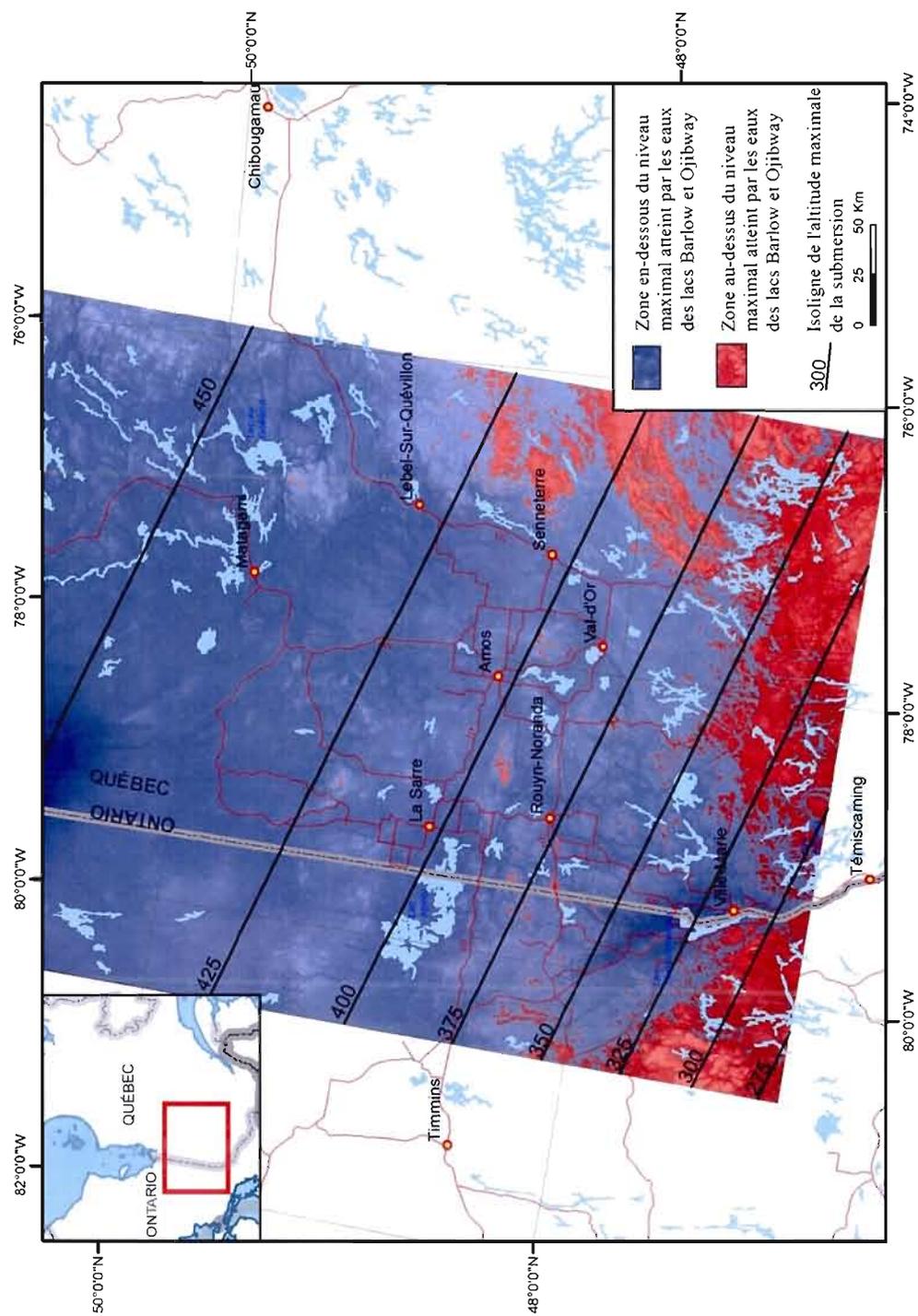
Les travaux de Veillette (1994) ont démontré que les données des altitudes maximales du plan d'eau tendaient vers la formation d'un plateau au nord du lac Goéland (figure 4.3A). L'utilisation d'une courbe polynomiale telle que présentée ne permet toutefois pas de reproduire adéquatement ce plateau. Ainsi, l'utilisation de cette fonction n'est valable que pour la partie ascendante de la courbe, soit au sud du lac Goéland correspondant à la limite nord de la région d'étude. L'utilisation de cette méthode est donc appropriée pour l'ensemble de notre région d'étude.



**Figure 4.4** Altitudes de lignes de lessivage reportées sur l'axe N017° utilisé pour la modélisation du maximum de la submersion glaciolacustre Barlow-Ojibway.

La figure 4.5 montre les altitudes maximales de la submersion et les isolignes permettant d'observer le gauchissement modélisé. Plusieurs hauts-fonds dépassent les maximums submergés à l'intérieur de la zone d'étude et coïncident avec les zones déterminées dans les travaux antérieurs (voir les encadrés sur les cartes des formations en surface de la série de l'Abitibi; voir figure 1.2). La création d'isolignes linéaires est conforme aux représentations schématiques proposées par Teller et Clayton (1983) pour le gauchissement du niveau du lac glaciaire Agassiz dans le nord-ouest de l'Ontario, et par Vincent et Hardy (1979) et Veillette (1994) pour l'extension du lac glaciaire Barlow-Ojibway.

Une modélisation a aussi été effectuée pour obtenir l'estimation de l'étendue de la submersion. À défaut de reporter les altitudes sur l'axe N017° suivant le relèvement isostatique, les données ont été insérées dans l'outil *Trend* selon leur position géographique originale (figure 4.2). Ce modèle donne une estimation de l'ampleur du territoire submergé (Annexe A), mais il n'a pas été retenu pour la suite des travaux puisqu'il ne considère pas l'axe du relèvement isostatique et génère des isolignes concentriques improbables.



**Figure 4.5** Modélisation de la limite de la submersion des lacs proglaciaires Barlow et Ojibway (partie sud) et isolignes du gauchissement.

Grâce à la modélisation de la submersion glaciolacustre, la profondeur d'eau maximale submergeant la région d'étude a été obtenue en soustrayant l'élévation du terrain actuel aux altitudes maximales atteintes par le lac Barlow-Ojibway. Les modèles numériques d'altitude de terrain utilisés pour cette opération sont ceux fournis par la NASA.

$$\text{Altitudes}_{\text{modélisées}} - \text{Altitudes}_{\text{actuelles (NASA)}} = \text{Profondeur d'eau maximale}$$

L'épaisseur de la tranche d'eau a influencé la sédimentation glaciolacustre à l'ensemble de la région. Sa représentation cartographique (figure 4.6) permet de distinguer les différents milieux de mise en place des eskers présentés plus tôt. Les zones extérieures à la submersion sont en rouge tandis que les zones submergées sont en bleu et vert. Considérant que la sédimentation des argiles se fait dans un environnement d'eau profonde, minimalement entre 30 et 50 m (Veillette, 1996), il a été possible de déterminer les secteurs où les pixels ont une donnée de profondeur d'eau supérieure à 50 m et ainsi obtenir l'étendue minimale de la couverture argileuse (en bleu). Ainsi, avec trois intervalles de profondeur, nous avons pu effectuer une première distinction entre les types d'eskers (tableau 4.1).

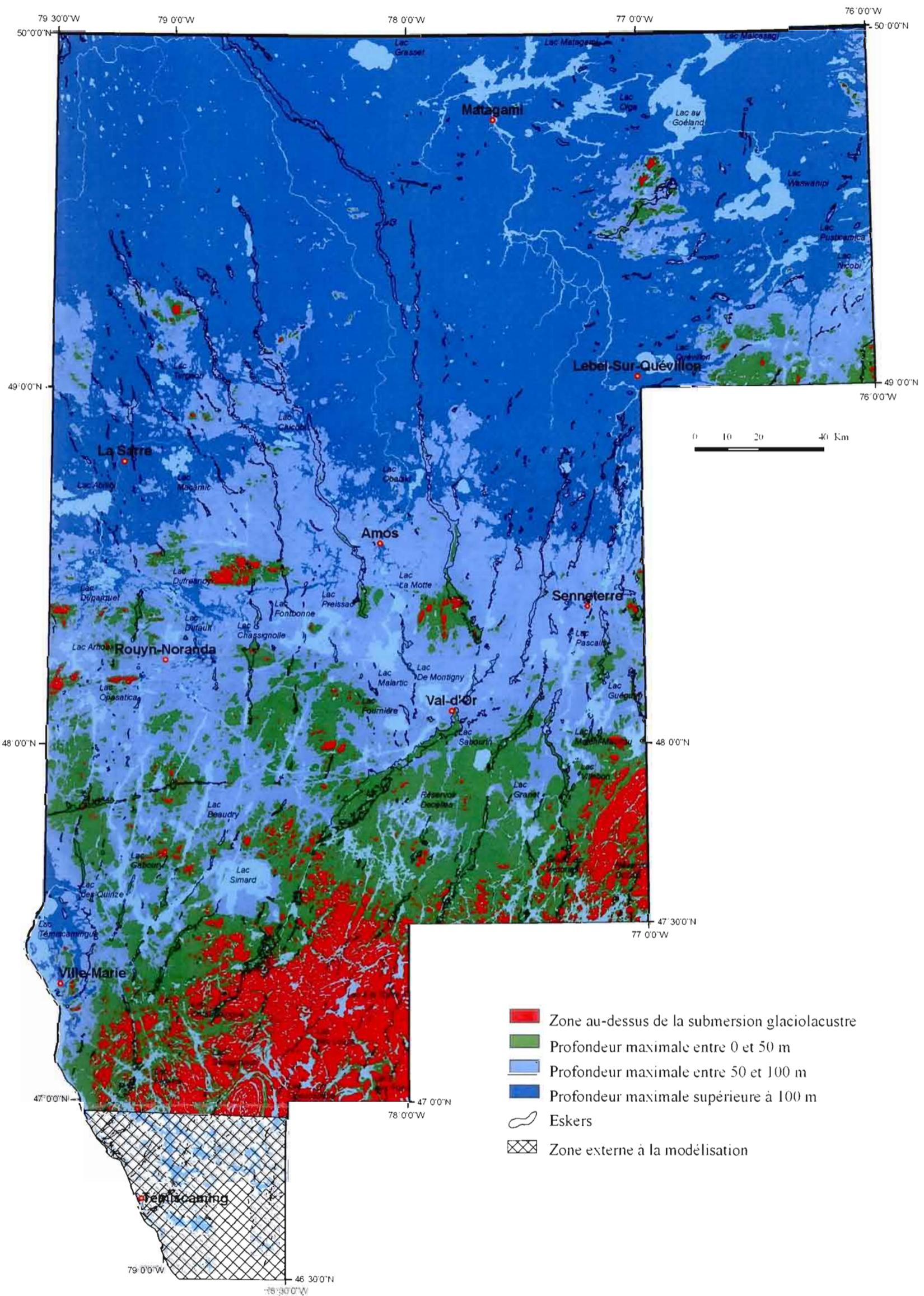


Figure 4.6 Profondeurs maximales du lac Barlow-Ojibway sur la région d'étude.

**Tableau 4.1** Profondeur d'eau maximale de la submersion glaciolacustre Barlow-Ojibway associée aux milieux de mise en place (voir la figure 1.10 pour les types de milieux de mise en place). Les codes de couleur sont utilisés à la figure 4.6.

Caractéristique de la mise en place	Profondeur d'eau sur le territoire	Milieu de mise en place (selon Veillette <i>et al.</i> , 2004)	Couleur sur la figure 4.6
Au-dessus du niveau maximal de la submersion	Inférieure à 0 m (zone émergée)	A	rouge
Sous le niveau maximal de la submersion et au-dessus du niveau minimal des sédiments à grains fins	Entre 0 et 50 m	B	vert
Sous l'altitude minimale des sédiments à grains fins	Supérieure à 50 m	C et D	bleu

#### 4.1.2 Identification des unités lithostratigraphiques à proximité des eskers

Les cartes de dépôts superficiels constituent des outils indispensables pour évaluer le contexte de mise en place des eskers. Le modèle de la submersion glaciolacustre nous a permis d'obtenir un premier aperçu de la répartition des types d'esker en fonction de la profondeur maximale atteinte par le paléolac. Toutefois, cette méthode est une approximation basée sur une courbe qui suit la tendance des données d'altitude ponctuelles, elle ne peut pas remplacer l'analyse des unités lithostratigraphiques au voisinage des eskers. L'utilisation des cartes de dépôts de surface offre des données beaucoup plus précises (figure 1.7). La présence des unités glaciolacustres (dépôts glaciolacustres d'eau profonde, sublittoraux et de plage) permet de valider le milieu de mise en place. Trois agencements (tableau 4.2) de ces unités caractérisent les différents milieux de mise en place.

La détermination des eskers de type D (voir figure 1.10) par l'identification des unités lithostratigraphiques à proximité des eskers s'avère, par définition, impossible compte tenu de leur enfouissement complet par des sédiments à grains fins. Les cartes de dépôts de surface montrent à l'aide de symboles particuliers la localisation probable d'eskers enfouis sous l'argile. La morphologie est souvent révélatrice même sous la couverture de sédiments à grains fins et la présence d'eskers enfouis est révélée par des chaînes de lacs de kettles qui percent la couverture de sédiments, et par des bancs d'emprunt dans les zones habitées. Dans le présent travail, on ne peut que caractériser les eskers émergeant des dépôts adjacents (types A, B, C de la figure 1.10).

**Tableau 4.2** Présence des sédiments glaciolacustres en fonction du milieu de mise en place des eskers.

Milieu de mise en place (figure 1.10)	Esker situé sous le niveau maximal de l'argile	Présence de sables sublittoraux et/ou de plage
A	non	non
B	non	oui
C	oui	oui/non

#### 4.1.2.1 Dépôts glaciolacustres sublittoraux et de plage

Les sédiments sublittoraux et de plage se sont déposés dans des environnements d'eau peu profonde du lac glaciaire Barlow-Ojibway et tapissent une large superficie du territoire abitibien. Ces sables résultent, en majorité, du remaniement par les eaux glaciolacustres des formations granulaires lors de l'exondation des terres. Partout, les sommets d'eskers ont subi des remaniements intenses lors de la présence ou de la baisse du lac excepté pour l'esker de type A mis en place en milieu subaérien. Les sédiments qui résultent de ces remaniements peuvent reposer sur les eskers ou sur les faciès d'eau profonde (sédiments à grains fins). La différenciation entre les types d'eskers B et C, tous deux caractérisés par la présence de ces sables, se fait par la délimitation de l'étendue des sédiments à grains fins. Dans le cas où la crête de l'esker apparaît faiblement à la surface, les sables d'exondation sont très peu apparents, néanmoins, cet esker appartient au type semi-enfoui (type C).

#### 4.1.2.2 Dépôts glaciolacustres d'eau profonde (argile et silt)

La mise en évidence de la couverture argileuse sur le flanc des eskers permet de distinguer les eskers de type C de ceux des types A et B. À l'aide des cartes de dépôts de surface, on a délimité l'étendue de la plaine argileuse et ainsi divisé les segments d'eskers en fonction de la présence de sédiments à grains fins. La figure 4.7 montre la répartition des sédiments sublittoraux et de plage et la limite méridionale de la plaine argileuse.

#### 4.1.3 Les hauts fonds

L'irrégularité du socle rocheux forme, à certains endroits dans la plaine argileuse, des hauts-fonds qui réduisent localement l'accumulation des sédiments à grains fins. Ces hauts-fonds sont localisables grâce à une plus faible profondeur d'eau et à l'absence de sédiments à grains fins à proximité. Ces deux caractéristiques permettent de les considérer comme étant mis en place à l'extérieur de la plaine argileuse et donc faisant partie des zones potentielles d'eskers de type B. Les eskers répondant à ces particularités sont identifiés à la figure 4.8.

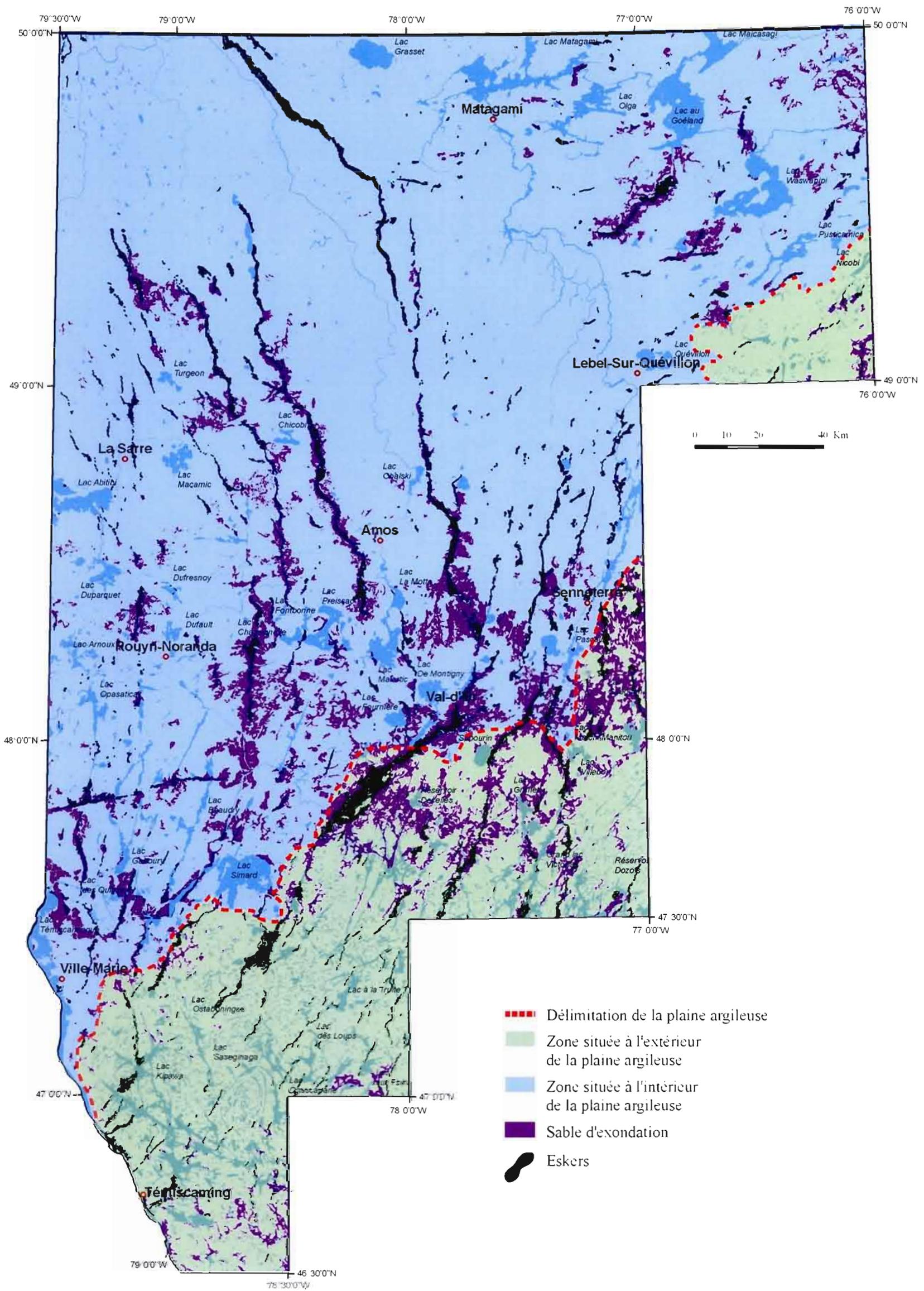


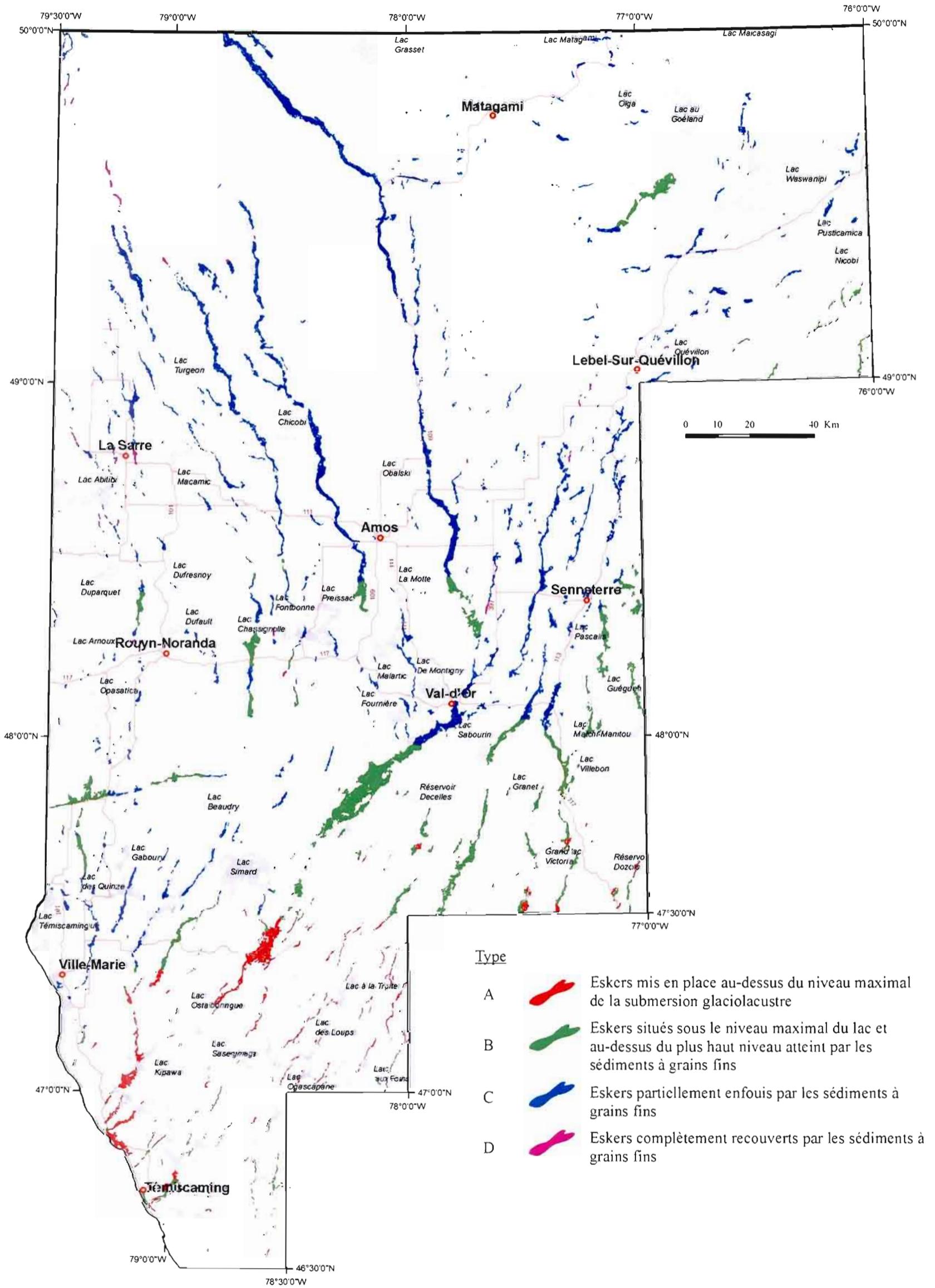
Figure 4.7 Répartition spatiale des dépôts glaciolacustres.



