

ATLAS CLIMATIQUE DES GLACES DE LAC

GRANDS LACS

1973-2002

Par le

Service canadien des glaces

© Ministère des Travaux publics et Services gouvernementaux du Canada, 2004

Photo couverture: Photo des archives du Service canadien des glaces, 25 March 2003
North Channel dans le lac Huron depuis un vol de reconnaissance du Service
canadien des glaces.

Données de catalogage avant publication de la Bibliothèque nationale du Canada

Vedette principale au titre :

Lake ice climatic atlas, Great Lakes, 1973-2002 = Atlas climatique
des glaces de lac, Grands Lacs 1973-2002

Texte en anglais et en français.

Comprend des références bibliographiques.

ISBN 0-660-62585-7

No de cat. En56-192/2004

1. Glace sur les cours d'eau, lacs, etc. – Grands Lacs – Atlas.
2. Glace – Grands Lacs – Atlas.
 - I. Service canadien des glaces.
 - II. Titre : Atlas climatique des glaces de lac, Grands Lacs 1973-2002.

GB1798.G73L33 2004

551.34'5'09713

C2004-980088-4F

PRÉFACE

En 1980, le premier d'une série d'atlas des glaces intitulé « ATLAS DES GLACES : LITTORAL DE L'EST CANADIEN » a été publié par W.E. Markham qui présentait une analyse des conditions glacielles dans le golfe du Saint-Laurent et les eaux situées à l'est de Terre-Neuve et au sud du Labrador. Pour compléter la série des atlas des glaces, deux autres atlas rédigés par W.E. Markham ont également été publiés : « ATLAS DES GLACES, VOIES D'EAU DE L'ARCTIQUE CANADIEN », en 1981 et « ATLAS DES GLACES, BAIE D'HUDSON ET SES ABORDS », en 1988. Étant donné qu'il n'existait pas de base de données numérique à cette époque, la mise à jour de ces publications était très laborieuse. Comme mesure à court terme, des manuscrits inédits intitulés « LIMITES DES GLACES DU LITTORAL DE L'EST CANADIEN » et « MEDIAN ICE COVER GREAT LAKES » par P.W. Cote ont été préparés aux fins d'usage interne.

À la fin des années 1990, grâce à un financement partiel du Programme de recherche et de développement énergétiques (PRDE), le Service canadien des glaces a complété la numérisation de sa collection de cartes régionales hebdomadaires des glaces pour les eaux de la côte est et du Nord canadien, ce qui a permis la création d'une base de données numérique pour faciliter la production d'atlas climatiques des glaces de mer. Deux atlas des glaces, « ATLAS CLIMATIQUE DES GLACES DE MER : CÔTE EST DU CANADA 1971-2000 » et « ATLAS CLIMATIQUE DES GLACES DE MER : EAUX DU NORD CANADIEN 1971-2000 » ont été produits à partir de la base de données numérique pour la période climatique de 30 ans (1971 à 2000).

Dans le cadre d'une initiative conjointe États-Unis/Canada, le Great Lakes Environmental Research Laboratory de la National Oceanic and Atmospheric Administration (GLERL - NOAA) a combiné les cartes régionales des Grands Lacs du Service canadien des glaces et les cartes hebdomadaires du National Ice Center (NIC) des États-Unis pour produire une base de données numérique et une climatologie de la couverture glacielle (cartes des dates des premières/dernières glaces et de la durée des glaces, animations informatiques de la progression saisonnière de la couverture glacielle pour chaque hiver, cartes statistiques hebdomadaires des glaces). Cette base de données et cette climatologie sont publiées sous la forme d'un atlas électronique (NOAA Great Lakes Ice Atlas (Assel 2003a)). Elles sont également accessibles sur CD-ROM, qu'on peut se procurer auprès du GLERL, et dans Internet, à l'adresse suivante : <http://www.glerl.noaa.gov/data/ice/atlas/>

La base de données du GLERL a servi de point de départ pour la préparation du présent atlas. En reconnaissance de l'importante contribution du GLERL, et sous les auspices de la coopération conjointe États-Unis/Canada, la présente publication porte les logos de NOAA, NIC et SCG.

Le présent atlas, le troisième de la série, utilise les cartes régionales du Service canadien des glaces de 1972 à 1996 et de 2000 à 2002, ainsi que les cartes hebdomadaires du National Ice Center, pour la période de 1996 à 2000. Avant décembre 1972, les cartes régionales n'étaient pas produites à intervalle régulier. Afin d'obtenir une période climatique de 30 ans, le présent atlas des glaces de lac inclut les saisons hivernales de 1973 à 2002.

Veuillez faire parvenir tout commentaire ou suggestion à l'adresse suivante :

Service canadien des glaces
Service à la clientèle
373, promenade Sussex, Bloc E-3
Académie LaSalle
Ottawa (Ont.)
K1A 0H3

Téléphone : (800) 767-2885
(613) 996-1550
Télécopieur : (613) 947-9160
Courriel : Cis-scj.Client@ec.gc.ca

REMERCIEMENTS

Plusieurs personnes ont contribué à la production du présent atlas et leurs efforts et leur dévouement doivent être reconnus.

M. Richard Chagnon a géré le projet. M Phillip W. Cote a rédigé une version préliminaire du texte. M. Rick Power a produit la version finale du texte ainsi qu'un plan pour le contenu. Un merci spécial à MM. Steve McCourt et Allain Cardinal pour l'analyse des cartes numériques et la préparation de tous les produits du présent atlas, à MM. Claude Dicaire et Rick Power pour leur précieuse contribution à l'exactitude du texte et des produits sur le plan climatologique et à Claire Piché pour son examen critique du texte.

Un merci spécial à M. Raymond Assel (Great Lakes Environmental Research Laboratory, NOAA) pour sa collaboration à l'obtention des données numériques du présent atlas, pour avoir fourni le Great Lakes Ice Atlas de la NOAA au Service canadien des glaces, et pour les discussions sur les méthodes et procédures utilisées pour la production du présent atlas.

Finalement merci à tous les employés qui ont contribué au cours des années à la collecte de l'information et la préparation des cartes hebdomadaires du SCG et du NIC sans qui la production de cet atlas ne serait pas possible.

