



Pêches et Océans
Canada

Garde côtière
canadienne

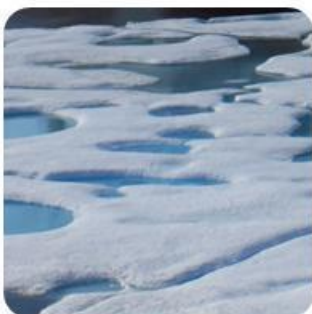
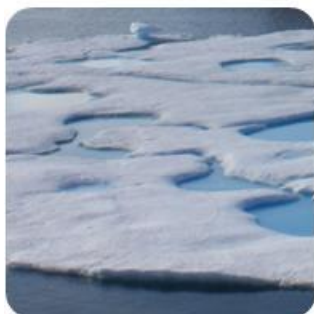
Fisheries and Oceans
Canada

Canadian
Coast Guard

Navigation dans les glaces en eaux Canadiennes



Sécurité d'abord, Service constant



Canada



Navigation dans les glaces en eaux Canadiennes

Publié par :

Programme de déglacage,
Services maritimes
Garde côtière canadienne
Pêches et Océans Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0E6

N° de cat. : Fs154-31/2012F-PDF

ISBN 978-1-100-99154-2

Révisé Août 2012

©Ministre des Pêches et Océans Canada 2012

Avis important – Pour les droits d'auteur et de reproduction, veuillez consulter le site suivant :
<http://www.dfo-mpo.gc.ca/notices-avis-fra.htm>

Note : This publication is also available in English.

Photo de la page couverture: NGCC Henry Larsen
à côté d'une île de glace dans le fjord Petermann,
août 2012.

REGISTRE DES MODIFICATIONS
NAVIGATION DANS LES GLACES EN EAUX CANADIENNES
TIRE DE L'ÉDITION MENSUELLE DES AVIS AUX NAVIGATEURS

AVIS AUX NAVIGATEURS NO.	DATE	SUJET	INSÉRÉ PAR

Note: Pour obtenir des renseignements sur le contenu de cette publication, ou pour rapporter des erreurs ou omissions, communiquez au : ice-glace@dfo-mpo.gc.ca

INTRODUCTION

Le manuel *Navigation dans les glaces en eaux canadiennes* est publié par la Garde côtière canadienne, en collaboration avec Transports Canada Sécurité maritime, le Service canadien des glaces d'Environnement Canada et le Service hydrographique du Canada de Pêches et Océans Canada. La publication vise à aider les navires opérant dans les glaces de toutes les eaux canadiennes, incluant l'Arctique. Les capitaines et le personnel de quart des navires transitant dans les eaux couvertes de glaces au Canada y trouveront l'information nécessaire pour comprendre les lois et règlements, les services d'aide à la navigation, les dangers et les techniques de navigation.

Le chapitre 1, Services de déglacement et d'aide à la navigation, traite des aspects opérationnels tels que les communications, les exigences en matière de rapports, et aussi des conseils sur les glaces et les services de brise-glaces en eaux canadiennes.

Le chapitre 2, Réglementation et lignes directrices, résume l'information sur la réglementation et les lignes directrices visant les navires qui transitent dans les eaux couvertes de glace.

Le chapitre 3, Climatologie des glaces et conditions atmosphériques, couvre l'information sur les glaces et les renseignements météorologiques.

Le chapitre 4, Navigation dans les glaces, est essentiellement pédagogique et vise à renseigner le personnel navigant inexpérimenté sur la planification du voyage, les techniques de navigation et le rendement des navires dans les glaces, ainsi que sur d'autres procédures opérationnelles essentielles.

Le chapitre 5, Conception et construction des navires pour la navigation dans les glaces, fournit aux navigateurs une information élémentaire sur l'ingénierie, la coque et les systèmes auxiliaires des navires opérant dans les glaces.



NOTA : *Aucun des éléments du présent document ne l'emporte sur les dispositions de la Loi sur la marine marchande du Canada et de la Loi sur la prévention de la pollution des eaux arctiques, ni ne doit être considéré comme traduisant leurs dispositions.*

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE 1. SERVICES DE DÉGELAÇAGE ET D'AIDE À LA NAVIGATION	1
1.1 GÉNÉRALITÉS	1
1.2 COMMUNICATIONS	1
1.3 CENTRES D'OPÉRATIONS DES GLACES DE LA GARDE CÔTIÈRE CANADIENNE	2
1.4 NAVIGATION HIVERNALE DANS LE SUD DU CANADA	3
1.4.1 Exigences en matière de messages	3
1.4.2 Terre-Neuve-et-Labrador	4
1.4.3 Provinces maritimes	4
1.4.4 Golfe du Saint-Laurent et fleuve Saint-Laurent	5
1.4.5 Voie maritime du Saint-Laurent	5
1.5 EAUX ARCTIQUES, Y COMPRIS LA BAIE ET LE DÉTROIT D'HUDSON	6
1.5.1 Exigences en matière de rapports	6
1.5.2 Système de services de trafic maritime du Nord canadien	6
1.6 SERVICE CANADIEN DES GLACES D'ENVIRONNEMENT CANADA	8
1.7 CENTRE DE PRÉVISION DES INTEMPÉRIES D'ENVIRONNEMENT CANADA	9
1.7.1 Prévisions météorologiques relatives aux zones maritimes	10
1.7.2 Cartes météorologiques de zones maritimes	10
1.8 METAREAS (ZONES MÉTÉO) ET NAVAREAS (ZONES DE NAVIGATION)	10
1.9 SERVICES NAVTEX	11
1.10 AIDES À LA NAVIGATION HIVERNALE DANS LES EAUX CANADIENNES	12
1.11 DROITS DE SERVICES DE DÉGELAÇAGE	13
CHAPITRE 2. RÉGLEMENTATION ET LIGNES DIRECTRICES	14
2.1 RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX	14
2.2 RÉGLEMENT SUR LES CARTES ET LES PUBLICATIONS (1995)	14
2.3 RÉGLEMENT SUR LES MACHINES DE NAVIRES	14
2.4 PUBLICATIONS COMPLÉMENTAIRES	15
2.5 RÉGLEMENTATION ET LIGNES DIRECTRICES POUR LES EAUX COUVERTES DE GLACES DU SUD DU CANADA	16
2.5.1 Lignes directrices conjointes de l'industrie et du gouvernement concernant le contrôle des pétroliers et des transporteurs de produits chimiques en vrac dans les zones de contrôle des glaces de l'est du Canada TP 15163	16
2.5.2 Lignes directrices relatives à la navigation sous le Pont de la Confédération TP 13681 ..	17
2.5.3 Navigation hivernale sur le fleuve et le Golfe du Saint-Laurent TP 14355	17
2.5.4 Normes provisoires relatives à la construction, l'équipement et l'exploitation des navires à passagers dans les zones de glace de mer de l'est du Canada TP 8941	17
2.6 RÉGLEMENTATION ET LIGNES DIRECTRICES POUR L'ARCTIQUE CANADIEN	17
2.6.1 Règlement sur la prévention de la pollution des eaux arctiques par les navires (RPPEAN) ..	18
2.6.2 Certificats de prévention de la pollution dans l'Arctique	18
2.6.3 Normes équivalentes pour la construction de navires de classe arctique (TP 12260)	19
2.6.4 Lignes directrices pour la navigation en eaux polaires	22
2.6.5 Code de formation des gens de mer, de délivrance des brevets et de veille (STCW)	22
2.6.6 Classes polaires	23
2.6.7 Normes pour le Système des régimes de glaces pour la navigation dans l'arctique (SRGNA) (TP 12259)	24

2.6.7.1	<i>Message de Routage en Régime de Glaces</i>	25
2.6.7.2	<i>Compte rendu après action</i>	26
2.6.8	Officier de navigation dans les glaces	27
2.6.9	Guide illustré du Système des régimes de glaces pour la navigation dans l'Arctique – TP 14044	28
2.6.9.1	<i>Caractérisation du régime des glaces</i>	28
2.6.9.2	<i>Multiplieur glacial</i>	28
2.6.9.3	<i>Calcul des numéraux glaciels</i>	29
2.6.9.4	<i>Facteurs susceptibles d'influer sur les multiplieurs glaciels</i>	30
2.6.9.5	<i>Exemples des régimes de glaces et numéraux glaciels correspondants</i>	31
2.6.9.6	<i>Régime de glaces négatif</i>	32
2.6.10	Lignes directrices concernant l'exploitation des navires à passagers dans les eaux arctiques canadiennes – TP 13670	33
2.6.11	Manuel sur le milieu marin de l'Arctique – Passage du Nord-Ouest	33

CHAPITRE 3. CLIMATOLOGIE DES GLACES ET CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES35

3.1	CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES	35
3.1.1	Régimes de température de l'air	36
3.1.2	Principales trajectoires des tempêtes et conditions éoliennes	36
3.1.3	Dépressions polaires	38
3.1.4	Précipitations	39
3.1.5	Brouillard et visibilité	39
3.1.6	Embruns verglaçants et conditions de givrage de la superstructure	40
3.2	PHYSIQUE DES GLACES	43
3.2.1	Terminologie des glaces	43
3.2.2	Types de glaces	43
3.2.3	Propriétés des glaces	44
3.2.4	Formation et croissance des glaces	44
3.2.5	Mouvement, pression et déformation des glaces	45
3.2.6	Ablation des glaces	47
3.3	ICEBERGS, FRAGMENTS D'ICEBERG ET BOURGUIGNONS	47
3.3.1	Origine et nature	47
3.3.2	Situation et concentration géographiques	50
3.4	CLIMATOLOGIE DES GLACES DANS LES GRANDS LACS	52
3.4.1	Influences météorologiques	52
3.4.2	Facteurs océanographiques	52
3.4.3	Régime des glaces dans les Grands Lacs	54
3.5	CLIMATOLOGIE DES GLACES DANS LE FLEUVE ST-LAURENT	58
3.6	CLIMATOLOGIE DES GLACES POUR LA CÔTE EST	60
3.6.1	Influences météorologiques	60
3.6.2	Régime des glaces dans le golfe du Saint-Laurent	63
3.6.2	Régime des glaces dans les eaux à l'Est de Terre-Neuve et au sud de la mer du Labrador	67
3.6.4	Régime des glaces de la côte du Labrador	70
3.7	CLIMATOLOGIE DES GLACES DANS LES EAUX DU NORD CANADIEN	72
3.7.1	Influences météorologiques	72
3.7.2	Facteurs océanographiques	73
3.7.3	Régime des glaces dans le nord du Canada	77
3.7.4	Régime des glaces dans la baie d'Hudson	81
3.7.5	Régime des glaces dans la baie James	82

3.76	Régime des glaces dans le bassin Foxe	82
3.7.7	Régime des glaces dans le détroit d'Hudson et la baie d'Ungava	82
3.7.8	Régime des glaces dans la baie de Baffin et le détroit de Davis	83
3.7.9	Régime des glaces dans l'archipel arctique	83
3.7.10	Régime des glaces dans la mer de Beaufort	85
CHAPITRE 4. NAVIGATION DANS LES EAUX COUVERTES DE GLACES		88
4.1	GÉNÉRALITÉS	88
4.2	EXIGENCES RELATIVES AUX NAVIRES MANŒVRÉS DANS LES GLACES	89
4.3	CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES DÉFAVORABLES	89
4.3.1	Givrage de la superstructure	89
4.4	INDICES DE LA PRÉSENCE DE GLACES DANS LES ENVIRONS	91
4.5	NAVIGATION SANS ESCORTE	92
4.5.1	Engagement dans les glaces	92
4.6	BRISE-GLACES	93
4.6.1	Communications avec les brise-glaces	93
4.6.2	Renseignements nécessaires avant une opération d'escorte	95
4.6.3	Opérations d'escorte	95
4.7	EFFET DE LA GLACE ET DE LA NEIGE SUR LE RENDEMENT DES NAVIRES	99
4.7.1	Résistance des navires	99
4.7.2	Manœuvre des navires	100
4.7.3	Capacité structurale	100
4.7.4	Systèmes d'amélioration du rendement	100
4.8	TECHNIQUES DE MANŒVRE DES NAVIRES DANS LES GLACES	101
4.8.1	Manœuvres dans diverses conditions glacielles	101
4.8.2	Manœuvre d'un navire avarié dans les glaces	107
4.8.3	Accostage	107
4.8.4	Remorquage dans les glaces	108
4.8.5	Vitesse	109
4.8.6	Gestion des glaces	109
4.9	REPÉRAGE DE DANGERS GLACIELS À PETITE DISTANCE	109
4.9.1	Utilisation du radar pour le repérage des glaces	109
4.9.2	Radars de navigation dans les glaces	110
4.9.3	Icebergs	112
4.9.4	Fragments d'iceberg	112
4.9.5	Bourguignons	113
4.9.6	Vieux floes	114
4.9.7	Visibilité	114
4.10	PLANIFICATION DES TRAVERSÉES	115
4.10.1	Phase stratégique	116
4.10.2	Phase tactique	117
4.11	PRINCIPES DE NAVIGATION À DE HAUTES LATITUDES	118
4.11.1	Instruments de navigation	118
4.11.2	Cartes marines et publications nautiques du Service hydrographique du Canada	118
4.11.3	Point de référence horizontale	120
4.11.4	Compas	120
4.11.5	Sondages	121

4.11.6	Détermination de la position	121
4.11.7	Utilisation du radar pour la navigation dans les eaux arctiques	122
4.11.8	Système de localisation GPS	122
4.11.9	Système mondial de satellites de navigation (GLONASS)	123
4.11.10	Radios	123
4.11.11	INMARSAT	124
4.11.12	Satellite de télécommunications du service mobile (MSAT) et système de satellites SkyTerra Communications	124
4.11.13	Système de satellites Iridium	124
4.12	RECHERCHE ET SAUVETAGE	124
4.13	SIGNALEMENT DE DÉVERSEMENTS D'HYDROCARBURES	125
4.14	CARBURANT ET EAU	125
4.15	PERTURBATIONS ENVIRONNEMENTALES AFFECTANT LE MOUVEMENT DES GLACES, LES OISEAUX, LES ANIMAUX ET LES POPULATIONS DE POISSONS	125
4.16	INFORMATION SUR LES GLACES	126
4.16.1	Niveaux d'information sur les glaces	126
4.16.2	Systèmes de télédétection	127
4.16.3	Cartes des glaces du Service canadien des glaces	129
4.16.4	Caractéristiques des glaces de mer	135
4.16.5	Observations maritimes depuis les navires	140
CHAPITRE 5. CONCEPTION ET CONSTRUCTION DES NAVIRES POUR LA NAVIGATION DANS LES GLACES		142
5.1	CONCEPTION DE LA FORME DE LA COQUE	142
5.1.1	Forme de la proue	142
5.1.2	Forme du milieu	142
5.1.3	Forme de la poupe	142
5.2	CONCEPTION DE LA CHARPENTE	143
5.2.1	Poussée des glaces	143
5.2.2	Disposition de la charpente	143
5.2.3	Matériaux de construction et comportement à basse température	144
5.3	SYSTÈMES DE PROPULSION	144
5.3.1	Machines d'entraînement	145
5.3.2	Transmissions électriques	145
5.3.3	Transmissions mécaniques	145
5.3.4	Arbres et organes de ligne d'arbres	145
5.3.5	Hélices	146
5.4	SYSTÈMES DE COMMANDE DE GOUVERNAIL	146
5.5	SYSTÈMES AUXILIAIRES	147
5.5.1	Refroidissement	147
5.5.2	Gel de tuyaux, de soupapes et de réservoirs	149
5.5.3	Élimination des déchets	150
5.5.4	Chauffage du mazout	150
ANNEXE A TERMINOLOGIE DES GLACES, DE LA NAVIGATION ET DE LA CONCEPTION DE NAVIRES		151
A.1	TERMINOLOGIE DES GLACES	151

A.2	TERMINOLOGIE DE LA NAVIGATION	160
A.3	TERMINOLOGIE DE LA CONCEPTION DES NAVIRES	161
ANNEXE B DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE.....		162
ANNEXE C	CONSEIL SUR L'ACCEPTATION DES PUBLICATIONS NAUTIQUES NUMERIQUES AU CANADA.....	164

CHAPITRE 1. SERVICES DE DÉGLAÇAGE ET D'AIDE À LA NAVIGATION

1.1 GÉNÉRALITÉS

Une gamme diversifiée de services de déglacement et d'assistance est proposée aux navires transitant dans les eaux canadiennes couvertes de glaces. Les centres d'opérations des glaces de la Garde côtière canadienne (GCC) sont exploités sur une base saisonnière selon l'état des glaces. Ils travaillent de concert avec les Centres des Services de communications et de trafic maritimes (SCTM) pour livrer une information à jour sur les conditions de glaces, proposer des routes aux navires pour traverser ou contourner les glaces, et coordonner les services de brise-glaces en aide à la navigation.

Les centres d'opérations des glaces sont constamment en contact avec les brise-glaces et les navires dont ils suivent la progression dans leur secteur de responsabilité. De plus, le Service canadien des glaces (SCG) d'Environnement Canada fournit des spécialistes des glaces et des aéronefs de reconnaissance des glaces. Ils travaillent en tout temps avec les centres d'opérations des glaces pendant la saison de navigation. Les surintendants des opérations de déglacement de la Garde côtière canadienne ont un portrait complet et à jour de l'état des glaces et des tendances prévues dans leurs zones respectives. Conséquemment, ils sont bien informés pour fournir aux navigateurs des conseils judicieux sur les meilleures routes à suivre.

Pour obtenir le maximum de bénéfices de ces services, il est recommandé que les capitaines communiquent avec la Garde côtière avant que leurs navires ne pénètrent dans des eaux où ils sont susceptibles de rencontrer des glaces. Ces communications initiales et les rapports ultérieurs sur la position du navire permettront aux centres d'opérations des glaces de la Garde côtière canadienne de suivre continuellement la progression d'un navire et, dans la situation où l'assistance d'un brise-glace serait requise, d'être en mesure de l'assigner avec un minimum de délais. Le nombre de brise-glaces disponibles pour assister les navires est limité. En conséquence, les capitaines sont invités à suivre la route recommandée qui leur est fournie. Ils peuvent aussi contribuer à ce Service en communiquant des informations sur les conditions de glaces qu'ils rencontrent, soit en langage courant ou au moyen du code présenté dans la section 4.16.5.

1.2 COMMUNICATIONS

Les communications jouent un rôle clé pour assurer une navigation sécuritaire dans les glaces. Le capitaine se fonde sur la précision des informations et des conseils qu'il reçoit relativement à l'état des glaces pour décider de la route et de la progression de son navire. De même, un service efficace d'aide à la navigation et d'escorte de brise-glace exige des communications sûres. La section 0 de ce manuel fournit les détails pour les communications avec les brise-glaces de la Garde côtière canadienne.

Le système de Service de trafic maritime de l'Est du Canada, connu sous le nom d'ECAREG CANADA, et le Service du trafic maritime du Nord canadien (NORDREG CANADA) sont des services du trafic maritime obligatoires pour les navires. Ils offrent aux navigateurs des informations sur les glaces, la route recommandée pour les navires, l'assistance d'un brise-glace, et d'autres services de la GCC. Les navires peuvent contacter ECAREG ou NORDREG par le biais du Centre SCTM le plus près ou ils peuvent se référer à la dernière édition de la publication annuelle les *Aides radio à la navigation maritime*.

NOTA : Les navires doivent contacter ECAREG CANADA et NORDREG 24 heures avant de pénétrer dans les eaux canadiennes pour obtenir une autorisation de navigation. Ils doivent aussi contacter ECAREG et NORDREG 96 heures avant d'entrer dans les eaux canadiennes pour se conformer aux exigences de Transports Canada Sécurité Maritime (notification préalable à l'arrivée).

Les Centres SCTM acceptent les messages sans frais, tel que:

- messages relatifs aux conditions météorologiques ou glacielles et aux prévisions qui s'y rapportent;
- messages relatifs aux aides à la navigation;
- messages ECAREG et NORDREG;
- messages sur les incidents de pollution;
- messages radio-médical.

Pour obtenir des informations supplémentaires sur les services de message SCTM, veuillez consulter la dernière édition de la publication annuelle les *Aides radio à la navigation maritime*.

NOTA : *Afin d'avoir une information précise et à jour des conditions de glaces, il est fortement recommandé aux navires participant aux systèmes de trafic maritime ECAREG ou NORDREG de fournir la position, l'information sur l'état des glaces et des renseignements météorologiques à 1200, 1600 et 2000 UTC lorsque des glaces sont présentes.*

1.3 CENTRES D'OPÉRATIONS DES GLACES DE LA GARDE CÔTIÈRE CANADIENNE

La Garde côtière canadienne met en service des Centres d'opérations des glaces dans les régions où les opérations des navires se déroulent en présence de glaces. Ces Centres travaillent en collaboration avec les bureaux d'ECAREG CANADA et de NORDREG CANADA qui reçoivent des navires les demandes de renseignements sur l'état des glaces, les routes à suivre, l'assistance d'un brise-glace. Ces demandes sont ensuite transmises aux surintendants du déglçage de la Garde côtière canadienne.

GLACE ATLANTIQUE: **Téléphone:** (709) 772-2078 **Télécopieur :** (709) 772-5369

GLACE QUÉBEC:

Services de brise-glaces **Téléphone:** (418) 648-7290 **Télécopieur :** (418) 648-3614

**Services de renseignements
sur les glaces** **Téléphone:** (418) 648-2214 **Télécopieur :** (418) 648-7305

GLACE SARNIA:

Services de brise-glaces **Téléphone:** 1-800 265-0237

**Services de renseignements
sur les glaces** **Téléphone:** (519) 383-1855 **Télécopieur :** (519) 337-2498

MARINFO SITE INTERNET <http://www.marinfo.gc.ca/en/glaces/index.asp>

SITE INTERNET DÉGLÇAGE: http://www.ccg-gcc.gc.ca/eng/CCG/Ice_Home

INFORMATION GÉNÉRALE **Courriel:** ice-glance@dfo-mpo.gc.ca

Le Centre d'opérations des glaces de la Garde côtière canadienne situé à Sarnia travaille de concert avec le centre de navigation dans les glaces de la Garde côtière des tats-Unis. Ensemble, ils coordonnent la navigation dans les glaces sur le territoire des Grands Lacs depuis l'écluse supérieure de Beauharnois jusqu'à Thunder Bay, incluant les principales voies navigables reliant ces étendues d'eau, la baie Georgienne et le cours supérieur du fleuve Saint-Laurent. Le Centre d'opérations des glaces de Sarnia ouvre normalement le 1^{er} décembre et ferme quand les glaces ne font plus obstacle à la navigation.

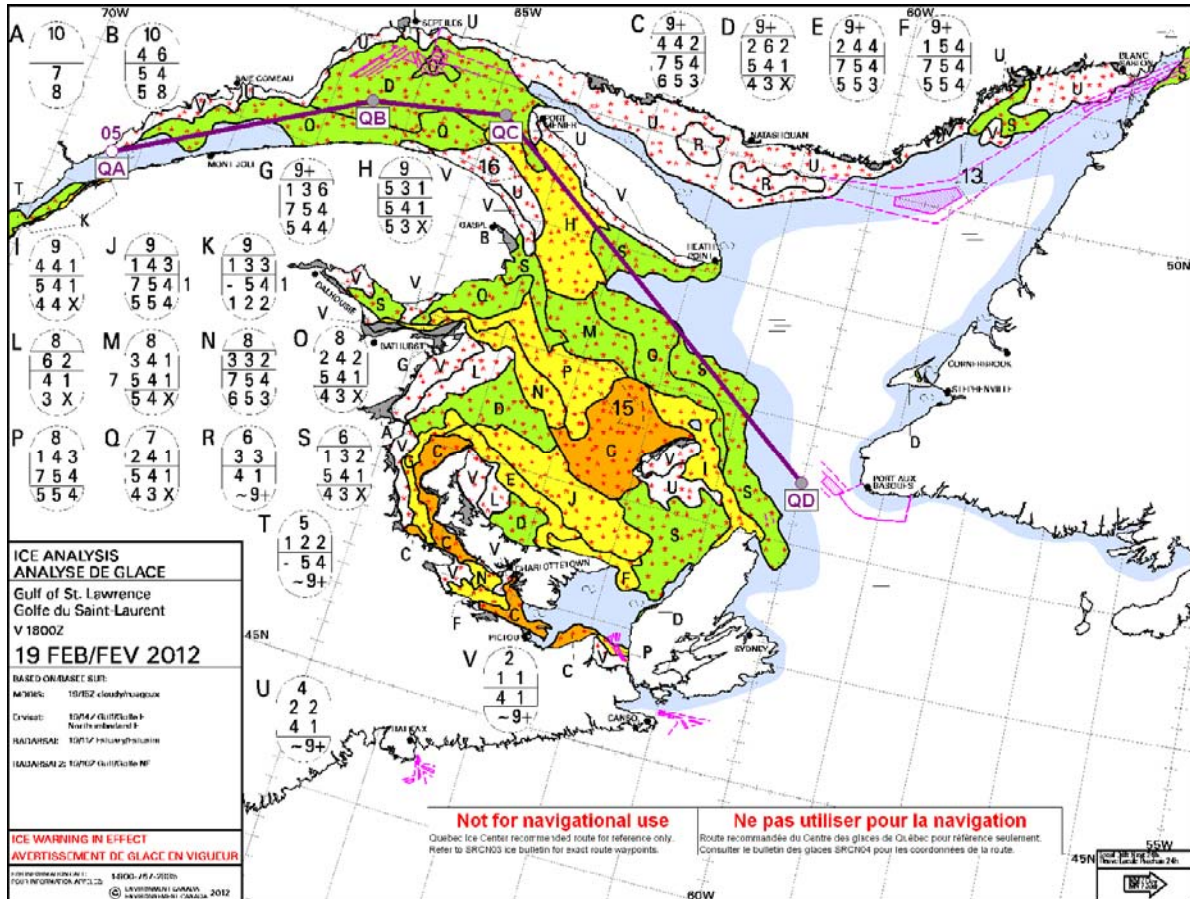
Un des objectifs des Centres d'opérations des glaces est de maintenir le portrait présent des conditions de glaces. Les informations sont fournies par le Service Canadien des Glaces, les navires, et les rapports sur

les glaces officiers dans les bases. Cette mise à jour est disponible pour les navires 24h par jour dans les Centres SCTM. Les Centres d'opérations des glaces planifient également les activités quotidiennes et les assignations des brise-glaces déployés dans leur région. Ces planifications quotidiennes sont basées sur les conditions de glaces et les demandes d'assistance en brise-glaces.

Les surintendants du déglacage préparent pour les navires des routes recommandées détaillées qui sont mises à jour quotidiennement, ou au besoin. Ces routes sont fournies sous forme de coordonnées géographiques et peuvent aussi être ajoutées comme couche d'information supplémentaire sur les cartes des glaces. Les routes recommandées pour le corridor de navigation principale dans le Golfe du Saint-Laurent (voir figure 1), ainsi que d'autres informations sur les glaces sont disponibles sur le site internet MARINFO de la GCC à l'adresse suivante : <http://www.marinfo.gc.ca/fr/Glaces/index.asp>

La Garde côtière canadienne a élaboré des Niveaux de Service (NDS) pour les opérations de déglacage. Les NDS fournissent une description des différents services offerts, ainsi que les normes de service ciblés tels que la disponibilité des brise-glaces (où et quand) et combien de temps il peut s'écouler avant qu'un brise-glace arrive à l'endroit où l'assistance a été demandée. Les NDS du programme de déglacage sont disponibles sur le site suivant : http://www.ccg-gcc.gc.ca/fra/GCC/Glace_Accueil.

Figure 1 Exemple d'une route recommandée dans les glaces du golfe du Saint-Laurent



1.4 NAVIGATION HIVERNALE DANS LE SUD DU CANADA

1.4.1 Exigences en matière de messages

Le système de Service de trafic maritime de l'Est du Canada, connu sous le nom d'ECAREG CANADA, est un services de trafic maritime obligatoire offrant un guichet unique auquel le navigateur peut s'adresser

pour obtenir des services de la GCC. Le *Règlement sur la zone de services de trafic maritime de l'Est du Canada* s'applique aux navires d'au moins 500 tonneaux de jauge brute. Le service est aussi obligatoire pour les navires remorquant ou poussant un ou plusieurs navires jaugeant au moins 500 tonneaux au total ou lorsqu'un de ces navires transporte des produits polluants ou dangereux, tels que définit par les règlements canadiens et internationaux.

La zone de trafic de l'Est du Canada comprend toutes les eaux canadiennes du littoral est au sud du cap Chidley (60° 00' N) et celles du golfe et du fleuve Saint-Laurent à l'est du 60° 00' O. Les zones de services locaux du trafic maritime ne font pas partie de la zone ECAREG CANADA, mais elles lui transmettent toute demande de services à ECAREG CANADA et / ou les Centres d'opérations des glaces.

Les navires transitant sur le fleuve Saint-Laurent à l'ouest du 66° de longitude Ouest peuvent obtenir des renseignements sur les glaces fluviales en s'adressant à ECAREG CANADA par le biais d'un Centre SCTM avant de franchir cette longitude, ou en communiquant avec les Services de trafic maritime compétents sur la fréquence correspondant au secteur s'ils se sont déjà engagés sur le fleuve.

Les navires pénétrant dans les eaux visées et demandant à ECAREG CANADA l'autorisation d'y entrer doivent, outre les renseignements qu'exige le *Règlement sur la zone de services de trafic maritime de l'Est du Canada*, communiquer les données suivantes :

- tirants d'eau avant et arrière;
- port en lourd;
- vitesse en eau libre;
- classe ou cote de navigation dans les glaces, s'il y a lieu, et société de classification;
- nombre d'hélices;
- puissance motrice sur l'arbre;
- type de système de propulsion.

ECAREG CANADA délivre une autorisation de navigation sujette aux conditions énoncées dans l'autorisation. Des rapports réguliers sont aussi exigées aux navires lors de l'accostage et de l'appareillage, et lorsqu'ils sortent de la zone ECAREG CANADA. Les procédures et renseignements exigés pour ces rapports sont indiqués dans la dernière édition de la publication annuelle de la Garde côtière intitulée les *Aides radio à la navigation maritime*.

1.4.2 Terre-Neuve-et-Labrador

Il s'agit de toutes les eaux situées au sud et à l'est du cap Chidley, y compris les eaux autour de Terre-Neuve-et-Labrador.

Adresse : ECAREG CANADA

Centre des SCTM : St. John's, Terre-Neuve

Indicatif d'appel : VON

Téléphone : 709-772-3366 **Télécopieur :** 709-772-5369

Courriel : ECAREGSNF@INNAV.GC.CA

1.4.3 Provinces maritimes

Il s'agit des eaux de la région sud et ouest du golfe Saint-Laurent au sud du corridor principal de navigation entre le détroit de Cabot et le fleuve Saint-Laurent, le port de Gaspé, la baie des Chaleurs, le Nouveau-Brunswick et des eaux de l'Île-du-Prince-Édouard et des abords du port de Sydney.

Adresse : ECAREG CANADA
Centre des SCTM : Halifax, Nouvelle-Écosse
Indicatif d'appel : VCS
Téléphone : 902-426-4956 **Télécopieur :** 902-426-4483
Courriel : ECAREG1@INNAV.GC.CA

1.4.4 Golfe du Saint-Laurent et fleuve Saint-Laurent

Il s'agit des eaux du fleuve Saint-Laurent à l'est de Montréal, y compris le Saguenay et le corridor principal de navigation entre le fleuve Saint-Laurent et le détroit de Cabot.

Adresse : ECAREG CANADA
Centre des SCTM : Rivière-au-Renard
Indicatif d'appel : VCG
Téléphone : (418) 269-3843 **Télécopieur :** (418) 269-5514
Courriel : RARECAREG@INNAV.GC.CA

1.4.5 Voie maritime du Saint-Laurent

La voie maritime du Saint-Laurent s'étend de Montréal au lac Érié. Elle comprend le canal Welland, souvent désigné comme la partie ouest de la voie, et à l'est la portion Montréal – lac Ontario, qui va de l'écluse de Saint-Lambert près de Montréal (embouchure aval de la voie maritime) jusqu'au lac Ontario, au-delà de l'écluse d'Iroquois.

La saison de navigation s'étend de la fin du mois de mars à la fin du mois de décembre. L'Administration de la voie maritime diffuse des avis pour informer les navigateurs des dates précises d'ouverture et de fermeture de la saison, ainsi que des restrictions quant à la vitesse et au tirant d'eau et des procédures que doivent respecter les navires à l'ouverture et à la fermeture. Elle peut augmenter ou diminuer les restrictions en fonction de l'état des glaces et d'autres conditions. Elle annonce ces modifications le plus tôt possible et jamais moins de 24 heures avant qu'elles n'entrent en vigueur. Les navigateurs sont priés de consulter le site internet suivant <http://www.greatlakes-seaway.com/> pour connaître l'ensemble de la réglementation qui régit la navigation dans la voie maritime du Saint-Laurent.

1.5 EAUX ARCTIQUES, Y COMPRIS LA BAIE ET LE DÉTROIT D'HUDSON

1.5.1 Exigences en matière de rapports

Plusieurs instances canadiennes sont impliquées dans la navigation dans l'Arctique canadien notamment, le Gouvernement Fédéral, le Gouvernement des territoires du Nord-Ouest (Yellowknife), le Gouvernement du Nunavut (Iqaluit), le Gouvernement du Yukon, et les provinces canadiennes du Manitoba et du Québec. Les navires doivent contacter une des organisations gouvernementales suivantes avant d'entreprendre leur voyage dans l'Arctique :

1. Transports Canada (Transport Maritime) - Région des Prairies et du Nord est au courant des dernières informations à jour au sujet de la réglementation maritime applicable aux navires opérant dans la région, et est en charge de l'approbation de tous les navires. Le navire devra disposer d'un itinéraire général qui permettra de déterminer s'il peut opérer à l'intérieur des limites légales des différentes Zones de contrôle de la sécurité de la navigation.
2. La Garde côtière canadienne de la région du Centre et de l'Arctique doit obtenir un itinéraire au début du processus de planification. La Garde côtière utilisera cette information, ainsi que d'autres documents soumis au printemps, pour planifier le déploiement de ses brise-glaces lors de la prochaine saison.
3. La réglementation en matière de douane et d'immigration doit être consultée par les opérateurs de navires de croisière du fait qu'une licence de cabotage est nécessaire au Canada pour les navires transportant des passagers d'un port à un autre. L'Agence des services frontaliers du Canada coordonne cette activité avec Transports Canada. Les organisateurs doivent aussi fournir des détails sur les itinéraires prévus au ministère des Affaires étrangères et du Commerce international.
4. Après avoir obtenu une approbation et pris des arrangements avec l'Agence des services frontaliers du Canada et Citoyennt et Immigration Canada, il faut communiquer avec Transports Canada, Sécurité pour aborder les questions de sécurité régies par la Loi sur la srt du transport maritime.

1.5.2 Système de services de trafic maritime du Nord canadien

Le Règlement sur la zone de services de trafic maritime du Nord canadien s'applique à tous les bâtiments d'une jauge brute de 300 ou plus; les bâtiments qui remorquent ou poussent un autre bâtiment lorsque les jauges brutes combinées du bâtiment et du bâtiment remorqué ou poussé sont de 500 ou plus; les bâtiments qui transportent, comme cargaison, un polluant ou des marchandises dangereuses, ou les bâtiments qui remorquent ou poussent un bâtiment qui transporte, comme cargaison, un polluant ou des marchandises dangereuses

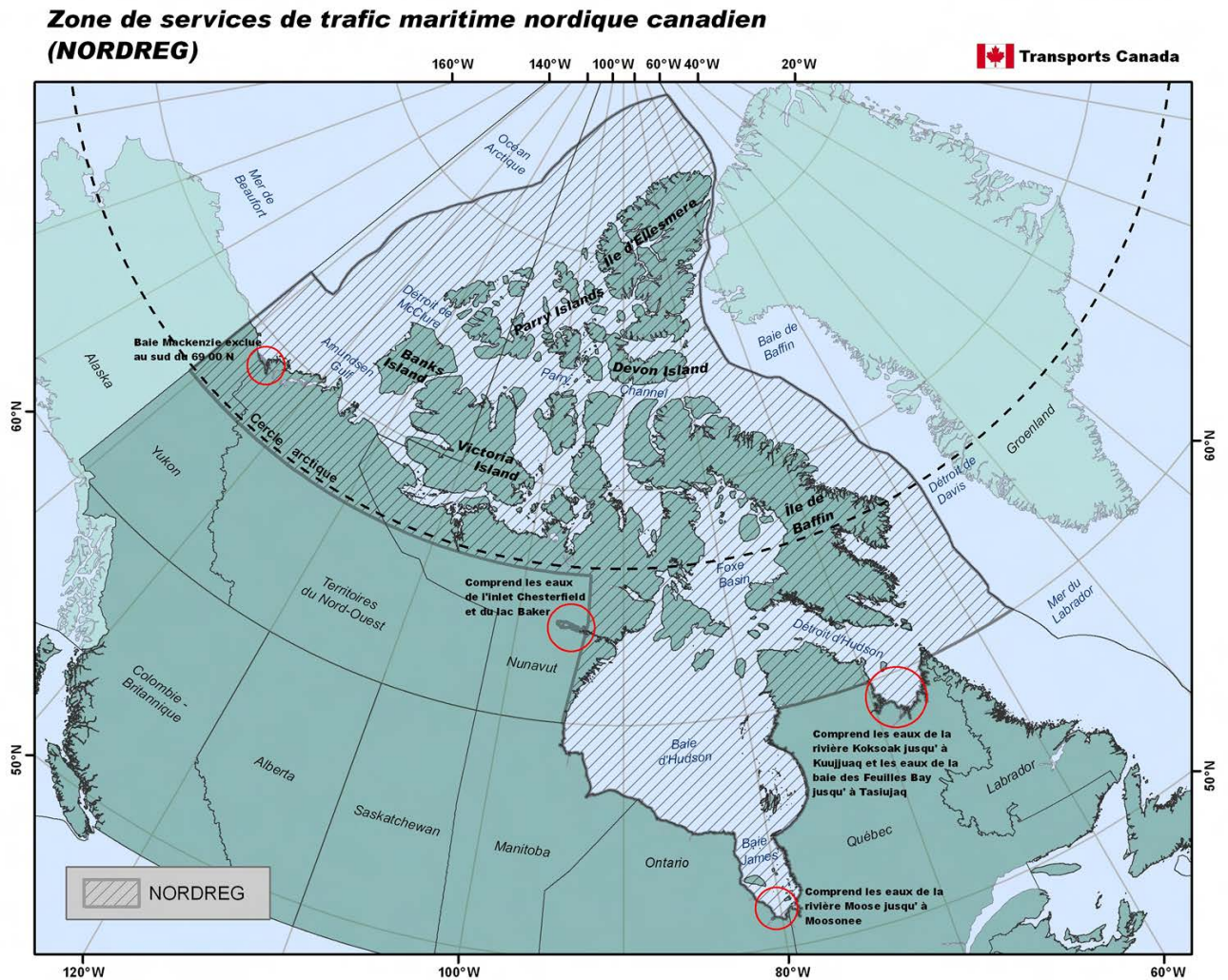
NORDREG CANADA est un système de Service de trafic maritime obligatoire qui fournit de l'information sur l'état des glaces, les routes recommandées, et la prestation des services de brise-glaces, et sur les autres services gouvernementaux. Les navigateurs peuvent obtenir de l'information sur les glaces et avoir accès à des services d'assistance en envoyant un message sans frais à NORDREG CANADA.