#### 4.1.4 Les milieux de mise en place des eskers

##### 4.1.4.1 Répartition des types de milieux de mise en place sur la région d'étude

La figure 4.9 illustre la répartition, à l'échelle régionale, des différents milieux de mise en place selon la classification proposée par Veillette *et.al.* (2004). La carte permet d'observer les types d'eskers selon leur localisation géographique. Au sud de la région, les eskers sont davantage du type A; soit en milieu supra-aquatique. Plus au nord, les eskers passent progressivement du type B, au type C et dans certains cas au type D. Le tableau 4.3 fournit la proportion d'eskers de chaque type pour l'ensemble de la région et montre comment ils se répartissent dans chacune des MRC. La région d'étude est constituée à 10 % d'eskers de type A. Ceux-ci se concentrent à 94 % dans la MRC de Témiscamingue et plus particulièrement dans l'extrême sud de la région d'étude. Plus au nord, généralement au sud du 48° Lat. N, les eaux glaciolacustres ont affecté la morphologie du territoire et de grandes zones littorales, d'eau peu profonde, ont favorisé la mise en place d'eskers de type B. Au total, 31 % des segments sont de ce type et se retrouvent en majorité dans les MRC de La Vallée-de-l'Or (41 %) et de Témiscamingue (24 %) ainsi que dans la Ville de Rouyn-Noranda (18 %). Au nord de la ville de Val-d'Or, les eskers ont été généralement mis en place en eau profonde et sont semi-enfouis par des sédiments à grains fins. Ce type d'esker compte pour 58 % des eskers régionaux. Ils se retrouvent en plus grande proportion dans le sud de la Baie-James (38 %), dans la MRC d'Abitibi (24 %) et dans La Vallée-de-l'Or (18 %). Finalement, un peu plus de 1 % des segments sont complètement enfouis (type D). Ils se retrouvent au sud de la Baie-James (37 %), dans les MRC d'Abitibi-Ouest (31%), d'Abitibi (17 %) et dans la Ville de Rouyn-Noranda (14 %). Ces valeurs ne représentent pas bien la proportion des eskers enfouis puisqu'elles prennent en considération uniquement ceux qui sont observables à la surface. Toutefois, elles montrent une plus forte concentration d'eskers enfouis dans le nord-ouest de la région d'étude.



**Figure 4.9** Répartition spatiale des milieux de mise en place des eskers selon la typologie proposée par Veillette *et al.* (2004) (voir figure 1.10).

**Tableau 4.3** Proportion des milieux de mise en place des eskers pour la région d'étude et leur répartition dans les différentes MRC.

MRC	Type de milieu de mise en place (%)			
	A	B	C	D
<u>Région d'étude</u>	10	31	58	1
<u>Abitibi</u>	0	8	24	17
<u>Abitibi-ouest</u>	0	0	7	31
<u>La Vallée-de-l'Or</u>	6	41	18	1
<u>Ville de Rouyn-Noranda</u>	0	18	5	14
<u>Sud de la Baie-James</u>	0	9	38	37
<u>Témiscamingue</u>	94	24	8	0

#### 4.1.4.2 Répartition des types de milieux de mise en place à l'intérieur des MRC

Le tableau 4.3 montre que les types d'eskers ne se répartissent pas uniformément dans les territoires administratifs couverts par l'étude. Chaque secteur possède son propre contexte géologique ce qui a entraîné des disparités dans les types d'eskers à l'échelle régionale et même à l'intérieur des MRC. Le tableau 4.4 montre la proportion des différents types d'eskers à l'intérieur des MRC. Des descriptions détaillées et des cartes de chaque MRC permettent une meilleure appréciation des particularités géologiques de chacune de ces régions.

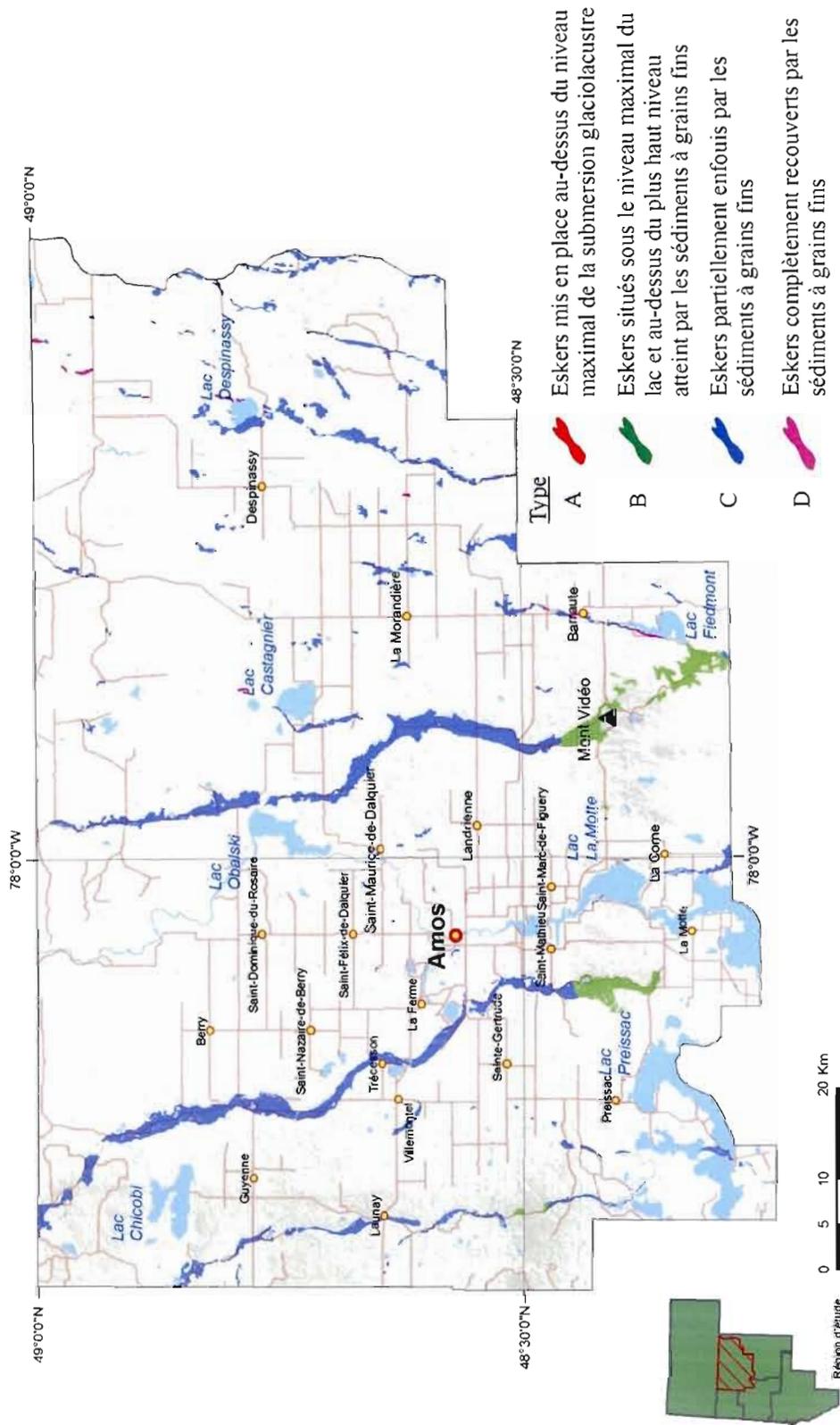
**Tableau 4.4** Proportion des types de milieu de mise en place des eskers pour chaque MRC.

MRC	Type de milieu de mise en place (%)			
	A	B	C	D
<u>Abitibi</u>	0	15	84	1
<u>Abitibi-ouest</u>	0	0	90	10
<u>La Vallée-de-l'Or</u>	2	54	44	0
<u>Rouyn-Noranda</u>	0	63	35	2
<u>Sud de la Baie-James</u>	0	11	87	2
<u>Témiscamingue</u>	44	34	22	0

#### 4.1.4.2.1 La MRC d'Abitibi

La MRC d'Abitibi est constituée à 84 % d'eskers de type C, à 15 % de type B et à 1 % de type D. L'absence de type A indique qu'ils ont tous été mis en place dans un environnement sous-aquatique. La figure 4.10 montre que sur le territoire, l'épaisseur maximale de la tranche d'eau atteint à quelques endroits plus de 100 mètres. Cette particularité a permis l'accumulation de sédiments à grains fins recouvrant une grande partie des flancs (type C). Les grands eskers du secteur appartiennent tous à ce type; l'esker de Launay, Saint-Mathieu-Berry, Despinassy et la Moraine d'Harricana (voir figure 4.11). L'extrémité sud de l'esker Saint-Mathieu-Berry et le secteur de la Moraine d'Harricana près du Mont-Vidéo sont deux segments qui se retrouvent sur un relief positif agissant comme haut-fond dans le lac Barlow-Ojibway (voir figure 4.8); ils forment l'entière proportion de segments de type B. Le 1 % d'eskers de type D se retrouve dans le prolongement de l'esker de Despinassy ou sur l'esker de Barraute. Dans ce dernier cas, entre les petits segments affleurants, la masse granulaire est complètement enfouie. Des travaux spécifiques sur ce secteur ont permis de suivre son prolongement sous les sédiments à grains fins (Veillette *et al.*, 2007). Dans le nord-ouest de la MRC, les eskers sont moins abondants qu'ailleurs. L'épaisseur d'eau supérieure à 100 mètres pourrait avoir favorisé leur enfouissement sous les sédiments d'eau profonde.

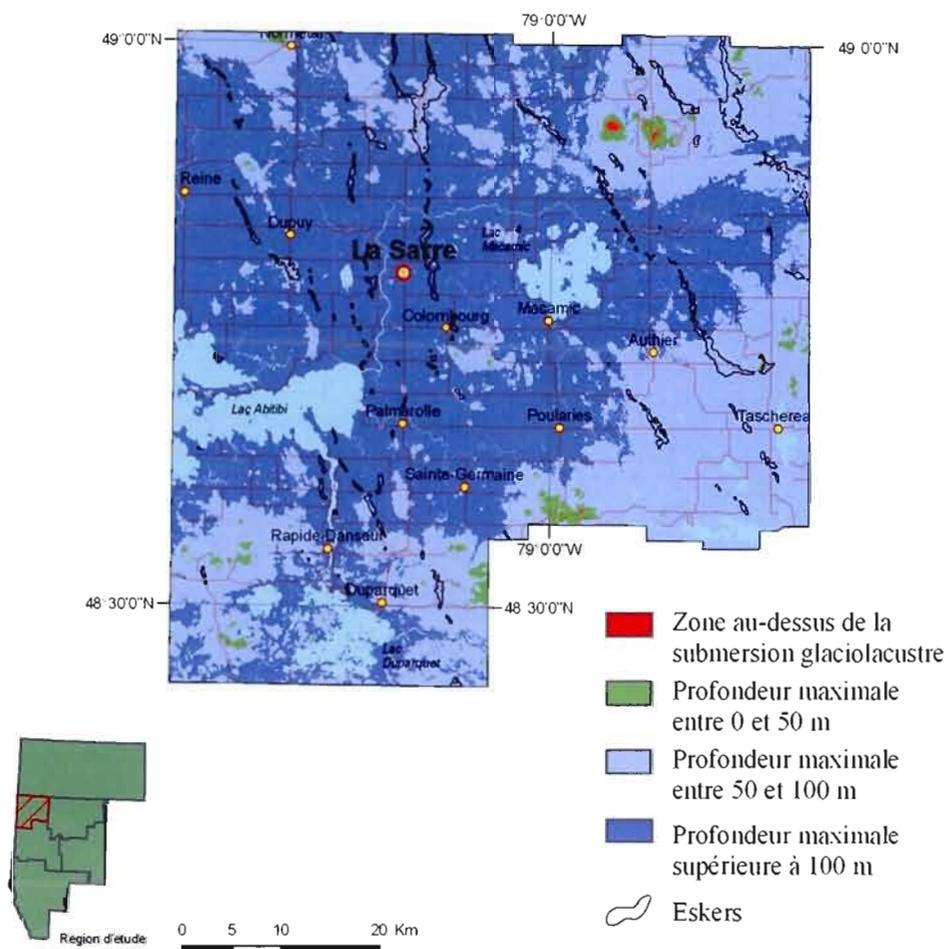




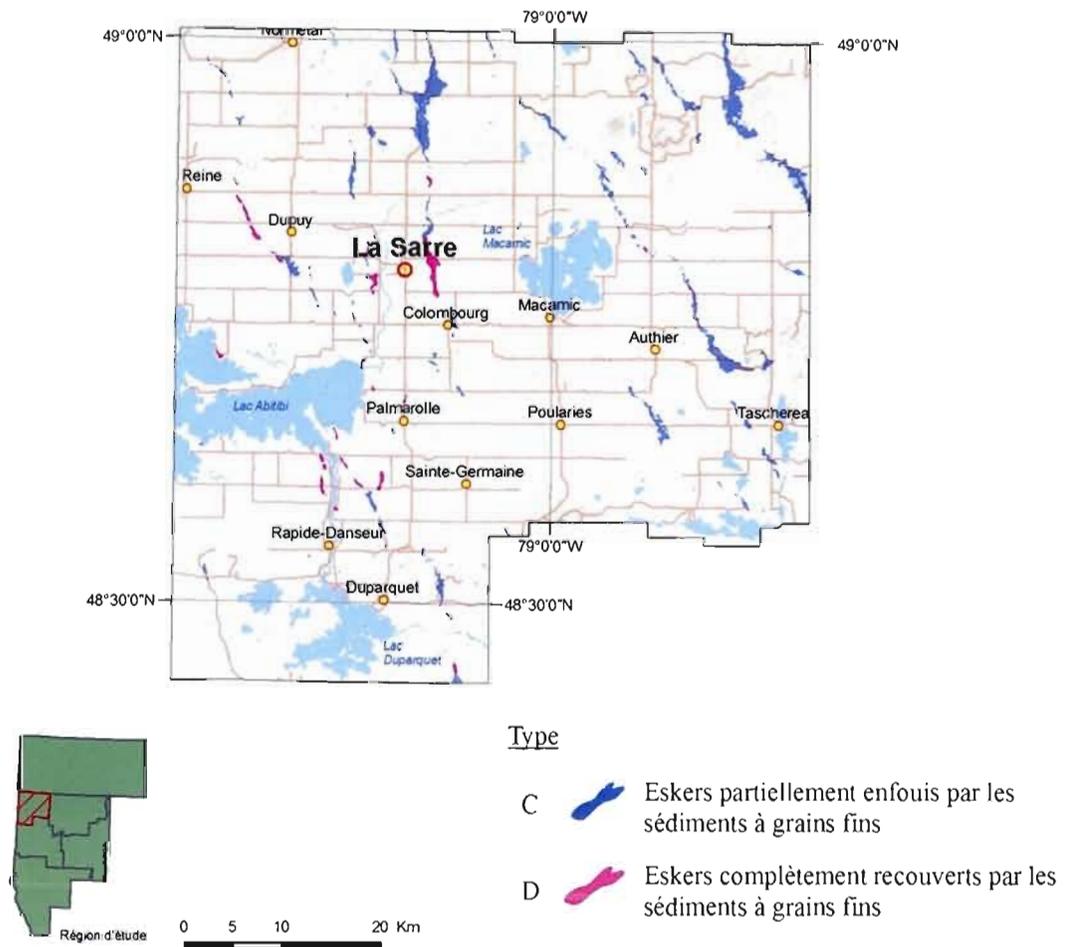
**Figure 4.11** Milieux de mise en place des eskers de la MRC d’Abitibi selon la typologie proposée par Veillette *et al.* (2004).

#### 4.1.4.2.2 La MRC d'Abitibi-Ouest

Dans la MRC d'Abitibi-Ouest, les eskers ont tous été mis en place en milieu sous-aquatique d'eau profonde : aucun segment ne se trouve à l'extérieur de la plaine argileuse ni au-delà du maximum submergé (tableau 4.4 et figure 4.12). Les sédiments à grains fins recouvrent partiellement les flancs (type C) de 90 % des eskers cartographiés et totalement le 10 % (type D) restant. Leur répartition spatiale apparaît à la figure 4.13. La couverture de sédiments à grains fins masque presque complètement les irrégularités du socle rocheux et laisse affleurer uniquement de petits segments de crêtes. La profondeur d'eau, majoritairement supérieure à 100 mètres, aurait favorisé une forte accumulation de sédiments à grains fins. Des travaux sur les épaisseurs de dépôts (Boisvert et Parent, 2008) valident l'hypothèse d'une épaisse couche de dépôts glaciolacustres. Selon ces travaux, l'épaisseur atteindrait par endroits plus de 25 mètres. La faible réserve de dépôts granulaires à la surface calculée au chapitre III en serait la conséquence. On remarque aussi que les segments du type D se regroupent majoritairement autour du lac Abitibi ou dans les secteurs où la profondeur d'eau maximale a été supérieure à 100 mètres.



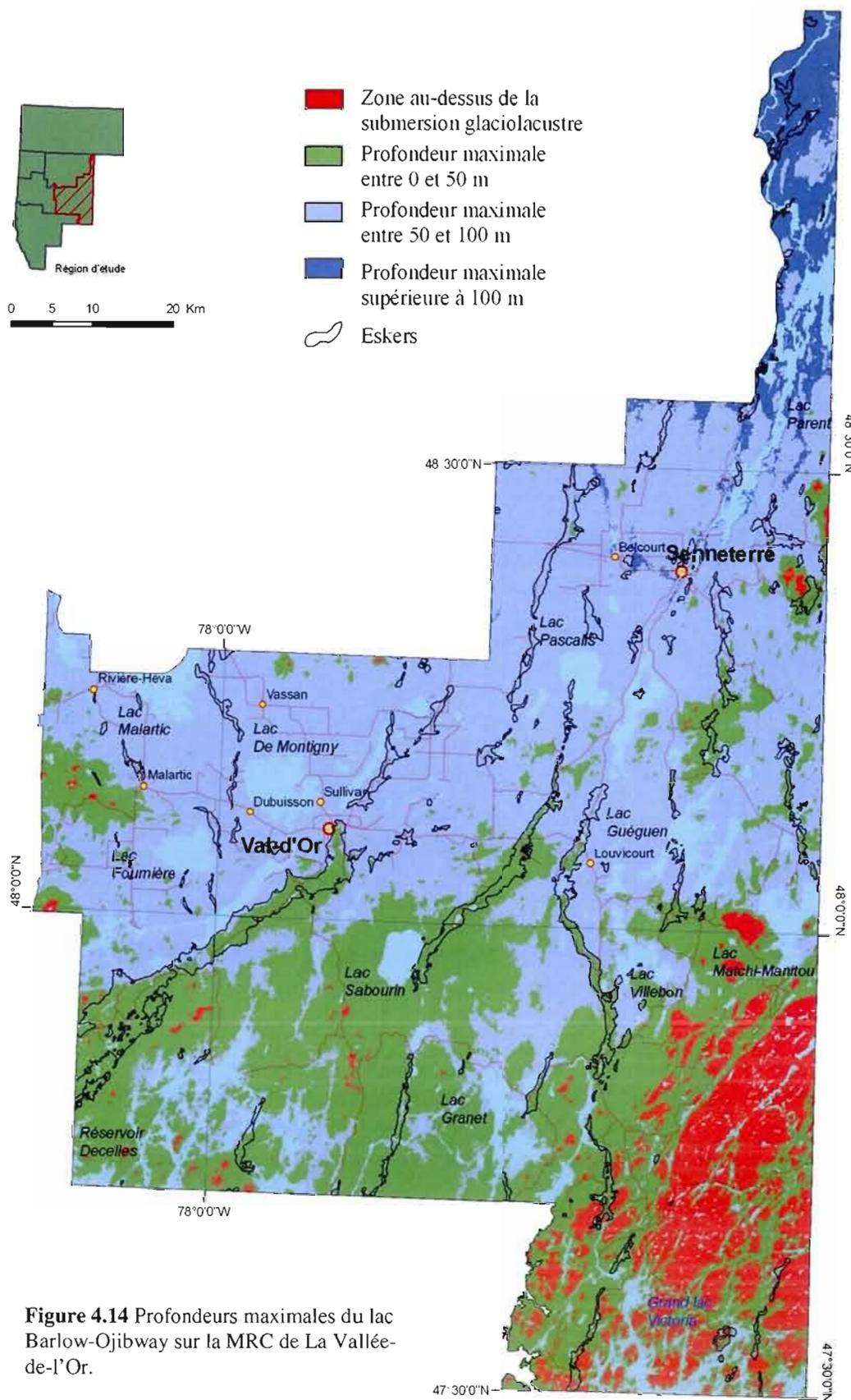
**Figure 4.12** Profondeurs maximales du lac Ojibway sur la MRC d'Abitibi-Ouest.



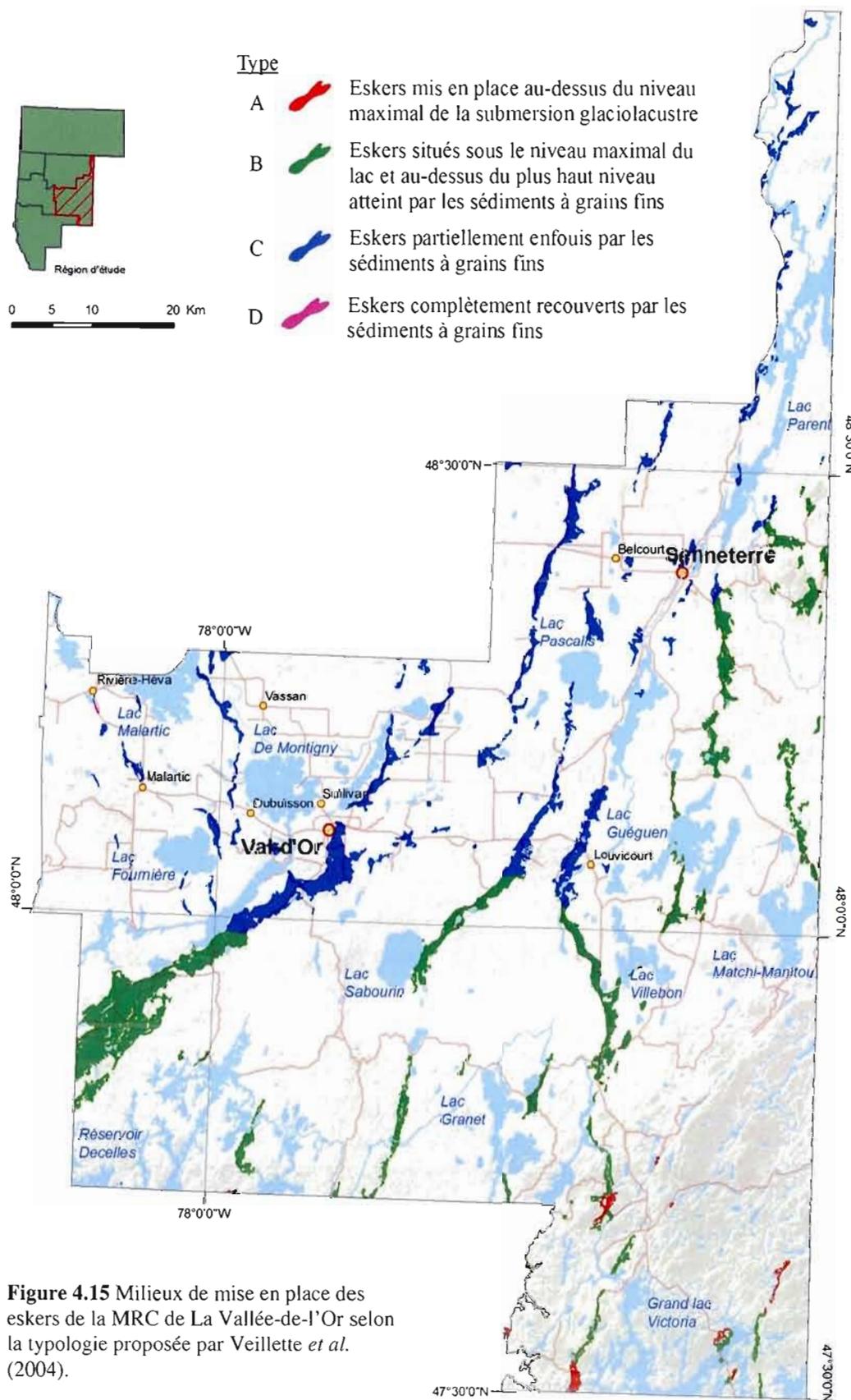
**Figure 4.13** Milieux de mise en place des eskers de la MRC d'Abitibi-Ouest selon la typologie proposée par Veillette *et al.* (2004).