TABLE DES MATIÈRES

Préface.....	
Remerciements	
Table des matières	
Liste des cartes des glaces	
Illustrations et graphiques	
Chapitre 1	Cartes régionales des glaces et produits de l'atlas
	1.1 Introduction.....
	1.2 Données utilisées pour les cartes régionales.....
	1.3 Méthodologie
	1.4 Définition des cartes climatiques des glaces de lac
Chapitre 2	Régime des glaces
	2.1 Facteurs influant sur la glace de lac
	2.1.1 Facteurs atmosphériques
	2.1.2 Facteurs océanographiques
	2.2 Lac Supérieur.....
	2.2.1 Bathymétrie
	2.2.2 Courants.....
	2.2.3 Épaisseur de glace
	2.2.4 Régime des glaces
	2.2.5 Variations.....
	2.3 Lac Michigan
	2.3.1 Bathymétrie
	2.3.2 Courants.....
	2.3.3 Épaisseur de glace
	2.3.4 Régime des glaces
	2.3.5 Variations.....
	2.4 Lac Huron et baie Georgienne
	2.4.1 Bathymétrie
	2.4.2 Courants.....
	2.4.3 Épaisseur de glace
	2.4.4 Régime des glaces
	2.4.5 Variations.....
	2.5 Lac Érié et lac Sainte-Claire
	2.5.1 Bathymétrie
	2.5.2 Courants.....
	2.5.3 Épaisseur de glace
	2.5.4 Régime des glaces
	2.5.5 Variations.....
	2.6 Lac Ontario.....
	2.6.1 Bathymétrie
	2.6.2 Courants.....
	2.6.3 Épaisseur de glace
	2.6.4 Régime des glaces
	2.6.5 Variations.....
	2.7 Variabilité de la couverture glacielle totale

TABLE DES MATIÈRES (suite)

Terminologie de la glace de lac	
Acronymes	
Références.....	
Appendice A – Cartes climatiques de glace de lac	
Appendice B – Cartes de soutien	
Appendice C – Cartes et graphes de la couverture totale de glace	

LISTE DES CARTES DES GLACES

Dates d'englacement	A-1
Dates de déglacement.....	A-2
Médiane de la concentration des glaces.....	A-3
Médiane du type de glace prédominant en présence de glace	A-27
Fréquence de la présence de glace de lac (%).....	A-51

ILLUSTRATIONS ET GRAPHIQUES

Carte de référence - français.....	B-1
Carte de référence - anglais	B-2
Bathymétrie	B-3
Courants	B-4
Région pour calculs de couverture de glace – Grands Lacs	C-1
Couverture totale des glaces pour les Grands Lacs (26 février).....	C-2
Exemple d'une année de glace minimale (1 ^{er} mars 1983).....	C-3
Exemple d'une année de glace maximale (14 février 1994).....	C-4

CHAPITRE 1 – CARTES RÉGIONALES DES GLACES ET PRODUITS DE L'ATLAS

1.1 INTRODUCTION

Le présent atlas climatique des glaces est le troisième d'une série publiée par le Service canadien des glaces. Le premier était intitulé « ATLAS CLIMATIQUE DES GLACES DE MER : CÔTE EST DU CANADA 1971-2000 » et le deuxième, « ATLAS CLIMATIQUE DES GLACES DE MER : EAUX DU NORD CANADIEN 1971-2000 ». Ce troisième atlas fait suite au manuscrit inédit intitulé « MEDIAN ICE COVER GREAT LAKES » pour la période de 1972 à 1985 rédigé par P. Cote. Les saisons des glaces de 1972-1973 (hiver 1973) à 2001-2002 (hiver 2002) ont été utilisées pour cette publication qui couvre une période climatologique de 30 ans, la norme pour la représentation de moyennes et de valeurs statistiques extrêmes. Les données utilisées pour le présent atlas débutent en 1972 (hiver 1973) en raison du manque d'uniformité des cartes antérieures.

Les atlas des glaces sont le plus utile aux stades de la planification, que ce soit pour un unique voyage, pour un service régulier vers un ou plusieurs ports, pour un navire spécial qui sera utilisé toute l'année dans la région, pour des projets spéciaux en milieu extra côtier, ou à d'autres fins. C'est pourquoi on tente de fournir dans le présent atlas des indications de l'emplacement des glaces, de leur abondance, de leur épaisseur et de leur variabilité, et ce, tout au long de la saison des glaces.

L'information contenue dans le Great Lakes Ice Atlas (Assel 2003) récemment publié par la NOAA et l'information contenue dans le présent atlas se complètent et se complémentent.

1.2 DONNÉES UTILISÉES POUR LES CARTES RÉGIONALES

La première source de données sur les glaces a été l'observation visuelle. Au fil des ans, des observations visuelles ont été effectuées depuis des aéronefs, des navires, des hélicoptères, et depuis la rive; la plate-forme de choix étant l'aéronef. Au cours des premières années, les observations aériennes des glaces qui servaient à la Prévision des glaces, combinées aux données météorologiques quotidiennes, permettaient de préparer des cartes de synthèse globales qui documentaient les variations des conditions glacielles au cours de la saison. Après réflexion, il a été décidé d'utiliser un intervalle d'une semaine entre chaque carte pour des raisons climatologiques; la préparation régulière de cartes historiques des glaces a débuté en 1959 et elles ont été préparées pour la même date à chaque année. Des cartes des glaces qui couvrent des régions géographiques choisies sont préparées quotidiennement et envoyées ensuite aux clients qui les utilisent dans leurs opérations; elles sont également utilisées pour préparer les exposés de prévisions des glaces (FICN) qui sont diffusés par le réseau de stations radio de la Garde côtière canadienne. À la fin des années 1960, il est devenu évident qu'une carte récapitulative des glaces de type opérationnel serait utile pour la communauté des utilisateurs; au cours de la saison des glaces 1968-1969, une carte des glaces synchrone était donc préparée au moins une fois par semaine pour la côte est du Canada et les eaux du Nord canadien. Durant la saison hivernale 1972-1973, cette carte a été étendue afin d'inclure les Grands Lacs; elle a depuis été renommée Carte

régionale des glaces. Ces cartes régionales/synchrones des glaces sont devenues la référence climatologique. Il est important de souligner que ces cartes des glaces étaient surtout axées sur les glaces en haute mer et dans les lacs. Les données sur les glaces dans les baies et ports intérieurs étaient secondaires et il est possible qu'elles ne constituent pas une bonne représentation du régime réel des glaces.

Avec le lancement en 1960 du premier satellite météorologique, le satellite pour l'observation au moyen de la télévision et des infrarouges (TIROS 1), il est devenu évident que le système de caméras à bord permettait à tout le moins une surveillance à grande échelle des glaces. La Terre pouvait être observée avec une résolution d'environ 10 km, mais « *l'angle d'observation* » était généralement oblique, ce qui n'était pas très utile au programme de reconnaissance des glaces. Toutefois, en 1966, les satellites sur orbite polaire de l'Environmental Science Services Administration (ESSA) ont permis une amélioration considérable de l'utilité de l'imagerie et il est alors devenu possible de tracer de façon relativement exacte les lisières des glaces et les chenaux. En raison de la mauvaise qualité de l'imagerie en temps réel, elle était peu utile dans le cadre du programme opérationnel, mais des copies de meilleure qualité reçues par courrier étaient été analysées à des fins climatologiques. En 1970, la National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA) a lancé le premier d'une série de satellites munis de radiomètres à très haute résolution (VHRR) dans le visible et l'infrarouge (d'une résolution de 1 km) qui ont accru par au moins un ordre de grandeur la quantité de données depuis l'espace. Cette technologie continue d'être l'une des sources principales des données utilisées de nos jours. L'imagerie du premier satellite d'observation des ressources de la terre (ERTS) lancé en 1972 était reconnue comme une excellente source d'information détaillée sur les glaces étant donné que ses capteurs offraient une résolution de 100 m. La réception en temps quasi réel des données LANDSAT (autrefois appelé ERTS) a été tentée en 1974, mais la couverture cyclique (2 jours sur 18) et les nuages se sont avérés des désavantages très importants le long de la côte est du Canada pendant les mois d'hiver.