La zone de services de trafic maritime du Nord canadien (NORDREG CANADA) comprend : (v. figure 2)

- a) les zones de contrôle de la sécurité de la navigation établies par le décret sur les Zones de contrôle de la sécurité de la navigation,
- b) les eaux des baies d'Ungava, d'Hudson et de Kugmallit qui ne font pas partie de Zones de contrôle de la sécurité de la navigation,
- c) les eaux de la Baie James,
- d) celles de la rivière Koksoak de la Baie d'Ungava à Kuujuaq,
- e) les eaux de la Baie-aux-Feuilles de la Baie d'Ungava à Tasiujaq,
- f) les eaux du bras de Chesterfield qui ne sont pas à l'intérieur de Zones de contrôle de la sécurité de la navigation,
- g) les eaux du lac Baker, et celles de la rivière Moose de la Baie James à Moosonee

Le bureau de NORDREG CANADA est situé dans le centre SCTM d'Iqaluit, Île de Baffin (Nunavut), et est supporté par le Centre d'opérations des glaces de la Garde côtière canadienne. Le centre SCTM Iqaluit est opérationnel chaque année sur une base saisonnière, *de la mi-juin à la fin novembre*, (les dates réelles sont transmises soient par les *Avis à la Navigation* ou les messages d'avertissements NAVAREA). Au cours de la période de fermeture saisonnière du centre SCTM d'Iqaluit, c'est le centre SCTM de Prescott qui assume la responsabilité de NORDREG. Les informations et les exigences de rapport pour NORDREG CANADA sont contenues dans l'édition *Aides Radio à la Navigation Maritime*.

Figure 2 Zone NORDREG Canada



Adresse :	NORDREG CANADA		
Station SCTM :	Iqaluit, Nunavut	Indicatif d'appel :	VFF
Courriel:	IQANORDREG@innav.gc.ca		
Opérationnel de la mi-juin à la fin novembre			
Télex (télécopie):	063-15529	Adresse télégraphique: NORDREG CDA	
Téléphone:	(867) 979-5724	Télécopieur : (867) 979-4236	

<i>Opérationnel de la fin novembre à la mi-juin</i>		
Station SCTM :	Prescott, Ontario	Indicatif d'appel : VBR
Téléphone:	613-925-4471	Télcopieur : 613-925-4519

1.6 SERVICE CANADIEN DES GLACES D'ENVIRONNEMENT CANADA

Tout au long de l'année, le Service canadien des glaces d'Environnement Canada fournit des services d'information sur les glaces pour les voies navigables canadiennes. Le Service canadien des glaces (SCG) dispose à Ottawa d'un centre opérationnel qui compile toutes les données sur les glaces et est chargé de l'analyse des images satellites, des cartes des glaces, des prévisions et des avertissements sur l'état des glaces pour les eaux navigables du Canada.

Il produit tous les jours des prévisions et des cartes des glaces pour les zones d'activité maritime connue où les glaces constituent une menace pour la navigation. Ces renseignements parviennent aux centres d'opérations des glaces de la Garde côtière et font également l'objet d'une diffusion par radiotéléphone et télcopieur par les centres des SCTM. Le détail de ces communications est reproduit dans la publication de la Garde côtière *Aides radio à la navigation maritime*. Les centres SCTM procurent en outre sur demande des données sur les glaces, y compris avant le départ des navires. Il est possible d'obtenir directement les renseignements nécessaires à une planification à plus long terme, des prévisions sur une longue période et des services de consultation auprès du Service canadien des glaces à Ottawa. Les informations sur les glaces, incluant celle du fleuve Saint-Laurent, peuvent être obtenues sur le site internet MARINFO de la Garde côtière à l'adresse suivante : <http://www.marinfo.gc.ca/fr/Glaces/index.asp>

Site internet du Service canadien des glaces : <http://ice-glaces.ec.gc.ca/>

Adresse : Service canadien des glaces
373, promenade Sussex
Académie La Salle, bâtiment E
Ottawa (Ontario)
K1A 0H3

Téléphone : 1-877-789-7733

Télcopieur : 613-947-9160

Le Service canadien des glaces assigne des spécialistes des glaces sur les grands brise-glaces de la Garde côtière. Ils sont responsables de la réception des images radar aéroporté, d'images satellites, et de la reconnaissance tactique des glaces à bord d'hélicoptères, pour les brise-glaces et pour les centres d'opérations des glaces.

Transports Canada, en collaboration avec le Service canadien des glaces, est responsable du Programme National de Surveillance Aérienne dont l'objectif est de surveiller les navires qui transitent dans les eaux sous juridiction canadienne. Deux aéronefs sont munis d'équipements pour la reconnaissance des glaces et la détection de la pollution provenant des navires dans le golfe du Saint-Laurent, à l'est de Terre-Neuve, dans les Grands Lacs, et dans l'Arctique canadien. Les aéronefs, un Dash 7 et un Dash 8, sont exploités par Transports Canada et le personnel est fourni par le Service canadien des glaces. Ces appareils exécutent souvent des missions mixtes d'observation visuelle et radar. Les aéronefs sont munis de systèmes de télédétection radar capables de pénétrer les nuages pour observer la surface des eaux.

Les missions de reconnaissance des glaces sont menées à des fins stratégiques, tactiques et climatologiques. La plupart des vols sont de nature tactique et destinés à aider à établir les itinéraires détaillés des brise-glaces de la Garde côtière et des navires marchands. Des services adaptés de reconnaissance des glaces sont disponibles, sous réserve des limites normales du programme, selon le principe de recouvrement des coûts.

Les images du satellite RADARSAT fournissent des informations sur l'état des glaces tout au long de l'année. Les aéronefs sont aussi utilisés pour valider sur le terrain l'interprétation des images satellites.

Figure 3 : Aéronef Dash-7 (Photo courtoisie du Service canadien des glaces)



1.7 CENTRE DE PRÉVISION DES INTÉMPÉRIES D'ENVIRONNEMENT CANADA

Les centres régionaux de prévision des intempéries d'Environnement Canada diffusent des prévisions et des avertissements sur la météo maritime concernant les zones maritimes canadiennes. Les météorologues de ces centres assurent un service de prévision et de consultation 24 heures sur 24. Les prévisions et avertissements sont diffusés par les Centres de prévision des intempéries suivants :

le Centre de prévision des intempéries des Prairies et de l'Arctique, les eaux du Nord incluent : les eaux continentales du fleuve Mackenzie, du Grand lac des Esclaves et du lac Athabasca ainsi que de toutes les eaux du Nord et des eaux au sud du 60° 00' N pour les sections Ouest des baies d'Hudson et d'Ungava et les parties sud-ouest et centrale de la Baie d'Hudson (la Baie James et l'est de la Baie d'Hudson ne sont pas compris dans la zone). Des prévisions maritimes sont également fournies pour les lacs du Manitoba, soit le lac Winnipeg, le lac Manitoba et le lac Winnipegosis.

le Centre de prévision des intempéries de l'Ontario, Thunder Bay, pour les Grands Lacs

le Centre Météorologique du Québec, pour le fleuve Saint-Laurent, la Baie James et la partie est de la Baie d'Hudson :

le Centre de prévision des intempéries des Maritimes, pour le golfe du Saint-Laurent et les eaux de la Nouvelle-Écosse, du Nouveau-Brunswick et de l'Île-du-Prince-Édouard

le centre de prévision des intempéries de Terre-Neuve-et-Labrador, pour les eaux de Terre-Neuve et la mer du Labrador

Nota : l'information sur la météo maritime et les coordonnées des centres sont disponibles sur le site internet d'Environnement Canada http://www.meteo.gc.ca/canada_f.html. Tous les bureaux de météo régionaux peuvent être contactés par le biais du centre SCTM le plus près.

1.7.1 Prévisions mtrologiques relatives aux zones maritimes

Généralement, les prévisions de météo maritime sont établies deux fois par jour pour diverses zones maritimes. Elles sont valables deux jours et donnent un pronostic pour une troisième journée; elles renseignent sur les vents, la visibilité, les embruns verglaçants et la température. On joint aux prévisions la situation maritime générale (ou résumé) où figurent des indications sur les mouvements des systèmes mtrologiques et les avertissements météo. Des bulletins maritimes spéciaux sont produits dans certaines conditions mtrologiques. Ils sont diffusés par les stations radio maritimes.

Ainsi, la plupart des centres de prévision des intempéries fournisse quatre bulletins journaliers pour leur secteur. Le centre de prévision des intempéries des Prairies et de l'Arctique fournit deux bulletins quotidiens pour les eaux de l'Arctique et de la baie d'Hudson.

1.7.2 Cartes mtrologiques de zones maritimes

Des informations mtrologiques sont aussi diffusées sous forme de cartes par télécopie en utilisant les hautes et basses fréquences radio. Les produits incluent une carte d'analyse des conditions mtrologiques existantes, ainsi que des cartes de prévision. Les navigateurs doivent consulter l'édition annuelle d'*Aides radio à la navigation maritime pour l'Atlantique et les Grands Lacs* ou *Aides radio à la navigation maritime pour le Pacifique*, où ils trouveront la liste des cartes disponibles et les heures de diffusion.

Le Centre de prévision des intempéries des Prairies et de l'Arctique produit des cartes mtrologiques des régions de l'Arctique qui sont diffusées par le bureau de la Garde côtière d'Iqaluit. Le Centre mtrologique et océanographique des Forces canadiennes, à Halifax en Nouvelle-Écosse, diffuse de nombreuses cartes, dont des cartes des conditions maritimes, tout au long de l'année.

1.8 METAREAS (ZONES MÉTÉO) ET NAVAREAS (ZONES DE NAVIGATION)

La Garde côtière canadienne assume la coordination pour les zones géographiques NAVAREAS XVII et XVIII aux fins du Service mondial d'avertissements de navigation. Ce service a été entièrement opérationnel à partir du 1er juin 2011. Les navigateurs doivent consulter le *Aides radio à la navigation maritime* pour plus de détails.

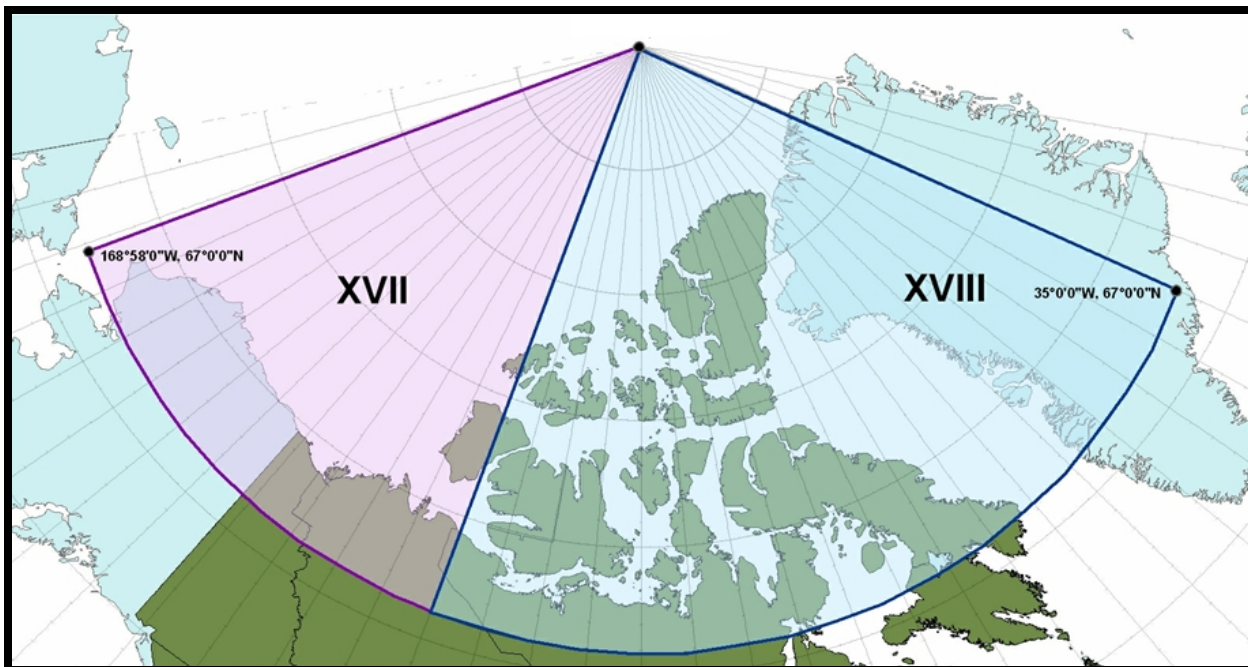
Pendant la saison de navigation, les avis et les prévisions mtrologiques pour les secteurs METAREA XVII et XVIII au sud du 75° parallèle (latitude) seront diffusés sur le réseau SafetyNET d'Inmarsat-C en mode AGA :

METAREA	Région	Transmission (UTC)
XVII	(ROP)	0300, 1500
XVIII	(ROA-O)	0300, 1500

Les avertissements émis dans les zones de navigation XVII et XVIII au sud du 75° degré de latitude nord seront diffusés par le biais de Inmarsat-C EGC SafetyNET:

Zone de navigation	Région	Transmission (UTC)
XVII	(POR)	1130, 2330
XVIII	(AOR-W)	1100, 2300

Pendant la saison de navigation, les avis et les prévisions mtrologiques pour les secteurs METAREA XVII et XVIII au nord du 70° degré de latitude seront diffusés par impression directe à bande étroite de haute fréquence (8416.5 kHz) par le centre de la Garde côtière canadienne à Iqaluit NU. Les horaires de diffusion sont fixés à 0330 UTC et 1530 UTC quotidiennement.

Figure 4 METAREAS et NAVAREAS dans l'Arctique canadien

1.9 SERVICES NAVTEX

Le service NAVTEX (télex de navigation) est disponible à partir de plusieurs sites de transmission au moyen de la fréquence 518 kHz (en anglais) et 490 kHz (en français) des avertissements de navigation, des avertissements météorologiques, des rapports sur l'état des glaces, des renseignements de recherche et sauvetage, des prévisions météorologiques et des avertissements du système d'identification automatique (SIA) et GPS. Des renseignements supplémentaires sur les services NAVTEX sont présentés dans la publication *Aides radio à la navigation maritime*.

Le service NAVTEX est disponible à partir des sites de transmission suivants :	
SITE	POSITION
St. John's	47° 30'N 52° 40'O
Labrador	53° 42'N 57° 02'O
Sydney	46° 10'N 60° 00'O
Yarmouth	43° 45'N 66° 07'O
Sept-Iles	50° 15'N 66° 10'O
Thunder Bay	48° 25'N 89° 20'O
Wiarton	44° 20'N 81° 10'O
Iqaluit	63° 43'N 68° 33'O
Tofino	48° 55'N 125° 32'O
Prince Rupert	54° 17'N 130° 25'O

Le service NAVTEX est disponible à partir des sites de transmission suivants :

SITE	POSITION
Kodiak Alaska	57°46'N 152°34'O
Kook Island (Nuuk)	64°04'N 052°01'O
Upernavik (île Disko)	72° 50'N 56° 09'O
Simiutaq (secteur du Cap Farewell)	60° 41'N 46° 36'O
Tiksi, SA, Fédération Russe	71°38'N 128°50'E

1.10 AIDES À LA NAVIGATION HIVERNALE DANS LES EAUX CANADIENNES

Durant les mois d'hiver, les capitaines sont avisés que la plupart des bouées classiques sont enlevées et remplacées dans des zones critiques par des bouées espar non éclairées tout au long du littoral sud-ouest et est de Terre-Neuve, dans le secteur de l'île du Cap-Breton, le golfe et le fleuve Saint-Laurent. Signalons qu'il est possible que ces bouées

- a) se trouvent sous la glace,
- b) soient déplacées,
- c) soient d'une couleur terne ou trompeuse pour le navigateur ou
- d) soient tout simplement absentes à la position relevée.

Par conséquent, il faut faire preuve de prudence dans les eaux où elles sont utilisées. De même, il ne faut se fier ni aux tables ni aux listes de caractéristiques de ces feux. Pour plus de détails, consulter la dernière édition des *Avis aux navigateurs*.

Figure 5 et 6 : Exemple de bouées d'hiver (Photos courtoisie du Service canadien des glaces)



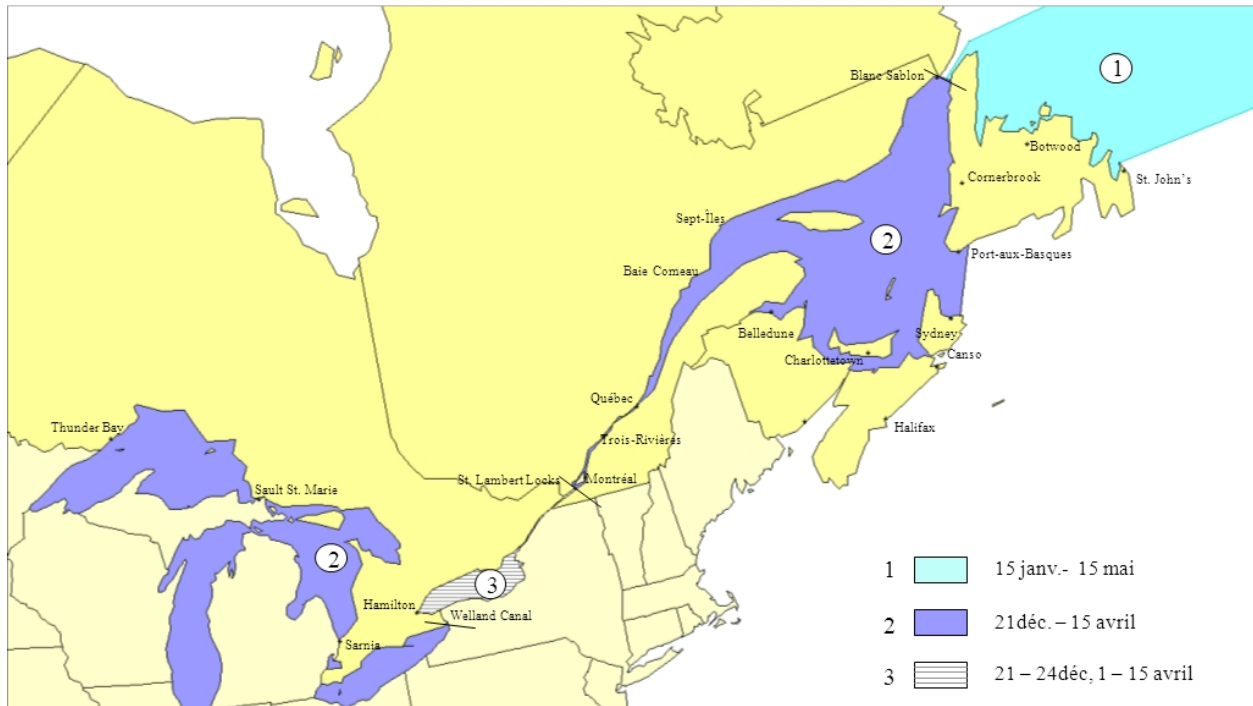
MISE EN GARDE : LES NAVIGATEURS NE DOIVENT PAS SE RÉFÉRER UNIQUEMENT AUX BOUÉES OU AUTRES AIDES À LA NAVIGATION POUR SE GUIDER.

1.11 DROITS DE SERVICES DE DÉGLAÇAGE

En 1995, le gouvernement fédéral a annoncé qu'il commencerait à récupérer une partie du coût des services maritimes. La Garde côtière a mené de vastes consultations auprès de ses intervenants au sujet de la formule que devraient prendre ces droits d'utilisation. Avant de mettre en application les droits en question, la Garde côtière a examiné diverses options et en a discuté avec des représentants de l'industrie maritime. Par la suite, le barème de droits de services à la navigation maritime applicable aux navires de commerce est entré en vigueur en 1996 et le barème de droits des services de déglacage (DSD) en 1998.

Les DSD permettent de recouvrer une partie des coûts assumés par le gouvernement fédéral pour fournir les services d'aide au passage des navires, de conseils et de renseignements sur la navigation dans les glaces, et d'entretien des ports et des installations maritimes à l'appui de la navigation commerciale. Depuis le 21 décembre 1998, tous les navires de commerce qui entrent ou quittent un port canadien situé dans une zone de glaces, durant la saison des glaces, doivent payer un droit de transit. Pour plus de détails sur l'application des droits de services de déglacage ainsi que des explications sur la zone de glaces et la saison des glaces, consultez le site web de la Garde côtière canadienne (http://www.ccg-gcc.gc.ca/fra/GCC/Glace_Droits_de_service) ou composez le 1-800-563-6295.

Figure 7 : Zones de glaces



CHAPITRE 2. RÉGLEMENTATION ET LIGNES DIRECTRICES

2.1 RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

La *Loi sur la marine marchande du Canada* s'applique à toutes les eaux territoriales et les zones de pêche. Au Canada, la navigation dans l'Arctique est régie par plusieurs textes de loi. Il s'agit principalement de la *Loi sur la prévention de la pollution des eaux arctiques* et des règlements connexes, de la *Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada*, de la *Loi sur la responsabilité en matière maritime*, de la *Loi sur la sûreté du transport maritime*, de la <http://www.tc.gc.ca/fra/lois-reglements/lois-1992ch31.htm>, *Loi sur le cabotage* et du *Code canadien du travail*, ainsi que du *Règlement sur les cartes marines et les publications nautiques*(1995), adopté en vertu de la *Loi sur la marine marchande du Canada*. Ces lois et règlements ont été élaborés pour renforcer la sécurité et protéger la vie, la santé, les biens et le milieu marin. Il incombe aux armateurs et aux exploitants de veiller à se conformer à toutes les lois et à tous les règlements applicables.

2.2 RÈGLEMENT SUR LES CARTES ET LES PUBLICATIONS (1995)

Le *Règlement sur les cartes marines et les publications nautiques*(1995) s'applique à tous les navires canadiens dans toutes les eaux et à tous les navires se trouvant dans les eaux qui relèvent de la compétence canadienne. Une seule exception s'applique aux capitaines et propriétaires de navires de moins de 100 tonnes, si la sécurité et l'efficacité de la navigation n'est pas compromise compte tenu du fait que la personne chargée de la navigation connaît suffisamment les caractéristiques et les risques associés à la zone où le navire évolue.

Le Règlement oblige les navires à disposer des versions les plus actualisées et à la plus grande échelle des cartes et des publications correspondant à la zone de navigation qu'ils traversent. Les cartes et publications utilisées doivent être mises à jour au moyen des derniers *Avis aux navigateurs*, *Avis à la navigation* ou avertissements radio à la navigation avant de pouvoir servir au pilotage. Pour aider le navigateur à se munir des bonnes cartes, une liste des cartes nautiques exigées pour des voyages dans des localisations canadiennes spécifiques est publiée dans l'*Édition annuelle des avis aux navigateurs*.

En vertu du Règlement, tout navire doit avoir à bord les diverses publications qu'exige normalement une navigation sécuritaire, y compris le présent guide *Navigation dans les glaces en eaux canadiennes*, « dans le cas d'un navire qui effectue un voyage au cours duquel il peut rencontrer des glaces ». Il vise aussi les navires canadiens sillonnant des eaux autres que les eaux canadiennes s'ils doivent y rencontrer des glaces.

2.3 RÈGLEMENT SUR LES MACHINES DE NAVIRES

En vertu de la *Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada* DORS/90-264, le *Règlement sur les machines de navires*, Annexe VII, partie I, division IV, oblige tout navire devant naviguer dans les eaux recouvertes de glaces où les glaces peuvent obstruer des entrées d'eau de mer, les réserves d'eau de mer essentielles doivent être maintenues par les moyens suivants :

- a) des dispositifs pour détourner l'eau de refroidissement réchauffée des décharges aux boîtes d'adduction d'eau de mer;
- b) des moyens pour dégager les boîtes d'adduction d'eau de mer, de préférence par de la vapeur dont la pression n'excède pas la pression de service nominale de ces boîtes et qui est ventilée jusqu'au pont à ciel ouvert au moyen d'un tuyau comportant une soupape;
- c) des crépines pour entrées d'eau de mer ayant à la fois :
 - (i) des perforations d'environ 20 mm de diamètre pour prévenir l'entrée de grosses particules de glace,

- (ii) une aire totale perforée dont la surface est d'environ cinq fois celle de l'ensemble des sections transversales de tous les tuyaux d'adduction pour assurer une circulation complète de l'eau de mer dans les conditions de glace fondante.

MISE EN GARDE : LES CONDITIONS DE GLACE SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT PEUVENT ÊTRE DANGEREUSES. LE COURANT, LA PROFONDEUR, L'EAU DOUCE ET LA MARÉE PEUVENT DONNER LIEU À LA PRÉSENCE DE FRASIL JUSQU'À DES PROFONDEURS DE PLUS DE 10 MÈTRES. CES CONDITIONS DE FRASIL SONT PEUT COMMUNES DANS LES AUTRES PARTIES DU MONDE.

2.4 PUBLICATIONS COMPLÉMENTAIRES

Il existe une somme considérable d'informations sur la navigation dans les glaces dans le présent guide et dans les *Instructions nautiques* publiées par le Service hydrographique du Canada. D'autres publications utiles aux officiers de navigation, aux officiers de navigation dans les glaces de l'Arctique ou aux capitaines de navire sont énumérées à l'0, notamment le *MANICE* et les *Atlas des glaces* pour les données sur les glaces, de même que *Ice Seamanship*, le *Mariner's Handbook* et *The Ice Navigation Manual*, et le *Polar Shipping Guide* qui offrent des conseils sur la navigation.

Nota : Pour obtenir la liste complète des Lois et Règlements sur le transport maritime de Transports Canada, consultez : <http://www.tc.gc.ca/fra/lois-reglements/lois-maritime.htm>

Figure 8 : Brise-glace lourd NGCC Terry Fox

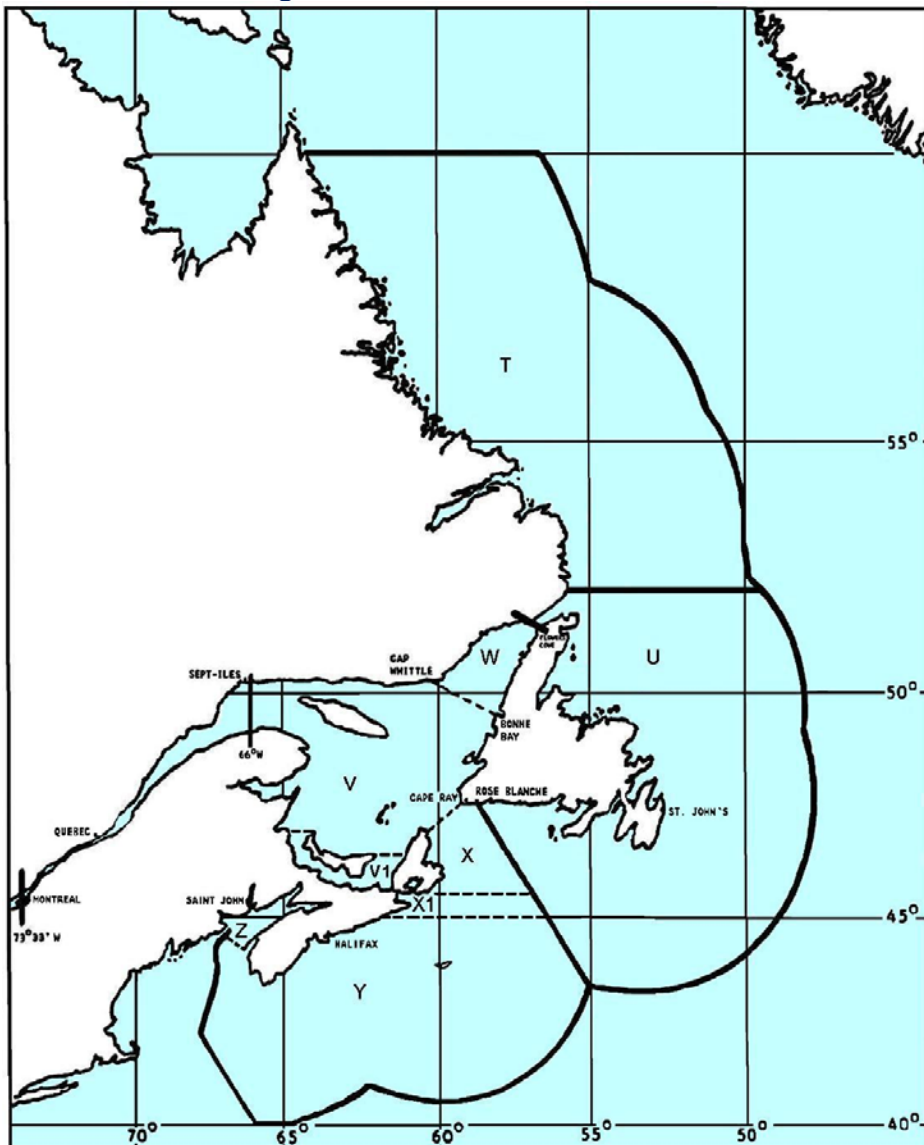


2.5 RÉGLEMENTATION ET LIGNES DIRECTRICES POUR LES EAUX COUVERTES DE GLACES DU SUD DU CANADA

2.5.1 Lignes directrices conjointes de l'industrie et du gouvernement concernant le contrôle des pétroliers et des transporteurs de produits chimiques en vrac dans les zones de contrôle des glaces de l'est du Canada TP 15163

Ces lignes directrices s'appliquent à tous les pétroliers chargés et aux navires-citernes transportant des produits chimiques liquides en vrac quand ils naviguent dans une zone de contrôle des glaces active dans les eaux de l'Est du Canada et dans les zones de pêche situées au sud de 60° de latitude Nord. La Garde côtière canadienne peut déclarer une zone de contrôle des glaces active et annoncer cette information au moyen des *avis à la navigation* et des *avis aux navigateurs*. Tout navire auquel ces lignes directrices s'appliquent doit, lorsqu'il transite dans une zone de contrôle des glaces active, avoir à bord au moins un « conseiller sur les glaces », qui remplit les conditions prescrites dans les lignes directrices. Les lignes directrices sont disponibles à l'adresse suivante <http://www.tc.gc.ca/fra/securitemaritime/tp-tp15163-menu-4025.htm>. La figure 12 montre les zones de contrôle des glaces de l'est du Canada.

Figure 9 Zones de contrôle des glaces de l'est du Canada



2.5.2 Lignes directrices relatives à la navigation sous le Pont de la Confédération TP 13681

En vertu de ces lignes directrices, les navires d'une jauge brute de plus de 1500 tonnes doivent emprunter le chenal central de navigation, qui constitue une zone de pilotage obligatoire selon le Règlement établi en vertu de la *Loi sur le pilotage*. La circulation à l'intérieur du détroit de Northumberland est réglementée par le *Règlement sur les zones de services de trafic maritime* dans la zone du Pont. Lorsque le détroit est déclaré « zone de contrôle active des glaces » et que des glaces sont présentes dans le chenal de navigation, les navires en transit doivent être escortés par un brise-glace de taille suffisante. Les lignes directrices sont disponibles à l'adresse suivante : <http://www.tc.gc.ca/publications/fr/tp13681/pdf/hr/tp13681f.pdf>.

2.5.3 Navigation hivernale sur le fleuve et le Golfe du Saint-Laurent TP 14355

Cette publication, complémentaire de *Navigation dans les glaces dans les eaux canadiennes*, est destinée aux propriétaires, opérateurs, affréteurs, agents et officiers de navires recherchant une information pratique sur les dangers qu'ils sont susceptibles de rencontrer lors d'une traversée des eaux couvertes de glaces de l'Est canadien. Pour obtenir une copie en français, vous devez contacter Transports Canada – Sécurité maritime soit par courriel (winternav@tc.gc.ca) ou téléphone (418-648-3234). Pour de plus amples informations, <http://www.tc.gc.ca/fra/quebec/securitemaritime-hivernale-1532.htm>.

2.5.4 Normes provisoires relatives à la construction, l'équipement et l'exploitation des navires à passagers dans les zones de glace de mer de l'est du Canada TP 8941

Ces normes s'appliquent aux navires à passagers qui sont immatriculés au Canada ou qui font du cabotage dans les eaux canadiennes, lorsqu'ils opèrent dans un secteur déclaré zone de glaces à l'intérieur des zones économiques de l'Est du Canada. <http://www.tc.gc.ca/fra/securitemaritime/tp-tp8941-menu-395.htm>.

2.6 RÉGLEMENTATION ET LIGNES DIRECTRICES POUR L'ARCTIQUE CANADIEN

Dans le cadre de la *Loi sur la prévention de la pollution des eaux arctiques* (LPPEA) de 1970, le gouvernement du Canada, par le biais de la Direction générale de la sécurité maritime de Transports Canada, s'acquitte de sa responsabilité de réglementation en s'assurant que la navigation dans les eaux arctiques est réalisée de façon à préserver et à protéger l'écosystème fragile du Nord. En vertu de la LPPEA, plusieurs règlements ont des incidences sur la navigation dans l'Arctique.

Comme divers règlements internationaux et canadiens en matière de navigation maritime, un certain nombre de règlements d'un intérêt particulier pour les navigateurs portent sur la navigation dans l'Arctique canadien. En voici les principaux :

- *Règlement sur la prévention de la pollution des eaux arctiques par les navires*
- *Décret sur les zones de contrôle de la sécurité de la navigation*
- *Règlement sur la prévention de la pollution des eaux arctiques par les navires*
- *Règlement sur les appareils et l'équipement de navigation*
- *Règlement sur les stations radio des navires*
- *Règlement sur les cartes et les publications nautiques (1995)*

Chaque publication, norme ou règlement mentionné ont été résumés afin d'illustrer uniquement les articles pertinents susceptibles d'avoir le plus d'incidence sur les activités des navires dans l'Arctique. Les navigateurs sont avisés que cette liste de règlements est loin d'être exhaustive et que les règlements énumérés peuvent avoir fait l'objet d'ajouts et de modifications. Il leur est conseillé de se renseigner sur tous les règlements adoptés qui sont susceptibles de les intéresser. Des copies de la réglementation du gouvernement du Canada sont disponibles sur <http://www.tc.gc.ca/fra/securitemaritime/desn-arctique-lois-reglements-menu-2272.htm>.

La loi sur la prévention de la pollution des eaux arctiques(LPPEA) et le règlement sur la prévention de la pollution des eaux arctiques(RPPEAN) fournissent des mesures pour éviter les incidents de pollution par les navires et en particulier, le dépôt de déchets dans les eaux arctiques. Le règlement sur la prévention de la pollution des eaux arctiques(RPPEAN) aborde les aspects de construction et d'opérations de la navigation dans l'Arctique notamment, le besoin d'avoir à bord des officiers de navigation dans les glaces.

Le RPPEA contient le système des zones et des dates, lequel divise l'Arctique en seize zones de contrôle de la sécurité de la navigation, où sont spécifiées les dates d'ouverture et de fermeture pour les navires qui ont des capacités différentes dans les glaces. Le système des régimes de glaces pour la navigation dans l'Arctique (SRGNA) a été adopté pour augmenter la flexibilité du système en utilisant les conditions de glace réelles pour déterminer si l'entrée dans un régime de glaces est autorisée. Un certificat sur la prévention de la pollution dans les eaux arctiques peut être émis pour un navire à l'extérieur du Canada par une Association Internationale de Classification des Sociétés reconnue.

2.6.1 Règlement sur la prévention de la pollution des eaux arctiques par les navires (RPPEAN)

Le *Règlement sur la prévention de la pollution des eaux arctiques par les navires* régit les aspects de la construction et de l'exploitation de la navigation dans l'Arctique, y compris le besoin d'officiers de navigation dans les glaces. En général, le *Règlement sur la prévention de la pollution des eaux arctiques par les navires* ne s'applique pas aux navires de 100 tonneaux ou moins de jauge brute. Toutefois, les articles 28 et 29, portant respectivement sur les eaux usées et le dépôt d'hydrocarbures, s'appliquent à tous les navires.

Le RPPEAN a introduit le système de zones et de dates dans lequel les eaux arctiques sont divisées en seize zones de contrôle de la sécurité de la navigation avec, pour chacune, un calendrier indiquant les dates d'entrée les plus précoces et les plus tardives correspondant à chaque catégorie de navires. La zone 1 possède les conditions de glaces les plus rigoureuses alors que les moins rigoureuses se retrouvent dans la zone 16. La figure 10 illustre les seize zones de contrôle de la sécurité de la navigation dans l'Arctique canadien (annexe II du *Décret sur les zones de contrôle de la sécurité de la navigation*).

La carte est construite pour être utilisée avec le tableau des dates d'entrée (tableau 1) de l'annexe VIII du RPPEAN. Le tableau 2 compare différentes sociétés de classification par rapport à la cote de renforcement de la coque pour la navigation dans les glaces ou la désignation en eaux libres pour les navires de type A, B, C, D et E (annexe V du RPPEAN) dans le but de faciliter l'utilisation du système de zones et dates. En utilisant l'annexe VIII du RPPEAN, un opérateur de navires peut déterminer les périodes légales d'entrée dans les diverses zones. Le RPPEAN est utilisé seulement pour prendre des décisions en dehors des dates établies.

En vertu du RPPEAN, il est interdit à un navire transportant une quantité d'hydrocarbures supérieure à 453 m³ de naviguer dans les zones illustrées, à moins qu'il ne réponde aux normes de construction prescrites comme les navires de classe polaire, les navires de cote arctique, les navires de catégorie arctique canadienne (CAC) ou les navires de type A, B, C, D ou E. Les navires de type E sont des navires pour eau libre. Le système de zones et de dates ne s'applique pas aux navires transportant moins de 453 m³ d'hydrocarbures. Cependant, le reste du Règlement s'applique.

Pour les nouvelles constructions, il est recommandé que les navires soient construits aux normes de la classe polaire, prévues dans les Prescriptions uniformes de l'AISC pour les navires de classe polaire. Les propriétaires de navires construits selon les normes polaires d'autres sociétés de classification et organismes de réglementation nationaux peuvent demander des équivalences de classe polaire au cas par cas, tout comme les propriétaires de navires déjà classés selon l'actuel système canadien des navires de cote arctique ou CAC. Pour en savoir plus sur l'application du système de zones et de dates appliqué aux navires de classe polaire, consulter le *Bulletin de la sécurité des navires Prescriptions uniformes de l'AISC pour les navires de classe polaire – Application dans les eaux arctiques canadiennes*, à l'adresse <http://www.tc.gc.ca/fra/securitemaritime/bulletins-2009-04-fra.htm>.

2.6.2 Certificats de prévention de la pollution dans l'Arctique

Les navires possédant un certificat de prévention de la pollution dans l'Arctique valide sont conformes au *Règlement sur la prévention de la pollution des eaux arctiques par les navires*. Les navires qui ne possèdent pas ce certificat (qui n'est pas obligatoire) peuvent faire l'objet d'une inspection destinée à vérifier s'ils respectent la réglementation. Tous les capitaines de navire sont encouragés à se procurer un certificat valide, délivré avant que le navire n'entreprenne un voyage dans les zones de contrôle de la sécurité de la navigation. Le certificat peut être délivré à l'extérieur du Canada par une société de

classification agréée ou, dans les eaux canadiennes, par l'administration. Il faut noter que tous les certificats expirent le 31 mars suivant la date de leur délivrance.

Les *certificats de prévention de la pollution dans l'Arctique* indiquent la cote glace du navire selon son tirant d'eau. Les navigateurs qui ont l'intention de circuler dans des eaux couvertes de glaces doivent connaître la cote de glace ou le type de leur navire, et bien comprendre les combinaisons de conditions glacielles et de procédures d'exploitation susceptibles d'être les plus sûres pour leur voyage.