#### 4.1.4.2.3 La MRC de La Vallée-de-l'Or

Dans la MRC de La Vallée-de-l'Or, la proportion d'eskers de type B s'élève à 53 % et à 44 % pour le type C. La limite de la plaine argileuse traverse la MRC dans sa partie centrale selon un axe généralement est-ouest (figure 4.7 et 4.14). Ainsi, dans la moitié sud, une zone littorale de grande étendue, où l'accumulation de sédiments à grains fins est peu probable, a favorisé la formation d'eskers de type B (figure 4.15). Les plus grandes masses granulaires s'y retrouvent; la plus volumineuse est le segment de la Moraine d'Harricana au sud-ouest de Val-d'Or. Dans la moitié nord, où la submersion a atteint des profondeurs supérieures à 50 mètres, on retrouve exclusivement les eskers de type C. À cet endroit, l'accumulation de sédiments glaciolacustres n'a pas été assez importante pour recouvrir en entier les segments d'eskers (0 % de type D). À la limite des terres submergées, à l'extrême sud, quelques segments de type A (2 %) ont été mis en place au-dessus de l'altitude maximale de la submersion glaciolacustre.

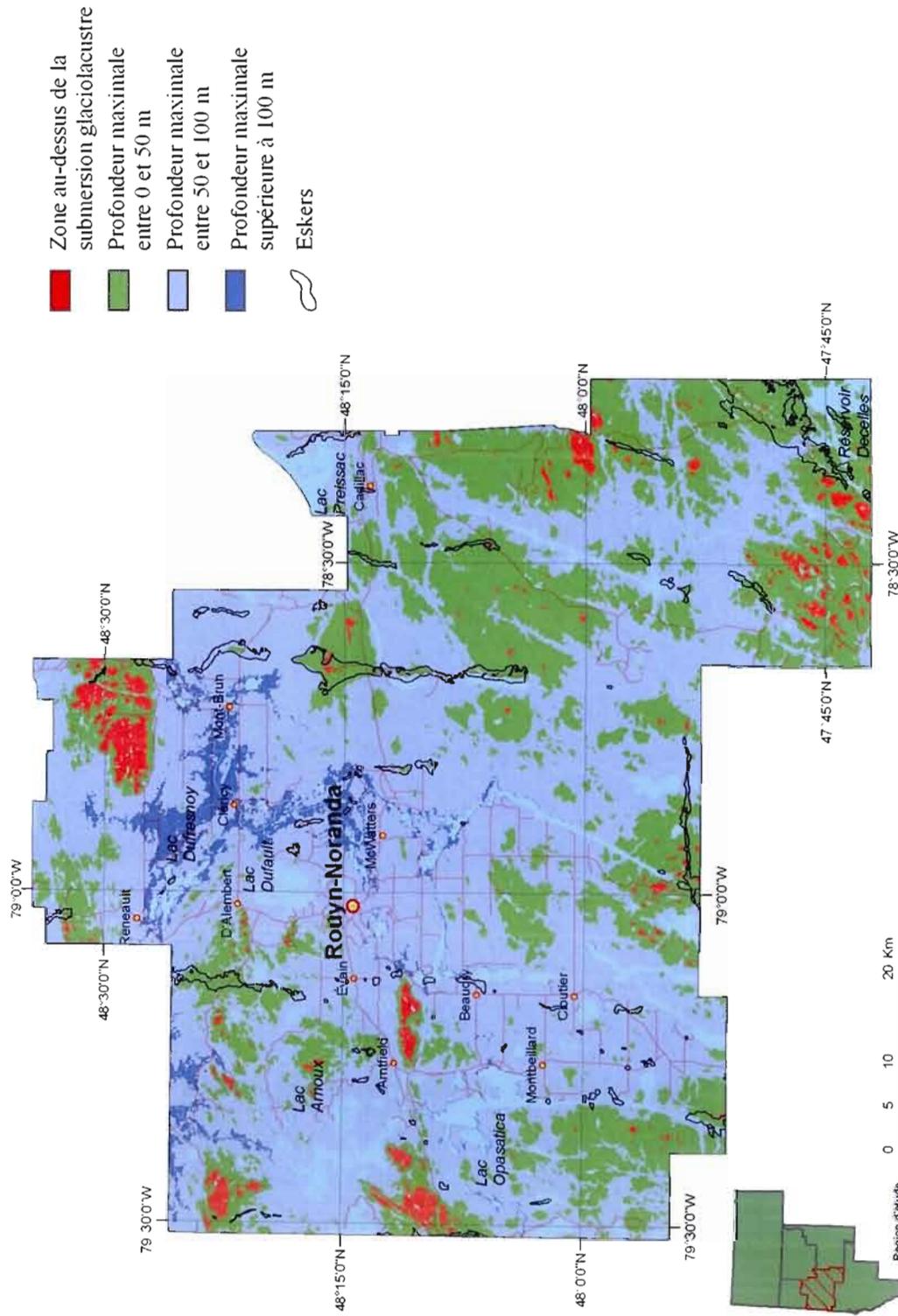


**Figure 4.14** Profondeurs maximales du lac Barlow-Ojibway sur la MRC de La Vallée-de-l'Or.

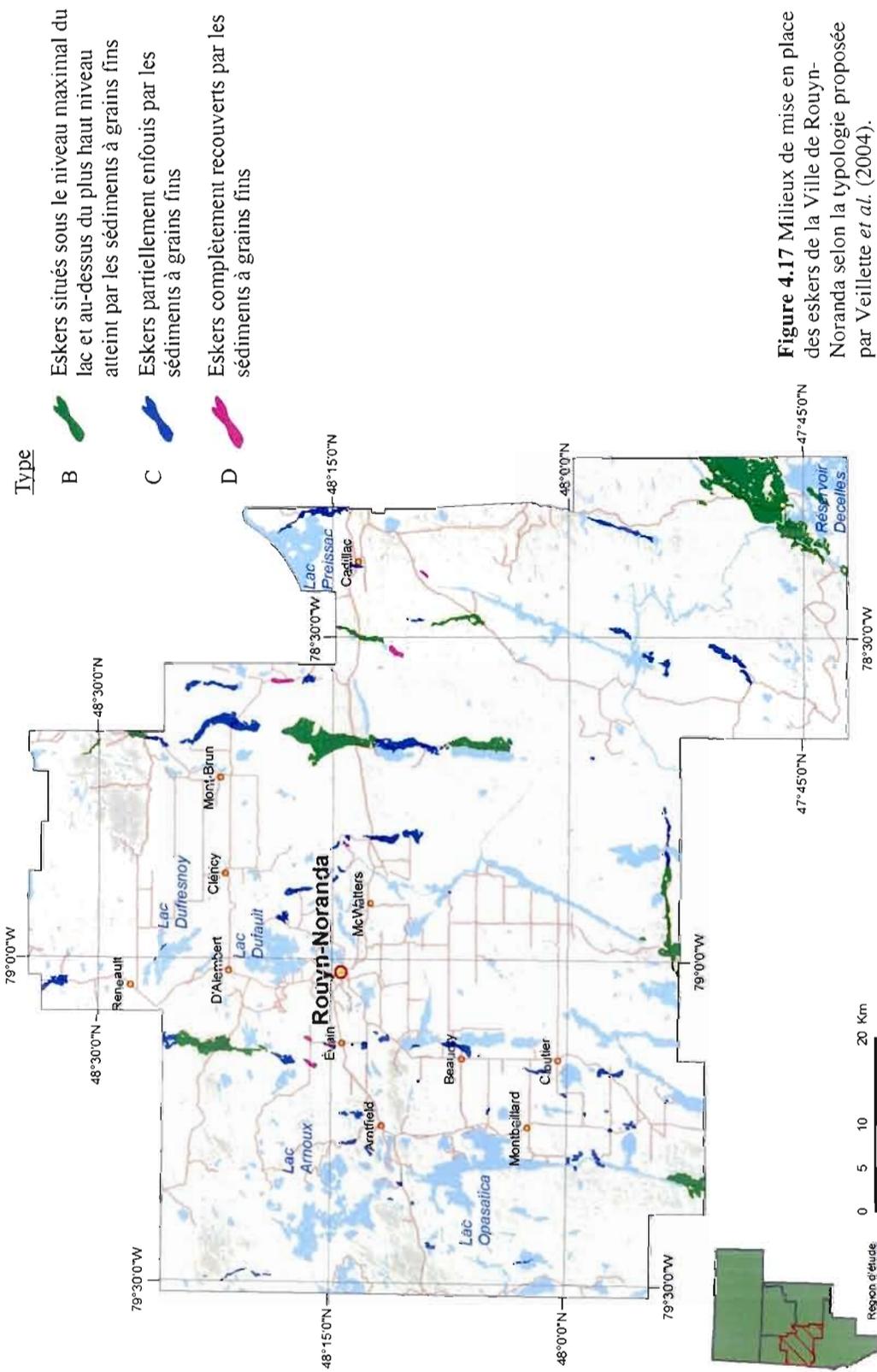


#### 4.1.4.2.4 La Ville de Rouyn-Noranda

La Ville de Rouyn-Noranda possède 63 % d'eskers de type B, 35 % de type C et 2 % de type D (tableau 4.4). Par l'observation des profondeurs maximales d'eau proglaciaire (figure 4.16), on constate que le relief y est accidenté. Malgré la localisation de cette région à l'intérieur de la plaine argileuse, son territoire est constitué de plusieurs zones peu profondes (inférieures à 50 mètres). Ces zones sont dues à des reliefs positifs qui ont agi comme hauts-fonds dans le lac glaciaire Barlow-Ojibway (figure 4.8). C'est sur ces reliefs que se localisent les plus imposantes masses granulaires. Entre ces remontées du roc, la profondeur d'eau a atteint plus de 50 mètres permettant l'accumulation des sédiments à grains fins qui aplanissent le relief. On y retrouve les eskers du type C (figure 4.17). Dans certains cas, cette couche recouvrirait complètement certains segments comme l'indique la présence de 2 % d'eskers de type D. L'émergence de leur masse granulaire à la surface y est faible ce qui suggère une épaisse couche de sédiments à grains fins. L'absence de sédiments à grains fins sur les flancs des gros segments d'esker de type B et la faible hauteur des segments de type C expliqueraient la valeur élevée de la hauteur moyenne calculée au chapitre III. L'absence de segments de type A indique, toutefois, une mise en place en milieu sous-aquatique pour l'ensemble des eskers.



**Figure 4.16** Profondeurs maximales du lac Barlow-Ojibway sur la Ville de Rouyn-Noranda.



#### 4.1.4.2.5 Le sud de la Baie-James

Dans le sud de la Baie-James, la submersion glaciolacustre a affecté l'ensemble des eskers; aucun esker de type A n'est présent (figure 4.18). Les segments sont principalement de type C (87 %), mis en place dans des zones d'eau profonde. Seulement 11 % des eskers se retrouvent dans des zones littorales (type B) : au sud du lac au Goéland, sur les collines Dalhousie (voir figure 4.8), et au sud-est du territoire (figure 4.19). Dans ces endroits, l'accumulation des sédiments à grains fins semble être effectuée uniquement sous une tranche d'eau supérieure à 100 m. Ainsi, malgré des profondeurs élevées, plus de 50 m, les eskers présentent des caractéristiques associées à une mise en place en zones littorales. À l'ouest de la Moraine d'Harricana, il est possible de suivre le prolongement de certains segments sous les sédiments à grains fins. Ce sont dans ces prolongements que l'on retrouve le 2 % d'eskers de type D. Le remaniement des crêtes d'eskers lors de la première crue de Cochrane semble avoir participé au recouvrement des eskers. Mise à part la Moraine d'Harricana, la disparition des eskers coïncide avec la limite de cette crue.

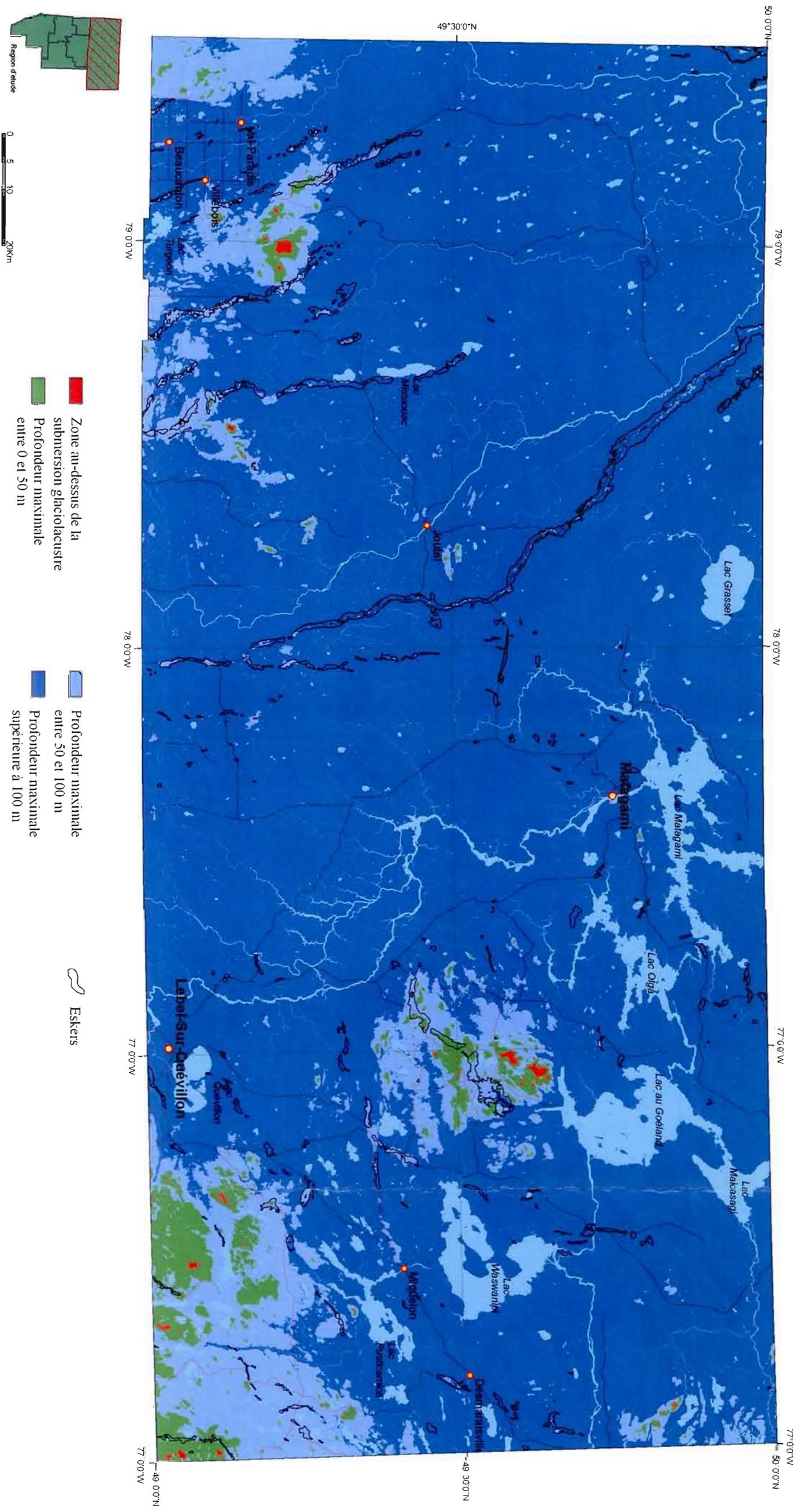


Figure 4.18 Profondeurs maximales du lac Ojibway au sud de la Baie-James.

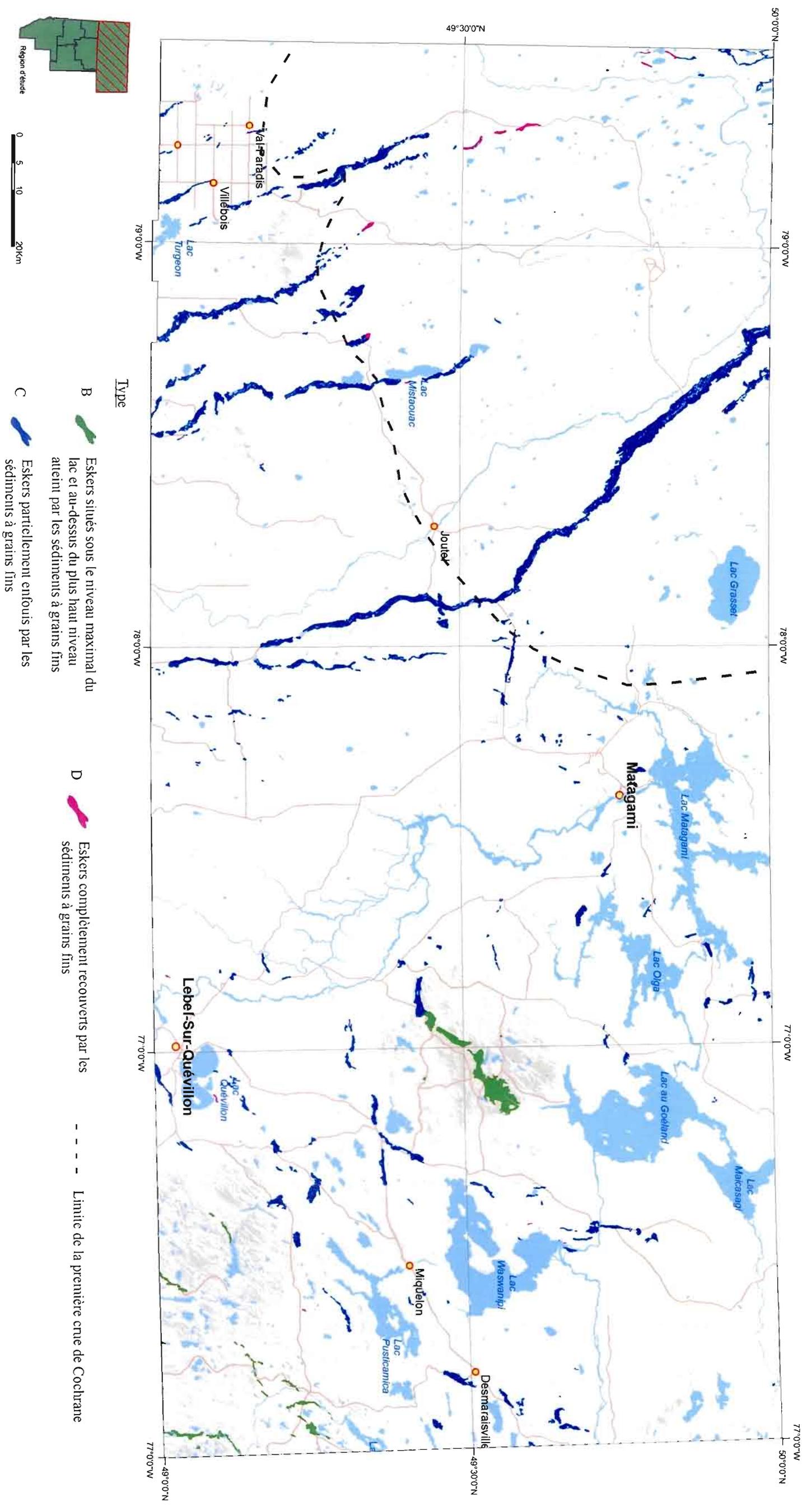


Figure 4.19 Milieux de mise en place des eskers du sud de la Baie-James selon la typologie proposée par Veillette *et al.* (2004).

#### 4.1.4.2.6 La MRC de Témiscamingue

Au Témiscamingue, la proportion d'eskers de type A est de 44 %. La majorité d'entre eux se retrouvent dans la moitié sud de la MRC; soit à l'extérieur des terres submergées (figure 4.20). On constate que la moitié sud a été peu affectée par les eaux glaciolacustres. Elle coïncide avec les petits segments d'eskers observés dans la figure 3.10. Suivant la progression vers le nord de la profondeur maximale d'eau, les épaisseurs granulaires apparentes des eskers augmentent et les types de milieux de mise en place changent progressivement du type B (34 %) au type C (22%). La figure 4.21 permet d'observer ces changements. Les eskers du milieu sous-aquatique, compte tenu du mode de mise en place, sont plus volumineux, comme en témoignent la Moraine d'Harricana et tous les autres segments dans la partie plus profonde du bassin glaciolacustre. Les eskers présents dans les zones littorales montrent généralement des masses granulaires plus imposantes que les eskers du type C. Ces derniers se regroupent majoritairement entre le lac Témiscamingue et le lac Simard. Généralement localisé dans des zones externes à la submersion ou dans des zones peu profondes, aucun segment de la MRC n'est complètement enfoui (0 % de type D).

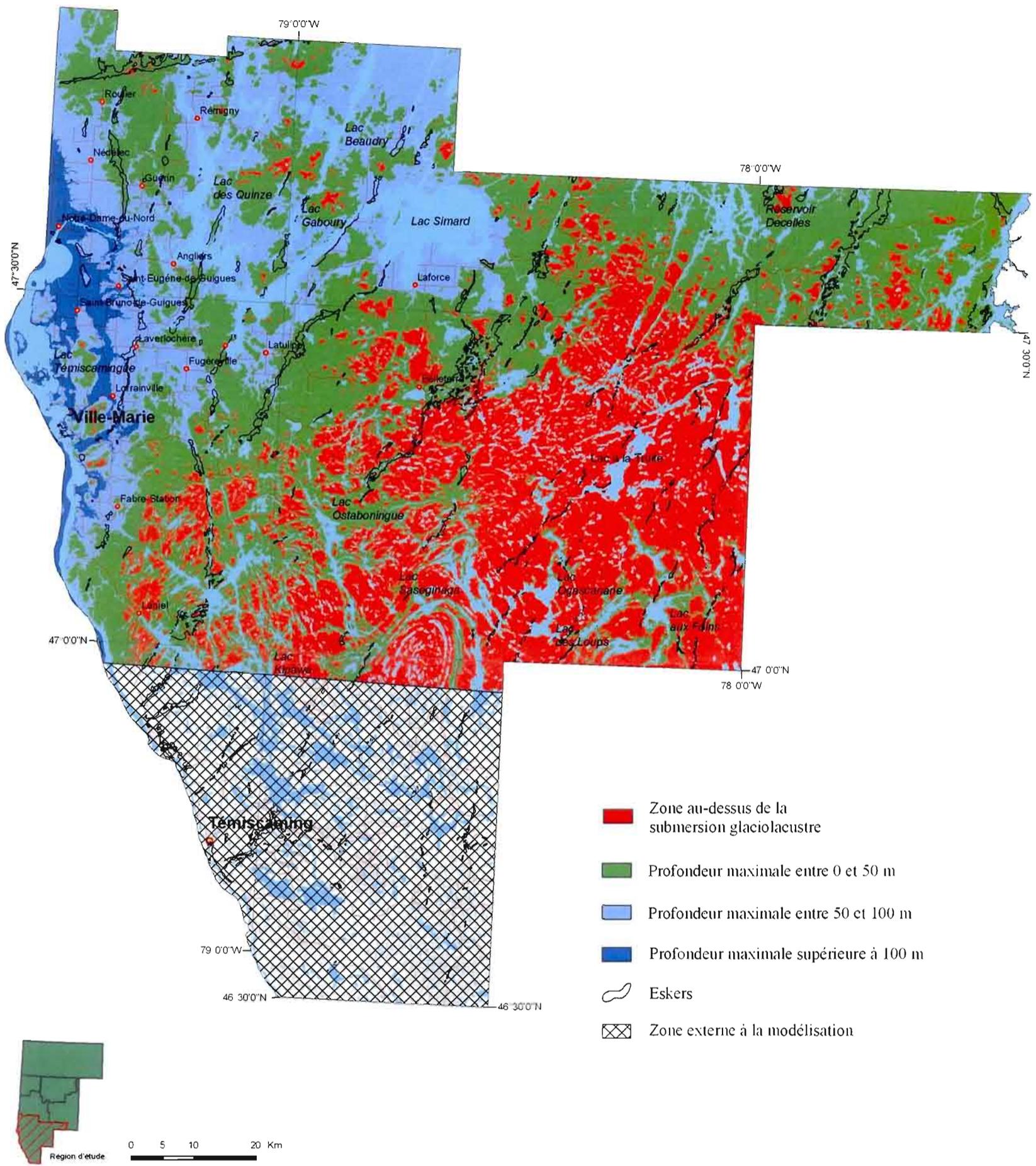


Figure 4.20 Profondeurs maximales du lac Barlow-Ojibway sur la MRC de Témiscamingue.