Le radar aéroporté à balayage latérale (RABL), qui avait une résolution de 100 m, a ensuite été utilisé en 1978 dans le cadre du programme de reconnaissance et de prévision des glaces. Ce radar permettait de recueillir des données jour et nuit, peu importe les conditions météorologiques, et on a pu étendre son utilisation à la reconnaissance des glaces dans l'Arctique. Il s'agit d'un système de radar optique constituant un outil utile pour définir la distribution de la vieille glace. Le RABL a fait place en 1990 au radar à ouverture synthétique (ROS) et à ses techniques de traitement numérique. La résolution de cette plate-forme se situait entre 5 m et 30 m. Le RABL et le ROS étaient tous deux montés sur des plates-formes à voilure fixe. En 1992, l'imageur en hyperfréquences spécialisé (SSM/I) a été utilisé à bord d'un satellite. Bien que ce capteur se soit avéré très utile pour l'identification de la vieille glace, son utilité opérationnelle était limitée étant donné sa très faible résolution de 25 km. Les satellites d'étude des ressources terrestres (ERS-1 et ERS-2) ont été utilisés dès 1992, ils étaient dotés de radars à synthèse d'ouverture et offraient une résolution de 100 m. Ils ont été des précurseurs du système canadien RADARSAT. Le premier satellite spécialisé pour la surveillance des glaces a été lancé en janvier 1996, il s'agissait de RADARSAT-1. Son principal capteur est le radar à ouverture synthétique et il offre une résolution normale de 25 m et une haute résolution de 9 m.

Les données utilisées dans la production des cartes canadiennes des glaces ne proviennent pas toutes de nos propres observations, elles sont aussi le résultat de programmes d'échange avec d'autres pays. Pendant de nombreuses années, les États-Unis ont échangé des données sur les glaces : la NOAA, par son Great Lakes Environmental Research Laboratory à Ann Arbor (MI) et par son National Weather Service à Cleveland (OH) (information sur les glaces dans les Grands Lacs); le National Ice Center à Suitland (MD) (information sur les glaces dans l'Arctique); l'International Ice Patrol (IIP), qui relève de la Garde côtière des États-Unis (côte est du Canada – information sur les glaces de mer et les icebergs).

Les cartes régionales/synchrones des glaces ont été numérisées pour le présent atlas. Puisque les cartes ne sont pas dressées à la même date à chaque année, une période de sept jours, centrée sur les dates historiques originales, a été choisie pour le présent atlas climatologique. Lorsqu'on regarde les données sur les glaces pour une date, il faut se souvenir de visualiser mentalement les données des trois jours précédant et des trois jours suivant la date en question. Un exemplaire de la carte régionale des glaces du 14 février 1994 est inclus en C-4. Il faut mentionner que l'échelle originale de la carte régionale/synchrone des glaces est de 1/4 000 000.

1.3 MÉTHODOLOGIE

La base de données numérisée sur les glaces a été placée sur un ordinateur personnel et analysée à l'aide d'un progiciel de SIG appelé ArcView afin de générer les sorties statistiques requises. L'extraction statistique des cartes des glaces numérisées exige la conversion de chaque carte des glaces en mailles discrètes d'un quadrillage d'une résolution de 1 km. Tous les attributs des glaces figurant sur les cartes originales des glaces se trouvent également sur les cartes numérisées des glaces, ainsi que l'information précise concernant les spécifications cartographiques et les anciens codes des glaces utilisés.

Pour la préparation d'un atlas des glaces, on utilise les médianes plutôt que les moyennes. Si l'on considère un unique point de données près de la lisière de la banquise côtière à la fin du printemps, les conditions glacielles peuvent être de dix dixièmes en présence de banquise côtière ou d'eau libre après la disparition de la glace. Il est rare que des concentrations de glace de l'ordre de quatre à six dixièmes soient observées, ce qui est le résultat inévitable si on calcule une moyenne pour l'eau libre et la concentration de dix dixièmes. D'autre part, la valeur de la médiane sera soit de zéro, soit de dix dixièmes, selon la fréquence relative obtenue pour le déglacement, avant ou après la date donnée, ce qui semble beaucoup plus approprié pour un atlas décrivant les conditions glacielles. Sur un intervalle de trente ans, on utilise un nombre pair de valeurs pour chaque point du quadrillage et la plus élevée des deux valeurs centrales est retenue comme médiane, une façon de faire qui avait été adoptée pour la production de l'Atlas des glaces de la baie d'Hudson et ses abords.

1.4 DÉFINITION DES CARTES CLIMATIQUES DES GLACES DE LAC

Statistiques décrites

Les cartes des glaces du présent atlas sont dérivées des produits climatologiques qui représentent une « normale » sur 30 ans pour les divers paramètres des glaces. Deux termes statistiques clés ont été utilisés pour dériver et décrire les cartes : médiane et fréquence. La « médiane » est un paramètre statistique utilisé pour étudier un jeu de données; on la calcule en mettant en ordre toutes les valeurs du jeu de données, de la plus petite à la plus grande, et en sélectionnant la valeur du milieu (médiane) d'un jeu de données comptant un nombre impair de valeurs ou la moyenne des deux valeurs du milieu pour un jeu de données comptant un nombre pair de valeurs. Pour le présent atlas, on a utilisé la plus élevée des deux valeurs du milieu d'un jeu de données comptant un nombre pair de valeur, ce qui évite de calculer une moyenne pour un jeu de données comptant un nombre pair de valeurs. En ce qui concerne les statistiques sur les glaces, on emploie la médiane étant donné la nature originale des attributs des glaces. Par exemple, une concentration des glaces de 9+/10 est supérieure à une concentration des glaces de 9/10, et la glace de lac épaisse est plus épaisse que la glace de lac moyenne.

La médiane est plus appropriée que la moyenne lorsqu'il est question d'attributs des glaces. Pour illustrer pourquoi la médiane est plus appropriée, on peut utiliser l'exemple cité à la section « Méthodologie » qui traite d'une lisière de banquise côtière dont les valeurs de la concentration à un point donné pendant un certain nombre d'années étaient soit 10/10, soit moins de 1/10, au cours de la saison de déglacement. Si l'on prend le jeu de données suivant de 5 observations de la concentration des glaces exprimées en dixièmes : (10, 10, 10, 0, 0), la valeur moyenne serait $(10 + 10 + 10 + 0 + 0)/5 = 6/10$, ce qui ne reflèterait pas la situation « réelle » de la concentration des glaces.