2.6.3 Normes équivalentes pour la construction de navires de classe arctique (TP 12260)

Transports Canada recommande que les navires ne soient pas construits selon cette norme, entrée en vigueur le 1^{er} janvier 1996, en remplacement de l'article VI du *Règlement sur la prévention de la pollution des eaux arctiques par les navires* (RPPEAN). Les Prescriptions uniformes de l'AISC pour les navires de classe polaire doivent lui être préférées. Pour en savoir plus sur l'application des normes pour le Système des régimes de glaces pour la navigation dans l'Arctique (SRGNA) et le système de zones et de dates en rapport avec les navires de classe polaire, se reporter au Bulletin de la sécurité des navires 04/2009 *Prescriptions uniformes de l'AISC pour les navires de classe polaire – Application dans les eaux arctiques canadiennes*.

Figure 10 Zones de contrôle de la sécurité de la navigation

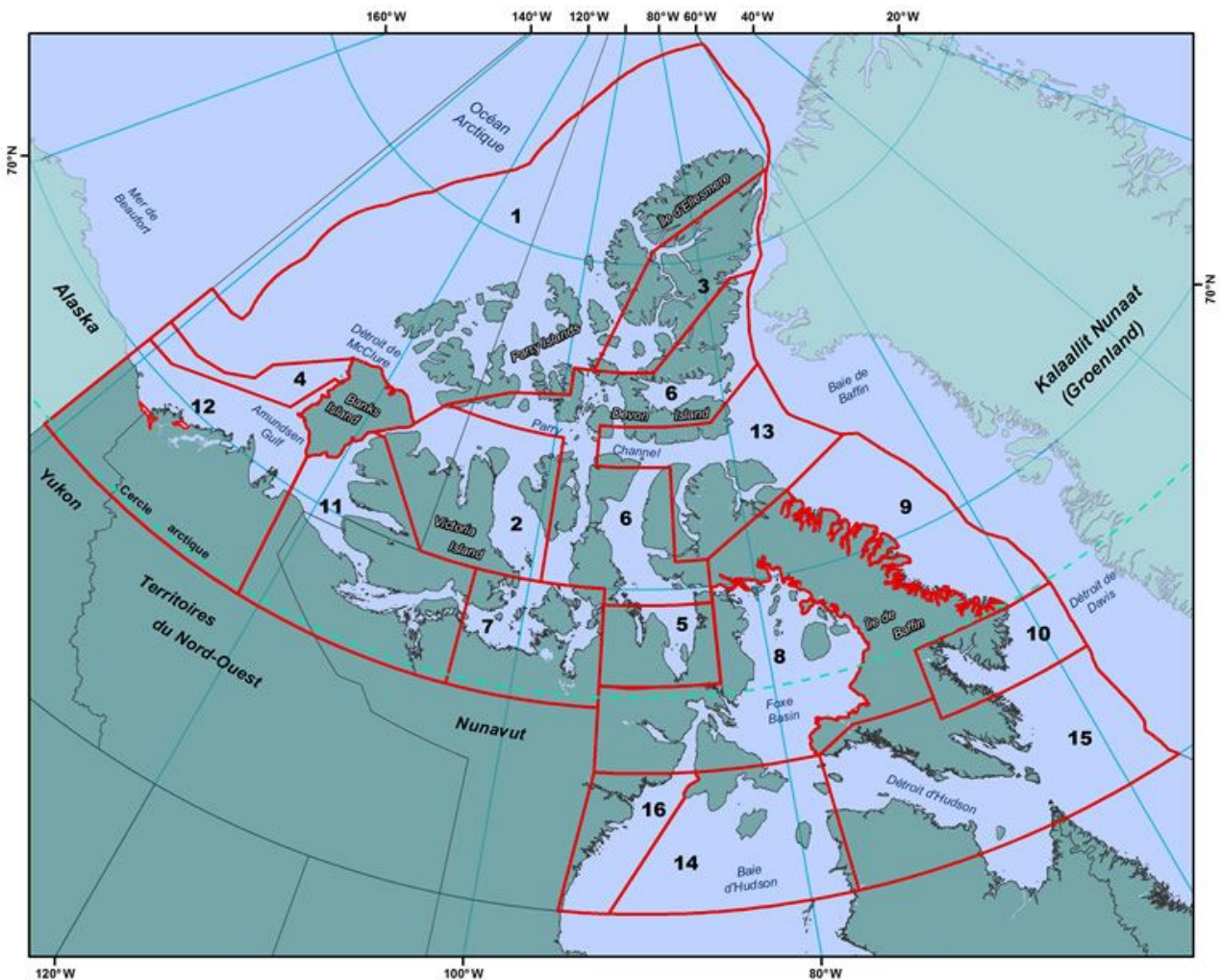


Tableau 1 Annexe VIII de la Loi sur la prévention de la pollution des eaux arctiques

Catégorie	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7	Zone 8	Zone 9	Zone 10	Zone 11	Zone 12	Zone 13	Zone 14	Zone 15	Zone 16
Cote Arctique 10	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année
Cote Arctique 8	juil 1 au oct. 15	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année
Cote Arctique 7	août 1 au sept. 30	août 1 au nov. 30	juil 1 au déc. 31	juil 1 au déc. 15	juil 1 au déc. 15	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année
Cote Arctique 6	août 15 au sept. 15	août 1 au oct. 31	juil 15 au nov. 30	juil 15 au nov. 30	août 1 au oct. 15	juil 15 au fév. 28	juil 1 au mars 31	juil 1 au mars 31	Toute l'année	Toute l'année	juil 1 au mars 31	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année
Cote Arctique 4	août 15 au sept. 15	août 15 au oct. 15	juil 15 au oct. 31	juil 15 au nov. 15	août 15 au sept. 30	juil 20 au déc. 31	juil 15 au jan. 15	juil 15 au jan. 15	juil 10 au mars 31	juil 10 au fév. 28	juil 5 au jan. 15	Juin 1 au jan. 31	Juin 1 au fév. 15	Juin 15 au fév. 15	Juin 15 au mars 15	Juin 1 au fév. 15
Cote Arctique 3	août 20 au sept. 15	août 20 au sept. 30	juil 25 au oct. 15	juil 20 au nov. 5	août 20 au sept. 25	août 1 au nov. 30	juil 20 au déc. 15	juil 20 au déc. 31	juil 20 au jan. 20	juil 15 au jan. 25	juil 5 au déc. 15	Juin 10 au déc. 31	Juin 10 au déc. 31	Juin 20 au jan. 10	Juin 20 au jan. 31	Juin 5 au jan. 10
Cote Arctique 2	Entrée Interdite	Entrée Interdite	août 15 au sept. 30	août 1 au oct. 31	Entrée Interdite	août 15 au nov. 20	août 1 au nov. 20	août 1 au nov. 30	août 1 au déc. 20	juil 25 au déc. 20	juil 10 au nov. 20	Juin 15 au déc. 5	Juin 25 au nov. 22	Juin 25 au déc. 10	Juin 25 au déc. 20	Juin 10 au déc. 10
Cote Arctique 1A	Entrée Interdite	Entrée Interdite	août 20 au sept. 15	août 20 au sept. 30	Entrée Interdite	août 25 au oct. 31	août 10 au nov. 5	août 10 au nov. 20	août 10 au déc. 10	août 1 au déc. 10	juil 15 au nov. 10	juil 1 au nov. 10	juil 15 au oct. 31	juil 1 au nov. 30	juil 1 au déc. 10	Juin 20 au nov. 30
Cote Arctique 1	Entrée Interdite	Entrée Interdite	Entrée Interdite	Entrée Interdite	Entrée Interdite	août 25 au sept. 30	août 10 au oct. 15	août 10 au oct. 31	août 10 au oct. 31	août 1 au oct. 31	juil 15 au oct. 20	juil 1 au oct. 31	juil 15 au oct. 15	juil 1 au nov. 30	juil 1 au nov. 30	Juin 20 au nov. 15
Type A	Entrée Interdite	Entrée Interdite	août 20 au sept. 10	août 20 au sept. 20	Entrée Interdite	août 15 au oct. 15	août 1 au oct. 25	août 1 au nov. 10	août 1 au nov. 20	juil 25 au nov. 20	juil 10 au oct. 31	Juin 15 au nov. 10	Juin 25 au oct. 22	Juin 25 au nov. 30	Juin 25 au déc. 5	Juin 20 au nov. 20
Type B	Entrée Interdite	Entrée Interdite	août 20 au sept. 5	août 20 au sept. 15	Entrée Interdite	août 25 au sept. 30	août 10 au oct. 15	août 10 au oct. 31	août 10 au oct. 31	août 1 au oct. 31	juil 15 au oct. 20	juil 1 au oct. 25	juil 15 au oct. 15	juil 1 au nov. 30	juil 1 au nov. 30	juin 20 au nov. 10
Type C	Entrée Interdite	Entrée Interdite	Entrée Interdite	Entrée Interdite	Entrée Interdite	août 25 au sept. 25	août 10 au oct. 10	août 10 au oct. 25	août 10 au oct. 25	août 1 au oct. 25	juil 15 au oct. 15	juil 1 au oct. 25	juil 15 au oct. 10	juil 1 au nov. 25	juil 1 au nov. 25	juin 25 au nov. 10
Type D	Entrée Interdite	Entrée Interdite	Entrée Interdite	Entrée Interdite	Entrée Interdite	Entrée Interdite	août 10 au oct. 5	août 15 au oct. 20	août 15 au oct. 20	août 5 au oct. 20	juil 15 au oct. 10	juil 1 au oct. 20	juil 30 au sept. 30	juil 10 au nov. 10	juil 5 au nov. 10	juil 1 au oct. 31
Type E	Entrée Interdite	Entrée Interdite	Entrée Interdite	Entrée Interdite	Entrée Interdite	Entrée Interdite	août 10 au sept. 30	août 20 au oct. 20	août 20 au oct. 15	août 10 au oct. 20	juil 15 au sept. 30	juil 1 au oct. 20	août 15 au sept. 20	juil 20 au oct. 31	juil 20 au nov. 5	juil 1 au oct. 31

Tableau 2 Normes de construction des navires de type A, B, C, D et E (Annexe V du RPPEAN)

Col. I Type de navire	Col. II American Bureau of Shipping	Col. III Bureau Veritas	Col. IV Det Norske Veritas	Col. V Germanische Lloyd	Col. VI Lloyd's Register of Shipping	Col. VII Nippon Kaiji Kyokai ¹	Col. VIII Polski Rejestr Statkow ¹	Col. IX Registre russe de la navigation	Col. X Registro Italiano Navale	Col. XI Registrul Naval Roman
Type A	A1  Renfort de proue Cote AA	1 3/3 E glace I-super	1 A 1 Glace A*	100 A 4 E 4 MC	100 A1 Cote glace 1* LMC	NS* (Cote 1A Super Renfort de proue)	*KM YLA	KM 9 YAA	100A-1.1 RG 1*	<u>RNR</u>  <u>M</u> G 60 CM O
	ou A1  Renfort de proue Cote 1AA AMS	ou 1 3/3 E Cote glace 1A Super	ou 1 A 1 GLACE 1A*		ou 100A1 Cote glace 1A Super LMC	MNS* ou NS* Cote AA 1S MNS*	ou *KM YL	ou KM 9 YA	ou 100A-1.1 1AS	ou <u>RNR</u>  <u>M</u> G 50 CM O
Type B	A1  Renfort de proue Cote A AMS	1 3/3 E glace I	1 A 1 GLACE A	100 A 4 E 4 MC	100 A1 Cote glace 1 LMC	NS* (Cote 1A Renfort de proue)	*KM L1	KM 9 A1	100A-1.1 RG 1	<u>RNR</u>  <u>M</u> G 40 CM O
	ou A1  Renfort de proue Cote 1AA AMS	ou 1 3/3 E Cote glace 1A	ou 1 A 1 GLACE 1A		ou 100A1 Cote glace 1A LMC	MNS* ou NS* Cote A 1S MNS*			ou 100A-1.1 1A	
Type C	A1  Renfort de proue Cote B AMS	1 3/3 E glace II	1 A 1 GLACE B	100 A 4 E 4 MC	100 A1 Cote glace 2 LMC	NS* (Cote 1B Renfort de proue)	*KM L2	KM 9 A2	100A-1.1 RG 2	<u>RNR</u>  <u>M</u> G 30 CM O
	ou A1  Renfort de proue Cote 1B AMS	ou 1 3/3 E Cote glace 1B	ou 1 A 1 GLACE 1B		ou 100A1 Cote glace 1B LMC	MNS* ou NS* Cote B 1S MNS*			ou 100A-1.1 1B	
Type D	A1  Renfort de proue Cote C AMS	1 3/3 E glace III	1 A 1 GLACE C	100 A 4 E 1 MC	100 A1 Cote glace 3 LMC	NS* (Cote 1C Renfort de proue)	*KM L3	KM 9 A3	100A-1.1 RG 3	<u>RNR</u>  <u>M</u> G 20 CM O
	ou A1  Renfort de proue Cote 1C AMS	ou 1 3/3 E Cote glace 1C	ou 1A1 GLACE 1C		ou 100A1 Cote glace 1D LMC	MNS* ou NS* Cote C 1S MNS*	ou KM L4		ou 100A-1.1 1C	
Type E	A1  Renfort de proue	1 3/3 E	1 A 1	100 A 4 MC	100 A1 LMC	NS* MNS*	*KM	KM 9	100A-1.1	<u>RNR</u>  <u>M</u> CM O

2.6.4 Lignes directrices pour la navigation en eaux polaires

Constatant que certains dangers courants des eaux arctiques et antarctiques n'étaient pas traités de manière adéquate par SOLAS (convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer) et MARPOL (convention internationale de 1973 pour la prévention de la pollution par les navires), l'Organisation maritime internationale a publié les *Directives de l'OMI pour les navires exploités dans les eaux polaires* (ci-après *Directives polaires*), visant à accroître la sécurité de la navigation et à prévenir la pollution causée par les navires dans les eaux polaires. Entièrement appliquées, les directives permettent d'adopter une approche intégrée couvrant la conception et l'armement des navires pour les conditions qu'ils sont susceptibles de rencontrer, l'affectation à ces navires d'un équipage en nombre suffisant correctement formé et leur exploitation de manière à la fois planifiée et prudente.

Tenant compte du fait que la glace est le facteur le plus important dans les activités en eaux polaires, les Directives polaires recommandent que seuls les navires possédant une désignation de classe polaire, ou une autre norme comparable de renfort de proue appropriée aux conditions glacielles prévues, naviguent dans les eaux polaires couvertes de glace. Les Directives polaires orientent sur les exigences en matière de conception structurale ou de machinerie, en faisant référence à un ensemble parallèle de normes unifiées élaborées par l'Association internationale des sociétés de classification.

Les Directives polaires traitent également des exigences supplémentaires que l'environnement polaire impose aux systèmes des navires, notamment dans les domaines suivants : navigation, communications, sauvegarde de la vie humaine en mer, lutte contre les incendies, etc. Elles insistent sur la nécessité de garantir le bon fonctionnement des systèmes des navires dans les conditions de navigation prévues, notamment en cas de froid extrême. Elles prévoient que les systèmes doivent offrir un niveau de sécurité adéquat en cas d'urgence. De plus, les Directives polaires reconnaissent que, pour qu'un navire exerce des activités en toute sécurité dans des conditions polaires, il faut accorder une attention particulière aux facteurs humains, notamment à la formation et aux procédures d'exploitation.

Tous les navires visés par les Directives polaires doivent avoir à leur bord un nombre suffisant de navigateurs dans les glaces lorsqu'ils naviguent en eaux couvertes de glaces. Les directives définissent un **navigateur dans les glaces** comme « toute personne qui non seulement possède les qualifications requises par la Convention STCW (*Convention internationale sur les normes de formation des gens de mer, de délivrance des brevets et de veille*), mais a reçu une formation spéciale et obtenu d'autres qualifications pour diriger un navire dans les eaux couvertes de glace ».

2.6.5 Code de formation des gens de mer, de délivrance des brevets et de veille (STCW)

L'article B-V/g* du *Code de formation des gens de mer, de délivrance des brevets et de veille* (STCW) énonce des directives concernant la formation des capitaines et officiers de navires naviguant en eaux polaires. L'OMI travaille à l'élaboration de critères de formation et d'expérience pour les navigateurs dans les glaces, reconnus à l'échelle internationale, qui feront partie de sa proposition de code polaire obligatoire. En ce qui concerne la réglementation canadienne, les qualifications exigées d'un navigateur dans les glaces sont prévues à l'article 26 du *Règlement sur la prévention de la pollution des eaux arctiques par les navires* (RPPEAN).

L'article B-V/g* du Code STCW propose des orientations en matière de formation des capitaines et des officiers de navires naviguant dans les eaux polaires. Il est important que les capitaines, les officiers responsables de l'équipe de quart et les officiers mécaniciens responsables du quart dans la salle des machines à bord de navires naviguant en eaux polaires soit correctement formés et possèdent une expérience pertinente en la matière.

Pour se voir attribuer des missions sur ce type de navires, les capitaines et officiers chargés du quart doivent posséder des connaissances élémentaires sur les sujets 2 à 11 de la liste suivante. Les officiers mécaniciens chargés du quart dans la salle des machines doivent posséder des connaissances élémentaires sur les sujets 3, 6, 10 et 11. Les capitaines et les officiers mécaniciens en chef doivent avoir une expérience suffisante et appropriée de la navigation en eaux polaires.

2. Caractéristiques de la glace – zones de glace

3. Rendement du navire dans les glaces et par climat froid
4. Navigation et planification de traversées dans les glaces
5. Exploitation et manœuvre de navires dans les glaces (exploitation et navigation)
6. Exploitation et manœuvre de navires dans les glaces (propulsion, gouvernail et machines)
7. Réglementation et recommandations
8. Limites de l'équipement
9. Mesures de sécurité et procédures d'urgence (disponibilité et limites des infrastructures)
10. Mesures de sécurité et procédures d'urgence (mesures de sécurité au travail, dommages courants et limites de la lutte contre les incendies)
11. Considérations d'ordre environnemental

2.6.6 Classes polaires

Sur le plan opérationnel, la sécurité de la navigation demeurera la responsabilité du capitaine, qui recevra, directement ou indirectement, l'expertise et l'information nécessaires pour prendre des décisions de navigation éclairées.

Un renforcement contre les glaces (renfort de proue) adapté aux conditions rencontrées est fondamental pour la sécurité de la navigation dans les glaces. De nombreuses organisations ont établi des classes ou cotes glace indiquant la capacité de navigation dans les glaces. Le Canada soutient l'utilisation des classes polaires définies par l'Association internationale des sociétés de classification (voir le tableau 2 ci-dessous). Les descriptions des classes sont délibérément générales de sorte qu'elles conviennent à des activités diverses et que leurs relations permettent une gradation suffisamment souple en matière de capacités et de coûts.

Tableau 3 Descriptions des classes polaires

Classes polaires	Description générale
PC 1	Navigation toute l'année dans toutes les eaux polaires
PC 2	Navigation toute l'année dans des conditions de glace moyenne pluriannuelle
PC 3	Navigation toute l'année dans une glace de 2 ^e année, pouvant contenir des sections de vieille glace
PC 4	Navigation toute l'année dans une glace épaisse de première année pouvant contenir des sections de vieille glace
PC 5	Navigation toute l'année dans une glace moyenne de première année pouvant contenir des sections de vieille glace
PC 6	Navigation en été/automne dans une glace moyenne de première année pouvant contenir des sections de vieille glace
PC 7	Navigation en été/automne dans une glace mince de première année pouvant contenir des sections de vieille glace

Certaines classes polaires sont basées sur des classes existantes dont le rendement est satisfaisant selon les données disponibles. Les autres ont été interpolées ou extrapolées à partir d'autres données. Les classes inférieures (PC 6 et PC 7) peuvent être considérées comme des versions « polaires » des deux classes de navigation en mer Baltique les plus élevées, et les classes supérieures représentent des niveaux de capacité qui n'ont pas encore été atteints par les navires de charge commerciaux.

2.6.7 Normes pour le Système des régimes de glaces pour la navigation dans l'arctique (SRGNA) (TP 12259)

Les Normes pour le Système des régimes de glaces pour la navigation dans l'Arctique (SRGNA), prescrites dans le *Règlement sur la prévention de la pollution des eaux arctiques par les navires* (RPPEAN), ont été élaborées en vue d'accroître la sécurité et l'efficacité de la navigation dans l'Arctique canadien. Elles définissent le risque relatif que présentent les différentes conditions glacielles pour les structures des divers types de navires.

Le système de zones et de dates repose sur des contrôles stricts. Le nouveau SRGNA met l'accent sur la **responsabilité du capitaine** en ce qui concerne la sécurité du navire et fournit un cadre plus souple d'aide à la prise de décisions. À l'heure actuelle, les deux systèmes fonctionnent en parallèle, ce qui permet aux exploitants de naviguer hors du cadre des zones/dates lorsque les conditions glacielles le permettent. Les exploitants pourront continuer d'utiliser le cadre des zones/dates pour planifier leurs voyages dans l'Arctique, mais ils seront néanmoins encouragés à éviter les conditions glacielles dangereuses par l'utilisation du Système des régimes de glaces. L'application de ce dernier nécessite l'intervention d'un officier de navigation dans les glaces et l'utilisation de toutes les informations sur les glaces disponibles.

Les Normes pour le Système des régimes de glaces pour la navigation dans l'Arctique se fondent sur le principe selon lequel les conditions glacielles peuvent être quantifiées à l'aide d'un simple calcul du numéral glacial, qui indique si un ensemble donné de conditions glacielles (régimes) est sûr pour un navire en particulier.

Le SRGNA ne peut être utilisé que dans les circonstances suivantes.

- Le navire dispose d'un ensemble de multiplicateurs glaciels. Concernant les **navires de catégorie arctique canadienne (CAC) ou de type**, les multiplicateurs glaciels figurent dans le Tableau des multiplicateurs glaciels. Pour tous les autres navires, les multiplicateurs sont attribués par Transports Canada au cas par cas, en fonction de l'évaluation du renforcement du navire contre les glaces. Pour en savoir plus sur l'application des normes pour le Système des régimes de glaces pour la navigation dans l'Arctique (SRGNA) concernant les navires de classe polaire, se reporter au Bulletin de la sécurité des navires 04/2009 *Prescriptions uniformes de l'AISC pour les navires de classe polaire – Application dans les eaux arctiques canadiennes*.
- Un **Message de routage en régimes de glaces** est envoyé à NORDREG Canada.
- Les **numéros glaciels** calculés pour le navire sont nuls ou **positifs** pour tous les régimes de glaces qui se trouvent sur la route prévue.
- Le critère final déterminant l'utilisation du Système des régimes de glaces est la présence à bord d'un **officier de navigation dans les glaces**. Les compétences particulières de ces officiers sont énoncées à l'article 26 du RPPEAN. Elles ont été définies en reconnaissance du fait que la navigation dans les glaces de l'Arctique est souvent de nature complexe et dynamique.

Plusieurs étapes doivent être suivies pour être en mesure d'appliquer le Système des régimes de glaces pour la navigation dans l'Arctique. Des informations supplémentaires sont disponibles à la section 2.6.9.

1. Obtenir l'information sur l'état actuel des glaces pour le passage prévu et choisir une route.
2. Déterminer les divers régimes de glaces le long de la route et calculer les numéros glaciels s'appliquant à votre navire pour chacun des régimes.

Les cartes des glaces du Service canadien des glaces sont très utiles pour appliquer le SRGNA et, selon l'échelle utilisée, ils pourraient servir à définir les régimes de glaces aux fins de la planification des voyages, de la planification stratégique et, dans une certaine mesure, pour la navigation tactique. D'autres types de données, par exemple, incluant l'imagerie satellite, pourraient nécessiter davantage d'interprétations par l'officier de navigation dans les glaces.

3. Si tous les numéros glaciels sont égaux ou supérieurs à zéro, envoyer un Message de routage en régimes de glaces au Système de trafic de l'Arctique canadien (NORDREG) et poursuivre sa route.

Ce message ne constitue pas une demande d'autorisation de poursuivre la route; il s'agit plutôt d'un message d'information destiné au surintendant du déglacage passant par NORDREG. En fonction de l'information contenue dans le message, NORDREG peut émettre un accusé de réception indiquant au navire qu'il peut poursuivre sa route tel que prévu. Si l'accusé de réception indique que la route prévue semble sûre, il ne dégage pas pour autant le capitaine de ses responsabilités à l'égard de la sécurité de la navigation et de la surveillance des conditions glacielles.

4. Si le numéral glacial d'un régime de glaces est négatif, envisager d'autres solutions, par exemple, choisir une autre route, attendre une amélioration des conditions glacielles ou demander l'aide d'un brise-glace. Quand le passage d'un brise-glace ou d'un autre navire d'escorte modifie un régime, ou encore s'il survient des changements dans les conditions glacielles, donnant un numéral glacial positif, poursuivre la route après avoir informé NORDREG.
5. Dans les 30 jours suivant la fin du voyage, envoyer un **Rapport postérieur aux opérations** à Transports Canada.

2.6.7.1 Message de Routage en Régime de Glaces

Lorsque le Système des régimes de glaces pour la navigation dans l'Arctique est utilisé, il faut, aux termes du *Règlement sur la prévention de la pollution des eaux arctiques par les navires*, envoyer un **Message de routage en régimes de glace** à NORDREG.

En général, ce message peut être très bref. Toutefois, si la route du navire inclut des zones dont les cartes d'analyse de glaces du Service canadien des glaces indiquent des concentrations de glace susceptibles de donner des numéraux glaciels négatifs, le message devra inclure des renseignements additionnels pertinents expliquant le plan du voyage, par exemple les prévisions de changements des conditions ou d'autres considérations.

Ces données doivent être mises à jour lors de la modification du Message de routage en régimes de glaces initial, y compris en cas de changements importants dans les conditions glacielles. Quoi qu'il en soit, le navire doit fournir des données à jour lorsqu'il entre dans un régime de glaces pour lequel un numéral glacial négatif avait été signalé. Pour plus d'efficacité, ces changements peuvent être annexés au rapport 1600 UTC de NORDREG.

Le Message de routage en régimes de glaces contient les renseignements suivants :

Destinataire :	Surintendant régional des opérations dans les glaces NORDREG Canada Télécopieur : 867-979-4236 ou IQANORDREG@innav.gc.ca
	MESSAGE DE ROUTAGE EN RÉGIMES DE GLACES
a)	nom du navire
b)	indicatif et numéro OMI du navire
c)	renfort de proue du navire (classe polaire, type, CAC, classe arctique, etc.)
d)	date et heure UTC
e)	position, cap et vitesse du navire
f)	destination prévue
g)	route prévue
h)	liste des régimes de glaces et de leurs numéraux glaciels
i)	la ou les source(s) d'information sur les glaces
j)	autres informations ou commentaires pertinents

- | | |
|------------------|--|
| k) | nom du navire escorteur (le cas échéant) |
| l) | nom du ou des officiers de navigation à bord |
| Nom du capitaine | |

2.6.7.2 Compte rendu après action

Lorsque le Système des régimes de glaces pour la navigation dans l'Arctique est utilisé, conformément au paragraphe 6(3) du *Règlement sur la prévention de la pollution des eaux arctiques par les navires*, un compte rendu après action doit être rempli et envoyé au plus tard 30 jours après avoir quitté le secteur visé. Ce rapport peut être sommaire, mais dans les cas où le navire a rencontré des difficultés ou des conditions inattendues, le capitaine pourra inclure les renseignements qu'il juge importants. Ces renseignements pourraient être utiles pour l'amélioration du système et pour la sécurité générale de la navigation dans l'Arctique.

Contrairement au message de routage, le compte rendu après action doit être envoyé au directeur régional, Marine, Région des Prairies et du Nord, qui le reçoit au nom du ministre des Transports. Le Rapport postérieur aux opérations contient les renseignements suivants :

Destinataire :	Directeur régional, Marine Transports Canada Édifice McDonald, 3 ^e étage 344, rue Edmonton Winnipeg, Manitoba R3B 2L4 Canada	Téléphone :	204-984-1624
		Télécopieur :	204-984-8417
RAPPORT POSTÉRIEUR AUX OPÉRATIONS			
a)	nom du navire		
b)	catégorie de renforcement du navire contre les glaces (classe polaire, type, CAC, classe arctique, etc.)		
c)	description de la route réellement emprunté, y compris les régimes des glaces rencontrés, les vitesses de passage et le numéral glacial dans chaque cas		
d)	des copies de l'information sur les glaces utilisée		
e)	l'information sur l'escorte (le cas échéant) :		
	1. durée de l'escorte		
	2. régime de glace traversé avec le navire escorteur		
	3. les caractéristiques du sillage		
f)	conditions météorologiques et visibilité		
g)	toute autre information importante.		
Nom du capitaine			

Pour satisfaire aux exigences précisées ci-dessus au point d), relatives à la fourniture de « copies de l'information sur les glaces utilisée », il serait bon d'annexer au compte rendu après action des copies des tableaux d'analyse des glaces ou des images qui ont été utilisés pendant le voyage. En outre, pour faciliter l'établissement du rapport par les officiers du navire, les trajets peuvent être dessinés sur les tableaux des glaces et accompagnés de brèves observations sur les régimes ou les conditions des glaces. Le temps nécessaire à la rédaction et l'établissement du rapport serait ainsi réduit.

2.6.8 Officier de navigation dans les glaces

La section 26 du RPPEAN exige la présence d'un officier de navigation dans les glaces à bord des navires qui effectuent des voyages dans les eaux arctiques dans certaines circonstances.

26. 1. Il est interdit à un navire-citerne de naviguer dans quelque zone que ce soit sans l'aide d'un officier de navigation dans les glaces qualifié conformément au paragraphe (3).
2. Il est interdit à un navire autre qu'un navire-citerne de naviguer dans l'une des zones indiquées en tête de chacune des colonnes II à XVII de l'annexe VIII
 - a) si les mots « Entrée interdite » figurent dans cette colonne en regard de l'article 14, et
 - b) si une période de temps est indiquée dans cette colonne en regard de l'article 14, en d'autre temps que la période indiquée, sans l'aide d'un officier de navigation dans les glaces qualifié conformément au paragraphe (3).
3. L'officier de navigation dans les glaces d'un navire doit
 - a) être qualifié pour remplir les fonctions de capitaine ou de responsable du quart à la passerelle conformément aux règlements pris en vertu de la *Loi sur la marine marchande du Canada*;
 - b) avoir rempli les fonctions de capitaine ou de responsable du quart à la passerelle pour une durée minimale de 50 jours, dont 30 jours dans les eaux arctiques, alors que le navire sur lequel il remplissait ces fonctions se trouvait dans des conditions glacielles requérant l'aide d'un brise-glace ou nécessitant l'exécution de manœuvres pour éviter que des concentrations de glaces ne mettent le navire en péril.
4. Malgré les paragraphes (1) et (2), il est permis à tout navire-citerne ou navire visé à ces paragraphes de naviguer dans une zone sans l'aide d'un officier de navigation dans les glaces pour toute portion du passage effectué en eau libre.
5. Pour l'application du paragraphe (4), « eau libre » s'entend au sens prévu à la norme TP 12259 intitulée *Normes pour le Système des régimes de glaces pour la navigation dans l'Arctique* (SRGNA) (TP 12259), publiée en juin 1996 par la Sécurité des navires, ministère des Transports, avec ses modifications successives.

En résumé, la présence d'un officier de navigation dans les glaces est obligatoire :

- i) sur les navires-citernes (transportant du pétrole) qui naviguent dans une zone de contrôle de la sécurité de la navigation;
- ii) lorsqu'un navire (quelque soit son type) de plus de 100 tonneaux de jauge brute navigue en dehors des dates correspondant au type E dans le tableau des zones et des dates;
- iii) et lorsqu'un navire utilise le Système des régimes de glaces pour la navigation dans l'Arctique.

Au-delà de ces exigences, il est toujours recommandé de confier les commandes du navire à une personne expérimentée lorsque le navire risque de rencontrer des eaux couvertes de glaces. Il incombe au propriétaire du navire de veiller à ce que des personnes qualifiées soient à bord pour le voyage prévu.

Nota : Il incombe à l'officier de navigation dans les glaces de déterminer les régimes de glaces et de les utiliser de concert avec les multiplicateurs glaciels afin de déterminer si le navire peut emprunter la route prévue. Il incombe au capitaine de décider si le navire entrera ou non dans un régime de glaces.

2.6.9 Guide illustré du Système des régimes de glaces pour la navigation dans l'Arctique – TP 14044

Transports Canada et le Centre d'hydraulique canadien du Conseil national de recherches du Canada ont publié *Système des régimes de glaces pour la navigation dans l'Arctique – Guide illustré*, un guide de référence du Système des régimes de glaces pour la navigation dans l'Arctique visant à expliquer le système et présenter des images aidant à déterminer les caractéristiques des glaces, leur concentration et leurs stades de formation http://www.tc.gc.ca/media/documents/securitemaritime/tp14044f_srgna_guide.pdf.

La glace dans l'Arctique est un matériau dynamique très complexe. Elle varie en épaisseur, en concentration, en âge et en rugosité. De plus, les conditions glacielles dans l'Arctique ne cessent de se modifier tout au long de l'année. Il y a plusieurs navires qui font des voyages dans l'Arctique canadien et il est important que leur transit à travers les glaces soit sécuritaire tant pour le personnel que pour prévenir la pollution de cette région. Au cours des 25 dernières années, plus de 200 incidents de dommages causés par les glaces ont été signalés. Environ le tiers de ces incidents aurait pu causer une pollution. Le SRGNA vise à minimiser les risques de dommages en tenant compte des conditions de glaces présentes que rencontrent les navires. Du fait que des navires différents ont des capacités différentes dans les eaux recouvertes de glaces, chacun est évalué et assigné à une classe de navires. Cette classification reflète la résistance, le déplacement et la puissance du navire. Le risque relatif de dommage à un navire par différents types de glace est pris en compte par un facteur de pondération appelé multiplicateur glacial. Dans le Système des régimes de glaces, un simple calcul met en relation la résistance d'un navire au danger que représente différents régimes de glaces. Le calcul a pour résultat un numéral glacial. Les régimes de glaces qui ne devraient présenter aucun danger donnent un numéral glacial nul ou « positif ». Les régimes qui pourraient être dangereux ont un numéral glacial « négatif ». Il va sans dire, cependant, que la sécurité du navire est une responsabilité qui incombe toujours au capitaine.

2.6.9.1 Caractérisation du régime des glaces

Le SRGNA repose sur une évaluation exacte des conditions glacielles. Le Service canadien des glaces (SCG) produit des cartes de glace donnant un aperçu des conditions glacielles dans différentes régions géographiques. Ces cartes sont produites au moyen de la technologie la plus perfectionnée disponible, et donnent des indications précises des conditions des glaces pour certains secteurs. Les cartes des glaces constituent l'une des ressources les plus utiles pour avoir une vue d'ensemble des conditions glacielles dans une certaine région, et ce, en anticipant les besoins. Cette information peut avantageusement servir à une planification stratégique et est également très utile lorsque le navire se trouve dans des conditions glacielles difficiles et qu'il faut trouver un autre itinéraire.

Si les cartes des glaces jouent un rôle essentiel pour les navires qui traversent des régions recouvertes de glace, elles ne remplacent cependant pas les observations en temps réel à partir du pont. Le SRGNA repose sur des observations qui sont faites directement du pont et intègre ces données en temps réel à la capacité de chaque catégorie de navire. Il en résulte un itinéraire sur mesure pour chaque navire selon sa résistance aux glaces.

2.6.9.2 Multiplicateur glacial

Un des principaux concepts sur lequel se fonde le Système des régimes de glaces est que « chaque type de glace (y compris l'eau libre) ait reçu une valeur numérique en fonction de la catégorie de glace du navire, appelée multiplicateur glacial (MG). Sa valeur reflète le niveau de risque ou de contraintes opérationnelles posé par le type de glace particulier pour cette catégorie de bateau ».

Pour déterminer le MG qui s'applique à votre navire, il suffit de surligner dans le tableau des multiplicateurs glaciels la colonne correspondant à la catégorie du navire. Vous connaîtrez ainsi les multiplicateurs glaciels pour tous les différents types de glace (partie gauche du tableau). Si vous ne connaissez pas la catégorie de votre navire, reportez-vous au certificat de prévention de la pollution dans l'arctique ou à l'annexe V du RPPEAN.

Tableau 4 Tableau des multiplicateurs glaciels

OMM Codes des glaces	Types de glaces	Multiplicateurs glaciels pour chaque catégorie de navire						
		Type E	Type D	Type C	Type B	Type A	CAC 4	CAC 3
7• ou 9•	Vieille glace pluriannuelle	-4	-4	-4	-4	-4	-3	-1
8•	Glace de 2 ^e année (SY)	-4	-4	-4	-4	-3	-2	1
6 ou 4•	Glace épaisse de 1 ^{ère} année > 120 cm	-3	-3	-3	-2	-1	1	2
1•	Glace moyenne de 1 ^{ère} année 70-120 cm	-2	-2	-2	-1	1	2	2
7	Glace mince de 1 ^{ère} année 30 à 70 cm	-1	-1	-1	1	2	2	2
9	Glace mince de 1 ^{ère} année – 50-70 cm 2 ^e stade	-1	-1	-1	1	2	2	2
8	Glace mince de 1 ^{ère} année – 30-50 cm 1 ^{er} stade	-1	-1	1	1	2	2	2
3 ou 5	Glace blanchâtre..... (GW) 15-30 cm	-1	1	1	1	2	2	2
4	Glace grise..... (G) 10-15 cm	1	2	2	2	2	2	2
2	Nilas et glace vitrée < 10 cm	2	2	2	2	2	2	2
1	Nouvelle glace..... (N) < 10 cm	2	2	2	2	2	2	2
	Brash (sarrasins)	2	2	2	2	2	2	2
=Δ	Eau bergée	2	2	2	2	2	2	2
	Eau libre	2	2	2	2	2	2	2

2.6.9.3 Calcul des numéraux glaciels

Le numéral glacial (NG) est une évaluation mathématique d'un régime de glaces qui sert à déterminer si le navire peut entrer dans un régime de glaces particulier. Autrement dit, un NG correspond à la somme des produits de la concentration, en dixièmes, de chaque type de glace et aux multiplicateurs glaciels respectifs de chaque régime. Quel que soit le régime de glaces, le numéral glacial (NG) est la somme des produits :

- de la concentration, en dixièmes, de chaque type de glace,
- et des multiplicateurs glaciels correspondant au type ou à la classe de navire visé.

Équation :	NG =	(Ca x MGa) + (Cb x MGb) + ...
Légende	NG	Numéral glacial
	Ca	Concentration en dixièmes de glace de type « a »
	MGa	Multiplicateur glacial pour de la de glace de type « a » (se reporter au tableau des multiplicateurs glaciels)

Les éléments qui se trouvent à droite de l'équation (a, b, c, ainsi de suite), sont répétés pour chacun des types de glace et chacune des concentrations respectives, y compris l'eau libre. Les multiplicateurs glaciels (MG) du navire et les concentrations de glace (C- en dixièmes) de chaque type de glace sont combinés arithmétiquement sous la forme suivante :

Glacé de plusieurs années (MY)	[CMY x MGM Y]
Glacé de deuxième année (SY)	+ [CSY x MGS Y]
Glacé épaisse de première année (TFY)	+ [CTFY x MGT FY]
Glacé blanchâtre (GW)	+ [CGW x MGG W]
Glacé grise (G)	+ [CG x MGG]
Nouvelle glacé (N)	+ [CN x MGN]
Mer libre (OW)	+ [COW x MGO W]
Glacé mince de première année (FY)	+ [CFY x MGF Y]
Glacé moyenne de première année (MFY)	+ [CMEFY x MGM FEY]
NG	= ?