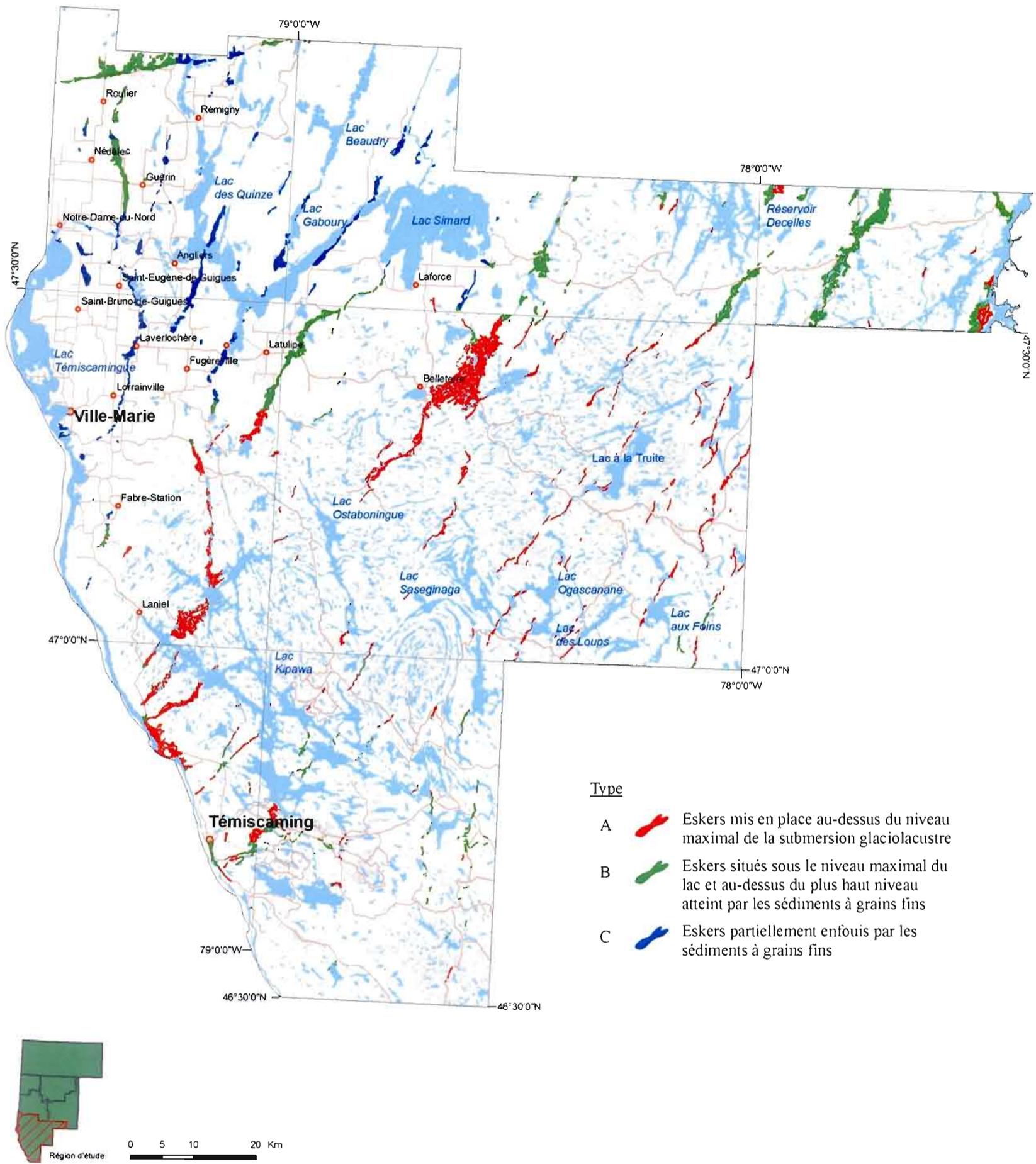


Figure 4.21 Milieux de mise en place des eskers de la MRC de Témiscamingue selon la typologie proposée par Veillette *et al.* (2004).

## 4.2 Potentiel aquifère attribué aux segments d'eskers

Plusieurs indices morphologiques discernables à la surface s'ajoutent au milieu de mise en place, précédemment déterminé, pour fournir une estimation préliminaire du potentiel aquifère des segments d'eskers. La présence d'affleurements rocheux ponctuels, de till et d'étendues roc fournit un indice sur la topographie du socle à proximité des segments d'eskers tandis que la présence de sources ponctuelles ou diffuses localisées sur les flancs d'eskers suggère la présence d'un aquifère dans la formation granulaire.

### 4.2.1 Dépôts glaciolacustres et milieu de mise en place

À partir de la distribution des sédiments glaciolacustres à proximité des eskers, laquelle a permis à Veillette *et al.* (2004) d'estimer le contexte de mise en place des eskers, il est possible d'effectuer une première approximation du potentiel aquifère des eskers de l'Abitibi-Témiscamingue. Les eskers de type C et D, caractérisés par la présence de sédiments à grains fins (argile et silt), de faible perméabilité, sur les flancs, sont des milieux propices au maintien d'un aquifère. Ces sédiments à grains fins agissent comme les parois étanches d'un contenant retenant l'eau à l'intérieur de la masse granulaire. En contrepartie, les eskers de type A et B, qui ne possèdent pas cette couche peu perméable, sont moins favorables au maintien d'un aquifère. Dans ces cas, ce sont les irrégularités du socle rocheux sous l'esker même qui peuvent former des réservoirs d'eau souterraine.

### 4.2.2 Présence de till ou de roc

La géométrie du substrat rocheux sous l'esker joue un rôle important pour déterminer son potentiel aquifère. Si l'esker comble une dépression du socle située sous le niveau phréatique, la géométrie de cette dépression influe sur le volume et l'écoulement de l'eau souterraine. Ainsi, nous avons considéré la présence de till ou de roc à proximité des eskers comme un indice qualitatif de la profondeur du roc sous l'esker. Pour les eskers de type C, la présence de ces unités à proximité peut indiquer l'absence de dépressions importantes sous l'esker et

ainsi limiter le volume granulaire enfoui et potentiellement saturé d'eau. La présence de ces unités réduit donc la probabilité de creux topographiques sous l'esker.

Les eskers en zone supra-aquatique (type A) montrent généralement un contact net avec les sédiments glaciaires avoisinants (Veillette, 1996) tandis que pour les eskers de la zone sous-aquatique (types B, C, D), le till et le roc sont souvent enfouis sous les dépôts glaciolacustres. L'influence radiale d'une unité de till ou de roc sur la topographie sous l'esker a été établie à 500 mètres. L'irrégularité de la topographie du substrat rocheux explique ce choix. La figure 4.22 montre les segments d'eskers de cet environnement. Dans certains cas, la présence de sables d'exondation ou de tourbières camoufle les affleurements de till ou de roc rendant difficile d'évaluer leur présence près des eskers.

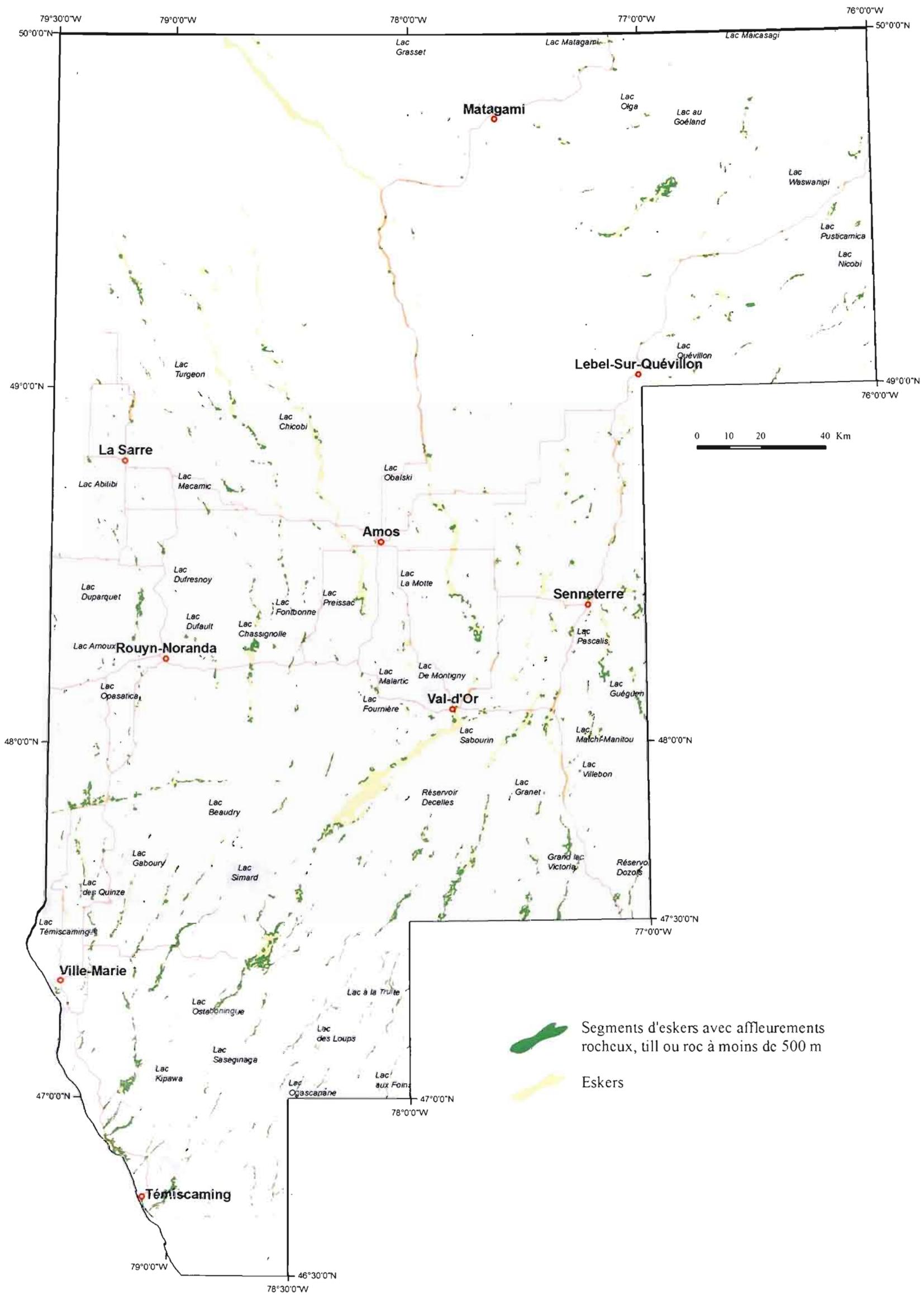


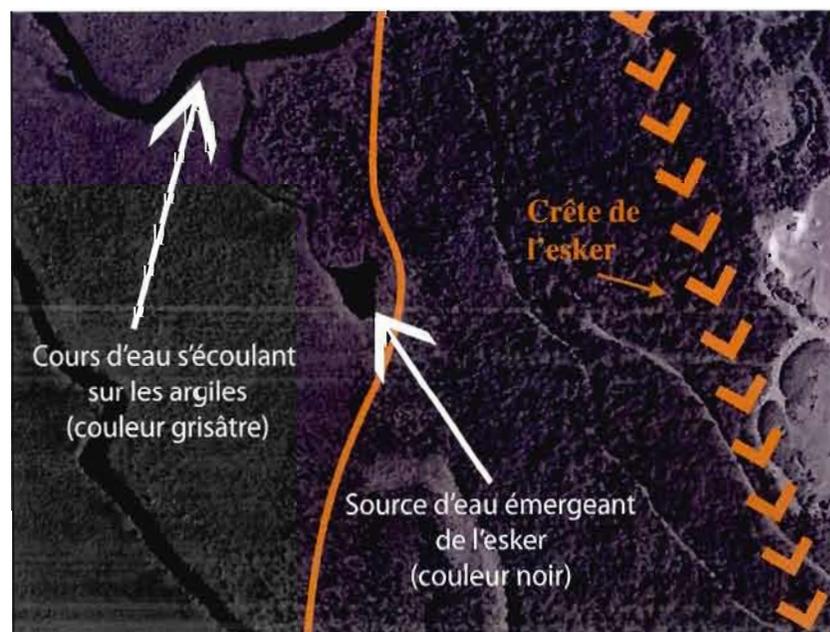
Figure 4.22 Segments d'eskers avec présence de till ou de roc à moins de 500 m.

#### 4.2.3 Analyse d'éléments hydrogéologiques

Sur les eskers de type C, les sédiments à grains fins confinent les sables et graviers fluvioglaciaires et permettent, dans certains cas, le maintien d'une nappe d'eau souterraine. Lorsque le niveau piézométrique dans l'esker est plus élevé que la limite supérieure des sédiments à grains fins, l'eau souterraine émerge au contact entre ces sédiments glaciolacustres et les sédiments fluvioglaciaires par endroits camouflés par les sables sublittoraux (figure 1.10, type C). La présence de ces sources suggère fortement la présence d'un aquifère dans le segment d'esker.

##### 4.2.3.1 Identification des sources ponctuelles

L'identification des sources ponctuelles provient de travaux antérieurs (Champagne, 1988; Veillette *et al.*, 2004) et actuels (Castelli, en cours de réalisation) et de nos travaux de photo-interprétation à partir de photos à l'échelle du 1 : 15 000 et du 1 : 40 000. Sur les photographies aériennes, les sources donnent naissance à de petits cours d'eau dont le début



**Figure 4.23** Identification d'une source sur le flanc ouest d'un esker près de Val-d'Or. (Photo aérienne : Q05129-050).

se situe souvent dans les dépôts d'exondation sur le flanc d'un esker ou au contact entre les sédiments à grains fins et l'esker. Dans certains cas, l'émergence d'eau crée un plan d'eau limpide résultant de l'absence d'argile à cet endroit. Cette particularité facilite leur repérage sur les photographies aériennes. Elles produisent des plans d'eau de couleur très foncée contrastant avec la couleur grisâtre des autres plans d'eau situés dans la plaine argileuse due au limon et à l'argile en suspension (figure 4.23). L'utilisation des données numériques sur l'hydrographie, à l'échelle du 1 : 20 000, produites par la Base de données topographique du Québec (BDTQ), nous permet de retrouver facilement l'émergence ponctuelle d'eau le long des eskers. Certaines de ces sources ont été validées par des visites sur le terrain lors de notre campagne de terrain de l'été 2009. Des informations recueillies auprès des résidents locaux se sont ajoutées à ces levés de terrain afin de confirmer la présence de certaines sources. La figure 4.24 montre les sources ponctuelles répertoriées à ce jour dans la région de l'Abitibi-Témiscamingue et du sud de la Baie-James. Il est probable que des sources à faible débit ne soient pas discernables sur photos aériennes. Les résurgences identifiées par photo-interprétation qui n'ont pas été vérifiées sur le terrain sont désignées « sources probables ».

#### 4.2.3.2 Identification des zones d'émergence d'eau diffuse

L'émergence d'eau se fait rarement à un endroit précis; très souvent, l'eau émerge sur un long segment de l'esker. Ces émergences dites diffuses produisent souvent des réseaux dendritiques (figure 4.25) qui convergent, au bout de quelques centaines de mètres, vers un cours d'eau distinct. Dans d'autres cas, l'émergence d'eau diffuse débouche dans des tourbières développées sur les flancs d'eskers. Dans certains cas, ces tourbières, dont la répartition régionale est étroitement liée aux eskers, pourraient jouer un rôle dans la chimie des eaux souterraines puisque leur excédant d'eau se déverse dans l'esker (Veillette *et al.*, 2004). Ces sources ne sont pas exclusives aux eskers de type C où les sources s'écoulent sur une couche imperméable, ils représentent tout simplement le niveau de la nappe phréatique qui peut être, dans certains cas, bien au-dessus de l'altitude de la plaine argileuse. Ces émergences diffuses suggèrent fortement la présence d'un aquifère. L'identification des sources diffuses a été réalisée par l'interprétation des photographies aériennes ou par la mise en

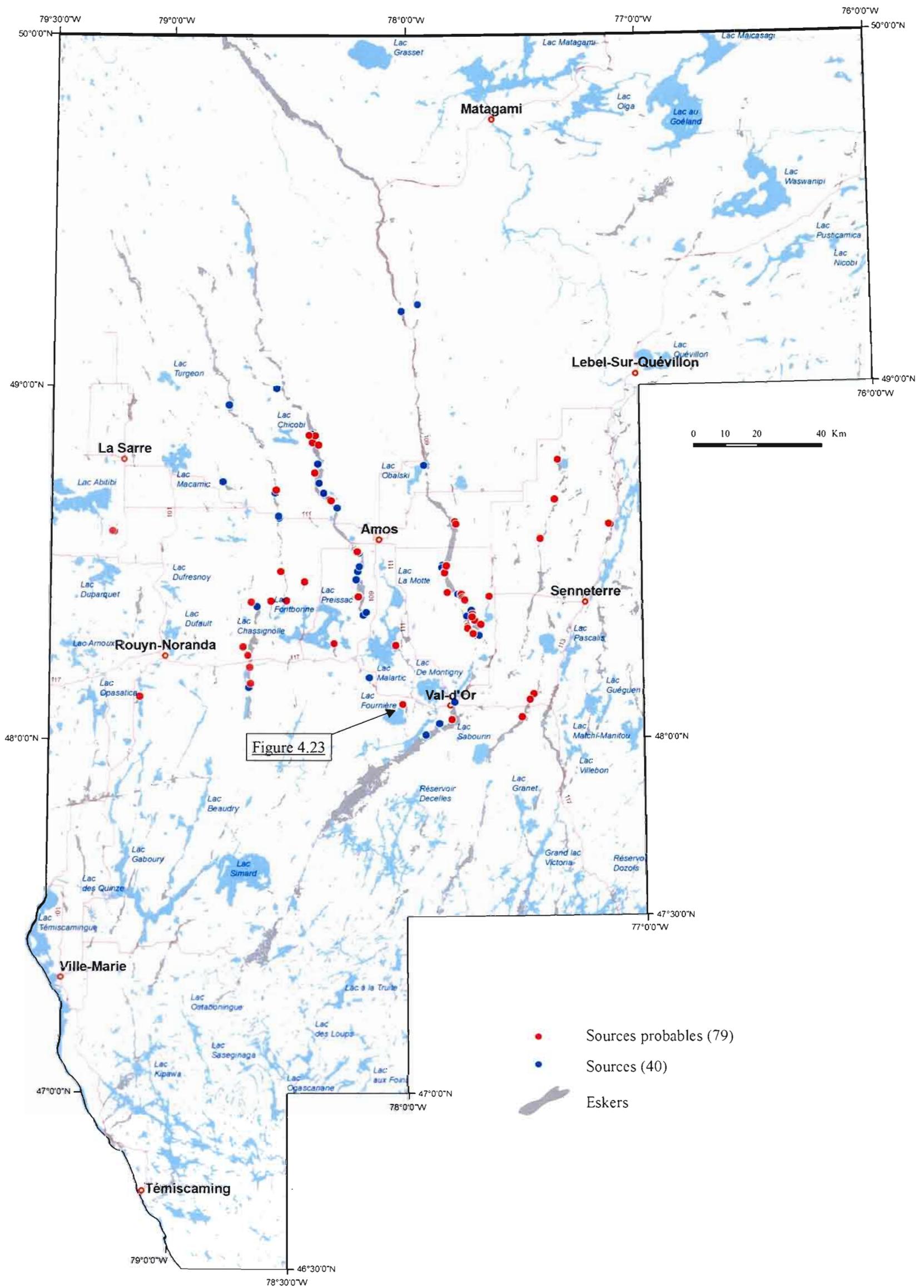
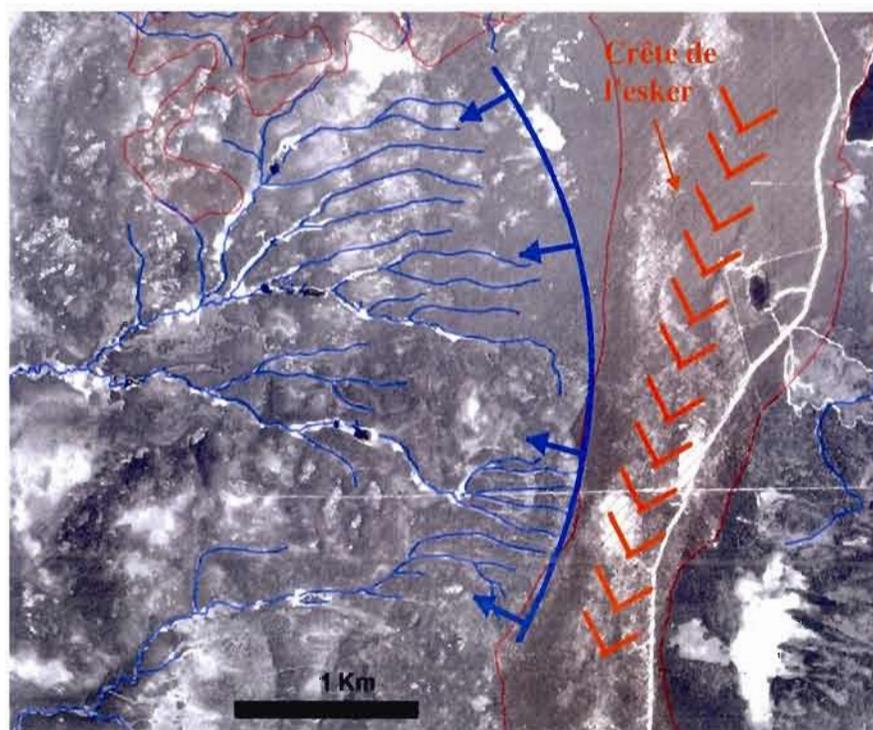


Figure 4.24 Localisation des sources ponctuelles le long des eskers.

évidence des contacts entre une tourbière et un esker. La figure 4.26 montre l'ensemble des sources diffuses répertoriées le long des eskers.

#### 4.2.3.3 Influence de la présence d'une source sur le potentiel aquifère d'un esker

L'utilisation d'une zone d'influence d'un rayon de 2000 mètres a été choisie pour identifier les segments d'esker affectés par la présence de résurgence sous forme de sources. Ces segments se caractérisent par un fort potentiel aquifère. Plusieurs observations et données de terrain ont permis d'attribuer ce rayon d'influence; au-delà de cette valeur, l'irrégularité du socle rocheux réduit considérablement les chances d'être en présence d'un aquifère.