La « fréquence » est un autre paramètre statistique utilisé pour étudier un jeu de données et on la calcule en additionnant le nombre d'observations d'une occurrence ou événement (présence de glace) et en le divisant par le nombre total d'observations pour le jeu de données; on l'exprime sous forme de pourcentage du nombre total d'observations.

Dates d'englacement et de déglacement

Les cartes « Dates d'englacement et de déglacement » représentent l'étendue des glaces à toutes les deux semaines pendant les saisons d'englacement et de déglacement. Elles fournissent une représentation graphique de l'évolution des glaces durant ces périodes.

Ces produits sont réalisés à partir des cartes de la médiane de la concentration des glaces.

Médiane de la concentration des glaces

Les cartes « Médiane de la concentration des glaces » illustrent la concentration totale des glaces pour des intervalles d'une semaine entre le 4 décembre et le 14 mai. Les cartes ne représentent pas une saison des glaces réelle, mais plutôt une combinaison statistique des trente saisons.

Les cartes représentent la concentration statistique « normale » des glaces pour la date appropriée.

Médiane du type de glace prédominant en présence de glace

Les cartes « Médiane du type de glace prédominant en présence de glace » représentent le type de glace prédominant (type de glace dont la concentration est la plus grande) pour des intervalles d'une semaine, entre le 4 décembre et le 14 mai.

Ces cartes exigent une plus grande part d'interprétation que les autres cartes des glaces. La façon la plus appropriée d'interpréter les cartes est de regarder la carte de la médiane du type de glace prédominant en conjonction avec la carte de la fréquence des glaces. Par exemple, en un point donné, la fréquence de la présence de glace peut être de l'ordre de 34 à 50 % et la médiane du type de glace prédominant, lorsqu'il y a de la glace, peut être de la glace de lac épaisse. Par conséquent, à ce point, il y a une probabilité comprise entre 34 et 50 % qu'il y ait de la glace, et lorsqu'il y en a, c'est « normalement » de la glace de lac épaisse.

Les cartes représentent le type de glace statistique prédominant « normal » pour la date appropriée.

Fréquence de la présence de glace de lac (%)

Les cartes « Fréquence de la présence de glace de lac (%) » indiquent la probabilité que la concentration totale des glaces soit supérieure ou égale à 1/10 sur une base hebdomadaire, entre le 4 décembre et le 14 mai. Ces cartes devraient donner au lecteur une idée de la probabilité qu'il y ait de la glace à un endroit précis à une date donnée.

Les cartes peuvent être interprétées comme « la probabilité qu'il y ait de la glace d'après les données recueillies sur 30 ans ». Les cartes représentent une étendue couverte par la glace supérieure à la normale (1 à 33 %), une étendue presque normale (34 à 66 %) et une étendue inférieure à la normale (67 à 99 %). La ligne de 0 % représente l'étendue maximale de la glace, au-delà de cette ligne, il n'y a pas eu de glace pendant la période de 30 ans. La ligne de 100 % représente l'étendue minimale de glace, à l'intérieur de laquelle il y a toujours eu de la glace dans le jeu de données d'observations de 30 ans.

On peut obtenir des renseignements supplémentaires sur les configurations spatiales aux dates de la première glace et de la dernière glace ainsi que sur la durée de la glace pour chaque hiver en consultant Assel (2003b). On peut aussi consulter Assel (2003a) pour obtenir des renseignements supplémentaires sur des paramètres statistiques pour des cartes hebdomadaires des glaces (valeurs maximales, troisième quartile, médiane synoptique, premier quartile et valeurs minimales) pour 173 périodes hebdomadaires se chevauchant entre le 1^{er} décembre et le 22 mai.

CHAPITRE 2 – RÉGIME DES GLACES

2.1. FACTEURS INFLUANT SUR LA GLACE DE LAC

2.1.1 FACTEURS ATMOSPHÉRIQUES

La température influe directement sur la planification et l'exécution de la navigation hivernale parce que la température détermine l'étendue et l'épaisseur des glaces qui se forment, et les vents de surface modifient leur emplacement, leur forme et leur distribution. Pendant l'hiver, l'air froid de l'Arctique canadien peut se déplacer vers le sud-est, entraînant des températures beaucoup plus basses que le point de congélation, causant ainsi le givrage des superstructures et une augmentation rapide du volume et de l'étendue de la glace de lac en présence. D'autre part, les centres de basse pression migrants peuvent faire en sorte que l'air chaud des basses latitudes soit entraîné vers le nord et crée des conditions de fonte qui peuvent durer de quelques heures à plusieurs semaines. La rigueur des saisons hivernales varie considérablement selon la fréquence relative et la trajectoire empruntée par ces tempêtes en migration.

En ce qui concerne la formation des glaces, leur croissance et leur détérioration, la quantité de chaleur échangée entre la glace, l'eau et l'air est de première importance. Toutefois, étant donné la complexité de ces processus et de leur mesure, la température de l'air est souvent utilisée pour quantifier l'effet des conditions de gel et de fonte. Plus précisément, lorsque la température moyenne de l'air pour une journée est inférieure à 0 °C, la valeur numérique peut être exprimée sous forme de nombre de degré(s)-jour(s) de gel (DJG) et lorsque la température est supérieure à 0 °C, elle peut être exprimée sous forme de nombre de degré(s)-jour(s) de fonte (DJF).

En hiver, la direction et la force des vents ont un effet considérable sur la couverture glacielle, son épaisseur, son emplacement et son degré d'obstruction à la navigation.

2.1.2 FACTEURS OCÉANOGRAPHIQUES

Les principaux facteurs océanographiques qui influent sur le régime des glaces sont la bathymétrie, les courants et les marées. Les cartes de la bathymétrie et des courants présentées à l'Annexe B sont fondées sur les données utilisées au Service canadien des glaces. Une brève description de la bathymétrie et des courants est fournie pour chaque lac. Les marnages sont généralement très faibles.

2.2 LAC SUPÉRIEUR

2.2.1 BATHYMÉTRIE (lac Supérieur)

C'est le plus grand des Grands Lacs et il est le plus profond, sa profondeur maximale étant de 406 mètres dans la partie sud-est du lac. La péninsule de Keweenaw et l'île Royale sont les entités dominantes du lac Supérieur. Le haut-fond Supérieur, sur

lequel la profondeur minimale est de 6,4 mètres, repose dans le milieu du lac, à environ 85 kilomètres à l'est de l'île Royale.