Chaque numéral glacié correspond donc uniquement à un régime de glaces et à un navire évoluant dans ces glaces. Le numéral de chaque régime doit être nul (zéro) ou positif pour qu'un transit dans un régime soit pris en compte, et l'application du SRGNA doit être indiquée au moyen d'un Message de routage en régimes de glaces et d'un accusé de réception du Système de trafic de l'Arctique (NORDREG). En cas de numéral glacié NÉGATIF, le navire ne doit pas poursuivre sa route et établir un autre itinéraire.

2.6.9.4 Facteurs susceptibles d'influer sur les multiplicateurs glaciés

Glacé décomposée

Aux fins d'application du Système des régimes de glaces, la glacé décomposée est de la glacé pluriannuelle, de la glacé de 2^e année, de la glacé épaisse de 1^{ère} année ou de la glacé moyenne de 1^{ère} année piquée de trous de fonte ou pourrie. Pour la glacé décomposée, on peut ajouter +1 au multiplicateur glacié. Par exemple, si un navire de type B rencontre de la glacé décomposée épaisse de 1^{ère} année, le multiplicateur glacié passe de -2 à -1.

Glacé en crête

Lorsque la concentration de glacé totale d'un régime particulier correspond à 6/10 ou plus, et qu'au moins 3/10 du secteur correspondant à un type de glacé (autre que des sarrasins), est déformé par des crêtes, des fragments et des hummocks, il faut soustraire 1 du multiplicateur glacié pour ce type de glacé. Si, par exemple, un navire de type E rencontre un régime comportant de la glacé mince de 1^{ère} année en crête, le multiplicateur glacié passe de -1 à -2.

Sarrasins (brash)

Des études ont attribué aux sarrasins le même multiplicateur glacié que l'eau libre, c'est-à-dire +2. Dans le cadre du SRGNA, ce type de glacé devrait correspondre à la glacé qui se trouve principalement dans le sillage bien défini des brise-glaces.

Trace de vieille glacé

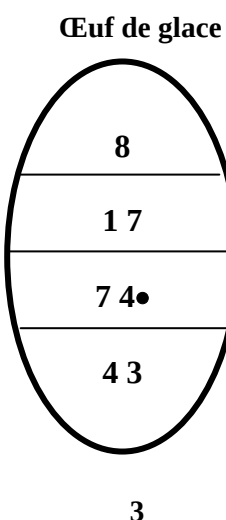
Les traces de glacé peuvent être indiquées dans les prévisions ou à gauche des œufs des glaces. On entend par trace une concentration de glacé inférieure à 1/10e. Par ailleurs, il n'est pas nécessaire d'inclure les traces de glacé dans le calcul du numéral glacié. En cas de trace de vieille glacé, il faut naviguer avec prudence.

NOTA : Pour calculer un numéral glacié, il importe de se rappeler que chaque régime se compose d'un agrégat d'une concentration maximale de 10/10 de divers types de glaces. Par exemple, si un « œuf » de glaces présente une concentration totale de 6/10, cela signifie que les 4/10 restants correspondent à de l'eau libre qu'il faut inclure dans le calcul.

2.6.9.5 Exemples des régimes de glaces et numéraux glaciels correspondants

Les exemples ci-après correspondent à des calculs concrets de numéraux glaciels fondés sur les « œufs » des glaces figurant sur des cartes d'analyse quotidienne des glaces. Dans chaque cas, deux navires différents ont servi à illustrer les variations des numéraux glaciels.

Exemple 1



Interprétation :

Le régime de glaces est composé de 8/10 de concentration totale de glace constitué comme suit : 1/10 = vieille glace et 7/10 = glace épaisse de 1^{ère} année. Pour le calcul, ne pas oublier d'ajouter les 2/10 d'eau libre.

Calcul des numéraux glaciels :

Navire de type A : $(1 \times -4) + (7 \times -1) + (2 \times 2 \text{ pour eau libre}) = -7$ Régime négatif

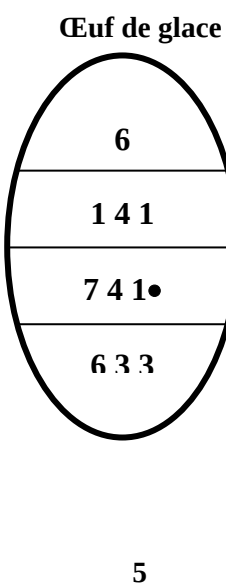
Navire CAC 4 : $(1 \times -4) + (7 \times +1) + (2 \times 2 \text{ pour eau libre}) = +7$ Régime positif

En cas de glace en crête épaisse de 1^{ère} année, les calculs sont les suivants :

Navire de type A : $(1 \times -4) + (7 \times -2) + (2 \times 2 \text{ pour eau libre}) = -14$ Régime négatif

Navire CAC 4 : $(1 \times -4) + (7 \times 0) + (2 \times 2 \text{ pour eau libre}) = 0$ [Régime positif]

Exemple 2



Interprétation :

Le 9 juillet, le régime de glaces est constitué d'une concentration totale de glaces de 6/10, décomposée comme suit : 1/10 = vieille glace, 4/10 = glace épaisse de 1^{ère} année et 1/10 = glace moyenne de 1^{ère} année.

Calcul des numéraux glaciels :

Navire de type E : $(1 \times -4) + (4 \times -3) + (1 \times -2) + (4 \times +2, \text{ eau libre}) = -10$ Négatif

Navire de type A : $(1 \times -4) + (4 \times -1) + (1 \times +1) + (4 \times +2, \text{ eau libre}) = +1$ Positif

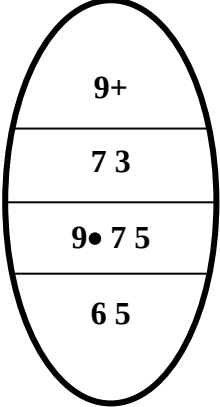
Ou en cas de régime de glace **décomposée** selon les données d'une carte des glaces :

Avec la glace **décomposée** (tous types de glace), le calcul des numéraux glaciels est effectué comme suit :

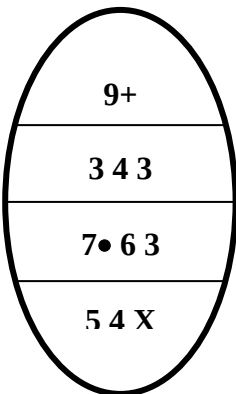
Navire de type E : $(1 \times -3) + (4 \times -2) + (1 \times -1) + (4 \times +2, \text{ eau libre}) = -4$ Négatif

Navire de type A : $(1 \times -3) + (4 \times 0) + (1 \times +2) + (4 \times +2, \text{ eau libre}) = +7$ Positif

Exemple 3

Œuf de glace	Interprétation :
	Le régime de glaces est constitué de plus de 9/10 de concentration totale de glace comme suit : trace de glace pluriannuelle, 7/10 de glace mince de 1^{ère} année et 3/10 de glace blanchâtre. (<i>NOTA : une trace de glace pluriannuelle ou de vieille glace représente un risque élevé pour le passage du navire.</i>)
	Calcul des numéraux glaciels :
Navire CAC 4 :	$(7 \times 2) + (3 \times 2) = +20$ Positif (Traces de glace non incluses dans le calcul, c.-à-d. inférieures à 1/10)
Navire de type C :	$(7 \times -1) + (3 \times 1) = -4$ Négatif

Exemple 4

Œuf de glace	Interprétation :
	Ces données, obtenues à partir d'images de télédétection (radar/NOAA, etc.) indiquent que ce régime de plus de 9/10^e de glaces, est constitué de 3/10 de vieille glace, de 4/10 de glace de 1^{ère} année (considérée comme épaisse) et de 3/10 de jeune glace (considérée comme blanchâtre).
	Calcul des numéraux glaciels :
Navire de type B :	$(3 \times -4) + (4 \times -2) + (3 \times +1) = -17$ Régime négatif
Navire CAC 3 :	$(3 \times -1) + (4 \times +2) + (3 \times +2) = +11$ Régime positif

2.6.9.6 Régime de glaces négatif

Lorsque le Système des régimes de glaces est utilisé, il est interdit d'entrer intentionnellement dans un régime de glaces négatif à l'extérieur des limites de zones et de dates. Lors d'une navigation dans l'Arctique, le capitaine ou l'officier de navigation dans les glaces doit envisager plusieurs options pour éviter les régimes négatifs :

- c) choisir une route sûre entièrement composée de régimes positifs,
- d) obtenir les données les plus récentes et les plus fiables sur les glaces,
- e) attendre l'amélioration des conditions météorologiques ou des conditions des glaces,
- f) demander l'aide d'un brise-glace en utilisant le Système de trafic de l'Arctique canadien (NORDREG).

NORDREG et le surintendant du programme de déglacage de la Garde côtière canadienne pourront fournir des renseignements additionnels pour faciliter la prise de décision dans ces circonstances ainsi que des données à jour sur la position des brise-glaces.

Déplacements avec escorte

Lorsque les conditions des glaces empêchent un navire de circuler ou nuisent considérablement à son déplacement, il peut être souhaitable, voire nécessaire, de manœuvrer avec un autre navire ou d'être escorté. Les déplacements avec escorte sont prévus par le Système des régimes de glaces et ils doivent être

envisagés lors de la planification de chaque route et de la détermination des régimes de glaces. Dans certains cas, une escorte peut améliorer les conditions des glaces le long de la route; toutefois, si l'ouverture derrière le navire escorteur est trop étroite ou si la glace est sous pression, l'efficacité du navire escorteur peut être grandement réduite.

C'est le capitaine du brise-glace qui décidera s'il peut ouvrir un passage en toute sécurité, mais le capitaine du navire escorté doit continuer d'évaluer les conditions pour être en mesure de déterminer s'il peut suivre le navire escorteur en toute sécurité et, le cas échéant, à quelle vitesse il peut le faire. Il faut définir des méthodes de communication et d'exploitation avant le début d'une escorte et les appliquer jusqu'à la fin de l'opération. Il faut tenir compte des facteurs suivants en ce qui concerne l'escorte :

- la largeur du passage ouvert, par rapport à la largeur du navire escorté;
- la taille, l'épaisseur et la force des fragments de glace laissés derrière;
- la pression qui pourrait être exercée sur les glaces, causant la fermeture rapide du passage.

Le passage ouvert par un navire escorteur et les conditions environnantes devraient être considérés comme un régime de glaces distinct. Il faut être extrêmement prudent lorsqu'on suit un brise-glace, compte tenu de l'étroitesse du passage.

Voyage en début de saison

Un voyage en début de saison est un voyage au cours duquel le navire entre dans l'Arctique avant le début de la principale période de fonte et prévoit pénétrer dans une zone qui se trouve à l'extérieur du système de zones et de dates. Le navire pourrait entrer dans la zone si le Système des régimes de glaces indique des numéros glaciels positifs. Dans ce cas, un officier de navigation dans les glaces devra se trouver à bord et un Message de routage en régimes de glaces doit être envoyé à NORDREG. Après le voyage, un compte rendu après action doit être envoyé, même si tous les numéros glaciels sont positifs.

Voyage en fin de saison

Les voyages en fin de saison méritent une attention particulière. En effet, en fin de saison, les conditions des glaces sont plus difficiles et se détériorent rapidement. De violentes tempêtes peuvent causer une pression sur les glaces et entraîner le déplacement de grandes quantités de glace pluriannuelle vers les corridors de navigation.

Pendant le voyage, il se peut qu'un navire veuille entrer dans une zone qui se trouve à l'extérieur du système de zones et de dates. Il y est autorisé à condition qu'un officier de navigation dans les glaces se trouve à bord et que soit envoyé à NORDREG un Message de routage en régimes de glaces dans lequel sont illustrés les régimes de glaces positifs. Pendant un voyage de fin de saison, il est très important de fournir ces données à NORDREG, car le soutien des brise-glaces peut être crucial si les conditions des glaces se détériorent rapidement.

2.6.10 Lignes directrices concernant l'exploitation des navires à passagers dans les eaux arctiques canadiennes – TP 13670

Les Lignes directrices ont pour objectif d'aider les exploitants de navires et leurs agents à planifier les croisières dans l'Arctique et à communiquer avec les autorités gouvernementales canadiennes compétentes à l'avance pour s'assurer que tous les documents exigés se trouvent à bord des navires, que les exploitants les ont examinés avant de naviguer dans les eaux arctiques canadiennes et que l'exploitation des navires est conforme à tous les règlements applicables. <http://www.tc.gc.ca/fra/securitemaritime/tp-tp13670-menu-2315.htm>

2.6.11 Manuel sur le milieu marin de l'Arctique – Passage du Nord-Ouest

Le *Manuel sur le milieu marin pour le passage du Nord-Ouest de l'Arctique* a été rédigé pour fournir des renseignements sur l'environnement arctique aux navigateurs prévoyant d'utiliser la partie la plus fréquentée du passage du Nord-Ouest. Le manuel décrit les effets nocifs pour l'environnement susceptibles d'être causés par les activités de navigation et qui nuiraient aux modes d'utilisation traditionnels de la surface de la glace (chasse et transport) ou aux populations d'oiseaux, d'animaux et de poisson. Il suggère

également des mesures d'atténuation pour l'exploitation des navires, des véhicules et des aéronefs sur la glace. On peut se procurer le manuel auprès d'un détaillant autorisé (SHC) des cartes marines.

Des exemples de la sensibilité environnementale au trafic maritime sont illustrés à l'automne pour la route sud du Passage du Nord-Ouest (figures 11 et 12).

Figure 11 : Fragilité écologique dans le Golfe Coronation à l'automne

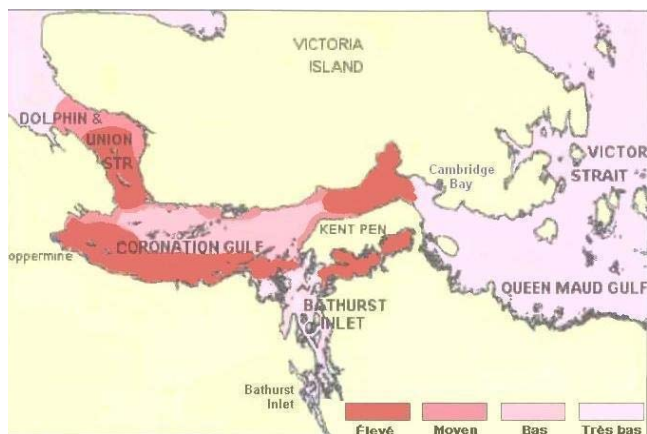
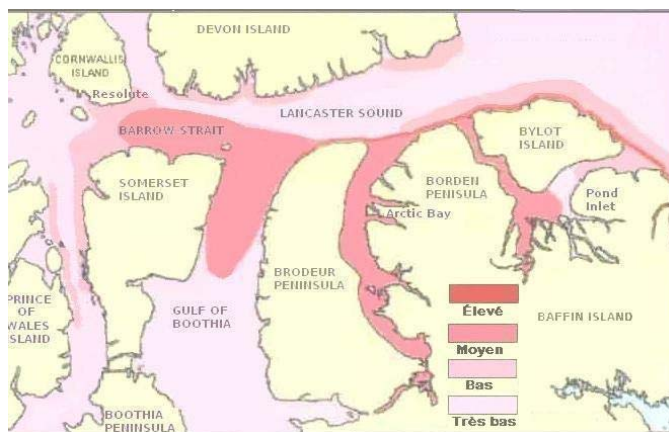


Figure 12 : Fragilité écologique dans le Détroit de Lancaster à l'automne



CHAPITRE 3. CLIMATOLOGIE DES GLACES ET CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES**3.1 CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES**

Ce chapitre donne un aperçu des conditions météorologiques prévisibles dans les régions canadiennes où la navigation dans les glaces se produit. Le chapitre contient un résumé des caractéristiques météorologiques et océanographiques importantes du milieu marin, une description des propriétés fondamentales des glaces, un examen des conditions glacielles régnant dans les différentes régions du Canada et enfin des renseignements sur les icebergs.

Figure 13 Site web du Service canadien des glaces

The screenshot displays the official website of the Canadian Ice Service (Service canadien des glaces). The header features the Environment Canada logo and the website URL. A navigation bar includes links for English, Accueil, Contactez-nous, Aide, Recherche, and canada.gc.ca. Below the header, a breadcrumb trail indicates the current location: Accueil > Conditions atmosphériques et météorologie > Conditions météorologiques dangereuses > Glaces. The main content area is titled "Le Service canadien des glaces" and describes the mission of the Canadian Ice Service (SCG). A central map of Canada shows the Arctic and Great Lakes regions, with a date stamp of MAY 25 / 25 MAI 2012. The map is divided into regions: Arctique de l'Ouest, Arctique de l'Est, Baie d'Hudson, Grands Lacs, and Côte Est. A sidebar on the left lists various services and resources, including "Glaces", "Le Service canadien des glaces", "À propos du Service canadien des glaces", "Guide des produits", "Climatologie des glaces", "Archives", "Surveillance de la pollution pétrolière", "Science", "Services éducatifs", "Glossaire des glaces", "Publications", "Liens", and "Salle des médias". A sidebar on the right provides "Prévisions météo", "Faits saillants" (including Titanic's 100th anniversary and the Petermann ice island), and "Quoi de neuf" (including the Arctic Atlas and the Graphe des glaces 1.03). The bottom section, "Image du mois - mai 2012", shows a satellite image of the Arctic region.

La climatologie des eaux couvertes de glaces au Canada varie grandement, à cause des différences de régimes météorologiques et océaniques qui déterminent le climat, depuis les Grands Lacs et le fleuve Saint-Laurent dans le Sud jusqu'au réseau de voies navigables de l'archipel arctique dans le Nord. Les aspects environnementaux sont aussi variés. Seuls les principaux aspects seront ici rapportés.

Chaque année, le Service canadien des glaces d'Environnement Canada fait paraître un *Aperçu saisonnier des glaces dans les eaux nordiques canadiennes*. Cette publication intègre les données de reconnaissance aérienne, d'analyse et de prévision des glaces. Le document paraît au début du mois de juin et permet de planifier les déplacements vers l'ensemble des eaux au nord du Labrador. Un *aperçu pour le golfe du Saint-Laurent et les eaux de Terre-Neuve* est diffusé au début du mois de décembre. Il contient des renseignements sur les conditions glacielles hivernales à prévoir dans les régions méridionales. Les aperçus saisonniers sont mis à jour deux fois par mois durant la saison de navigation dans les glaces, fournissant des prévisions pour 30 jours. Cette information est disponible sur le site suivant <http://www.ec.gc.ca/glaces-ice/Default.asp?lang=Fr&n=D32C361E-1>.

3.1.1 Régimes de température de l'air

La formation et la croissance des glaces de mer dépendent de l'abaissement de la température de l'air au-dessous du point de congélation (0°C) et de la baisse consécutive des températures de la mer en surface. La figure 14 présente les dates moyennes auxquelles les températures de l'air journalières moyennes tombent au-dessous de 0°C. La figure 15 montre les dates moyennes auxquelles les températures journalières moyennes de l'air s'élèvent au-dessus de 0°C. Les différences de dates entre régions canadiennes nous révèlent l'ampleur des variations possibles de la durée des températures froides dans le pays.

Les glaces de mer commencent habituellement à se former quelque temps après le dépassement du seuil de congélation dans l'air, le point de congélation de l'eau de mer, qui contient des sels, se situant à environ -1,6°C et -1,7°C. Ajoutons que l'eau plus chaude de l'océan peut atténuer l'effet de températures de l'air inférieures au point de congélation sur les eaux de surface, retardant encore la formation de glace.

3.1.2 Principales trajectoires des tempêtes et conditions éoliennes

Les systèmes météorologiques ont tendance à se déplacer d'ouest en est au Canada. Les principales trajectoires des tempêtes estivales sont indiquées à la figure 17. Les tempêtes traversent généralement le Saint-Laurent, puis se déplacent vers la mer au-dessus des Grands Bancs de Terre-Neuve et de la mer du Labrador. Certains systèmes de tempêtes se dirigeant vers le Nord, vers l'extrémité méridionale du Groenland, peuvent passer dans le détroit de Davis. Elles ont tendance à créer des conditions météorologiques très rigoureuses.

Les tempêtes de l'Arctique ont aussi des trajectoires de prédilection, notamment au sud du détroit de Parry. Elles vont en général d'ouest en est.

La figure 18 présente les principales trajectoires hivernales des tempêtes. En hiver, le climat de l'Atlantique Nord est marqué par deux principales caractéristiques : une zone de basse pression, la dépression d'Islande, centrée au sud-est du Groenland, et un anticyclone continental qui se forme à l'ouest de la baie d'Hudson.

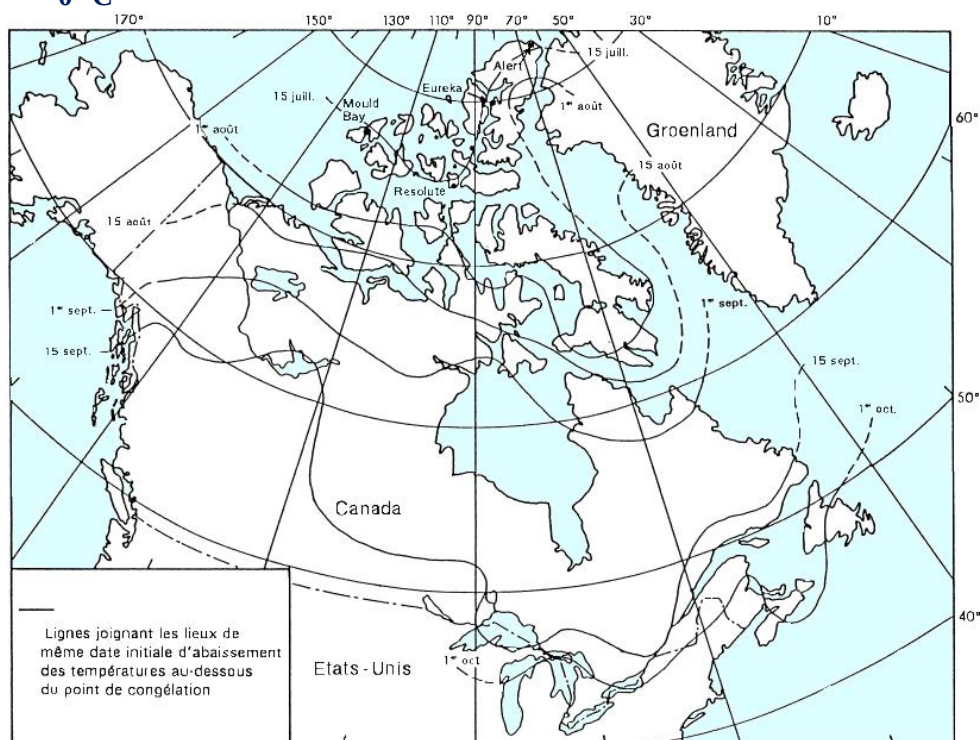
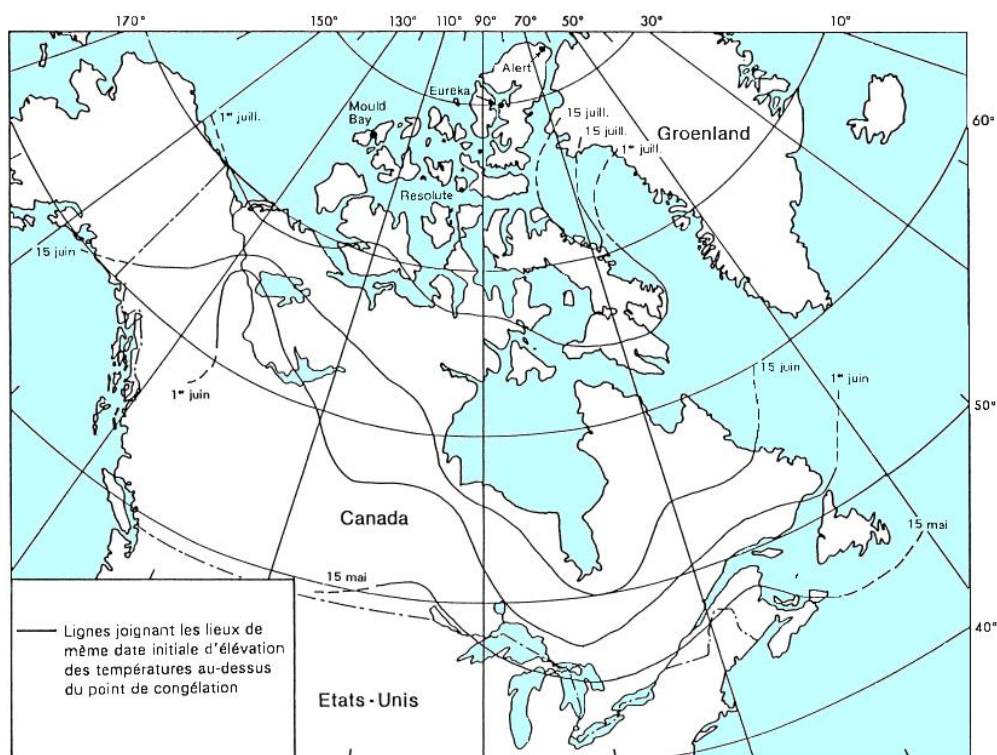
Figure 14 : Dates auxquelles les températures journalières moyennes tombent au-dessous de 0 °C**Figure 15 : Dates auxquelles les températures journalières moyennes s'élèvent au-dessus de 0 °C**

Figure 16 : Principales trajectoires estivales des tempêtes au Canada



Figure 17 : Principales trajectoires hivernales des tempêtes au Canada



3.1.3 Dépressions polaires

Les dépressions polaires sont des phénomènes cyclonaux intenses et circonscrits que ne peuvent déceler ni prévoir les météorologues. Les premiers indices d'une dépression polaire peuvent être un changement barométrique soudain, une augmentation rapide de la vitesse du vent ou à de lourdes rafales de neige à une station navale ou terrestre.

Elles se forment à proximité de la lisière des glaces ou du littoral, où de l'air froid venant de la surface glacée ou de la masse terrestre circule au-dessus de l'eau libre, qui est chaude par rapport à la

température de l'air. L'air froid se réchauffe et monte, la pression s'abaisse, un mouvement de s'amorce et, selon d'autres facteurs contributifs comme le refroidissement en altitude, la dépression se creuse ou se comble. Le phénomène a lieu habituellement l'automne, l'hiver ou au début du printemps.

Les dépressions polaires s'accompagnent souvent de vents forts, d'une diminution rapide de la pression atmosphérique et des précipitations neigeuses modérées ou abondantes. Elles peuvent se former rapidement et durent rarement plus d'une journée. Cependant, dans des systèmes météorologiques stagnants, des dépressions ou une famille de dépressions peuvent persister plusieurs jours.

3.1.4 Précipitations

Les régimes de précipitations varient considérablement entre les Grands Lacs dans le sud du territoire canadien et les îles de l'Arctique. L'information recueillie par certaines stations côtières montre les régimes de précipitations.

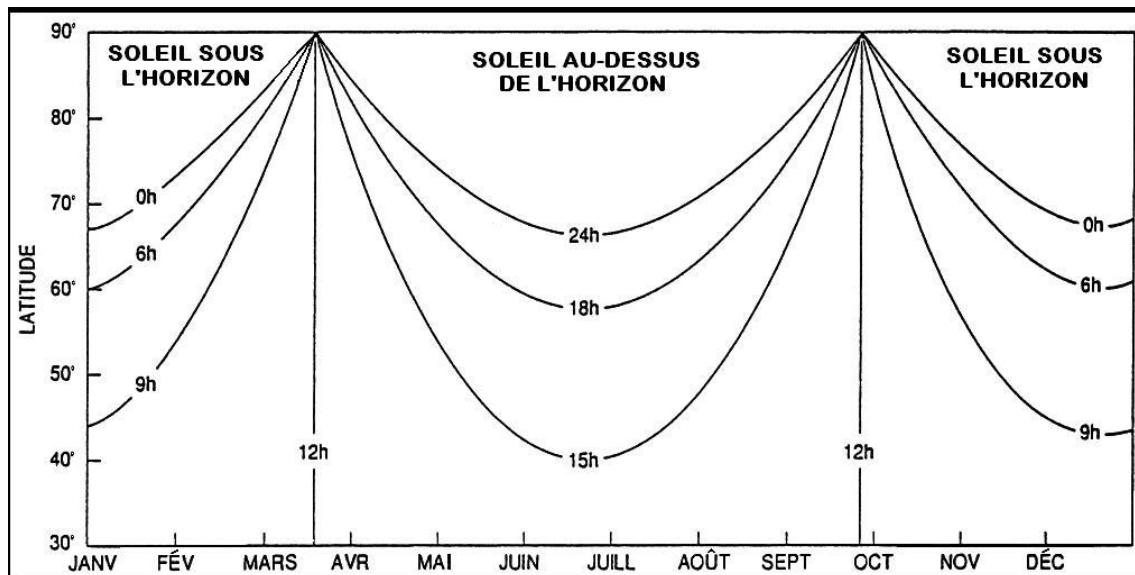
La pluie et la neige peuvent être un sujet d'inquiétude à bord au printemps et à l'automne, quand les précipitations jointes à de basses températures peuvent causer un givrage des navires.

L'existence de sources d'humidité est un facteur important pour déterminer le volume des précipitations. Alors qu'il y a généralement peu d'eau pour alimenter les précipitations dans le Haut-Arctique, les zones d'eau sont relativement abondantes autour de la partie méridionale de l'île de Baffin dans le détroit de Davis et dans la région du golfe Amundsen et de l'île Victoria. Les parties septentrionale et centrale de l'Arctique ont des réserves moindres d'humidité, d'où une baisse de la pluviométrie et de la nivométrie.

3.1.5 Brouillard et visibilité

La visibilité maritime subit l'influence d'un certain nombre de facteurs, dont la durée du jour, les précipitations, la poudrerie et le brouillard. Plus on navigue au nord, plus le nombre d'heures de jour dont on dispose pour la navigation prend de l'importance. Dans l'Arctique, les jours s'allongent pendant l'été et raccourcissent pendant l'hiver. La figure 18 indique la variabilité saisonnière du jour à différentes latitudes.

Figure 18 : Variabilité saisonnière du jour selon la latitude et le mois



Le brouillard est une cause importante de faible visibilité en mer. Il est particulièrement fréquent dans la baie de Baffin au printemps et à l'été et dans les Grands Bancs pendant toute l'année. **Le brouillard marin** ou brouillard d'advection se forme quand de l'air chaud et humide circule au-dessus d'une eau de mer plus froide. Quand l'air refroidit au-dessous de son point de saturation, l'excès d'humidité se

condense en brouillard. Ce genre de brouillard peut s'étendre sur de vastes territoires et persister pendant longtemps, même par temps venteux, s'il existe une réserve constante d'air humide et chaud.

Un second type de brouillard, la **fumée de mer** ou brouillard d'évaporation, se forme quand de l'air froid circule au-dessus d'une eau de mer plus chaude. Dans ce cas, l'humidité s'évapore à la surface de la mer et sature l'atmosphère. Comme l'air est froid, l'excès d'humidité se condense en brouillard. L'été, de la brume apparaîtra souvent au-dessus de la banquise ou d'eaux couvertes de glaces. Ce type de brouillard se formerait quand l'eau de fonte à la surface de la glace se réchauffe, sature l'atmosphère et se condense en brouillard.

La poudrerie (ou chasse-neige) est un facteur important de réduction de la visibilité l'hiver. Outre la force du vent, le laps de temps qui s'est écoulé depuis les dernières précipitations de neige influe sur l'abondance et la durée de cette neige transportée par le vent. La neige se tasse avec le temps et c'est pourquoi plus l'intervalle s'allonge entre une averse de neige et un coup de vent, moins il y a de chances que la poudrerie soit abondante.

3.1.6 Embruns verglaçants et conditions de givrage de la superstructure

Les navires qui sillonnent les eaux canadiennes vers la fin de l'automne et pendant l'hiver s'exposent à un certain givrage des ouvrages supérieurs du navire, qu'il s'agisse des ponts, des pavois, des lisses, du gréement ou des espars. Le givrage peut entraver les activités à bord et, dans des cas extrêmes, compromettre sérieusement la marche et la stabilité du bâtiment. L'accumulation de glace sur la superstructure peut élever le centre de gravité du navire, réduire la vitesse et rendre les manœuvres difficiles. Le givrage peut aussi être source de divers problèmes en ce qui concerne le matériel de manutention de la cargaison, les écoutilles, les ancres, les treuils et les guindeaux. Les petits navires sont les plus exposés et plusieurs bateaux de pêche ont sombré au large du littoral est du Canada sous l'effet des embruns verglaçants.

Le givrage des navires peut être dû à de l'humidité d'eau douce comme le brouillard, la pluie verglaçante, la bruine et la neige mouillée, ou encore à l'eau de mer sous forme, par exemple, d'embruns verglaçants et de remous (des vagues). Le givrage causé par le brouillard d'advection et d'évaporation peut créer des difficultés à l'automne, mais se produit rarement l'hiver, les sources d'humidité étant infimes après la formation de la couverture de glace. Il peut y avoir givrage par les précipitations quand la pluie s'accompagne d'une chute de la température de l'air, mais le phénomène se limite généralement aux mois printaniers et automnaux.

Figure 19 Embruns verglaçants



Dans l'Arctique, ce phénomène est peu fréquent, puisque la plupart des secteurs connaissent moins de 25 heures de givrage par an. Dans des régions comme la partie occidentale de la baie de Baffin, le détroit de Davis et le golfe Amundsen près du cap Parry, la durée annuelle est de 25 à 50 heures et, au large des îles Brevoort et Resolution, elle peut atteindre 100 heures.

Des diverses formes de givrage de superstructure, le givrage par embruns verglaçants est le plus répandu et constitue la forme la plus menaçante d'accumulation de glace. Il peut se produire toutes les fois que la température de l'air tombe au-dessous de la température de congélation de l'eau de mer et

que les températures de la surface de la mer sont inférieures à 6 °C. Pour qu'il y ait des embruns verglaçants, il faut une source d'embruns et une atmosphère suffisamment refroidie pour que ces embruns gèlent sur un objet avant d'avoir eu le temps de s'écouler. Le phénomène s'observe dans presque toutes les eaux canadiennes, bien qu'il soit plus fréquent et plus accentué dans les eaux littorales de l'Est du Canada. Les taux d'accrétion de glace par embruns verglaçants peuvent dépasser 2 centimètres par heure et il n'est pas rare que la glace s'accumule à un rythme de plus de 25 centimètres par heure.

Outre la température de l'air et la vitesse du vent, d'autres facteurs peuvent affecter l'accumulation d'embruns verglaçants tels que les caractéristiques du navire, et particulièrement la taille et la forme de l'accastillage des de pont. Les navires plus petits s'exposent à recevoir plus d'embruns et perdent leur stabilité plus rapidement que les grands bâtiments. Il importe enfin de noter que la présence de glaces de mer ou de lac atténuera la formation de vagues et les risques d'apparition d'embruns verglaçants. En règle générale, on peut supposer que le problème des embruns ne se pose plus une fois que la couverture de glace dépasse les 6/10 de concentration. Lorsqu'un navire se trouve dans les glaces, le danger d'embruns verglaçants devient pour ainsi dire nul. Les paragraphes qui précèdent décrivent le processus général de givrage de la superstructure, mais les différences de formation d'embruns et de perte de chaleur le long du vaisseau peuvent entraîner d'amples variations des taux d'accumulation de glace selon la hauteur et l'exposition des objets à bord. Ainsi, la glace s'accumule plus vite sur les éléments de gréement et les espars, accroissant les risques de chavirement.

Les prévisions maritimes d'Environnement Canada contiennent des avertissements d'embruns verglaçants, mais il est difficile de prévoir avec précision les conditions de givrage, qui dépendent en grande partie des caractéristiques de chaque navire. Les graphiques de rythme de givrage selon la température de l'air, la vitesse du vent et la température de la mer en surface peuvent aider à prévoir les menaces de givrage, mais ne sauraient servir à la prévision des taux d'accumulation de glace sur un navire. Il faut être prudent quand un coup de vent combiné à des températures de l'air inférieures à - 2 °C est prévu.

On trouvera plus bas des données régionales précises sur le givrage des navires dans le golfe du Saint-Laurent, la mer du Labrador, la baie d'Hudson et les eaux arctiques, dont celles de la baie de Baffin et du détroit de Davis.

Golfe du Saint-Laurent

Dans le golfe du Saint-Laurent, les embruns verglaçants sont la source la plus souvent signalée de givrage des navires. Ils sont également responsables des plus grandes accumulations de glace, qui peuvent dépasser les 25 centimètres d'épaisseur. Les précipitations verglaçantes et le brouillard surfondu sont des causes moins fréquemment signalées et produisent généralement des accrétions de glace d'un à deux centimètres d'épaisseur.

On observe des embruns verglaçants dans la région du golfe à tout moment entre novembre et avril, mais le phénomène est le plus fréquemment signalé de décembre à février. En janvier, il peut y avoir des conditions de givrage par les embruns plus de la moitié du temps. La pluie verglaçante sévit le plus de décembre à avril et on constate la présence de brouillard surfondu de janvier à mars.

Dans le golfe, les embruns verglaçants viennent habituellement de violentes tempêtes hivernales au large du littoral est du Canada. Ces tempêtes provoquent une forte circulation nord-ouest d'air arctique froid sur le golfe, qui provoque des averses et des bourrasques de neige au-dessus de l'eau libre. En situation d'embruns verglaçants, la température de l'air est habituellement d'environ - 10 °C avec des vents du nord-ouest à 30 nœuds et des vagues de 1 à 3 mètres. La menace des embruns verglaçants serait plus grande dans la région du golfe si les parcours (fetch) n'étaient pas si restreints et si l'étendue de la couverture de glace ne venait pas limiter la formation de vagues.

L'examen des bulletins d'épaisseur de givrage dans le golfe permet de distinguer trois zones où les accumulations sont plus grandes, à savoir (1) la région centrale du golfe à l'ouest des îles de la Madeleine, (2) le détroit de Belle Isle au large de Flowers Cove et (3) le nord de la péninsule de Gaspé au large du cap de la Madeleine. Ces accumulations supérieures peuvent s'expliquer par des conditions givrantes locales de plus grande intensité (mer plus courte et plus creuse, par exemple) ou par la présence de navires plus exposés aux embruns et donc au givrage.

Mer du Labrador et baie d'Hudson

Dans la mer du Labrador et la baie d'Hudson, les embruns verglaçants sont la principale cause de givrage de navires et sont responsables des plus grandes accrétions de glace (parfois supérieures à 20 centimètres). Le givrage dû au brouillard surfondu ou à des précipitations verglaçantes est moins souvent signalé et produit généralement de faibles accrétions de glace (de l'ordre de 1 à 2 centimètres). Une fumée de mer arctique peut accompagner le givrage par embruns si les températures de l'air sont très basses. Les messages de givrage des navires dans les eaux du littoral nous indiquent que les conditions de givrage par combinaison d'embruns et brouillard sont plus fréquentes dans la mer du Labrador.