**Figure 4.25** Réseau hydrographique dendritique formé par l'émergence diffuse d'eau (ligne épaisse bleue) sur le flanc ouest de l'esker Saint-Mathieu-Berry. (Photo aérienne : Q80805-112)

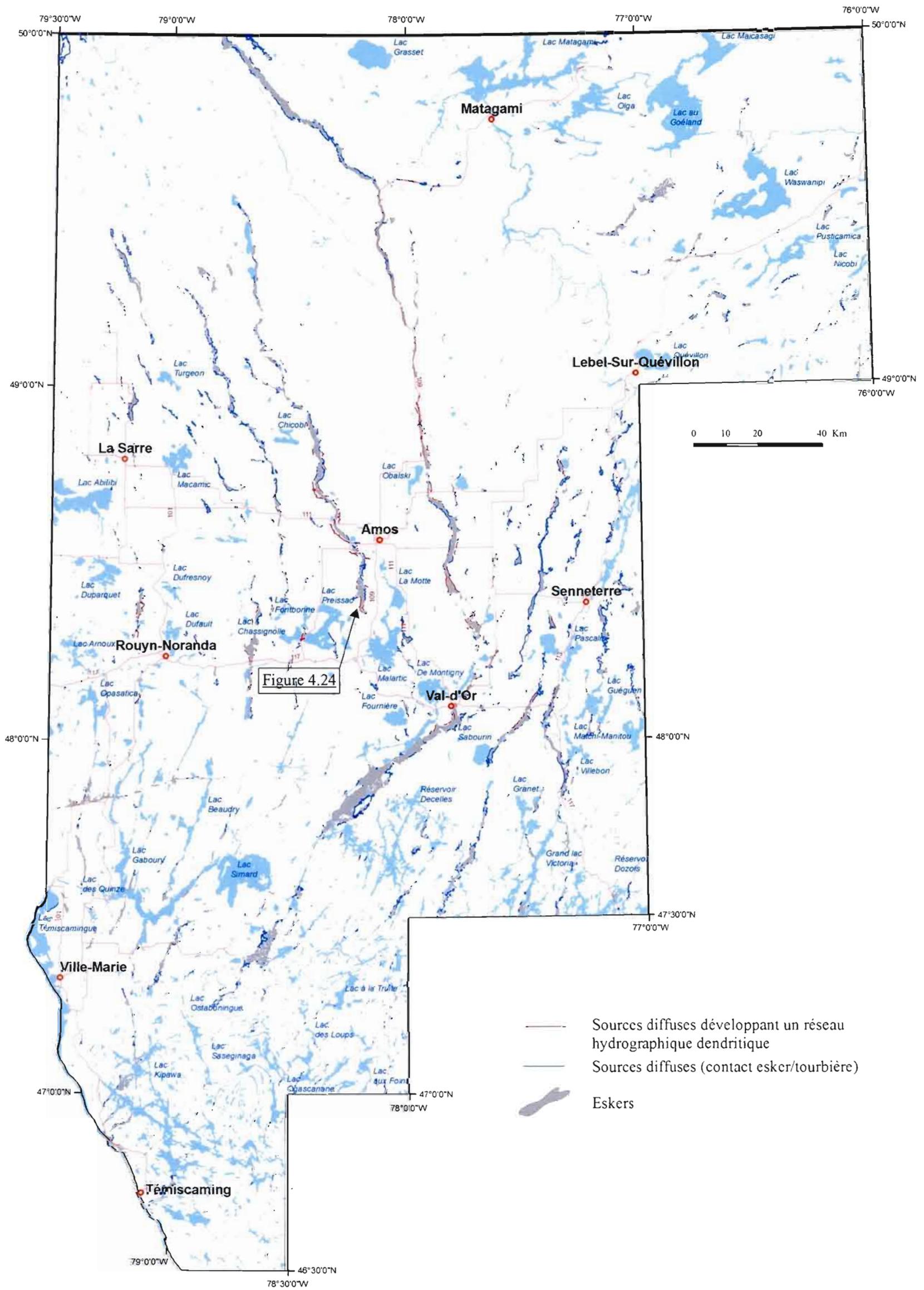


Figure 4.26 Localisation des sources d'émergence diffuses d'eau le long des eskers.

#### 4.2.4 Critères indiquant la présence d'un aquifère dans les eskers

La présence d'un aquifère dans un segment d'esker a été établie selon trois caractéristiques physiques observables sur les cartes et les photos aériennes ou sur le terrain : (1) la nature des unités cartographiques glaciolacustres à proximité telles que présentées sur les cartes de dépôts de surface (2) la présence ou l'absence de till ou de roc à proximité et (3) la présence ou l'absence d'une source ponctuelle ou d'une zone d'émergence d'eau diffuse située à l'origine de cours d'eau. En fonction de l'influence de chacune de ces caractéristiques sur la présence d'un aquifère dans l'esker, une valeur de 0 à 2 a été attribuée (tableau 4.5). La valeur de 0 a été attribuée lorsque la caractéristique ne permet pas le maintien d'une nappe d'eau souterraine dans le segment d'esker ou en réduit le volume. La valeur de 1 indique que la caractéristique influence positivement la présence d'un aquifère ou ne permet pas de conclure à son absence. La valeur de 2 a été attribuée à la caractéristique qui indique la présence d'un aquifère.

Nous avons vu que la première caractéristique pouvant influencer la présence d'un aquifère est la présence de dépôts glaciolacustres à grains fins à proximité des eskers, lesquels permettent d'estimer le milieu de mise en place du segment (types A, B, C). Nous savons que la présence de sédiments à grains fins (sédiments d'eau profonde) sur les flancs des eskers, à cause de leur faible perméabilité, peut maintenir l'eau dans la formation granulaire. Nous avons donc attribué aux eskers de types C, qui en possèdent, la valeur de 1, tandis que les eskers de type A et B, qui n'en possèdent pas, obtiennent la valeur 0.

La deuxième caractéristique est la présence ou l'absence d'une source ponctuelle ou diffuse. La présence de cette dernière sur le flanc d'un esker indique la présence d'eau souterraine à l'intérieur de l'esker : on lui a attribué la valeur de 2. L'absence de source n'exclue, toutefois pas la présence d'un aquifère : on lui attribue donc la valeur de 1.

Enfin, la troisième caractéristique est la présence ou l'absence de roc ou de till à proximité d'un esker. Leur présence suggère l'absence probable de dépressions importantes dans le roc sous-jacent à l'esker et limite la possibilité d'un large réservoir aquifère. Inversement, leur

absence indique un substrat rocheux situé à une plus grande profondeur et permet d'envisager la présence d'un plus grand réservoir d'eau souterraine. La valeur de 0 est attribuée aux segments situés à proximité d'une unité de till ou d'un affleurement rocheux, et la valeur de 1 est attribuée aux autres segments d'eskers.

**Tableau 4.5** Critères indiquant la présence d'un aquifère et pointage associé.

Milieu de mise en place	Type A:  Type B: 	Type C: 
Pointage:	0	1
Présence d'une source ponctuelle ou diffuse	oui	non
Pointage:	2	1
Présence de roc ou de till	oui	non
Pointage:	0	1

En additionnant les valeurs de chaque critère pour tous les segments d'esker, nous obtenons une estimation qualitative de leur potentiel aquifère (tableau 4.6). Cette estimation est évaluée sur une échelle de 4 où chaque échelon se définit comme suit :

- Une valeur de 1 suggère la présence d'un aquifère qui est uniquement tributaire de la topographie du roc et où aucun indice de surface ne nous informe sur la présence d'un aquifère. Seuls les eskers de types A et B obtiennent cette note.
- Une valeur de 2 qualifie les segments dont les caractéristiques suggèrent la présence d'un aquifère, mais où la proximité du socle rocheux ou l'absence de sources suggère un faible réservoir.
- Une valeur de 3 qualifie les segments à bon potentiel aquifère. Très souvent, ces endroits présentent une ou des sources indiquant la présence d'eau souterraine. Toutefois, l'absence de sédiments à grains fins sur les flancs ou la présence d'un affleurement rocheux à proximité réduit la taille probable du réservoir susceptible de maintenir l'eau souterraine.
- Une valeur de 4 est attribuée uniquement aux segments d'eskers qui réunissent toutes les caractéristiques favorables au maintien d'un aquifère. Ils correspondent aux eskers de type C avec des sédiments à grains fins sur les flancs, avec des sources diffuses ou ponctuelles et une absence d'affleurement rocheux à proximité. La présence de réservoirs d'eau souterraine est considérée comme fort probable.

Considérant le manque de connaissance sur la recharge des eskers complètement enfouis (type D), la présence d'aquifères dans ces segments ne peut pas être évaluée.

**Tableau 4.6** Niveau du potentiel aquifère associé aux segments d'esker en fonction des critères observables à la surface.

Milieu de mise en place	Présence d'une source	Présence de roc ou de till	Niveau du potentiel aquifère
A (0)	oui (2)	oui (0)	2
		non (1)	3
	non (1)	oui (0)	1
		non (1)	2
B (0)	oui (2)	oui (0)	2
		non (1)	3
	non (1)	oui (0)	1
		non (1)	2
C (1)	oui (2)	oui (0)	3
		non (1)	4
	non (1)	oui (0)	2
		non (1)	3

#### 4.2.5 Potentiel aquifère des eskers

##### 4.2.5.1 Répartition spatiale du potentiel aquifère dans la région d'étude

La figure 4.27 permet de visualiser la répartition spatiale des potentiels aquifères (niveaux 1 à 4) des eskers à l'ensemble de la région d'étude. Le potentiel aquifère des segments d'esker suit les changements du milieu de mise en place déterminé dans la section 4.1. Le tableau 4.7 présente les proportions de chaque niveau pour l'ensemble de la région d'étude et présente leur répartition selon les MRC de la région d'étude. Ainsi, 39 % des eskers de la région possèdent un potentiel aquifère de niveau 4 où la présence d'un réservoir d'eau souterraine important est probable. Les eskers Saint-Mathieu-Berry, Launay, Despinassy et la Moraine d'Harricana sont les plus grandes formations granulaires présentant des segments démontrant ce potentiel aquifère. Ils traversent la MRC d'Abitibi, la MRC de La Vallée-de-l'Or et le sud de la Baie-James. Le sud de la Baie-James possède à lui seul 42 % de ces eskers. La Moraine d'Harricana et l'esker Saint-Mathieu-Berry y sont les principales formations aquifères. Si l'on prend en considération, compte tenu des évidences de terrain que les eskers de niveaux 3 (32 %) présentent aussi un bon potentiel aquifère, mais avec des réservoirs moindres, plus de 70 % des eskers de la région d'étude contiennent de l'eau souterraine. En contrepartie, seulement 3 % ont un potentiel de niveau 1. Ces derniers se retrouvent, pour la plupart (71 %), dans la MRC de Témiscamingue. C'est aussi dans cette MRC que l'on retrouve la plus grande proportion (55 %) d'eskers de niveau 2. La dominance de ces deux niveaux dans ce secteur est directement liée à la forte présence d'esker de type A (tableau 4.4). Dans ces cas, l'eau souterraine pourrait être accumulée dans des dépressions de socle rocheux camouflées sous les sables et graviers. Ces eskers sont situés majoritairement à l'extérieur des terres anciennement submergées par le lac proglaciaire ou dans les grandes zones littorales. Leur présence à l'intérieur de la plaine argileuse est due aux hauts-fonds formés par les irrégularités de socle rocheux. Seule la MRC d'Abitibi-Ouest possède une part négligeable d'eskers au potentiel aquifère inférieur à 2 compte tenu de sa localisation dans la partie profonde du bassin glaciolacustre. En bref, les eskers au potentiel aquifère faible se retrouvent principalement au sud de la région d'étude, au Témiscamingue, tandis que ceux au potentiel aquifère élevé se retrouvent majoritairement au nord d'Amos.

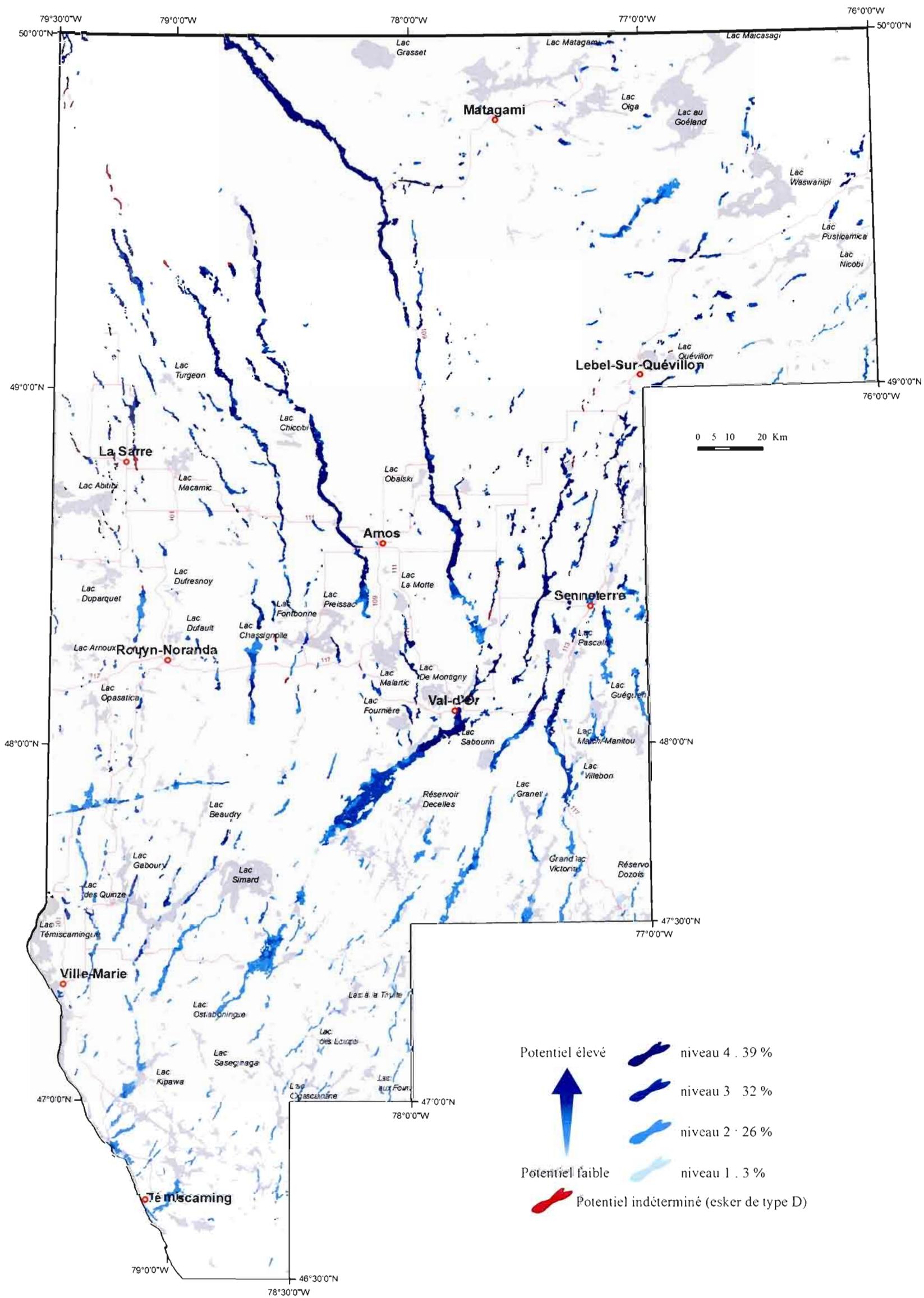


Figure 4.27 Potentiel aquifère associé aux segments d'eskers en fonction de leurs caractéristiques physiques (voir texte).

**Tableau 4.7** Proportion des niveaux du potentiel aquifère des eskers pour la région d'étude et leur répartition dans les différentes MRC.

MRC	Potentiel aquifère			
	1	2	3	4
région	3	26	32	39
Abitibi	1	5	12	29
Abitibi-ouest	0	0	5	5
La Vallée-de-l'Or	19	18	34	20
Ville de Rouyn-Noranda	3	12	14	2
Sud de la Baie-James	6	10	19	42
Témiscamingue	71	55	16	2

#### 4.2.5.2 Répartition du potentiel aquifère dans les différentes MRC

Au même titre que les milieux de mise en place, les proportions des niveaux de potentiel aquifère varient entre les MRC. Le tableau 4.8 présente ces proportions pour chaque MRC. Étant donné que les milieux de mise en place constituent un facteur déterminant du potentiel aquifère des eskers (voir section 4.2.1), il est normal d'observer une distribution similaire pour les niveaux de potentiel aquifère. Cette distribution est décrite dans la section qui suit. Une cartographie de chaque MRC est jointe pour illustrer cette distribution.

**Tableau 4.8** Proportion des niveaux du potentiel aquifère des eskers pour chaque MRC.

MRC	Potentiel aquifère			
	1	2	3	4
Abitibi	0	8	23	69
Abitibi-ouest	0	3	47	50
La Vallée-de-l'Or	3	20	45	32
Ville de Rouyn-Noranda	1	36	52	11
Sud de la Baie-James	1	10	24	65
Témiscamingue	11	63	23	3

#### 4.2.5.2.1 La MRC d'Abitibi

La MRC d'Abitibi possède une grande proportion d'eskers à haut potentiel aquifère : 69 % des segments sont de niveau 4. La présence de sources diffuses ou ponctuelles est caractéristique des flancs d'eskers de la MRC. C'est aussi dans cette MRC que les systèmes hydrographiques dendritiques (voir figure 4.25) issus de sources diffuses sont les mieux développés. Plusieurs grandes tourbières se trouvent sur les flancs de l'esker du lac Despinassy et de la Moraine d'Harricana. Par endroits, la présence d'un affleurement rocheux suggère une taille plus restreinte du réservoir d'eau. Ces endroits sont associés aux segments de niveau 3 qui représentent 23 % des eskers de la MRC (figure 4.28). Deux secteurs, l'extrémité sud de l'esker de Saint-Mathieu-Berry et le secteur de la Moraine d'Harricana près de Barraute, semblent être moins propices à la présence de réservoirs d'eau souterraine. C'est à ces endroits que l'on retrouve les 8 % d'eskers de niveau 2. Ces segments d'eskers occupent des points hauts du socle rocheux qui ont favorisé la mise en place d'eskers de type B. Dans ces secteurs, plusieurs affleurements rocheux apparaissent à proximité des eskers et peu de sédiments glaciolacustres d'eau profonde tapissent les flancs. Toutefois, l'importance hydrogéologique de ces segments demeure non négligeable. Des travaux (Veillette *et al.*, 2007) ont démontré que la moraine d'Harricana, à cet endroit, pourrait agir comme zone de recharge pour l'esker de Barraute. Tel que présenté à la figure 4.29, l'eau s'infiltrerait dans les sables et graviers de la moraine (à l'ouest), pour s'écouler dans des dépôts granulaires sous la couche de sédiments à grains fins et recharger l'esker de Barraute à l'est. Ce dernier est considéré comme un esker enfoui de type D dont la crête affleure faiblement à quelques endroits. Avec plusieurs segments enfouis, donc sans sources visibles en surface, cet esker a un potentiel aquifère difficile à évaluer. Toutefois, la ville de Barraute tire son eau d'un puits à fort débit dans cet esker indiquant la présence d'un aquifère granulaire important. Ce cas illustre les limites de notre méthode d'analyse et la nécessité d'effectuer des études spécifiques pour valider la présence d'aquifères là où la couverture de sédiments meubles est importante. Malgré leurs faibles épaisseurs apparentes, les eskers de Launay et du lac Despinassy sont de bons aquifères, comme en témoignent les tourbières qui les bordent et qui indiquent la présence d'un niveau phréatique près de la surface.

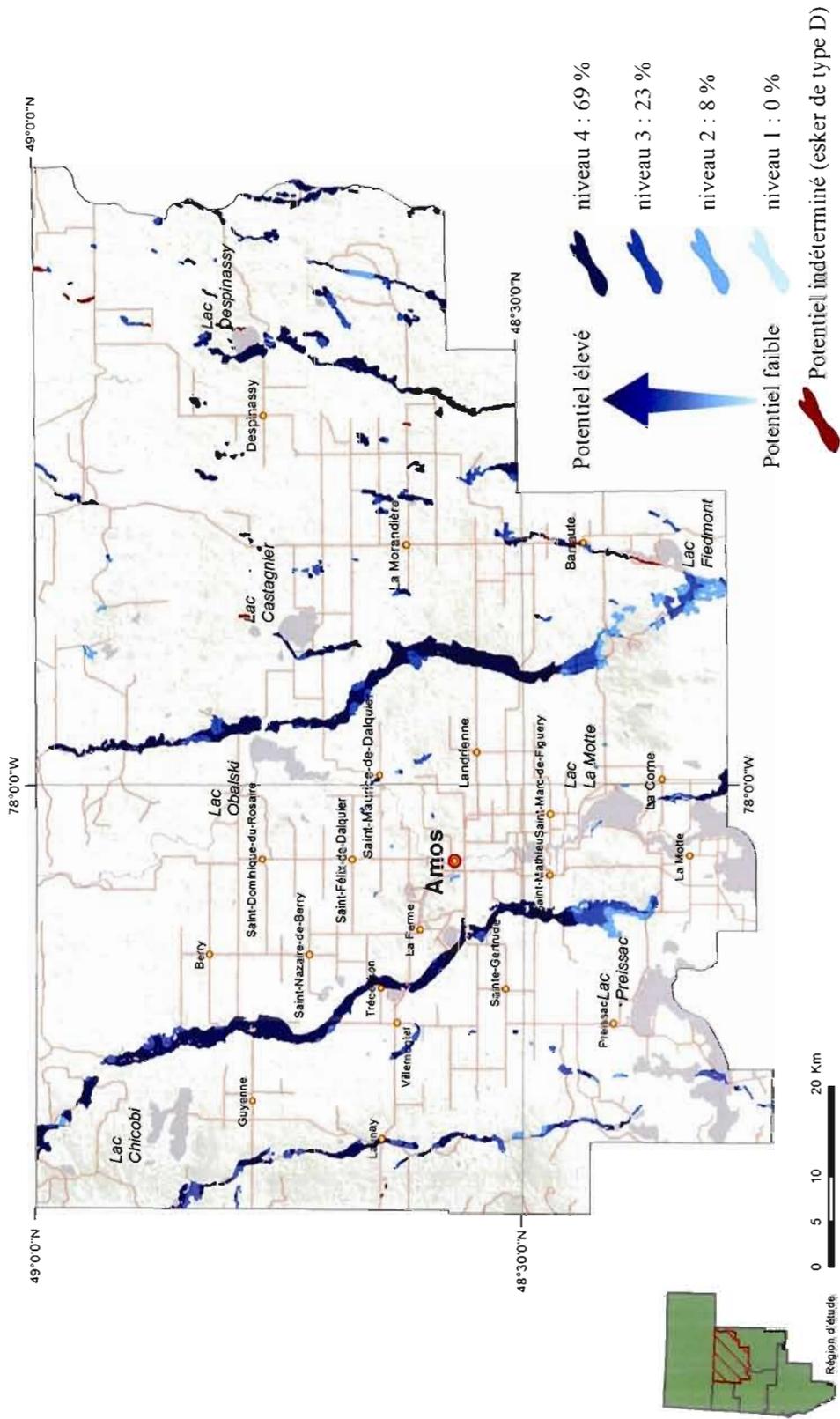
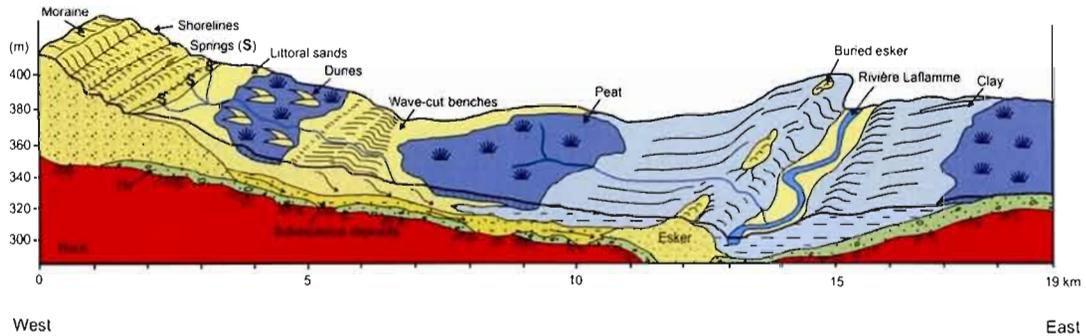