2.2.2 COURANTS (lac Supérieur)

Les eaux du lac Supérieur s'écoulent dans le lac Huron en passant par la rivière St. Mary's; les courants dans le lac sont pour la plupart faibles. Il est connu que les courants dus au vent engendrent des remontées d'eau du lac. Le marnage est très faible.

2.2.3 ÉPAISSEUR DE GLACE (lac Supérieur)

Dans les baies et havres abrités, les glaces atteignent une épaisseur qui varie de 45 à 85 cm durant un hiver normal. La formation de crêtes et l'empilement peuvent faire en sorte que l'épaisseur de la glace atteigne plus ou moins un mètre. Dans la baie Whitefish, les empilements de glace échouée peuvent s'élever jusqu'à 7 à 8 mètres ou plus. Au large, les crêtes de glace peuvent avoir une épaisseur totale de 25 mètres.

2.2.4 RÉGIME DES GLACES (lac Supérieur)

La glace commence généralement à se former dans les ports et les havres le long de la rive nord, dans la partie ouest du lac, et dans les eaux peu profondes de la baie Whitefish vers la fin de novembre et le début de décembre. À mesure que la saison des glaces progresse, la quantité et l'épaisseur de glace augmentent, le périmètre entier du lac devient donc recouvert en premier et la glace s'étend ensuite sur de nombreux kilomètres dans le lac, au milieu de l'hiver. La couverture glacielle est à son maximum au cours de la deuxième moitié de février, la couverture totale atteignant les 75 %. La partie est du lac entre Stannard rock et l'île Caribou demeurera généralement libre de glace pendant les mois d'hiver. Le déglacement débute normalement en mars et la glace est en état de détérioration vers la fin du mois. La majeure partie du lac est libre de glace vers la mi-avril. À l'extrémité sud-est du lac, les glaces flottantes peuvent rendre la navigation difficile en raison des vents et des courants.

2.2.5 VARIATIONS (lac Supérieur)

Les conditions glacielles peuvent grandement varier d'une année à l'autre. Au cours d'un hiver doux, la couverture glacielle du lac Supérieur peut n'atteindre que 21 %, tandis qu'au cours d'un hiver rigoureux, elle peut s'approcher de 100 %. La glace s'est déjà formée aussi tôt que pendant la première semaine de novembre et elle a déjà persisté aussi tard que la mi-mai.

2.3 LAC MICHIGAN

2.3.1 BATHYMÉTRIE (lac Michigan)

Le lac Michigan se classe au troisième rang des Grands Lacs pour ce qui est de la superficie et au deuxième rang pour ce qui est de la profondeur, sa profondeur maximale étant de 281 mètres dans la partie centrale du lac. La zone située au nord de l'île Beaver et celle des détroits de Mackinac sont peu profondes, soit moins de 37 mètres.

2.3.2 COURANTS (lac Michigan)

Les courants sont généralement faibles dans le lac, mais il existe une circulation circulaire dans la partie sud du lac Michigan qui est unique. Le marnage est très faible.

2.3.3 ÉPAISSEUR DE GLACE (lac Michigan)

Dans les baies et havres abrités, les glaces atteignent une épaisseur qui varie de 45 à 75 cm durant un hiver normal. Avec l'empilement, la glace peut atteindre une épaisseur allant jusqu'à un mètre ou plus. Les empilements et les crêtes de glace dans les détroits de Mackinac peuvent atteindre jusqu'à 9 mètres de hauteur et une profondeur jusqu'à 2 ou 3 fois supérieure.

2.3.4 RÉGIME DES GLACES (lac Michigan)

En raison de l'orientation nord-sud et des 494 kilomètres de longueur du lac Michigan, il peut arriver que des glaces se forment et se détériorent simultanément. La glace commence à se former dans la baie Green, généralement au cours de la deuxième moitié de décembre. Les zones qui deviennent ensuite recouvertes de glace sont les détroits de Mackinac et les zones de faible profondeur situées au nord de l'île

Beaver. La formation extensive de glace débute vers la dernière semaine de janvier. Les glaces se forment et s'accumulent en direction sud; l'accumulation est rapide le long des îles Fox et le taux de croissance est plus lent autour du périmètre sud. La couverture glacielle atteint son étendue maximale (qui est d'environ 45 %) vers la mi-février. La partie centrale du lac au sud de 45 °N de latitude demeure généralement libre de glace pendant tout l'hiver. Le déglacement débute normalement au cours de la deuxième moitié de février et progresse du sud vers le nord. La majeure partie du lac devient libre de glace au cours de la deuxième moitié d'avril. Dans la zone des détroits et de l'île Mackinac, il se forme généralement de formidables crêtes de glace qui présentent des dangers pour la navigation maritime au cours du déglacement.

2.3.5 VARIATIONS (lac Michigan)

Les conditions glacielles peuvent varier grandement d'une année à l'autre. Au cours d'un hiver doux, la couverture glacielle maximale du lac Michigan peut n'atteindre que 13 %, tandis qu'au cours d'un hiver rigoureux, la couverture de glace peut s'approcher de 100 %. La glace s'y est déjà formée aussi tôt que pendant la dernière semaine de novembre et elle a déjà persisté aussi tard que la deuxième semaine de mai.

2.4 LAC HURON ET BAIE GEORGIENNE

2.4.1 BATHYMÉTRIE (lac Huron et baie Georgienne)

Le lac Huron se classe au deuxième rang des Grands Lacs pour ce qui est de la superficie et au quatrième rang pour ce qui est de la profondeur, sa profondeur maximale étant de 229 mètres à 27 kilomètres à l'ouest de la péninsule Bruce. Dans l'ensemble, on peut dire que le lac est profond, mais les rives nord et est présentent des hauts-fonds s'étendant sur 5 kilomètres vers le large. L'entité la plus frappante du fond du lac est une crête submergée qui s'étend depuis Alpena (Michigan) et traverse le lac jusqu'à Kincardine (Ontario). Le banc Six Fathom, d'une profondeur de 11 mètres, s'étend sur cette crête au milieu du lac.

Les rives nord et est de la baie Georgienne sont bordées de nombreuses îles et hauts-fonds, tandis que la partie sud-ouest est généralement profonde. Tout juste au large de la rive nord de la péninsule Bruce, la profondeur maximale atteint 168 mètres.

2.4.2 COURANTS (lac Huron et baie Georgienne)

Le lac Huron reçoit les eaux du lac Michigan par les détroits de Mackinac et les eaux du lac Supérieur par la rivière St. Mary's et se déverse en retour dans la rivière Sainte-Claire. Les courants sont généralement faibles dans le lac et dans la baie, et le marnage est très faible.

2.4.3 ÉPAISSEUR DE GLACE (lac Huron et baie Georgienne)

Dans les baies et havres abrités, les glaces atteignent une épaisseur qui varie de 45 à 75 cm durant un hiver normal. Les empilements, les crêtes et les accumulations par le vent peuvent atteindre jusqu'à 18 mètres d'épaisseur.