Des risques de givrage par embruns verglaçants existent d'octobre à mai dans les deux secteurs, mais dans la baie d'Hudson, le phénomène est modifié par la lourde couverture de glace qui restreint la vitesse des navires et la croissance des vagues pendant le plus clair de l'hiver. Par conséquent, ce type de givrage est plus courant en octobre et en novembre quand les températures chutent, mais que la couverture de glace n'a pas suffisamment gagné en superficie. En revanche, ce même givrage s'observe tout l'hiver au large de la côte du Labrador, où des conditions givrantes par embruns règnent en janvier et février plus de 30 % du temps.

Dans le détroit et la baie d'Hudson, les probabilités de précipitations verglaçantes sont les plus grandes au printemps et à l'automne, tandis que la mer du Labrador connaît ce phénomène pendant toute la saison hivernale. On constate le plus souvent du brouillard surfondu en février et en mars dans la mer du Labrador et à l'automne dans la baie d'Hudson. Notons qu'il est très difficile de se renseigner sur le climat maritime hivernal de la baie d'Hudson en raison du nombre insuffisant de messages de navires en émanant.

Habituellement, les conditions d'embruns verglaçants sont produites par des cyclones très violents centrés au nord-est de chacune des régions. Ces tempêtes provoquent des circulations ouest-nord-ouest d'air arctique froid, qui engendrent des averses et des bourrasques de neige au-dessus de l'eau libre. En situation d'embruns verglaçants dans la mer du Labrador, la température de l'air est d'ordinaire de -10 °C avec des vents d'ouest à 30 nœuds et des vagues de 4 à 5 mètres. Généralement, les conditions sont moins rigoureuses dans la baie d'Hudson avec une température de l'air de -6 °C, des vents du nord-ouest à 25 nœuds et des vagues de 2 à 3 mètres.

Comme le phénomène de givrage dans la mer du Labrador est le plus souvent lié à la présence de vents d'ouest, on peut avoir l'impression trompeuse d'être à l'abri à proximité des côtes. Le danger est que, si de petits navires de cabotage s'aventurent au large par un tel temps, ils s'exposent à de rudes conditions givrantes en pleine mer.

On constate en effet que les épaisseurs moyennes d'accrétion dépassent les 10 centimètres à Hamilton Bank (54 °N, 55 °O) alors qu'elles sont d'habitude de 4 à 5 centimètres ailleurs. Ces accumulations supérieures peuvent s'expliquer par des conditions givrantes locales de plus grande intensité (mer plus courte et plus creuse, par exemple) ou par la présence de navires plus exposés aux embruns et donc au givrage.

Eaux arctiques

En règle générale, les embruns verglaçants posent moins de problèmes dans les eaux arctiques que dans le golfe du Saint-Laurent ou dans la région sud de la mer du Labrador. Toutefois, la probabilité

d'incidents de givrage marin y est à son plus fort (dans une proportion de plus de 20 % du temps) en automne. Durant cette période les températures de l'air sont de beaucoup inférieures au point de congélation et l'eau libre prévaut dans la baie de Baffin, le détroit de Davis et la région sud de la mer du Labrador. Bien que moins fréquents, des phénomènes d'embruns verglaçants ont été signalés dans l'Ouest de l'Arctique et la mer de Beaufort, allant jusqu'à causer une accumulation de glace de plus de 15 centimètres dans des cas extrêmes.

3.2 PHYSIQUE DES GLACES

Dans cette section, les propriétés physiques des glaces seront décrites dans leurs grandes lignes. Le but est de présenter de l'information qui permettra d'interpréter les conditions glacielles régionales, ainsi que les cartes des glaces, ce qui sera utile pour les prochains éléments sur les pratiques de navigation dans les glaces.

3.2.1 Terminologie des glaces

La terminologie employée dans le présent document est celle utilisée par les navigateurs et les scientifiques qui s'occupent régulièrement des glaces. Une liste de la terminologie sur les glaces se retrouve dans l'0. Les définitions présentées ont été élaborées et approuvées par l'Organisation météorologique mondiale. Pour de plus amples informations sur la terminologie des glaces, consulter le *Manuel des normes d'observation des glaces (MANICE)*, publication du Service canadien des glaces d'Environnement Canada.

3.2.2 Types de glaces

Différentes formes de glaces peuvent être distinguées en fonction de leur lieu d'origine et de leur stade de formation. Voici les principaux genres de glace flottante :

- glace de lac et de rivière, formée par le gel de l'eau douce;
- glace de mer, formée par le gel de l'eau de mer;
- et glace de glacier, formée sur terre ou en tant que banquise, de l'accumulation et de la recristallisation de la neige.

La glace de lac est identifiée par les termes : nouvelle, mince, moyenne, épaisse ou très épaisse, selon son stade de formation. La **nouvelle glace de lac** est de formation récente et son épaisseur est inférieure à 5 centimètres. Pour être **minces**, **moyennes** ou **épaisses**, ces glaces doivent être respectivement épaisses de 5 à 15, de 15 à 30 et de 30 à 70 centimètres, alors que les glaces de lac très épaisses dépassent les 70 centimètres.

La glace de mer peut être soit nouvelle, jeune, de première année ou vieille. Dans chacune de ces catégories, il existe des termes pour désigner des types plus précis. Les détails de cette classification sont présentés dans l'0. **La glace nouvelle** est de formation récente et se compose de cristaux de glace encore faiblement soudés entre eux par le gel. Au fur et à mesure de son évolution, elle se transforme en une couche élastique mince à la surface de l'océan (**nilas**). **La jeune glace** fait la transition entre le nilas et la glace de première année. Son épaisseur est de 10 à 30 centimètres et à mesure qu'elle s'épaissit, la couleur de la jeune glace pâlit progressivement pour passer du gris au blanchâtre. **La glace de première année** n'a connu qu'un seul hiver de croissance et varie en épaisseur de 30 centimètres à plus de 2 mètres. **La vieille glace** est de la glace de mer qui a survécu à au moins un été de fonte. Elle est plus épaisse et moins dense que la glace de première année et offre en surface un aspect plus lisse ou plus arrondi. Les glaces de cette catégorie peuvent se diviser en glaces de **deuxième année** et en glaces de plusieurs années si on en connaît l'histoire.

Enfin, la glace de mer se distingue par son degré de mobilité. La banquise côtière est plus ou moins fixée au rivage. Elle peut se déplacer légèrement en réaction aux marées, mais son mouvement latéral reste de peu d'importance pendant l'hiver. En revanche, la banquise proprement dite, qui consiste en une masse de fragments de glace appelés floes, est mobile et dérive sous l'effet des vents et des courants. La dynamique de la banquise peut soumettre les glaces à des pressions, conduisant

fréquemment à une déformation de la couverture de glace. Cette pression, et la déformation qui s'ensuit, ont une influence sur la navigation.

La glace d'origine terrestre comprend les icebergs et les îles de glace. Les icebergs sont en outre qualifiés par leur taille et leur forme, les bourguignons (d'une longueur de moins de 5 mètres) et les fragments d'iceberg (d'une longueur de 5 à 15 mètres) constituent les spécimens les plus petits de blocs de glace. Les icebergs appartiennent à une catégorie supérieure de taille et varient de petits (de 5 à 15 mètres au-delà du niveau de la mer et longs de 15 à 60 mètres) à très gros (plus de 75 mètres au-delà du niveau de la mer et plus de 200 mètres de longueur). Selon leur forme, les icebergs sont qualifiés de tabulaires, en dôme, pointus, biseautés, érodés ou en bloc.

3.2.3 Propriétés des glaces

La structure d'une couverture initiale de glace dépend du temps et de l'état de la mer au moment où la glace s'est formée. Par temps calme, de gros cristaux de glace naissent à la surface et s'imbriquent peu à peu. Cette couche peut ne pas dépasser 1 à 2 centimètres d'épaisseur. Dans des conditions plus turbulentes, les cristaux de la couche superficielle seront généralement plus petits et gagneront peut-être beaucoup en profondeur, atteignant, par exemple, une épaisseur de 3 mètres au large de l'Alaska.

Une fois qu'une première couche s'est formée en surface, la croissance se poursuit en profondeur. Sous une zone de transition, la glace se compose principalement de longs cristaux disposés en colonnes. Avec la croissance de la glace en profondeur, la saumure gèle à l'intérieur des cristaux de glace, mais pendant l'hiver, la solution salée s'enfonce peu à peu, si bien que, à chaque niveau de la glace, la salinité variera avec l'épaississement de la couverture de glace. L'été, l'eau superficielle de fonte s'écoule à travers la glace, contribuant à purger celle-ci d'une plus grande partie de sa saumure. La glace qui dure plusieurs années se divise en couches et cet échelonnement horizontal correspond au nombre d'années de croissance.

Non seulement la vieille glace est généralement plus épaisse que la glace de première année, mais sa moindre salinité est un important facteur pour la navigation dans les glaces, la puissance des glaces étant étroitement liée à la quantité de saumure. Comme elle est moins saline, la vieille glace est beaucoup plus résistante que la glace de première année.

MISE EN GARDE : LA VIEILLE GLACE EST PLUS DURE, PLUS RÉSISTANTE ET HABITUELLEMENT PLUS ÉPAISSE QUE LA GLACE DE PREMIÈRE ANNÉE. IL FAUT ÉVITER TOUT CONTACT AVEC LA VIEILLE GLACE DANS LA MESURE DU POSSIBLE.

3.2.4 Formation et croissance des glaces

Plusieurs formes de glaces sont observées : glaces de mer, de lac ou de rivière, icebergs et îles de glace. L'eau douce et l'eau salée ne gèlent pas de la même façon et les brèves explications qui suivent se limiteront à décrire la formation des glaces de mer à partir de l'eau salée.

Dans le processus de congélation, les sels dissous sont importants non seulement parce qu'ils abaissent la température de congélation de l'eau (qui est habituellement de $-1,8^{\circ}\text{C}$ environ pour l'eau de mer à teneur en sel de 35 parties par millier), mais aussi parce qu'ils influent sur la densité de l'eau. Une masse d'eau perd sa chaleur principalement de sa surface au profit de l'air ou de l'eau qui l'entoure. Quand les eaux de surface refroidissent, elles deviennent plus denses et s'enfoncent pour être remplacées par les eaux plus chaudes et moins denses des profondeurs. Le cycle se répète jusqu'à ce que la température de l'eau atteigne son point de congélation. Plus la quantité de sel dans l'eau augmente, plus le processus est long et la formation de glace est retardée.

Le premier indice visuel de cette formation est l'apparition de fines aiguilles ou plaquettes de glace dans les premiers centimètres de la couche de surface. Désignées par le terme frasil, elles donnent un aspect huileux à la surface de la mer. Avec le refroidissement, les cristaux se soudent pour former ce

que l'on appelle un sorbet, qui confère à son tour une apparence mate ou terne à la surface des eaux. C'est ainsi que des couches de croûte de glace ou nilas se forment selon le rythme de refroidissement et la salinité des eaux. Le vent et les vagues morcellent fréquemment la glace dont les morceaux sont ensuite arrondis par leurs collisions répétées. La glace en crêpes fait alors son apparition. Ces crêpes pourront ensuite être soudées par le gel, s'épaississant peu à peu par le dessous avec le refroidissement et la congélation en profondeur de l'eau de mer.

Le taux de congélation dépend de la rigueur et la durée des basses températures de l'air. À -30 °C ou -40 °C, l'eau libre peut se transformer en glace grise en 24 heures, mais par la suite, la glace qui épaissit isole contre l'air froid et le taux de croissance diminue peu à peu. Même à des températures aussi basses, il faut compter un mois pour que la glace atteigne le stade de glace mince de première année. La couverture de neige, dont la valeur isolante est environ le décuple de celle de la glace de mer, concourt également à abaisser le rythme de croissance.

Quelquefois, la couverture de neige peut être si lourde qu'elle enfonce la glace sous-jacente sous le niveau de la mer. Les couches inférieures de la couverture peuvent alors se saturer d'eau et geler, ajoutant ainsi à l'épaisseur de la glace. Ce phénomène est fréquent dans les Grands Lacs et dans le cours inférieur du fleuve Saint-Laurent.

Au stade initial de la formation des glaces, avec l'apparition de nouveaux cristaux et la croissance de ceux qui existent déjà, la saumure est piégée dans de petites cellules du réseau cristallin de la glace. La quantité ainsi retenue dépend du rythme de formation de la glace, la saumure étant plus abondante si la glace se forme plus rapidement. La croissance lente permet l'écoulement d'une grande partie de la solution salée. La quantité de saumure piégée joue beaucoup dans la résistance des glaces : plus la teneur en saumure est élevée, plus les glaces sont fragiles.

L'âge de la glace influe également sur sa résistance. Avec l'élévation des températures de l'air et l'approche du point de fusion, la saumure retenue commence à s'écouler et la salinité générale de la couche de glace diminue. Quand les températures retombent au-dessous du point de congélation avant que la glace n'ait entièrement fondu, l'englacement reprendra en faisant naître une glace plus pure et plus résistante. C'est pourquoi la glace de plusieurs années sera plus résistante que la glace de première année pour une même épaisseur et une même température. Ce facteur important doit être pris en compte en cas de navigation dans des régions susceptibles de contenir des vieilles glaces.

3.2.5 Mouvement, pression et déformation des glaces

La glace se forme normalement près des côtes d'abord et se développe ensuite vers le large. Une bande de glace plutôt plane s'attache au littoral et s'y immobilise. La progression en mer de la banquise côtière est limitée par des facteurs susceptibles de fournir des points stables d'ancrage aux glaces. Ainsi, les banquises côtières sont plus fréquentes dans les régions littorales de faible bathymétrie ou parsemées de nombreuses îles que dans les zones caractérisées par une augmentation abrupte de la profondeur à partir du littoral. Au-delà de la banquise côtière s'étend la banquise proprement dite, qui se meut librement sous l'effet des vents et des courants.

Généralement, les zones de glaces nouvellement formées ne restent pas longtemps dans leur état initial. Les vents, les courants, les marées et les forces thermiques soumettent les glaces à divers types de déformation. Le vent entraîne généralement les floes sous sa poussée à un rythme qui varie selon sa vitesse, la concentration de la banquise et l'ampleur du phénomène des crêtes ou de la rugosité de la surface des glaces. Une règle empirique servant souvent à évaluer le mouvement de la banquise estime que les glaces se déplacent de 30° à droite de l'axe de la direction du vent et à environ 2 % de la vitesse du vent.

Quand il souffle depuis la haute mer sur des glaces flottantes, le vent a notamment pour effet de comprimer les floes et d'ainsi les concentrer davantage le long de la lisière des glaces, accentuant de la sorte la ligne de démarcation entre banquise et eau libre. Quand il souffle des glaces vers la mer, il y aura dispersion des floes se trouvant à proximité de la lisière, diminution des concentrations et atténuation de la ligne de démarcation banquise-eau. Les glaces de mer étant partiellement

submergées, elles bougeront également sous l'effet des marées et des courants superficiels de la mer. Le mouvement net des glaces est donc le produit complexe des forces éoliennes et aquatiques et, par conséquent, se prête difficilement aux prévisions.

Les forces thermiques déforment les glaces : quand les températures baissent, la glace se dilate. Si la température de la glace fléchit de -2 °C à -3 °C, les glaces d'une salinité de 10 parties par millier se dilatent de 0,3 mètre par 120 mètres de diamètre de floe. À la même température, le taux d'expansion est environ du tiers de cette valeur pour des glaces d'une salinité de 4 parties par millier. À des températures inférieures à -18 °C et à -10 °C respectivement, des glaces à teneur saline de 10 et de 4 parties par millier cessent de se dilater et, si les températures tombent encore plus bas, une contraction s'opère. Les valeurs d'expansion et de contraction thermiques peuvent paraître petites, mais elles peuvent déterminer la formation de crêtes de pression dans certaines circonstances.

L'énergie des forces atmosphériques et océaniques augmente la déformation de la banquise. Une glace soumise à la pression des vents ou des courants peut subir des fractures et des ondulations qui produisent une surface accidentée. Dans la glace nouvelle ou jeune, un chevauchement des glaces s'ensuit, les couches ayant tendance à se superposer. Dans la glace plus épaisse, la pression fait naître des crêtes et des hummocks. De gros morceaux de glace s'empilent au-dessus de la surface générale de la glace et de grandes quantités de glace s'étagent en profondeur pour que la formation glacée puisse supporter ce surcroît de poids. En règle générale, la profondeur de la partie immergée dépasse de trois ou quatre fois la hauteur de la partie émergée.

NOTA : *La profondeur totale de la glace immergée dépasse de trois ou quatre fois la hauteur de la glace émergée.*

La pression créée par de forts vents peut être importante et persiste d'ordinaire jusqu'à ce que ces vents s'apaisent ou changent de direction. L'ampleur de la formation de crêtes de pression dépend de la condition de la limite sous le vent du champ de glaces qui se trouvait, ou pas, soit contre la masse terrestre ou une banquise très serrée quand des vents du large se sont levés. Dans un tel cas, les floes d'un champ peuvent se comprimer, allant jusqu'à atteindre une concentration de 10/10, avec la pression qui s'exerce partout.

Les marées peuvent aussi créer de la pression dans un champ de glaces. La pression de marée est d'ordinaire de courte durée, d'une à trois heures, et peut parfois, bien qu'elle soit moins forte que la pression éolienne plus longue, interrompre la navigation. Elle peut être particulièrement importante dans des chenaux étroits où l'effet de marée s'amplifie et où le mouvement des glaces est restreint.

NOTA : *Les vents du large et les courants de marée peuvent créer de la pression dans des champs de glaces. La pression peut être sévère au point de restreindre le mouvement d'un navire.*

Des fissures, des chenaux et des polynies peuvent apparaître avec l'atténuation de la pression glacielle ou un mouvement de traction. Les vents de terre peuvent chasser les glaces de la côte, ouvrir un chenal côtier ou éloigner la banquise de la banquise côtière. Dans certaines régions où les vents de terre dominent en saison glacielle, la navigation locale peut être possible pendant le plus clair de la saison hivernale, mais de brefs épisodes de vent du large peuvent obstruer les chenaux et emprisonner les navires.

MISE EN GARDE : LES NAVIGATEURS TRANSITANT DANS DES CHENAUX D'EAU LIBRE DOIVENT AGIR AVEC UNE EXTRÊME PRUDENCE. ILS DOIVENT ESSAYER DE PRÉVOIR L'EFFET DES VENTS ET DES COURANTS SUR L'ÉVOLUTION POSSIBLE DES CONDITIONS DANS CES PASSAGES ÉTROITS.

3.2.6 Ablation des glaces

Les glaces peuvent être dégagées d'une zone par les vents et les courants ou fondre sur place. Quand un champ de glaces est très morcelé (banquise lâche ou concentrations moindres), le vent joue un grand rôle et l'action des vagues qui s'ensuit cause une fonte considérable. S'il s'agit d'une banquise côtière ou que le champ de glaces se compose de très gros floes, la fonte est principalement tributaire du rayonnement incident. Les températures de l'air et de l'eau et certains types de précipitations exercent également des effets importants sur cette fonte.

La couverture nivale des glaces a d'abord pour effet de ralentir l'ablation, car elle réfléchit presque 90 % du rayonnement incident. Toutefois, avec l'élévation des températures au-dessus du point de congélation et le début de la fonte, des mares apparaissent à la surface de la glace. Elles absorberont près de 60 % du rayonnement, causant un réchauffement de l'eau et hâtant de ce fait leur expansion. La chaleur de l'eau de fonte se transmet à la glace sous-jacente et la fragilise. Dans cet état, celle-ci offre peu de résistance à la désintégration par le vent et les vagues. L'apparition de mares d'eau de fonte sur la glace, phénomène habituellement répandu dans l'Arctique canadien, vient accélérer la désintégration et le déglacement.

3.3 ICEBERGS, FRAGMENTS D'ICEBERG ET BOURGUIGNONS

Les icebergs et les îles de glace se distinguent des glaces de mer en ce qu'ils représentent un danger extrême à l'échelle locale pour le navigateur, plutôt que de poser les problèmes restreints mais répandus qui sont propres aux glaces de mer. Une collision avec de la glace de glacier peut causer de graves avaries.

MISE EN GARDE : LA GLACE DE GLACIER, QU'ELLE SOIT SOUS FORME D'ICEBERGS OU D'ÎLES DE GLACE, EST TRÈS DURE. IL FAUT S'EN TENIR LOIN.

3.3.1 Origine et nature

Les icebergs font partie du panorama maritime dans les eaux arctiques, le long de la côte du Labrador et sur les Grands Bancs de Terre-Neuve. Ils diffèrent des glaces de mer (figure 20), puisqu'ils sont faits de glace d'eau douce d'origine terrestre. Ils se forment quand des fragments de glace de glacier se détachent ou vèlent dans la mer.

Un autre type de glace flottante de glacier est issu du vèlage de fragments qui se détachent de plateaux de glace le long du littoral septentrional du Groenland et de l'archipel arctique, et plus particulièrement de l'île Ellesmere. Ces fragments flottants sont appelés îles de glace (figure 21). On les trouve principalement dans l'océan Arctique, la mer de Beaufort, les détroits de l'archipel arctique et l'est de l'Arctique.

Presque tous les icebergs du littoral est du Canada viennent des glaciers de l'Ouest du Groenland (figure 22). La plupart des glaciers actifs du littoral occidental du Groenland se situent entre le détroit de Smith et la baie de Disko. La baie de Melville, du cap York à Upernavik, est une importante pépinière d'icebergs. On estime en effet que 19 glaciers actifs y produisent tous les ans 10 000 icebergs. Un autre foyer d'importance est la baie du Nord-Est avec les fjords Karrats et Umanak, où 5 000 à 8 000 icebergs se détachent chaque année de 10 grands glaciers. La baie de Disko est également la source d'un petit nombre d'icebergs avec ses deux glaciers.

Figure 20 Photo d'un iceberg type



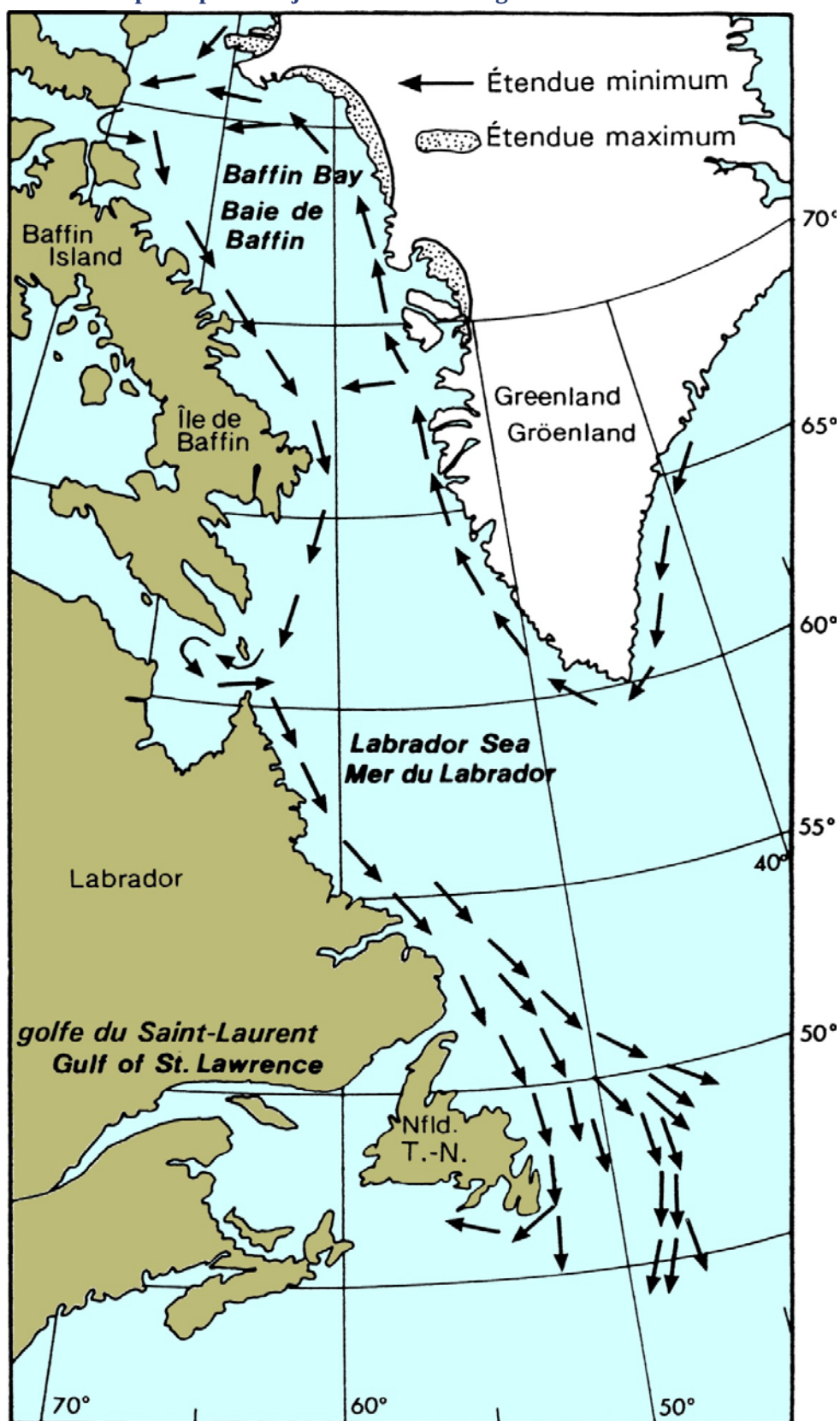
Figure 21 L'île de glace (Photo courtoisie du Service canadien des glaces)



Il y a vêlage d'icebergs, mais seulement en quantité restreinte, dans quelques glaciers canadiens des îles Baffin, Bylot, Devon, Coburg et Ellesmere (partie méridionale). On estime à environ 150 le nombre d'icebergs qui essaient tous les ans des glaciers canadiens.

Dans la baie de Baffin, la production annuelle totale est de 25 000 à 30 000 icebergs selon certaines estimations, et va jusqu'à 40 000 selon d'autres. Plus de 90 % des icebergs proviennent des glaciers de l'Ouest du Groenland.

Figure 22 Sources et principales trajectoires des icebergs dans les eaux canadiennes



La taille des icebergs produits de ce vêlage varie des dimensions du bourguignon (près de 20 m² avec élévation d'un mètre au-dessus de l'eau) à des masses d'un kilomètre de long et de plus de 200 mètres de haut. Le rapport partie émergée-partie immergée d'un iceberg est de 1:1 à 1:3 pour les icebergs pointus et de 1:1 à 1:5 pour les icebergs en bloc ou tabulaires aux parois abruptes. Une étude des icebergs du détroit de Davis nous porte à croire qu'un rapport de 1:4 serait une bonne approximation de la taille des icebergs. Si la hauteur d'un iceberg est de 100 mètres, il serait raisonnable de prévoir un tirant d'eau de 300 à 500 mètres. À cause de cet important tirant d'eau, même les icebergs plus petits s'échouent fréquemment dans les eaux littorales et dans les hauts-fonds.

3.3.2 Situation et concentration géographiques

En raison de leur tirant d'eau considérable, la dérive des icebergs est fortement assujettie à l'influence des courants océaniques et des vents. L'importance relative des vents et des courants dans la dérive des icebergs dépend des superficies et des masses exposées à l'action marine et éolienne et à la puissance relative de ces deux actions. Les icebergs issus du vêlage de glaciers de l'ouest du Groenland dérivent habituellement vers le nord (voir la figure 22) à une vitesse de 3 à 5 milles marins par jour avant d'être portés à l'ouest à travers la partie septentrionale de la baie de Baffin. De là, les courants qui longent le littoral est de l'île Baffin charrient les icebergs au sud vers la mer du Labrador et les Grands Bancs de Terre-Neuve. Le long du Labrador, des vitesses de dérive de 10 milles marins par jour n'ont rien d'inhabituel.

Si la principale trajectoire de dérive est dans le sens inverse des aiguilles d'une montre dans la baie de Baffin, il n'est pas rare que des icebergs y soient déportés vers l'ouest par des courants plus petits issus du courant du Groenland occidental. La dérive est rarement directe et les icebergs sont fréquemment emportés par des courants moins puissants vers des baies et des anses. En particulier, de nombreux icebergs se retrouvent dans le détroit de Lancaster, se déplaçant vers l'ouest jusqu'au 85° de longitude Ouest. Les icebergs dérivent également au sud vers Navy Board Inlet et à l'est vers Pond Inlet. De même, ils vont parfois vers le détroit d'Hudson au sud de l'île Baffin. Des icebergs déportés à l'ouest ont été observés aussi loin qu'à la hauteur de l'île Big, probablement sous l'effet de puissants courants de marée.

Parfois, les icebergs pénètrent dans le golfe du Saint-Laurent et empruntent le détroit de Belle Isle. Ils sont généralement petits, la bathymétrie du détroit (55 mètres) venant limiter le tirant d'eau des icebergs qui peuvent gagner ces eaux. La plupart des icebergs qui entrent dans le golfe ont tendance à s'échouer le long de la côte du Québec, à l'est de Harrington Harbour; néanmoins certains ont été observés beaucoup plus loin à l'ouest à la hauteur de l'île d'Anticosti et de la baie des Îles le long du littoral occidental de Terre-Neuve. Un nombre considérable d'icebergs peuvent rester échoués dans le détroit de Belle Isle.

La distance parcourue par un iceberg de son lieu de vêlage aux Grands Bancs de Terre-Neuve est estimée à 2 700 à 3 700 kilomètres. Selon les estimations de la vitesse des courants, un iceberg vêlé dans la baie de Melville pourrait effectuer ce parcours en un an. Il est cependant plus probable qu'il ne reste pas dans le courant principal et, par conséquent, une durée de dérive de deux ou trois ans serait plus proche de la réalité.

Au cours de leur dérive, les icebergs s'amenuisent en raison de la fonte et du vêlage de fragments. Ce dernier est fréquent et, en exposant une plus grande surface de glace à l'eau, il contribue à l'accélération de la fonte. La glace fond au-dessus et au-dessous de la ligne de flottaison. Comme la température de l'eau varie selon la profondeur, il est possible qu'un iceberg fonde près de la surface, mais non pas en profondeur où la température peut être inférieure au seuil (0 °C) de fonte de la glace d'eau douce. Avec la fonte superficielle, le centre de poussée de l'iceberg peut changer, déstabilisant celui-ci et le faisant rouler. Les icebergs observés au large de Terre-Neuve sont généralement plus dégradés et instables que les icebergs qui se trouvent plus au nord. Il n'est pas rare qu'un iceberg roule plusieurs fois par jour. Il est donc très important que les navires se tiennent loin des icebergs susceptibles de basculer.

Se fondant sur des études sur les icebergs en désintégration, le Service international de patrouille des glaces de la Garde côtière des États-Unis a établi des approximations simples du temps de détérioration des icebergs de différentes catégories de taille à différentes températures de l'eau. Le tableau 5 présente ces valeurs.

Tableau 2 Durée de la désintégration des icebergs de diverses catégories de taille

Température de l'eau de mer en surface (°C)	Durée de la désintégration (jours)		
	Petit iceberg ^a	Iceberg moyen ^b	Gros iceberg ^c
0	15	40	90
2,2	8	16	24
4,4	5	10	15

^a **Petit iceberg** : moins de 15 mètres de haut et de 45 mètres de long.

^b **Iceberg moyen** : 15 à 30 mètres de haut et 45 à 90 mètres de long.

^c **Gros iceberg** : plus de 30 mètres de haut et de 90 mètres de long.

^d **Dans le cas des icebergs tabulaires**, la hauteur limite présente les variations suivantes : moins de 6 mètres pour les petits icebergs, de 6 à 15 mètres pour les moyens et plus de 15 mètres pour les gros.

Bien que le rythme de fonte des icebergs soit lent dans les eaux arctiques, il est peu probable que plus de 20 à 25 % des icebergs détachés des glaciers du Groenland atteignent l'ouest de la baie de Baffin. On estime que la moitié fondent avant de pénétrer dans le détroit de Davis et que 20 % seulement des icebergs restants accomplissent toute leur dérive vers les Grands Bancs.

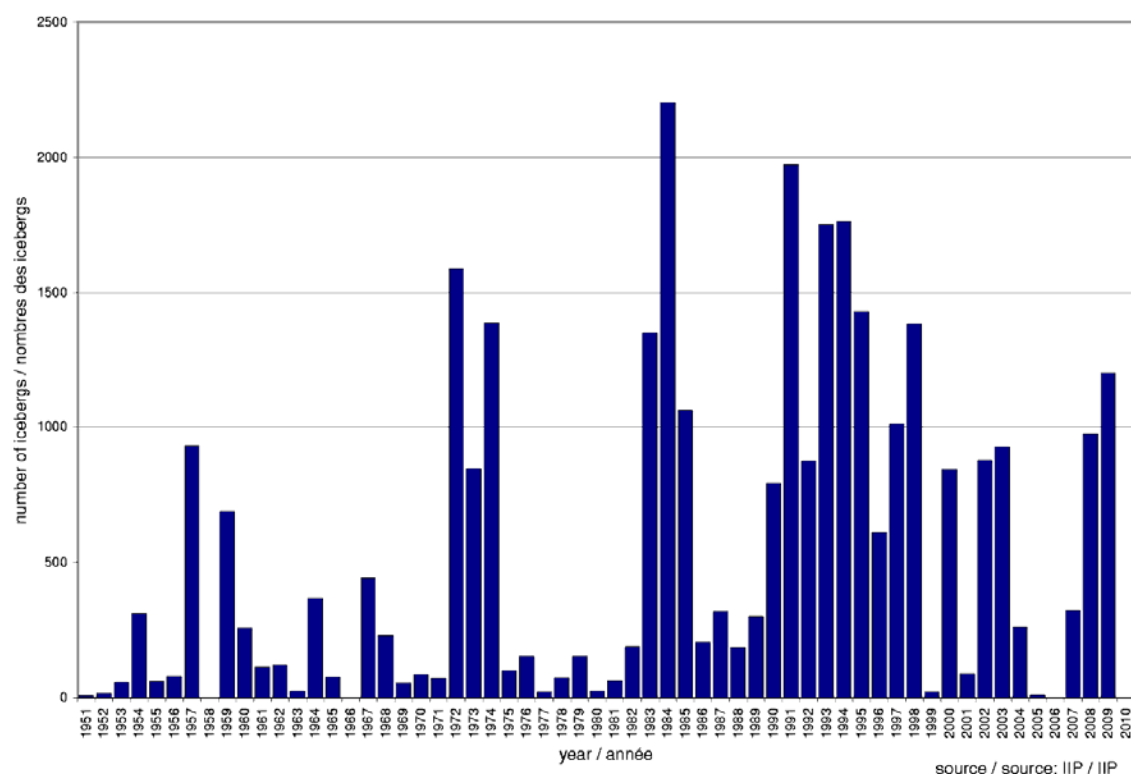
Figure 23 : Vêlage d'un iceberg (Courtoisie du Service canadien des glaces)



En moyenne, environ 300 icebergs dérivent par année au sud du 48° de latitude Nord, mais ce nombre varie considérablement d'une année à l'autre. D'après les observations du Service international de patrouille des glaces, le nombre total d'icebergs franchissant le 48° N a oscillé entre 1 587 en 1984 et zéro en 1966. La figure 24 indique les variations annuelles entre 1951 et 2010.

Les icebergs dérivent toute l'année, mais leur dérive est plus lente en hiver lorsqu'ils sont en banquise. Avec la détérioration de la couverture de glace de mer le long du littoral du Labrador et de l'île Baffin, ils se déplacent plus librement. Dans une année donnée, la plupart franchissent le 48° de latitude Nord entre mars et juin. En moyenne, près des deux tiers sont observés en avril.

Figure 24 Nombre annuel d'icebergs franchissant le 48° de latitude Nord



3.4 CLIMATOLOGIE DES GLACES DANS LES GRANDS LACS

3.4.1 Influences météorologiques

Les conditions météorologiques influent directement sur la planification et l'exécution de la navigation hivernale. 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 déjà présente. D'autre part, la migration des centres dépressionnaires 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 de ces tempêtes en déplacement.

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 de glace, son épaisseur, son emplacement et son degré d'obstruction à la navigation.

3.4.2 Facteurs océanographiques

Les principaux facteurs océanographiques qui influent sur le régime des glaces sont la bathymétrie, les courants et les marées. Une brève description de la bathymétrie et des courants est fournie pour chaque lac. L'amplitude des marées est généralement très faible.

Lac Supérieur

Le lac Supérieur est le plus grand et le plus profond des Grands Lacs avec une profondeur maximale 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. Les eaux du lac Supérieur s'écoulent dans le lac Huron en passant par la rivière Ste-Marie; les courants dans le lac sont pour la plupart faibles. Il a été observé que les courants dus au vent engendrent des remontées d'eau du lac.

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. La profondeur maximale est de 281 mètres dans la partie centrale du lac. La zone située au nord de l'île Beaver et celle du détroit de Mackinac sont peu profondes, soit moins de 37 mètres. Les courants sont généralement faibles dans le lac, mais il existe une circulation circulaire dans la partie sud du lac Michigan qui est unique.

Lac Huron

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. La profondeur maximale est de 229 mètres à 27 kilomètres à l'ouest de la péninsule Bruce. Le lac est profond dans l'ensemble, 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. Le lac Huron reçoit les eaux du lac Michigan par le détroit de Mackinac et les eaux du lac Supérieur par la rivière Ste-Marie et se déverse à son tour dans la rivière Sainte-Claire. Les courants sont généralement faibles dans le lac et dans la baie.

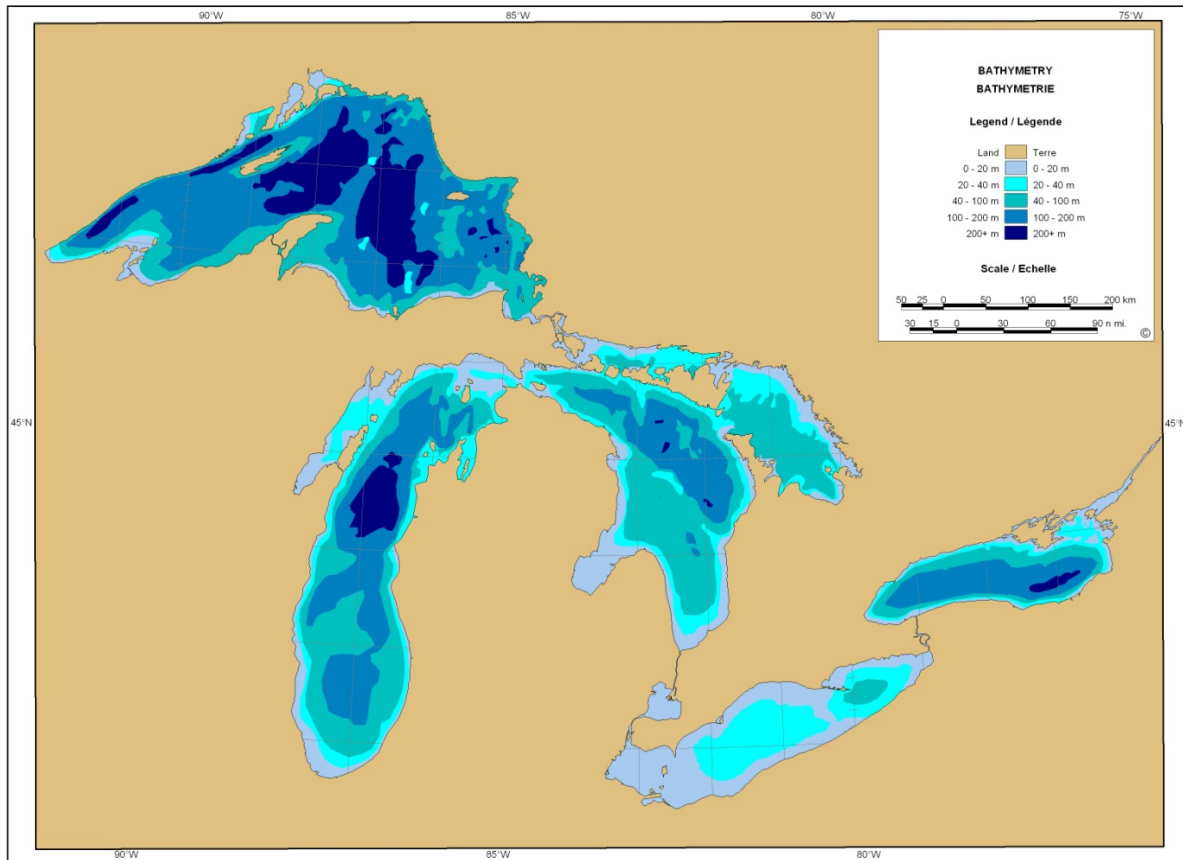
Lac Érié

C'est le plus méridional des Grands Lacs et c'est aussi le moins profond. La 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. 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.