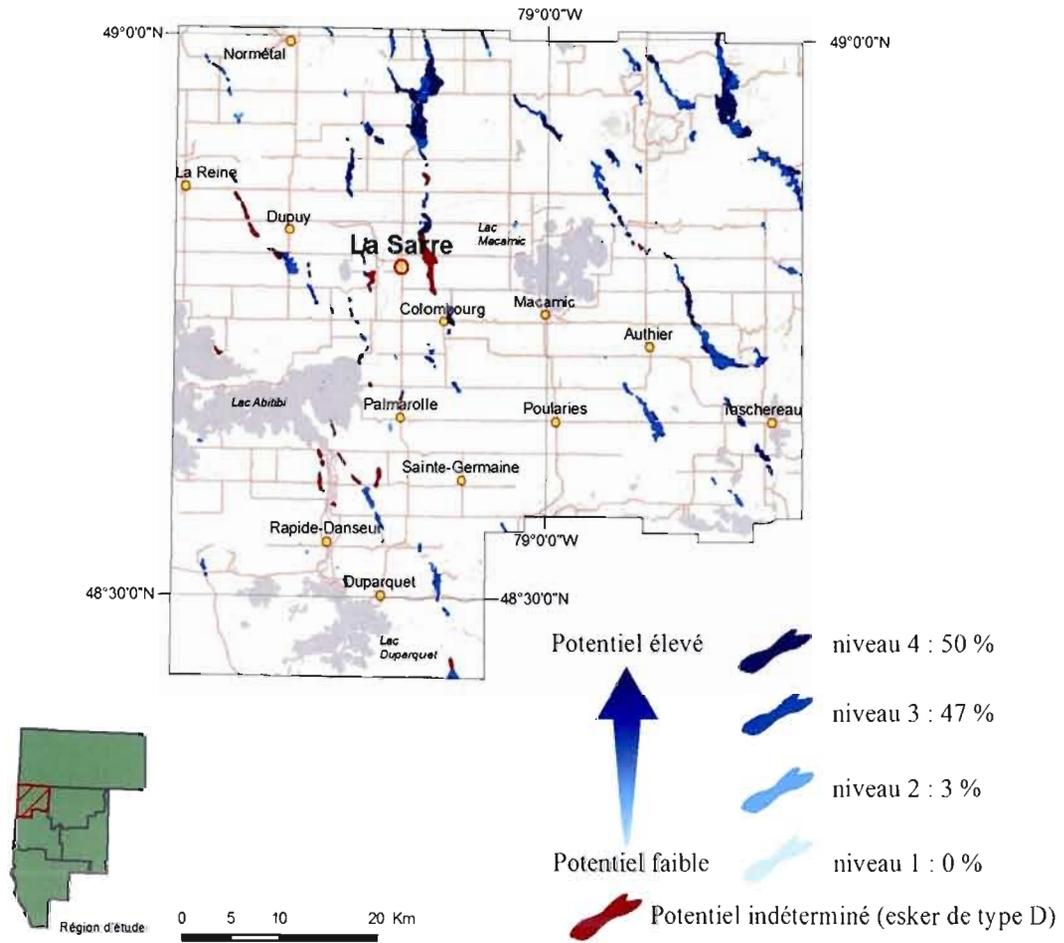
Figure 4.28 Potentiel aquifère associé aux segments d'eskers de la MRC d'Abitibi.



**Figure 4.29** Géologie de surface et modélisation d'une coupe transversale des sédiments quaternaires entre la Moraine d'Harricana et l'esker de Barraute. Tirée de Veillette *et al.* (2007).

#### 4.2.5.2.2 La MRC d'Abitibi-Ouest

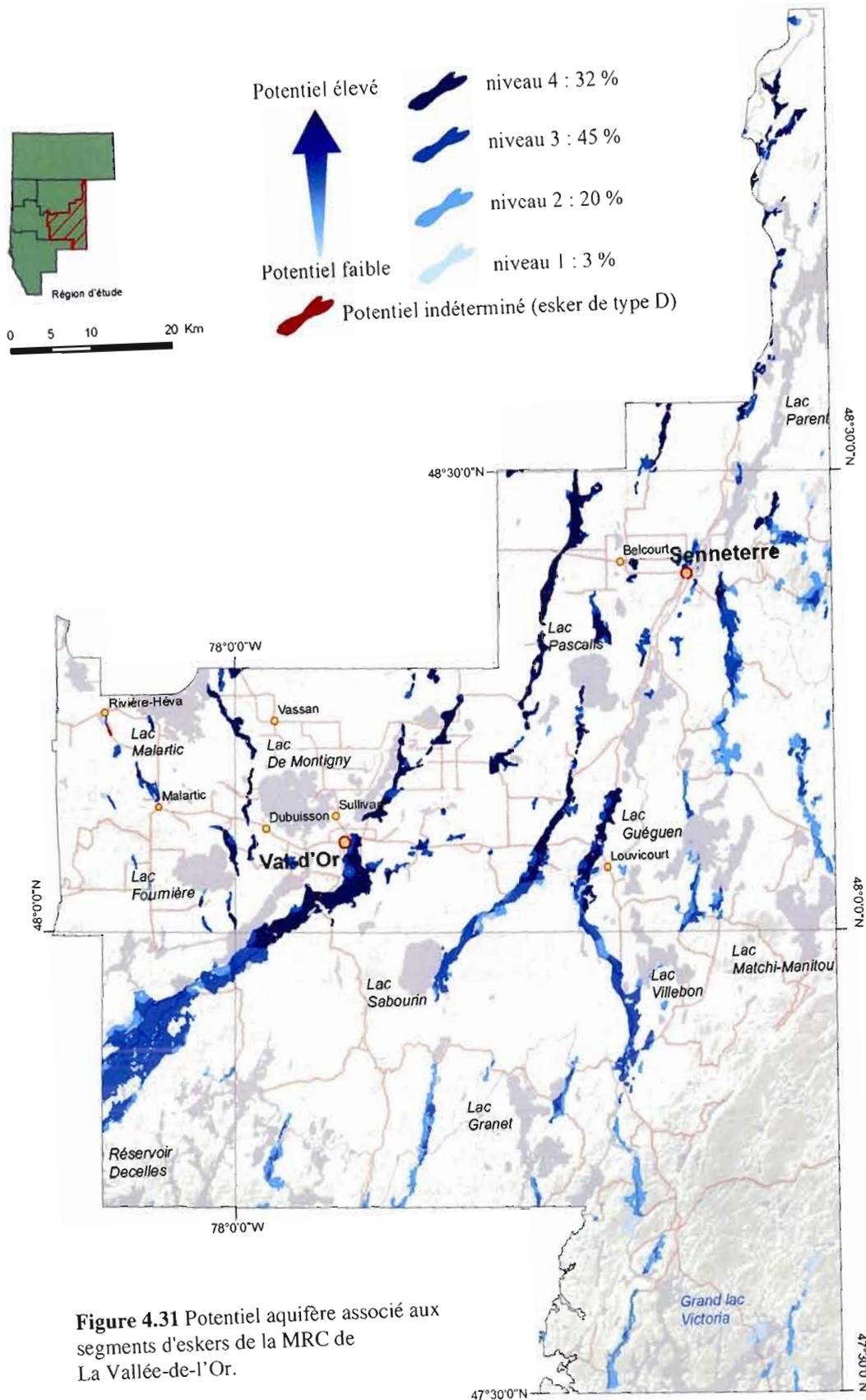
Une épaisse tranche d'eau a couvert la MRC d'Abitibi-Ouest favorisant ainsi une forte accumulation de sédiments à grains fins. Les eskers de la MRC sont majoritairement du type semi-enfoui (type C) ou complètement enfoui (type D; tableau 4.4). La couverture peu perméable sur leurs flancs permet de contenir l'eau souterraine. À certains endroits, des tourbières en flancs d'eskers et quelques sources ponctuelles indiquent la présence d'un aquifère. Ces sources se retrouvent surtout associées aux plus grands eskers, ceux dont les épaisseurs apparentes sont les plus élevées, tels que l'esker de Launay, celui à l'est du lac Macamic et celui au nord de La Sarre. Dans cette MRC, 47 % des eskers présentent un potentiel de niveau 3 et 50% atteignent le niveau 4 (tableau 4.8). Leur répartition est illustrée sur la figure 4.30. L'absence de segments d'eskers dans des zones peu profondes (types A et B) se traduit par la faible proportion de niveau 1 (0 %) et de niveau 2 (3 %).



**Figure 4.30** Potentiel aquifère associé aux segments d'eskers de la MRC d'Abitibi-Ouest.

#### 4.2.5.2.3 MRC de La Vallée-de-l'Or

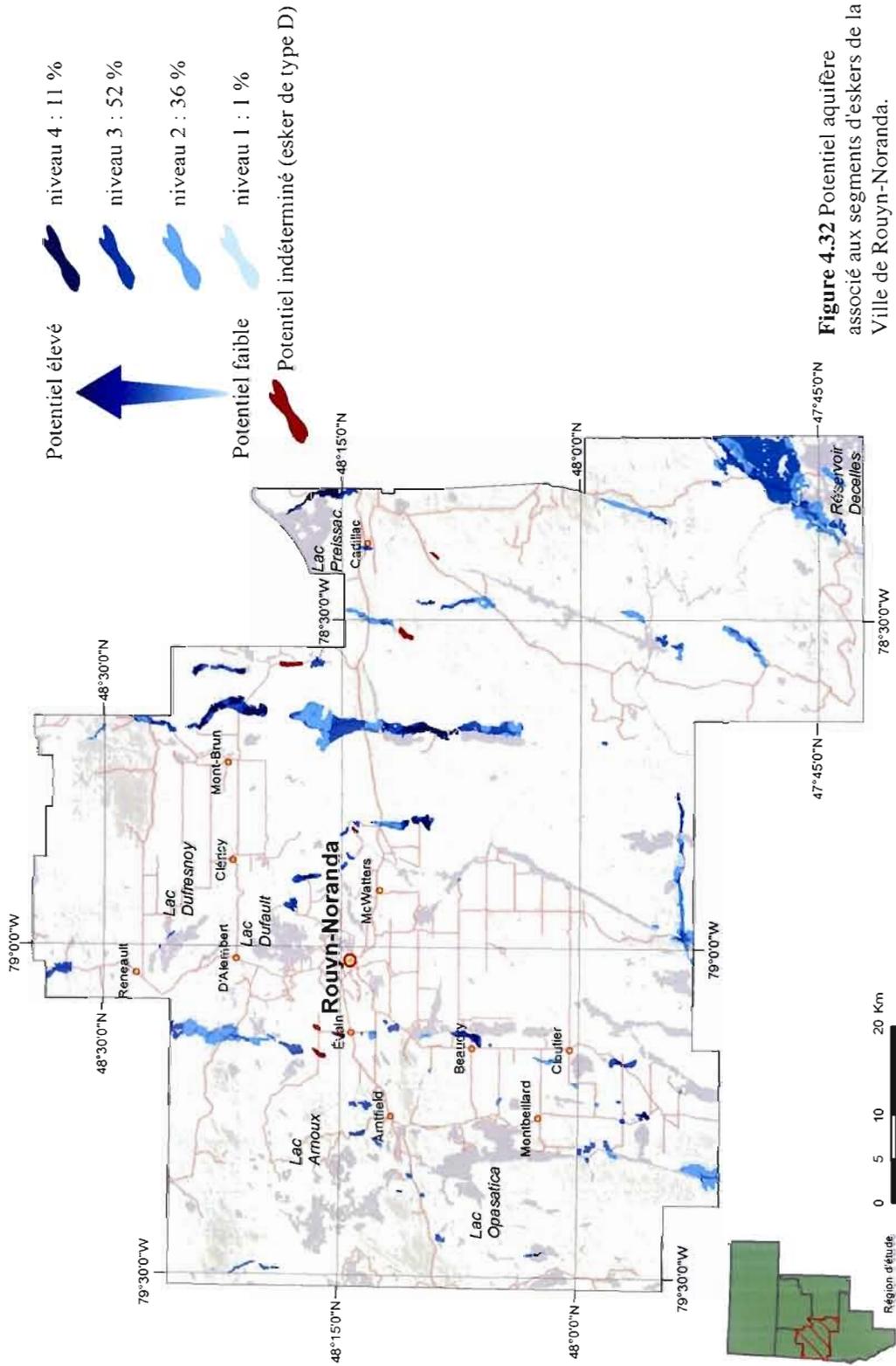
La MRC de La Vallée-de-l'Or contient le plus grand volume de dépôts granulaires apparents de la région (29,3 % du volume granulaire, tableau 3.1). Les grandes masses granulaires se présentent sous deux types distincts d'eskers; soit le type B, principalement dans la moitié sud, et le type C, au nord (voir figure 4.15). Le potentiel aquifère des segments de la MRC est associé aux caractéristiques de ces deux types. Au nord, la présence de sédiments peu perméables augmente le potentiel aquifère; on y retrouve 32 % d'eskers de niveau 4. La présence de nombreuses sources diffuses sous la forme de tourbières en flancs d'esker suggère un haut niveau phréatique dans l'esker du lac Despinassy, dans celui à l'ouest de Louvicourt et celui à l'est du lac Malartic. Des sources ponctuelles sont observables sur les flancs de la Moraine d'Harricana et sur l'esker au sud du lac Pascal. La ville de Val-d'Or tire son eau d'un puits à fort débit dans les dépôts granulaires de la Moraine d'Harricana. Au sud de la limite de la plaine argileuse, malgré l'absence de sédiments à grains fins sur leurs flancs, la probabilité de contenir de l'eau souterraine pourrait être élevée par endroits. Le niveau 3 domine et caractérise 45 % des eskers de la MRC. Plusieurs zones de sources diffuses, aussi sous la forme de tourbières en flancs d'eskers, indiquent la présence d'eau souterraine dans les eskers. La taille imposante des eskers pourrait cacher des dépressions dans le roc susceptibles de former des réservoirs d'eau importants. La Moraine d'Harricana, les segments d'esker près du lac Sabourin et du lac Villebon et l'esker de Senneterre sont les principaux segments qui illustrent ce niveau de potentiel. Plus au sud, le niveau de potentiel aquifère diminue : c'est là que se concentrent les eskers de niveau 2 (20 % des cas) et de niveau 1 (3 %). Cette diminution du potentiel aquifère se corrèle avec des masses granulaires réduites.



**Figure 4.31** Potentiel aquifère associé aux segments d'eskers de la MRC de La Vallée-de-l'Or.

#### 4.2.5.2.4 La Ville de Rouyn-Noranda

Les segments d'eskers les plus imposants de la Ville de Rouyn-Noranda sont situés pour la plupart sur des reliefs positifs du socle rocheux (figure 4.16). À ces endroits, l'absence de sédiments à grains fins peu perméables et la présence d'affleurements rocheux à proximité des eskers diminuent leur potentiel aquifère. Plusieurs de ces segments possèdent un potentiel aquifère associé à de petits réservoirs. Cette tendance se traduit par la proportion de segments de niveaux 2 qui atteignent 36 %. Néanmoins, 52 % des segments ont un potentiel aquifère de niveau 3 ce qui indique souvent la présence d'eau souterraine dans les formations granulaires. La figure 4.32 permet d'observer la répartition spatiale du potentiel aquifère pour l'ensemble du territoire de la Ville de Rouyn-Noranda. Comme c'est le cas pour l'esker Vaudray-Joannès, certains secteurs ciblés sont flanqués de sédiments à grains fins et montrent des sources ponctuelles ou diffuses révélant la présence d'eau souterraine. Le niveau 4 s'applique à 11 % des segments et se concentre dans la partie sud-est de la MRC (Moraine d'Harricana). Plusieurs petits segments, dispersés à l'intérieur de la plaine argileuse affleurent quelques fois à la surface de la plaine argileuse. Dans ces cas, la probabilité qu'ils contiennent de l'eau souterraine est élevée, atteignant souvent le niveau 3, cependant l'absence de sources ne nous permet pas de confirmer la présence d'eau.



**Figure 4.32** Potentiel aquifère associé aux segments d'eskers de la Ville de Rouyn-Noranda.

#### 4.2.5.2.5 Le sud de la Baie-James

Les segments d'eskers du sud de la Baie-James sont majoritairement du type C (voir tableau 4.3), mais avec une plus forte concentration à l'ouest de Matagami. Mis en place sous une épaisseur d'eau supérieure à 100 mètres (voir figure 4.18), la plupart des segments présentent des conditions nécessaires à un bon potentiel aquifère. Le potentiel aquifère atteint le niveau 4 pour 65 % des segments d'esker. Les plus grands eskers, l'esker de Saint-Mathieu-Berry et la Moraine d'Harricana, atteignent ce niveau. De grandes tourbières sur les flancs indiquent la présence d'un haut niveau phréatique dans la formation granulaire. À l'est de Matagami, les segments d'esker sont plus discontinus et les résurgences d'eau moins apparentes. Le segment le plus imposant, au sud du lac au Goéland, occupant un ancien haut-fond montre des niveaux variant entre 2 et 3. La majorité des eskers de niveau 3 (24 %) et de niveau 2 (10 %) se retrouve sur ce segment et sur les petits segments d'eskers au sud-est du territoire (figure 4.33). À ces endroits, l'accumulation des sédiments à grains fins se serait faite à une profondeur d'eau supérieure à 50 mètres. Les unités de till et de roc dominant à proximité des segments réduisant le potentiel aquifère. Dans ces cas, le réservoir aquifère dépend des irrégularités du socle rocheux sous-jacent. Le potentiel aquifère descend rarement sous le niveau 2.

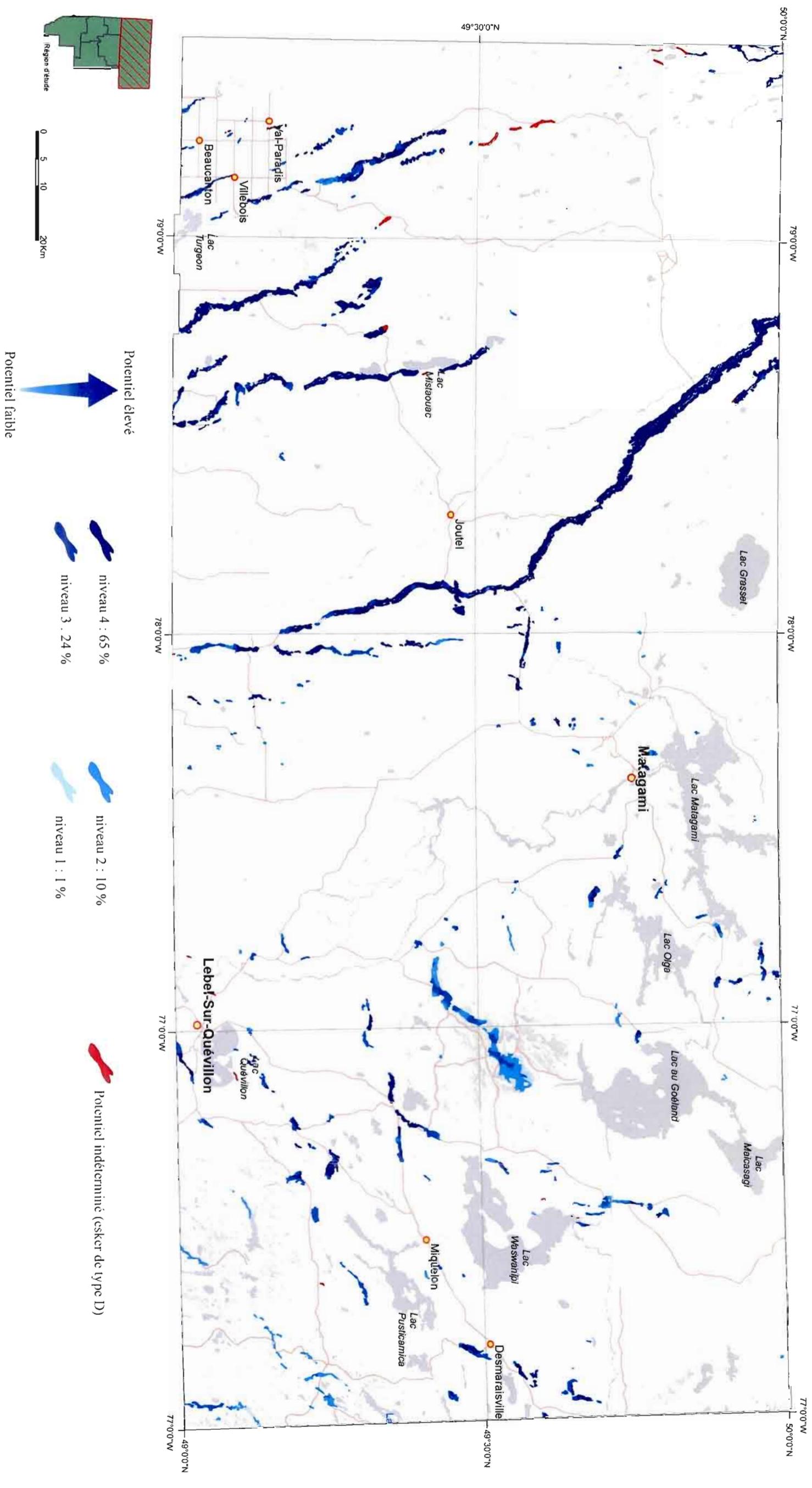


Figure 4.33 Potentiel aquifère associé aux segments d'eskers du sud de la Baie-James.

#### 4.2.5.2.6 La MRC de Témiscamingue

La moitié des eskers de la MRC de Témiscamingue ont été mis en place dans un environnement supra-aquatique (tableau 4.3). Ces eskers présentent habituellement des conditions moins favorables à la retenue d'eau souterraine. Seules les dépressions du socle rocheux sous-jacent aux eskers, et donc non perceptibles à la surface, permettent d'y maintenir une eau souterraine. La petite taille de ces segments ne favorise toutefois pas la présence de grands réservoirs. Ces segments d'eskers ont un potentiel aquifère de niveau 1 et comptent pour 11 % des eskers du territoire. On les retrouve pour la plupart au centre de la région, au sud-est de Belleterre (figure 4.34). La grande majorité des eskers, soit 63 %, ont un niveau de 2. Pour ceux-ci, le maintien d'une eau souterraine est attribuable aux irrégularités du socle rocheux dissimulées sous les sables et graviers. Quelques petites résurgences d'eau indiquent sporadiquement la présence d'eau souterraine, mais étant donné la présence élevée d'affleurement rocheux sur le flanc de ces eskers, le volume potentiel d'un réservoir demeure faible. Ce potentiel aquifère se retrouve sur tous les segments d'esker de la MRC. Près du lac Témiscamingue, dans les secteurs à plus basse altitude, certains eskers sont bordés de sédiments à grains fins. On y observe plusieurs eskers dont le potentiel aquifère est de niveau 3 (23 % des cas), dont la Moraine de Laverlochère et quelques segments à l'ouest du lac Simard. Dans cette MRC, les eskers de niveau 4 sont rares et se concentrent entre le lac Témiscamingue et le lac Simard.