2.4.4 RÉGIME DES GLACES (lac Huron et baie Georgienne)

L'orientation du lac et les configurations de la formation de glace dans le lac Huron sont similaires à celles dans le lac Michigan; toutefois, les différences de température entre le nord et le sud ne sont pas aussi importantes. La glace commence à se former dans le chenal North et le long de la côte est de la baie Georgienne au cours de la deuxième moitié de décembre. À mesure que l'hiver progresse, la glace s'étend autour des zones côtières et ensuite vers le milieu du lac. La couverture glacielle atteint son maximum vers le milieu de février, ce qui équivaut à environ 68 % de la superficie dans le lac Huron et à environ 90 % dans la baie Georgienne. La partie nord et centrale profonde du lac Huron demeurera généralement libre de glace pendant tout l'hiver. Le déglacement débute normalement en mars et la glace disparaît par la suite rapidement. En général, le lac est complètement libre de glace à la deuxième semaine d'avril. D'importants volumes de glace peuvent dériver dans la partie sud du lac Huron, ce qui engendre une grande concentration de glace à l'entrée de la rivière Sainte-Claire.

2.4.5 VARIATIONS (lac Huron et baie Georgienne)

Les conditions glacielles peuvent varier grandement d'une année à l'autre. Au cours d'un hiver doux, la couverture glacielle maximale du lac Huron et de la baie Georgienne peut n'atteindre que 29 %, tandis qu'au cours d'un hiver rigoureux, la couverture de glace peut être supérieure à 95 % dans le lac Huron et de 100 % dans la baie Georgienne. La glace s'est déjà formée aussi tôt qu'à la deuxième semaine de

novembre et elle a déjà persisté aussi tard que la deuxième semaine de mai.

2.5 LAC ÉRIÉ ET LAC SAINTE-CLAIRE

2.5.1 BATHYMÉTRIE (lac Érié et lac Sainte-Claire)

C'est le plus méridional des Grands Lacs et c'est aussi le moins profond. Sa profondeur maximale est de 64 mètres, tout juste au sud-est de Long Point. À l'ouest de la pointe Pelée, le lac est très peu profond, soit moins de 11 mètres. Dans le lac Sainte-Claire, les profondeurs sont de moins de 6 mètres.

2.5.2 COURANTS (lac Érié et lac Sainte-Claire)

L'écoulement de l'eau du lac se fait depuis la rivière Detroit à l'extrémité ouest, en direction nord-est jusqu'à l'exutoire principal, la rivière Niagara. Les courants sont généralement faibles dans le lac. Le marnage est très faible.

2.5.3 ÉPAISSEUR DE GLACE (lac Érié et lac Sainte-Claire)

Dans les baies et havres abrités, les glaces atteignent une épaisseur qui varie de 25 à 45 cm durant un hiver normal. Les empilements, les crêtes et les accumulations par le vent peuvent atteindre plus de 20 mètres d'épaisseur, et ce, au cours d'une seule tempête d'hiver.

2.5.4 RÉGIME DES GLACES (lac Érié et lac Sainte-Claire)

La glace commence à se former dans l'extrémité ouest du lac et dans la baie de Long Point normalement au cours de la troisième semaine de décembre. Ailleurs, la couverture glacielle prend de l'expansion au début janvier et atteint généralement son étendue maximale (90 %) en février. Le lac Sainte-Claire est complètement recouvert de glace de la mi-janvier jusqu'au mois de mars. Le déglacement débute normalement vers le début de mars et le lac devient en majeure partie libre de glace vers la deuxième semaine d'avril. L'extrémité est du lac est en général la dernière zone à devenir libre de glace.

2.5.5 VARIATIONS (lac Érié et lac Sainte-Claire)

Au cours d'un hiver doux, la couverture glacielle occupera environ 25 % de la surface du lac. Au cours d'un hiver rigoureux, elle peut atteindre 100 %. La glace s'est déjà formée aussi tôt que pendant la dernière semaine de novembre et elle a déjà persisté dans la région de Buffalo aussi tard qu'au milieu du mois de mai.

2.6 LAC ONTARIO

2.6.1 BATHYMÉTRIE (lac Ontario)

Le lac Ontario est le plus petit des Grands Lacs, mais il se classe au troisième rang pour ce qui est de la profondeur, sa profondeur maximale étant de 244 mètres dans la partie sud-est du lac. L'extrémité nord-est du lac (les approches du fleuve Saint-Laurent) est la partie la moins profonde du lac, soit moins de 55 mètres.

2.6.2 COURANTS (lac Ontario)

L'eau du lac Ontario s'écoule principalement en direction nord-est, depuis la rivière Niagara jusqu'au fleuve Saint-Laurent. Les courants dans le lac sont généralement faibles. Le marnage est très faible.

2.6.3 ÉPAISSEUR DE GLACE (lac Ontario)

Dans les baies et havres abrités, les glaces atteignent une épaisseur qui varie de 20 à 60 cm durant un hiver normal. Les crêtes, les empilements et les hummocks peuvent considérablement en accroître l'épaisseur sous l'effet de la pression.

2.6.4 RÉGIME DES GLACES (lac Ontario)

La glace commence à se former dans la baie de Quinte normalement au cours de la première moitié de décembre. La glace commence à se former dans les baies et ports de l'extrémité est du lac et dans les approches du fleuve Saint-Laurent au cours de la dernière semaine de décembre et de la première semaine de janvier. La couverture glacielle devient plus étendue en février et elle est surtout concentrée à l'extrémité est du lac. La couverture glacielle est maximale au cours de la première moitié de février et représente environ 24 % du lac. Le déglacement débute normalement à la fin février et le

lac devient généralement libre de glace au début avril. Un peu plus tard, il peut y avoir encore de la glace en aval des chutes Niagara, dans les baies abritées et dans les approches du fleuve Saint-Laurent.

2.6.5 VARIATIONS (lac Ontario)

Au cours d'un hiver doux, la couverture glacielle du lac Ontario n'atteint que seulement 10 % environ, tandis qu'au cours d'un hiver rigoureux, elle peut s'approcher de 95 %. Au cours des 100 dernières années, il est arrivé seulement trois fois que la couverture glacielle soit presque complète, la dernière fois c'était en 1979. La glace s'est déjà formée aussi tôt que pendant la troisième semaine de novembre et elle a déjà persisté aussi tard que la première semaine de mai.

2.7 VARIABILITÉ DE LA COUVERTURE GLACIELLE TOTALE

Un volet « couverture totale de glace » est inclus dans le présent atlas des glaces. À l'aide d'une base de données numérique sur les glaces, il est beaucoup plus facile d'effectuer certaines analyses statistiques de l'état de la glace sur toute région géographique. La carte de la page C-1 montre les limites de la région choisie pour ce volet. Le 26 février a été choisi pour cette procédure, à cette date, la couverture glacielle est presque maximale. Il est à noter qu'en raison de la variabilité de la date à laquelle les analyses régionales des glaces ont été effectuées, la date réelle de chaque analyse peut se situer jusqu'à trois jours avant ou après la date cible.