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. La profondeur maximale est de 244 mètres dans la partie sud-est du lac. L'extrémité nord-est du lac (à l'approche du fleuve Saint-Laurent) est la partie la moins profonde, soit moins de 55 mètres. L'eau du lac Ontario s'écoule principalement en direction nord-est, depuis la rivière Niagara jusqu'au fleuve Saint-Laurent. Les courants sont généralement faibles dans le lac.

Figure 25 : Bathymétrie des Grands Lacs (Carte courtoisie d'Environnement Canada)



3.4.3 Régime des glaces dans les Grands Lacs

Lac Supérieur

La glace commence généralement à se former dans les baies 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 ou le début de décembre. À mesure que la quantité et l'épaisseur de glace augmentent, le périmètre entier du lac se recouvre en premier; la glace s'étend ensuite sur de nombreux kilomètres vers le large, au milieu de l'hiver. Au plus fort de l'hiver, dans la deuxième moitié de février, la glace couvre généralement 75 % du lac. La partie est du lac entre Stannard Rock et l'île Caribou demeure généralement libre de glace pendant tout l'hiver.

La débâcle 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. Cependant, les vents et les courants peuvent amener les glaces à dériver dans l'extrémité sud-est du lac.

Variations

Les conditions glacielles peuvent considérablement varier d'une année à l'autre. Au cours d'un hiver doux, la couverture de glace du lac Supérieur ne peut atteindre seulement que 12 % de sa superficie (1997-1998), tandis qu'au cours d'un hiver rigoureux, elle peut être 100 %. Il est arrivé que la glace soit formée dès la première semaine de novembre et qu'elle ait persisté jusqu'à la dernière semaine de mai.

Épaisseur de la glace

Dans les baies et havres abrités, les glaces tendent à atteindre une épaisseur qui varie de 45 à 85 centimètres durant un hiver normal. Le chevauchement peut faire en sorte que l'épaisseur de la glace atteigne plus ou moins un mètre. Dans la baie Whitefish, les embâcles de glace échouée peuvent

s'élever jusqu'à 7 à 8 mètres ou plus au-dessus du niveau de la mer. Au large, les crêtes de glace peuvent avoir une épaisseur totale de 25 mètres.

MISE EN GARDE : LES ROUTES DE NAVIGATION DE LA BAIE WHITEFISH ET À L'ENTRÉE DES HAVRES DU LAC SUPÉRIEUR SONT DAVANTAGE AFFECTÉES PAR LES GLACES QUI DÉRIVENT À CAUSE DES FORTS VENTS.

Lac Michigan

En raison de l'orientation nord-sud et de la 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 première moitié de décembre. Les zones qui se recouvrent ensuite de glace sont le détroit de Mackinac et les zones de faible profondeur situées au nord de l'île Beaver. Dans ces zones, la formation de glace débute vers la première 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 de glace atteint son étendue maximale, soit d'environ 25 %, vers la mi-février. La partie centrale du lac au sud du 45° N demeure généralement libre de glace pendant tout l'hiver.

La débâcle 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 première moitié d'avril. Dans la zone du détroit et de l'île Mackinac, il se forme généralement des crêtes de glace spectaculaires qui subsistent jusque tard dans la saison.

Variations

Les conditions glacielles peuvent considérablement varier d'une année à l'autre. Au cours d'un hiver doux, la couverture de glace maximale du lac Michigan peut n'atteindre que 12 % de sa superficie, tandis qu'au cours d'un hiver rigoureux, la couverture de glace peut augmenter à près de 85 %. Il est arrivé que la glace soit formée dès la dernière semaine de novembre et qu'elle ait persisté jusqu'à la deuxième semaine de mai.

Épaisseur de la glace

Dans les baies et havres abrités, les glaces atteignent généralement une épaisseur qui varie de 45 à 75 centimètres durant l'hiver. Avec le chevauchement, la glace peut atteindre une épaisseur allant jusqu'à un mètre ou plus. Les crêtes de glace dans le détroit de Mackinac peuvent s'élever jusqu'à 9 mètres au-dessus de la surface et atteindre une profondeur jusqu'à 2 ou 3 fois supérieure.

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 du 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 Nord et le long du littoral est de la baie Georgienne pendant la deuxième semaine 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 de glace atteint son maximum vers le milieu de février, avec une couverture d'environ 50 % de la superficie dans le lac Huron et d'environ 90 % dans la baie Georgienne. La partie nord et centrale profonde du lac Huron demeure généralement libre de glace pendant tout l'hiver.

La débâcle débute normalement en mars et le lac est en général complètement libre de glace 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.

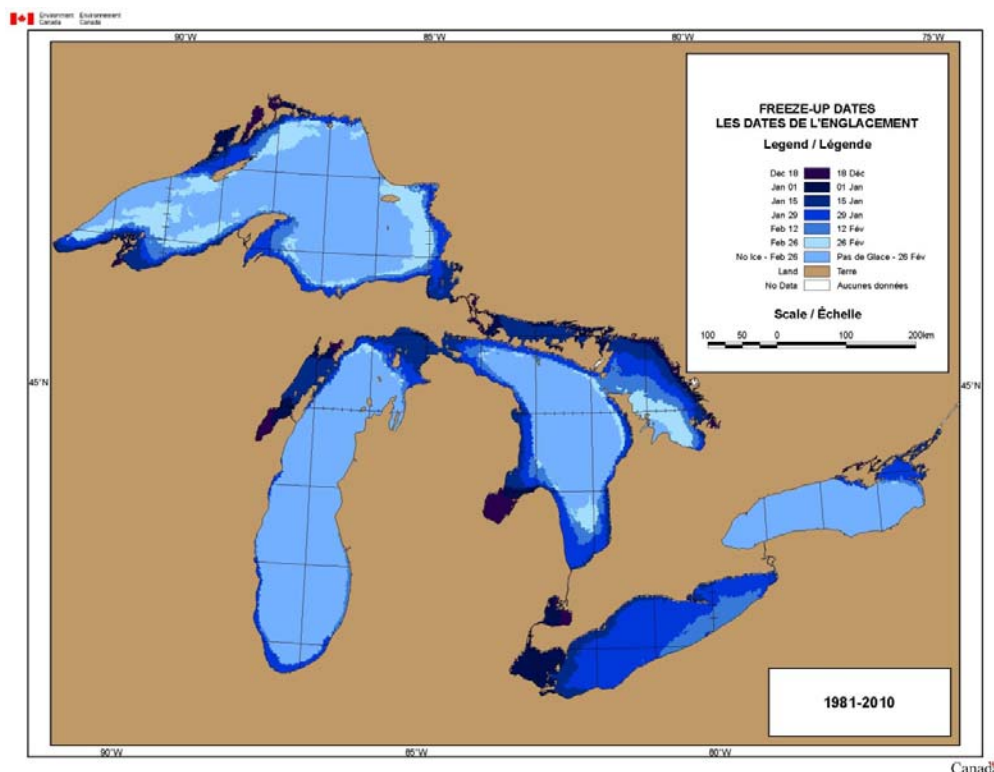
Variations

Les conditions glacielles peuvent considérablement varier d'une année à l'autre. Au cours d'un hiver doux, la couverture de glace maximale du lac Huron et de la baie Georgienne peut n'atteindre que 26 % de la superficie totale du lac (hiver 2001-2002), tandis qu'au cours d'un hiver rigoureux, la couverture de glace peut être supérieure à 95 % dans le lac Huron et dans la baie Georgienne. Il est arrivé que la glace soit formée dès la dernière semaine de novembre et qu'elle ait persisté jusqu'à la troisième semaine de mai.

Épaisseur de la glace

Dans les baies et havres abrités, les glaces tendent à atteindre une épaisseur qui varie de 45 à 75 centimètres durant un hiver normal. Les crêtes de glace peuvent atteindre jusqu'à 18 mètres d'épaisseur.

Figure 26 Dates d'englacement pour les Grands Lacs



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 deuxième semaine de décembre. Ailleurs, la couverture de glace prend de l'expansion au début janvier et atteint généralement son étendue maximale, environ 70 %, en février. Le lac Sainte-Claire est normalement complètement recouvert de glace de la mi-janvier jusqu'au mois de mars.

La débâcle dans le lac Érié débute normalement vers la fin de février et le lac devient en majeure partie libre de glace à la première semaine d'avril. L'extrémité est du lac est en général la dernière zone à devenir libre de glace.

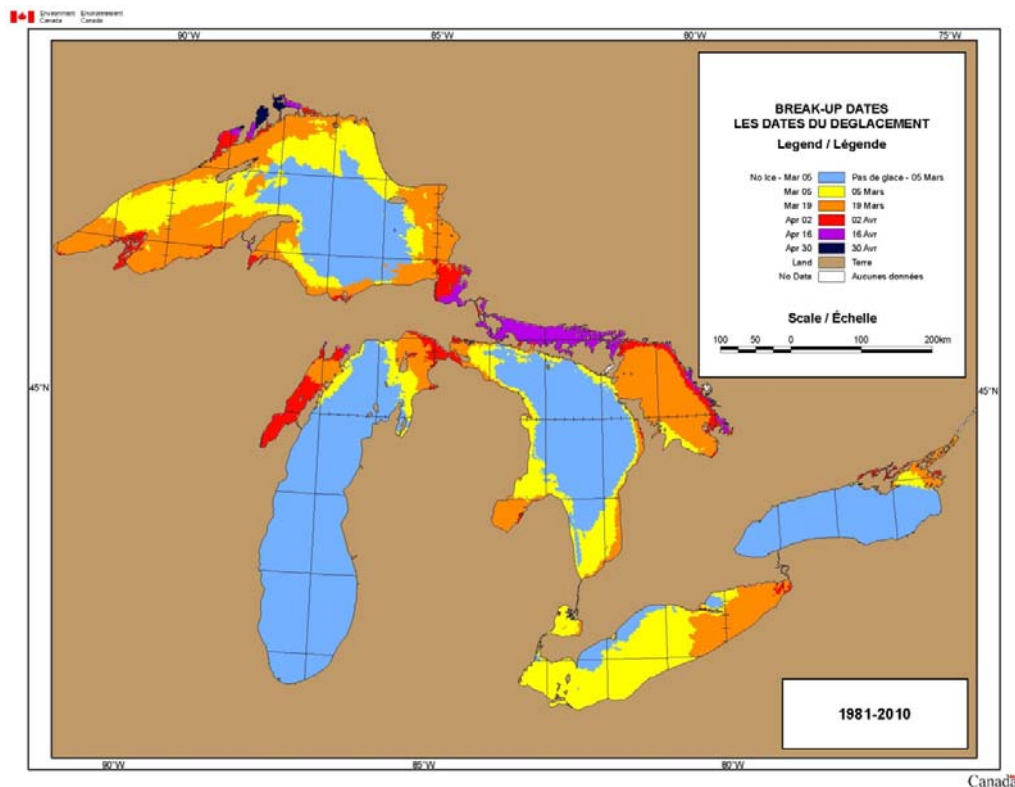
Variations

Au cours d'un hiver doux, la couverture de glace peut n'atteindre que 8 % de la surface du lac. Au cours d'un hiver rigoureux, elle peut atteindre 100 %. Il est arrivé que la glace soit formée dès la première semaine de décembre et qu'elle ait persisté dans la région de Buffalo jusqu'à la mi-mai.

Épaisseur de la glace

Dans les baies abritées, les glaces atteignent généralement une épaisseur qui varie de 25 à 45 centimètres durant l'hiver. Les chevauchements et les crêtes de glace peuvent atteindre plus de 20 mètres d'épaisseur, et ce, au cours d'une seule tempête d'hiver.

Figure 27 : Dates du déglacement pour les Grands Lacs



Lac Ontario

La glace commence à se former dans la baie de Quinte normalement au cours de la troisième semaine de décembre. La glace commence à se former dans les baies de l'extrémité est du lac et aux abords du fleuve Saint-Laurent au cours de la première semaine de janvier. La couverture de glace devient plus étendue durant la dernière semaine de janvier et elle est surtout concentrée à l'extrémité est du lac. La couverture de glace atteint son maximum au cours de la première moitié de février et représente environ 17 % de la superficie totale du lac. La débâcle débute normalement à la fin février et le lac devient généralement libre de glace à la fin mars. Un peu plus tard, il peut y avoir encore de la glace en aval des chutes Niagara, dans les baies abritées et dans les abords du fleuve Saint-Laurent.

Variation

Au cours d'un hiver doux, la couverture de glace du lac Ontario n'atteint que 10 % environ de sa superficie, tandis qu'au cours d'un hiver rigoureux, elle peut augmenter à 65 %. Le lac Ontario est rarement complètement couvert de glace; cela s'est produit notamment en 1979. Il est arrivé que la glace soit formée dès la troisième semaine de novembre et qu'elle ait persisté jusqu'à la dernière semaine d'avril.

Épaisseur de la glace

Dans les baies abritées, les glaces atteignent généralement une épaisseur qui varie de 20 à 60 centimètres durant l'hiver. Les crêtes, les chevauchements et les hummocks peuvent considérablement en accroître l'épaisseur.

3.5 CLIMATOLOGIE DES GLACES DANS LE FLEUVE ST-LAURENT

Le fleuve Saint-Laurent coule de l'extrémité est du lac Ontario à la rivière Saguenay où il devient l'estuaire puis le golfe du même nom. La glace commence à se former pendant la première quinzaine de décembre entre Montréal et Québec. Les vents et les courants fluviaux sont responsables de la formation et l'extension de la nouvelle glace le long de la rive sud du cours d'eau. À la fin de décembre, la moitié sud de l'estuaire, à l'ouest d'une ligne joignant Pointe-des-Monts à Marsoui, est englacée. En général, la glace apparaît sur le reste du fleuve au début de janvier. Des zones particulièrement étendues de banquise côtière se forment dans le lac Saint-Pierre, dans les eaux entre ce lac et Montréal où les îles retiennent la glace, et dans les chenaux non navigables entre Montréal et Sorel.

Tout l'hiver, la dérive des glaces se poursuit en amont de Québec. L'intervention de brise-glaces la soutient. En raison de ce constant mouvement, il y a rarement formation de floes de grande taille et la navigation est possible toute l'année entre Québec et Montréal. Les vents dominants du nord-ouest ont tendance à rabattre les glaces dérivantes sur la rive sud, réduisant les concentrations le long de la rive nord ou dégageant tout à fait ces eaux littorales.

Les courants de marée peuvent modifier ces conditions et créés des bouchons de glace dans les zones étroites du chenal de navigation. Le reflux peut engorger le port de Québec entre Lauzon et l'extrémité ouest de l'île d'Orléans, quand des floes détachés de la banquise côtière font obstacle à la dérive normale des glaces à proximité du port.

Figure 28 : Glace de batture dérivant en aval du pont de Québec (Service canadien des glaces)



Les floes de batture (figure 28) sont de gros floes épais, inégaux et décolorés pouvant atteindre 8 kilomètres et plus. Ils se forment dans les eaux peu profondes tout au long du fleuve. Ils se composent de glaces de diverses épaisseurs qui se forment sous la pression pendant le reflux. La masse ainsi formée s'agglomère par le gel et gagne progressivement en taille avec la succession des marées. Lorsque l'amplitude des marées augmente entre les mortes eaux et les vives eaux, de grands pans des glaces échouées se détachent et dérivent en aval. Ils constituent un redoutable danger pour la navigation et les capitaines doivent les éviter autant que possible. Les floes de batture sont faciles à reconnaître, puisque la glace est décolorée et qu'elle apparaît beaucoup plus haute au-dessus de l'eau que la glace environnante.

Les glaces qui sont fixées aux rives et aux hauts-fonds peuvent bloquer facilement le chenal, si elles se détachent sous l'effet de causes naturelles ou de vagues produites par le passage des navires. Elles peuvent même se détacher en larges plaques et former des embâcles si elles sont entraînées dans le chenal. Ces glaces de batture sont susceptibles de quitter les berges à certains moments, obligeant la Garde côtière canadienne à imposer des limites de vitesse de navigation dans certains secteurs du fleuve.

MISE EN GARDE : LES FLOES DE BATTURE CONSTITUENT UN RISQUE MAJEUR POUR LA NAVIGATION SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT. LES NAVIRES DOIVENT LES ÉVITER DANS LA MESURE DU POSSIBLE.

Il est alors primordial que l'embâcle soit éliminée et le chenal dégagé le plus tôt possible afin d'arrêter la crue des eaux. L'embâcle est brisé par l'aval afin que la glace libérée par les brise-glaces soit emportée par le courant. À cette fin, tous les brise-glaces disponibles doivent être affectés à l'élimination de l'embâcle et ne peuvent donc se porter à l'aide de navires qui sollicitent une intervention. C'est la seule méthode seule qui permette de dégager le chenal, et aussi la meilleure pour libérer les navires pris dans les glaces, et pour rétablir la circulation fluviale. Il importe au plus haut point que le travail des brise-glaces ne soit pas gêné par la présence – évitable – d'autres navires dans la zone de l'embâcle. Il est parfois nécessaire de retarder les départs ou de réduire la circulation dans le secteur.

Figure 29 : La voie navigable peut facilement être bloquée si la glace de batture est détachée



Les navires ne devraient pas entreprendre de voyages de nuit entre Les Escoumins et Montréal sans une connaissance approfondie de l'état des glaces dans cette zone.

Dans le port de Montréal, les aménagements de contrôle des glaces et les rapides de Lachine ont pour effets conjugués de maintenir la dispersion des glaces pendant tout l'hiver. En amont de Montréal

jusqu'au lac Ontario, la saison de navigation est réglementée et contrôlée par l'Administration de la voie maritime du Saint-Laurent.

Même des conditions de glace légères peuvent s'avérer difficiles sur le Saint-Laurent. L'eau douce, les courants, les marées et la profondeur d'eau peuvent pousser le frasil jusqu'à des profondeurs de plus de 10 mètres et entrer dans les prises d'eau, obstruant les systèmes de refroidissement d'eau de mer. Si l'eau ne peut être obtenue des systèmes de refroidissement, les moteurs ne fonctionneront pas adéquatement et pourraient éventuellement surchauffer, provoquant l'arrêt des moteurs ou causant de sérieux dommages. La conception des navires qui opèrent dans les glaces doivent empêcher le blocage des systèmes de refroidissement par les amas de frasil. Ce type d'évènement inhabituel est rarement observé ailleurs dans le monde.

Le déglacement commence d'ordinaire sur le fleuve vers la mi-mars dans les zones sous le vent et les régions où la glace est plus mince. Le fleuve est normalement libre de toute glace à la première semaine d'avril.

3.6 CLIMATOLOGIE DES GLACES POUR LA CÔTE EST

3.6.1 Influences météorologiques

Les conditions météorologiques ont un impact direct sur la planification et l'exécution de la navigation hivernale. Les températures déterminent l'étendue et l'épaisseur des glaces qui se forment, et les vents de surface modifient leur emplacement, leur forme et leur distribution. Les vents jouent également un rôle primordial dans l'étendue de la couverture de glace, particulièrement au début de la saison. Des vents forts peuvent en effet détruire la glace si elle est relativement mince et supprimer la croissance de la glace temporairement. Pendant l'hiver, l'air froid de l'Arctique canadien peut se déplacer vers la mer à travers l'est du Canada, entraînant des températures beaucoup plus basses que le point de congélation, causant le givrage des superstructures, et une augmentation rapide du volume et de l'étendue de la glace de mer. D'autre part, la migration des centres dépressionnaires du sud-est des États-Unis peut faire en sorte que l'air doux 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 de ces tempêtes en migration.

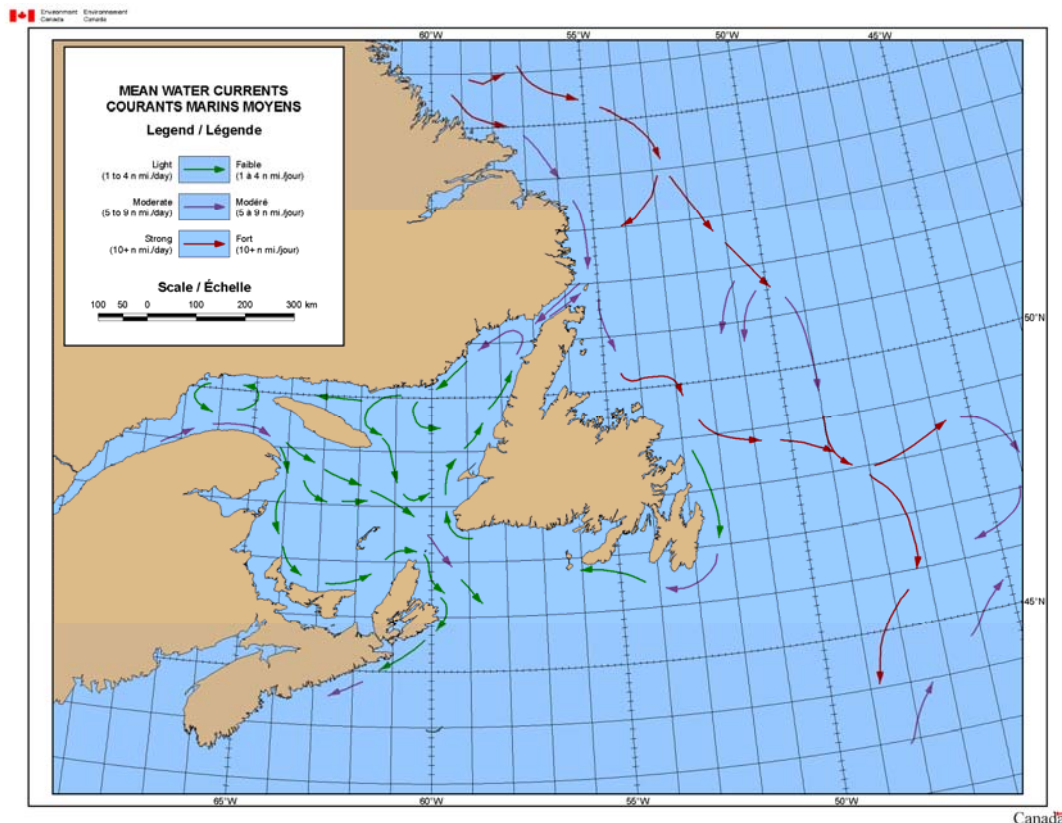
Courants marins

Le mouvement général des eaux (voir figure 33) dans ces régions est relativement simple, mais les détails sont compliqués. Dans le golfe du Saint-Laurent, le courant est généralement dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Il y a un courant dominant vers l'est dans l'estuaire du Saint-Laurent, mais des courants de marée s'y superposent, accélérant et ralentissant alternativement le mouvement. Le courant est le plus fort à une distance de 2 à 12 milles marins de la péninsule de Gaspésie où il atteint une vitesse moyenne de 6 à 10 milles marins par jour. Une fois entrée dans la partie principale du golfe, l'eau s'étale sur les petits fonds madelinien et dérive vers le détroit de Cabot en général, mais une partie suit le profond chenal Laurentien directement à travers le golfe. Arrivé au voisinage de l'île du Cap Breton, le courant, qui est appelé courant du cap Breton, contourne le cap Nord à une vitesse de 5 à 7 milles marins par jour, traverse la baie de Sydney, et se dissipe sur la plate-forme néo-écossaise au large de l'île Scatarie. La vitesse du courant sur les petits-fonds madelinien (la zone qui s'étend entre l'Île-du-Prince-Édouard et les Îles de la Madeleine) est normalement de 3 à 5 milles marins par jour. Il y a un apport net d'eau autour du cap Ray et un courant vers le nord d'une vitesse moyenne de 2 à 4 milles marins par jour a été observé le long de la côte ouest de Terre-Neuve, au-delà de la baie des Îles et de Daniel's Harbour.

Le mouvement général des eaux au large du sud du Labrador et de l'est de Terre-Neuve est dominé par le courant froid du Labrador. Au large du Labrador, le mouvement vers le sud est surtout confiné à la plate-forme continentale, et l'eau est plus froide et moins saline dans les couches supérieures au voisinage du littoral. Après le bras Hamilton, le courant s'élargit en même temps que la plate-forme continentale. Il est par conséquent ralenti et s'étale vers l'est sur les Grands Bancs, mais une partie continue vers le sud-ouest, du cap Race vers la Nouvelle-Écosse. Dans le détroit de Belle Isle et au

voisinage de Terre-Neuve, la vitesse des courants de surface est généralement inférieure à celle des courants de la côte du Labrador et la dérive vers l'ouest, du cap Race vers les eaux de Nouvelle-Écosse, est encore plus lente. Dans le détroit de Belle Isle, un courant de marée variable complique le mouvement de l'eau, mais il existe un important courant général d'une vitesse moyenne de 6 à 8 milles marins par jour entrant dans le golfe du Saint-Laurent. Le long de la côte nord du Labrador, la vitesse du courant varie de 8 à 10 milles marins par jour, mais elle n'est généralement pas constante d'une saison ou d'une année à l'autre.

Figure 30 : Courants de surface sur la côte Est canadienne



Marées

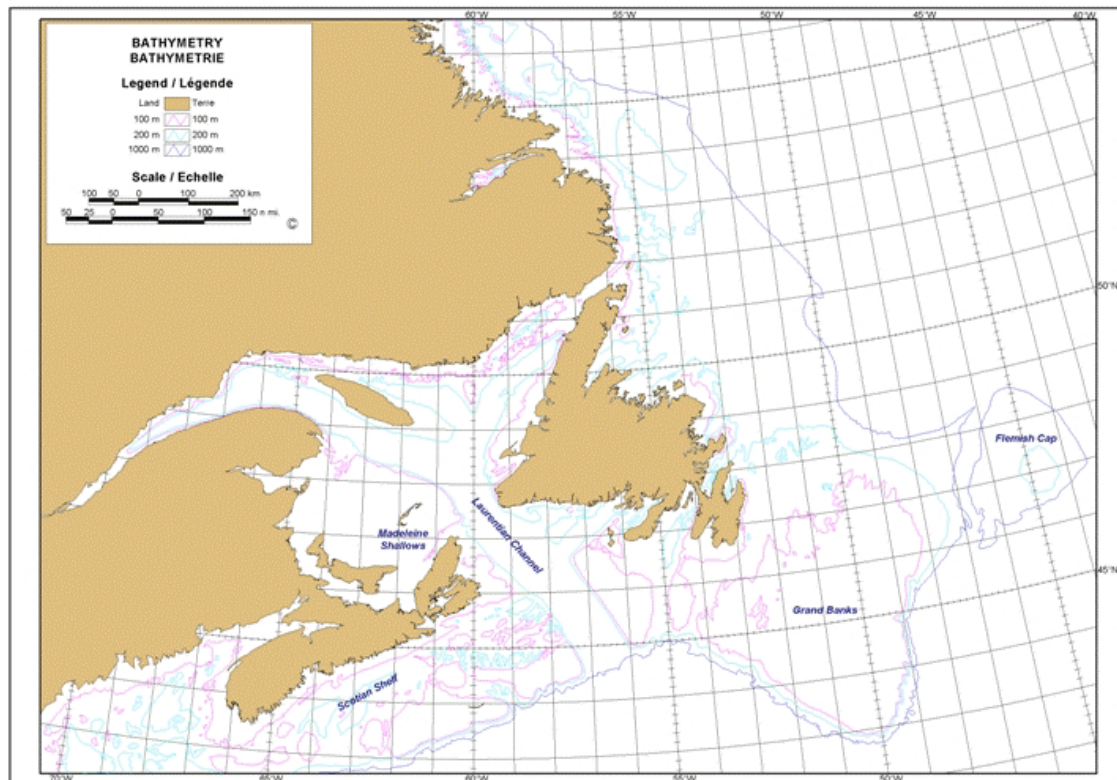
L'amplitude des marées sur les côtes du Labrador et de Terre-Neuve est plutôt faible, mais constante, l'amplitude moyenne se trouvant entre 0,8 et 1,6 mètre presque partout. Dans le golfe du Saint-Laurent, la situation est plus compliquée parce que le flux de la marée pénètre par le détroit de Cabot et le détroit de Belle Isle. Le flux principal se déplace dans le sens antihoraire autour du golfe après y avoir pénétré par le détroit de Cabot et l'amplitude moyenne varie de 0,8 à 1,1 mètre au cap Nord et au cap Ray, de 1,2 à 1,5 m sur la côte ouest de Terre-Neuve et la rive nord du golfe. Dans l'estuaire, l'amplitude augmente progressivement en allant vers le sud-ouest, de 2,5 mètres entre Pointe-des-Monts et Mont-Joli à environ 4,1 mètres près de Québec. Dans la baie des Chaleurs, l'amplitude des marées varie de 1,3 à 2 mètres, mais elle n'est que de 0,7 mètre aux Îles de la Madeleine. Le régime des marées est compliqué dans le détroit de Northumberland. Il y a essentiellement une seule marée par jour à l'extrémité ouest, alors qu'il y a deux marées normales à l'extrémité est, l'amplitude variant de 1,2 à 1,8 mètre. Dans le détroit de Belle Isle, l'amplitude des marées varie de 0,8 à 0,9 mètre.

Le principal effet de ces forces et de ces courants de marée sur le régime de glaces est associé au mouvement alternatif du flux et du reflux. Il est le plus apparent dans l'estuaire moyen, mais également présent dans la baie des Chaleurs et ses abords. Dans ces zones, les banquises côtières sont généralement limitées par le mouvement continu.

Bathymétrie

La bathymétrie de ces zones est raisonnablement bien connue. Le golfe du Saint-Laurent comporte une fosse profonde, appelée chenal Laurentien, qui s'étend du détroit de Cabot jusqu'au Saguenay, avec des profondeurs de 500 mètres qui remontent à 200 mètres en amont de Rivière- du-Loup. La profondeur du Saguenay varie de 90 à 275 mètres.

Figure 31 : Bathymétrie de la Côte est (Carte courtoisie d'Environnement Canada)



Cette fosse profonde se prolonge dans le détroit de Jacques Cartier et le bras nord est du golfe, la profondeur de l'eau variant de 175 à 275 mètres. Dans la partie sud-ouest du golfe, la profondeur est en moyenne inférieure à 75 mètres, et elle n'est que de 50 mètres dans le détroit de Belle Isle. Le détroit de Northumberland a également des eaux peu profondes, la profondeur variant entre 17 et 65 mètres, les eaux les plus profondes se trouvant à chaque extrémité du détroit. Les bancs de pêche au sud et à l'est de la Nouvelle-Écosse sont relativement peu profonds, généralement de 50 à 90 mètres.

Les Grands Bancs, à l'est-sud-est de Terre-Neuve, sont très bien connus, et leur profondeur moyenne est d'environ 75 mètres. Au nord-est, entre l'île Fogo et le détroit de Belle Isle, la profondeur est plus grande, dépassant en moyenne 300 mètres, mais il existe quelques petits bancs où la profondeur est inférieure à 200 mètres.

Le long de la côte du Labrador, de 50 et 100 kilomètres du littoral, se trouve une cuvette marginale dont la profondeur varie de 200 à 800 mètres. Plus loin au large, se trouve une série de bancs étendus d'une profondeur minimale de 100 à 200 mètres. La plate-forme continentale s'étend à 150-175 kilomètres du littoral.

Facteurs climatiques

Le régime des glaces dans une région telle que le golfe du Saint Laurent ou les eaux qui entourent Terre-Neuve, est déterminé par deux principaux facteurs climatiques- Premièrement, les températures moyennes ne descendent pas beaucoup au-dessous du point de congélation en hiver. Par conséquent, la rigueur de l'hiver influe considérablement sur l'étendue et la sévérité de la couverture de glace.

Deuxièmement, en hiver, les vents provenant de l'ouest en passant par le nord sont presque toujours froids et secs alors que ceux venant du sud-ouest en direction du nord-est sont doux et humides. Cette situation est un facteur déterminant de l'emplacement des zones de dispersion et de congestion des glaces.

3.6.2 Régime des glaces dans le golfe du Saint-Laurent

La zone du golfe du Saint-Laurent couvre l'estuaire du Saint-Laurent à l'est à partir de Québec, tout le golfe du Saint-Laurent, les eaux au sud de la Nouvelle-Ecosse et les eaux au sud de Terre-Neuve vers l'ouest jusqu'aux îles de Saint-Pierre-et-Miquelon.

Développement normal

La première formation de glace dans cette région se produit dans le Saint-Laurent lui-même au cours de la première semaine de décembre, et les floes descendent vers l'aval pour atteindre la région de Québec vers le milieu du mois. Cette glace mince est principalement de la glace d'eau douce; elle s'étend progressivement vers l'aval sous l'effet du vent et du reflux des marées. Dans la quatrième semaine de décembre, elle atteint l'embouchure du Saguenay et se mélange avec la glace d'eau salée qui s'est formée dans cette partie de l'estuaire. La formation de nouvelle glace survient d'abord dans les régions côtières, puis s'étend vers la mer. En raison des courants et des vents dominants d'ouest et de nord-ouest, la croissance de la glace dans l'estuaire du Saint Laurent s'étend plus rapidement vers l'est sur la rive sud et atteint le nord de la Gaspésie vers la fin du mois de décembre.

Dans la troisième semaine de décembre, la glace commence à se former dans les eaux côtières peu profondes du Nouveau-Brunswick et, au cours de la dernière semaine du mois, de la glace nouvelle se développe vers le large le long de la côte en même temps qu'il s'en forme sur les côtes du détroit de Northumberland. À la fin du mois, le détroit est partiellement recouvert de glace nouvelle et de glace grise. Il est entièrement couvert de glace dans la première semaine de janvier.

Pendant la dernière semaine de décembre, de la glace nouvelle commence à se former dans le détroit de Belle Isle ainsi que le long de la rive nord du golfe du Saint-Laurent. À la fin du mois, les concentrations les plus élevées se trouvent dans le détroit de Northumberland, dans les zones côtières du Nouveau-Brunswick, le long des rives sud de l'estuaire du Saint-Laurent et de la baie des Chaleurs, et dans certaines des parties côtières de la rive nord du golfe. La plus grande partie de cette glace est nouvelle et grise, et le contour de la banquise côtière s'établit.

Au début du mois de janvier, dans la partie sud-ouest du golfe, la concentration de la couverture de glace augmente plus rapidement que son extension. En effet, quand elle s'étend vers le large, les eaux plus chaudes tendent à la faire fondre. En janvier, la croissance et l'extension de la glace évoluent vers l'est dans le golfe plus rapidement que vers le sud à partir de la rive nord. Au milieu du mois, la lisière de la glace a atteint le cap Nord (Île-du-Prince-Édouard) et s'éloigne vers le nord en passant par le détroit d'Honguedo, en direction de la pointe occidentale de l'Île d'Anticosti. Les concentrations des glaces sont alors très élevées dans le détroit de Northumberland, la baie des Chaleurs et la plus grande partie de l'estuaire, alors que des concentrations plus basses sont observées dans la partie nord de l'estuaire et le long de la lisière des glaces. Les types de glace prédominants continuent d'être la glace nouvelle et la glace grise, avec de la glace blanchâtre dans le détroit de Northumberland et le long des rives sud de l'estuaire du Saint-Laurent et de la baie des Chaleurs, ainsi que la section méridionale du détroit de Belle Isle. Le long de la rive nord, l'extension de la glace n'est que de 10 à 20 kilomètres, sauf dans le bras nord-est, où l'extension de la glace vers le large est plutôt de 25 à 40 kilomètres. La glace est généralement lâche ou serrée dans cette zone et très serrée dans le bras nord-est.

À la fin du mois de janvier, la lisière des glaces a atteint la pointe Est de l'île-du-Prince Édouard et s'éloigne vers le nord en direction de l'extrémité sud-est de l'Île d'Anticosti, puis vers le nord-est vers le large de la péninsule Pointe Riche, sur la côte Ouest de Terre-Neuve. La glace est lâche jusqu'à 50 km de la lisière, mais devient généralement très serrée au-delà. Les types de glace prédominants sont la glace nouvelle et la glace grise, avec de la glace blanchâtre dans le détroit de Northumberland et le long des rives sud de l'estuaire du Saint-Laurent et de la baie des Chaleurs, ainsi que la moitié sud du

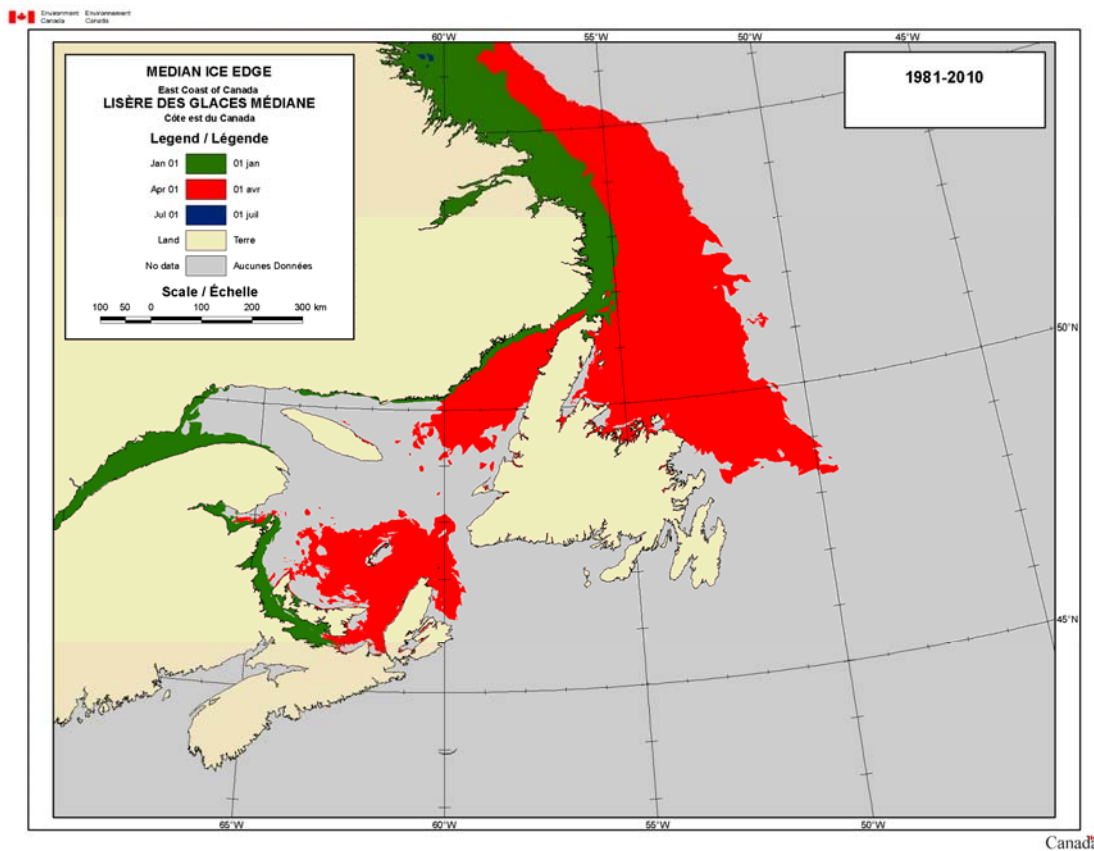
détroit de Belle Isle. En raison des vents prédominants du nord-ouest et des courants marins qui suivent le chenal Laurentien, la glace blanchâtre provenant du détroit d'Honguedo a tendance à dériver vers le sud-est en se dirigeant vers la rive septentrionale des Îles-de-la-Madeleine. La glace atteint le cap Nord à la fin du mois de janvier, puis commence à dériver dans la partie occidentale du détroit de Cabot. Le courant moyen nord-est qui contourne le cap Anguille au large de la côte ouest de Terre-Neuve tend à retarder la formation de la glace au sud de la péninsule Pointe Riche. À la fin du mois de janvier, une glace blanchâtre commence à apparaître dans la partie ouest du golfe, dans le détroit d'Honguedo, dans le bras nord-est et le long de la côte ouest du cap Breton.