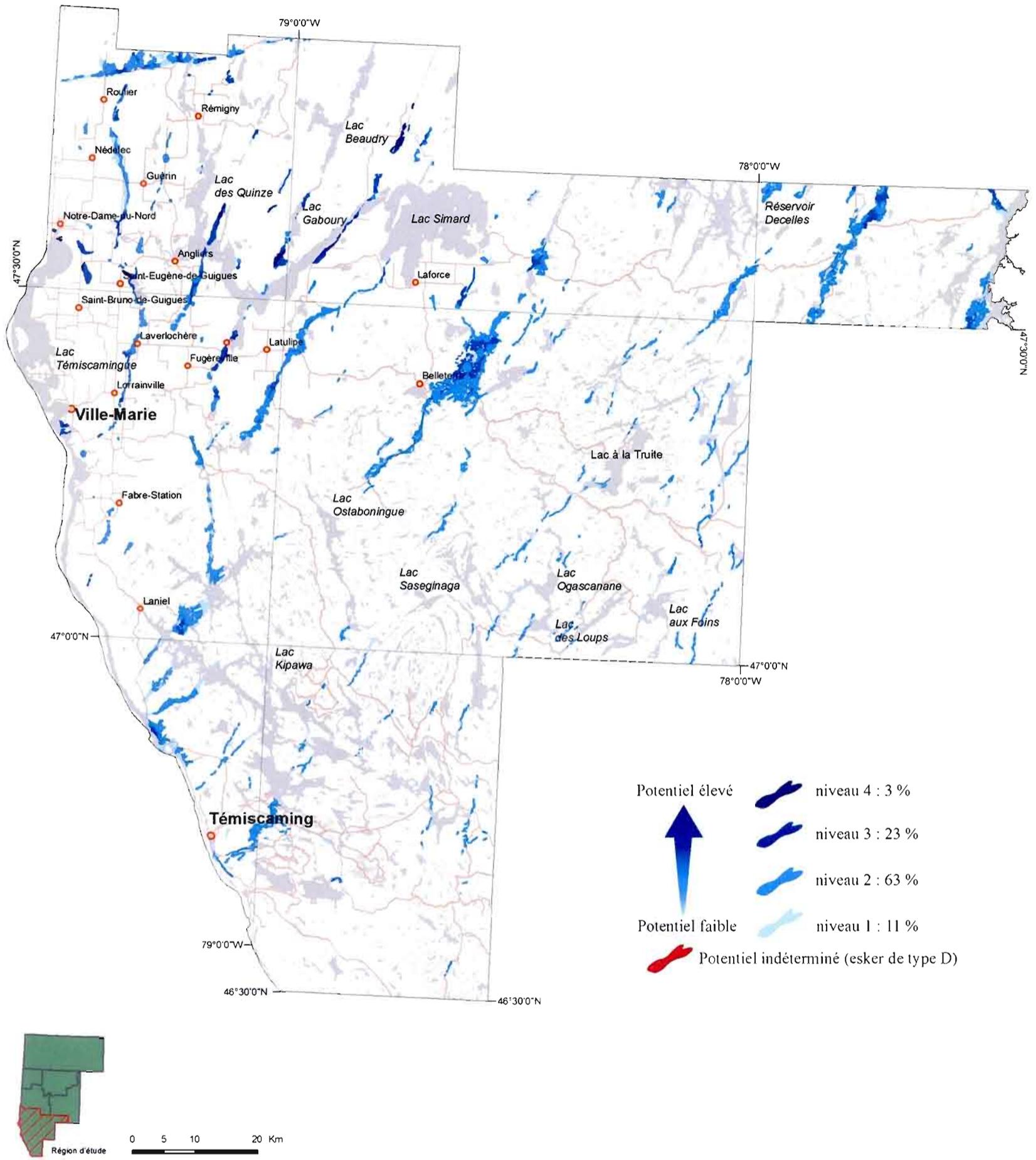


Figure 4.34 Potentiel aquifère associé aux segments d'eskers de la MRC de Témiscamingue.

## CHAPITRE V

### SYNTHÈSE ET CONCLUSION

#### 5.1 Les grands constats

La présente étude permet de jeter les bases en vue du développement d'une gestion adaptée aux dépôts granulaires (eskers) de l'Abitibi-Témiscamingue et du sud de la Baie-James. Ces dépôts renferment 10 610 millions de m<sup>3</sup> (10,6 km<sup>3</sup>) de sables et graviers pour l'ensemble de la région. Il est important de bien saisir que ce volume représente une valeur minimale due à l'enfouissement de la base des eskers sous des sédiments à grains fins. Par contre, la partie des eskers qui affleure comprend le noyau grossier des eskers dans lequel la majorité des bancs d'emprunt sont situés. Les travaux de Kinnunen *et al.* (2006) ont estimé que les eskers sont constitués généralement de 25 % de graviers et de 75 % de sables; en ce sens, le volume de graviers, principale granulométrie d'intérêt économique, serait de 2 650 millions de m<sup>3</sup>. Le volume total de dépôts granulaires de l'Abitibi-Témiscamingue et du sud de la Baie-James est loin d'être complètement exploité. Seulement une petite fraction est présentement prélevée. Toutefois, la disparité dans les volumes contenus dans les MRC (voir tableau 3.1) crée des problématiques de gestion différentes pour chacune. On retrouve minimalement 3 105 millions de m<sup>3</sup> de sables et graviers dans la MRC de La Vallée-de-l'Or, 2 503 millions de m<sup>3</sup> dans le sud la Baie-James, 1 950 millions de m<sup>3</sup> dans la MRC d'Abitibi, 1 630 millions de m<sup>3</sup> dans la MRC de Témiscamingue, 1 279 millions de m<sup>3</sup> dans la Ville de Rouyn-Noranda et 143 millions de m<sup>3</sup> dans la MRC d'Abitibi-Ouest.

Ces valeurs hétérogènes obtenues pour les MRC sont en partie attribuables aux différents milieux de mise en place des eskers et leur évolution dans la région. Les eskers mis en place dans les milieux sous-aquatiques (90 % des cas dans la région étudiée) sont généralement

plus imposants que les eskers du milieu supra-aquatique (10 % des cas). Leur taille atteint plusieurs dizaines de mètres de hauteur et leurs crêtes, continues sur plusieurs dizaines de kilomètres, semblent faire abstraction des irrégularités du roc. Ils se retrouvent autant sur des reliefs positifs que dans des dépressions. Au contraire, les segments mis en place à l'extérieur de l'étendue glaciolacustre sont plus courts et effilés. Ils se localisent principalement dans le fond des vallées, et semblent contrôlés par la morphologie du socle rocheux. Le volume des dépôts granulaires est donc plus important dans les zones de submersion glaciolacustre.

La modélisation de l'altitude maximale de la submersion glaciolacustre et l'analyse des unités lithostratigraphiques glaciolacustres à proximité des eskers ont servi à l'identification des différents milieux de mise en place des eskers. À l'échelle régionale, les segments d'eskers situés à l'extérieur de la zone de submersion (type A, 10 % de tous les eskers), les segments d'eskers du milieu littoral (type B, 31 % de tous les eskers), les segments d'eskers partiellement enfouis sous les sédiments à grains fins (type C, 58 % de tous les eskers) et les segments d'eskers complètement enfouis par ces mêmes sédiments (type D, 1 % de tous les eskers) ont pu être identifiés. La proportion de ces milieux de mise en place pour les eskers a été présentée pour chacune des MRC à l'étude (voir section 4.1).

Parce qu'ils contiennent des sédiments poreux, tous les eskers ont le potentiel de contenir de l'eau souterraine. À partir de l'identification de leur milieu de mise en place, de la présence ou de l'absence d'unités de till ou de roc à proximité des eskers, de la présence ou de l'absence des sources d'émergence d'eau diffuses ou ponctuelles, nous avons attribué un niveau relatif au potentiel aquifère de ces eskers; le niveau 4 correspond au meilleur potentiel et le niveau 1 au plus faible. Ainsi, à l'échelle de la région, 39 % des segments d'esker appartiennent au niveau 4 et 32 % au niveau 3. On constate que ces derniers segments, qui contiennent un certain potentiel aquifère, ont été majoritairement mis en place en milieu sous-aquatique. La sédimentation de grains fins peu perméable, liée à l'augmentation de la profondeur d'eau, a favorisé la présence d'eau souterraine dans les segments. Dans les zones sublittorales, les plus grands eskers montrent aussi des indices de bons aquifères, probablement dus à leur taille imposante et aux irrégularités du socle rocheux qu'ils camouflent. Pour les eskers du milieu supra-aquatique, les chances d'y maintenir un volume

d'eau sont plus faibles. Dans la plupart des cas, ces eskers forment de petits segments effilés peu propices à la formation d'aquifères granulaires. Ces eskers renferment la majeure partie des segments de niveau 1 (3 % de tous les segments d'esker) et 2 (26 % des segments).

Pour chacun des secteurs de la région d'étude, on peut dresser un bilan des principaux résultats obtenus. Dans la MRC d'Abitibi, les eskers font en moyenne 5,76 m de hauteur, couvrent 338,5 km<sup>2</sup> (4,26 % du territoire de la MRC; 1 950 millions de m<sup>3</sup>) et appartiennent majoritairement au type semi-enfoui (84 % des segments d'esker sont de type C). Certains segments recouvrent des reliefs positifs du socle rocheux permettant de les considérer comme mis en place en milieu d'eau peu profonde (15 % des segments d'esker sont de type B). Le potentiel aquifère est élevé; 69 % des eskers ont un niveau 4 et 23 % un niveau 3.

Les eskers de la MRC d'Abitibi-Ouest affleurent peu à la surface de la plaine argileuse avec une hauteur moyenne de seulement 1,74 m et une couverture de 82,2 km<sup>2</sup> (2,27 % du territoire de la MRC); ils forment la plus faible réserve de dépôts granulaires de la région étudiée (143 millions de m<sup>3</sup>). Les eskers sont soit semi enfouis (90 % d'esker de type C), avec un enfouissement plus marqué que dans les autres MRC, ou complètement enfouis (10 % d'esker de type D). Les eskers semi-enfouis présentent quand même un bon potentiel aquifère; 50 % de niveau 4 et 47 % de niveau 3.

La MRC de La Vallée-de-l'Or possède la plus grande réserve de dépôts granulaires (3 105 millions de m<sup>3</sup>). La taille des segments (6,25 m de hauteur moyenne) et leur grande superficie de 496,5 km<sup>2</sup> (5,88 % de la surface de la MRC) expliquent ce fort volume. À plusieurs endroits, la faible profondeur d'eau n'a pas permis l'enfouissement des eskers sous les sédiments à grains fins (53 % des eskers sont de types B) laissant affleurer un plus grand volume de dépôts granulaire. Le potentiel aquifère est généralement bon; 45 % des eskers sont de niveau 3 et 32 % de niveau 4.

La Ville de Rouyn-Noranda possède plusieurs eskers localisés sur des points hauts du socle rocheux (63 % des eskers sont de type B). La hauteur moyenne des eskers à 6,95 m est la plus élevée de la région. Cependant, ces eskers ne couvrent que 184,1 km<sup>2</sup> (2,84 % du territoire de

la MRC) de sorte que la réserve de dépôts granulaires est la deuxième plus faible (1 279 millions de m<sup>3</sup>). Le potentiel aquifère des segments d'eskers est à plusieurs endroits limité par la proximité du socle rocheux; les segments de niveau 4 sont rares, mais tout de même 52 % sont de niveau 3.

Les eskers du sud de la Baie-James occupent seulement 1,85 % du territoire, toutefois, étant donné sa grande étendue, 524,4 km<sup>2</sup> sont couverts d'un esker. Le volume de la réserve de dépôts granulaires s'avère donc élevé (2 503 millions de m<sup>3</sup>). La Moraine d'Harricana et l'esker Saint-Mathieu-Berry sont les principales formations de la région et sont de type semi-enfoui (type C). La forte proportion d'eskers semi-enfouis (87 % des segments) produit un excellent potentiel aquifère; 65 % sont de niveau 4 et 24 % sont de niveau 3.

Les eskers de la MRC de Témiscamingue occupent 552,8 km<sup>2</sup> (4,10% du territoire de la MRC étudié; 1 630 millions de m<sup>3</sup>). Ils ont majoritairement été mis en place à l'extérieur de la submersion glaciolacustre (44 % des eskers sont de type A) ou en eau peu profonde (34 % des eskers sont de type B). La hauteur moyenne (2,95 m) est faible de même que le potentiel aquifère; 63 % des segments sont de niveau 2.

## 5.2 Limites de la méthode utilisée pour le calcul du volume de dépôts granulaires

Les données présentées au tableau 3.1 sous-estiment le volume total réel des dépôts granulaires. Les sédiments à grains fins accumulés sous une épaisse tranche d'eau masquent la partie basale des eskers et réduisent ainsi le volume calculable : plus l'épaisseur des sédiments à grains fins est grande, plus l'estimation du volume de dépôts granulaires est réduite. Étant donné que le calcul du volume ne prend pas en compte les dépôts enfouis, le volume calculé est nettement inférieur au volume réel. Les eskers mis en place dans un environnement sous-aquatique en eau profonde sont habituellement imposants et se prolongent sous les sédiments à grains fins. Les travaux sur un segment de l'esker Saint-Mathieu-Berry (Riverin, 2006; Bolduc *et al.*, 2005) et un autre sur un secteur de l'esker de Barraute (Veillette *et al.*, 2007) ont démontré que les masses granulaires enfouies peuvent s'étaler sur de grandes distances sous les sédiments à grains fins. Étant donné que plus de

58 % des eskers ont une partie de leur volume masqué par des sédiments à grains fins (type C), le volume de la réserve régionale de dépôts granulaires calculé est nettement sous-estimé (voir figure 3.1 pour l'effet de l'enfouissement des flancs d'eskers sur la hauteur déterminée). Cette limitation est plus marquée dans les secteurs (ex : MRC d'Abitibi-Ouest) où les sédiments à grains fins sont abondants.

### 5.3 Travaux complémentaires et problématiques de gestion

Le coût élevé du transport des dépôts granulaires favorise l'exploitation de bancs d'emprunt à proximité des centres habités. Près des secteurs urbanisés, la réserve en dépôts granulaires s'appauvrit et exige l'ouverture continue de nouveaux bancs d'emprunts. Cette activité d'extraction entre en conflit avec l'approvisionnement en eau potable de certaines municipalités. L'attribution des secteurs exploitables pour les agrégats exige la connaissance précise des caractéristiques physiques des aquifères. L'analyse de la réserve de dépôts granulaires, illustrée par la carte 3.4, et la répartition du potentiel aquifère selon une échelle qualitative, illustrée par la carte 4.27, constituent une contribution scientifique en ce sens.

La hiérarchisation du potentiel aquifère réalisée au cours de la présente étude permet d'encadrer les prochaines études géologiques et hydrogéologiques spécifiques. Ces dernières pourront prioriser les segments d'esker où le potentiel aquifère est le plus élevé (les niveaux 3 et 4) et où les conflits entre les utilisateurs des eskers (ex : puits municipaux, bancs d'emprunt, etc.) sont les plus probables. Des travaux complémentaires dont l'objectif serait d'établir les liens entre les réserves de dépôts granulaires et le potentiel aquifère deviennent nécessaires pour recommander des segments d'eskers appropriés pour l'exploitation de la ressource granulaire et pour localiser des segments où des actions de protection de la ressource en eau souterraine devraient être mises en place.

La méthode de calcul présentée dans le chapitre III s'applique au calcul du volume d'une masse surplombant ses environs. Pour accroître la précision du calcul, des forages montrant la topographie du socle rocheux sous-jacent aux eskers et dans leur voisinage immédiat seraient utiles afin de connaître l'épaisseur réelle du dépôt. De plus, ils permettraient de

préciser l'épaisseur et l'étendue des sables d'épandage et des sédiments à grains fins de faible perméabilité sur les flancs des eskers. La topographie du socle rocheux, camouflée sous les dépôts meubles, est un facteur déterminant dans l'écoulement des eaux souterraines. Elle est très souvent responsable de la présence, ou non, d'une nappe d'eau souterraine dans les eskers. Une meilleure définition de sa morphologie permettrait également de valider ou d'infirmer la présence d'un aquifère dans un segment.

La connaissance du niveau de la nappe phréatique permettrait également d'évaluer le volume de dépôts saturés versus celui des dépôts non saturés. Les travaux de Bolduc *et al.* (2005) dans l'esker de Saint-Mathieu-Berry ont montré que 65 % du volume de l'esker était dans la zone saturée. L'ajout de ces informations permettrait d'estimer le volume d'agrégats exploitable, ainsi que le volume de l'aquifère.

Enfin, la délimitation de la zone de recharge des aquifères granulaires, les sens d'écoulement des eaux et l'hydrogéochimie en lien avec la minéralogie des eskers sont tous des éléments à approfondir pour améliorer nos connaissances sur les problématiques intervenant dans la gestion des eskers.

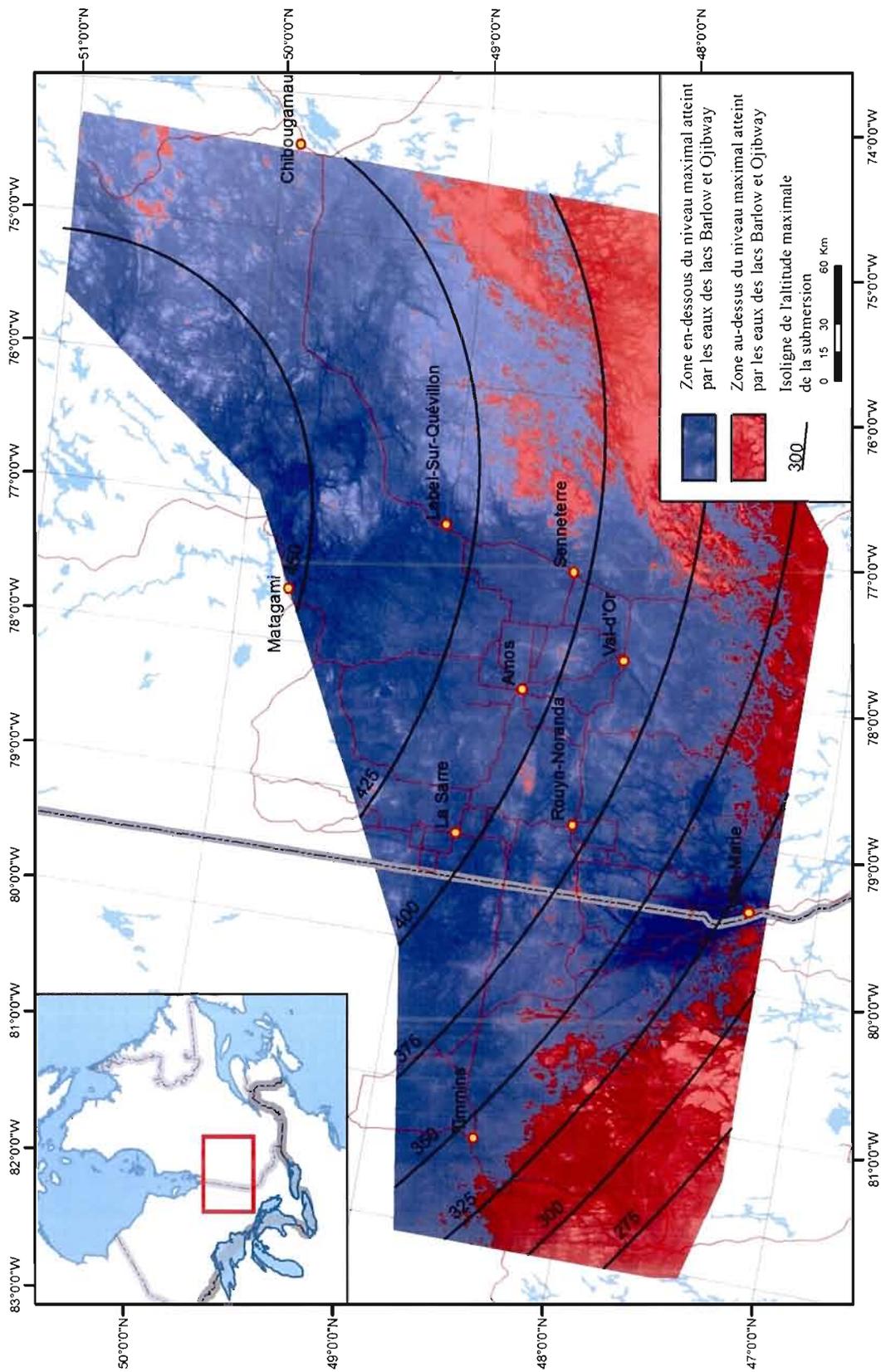
La gestion des eskers ne doit pas se limiter au contexte géologique, mais doit aussi tenir compte des activités anthropiques affectant la qualité de l'eau souterraine. Étant un milieu bien drainé, les produits nocifs qui s'infiltrent à la surface par les sables et graviers peuvent atteindre par percolation la nappe phréatique et contaminer des sources d'approvisionnement. Ainsi, les aquifères à nappe libre des eskers sont vulnérables aux activités humaines. Toutefois, les risques de contaminations diffèrent selon le type d'activité et leur localisation vis-à-vis l'aquifère. Même les activités situées en périphérie des eskers peuvent influencer les aquifères granulaires adjacents. Des études axées sur l'influence de ces diverses activités humaines permettraient d'obtenir des connaissances sur les problèmes actuels de contaminations, sur les zones vulnérables et sur les impacts à venir.

Les eskers de l'Abitibi-Témiscamingue et du sud de la Baie-James sont des formations granulaires issues de la dernière glaciation qui aujourd'hui font office de ressources utilisées

dans plusieurs sphères de l'économie. Que ce soit pour leur intérêt en dépôts granulaires, leur bon drainage, leur couvert forestier intéressant pour l'industrie forestière, la qualité et la quantité de l'eau qu'elle renferme ou les lacs de kettles prisés par les villégiateurs, les eskers se retrouvent au cœur de l'économie abitibienne. Compte tenu de la fragilité des aquifères, une gestion saine et responsable est nécessaire pour un développement durable. La présente étude offre une première évaluation régionale de la ressource qui doit être développée afin d'en arriver à une connaissance exhaustive de ces formations granulaires. L'histoire glaciaire a fait, de l'Abitibi-Témiscamingue, une région distincte munie de ressources naturelles précieuses. L'exploitation de ces ressources se doit d'être bien gérée. La qualité de vie des gens de l'Abitibi-Témiscamingue et du sud de la Baie-James en dépend.

## APPENDICE

MODÉLISATION DE L'ÉTENDUE DE LA SUBMERSION GLACIOLACUSTRE BASÉE  
SUR LA POSITION GÉOGRAPHIQUE ORIGINALE DES DONNÉES D'ALTITUDES  
DES LIGNES DE LESSIVAGE



## BIBLIOGRAPHIE

- Allard, M. 1973. «Les eskers de l'interfluve Bell-Harricana, Abitibi. ». Thèse de maîtrise, Québec, Université Laval, 209 p.
- Allard, M. 1974. «Géomorphologie des eskers abitibiens». *Cahiers de géographie du Québec*, vol. 18, no 44, p. 271-296. In *Érudit*. Érudit : <http://www.erudit.org/>. En ligne. <<http://id.erudit.org/iderudit/021195ar>>.
- Antevs, E. 1925. Retreat of the last ice sheets in eastern Canada. Geological Survey of Canada, Memoire 146, 142 p.
- Artimo, A., J. Mäkinen, R. C. Berg, C. C. Abert et S. Veli-Pekka. 2003. «Three-dimensional geologic modeling and visualization of the Virttaankangas aquifer, southwestern Finland». *Hydrogeology Journal*, vol. 11, p. 378-386.
- Banerjee, I., et B. C. McDonald. 1975. «Nature of esker sedimentation; in Glaciofluvial and Glaciolacustrine sedimentation». *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, no 23 special publication, p. 132-154.
- Barber, D. C., A. Dyke, C. Hillaire-Marcel, A. E. Jennings, J. T. Andrews, M. W. Kerwin, G. Bilodeau, R. McNeely, J. Southon, M. D. Morehead et J. M. Gagnon. 1999. «Forcing of the cold event of 8,200 years ago by catastrophic drainage of Laurentide lakes». *Nature*, vol. 400, no 6742, p. 344-348. En ligne. <<http://dx.doi.org/10.1038/22504>>.
- Bell, L. V., et A. M. Bell. 1933. «Région de Senneterre, comté d'Abitibi ». *Ministère des richesses naturelles*, Québec, rapport B1933.
- Blanchard, R. 1949. «Études canadiennes (3<sup>e</sup> série)». IV, l'Abitibi-Témiscamingue; *Revue de géographie alpine*, tome 37, fascicule 3, p. 421-451.
- Bliss, J. D. 1998. «Aggregate modeling and assessment». In *Aggregate resources—A global perspective*, P.T Bobrowsky, p. 255–274. Rotterdam, Netherlands: A.A. Balkema.
- Boissonneau, A. N. 1968. «Glacial history of northeastern Ontario, II». *The Temiscaming-Algonia area; Canadian Journal of Earth Sciences*, vol. 5, p. 97-109.