Pour calculer la couverture totale de glace, la superficie de chaque polygone a été multipliée par la concentration de glace totale dans le polygone. On a ensuite fait la somme pour toute la région géographique pour obtenir le total. Le diagramme à barres de la page C-2 montre la couverture glacielle enregistrée dans les Grands Lacs pour les années 1972-1973 à 2002-2003 le 26 février. Ce diagramme à barres montre également la variabilité observée au cours de la période de trente ans.

Un coup d'œil rapide montre deux périodes pour lesquelles la couverture glacielle a été supérieure à la moyenne; soit de 1977 à 1982 (six ans) et de 1993 à 1997 (cinq ans). La période de cinq ans de 1998 à 2002 montre une couverture glacielle inférieure à la moyenne. Il est à noter que pour la saison hivernale 2003, la couverture glacielle totale a été supérieure à la moyenne après une période de cinq ans au cours de laquelle elle avait été inférieure à la moyenne.

Deux cartes d'analyse régionale des glaces (pages C-3 et C-4) montrent respectivement des exemples de faible couverture glacielle et de couverture glacielle très étendue.

TERMINOLOGIE DE LA GLACE DE LAC

1. GLACE DE LAC

Toute forme de glace qu'on trouve dans les cours d'eau et les lacs et qui s'est formée par la congélation d'eau douce.

A. STADES DE FORMATION DE LA GLACE DE LAC

NOUVELLE GLACE DE LAC :	- glace formée récemment, moins de 5 cm d'épaisseur
GLACE DE LAC MINCE :	- glace de 5 à 15 cm d'épaisseur
GLACE DE LAC MOYENNE :	- glace de 15 à 30 cm d'épaisseur
GLACE DE LAC ÉPAISSE :	- glace de 30 à 70 cm d'épaisseur
GLACE DE LAC TRÈS ÉPAISSE :	- glace de plus de 70 cm d'épaisseur

B. CONCENTRATION DE LA GLACE DE LAC

La concentration est le rapport, exprimé en dixièmes, indiquant quelle proportion de la surface du lac, dans la zone considérée, est couverte de glace. La concentration totale prend en considération tous les stades de formation présents. La concentration partielle concerne la glace correspondant à la quantité à un stade ou à une forme particuliers et représente seulement une partie de la concentration totale. Les expressions suivantes sont utilisées :

GLACE COMPACTE :

Glacé dont la concentration est de 10/10 et où il n'y a pas d'eau visible.

GLACE CONSOLIDÉE :

Glacé dont la concentration est de 10/10 et où les floes ont été soudés par le gel.

GLACE TRÈS SERRÉ :

Glacé dont la concentration est de 9/10 à moins de 10/10.

GLACE SERRÉ :

Glacé dont la concentration est de 7/10 à 8/10 et composé de floes dont la plupart sont en contact.

GLACE LÂCHE :

Glacé dont la concentration est de 4/10 à 6/10 avec de nombreux chenaux et polynies; les floes ne sont généralement pas en contact les uns avec les autres.

GLACE TRÈS LÂCHE :

Glacé dont la concentration est de 1/10 à 3/10 et où il y a plus d'eau que de glace.

EAU LIBRE :

Grande étendue d'eau librement navigable dans laquelle la glace est présente à des concentrations inférieures à 1/10.

LIBRE DE GLACE :

S'il y a de la glace de quelque forme que ce soit, cette expression ne doit pas être employée.

C. FORMES DE GLACE DE LAC**BANQUISE CÔTIÈRE :**

Glace de lac qui se forme et qui reste fixe le long de la côte où elle est attachée au rivage. La banquise côtière peut être formée sur place à partir de l'eau du lac ou d'une banquise de n'importe quel âge retenue au rivage par le gel; elle peut s'étendre à quelques mètres comme à plusieurs centaines de kilomètres de la côte.

GLACE FLOTTANTE :

Toute glace flottant dans l'eau.

FLOE DE GLACE :

Tout fragment de glace relativement plat ayant 20 mètres ou plus d'extension horizontale. Selon leur extension horizontale, les floes sont subdivisés comme suit :

GÉANT :	- plus de 10 km d'extension
IMMENSE :	- de 2 à 10 km d'extension
GRAND :	- de 500 m à 2 km d'extension
MOYEN :	- de 100 à 500 m d'extension
PETIT :	- de 20 à 100 m d'extension
GLAÇON :	- tout fragment de glace relativement plat ayant moins de 20 m d'extension
BRASH (sarrasins):	- accumulations de glaces flottantes composées de fragments qui n'ont pas plus de 2 m d'extension et qui proviennent de la destruction d'autres formes de glace

GLACE EN CRÊPES :

Morceaux de glace plutôt circulaires, ayant de 30 cm à 3 m de diamètre et jusqu'à 10 cm d'épaisseur, avec des bords relevés du fait du frottement des morceaux les uns contre les autres.

CORDON DE GLACE:

Longue et étroite bande de banquise ayant 1 km ou moins de largeur, ordinairement composée de petits fragments détachés de la masse de glace principale sous l'effet du vent, de la houle ou du courant.

BANC DE GLACE :

Étendue de glace flottant de moins de 10 km d'extension.

D. CARACTÉRISTIQUES TOPOGRAPHIQUES DE LA GLACE DE LAC

CHENAL :

Toute fracture ou passage à travers la glace accessible à un navire de surface. Le chenal qui se trouve entre la banquise et le rivage est appelé **chenal côtier**. Le chenal qui se trouve entre la banquise et une banquise côtière est appelé **chenal de séparation**.

MARE :

Accumulation sur la glace d'eau de fonte provenant principalement de la fonte de la neige mais, aux stades les plus avancés, aussi de la fonte de la glace. Le premier stade consiste en des plaques de neige fondue.

GADOUE :

Neige saturée et mélangée d'eau reposant sur la terre ou la glace, ou masse visqueuse flottant sur l'eau après une forte chute de neige.

TROUS DE FONTE :

Trous verticaux dans la glace qui se forment quand, du fait de la fonte, les mares de surface rejoignent l'eau sous-jacente.

GLACE EMPILÉE :

Type de déformation dans laquelle les plaques de glace se chevauchent.

CRÊTE :

Ligne ou mur de glace brisée qui est soulevée par la pression. Peut être récente ou érodée. Le volume correspondant de glace brisée poussée vers le bas par la pression au-dessous d'une crête est appelé **quille de glace**.

HUMMOCK :

Monticule de glace brisée qui a été soulevée par la pression. Peut être récent ou érodé. Le volume de glace brisée qui s'est enfoncé sous l'effet de la pression et se trouve submergé sous le hummock est appelé **bummock**.