Durant la deuxième semaine de février, la glace qui dérive vers le sud par le détroit de Cabot arrive aux abords de Sydney où elle se maintient jusqu'à la première semaine d'avril. La couverture de glace continue à croître et à s'épaissir à mesure qu'elle s'étend pour couvrir la plupart des autres régions du golfe dans la troisième semaine de février. La seule zone non recouverte de glace est un chenal côtier de 10 à 30 kilomètres le long de la côte de Terre-Neuve au sud du cap Saint George. Au début du mois de février, les glaces sont essentiellement blanchâtres et grises dans la banquise, mais de la glace mince de première année se développe progressivement tout au long du mois. À la fin de la troisième semaine de février, on trouve de la glace mince de première année dans le détroit de Northumberland, le long de la côte nord-ouest du cap Breton, le long de la côte nord des Îles-de-la-Madeleine, le long de la côte ouest de Terre-Neuve ainsi que le long des rives méridionales de la baie des Chaleurs et de l'estuaire. Dans les parties nord de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent, la glace nouvelle et la glace grise restent les types prédominants. La raison pour laquelle la glace reste mince est que les brises de terre la poussent vers le sud.

De la fin de février jusqu'à la mi-mars, la glace du golfe a atteint son extension maximale et une grande partie de la glace continue de se transformer en glace de première année. Cependant, en raison de la dérive continue de la banquise vers le sud dans le golfe, la glace reste blanchâtre dans les parties nord-ouest. Le chenal qui longe la côte ouest de Terre-Neuve, particulièrement au nord de la péninsule de Port-au-Port, est fermé et la glace peut dériver dans le détroit de Cabot.

Modèle normal de dispersion et de fonte

La dispersion de la glace commence à la fin du mois de février et se constate d'abord dans l'estuaire près de l'embouchure du Saguenay, où la glace devient très lâche. La remontée d'eau plus chaude, sous l'effet de la marée, à l'extrémité ouest du chenal profond qui traverse l'estuaire et l'élévation de la température de l'air avec le printemps en sont la cause. Cette remontée est une particularité de l'emplacement et une certaine quantité d'eau libre est presque toujours présente dans cette zone. Si la neige et la glace réfléchissent une grande partie du rayonnement solaire incident, l'absence de couverture de glace accélère le réchauffement solaire de l'eau. Les ouvertures dans la couverture de glace sont donc extrêmement importantes au printemps, car elles agissent comme centres de décomposition de la glace. Cette réduction de la concentration de la glace est lente jusqu'à la deuxième semaine de mars, puis s'accélère progressivement. À la mi-mars, on trouve de grandes zones d'eau libre dans la partie nord de l'estuaire du Saint-Laurent, le long de la rive nord jusqu'à Natashquan et au sud de l'île d'Anticosti. À ce moment, la glace est lâche ou très lâche dans le reste de l'estuaire et le détroit d'Honguedo, sauf le long de la rive nord de la Gaspésie. Les concentrations des glaces diminuent rapidement dans la voie principale de navigation dans le centre du golfe. Durant la seconde moitié de mars, on constate une réduction de la concentration médiane de la glace au centre du golfe, mais la congestion persiste dans le sud-ouest et dans le bras nord-est. Étant donné que la glace mince fond et se décompose plus rapidement, les types de glace prédominants sont les types plus épais. La concentration de la glace dans le détroit de Northumberland commence à diminuer au cours de la troisième semaine de mars à l'extrémité ouest, et progresse vers le sud-est. À la fin du mois de mars, l'estuaire est généralement libre de glace et la lisière interne des glaces a dépassé l'île d'Anticosti.

Figure 32 : Position de la lisière des glaces en janvier, avril et juillet sur la côte Est du Canada

Dans les premiers jours d'avril, la principale voie de navigation dans le golfe se dégage, créant deux zones de glace : le sud-ouest du golfe et les eaux entourant le cap Breton d'une part, et la zone s'étendant de la péninsule de Port-au-Port jusqu'au détroit de Belle Isle d'autre part. Après cette séparation, la navigation dans l'estuaire est sans entraves, et il n'y a pas de nouvelles formations de barrières de glace dans la voie de navigation. C'est dans le sud-ouest du golfe que la glace fond en premier. Les dernières glaces du détroit de Northumberland fondent normalement à la mi-avril. À ce moment, il reste uniquement la banquise côtière en décomposition, qui finit de fondre dans la dernière semaine d'avril.

La dernière zone à perdre sa couverture de glace est le bras nord-est. La glace en régression fond graduellement vers le nord durant le mois d'avril, et jusque durant le mois de mai. À la troisième semaine de mai, toute la glace de mer a fondu, mais les icebergs peuvent présenter un danger pour la navigation au cours de l'été. La date des dernières glaces peut varier considérablement. En 1991, la glace de mer est restée présente dans le bras nord-est jusqu'à la mi-juillet et, l'année suivante, la glace de mer du détroit de Belle Isle n'était complètement fondue qu'à la fin du mois de juillet.

Caractéristiques de la glace dans la région

Dans la plupart des zones côtières, la banquise côtière ne s'étend pas très loin dans le golfe. Elle occupe toutes les petites baies et tous les petits passages de Gaspé au cap Nord, de Pointe-des-Monts à Blanc-Sablon, et du cap Anguille à Flower's Cove. La fonte sur place est le processus de désintégration normal dans ces zones restreintes.

Dans l'estuaire, la tendance de la glace à se déplacer vers l'est est très évidente, car les chenaux sont nombreux le long de la rive entre Pointe-des-Monts et le Saguenay, et la congestion est courante le long de la Gaspésie. Les mouvements du vent et de l'eau contribuent à ce déplacement en produisant une congestion de glace épaisse qui suit la rive pour pénétrer dans la partie principale du golfe. Une

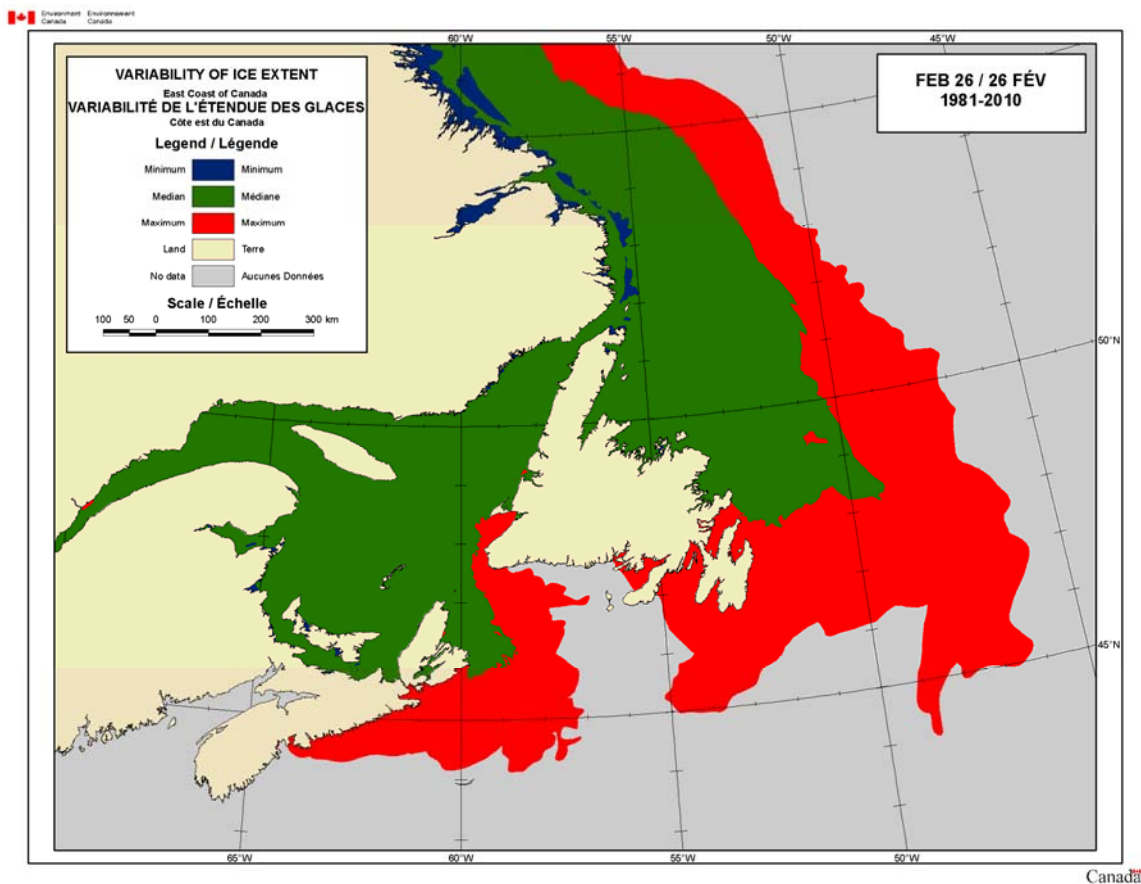
zone de glace très difficile se crée sur toute l'entrée de la baie des Chaleurs quand une partie de la glace épaisse provenant du détroit d'Honguedo pénètre dans la zone. À mesure que la glace progresse vers le sud et le sud-est pour pénétrer dans le centre du golfe, elle se combine avec la formation de nouvelle glace et produit une couverture de glace faite de grands floes de glace épaisse du détroit d'Honguedo à l'île du Cap Breton. Des chenaux et des zones de glace dispersée se créent le long des rives du Nouveau Brunswick et de l'île du Prince Édouard sous l'effet du vent mais, en général, la partie sud-ouest du golfe est congestionnée par une glace épaisse constituée de grands floes qui peuvent exercer une pression considérable sur l'île du Cap Breton et les rives nord-ouest des Îles-de-la-Madeleine.

Dans le nord-est du golfe, le mouvement de la glace est beaucoup plus limité par la dérive d'ouest en est produite par le vent, ce qui entraîne une congestion fréquente dans la zone de la baie des Îles. Souvent, une zone de glace épaisse et déformée s'étend vers le nord à partir de la péninsule de Port-au-Port. Des chenaux côtiers peuvent se créer dans cette zone quand les vents d'est sont prédominants, mais il est rare que la glace se déplace latéralement le long de la côte.

De très grands floes, désignés localement par le terme « battures », se rencontrent parfois dans le nord-ouest du golfe du Saint-Laurent en mars. Ce sont des fragments détachés de la banquise côtière qui se forment au-dessus des hauts-fonds le long de la rive sud de l'estuaire et qui ont ensuite été délogés par les marées printanières durant les périodes de temps doux. Les battures sont caractérisées par leur taille, leur rugosité et leur saleté. Elles peuvent porter une épaisse couche de neige qui les rend très difficiles à pénétrer. Elles représentent une entrave grave et un danger pour la navigation.

Dans le golfe du Saint-Laurent, la glace est mobile et libre de se déplacer. Les floes y sont généralement plus petits que ceux de l'Arctique canadien. La formation de crêtes de glace peut par conséquent être considérable, mais sans atteindre de grandes hauteurs. Les crêtes dépassent rarement 2 mètres et la plupart mesurent moins d'un mètre. Toutefois, dans les conditions de pression extrême le long de rives exposées au vent, telles que la côte ouest de Terre-Neuve, les floes peuvent former des empilements atteignant jusqu'à 13 mètres au dessus du niveau de la mer. La formation de mare sur la glace est rarement très développée dans le golfe. La glace fond surtout par le dessous en raison de l'eau chaude ambiante plutôt qu'en raison de l'absorption de chaleur en surface.

Quand la glace dérive dans l'Atlantique par le détroit de Cabot, les courants marins favorisent la dérive vers le sud au delà de Sydney, jusque dans la région de l'île Scatarie. La zone entière du détroit ne se couvre de glace que si le vent maintient cette dernière contre la côte de Terre-Neuve. Quand le vent tombe ou change de direction, les courants entrants qui contournent le cap Ray créent rapidement un chenal vers le nord, jusqu'au cap Anguille et, finalement, jusqu'au cap Saint George. L'hiver, il s'établit généralement un régime général de dérive de la glace, après que cette dernière ait quitté la zone de l'île Scatarie. Certaines années, généralement les plus froides, la banquise continue vers l'est, jusqu'à atteindre parfois Saint-Pierre-et-Miquelon. D'autres années, quand les vents d'est sont communs, elle suit la côte du cap Breton, et la glace progresse vers l'ouest en direction de la baie Chédabouctou et parfois le long de la côte, jusqu'à la partie continentale de la Nouvelle-Écosse. En 1987, la glace a rempli le port d'Halifax et bloqué l'entrée du bassin de Bedford. Les faibles courants marins renforcés par le vent sont la cause de l'étendue de ce déplacement. La dérive se fait généralement vers le sud, mais la distance couverte n'est pas très grande.

Figure 33 : Variabilité de l'étendue des glaces sur la côte Est

Bien que la vieille glace ne soit pas normalement une préoccupation majeure dans le golfe du Saint-Laurent, de la vieille glace peut dériver dans le bras nord-est par le détroit de Belle Isle. Ainsi, certains de ces floes de vieille glace ont survécu à une dérive qui les avaient entraînés jusqu'à la rive nord de l'île d'Anticosti au début du mois de juin 1991.

La houle créée par les tempêtes de l'Atlantique peut pénétrer par le détroit de Cabot et être la cause d'une fragmentation extrême des floes dans les régions des Îles-de-la-Madeleine et du détroit de Cabot.

Variabilité de la couverture totale de glace

Pour la période 1981 à 2000, la couverture de glace maximale en une saison dans le golfe du Saint-Laurent a été enregistrée en 1989-1990; la couverture la moins étendue a été constatée pendant la saison 2009-2010. La couverture de glace varie considérablement d'une année à l'autre. Des conditions supérieures aux normales ont été observées de 1980-1981 à 1994-1995, puis des conditions inférieures aux normales ont été enregistrées de 1995-1996 à 2009-2010. Des exemples des conditions glacielles minimales et maximales pour l'ensemble de la région de la côte Est sont fournies pour illustrer leur étendue spatiale.

3.6.2 Régime des glaces dans les eaux à l'Est de Terre-Neuve et au sud de la mer du Labrador

Les eaux de la côte est de Terre-Neuve et du sud du Labrador couvrent les zones au large situées au sud de la latitude 55° N, aussi loin que la limite des glaces le long de la côte sud de Terre-Neuve jusqu'aux îles de Saint-Pierre-et-Miquelon à l'ouest, et dans le détroit de Belle Isle.

Modèle normal de développement

Les variations de l'étendue des glaces sur ces eaux sont grandes, car les vents et les températures influent beaucoup sur l'emplacement de la lisière. Pendant les hivers froids, comme celui de 1971-1972, la glace peut se maintenir jusqu'à la troisième semaine de juillet dans les eaux à l'est de Terre-Neuve. Inversement, par hiver doux, comme en 2005-2006, les eaux à l'est de Terre-Neuve peuvent être libres de glace avant la fin du mois d'avril.

À cause de leur latitude, de leur éloignement de l'océan et de la faible salinité de leurs eaux, les régions de Goose Bay et du lac Melville gèlent les premières au Labrador; elles sont toutes deux invariablement couvertes de glace à la mi-décembre. Le gel initial à Goose Bay survient généralement pendant la troisième semaine de novembre, mais la croissance est lente et l'épaisseur de la glace ne dépasse pratiquement jamais 30 centimètres avant la mi-décembre. Les vents forts ralentissent la formation de la glace sur le lac Melville. Il n'y a pas de couverture complète permanente avant la mi-décembre. La glace apparaît dans les eaux côtières durant la troisième semaine de décembre et s'étend vers le large. La lisière médiane des glaces s'étend vers le sud jusqu'à la partie nord du détroit de Belle Isle pour l'atteindre à la quatrième semaine de décembre. Elle atteint l'extrémité nord de Terre-Neuve avant la fin du mois.

En janvier, la lisière moyenne de la glace progresse vers le large et s'étend vers le sud, atteignant White Bay et la latitude 50 ° N la troisième semaine du mois. En deçà de 80 kilomètres de la lisière, la glace est parfois de la banquise serrée, ou moins serrée, et les types prédominants sont la glace nouvelle et la glace grise qui deviennent grise et blanchâtre au large du sud du Labrador. À ce moment-là, la banquise côtière commence à se former entre les îles de la baie Notre Dame, où elle est normalement établie dès les premiers jours de février. La glace qui descend du nord se mêle à la glace en formation dans la baie Notre Dame durant la dernière semaine de janvier. À la fin du mois, la banquise commence à dériver vers le sud-est à partir du cap Freels. La glace reste lâche jusqu'à environ 80 kilomètres de la lisière. Dans la plus grande partie des eaux de Terre-Neuve, les types prédominants sont la glace nouvelle et la glace grise, mais elles ont atteint les stades de glace blanchâtre et glace de première année vers le nord de la péninsule Great Northern.

La ceinture de glace s'élargit considérablement en février. Sa limite sud s'approche du cap Bonavista à la mi-février et atteint l'île de Baccalieu à la fin du mois. La glace reste plus lâche près des lisières sud et est, avec des conditions très serrées dans la banquise même. Les types prédominants sont la glace grise le long de la lisière sud au début de février, puis la glace blanchâtre et la glace de première année à la fin du mois. L'extension maximale de la glace vers le sud est atteinte entre la fin de février et le milieu du mois de mars.

Modèle normal de dispersion et de fonte

Le premier signe de déglacement se produit dans la baie Notre Dame vers le milieu du mois de mars quand les chenaux d'eau libre commencent à s'élargir lentement. Durant la dernière moitié de mars, la vitesse de la fonte à la lisière de la glace augmente suffisamment pour équilibrer la dérive vers le sud, et une lente régression de la glace commence. Cette régression n'atteint la latitude du cap Freels qu'à la mi-avril et l'île Fogo à la fin du mois. Durant cette période, toute la partie de la banquise qui est au sud du bras Hamilton se rétrécit sous l'effet de la fonte le long de la lisière est. La glace ne reste très serrée qu'au voisinage de la côte du Labrador. Ailleurs, la glace est surtout très lâche ou serrée. Si la glace de première année est le principal type de glace rencontré, il peut y avoir aussi des floes de vieille glace imbriqués.

La fonte s'accélère suite au recul de la lisière de glace au sud jusqu'au nord du détroit de Belle Isle à la troisième semaine de mai. Cette fonte de la banquise expose les icebergs qui ont été transportés vers le sud par le courant du Labrador, alors que leur nombre dans les eaux de Terre-Neuve atteint son maximum à cette période de l'année.

Les courants marins provenant du bras Hamilton contribuent à limiter les quantités de glace durant l'hiver. Durant la seconde moitié d'avril, l'eau libre prédomine dans cette région, mais elle ne s'étend pas de façon appréciable avant la mi-mai. Généralement, la troisième semaine de mai, le déglacement

commence sur le lac Melville et le dégagement est terminé deux semaines plus tard. La navigation sur le lac Melville peut nécessiter de pénétrer dans la banquise du large, à moins que les vents de terre ne créent un chenal le long de la rive, du havre Battle à la baie Groswater. À ce moment, la banquise a généralement des concentrations très variables. La lisière sud de la banquise régresse jusqu'à la latitude 55 °N environ durant la troisième semaine de juin.

Caractéristiques de la glace dans la région

La croissance de la glace le long de la côte Est de Terre-Neuve est relativement peu importante, en comparaison avec les concentrations plus élevées et la grande diversité de types de glace qui dérivent vers le sud dans cette zone.

Le vent moyen dans la zone du détroit de Belle Isle provient du nord-ouest en hiver, mais en avril, il est remplacé par un vent prédominant du nord-est. Dans les périodes de vent du nord-est, il arrive qu'une partie de la glace de la côte du Labrador soit entraînée dans le détroit de Belle Isle et dans le bras nord-est du golfe. Elle peut être en partie constituée de vieille glace et d'icebergs. Étant donné que cette glace provenant du Labrador est plus épaisse que celle qui s'est formée localement, le dégagement du détroit est ralenti quand ces intrusions se produisent.

La banquise côtière se limite principalement à la zone s'étendant de l'île Fogo au sud de la baie Notre Dame. Il se forme également une banquise dans le sud de la baie White ainsi que dans les baies et ports le long de la péninsule du Nord.

Les vents de terre peuvent pousser la glace vers le large. La concentration diminue à la lisière de la banquise et des chenaux côtiers peuvent se former de la baie White au cap Bauld et du détroit de Belle Isle jusqu'au bras Hamilton vers le nord. La banquise se déplace alors vers le sud-est à partir du cap Freels et rend la côte facilement accessible entre le cap Freels et le cap Race. Par ailleurs, les vents de mer peuvent rétrécir considérablement le chenal d'eau libre le long de la côte et rendre les conditions glaciales dangereuses pour la navigation. Quand c'est le cas, les principales baies de l'est de Terre-Neuve sont encombrées de glace serrée, il est possible que les abords de St. John's soient congestionnées et que de la glace contourne le cap Race et dérive vers la péninsule Burin, voire les îles de Saint-Pierre-et-Miquelon.

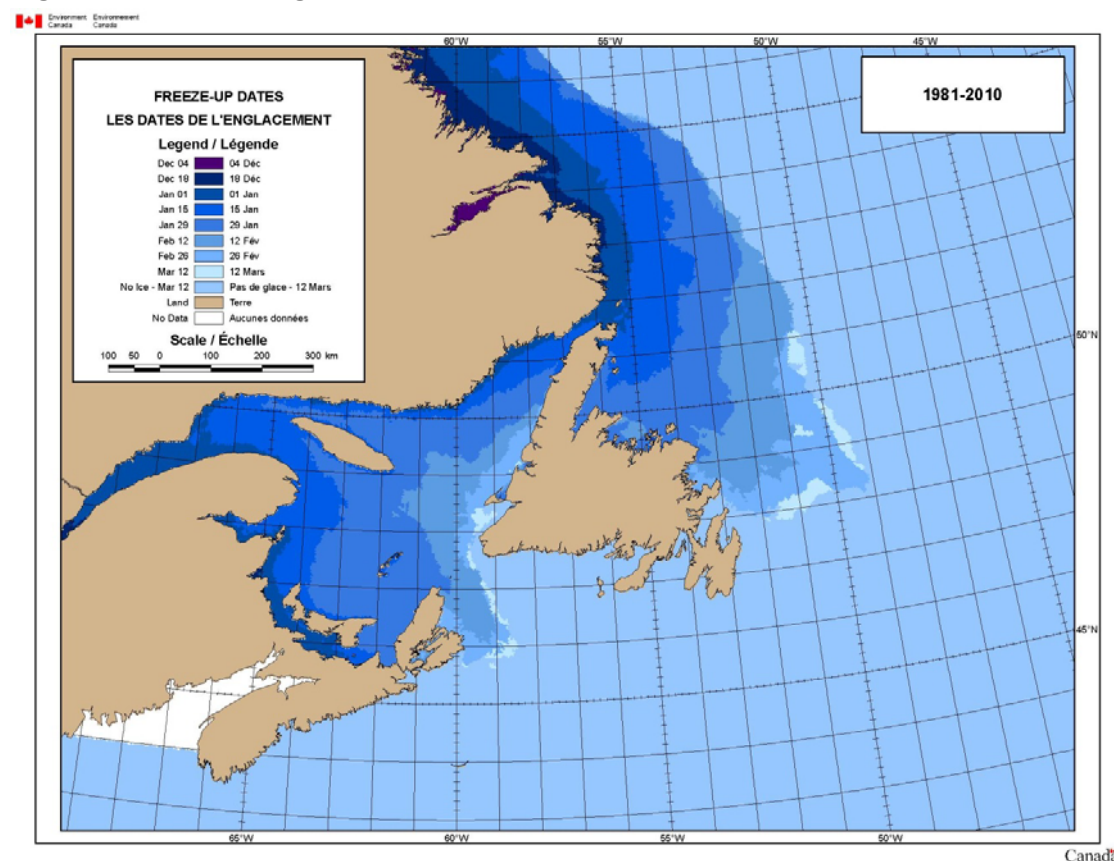
Parfois, de la vieille glace est imbriquée dans la banquise principale et dérive vers le sud à partir de la côte du Labrador ; elle peut parvenir au bras Hamilton en avril. Elle n'atteint pas de proportions importantes avant le mois de mai, moment où la glace mince fond plus rapidement et où les concentrations moyennes diminuent. Toutefois, lors des années froides où la glace est plus abondante, ces vieux floes peuvent gravement limiter la navigation. À certaines occasions, de la vieille glace a été observée dans les eaux au sud du Labrador jusqu'en août.

Variabilité de la couverture totale de glace

Entre 1981 et 2010, la couverture de glace maximale en une saison au sud de la mer du Labrador a été enregistrée en 1983-1984; la couverture minimale a été observée en 2009-2010.

En général, les conditions de glace varient considérablement d'une année à l'autre. Elles ont été supérieures aux normales de 1980-1981 à 1994-1995, puis inférieures aux normales entre 1995-1996 et 2009-2010. La couverture de glace maximale en une saison a été observée dans les Grands Bancs en 1984-1985, et la minimale en 2003-2004.

Figure 34 : Dates d'englacement



3.6.4 Régime des glaces de la côte du Labrador

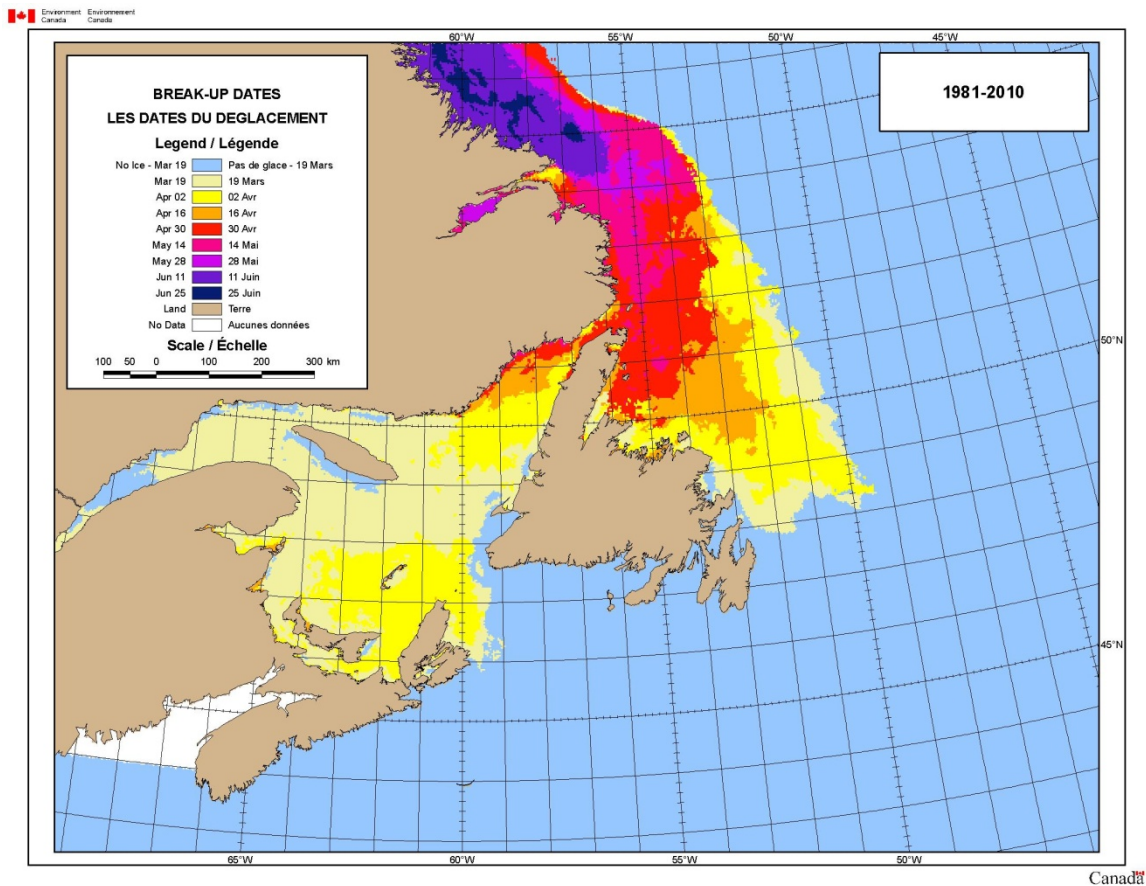
La hausse des températures au printemps entraîne la fonte de la glace vers la fin du mois d'avril dans les eaux du Labrador méridional, atteignant la région de l'île Résolution vers la mi-juin. Lentement, la banquise rétrécit et se défait, et la lisière sud des glaces se retire du détroit de Belle Isle jusqu'au nord des abords du bras Hamilton en juin, et des abords du détroit d'Hudson et de la baie Frobisher en juillet, bien que des bancs de glace puissent persister jusqu'au mois d'août.

Il y a généralement un faible pourcentage de vieille glace dans la banquise du Labrador. À la fin de la saison des glaces, lorsque toute la glace de première année a fondu, il ne reste que des fragments de crêtes et de la vieille glace; il est alors fort possible que cette dernière domine. La glace du large qui dérive depuis le détroit de Davis peut avoir une épaisseur de plus de 150 centimètres. De nombreuses tempêtes sévissent sur la région et des crêtes de glace d'une hauteur pouvant atteindre 5 mètres peuvent facilement se former sous l'effet de la pression causée par les vents et les courants. En règle générale, la hauteur des quilles de glace est de 3 fois supérieure à celle des crêtes de glace qui y sont associées. Comme les vents d'ouest sont fréquents, un chenal de séparation se forme tandis que le long de la lisière extérieure, la glace s'organise en cordons et en bancs. Au cours des périodes de vents persistants d'est à nord-est, la glace se compacte près de la côte et les processus de déformation de la glace peuvent être très intenses. En raison de la houle et de l'action des vagues, la glace se brise en petits floes à proximité de la lisière des glaces.

En décembre, de la glace de première année commence à apparaître au large du nord du Labrador et de la nouvelle glace apparaît au large du sud du Labrador. Pendant le reste de l'hiver, la banquise est surtout formée de glace de première année et une lisière d'équilibre se forme à quelque 150 kilomètres au large de la côte du Labrador. Les variations des conditions glacielles d'une année à l'autre peuvent être en grande partie liées à l'écoulement moyen de vent au cours des mois d'hiver et de printemps.

Lorsque des systèmes dépressionnaires se déplacent de manière persistante dans la région de Terre-Neuve, les vents d'est le long de la côte du Labrador peuvent comprimer toute la glace contre la côte, en une ceinture d'une largeur de 100 kilomètres. Toutefois, lorsque les dépressions traversent le nord de la région, les vents d'ouest dispersent la glace jusqu'à 500 kilomètres vers le large.

Figure 35 : Dates de déglacement



Sur la côte du Labrador, l'englacement peut débuter dès la deuxième moitié d'octobre ou seulement à la deuxième semaine de décembre. La glace de mer de la côte du Labrador peut avoir complètement disparu dès la fin juin comme elle peut aussi persister jusqu'en août.

3.7 CLIMATOLOGIE DES GLACES DANS LES EAUX DU NORD CANADIEN

En général, la glace est présente pendant une partie importante de l'année dans les eaux septentrionales du Canada. Dans certains secteurs, la majeure partie de la glace ne fond pas complètement chaque année. Par conséquent, les cartes de la couverture de glace en été et en hiver dans l'océan Arctique se différencient par la concentration des glaces ainsi que la présence d'ouvertures dans la banquise et autour de la côte. Dans l'archipel Arctique canadien, la période pendant laquelle la température de l'air dépasse le point de congélation est très courte; l'englacement peut donc débuter dès le mois d'août.

3.7.1 Influences météorologiques

La glace de mer se forme principalement à la suite d'une perte d'énergie thermique par la mer et se dégrade surtout lors d'un apport d'énergie thermique provenant du rayonnement solaire. Les phénomènes atmosphériques contrôlent en grande partie les variations de ces processus de transfert d'énergie.

Le plus important processus de perte de chaleur est l'évaporation d'eau dans l'atmosphère. Grosso modo, le taux de dégagement d'énergie thermique dans l'atmosphère est proportionnel à la différence entre la température de l'eau et celle de l'air. Il dépend également du taux auquel la vapeur d'eau est éliminée de l'interface, lequel est fondamentalement lié au vent et à la stabilité de l'atmosphère. En pratique, la température de l'air et la connaissance de ses variations peuvent être utiles pour estimer la date du début de la formation de la glace. Si la glace forme une couverture relativement complète, l'épaississement de la glace continue de s'effectuer par la perte de chaleur à la surface de la glace. Par ailleurs, la neige peut s'accumuler sur la glace et, en raison de sa capacité d'isolation qui réduit la perte de chaleur, toute variation de la couverture nivale pourra avoir un effet important sur l'épaississement de la glace. En l'absence de couverture nivale, la température de l'air peut être utilisée seule pour obtenir une estimation raisonnable de l'épaississement de la glace pendant l'hiver.

La glace est sujette à l'action des vents et des courants, dans la mesure où elle n'est pas fixée au rivage. Des calculs complexes permettent d'évaluer les interactions dynamiques des forces exercées par l'air et l'eau, ainsi que les forces à l'intérieur même de la glace. En pratique, la glace flottant librement réagit très rapidement à tout mouvement de l'eau qui l'entoure. Par ailleurs, la glace réagit lentement à la force exercée par le vent en raison de la grande différence de densité entre l'air et la glace. La composante du déplacement des glaces due au vent est assimilable au courant engendré in situ par le vent; en fait, la glace de dérive lâche et la rugosité de la surface de la glace peuvent contribuer à engendrer un courant de dérive.

Une fois formée le long d'un rivage, la glace est souvent entraînée au large par des vents froids. Là, soit elle fond, soit elle continue à épaisir, selon la quantité d'énergie thermique disponible dans l'eau.

Pour la majeure partie de la zone, la couverture de glace augmente en automne et au début de l'hiver avant d'atteindre un point où l'énergie thermique disponible dans la colonne d'eau de mer ne permet plus qu'elle prenne de l'expansion. L'état des glaces demeure ensuite sensiblement le même pendant plusieurs mois, malgré des variations dans les détails.

Au printemps, le rayonnement constitue le principal processus de transfert de chaleur. Le soleil qui s'élève de plus en plus dans le ciel permet au rayonnement solaire d'ajouter de l'énergie thermique à l'eau au moment où diminuent l'intensité des incursions d'air froid et les pertes de chaleur par évaporation. La neige commence à fondre et des incursions d'air chaud de plus en plus fréquentes permettent un bilan positif net d'énergie thermique à la surface. La fonte de la neige entraîne la formation de mares d'eau à la surface de la glace. Les mares captent avec beaucoup plus d'efficacité que la glace ou la neige le rayonnement incident de courtes longueurs d'onde, accélérant ainsi la fonte. De même, en cas de présence d'une étendue d'eau, comme une polynie ou un chenal côtier ou de séparation, l'absorption du rayonnement incident est grandement améliorée. Cette eau réchauffée répond aux marées et à d'autres courants et l'énergie thermique sert à réchauffer la surface inférieure de la glace adjacente. Par conséquent, les polynies agissent comme des centres à partir desquels le processus de déglacement se propage. Une fois que la température de la glace a atteint le point de

fusion, elle commence à fondre. La température de la glace et de l'eau sous la glace demeure sensiblement égale au point de fusion jusqu'à la fonte totale de la glace. Aussi, à mesure que la glace se réchauffe, elle commence à se contracter et des contraintes résiduelles se développent à l'intérieur de la glace. Ce processus s'amplifie en cas de discontinuités dans la glace; il se forme des fissures et des ouvertures qui peuvent être agrandies par les vagues, les courants, les vents et les marées pour entraîner une dislocation accrue de la couche de glace.

3.7.2 Facteurs océanographiques

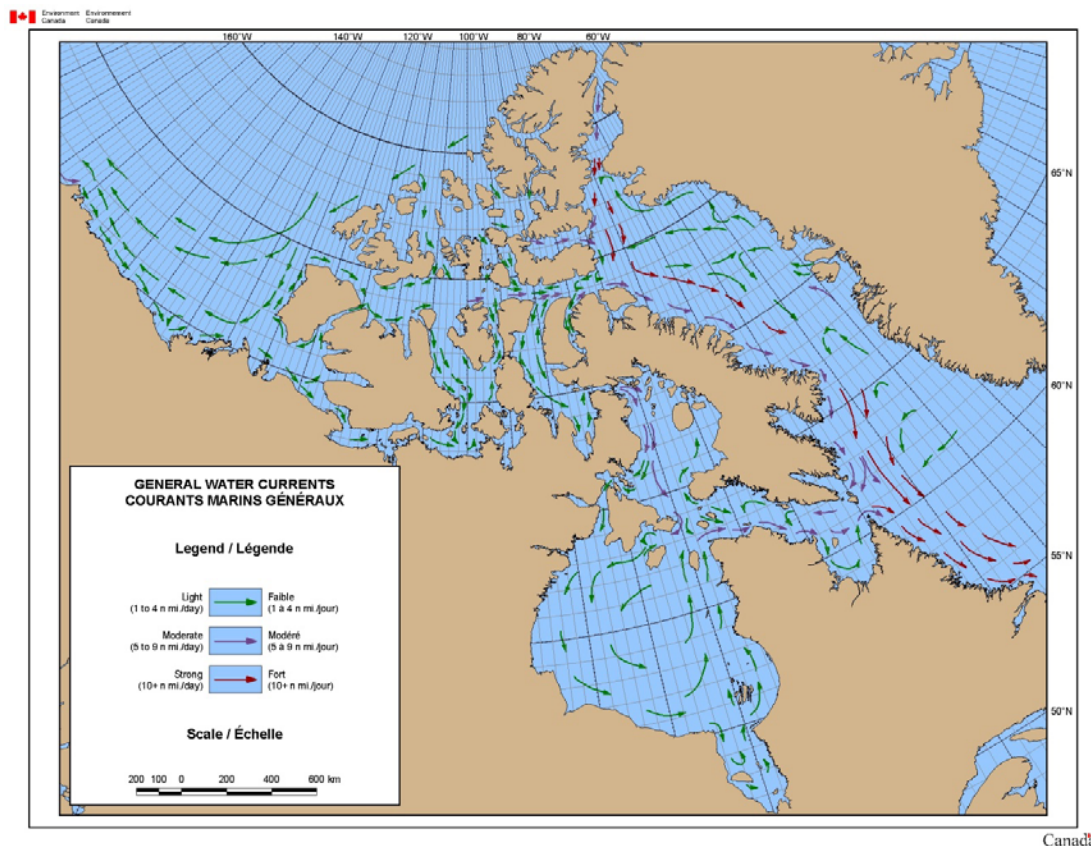
Comme il a été mentionné à la section sur les facteurs atmosphériques, la glace commence à se former lorsque l'eau perd une quantité suffisante d'énergie thermique. L'ampleur du refroidissement nécessaire avant la formation de la glace dépend des caractéristiques de la colonne d'eau. Tant que l'eau refroidie à la surface est plus dense que l'eau qui se trouve en dessous, il se produit un mélange ascendant avec de l'eau plus chaude et la glace ne se forme pas, sauf dans des circonstances exceptionnelles.