- Boisvert, É., et M. Parent. 2008. Carte isopaque des formations superficielles, secteur Normétal/Lebel-sur-Quévillon, Abitibi, Québec, Commission géologique du Canada, Dossier public 5830, échelle 1 / 250 000
- Bolduc, A. 1992. «The formation of eskers based on their morphology, stratigraphy, and lithologic composition, Labrador, Canada». Trad. de: *anglais*. Geological sciences, Lehigh University.
- Bolduc, A., S. J. Paradis, M.-N. Riverin, R. Lefebvre et Y. Michaud. 2005. «A 3D esker geomodel for groundwater research: the case of the Saint-Mathieu-Berry esker, Abitibi, Québec, Canada». In *Three-Dimensional Geologic Mapping for groundwater applications*: Geological Survey of Canada.
- Boulton, G. S., R. Lunn, P. Vidstrand et S. Zatsepin. 2007. «Subglacial drainage by groundwater-channel coupling, and the origin of esker systems: Part 1--glaciological observations». *Quaternary Science Reviews*, vol. 26, no 7-8, p. 1067-1090. En ligne. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VBC-4NH6NF7-1/2/fdea17607213bbb744a79f2dace1fba8>>.
- Boulton, G. S., R. Lunn, P. Vidstrand et S. Zatsepin. 2007. «Subglacial drainage by groundwater-channel coupling, and the origin of esker systems: part II--theory and simulation of a modern system». *Quaternary Science Reviews*, vol. 26, no 7-8, p. 1091-1105. En ligne. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VBC-4NDVVDH-1/2/bb712b6b5e3708657ce8793d2dd03582>>.
- Boulton, G. S., M. Hagdorn, P. B. Maillot et S. Zatsepin. 2009. «Drainage beneath ice sheets: groundwater-channel coupling, and the origin of esker systems from former ice sheets». *Quaternary Science Reviews*, vol. 28, no 7-8, p. 621-638. En ligne. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VBC-4V0VC3J-2/2/45b01c4001938cac57e9858cc0a385c8>>.
- Bostock, H. J. 1970. «Physiographic subdivisions of Canada». In *Geology and Economic Minerals of Canada*, R.J.W Douglas (ed.). Geological Survey of Canada, p. 11-30.
- Brazeau, A. 2001. Inventaire des ressources en granulats de la région de Cléricy (32D/07). Ministère des ressources naturelles.
- Brazeau, A. 2001. Inventaire des ressources en granulats de la région de rivière Kanasuta (32D/06). Ministère des ressources naturelles.
- Brazeau, A. 2001. Inventaire des ressources en granulats de la région de Lac Kinojevis (32D/02). Ministère des ressources naturelles.
- Brazeau, A. 2001. Inventaire des ressources en granulats de la région de Rouyn (32D/03). Ministère des ressources naturelles.

- Brazeau, A. 2007. Inventaire des ressources en granulats de la région de Barraute (32C05). Ministère des ressources naturelles, secteur des mines.
- Brazeau, A. 2007. Inventaire des ressources en granulats de la région de La Motte (32D08). Ministère des ressources naturelles et faune.
- Brazeau, A., J. Locat et J.-Y. Chagnon (1987). Inventaire des ressources en granulats de la région de Val-d'Or. Ministère des ressources naturelles.
- Brennand, T. A. 2000. «Deglacial meltwater drainage and glaciodynamics: inferences from Laurentide eskers, Canada». *Geomorphology*, vol. 32, no 3-4, p. 263-293. En ligne. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V93-3YVDWDG-4/2/3f821f1d45d4c610632e5ea56da7f92b>>.
- Brennand, T. A., et J. Shaw. 1996. «The Harricana glaciofluvial complex, Abitibi region, Quebec: its genesis and implications for meltwater regime and ice-sheet dynamics». *Sedimentary Geology*, vol. 102, no 3-4, p. 221-262. En ligne. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V6X-3VW2B7T-D/2/ab1ee732e27f3107028cd1131e90b206>>.
- Britschgi, R., et J. Gustafsson. 1996. The classified groundwater areas in Finland. The Finnish Environment 55. Helsinki, Finnish Environment Institute
- Burke, M. J. 2008. «GPR Investigations of the Sedimentary Architecture of Jökulhlaup Eskers: Skeiðarárjökull, Iceland and Bering Glacier, Alaska». Thèse de doctorat, Newcastle, University of Northumbria, 239 p.
- Champagne, R. 1988. Évaluation du potentiel aquicole de la région de l'Abitibi à partir des sources d'eau gravitaire émergeant des eskers. Ministère de l'agriculture des pêcheries et de l'alimentation du Québec. Québec
- Clark, J. A., K. M. Befus, T. S. Hooyer, P. W. Stewart, T. D. Shipman, C. T. Gregory et D. J. Zylstra. 2008. «Numerical simulation of the paleohydrology of glacial Lake Oshkosh, eastern Wisconsin, USA». *Quaternary Research*, vol. 69, no 1, p. 117-129. En ligne. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6WPN-4R71KKF-1/2/87c9875695af5582e87b372995af77a3>>.
- Clark, P. U., et J. S. Walder. 1994. «Subglacial drainage, eskers, and deforming beds beneath the Laurentide and Eurasian ice sheets». *Geological Society of America Bulletin*, vol. 106, p. 304-314.
- Clarke, G. K. C. 2005. «Subglacial processes ». *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, vol. 33, p. 247-276.

- Cloutier, V., J. J. Veillette, M. Roy, F. Gagnon et D. Bois. 2007. *Regional hydrogeochemistry of groundwater in fractured Canadian Shield rock and glaciofluvial formations in Abitibi, Québec.: 60th Canadian Geotechnical Conference and 8th Joint CGS/IAH-CNC Groundwater Conference* (Ottawa).
- Coleman, A. P. 1909. Lake Ojibway: Last of the great glacial lakes; Ontario Bureau of Mines. Annual report 18: 284-293 p.
- Côté, M.-J., Y. Lachance, C. Lamontagne, M. Nastev, R. Plamondon et N. Roy (2006). Atlas du bassin versant de la rivière Châteauguay, Collaboration étroite avec la Commission géologique du Canada et l'Institut national de la recherche scientifique - Eau, Terre et Environnement. Québec : Ministère du Développement durable et de l'Environnement et des Parcs.: 64 p.
- Dadswell, M. J. 1974. «Distribution, ecology, and postglacial dispersal of certain crustaceans and fishes in eastern North America». National museums of Canada, *Zoology*, vol. 11, p. 110.
- Daigneault, R.-A. 1986. «Aspects de la géologie quaternaire au Témiscamingue (Québec): lithostratigraphie, sédimentologie et dispersion glaciaire». Thèse de maîtrise, Montréal, Département des sciences de la Terre, Université du Québec à Montréal, 137 p.
- Dubois, J.-M. M. 1972. «Sur la position des eskers dans les Cantons de l'Est, Province de Québec». *Géoscope*, vol. 3, no 2, p. 1-17.
- Dyke, A. S., et V. K. Prest. 1987. «Late Wisconsinan and Holocene history of the Laurentide Ice Sheet ». *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 41, p. 237-263.
- Eliasson, A. 2000. «Groundwater impact assessment and protection - predictive simulations for decision aid». Department of Civil and Environmental Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, 132 p.
- Gustafsson, J., T. Kinnunen, A.-L. Kivimäki et T. Suomela (2006). Protection of groundwater Background study part IV, Guidelines for Water Protection to 2015, Finnish Environment Institute (SYKE): 52 p
- Hardy, L. 1976. «Contribution à l'étude géomorphologique de la portion québécoise des basses terres de la baie de James». Thèse de doctorat, Montréal, Département de géographie, Université McGill, 264 p.
- Hardy, L. 1977. «La déglaciation et les épisodes lacustres et marin sur le versant québécois des basses terres de la baie de James». *Géographie physique et Quaternaire*, vol. XXXI, no 3-4, p. 261-273.

- Hatva, T. 1994. «Effect of gravel extraction on groundwater ». *Future groundwater resources at risk*, no 222, p. 427-434
- Heinz, J., S. Kleineidam, G. Teutsch et T. Aigner. 2003. «Heterogeneity patterns of Quaternary glaciofluvial gravel bodies (SW-Germany): application to hydrogeology». *Sedimentary Geology*, vol. 158, no 1-2, p. 1-23. En ligne. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V6X-478B54C-1/2/badd7e14610ef3980a6c56d10abe5ad3>>.
- Hughes, O. L. 1955. «Surficial geology of Smooth Rock and Iroquois Falls map areas». Cochrane District, Ontario; Thèse de doctorat, Lawrence, Kansas University, 190 p.
- Jones, P. M. 2004. Simulation of Ground-Water Flow in Glaciofluvial Aquifers in the Grand Rapids Area, Minnesota. Scientific Investigation Report 2004-5159. USGS science for a changing world, U. S Department of the Interior and U.S Geological Survey
- Joronen, L. 2009. Pohjavesialueiden suojelusuunnitelma. Agence de l'environnement et de la planification. Turku, Finlande: 125 p
- Kinnunen (Ed.), T., S. Valpola, M. Autiola, T. Kärkkäinen, K. Vaitomaa, I. Ahonen, P. Sipilä, J. Vuokko, K. Sivula, A. Lyytikäinen, J. Husa, J. Teeriaho et R. Britschgi. 2006. «Accommodation between groundwater protection and aggregate supply - final report from Uusimaa and Itä-Uusimaa». *Regional Environmental Publications 400*.
- Knight, J., S. G. McCarron, A. M. McCabe et B. Sutton. 1999. «Sand and gravel aggregate resource management and conservation in Northern Ireland». *Journal of Environmental Management*, vol. 56, p. 195-207.
- Königsson, L.-K. 1990. «Economic Quaternary Geology in the Nordic countries». In *Economic Quaternary geology in the Nordic countries (L. K. Kauranne and L. -K. Königsson)*, Uppsala, Striae, vol. 29, p. 3-5..
- Kontturi, O. 1990. «Estimation of Aggregates Consumption in Finland and Sweden». In *Economic Quaternary Geology in the Nordic Countries (L. K. Kauranne and L. -K. Königsson)*, Uppsala, Striae, vol. 29, p. 59-68.
- Korpela, K. 1990. «Land resources and our standard of living ». In *Economic Quaternary Geology in the Nordic Countries (L. K. Kauranne and L. -K. Königsson)*, Uppsala, Striae, Vol. 29 p. 11-14.
- Lasalle, P., et B. Warren. 1968. Distribution des eskers en Abitibi. Ministère de l'énergie et des ressources, direction générale de l'exploration géologique et minérale, DP-135
- Lessard, G., É. Pelletier et P. Mercier. 1994. Inventaire des ressources en granulats de la région d'Amos-Landrienne (SNRC 32C/12 et 32D/09). Ministère des ressources naturelles.

- Levasseur, D. 1993. «Les eskers de la région de Chapais (Québec): caractéristiques générales et dispersion fluvioglaciaire élastique des éléments grossiers». Thèse de maîtrise, Montréal, Université du Québec à Montréal, 139 p.
- Levasseur, D. 1995. «Les eskers : essai de synthèse bibliographique». *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 49, no 3, p. 459-479. In *Érudit*. Érudit : <http://www.erudit.org/>. En ligne. <<http://id.erudit.org/iderudit/033066ar>>.
- Leverington, D. W., J. D. Mann et J. T. Teller. 2000. «Changes in the Bathymetry and Volume of Glacial Lake Agassiz Between 11,000 and 9300 14C yr B.P». *Quaternary Research*, vol. 54, no 2, p. 174-181. En ligne. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6WPN-45BCR5N-2/2/47b87d3a85f559776d9f4781e87740b7>>.
- Leverington, D. W., J. D. Mann et J. T. Teller. 2002. «Changes in the Bathymetry and Volume of Glacial Lake Agassiz between 9200 and 7700 14C yr B.P». *Quaternary Research*, vol. 57, no 2, p. 244-252. En ligne. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6WPN-467Y3Y6-7/2/31a5bfc78790466120ed6f8128c3b87f>>.
- Lindén, A. G. 1990. «Regional Inventory of Aggregate Resources in Sweden». In *Economic Quaternary Geology in the Nordic Countries (L. K. Kauranne and L. -K. Königsson)*, Uppsala, Striae, Vol. 29, p. 69-72.
- Lüttig, G. 1990. «Quaternary research in view of modern requirements of applied geology ». In *Economic Quaternary Geology in the Nordic countries (L. K. Kauranne and L. -K. Königsson)*, Uppsala, Striae, Vol. 29, p. 15-29.
- Miller, T. S. (2000). Simulation of Ground-water Flow in an Unconfined Sand and Gravel Aquifer at Marathon, Cortland County, New York. U.S. Geological Survey. Ithaca: 29 p.
- Ministère de l'énergie et des ressources du Québec / Ontario Geological Survey. 1983. Carte lithostratigraphique de la sous-province de l'Abitibi. DV 83-16 (Québec) et Map 2484 (Ontario), échelle 1 : 500 000.
- Ministère des ressources naturelles. 2002. Carte géologique du Québec. Édition 2002. DV 2002-06, échelle 1 : 2 000 000.
- Murat, V., R. Martel, Y. Michaud, N. Fagnan, F. Beaudoin et R. Therrien. 2000. Cartographie hydrogéologique régionale du piedmont laurentien dans la MRC de Portneuf: Comparaison des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque. Commission géologique du Canada Dossier 3664-d

- Neeb, P.-R. 1990. «Sand, Gravel and Hard Rock Aggregate Resources in the Nordic Countries: Mapping and Consumption». In *Economic Quaternary Geology in the Nordic countries* (L. K. Kauranne and L. -K. Königsson), Uppsala, Striae, Vol. 29, p. 93-98.
- Paradis, S. J. 2005. Géologie des formations en surface et histoire glaciaire, Lac Castagnier, Québec. Commission géologique du Canada. Carte 1991A, échelle 1 : 100 000.
- Paradis, S. J. 2007a. Géologie des formations en surface et histoire glaciaire, Rapide-des-Cèdres, Québec. Commission géologique du Canada. Carte 1992A, échelle 1 : 100 000.
- Paradis, S. J. 2007b. Géologie des formations en surface et histoire glaciaire, Lac Blouin, Québec. Commission géologique du Canada. Carte 2017A, échelle 1 : 100 000.
- Paradis, S. J. 2007c. Géologie des formations en surface et histoire glaciaire, Lebel-sur-Quévillon, Québec. Commission géologique du Canada. Carte 2018A, échelle 1 : 100 000.
- Riverin, M.-N. 2006. «Caractérisation et modélisation de la dynamique d'écoulement dans le système aquifère de l'esker Saint-Mathieu / Berry, Abitibi, Québec». Thèse de maîtrise, Département des sciences de la Terre, INRS-ETE, Université du Québec, 165 p.
- Rusanen, K., L. Finér, M. Antikainen, K. Korkka-Niemi, B. Backman et R. Britschgi. 2004. «The effect of forest cutting on the quality of groundwater in large aquifers in Finland». *Boreal Environment Research*, vol. 9, no 3, p. 253-261. En ligne. <<http://www.borenv.net/BER/pdfs/ber9/ber9-253.pdf>>.
- Rust, B. 1977. «Mass flow deposits in a Quaternary succession near Ottawa, Canada: diagnostic criteria for subaqueous outwash». *Canadian Journal of Earth Sciences*, vol. 14, p. 175-184.
- Sauramo, M. 1929. «Quaternary geology of Finland». In *Bulletin de la Commission géologique de Finlande*, no 86.
- Seppälä, M. 1988. «Former southwesterly ice flows in the Abitibi-Timiskaming region: implications for the configuration of the Late Wisconsinian ice sheet (Discussion) ». *Canadian Journal of Earth Sciences*, vol. 25, p. 352.
- Seppälä, M. 1999. «Geomorphological aspects of road construction in a cold environment, Finland ». *Geomorphology*, vol. 31, p. 65-91.
- Sharpe, D. R., H. A. J. Russell et C. Logan. 2007. A 3-Dimensional Geological Model of the Oak Ridges Moraine Area, Ontario, Canada. Geological Survey of Canada. Open File 5524

- Sutphin, D. M., L. J. Drew, B. K. Fowler et R. Goldsmith. 2002. Techniques for assessing sand and gravel resources in glaciofluvial deposits—An example using the surficial geologic map of the Loudon quadrangle, Merrimack and Belknap Counties, New Hampshire, with the surficial geologic map by Richard Goldsmith and D.M. Sutphin: U.S. Geological Survey Professional Paper 1627, 21 p., 1 plate, scale 1 : 24 000.
- Tanton, T. L. 1920. «Le bassin des rivières Harricana et Turgeon dans le nord du Québec ». *Commission géologique du Canada*, vol. IV, mémoire 109.
- Teller, J. T., et L. Clayton. 1983. *Glacial Lake Agassiz*. Geological Association of Canada special paper 26, 451 p.
- Thibaudeau, P., et J. J. Veillette. 2005. Géologie des formations en surface et histoire glaciaire, Lac Chicobi, Québec. Commission géologique du Canada, Carte 1996A, échelle 1 : 100 000.
- Tremblay, G. (1974). Géologie du Quaternaire. Régions de Rouyn-Noranda et d'Abitibi. Comtés d'Abitibi-est et d'Abitibi-ouest. Ministère des Richesses Naturelles. Service de l'Exploration géologique. Gouvernement du Québec, Québec, DP-236, 100 p
- Väisänen, U. 1997. «Groundwater resources at risk in the glaciofluvial formation of Jokkavaara in Rovaniemi area, Northern Finland». *Environmental Geochemistry and Health*, vol. 19, p. 127-131.
- Veillette, J. J. 1983. «Déglaciation de la vallée supérieure de l'Outaouais, le lac Barlow et le sud du lac Ojibway, Québec». *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 37, no 1, p. 67-84. In *Érudit*. Érudit : <http://www.erudit.org/>. En ligne. <<http://id.erudit.org/iderudit/032499ar>>.
- Veillette, J. J. 1986a. Géologie des formations en surface, New Liskeard, Ontario-Québec. Commission géologique du Canada, Carte 1639A, échelle 1 : 100 000.
- Veillette, J. J. 1986b. Géologie des formations en surface, Haileybury, Ontario-Québec. Commission géologique du Canada, Carte 1642A, échelle 1 : 100 000.
- Veillette, J. J. 1986c. «Former southwesterly ice-flows in Abitibi-Témiscamingue: implications for the configuration of the Late Wisconsinan ice sheet». *Canadian Journal of Earth Sciences*, vol. 23, p. 1724-1741.
- Veillette, J. J. 1987a. Géologie des formations en surface, Lac Simard, Québec. Commission géologique du Canada, Carte 1640A, échelle 1 : 100 000.
- Veillette, J. J. 1987b. Géologie des formations en surface, Grand Lake Victoria North, Québec. Commission géologique du Canada, Carte 1641A, échelle 1 : 100 000.

- Veillette, J. J. 1987c. Géologie des formations en surface, Belleterre, Québec. Commission géologique du Canada, Carte 1643A, échelle 1 : 100 000.
- Veillette, J. J. 1988. «Déglaciation et évolution des lacs proglaciaires post-Algonquin et Barlow au Témiscamingue, Québec et Ontario». *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 42, no 1, p. 7-31. In *Érudit*. Érudit : <http://www.erudit.org/>. En ligne. <<http://id.erudit.org/iderudit/032706ar>>.
- Veillette, J. J. 1994. «Evolution and paleohydrology of glacial Lakes Barlow and Ojibway». *Quaternary Science Reviews*, vol. 13, no 9-10, p. 945-971. En ligne. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VBC-4876DC9-B/2/360b66ee3d7827c22c218048b6ce8a94>>.
- Veillette, J. J. 1996. Géomorphologie et géologie du quaternaire du Témiscamingue, Québec et Ontario. Commission géologique du Canada, Natural Resources Canada / Ressources naturelles Canada. Bulletin 476, 269 p
- Veillette, J. J. 2004. Géologie des formations en surface et histoire glaciaire, Cadillac, Québec. Commission géologique du Canada, Carte 2019A, échelle 1 : 100 000.
- Veillette, J. J. 2007a. Géologie des formations en surface et histoire glaciaire, Rivière Harricana, Québec. Commission géologique du Canada, Carte 1993A, échelle 1 : 100 000.
- Veillette, J. J. 2007b. Géologie des formations en surface et histoire glaciaire, Rivière Waswanipi, Québec. Commission géologique du Canada, Carte 1997A, échelle 1 : 100 000.
- Veillette, J. J., et R.-A. Daigneault 1987. Géologie des formations en surface, Lac Kipawa, Québec-Ontario. Commission géologique du Canada, Carte 1644A, échelle 1 : 100 000.
- Veillette, J. J., A. Maqsood, H. De Corta et D. Bois. 2004. «Hydrogéologie des eskers de la MRC d'Abitibi, Québec». In *57ième congrès canadien de géotechnique*.
- Veillette, J. J., et J.-S. Pomares. 2003. Géologie des formations en surface et histoire glaciaire, Lac Matagami, Québec. Commission géologique du Canada, Carte 1994A, échelle 1 : 100 000.
- Veillette, J. J., et P. Thibaudeau 2007. Géologie des formations en surface et histoire glaciaire, Rivière Wawagosic, Québec. Commission géologique du Canada, Carte 1995A, échelle 1 : 100 000.
- Veillette, J. J., V. Cloutier, H. de Corta, F. Gagnon, M. Roy, M. Douma et D. Bois. 2007. «A complex recharge network, the Barraute esker, Abitibi, Québec». In *OttawaGeo2007/OttawaGéo2007*.

- Vincent, J.-S. 1971. «Le Quaternaire des cantons de Guigues, Baby, Duhamel et Laverlochère, comté de Témiscamingue, Québec». Thèse de maîtrise, Ottawa, Département de géographie Université d'Ottawa 146 p.
- Vincent, J.-S., et L. Hardy. 1977. «L'évolution et l'extension des lacs glaciaires Barlow et Ojibway en territoire québécois». *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 31, p. 357-372.
- Vincent, J.-S., et L. Hardy. 1979. The evolution of glacial lakes Barlow and Ojibway, Quebec and Ontario. Commission géologique du Canada. Bulletin 316, 18 p.
- Wilson, M. E. 1919. *Le comté de Témiscamingue, Province de Québec*. Commission géologique du Canada, Mémoire 103, Série géologique n°86, 177 p.
- Wilson, J. T. 1938. « Glacial geology of part of north western Quebec ». *Transactions of the Royal Society of Canada*, vol. 32, no 4, p. 4959.