GLACE POURRIE :

Glace criblée de trous de fonte et à un stade avancé de désintégration.

2. AUTRES TERMES COURANTS DE LA NAVIGATION

COINCÉ :

Situation dans laquelle un navire est entouré de glace et incapable de bouger.

ZONE DIFFICILE :

Expression qualitative générale pour indiquer, d'une manière relative, que la gravité des conditions glacielles dans une zone est telle que la navigation y est difficile.

ZONE FACILE :

Expression qualitative générale pour indiquer, d'une manière relative, que les conditions glacielles dans une zone sont telles que la navigation n'y est pas difficile.

BLOQUÉ PAR LES GLACES :

Un port, un passage, etc. est bloqué par les glaces lorsque la navigation y est impossible en raison de la glace, sauf peut-être avec l'aide d'un brise-glace.

GLACE SOUS PRESSION :

Glaces dont les processus de déformation sont actifs et créent par conséquent un obstacle potentiel ou un danger pour la navigation.

NOTA : Il existe un manuel complet sur la terminologie des glaces, leur classification, les codes standard de signalement des glaces et les pratiques et procédures de reconnaissance des glaces utilisées au Canada qu'on peut se procurer auprès du Service canadien des glaces, Service météorologique du Canada, Environnement Canada dont le titre est **MANICE** (Manuel des normes d'observation des glaces).

ACRONYMES

DJF	Degré(s)-jour(s) de fonte
DJG	Degré(s)-jour(s) de gel
EC	Environnement Canada
ERS	Satellite d'exploration des ressources terrestres (Programme spatial européen)
ERTS	Satellite d'observation des ressources de la Terre
ESSA	Environmental Science Services Administration
FICN	Prévision des glaces
GLERL	Great Lakes Environmental Research Laboratory de la NOAA
km	kilomètre(s)
km²	kilomètre(s) carré(s)
LANDSAT	Satellite d'observation de la Terre
m	mètre(s)
MANICE	Manuel des normes d'observation des glaces
MB	Millibar
NM	Mille(s) marin(s)
NOAA	National Oceanographic and Atmospheric Administration (É.-U.)
OMM	Organisation météorologique mondiale
PRDE	Programme de recherche et de développement énergétiques
RABL	Radar aéroporté à balayage latérale
RADARSAT	Satellite-radar RADARSAT
ROS	Radar à ouverture synthétique
SEA	Service de l'environnement atmosphérique (Service météorologique du Canada)
SIG	Système d'information géographique
SSM/I	Capteur hyperfréquences spécialisé/imageur
TIROS	Satellite d'observation par télévision sensible à l'infrarouge
VHRR	Radiomètre à très haute résolution

RÉFÉRENCES

- Assel, R. A. 2003a An Electronic Atlas of Great Lakes Ice Cover, Winters 1973-2002. NOAA Atlas. NOAA, Great Lakes Environmental Research Laboratory, Ann Arbor, MI, 2 CD-ROM Set or DVD.
<http://www.glerl.noaa.gov/data/ice/atlas>
- Assel, R. A. 2003b Great Lakes ice cover, first ice, last ice, and ice duration. NOAA Technical Memorandum GLERL-125. NOAA, Great Lakes Environmental Research Laboratory, Ann Arbor, MI, 49 pp.
ftp://ftp.glerl.noaa.gov/publications/tech_reports/glerl-125
- Assel, R. A., K. CRONK, and D. C. NORTON. 2003c Recent trends in Laurentian Great Lakes ice cover. *Climatic Change* 57:185-204.
<http://www.glerl.noaa.gov/pubs/fulltext/2003/20030001.pdf>
- Cote, P.W. September 1985: Median Ice Cover Great Lakes, Ice Centre Environment Canada, Ottawa, Ont., unpublished manuscript, 23 pp.
- Cote, P.W. Novembre 1989 : Limites des glaces du littoral de l'Est canadien, Centre des glaces, Environnement Canada, Ottawa (Ontario), document non publié, 39 pp.
- Cote, P.W. Avril 1992 : Climatologie de l'épaisseur de la glace, 1961-1990, Centre des glaces, Environnement Canada, Ottawa (Ontario), En57-28/1961-1990, 277 pp.
- Cote, P.W. Avril 1992 : Degrés-jours de fonte et dégel normal, 1961-1990, Centre des glaces, Environnement Canada, Ottawa (Ontario), document non publié, 105 pp.
- Markham, W.E. 1980 : Atlas des glaces : littoral de l'Est canadien, Service de l'environnement atmosphérique, Downsview (Ontario), En56-55/1981F, 96 pp.
- Markham, W.E. 1981 : Atlas des glaces, voies d'eau de l'Arctique canadien, Service de l'environnement atmosphérique, Downsview (Ontario), En56-54/1981, 198 pp.
- Markham, W.E. 1988 : Atlas des glaces, Baie d'Hudson et ses abords, Service de l'environnement atmosphérique, Downsview (Ontario), En56-75/1987, 123 pp.

- Mullane, T.F. 1980 : Operational Use of Satellite Imagery in the Canadian Ice Program, communication présentée au 6^e Symposium canadien sur la télédétection, Halifax (N.-É), p. 17-32.
- Ramsay, B.R., Miller, Z. & Jackson, W. 1994: Operational Use of ERS-1 Data for Ice Monitoring along Canada's East Coast - Winter 1992/93, Centre des glaces, Environnement Canada, Ottawa (Ontario), document interne, 10 pp.
- SEA 1959-1974 : Cartes régionales hebdomadaires des glaces, Service canadien des glaces, Ottawa (Ontario), non publiés
- SEA Mai 1989 : Manuel des normes d'observation des glaces (MANICE), Environnement Canada, Downsview (Ontario), publié.
- SEA Juillet 1991 : Guide d'interprétation des images ROS des glaces, Environnement Canada, Ottawa (Ontario), publié.
- SEA Novembre 1991 : Manuel d'utilisation du RABL, Environnement Canada, Ottawa (Ontario), publié.
- SEA Mars 1992 : Manuel pour Services des glaces (MANIS), Centre des glaces, Environnement Canada, Ottawa (Ontario), publié.
- SEA Revised March 1990, Ice Services Specialist Training Course - Ice Climatology Notes, Ice Climatology and Applications Division, Ice Centre, Environment Canada, Ottawa, Ont., unpublished manuscript, 163 pages.
- SMC 1971-2000: Canadian Digital Regional Ice Charts, Canadian Ice Service, Ottawa, Ont., unpublished.
- SMC 2001 : Atlas climatique des glaces de mer : Côte est du Canada, 1971-2000, Service canadien des glaces, Ottawa (Ontario), En57-38/2000, 195 pp
- SMC 2002 : Atlas climatique des glaces de mer : eaux du Nord canadien, 1971-2000, Service canadien des glaces, Ottawa (Ontario), En56-173/2002, 254 pp