De même, la glace fond si le vent la pousse vers des eaux plus chaudes. La glace refroidit les eaux de surface. Ensuite, un renversement convectif dans la colonne d'eau ramène l'eau plus chaude en contact avec la glace et cette dernière continue de fondre. Si les incursions de la glace dans l'eau plus chaude se poursuivent et si l'eau est suffisamment peu profonde, l'ensemble de la colonne d'eau se refroidit et une nouvelle lisière de glace se forme.

Le rôle des marées et des courants détermine fortement le comportement des glaces de mer et des icebergs. La figure 39 montre les régimes généraux de circulation dans les eaux arctiques canadiennes. Si les régimes décrits par ces figures sont relativement constants, la circulation peut présenter des variations considérables à l'échelle locale ou régionale. En raison de la faible différence de densité (environ 10 %) entre la glace et l'eau, la glace réagit très rapidement aux variations du courant. À proximité du rivage, les déplacements de l'eau sont grandement influencés par les mouvements des marées et les variations du ruissellement des eaux de surface, ainsi que par les vents locaux.

La principale force motrice pour la circulation de l'eau est le système de la dérive nord-atlantique. Entraînés par les vents et les différences de densité, le Gulf Stream et son prolongement, la dérive nord-atlantique, déplacent de grandes quantités d'eau dans le bassin arctique, entre l'Islande et la Scandinavie. Après avoir circulé dans l'océan Arctique, la majeure partie de cet excès d'eau est entraînée à l'extérieur de cet océan par le bien nommé courant de l'est du Groenland, qui déplace aussi la banquise épaisse de l'Arctique vers le sud entre le Groenland et l'Islande. La majeure partie de cette glace fond, mais une partie continue de se déplacer vers l'ouest, dépasse le cap Farewell et se déplace ensuite à nouveau vers le nord dans le courant de l'ouest du Groenland avant de fondre complètement. Une partie de ce courant tourne en direction ouest dans le détroit de Davis et l'autre partie continue vers le nord, dans la baie de Baffin, entraînant un important tourbillon qui circule dans le sens antihoraire à une vitesse d'environ 10 à 20 kilomètres par jour. Dans le nord-ouest de la baie de Baffin, ce tourbillon est rejoint par presque tout le volume restant du débit sortant du bassin arctique, qui a filtré entre les îles de l'archipel Arctique canadien ou dans le détroit de Nares. La portion du tourbillon de la baie de Baffin qui circule en direction sud atteint le détroit de Davis, parcourant jusqu'à 20 à 30 kilomètres par jour et recevant une partie des eaux du courant de l'ouest du Groenland, tel que décrit ci-dessus, avant de devenir le courant du Labrador. Le principal courant du Labrador a deux tributaires, le courant provenant de l'île de Baffin, qui est le moins salé et qui coule le plus proche du rivage, à environ 10 kilomètres par jour, et la portion extérieure du courant provenant de l'ouest du Groenland, qui se déplace à une distance d'environ 100 kilomètres de la côte, à une vitesse d'environ 20 à 30 kilomètres par jour.

Figure 36 : Courants marins généraux dans les eaux du Nord



Du nord de la baie de Baffin au sud de la mer du Labrador, le déplacement moyen des glaces à long terme se décrit généralement comme suivant la ligne de rivage à environ 10 à 15 kilomètres par jour. Les variations de la vitesse du vent peuvent accélérer ce déplacement ou l'arrêter complètement pendant de courtes périodes. En maintenant une vitesse moyenne de 15 kilomètres par jour, la glace de plusieurs années qui quitterait l'île Devon au début du mois d'octobre arriverait à proximité de l'embouchure du bras Hamilton vers la mi-février, ce qui correspond aux dates établies par la surveillance aérienne des glaces signalant la présence de vieille glace dans ce secteur.

Au large du nord-ouest de l'archipel Arctique canadien, un lent et large courant en direction sud s'incurve progressivement vers l'ouest dans les parties septentrionales de la mer de Beaufort. Toutefois, dans l'archipel ou à proximité de celui-ci, un courant circule dans le sens horaire autour de chaque île ou groupe d'îles important. En raison d'un transport net vers le sud dans l'archipel, et pour des raisons de dynamique, les portions de ces courants qui se déplacent vers le sud et vers l'est sont à la fois plus larges et plus fortes que les autres portions.

Dans les eaux peu profondes de la baie d'Hudson, un tourbillon circule dans le sens antihoraire, engendré en partie par les vents et en partie par le ruissellement; il sort de la baie en longeant la rive sud du détroit d'Hudson et rejoint la partie intérieure du courant du Labrador.

Le long de la plupart des côtes, la glace peut se fixer au rivage (banquise côtière) et s'étendre. Toutefois, l'expansion de la banquise côtière vers la mer est limitée si l'action de la marée est forte et située dans des zones moins profondes. À moins d'une étendue d'eau très large ou d'importants mouvements d'eau, la glace peut former une couverture continue d'une rive à l'autre, comme c'est le cas entre les îles de l'archipel Arctique. Dans les passages plus larges ou des chenaux plus actifs, l'emplacement de la lisière de la banquise côtière peut changer considérablement de mois en mois et d'une année à l'autre. Dans la plupart des passages, la banquise qui relie une rive à l'autre se détache

durant l'été, mais dans la partie nord du détroit de Nansen, elle reste fixée à la côte la plupart des années.

L'Est de l'Arctique connaît des marées d'une amplitude quotidienne moyenne de 2 à 3 mètres, bien qu'il arrive que des amplitudes excédant 6 mètres y soient observées. Des anomalies locales peuvent changer ces amplitudes entre marée montante et descendante et engendrer de puissants courants de marée dans certaines régions. Des chenaux resserrés comme Hell Gate, le détroit de Penny et, dans une moindre mesure, les détroits de Nares et de Byam en sont des exemples. Les marées de l'Est de l'Arctique sont les plus hautes dans le détroit d'Hudson et la région d'Iqaluit où les marées de l'Atlantique interviennent. Dans l'ouest et le centre de l'Arctique, notamment dans la plupart des îles de la Reine-Élisabeth à l'ouest de Resolute Bay, les marées arctiques prédominent. L'océan Arctique, du fait de sa situation polaire, a l'amplitude de marée la plus basse de tous les océans du monde. Là, les amplitudes quotidiennes moyennes sont généralement de moins d'un mètre.

En plus d'influer sur la navigation, les marées peuvent être la source de pressions intermittentes dans la couverture de glace avec des effets sur cette même navigation. Le Tableau 6 présente l'amplitude des marées dans l'ensemble de l'Arctique canadien. Des données détaillées sur les marées des eaux navigables des îles de l'Arctique se trouvent dans la dernière livraison de l'*Annuaire canadien des marées et des courants*, disponible auprès du Service Hydrographique du Canada.

Tableau 6 Amplitudes de marée dans certaines stations de l'Arctique

Station	Lieu	Amplitude (mètres)	
		Grande	Extrême
Diana Bay	Baie d'Ungava	10,2	10,8
Churchill	Baie d'Hudson	5,2	6
Hall Beach	Bassin Foxe	1,3	Inconnue
Iqaluit	Île Baffin (sud-est)	11,6	12,6
Nanisivik	Île Baffin (nord-ouest)	2,8	Inconnue
Resolute Bay	Île Cornwallis	2,1	2,7
Cambridge Bay	Île Victoria	0,5	1,6
Tuktoyaktuk	Mer de Beaufort	0,5	3,1

Dans certaines régions, particulièrement autour de la mer de Beaufort, les ondes de tempête modifient les niveaux de la mer autant que les marées. Pendant les étés où la mer est libre de glace, il arrive couramment que le niveau de la mer augmente de plus d'un mètre en raison de tempêtes et que la situation se prolonge pendant plusieurs heures. Dans certaines baies comme celle du port de Tuktoyaktuk, l'onde de tempête peut entraîner une élévation du niveau de la mer de plus de 2 mètres. Cette élévation à Tuktoyaktuk est liée à la présence de vents du large. À l'inverse, de forts vents de terre provoquent une baisse temporaire du niveau de la mer, susceptible de nuire à la circulation maritime en partance ou à destination du port de Tuktoyaktuk en raison de sa relative faible profondeur. Des phénomènes de houle hivernale s'observent également dans la mer de Beaufort, mais moins souvent. Précisons toutefois que même une élévation modérée du niveau de la mer peut amener de gros fragments de glace sur les plages.

Topographie et bathymétrie

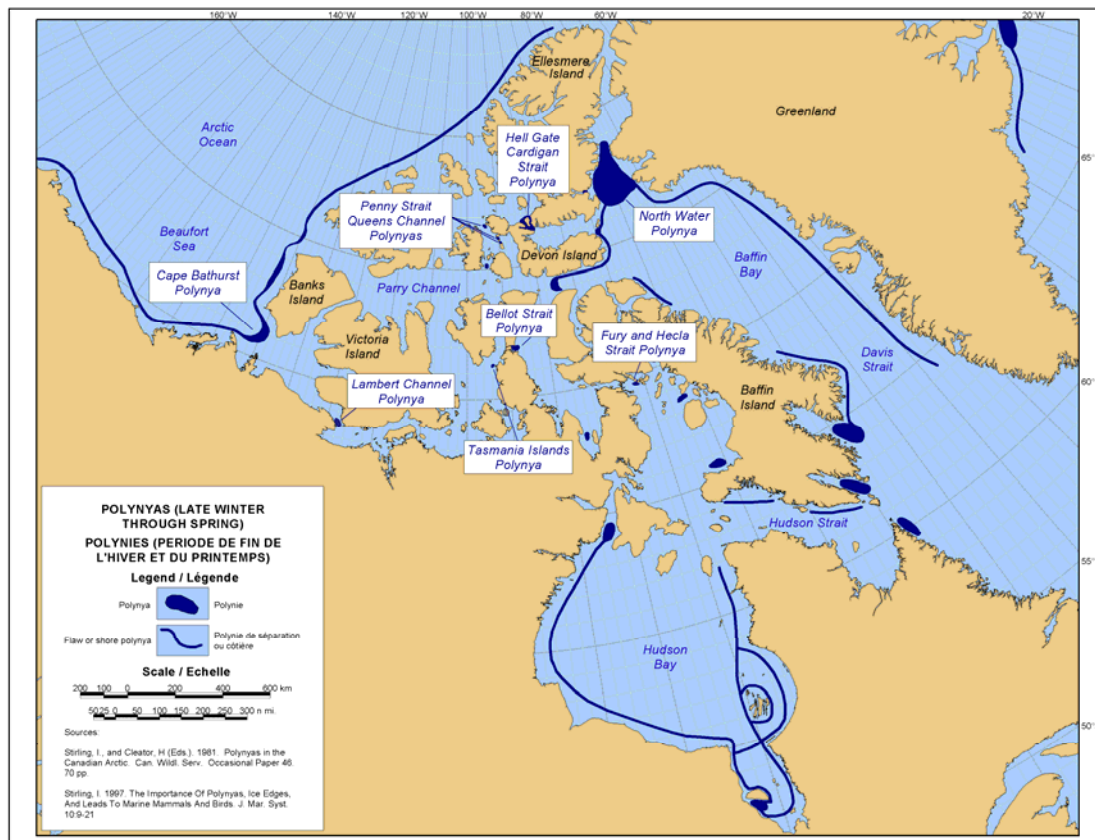
La topographie du terrain a un impact sur les glaces étant donné qu'elle agit sur le comportement des vents de surface et, dans certains cas, engendre même les vents. Pendant la saison froide, des vents catabatiques très forts peuvent souffler au-dessus des terres surélevées ou des glaciers, ce qui a des répercussions sur la glace se trouvant à proximité du rivage. En fonction de certaines conditions de

stabilité atmosphérique, un effet de canalisation peut engendrer des vents violents et même, dans certains cas, disloquer une étendue de glace consolidée.

La plate-forme continentale est la plus importante entité du fond océanique qui agit sur les régimes des glaces au Canada. Dans l'Est du Canada, la plate-forme s'étend à environ 300 kilomètres de la côte à la hauteur du détroit de Belle Isle; elle rétrécit progressivement vers le nord, pour atteindre une largeur de 130 kilomètres vers le 56° N. Sa largeur atteint environ 200 kilomètres au large du cap Chidley et du cap Dyer. Une crête submergée s'étend de la côte de l'île de Baffin jusqu'au Groenland par 66° N environ. Au large de cette ligne, les eaux profondes offrent un réservoir d'énergie thermique qui peut facilement atteindre la surface et faire fondre toute glace qui s'y avance.

Les eaux sont passablement peu profondes dans la partie est du bassin Foxe et dans la plupart des voies navigables à l'ouest. La plate-forme continentale au sud de la mer de Beaufort a une largeur de 100 kilomètres, sauf à proximité de l'île Barter et de l'île Herschel où le rebord de la plate-forme continentale se situe à moins de 50 kilomètres du rivage. Les eaux très peu profondes s'étendent jusqu'à 20 kilomètres vers le large et la glace de mer s'y échoue souvent. Dans l'archipel Arctique, la profondeur excède généralement les 100 mètres. Toutefois, les eaux entourant l'île du Roi-Guillaume sont reconnues pour être peu profondes.

Figure 37 : Disposition des polynies récurrentes de l'Arctique canadien



Polynies

Une polynie est une ouverture de forme irrégulière dans la couverture de glace. Elle diffère du chenal par sa forme non rectiligne. Il existe de nombreuses polynies arctiques qui réapparaissent au même endroit d'année en année. La figure 40 indique la répartition des polynies récurrentes de l'Arctique canadien.

La région de l'archipel arctique compte trois polynies récurrentes : celles de Hell Gate et du détroit de Cardigan, de l'île Dundas et du détroit de Bellot. L'Ouest de l'Arctique compte une zone d'eau libre récurrente l'hiver, la polynie du cap Bathurst. Il existe cinq polynies dans la région de la baie d'Hudson et du bassin Foxe. La polynie du sud-est du bassin peut disparaître par vent contraire, mais les autres subsistent tout l'hiver. La région de la baie de Baffin et du détroit de Davis compte cinq polynies : une grande dans le détroit de Smith (polynie North Water), une petite dans le détroit Lady-Ann à l'embouchure du détroit de Jones, et trois autres à la lisière de la banquise côtière du détroit de Lancaster, à l'entrée du détroit de Cumberland et à l'entrée de la baie de Frobisher. À des degrés divers, ces polynies sont le produit des vents, des marées, des courants et de la bathymétrie.

Toutes les polynies interviennent dans la mise en route du processus de fracture et de fonte de la couverture de glace au printemps. L'eau libre des polynies absorbe la chaleur et accélère ainsi la désintégration des glaces environnantes.

Les polynies représentent d'importantes zones écologiques, puisque leurs eaux libres sont fréquentées par des troupeaux de mammifères marins. Ne serait-ce que pour cette raison, les navigateurs doivent faire preuve de prudence quand ils traversent des polynies.

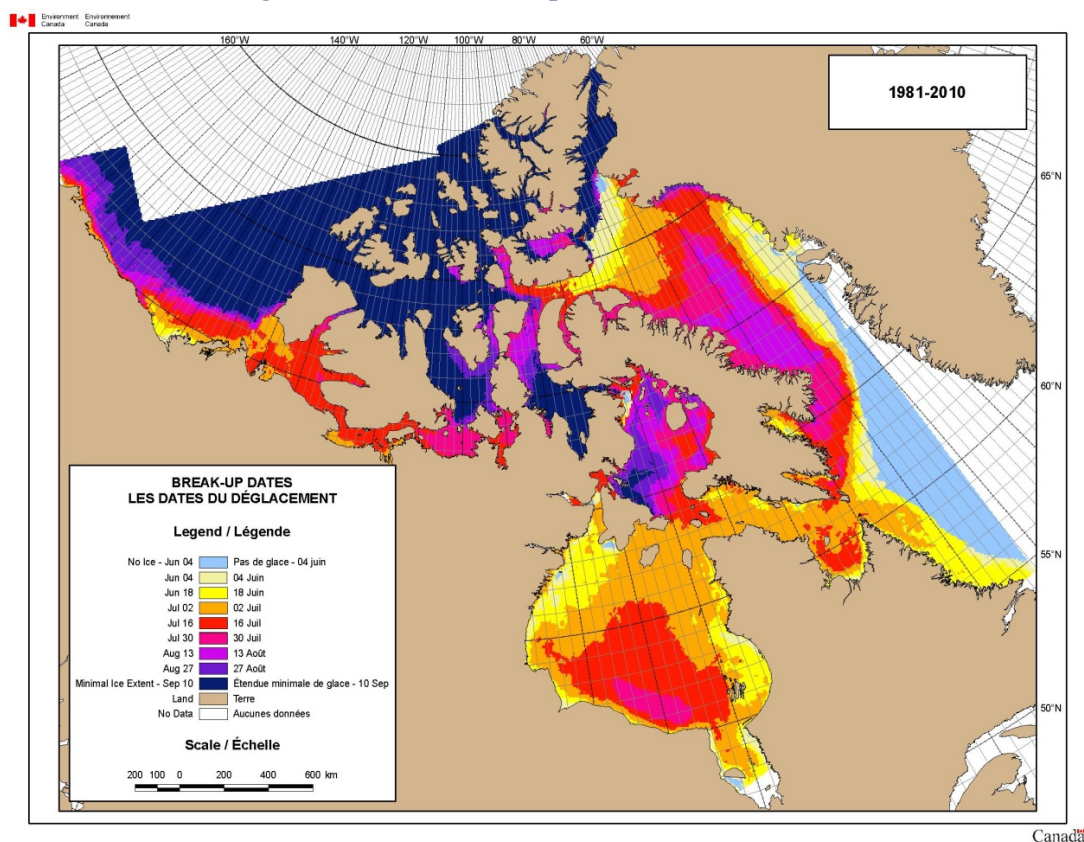
3.7.3 Régime des glaces dans le nord du Canada

Déglaçement

Voici une description générale de la saison de déglacement pour une année normale. Pendant l'hiver, des masses d'air glacial se forment au-dessus des régions continentales et les systèmes météorologiques déplacent ensuite l'air froid au-dessus des mers adjacentes. Au printemps, alors que le soleil est plus haut dans le ciel et que la terre se réchauffe, l'intensité des poussées d'air froid diminue rapidement. Dans les parties méridionales, il n'y a plus de glace qui se forme, mais en général, les vents continuent de faire dériver la glace vers des eaux plus chaudes où la convection dans la colonne d'eau entraîne toujours un apport d'eau chaude pour faire fondre la glace. Les premiers signes de déglacement apparaissent donc vers la fin du mois d'avril dans les eaux au sud du Labrador et dans la Baie James. En mai et en juin, le déglacement progresse graduellement vers le nord.

Au cours de la même période, des mares de neige fondue commencent à se former dans les zones de glace consolidée, alors que la glace mince des polynies disparaît. En juin, la décomposition de la glace débute dans toute la région. En raison de l'absorption de chaleur solaire par les polynies, particulièrement celles des eaux du Nord et des parties nord-ouest de la Baie d'Hudson et du bassin Foxe, la décomposition des glaces et le déglacement s'étendent aussi, en juin et en juillet, vers le sud et vers l'est de ces régions. À la fin de la saison normale de la fonte, généralement au début de septembre, des concentrations élevées de glace sont présentes dans le détroit de Nares, la baie Norwegian, le détroit de Queens, le détroit du Vicomte de Melville, le détroit de M'Clintock et le détroit de Victoria. La banquise de l'océan Arctique s'étend de 50 à 100 km au large de la côte sur la mer de Beaufort. La glace demeure généralement dans la baie Comité et dans le sud du golfe de Boothia.

Figure 38 : Dates du déglacement dans l'Arctique canadien



Toutefois, il faut souligner que dans bon nombre d'années, la glace ne fondra pas complètement dans d'autres zones, notamment dans le bassin Foxe et au nord-ouest du détroit de Davis. La glace de mer fond toujours complètement seulement dans la Baie James, dans les deux tiers sud de la Baie d'Hudson et dans la mer du Labrador.

Englacement

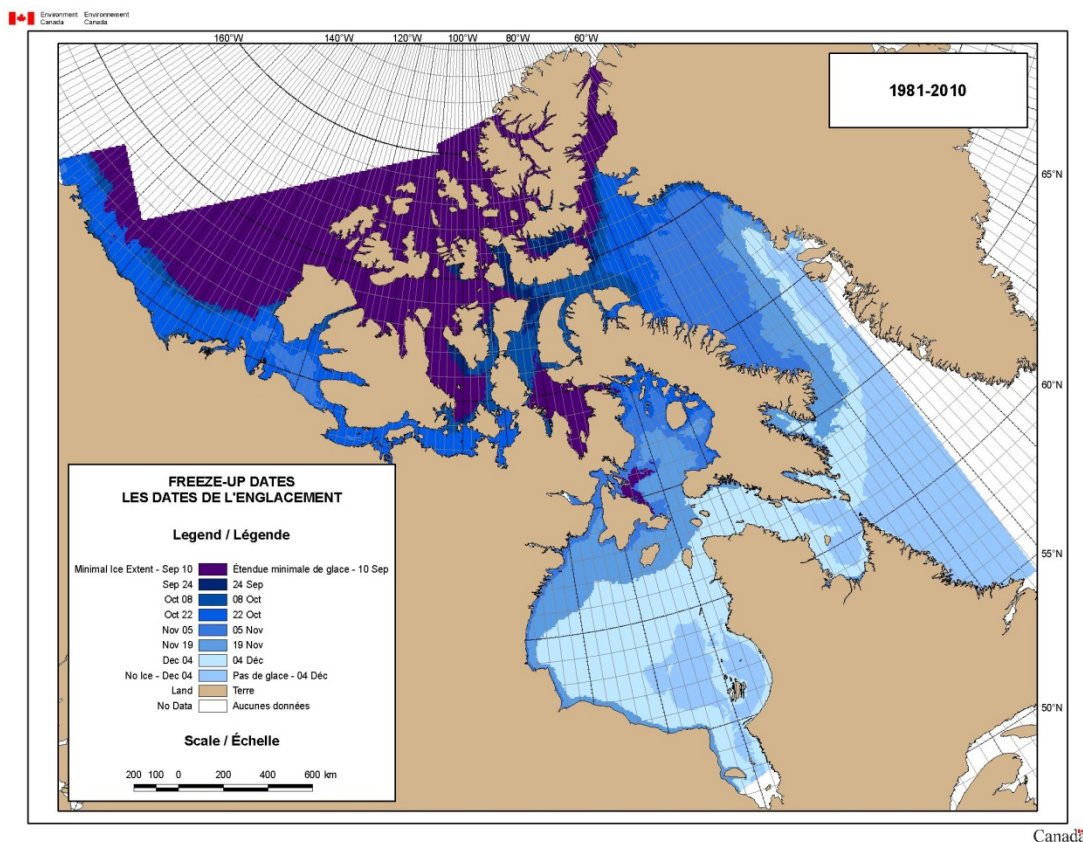
En août, l'été prend fin rapidement dans les zones au nord du chenal Parry. De la nouvelle glace peut se former autour des floes des hivers précédents dès que la température de l'air tombe au-dessous du point de congélation. Cette nouvelle glace s'épaissit rapidement et dès le début octobre, la glace de première année de la nouvelle saison des glaces se mélange avec la glace de première année restante de l'hiver précédent. Le 1^{er} octobre, cette glace restante de l'hiver précédent est reclassée en glace de deuxième année. Elle ne contient presque pas de sel et est beaucoup plus dure que la glace formée récemment. En décembre, la glace de première année devient généralement une couverture consolidée formée de glace de plusieurs années et de glace de deuxième année; cette vieille glace prédomine souvent dans l'archipel arctique canadien, sauf autour de l'île de Baffin. Le reste de la zone devient occupé par de la glace qui se déplace au gré des systèmes météorologiques et des courants, à l'exception des zones au large de la mer du Labrador.

La banquise côtière, pour sa part, s'installe le long des côtes de l'île de Baffin, du Groenland et du Labrador. À certains endroits, sa largeur peut atteindre 50 km. Au large, la banquise demeure mobile pendant l'hiver et des floes de toutes les dimensions se soudent ensemble et se disloquent de manière répétée.

La glace de mer de l'Arctique transportée par le courant de l'est du Groenland autour du cap Farewell (pointe sud du Groenland) en janvier atteint son étendue maximale à près de 63° N en mai, mais

disparaît des eaux à l'ouest du cap Farewell en août. Cette glace de mer se trouve habituellement à moins de 100 km de la côte du Groenland.

Figure 39 Dates de l'englacement dans l'Arctique canadien



Variations

D'importantes variations de l'état des glaces peuvent se produire d'une année à l'autre, et dans certaines régions, d'une semaine à l'autre. De plus, la nature de la couverture de glace peut changer avec les années. Par exemple, la glace du golfe Amundsen demeure peu épaisse et mobile certaines années; d'autres années, elle peut s'amalgamer, voire se consolider avec de la vieille glace. Dans le Haut-Arctique, un été chaud entraîne un déglacement plus important de la vieille glace dans le bassin Sverdrup, ce qui produit une glace plus épaisse au cours du printemps et de l'été suivants dans le chenal Parry. Une couverture consolidée se forme régulièrement dans ce chenal, à l'ouest du détroit de Barrows, mais la lisière orientale peut se trouver à la hauteur de l'île Bylot ou de l'île Somerset, ou à peu près n'importe où entre les deux, et se disloquer pour se reformer plus d'une fois au cours de la saison hivernale. Des variations semblables du moment de la consolidation sont observées dans le détroit de Nares, mais l'étendue de la consolidation y est extrêmement régulière. La largeur de la banquise au large du Labrador et dans le détroit de Davis varie en fonction des périodes prolongées de vent du large ou de vent de terre.

Épaisseur de la glace

Dans les parties septentrionales de l'archipel arctique canadien, la glace vive non perturbée peut atteindre une épaisseur maximale d'environ 240 cm au cours d'un seul hiver. Dans le centre et dans l'ouest de l'Arctique, l'épaisseur maximale de la glace est d'environ 200 cm. Plus au sud, dans la Baie James et le long de la côte du Labrador, la glace qui se forme peut atteindre une épaisseur d'environ 120 cm.

La glace de plusieurs années dans l'archipel arctique canadien atteint une épaisseur de 300 à 450 cm. Cependant, l'épaisseur de fragments d'un plateau de glace peut atteindre 20 m. Les plateaux de glace sont constitués de glace d'eau douce et de glace d'eau de mer et se forment le long de la rive nord-ouest de l'île d'Ellesmere durant de nombreuses années. Des morceaux de plateau se sont détachés au cours des dernières années. Ils constituent des formations glacées très distinctes que l'on retrouve à l'occasion à des endroits très éloignés de leur point d'origine. Ils sont semblables à des icebergs tabulaires, sauf qu'ils ne sont pas constitués de neige.

Vieille glace

Dans une zone où l'on trouve principalement de la glace de première année, la présence de vieux floes a une incidence directe sur la capacité des navires, même les plus puissants, à pénétrer cette zone de glaces.

En septembre, il peut y avoir de la vieille glace des années précédentes, de la glace de première année de l'hiver précédent qui n'a pas fondu et aussi de la glace récemment formée, qui en est à la première année de son stade de formation avant la fin du mois. Bien qu'il soit difficile de différencier la glace de deuxième année et la glace de plusieurs années, il est utile de séparer ces trois types de glace dont la dureté est très différente. Pour cette raison, toute glace de première année devient une glace de deuxième année si elle a survécu jusqu'au 1^{er} octobre. C'est ce qui explique l'augmentation de la quantité de vieille glace sur les cartes d'octobre.

En mai, la concentration médiane de vieille glace représente une zone allongée de 1 à 3 dixièmes de vieille glace dans le sud-ouest de la baie de Baffin qui s'étend vers le sud jusqu'à l'ouest du détroit de Davis. Ce schéma varie peu du mois de juin à la mi-juillet. Cette vieille glace fond après la mi-juillet et la majeure partie de la région devient exempte de vieille glace à partir du mois d'août et tout au long de l'automne.

Il semble incorrect de croire à une augmentation de la quantité de vieille glace au cours de la saison de la fonte, mais ce qui se produit, est une fonte des formes de glace les plus minces, permettant aux vieux floes de s'accumuler dans une zone plutôt que de se disperser dans la banquise.

Dans le bassin Foxe, la quantité médiane de vieille glace ne s'élève jamais au-dessus de zéro, sauf dans les secteurs d'Igloolik-Fury et du détroit Hecla, mais les données climatologiques indiquent clairement que les vieux floes envahissent de nombreux secteurs du bassin. L'augmentation de la fréquence de vieille glace en octobre (mais pas de sa quantité) indique qu'il y a des zones où la glace n'a pas complètement disparu à la fin du mois de septembre.

La quantité et la fréquence des occurrences de vieille glace sont toutes deux remarquables dans le sud du golfe de Boothia et de la baie Comité, ainsi que dans les détroits de M'Clintock, de Larsen et de Victoria.

La concentration médiane de vieille glace dans la partie ouest du détroit de Barrows se situe dans les 1 à 3 dixièmes, mais atteint de 4 à 6 dixièmes en raison du changement de classification des glaces le 1^{er} octobre.

Dans le bassin Sverdrup, c'est la vieille glace qui prédomine. Toutefois, lors d'étés chauds, le déglacement peut laisser de vastes zones où la glace de première année dominera au cours de l'année suivante. Dans la baie Norwegian, les concentrations et les fréquences de vieille glace sont plus faibles dans les parties orientales, soit aussi peu que de 1 à 3 dixièmes. Dans le détroit d'Eureka, de petites quantités de vieille glace survivent habituellement à la saison de la fonte.

Dans la mer de Beaufort, la banquise arctique de l'océan Arctique est une entité dominante. Tel qu'attendu, la quantité et la fréquence des occurrences de vieille glace augmentent à mesure qu'on s'éloigne de la côte. Sauf dans les eaux peu profondes du delta du Mackenzie, il y a toujours un petit pourcentage de fréquence de vieille glace. En fait, lorsque la banquise de première année près de la côte fond en été, les incursions de vieille glace font augmenter les pourcentages près de la côte.

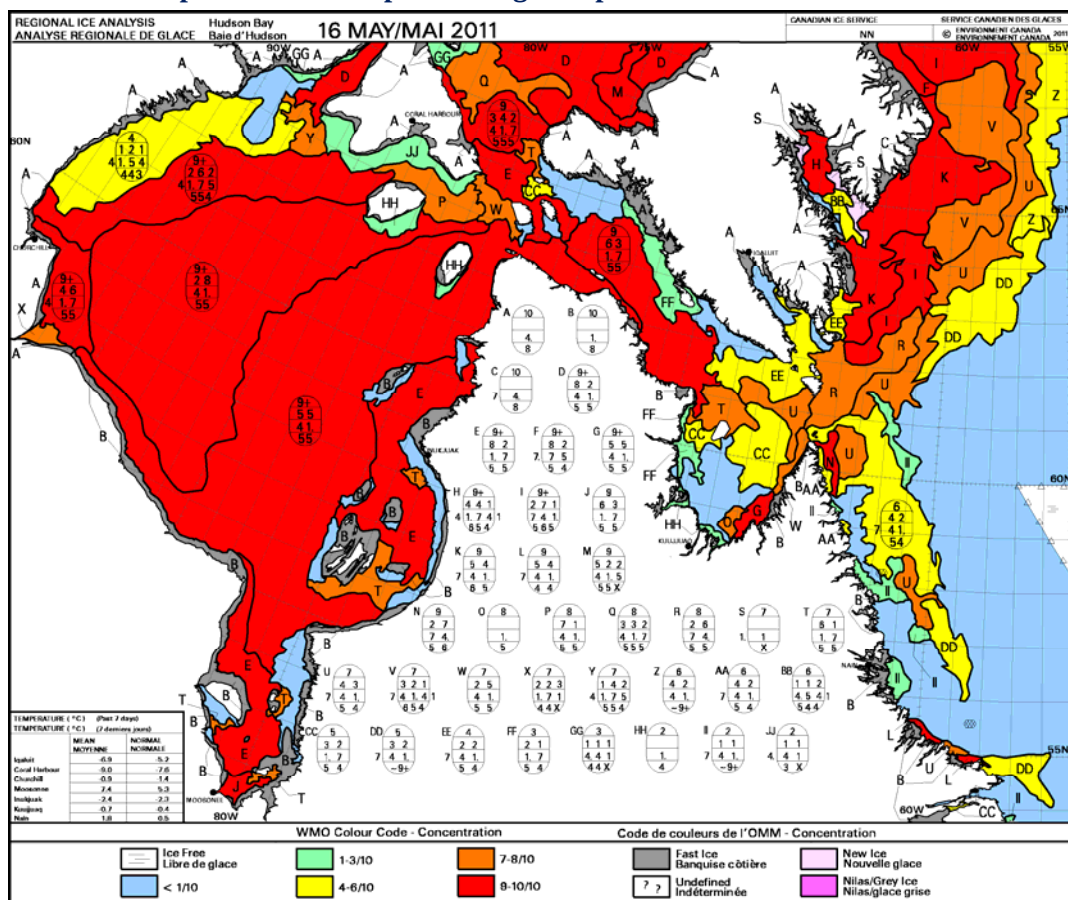
3.7.4 Régime des glaces dans la baie d'Hudson

La glace commence à fondre en mai. Une zone d'eau libre apparaît alors le long de la rive nord-ouest et un étroit chenal côtier se forme autour du reste de la baie. Pendant juin et juillet, les chenaux d'eau libre autour de la côte s'élargissent et seulement de grands bancs persistent dans les parties sud de la baie à la fin juillet. En août, les derniers vestiges disparaissent. Certaines années, des intrusions de glace provenant du bassin Foxe se produiraient dans la partie nord-est de la baie.

À la fin octobre, la glace commence à se former sur les rives nord-ouest de la baie. Certaines années, la glace peut aussi se former simultanément dans les eaux froides près du détroit de Foxe. En novembre, la glace s'épaissit pendant que les vents dominants la déplacent vers l'est et le sud-est. En décembre, la baie se couvre de glace de première année qui s'épaissit. Au cours de l'hiver, une frange de banquise côtière d'une largeur de 10 à 15 km se forme le long de la majeure partie de la côte. La formation d'une zone caractéristique de banquise consolidée se forme entre les îles Belcher et la côte du Québec prend de nombreuses années. Entretemps, la banquise répond aux mouvements des vents et au lent gyre antihoraire qui circule dans la baie.

Dans la baie d'Hudson, l'englacement peut débuter dès la première semaine d'octobre ou seulement à la première semaine de novembre. Pour ce qui est de la fonte, elle peut être terminée dès la mi-juillet ou durer jusqu'à la première semaine de septembre, à l'exception d'intrusions de glace en provenance du bassin Foxe.

Figure 40 : Exemple de carte composite des glaces pour la baie et le détroit d'Hudson



La figure 40 présente une carte des glaces datant du 16 mai 2011 et produite par le Service canadien des glaces, qui illustre l'étendue de la banquise et de la glace mobile dans le détroit et la baie d'Hudson.

3.75 Régime des glaces dans la baie James

La glace commence à fondre à la fin du mois d'avril. À la mi-juillet, une bonne partie de la baie est en eau libre. Habituellement, la glace a complètement disparu au début août, mais jusqu'à la fin août, la partie nord-ouest peut recevoir à l'occasion des intrusions de glace provenant de la baie d'Hudson. L'englacement est généralement rapide et débute après la mi-novembre. Toutefois, on a déjà vu l'englacement débiter dès la première semaine de novembre et aussi tard qu'au début décembre. La glace peut avoir complètement disparu dès la fin juin, mais parfois elle persiste jusqu'à la fin août.

La glace de la Baie James est reconnue pour sa décoloration causée par le gel d'eau boueuse peu profonde ou le ruissellement qui concentre les sédiments à la surface de la glace. Une zone assez étendue d'eau libre apparaît souvent au sud de l'île Akimiski. La vieille glace n'atteint pas la Baie James.

3.76 Régime des glaces dans le bassin Foxe

La glace se forme généralement à la mi-octobre dans les parties nord et ouest; elle épaissit rapidement et s'étend vers le sud et vers le large pour couvrir le bassin Foxe et le détroit de Foxe tôt en novembre. Dès le mois de décembre, c'est la glace de première année qui prédomine.

La fonte débute en juin. La polynie près de Hall Beach s'agrandit lentement. Pendant le mois de juillet, des chenaux d'eau libre se forment autour de la côte. Dans le centre du bassin, la glace diminue très graduellement en petites quantités, mais une désintégration plus rapide se produit en août. Des bancs de glace persistent jusqu'en septembre.

Dans le bassin Foxe, les eaux peu profondes, la grande amplitude des marées et les vents forts se combinent pour garder d'importantes quantités de sédiments en suspension. Par conséquent, la glace est très rugueuse et surtout constituée de petits floes d'apparence vaseuse. Dans les secteurs nord et sud-ouest, il y a d'importantes étendues de banquise côtière. Certaines années, toute la glace du bassin Foxe et du détroit de Foxe peut fondre, alors que d'autres, lorsque l'été est froid, il reste d'importantes concentrations de glace quand recommence l'englacement. La glace de deuxième année peut donc être présente dans le bassin Foxe et dans les eaux adjacentes au cours de l'hiver et du printemps suivants.

Dans le bassin Foxe, l'englacement a déjà débuté aussi tôt que la fin septembre et aussi tard que la troisième semaine d'octobre. La glace ne disparaît pas complètement du bassin chaque année, mais il est arrivé qu'il soit complètement libre de glace dès la première semaine de septembre.

3.7.7 Régime des glaces dans le détroit d'Hudson et la baie d'Ungava

Dans la partie ouest du détroit d'Hudson, l'englacement commence en général près de la côte en novembre. La formation de la glace progresse ensuite pour couvrir toute la région au début décembre, et à la mi-décembre, c'est la glace de première année qui prédomine. À l'exception de la banquise côtière très étendue entre les îles situées entre l'île Big et Cape Dorset, la glace se déplace constamment en raison des courants forts et des coups de vent fréquents. Il y a formation continue de crêtes de glace, de chevauchements de glaces et d'hummocks, et la congestion par la glace touche souvent la baie d'Ungava et le côté sud du détroit d'Hudson. Par contre, il y a souvent un chenal côtier ou de séparation du côté nord du détroit. À l'occasion, de petites concentrations de glace de deuxième année provenant du bassin Foxe dérivent dans le détroit. De la glace de plusieurs années entre également dans les parties à l'est du détroit de Davis.

En mai, des chenaux d'eau libre se forment et dès le mois de juin, ils s'élargissent lentement. En juillet, il n'y a presque plus de glace, mais la baie d'Ungava demeure souvent encombrée de glace déformée et épaisse dans laquelle se trouve de la vieille glace. Le dégagement complet a déjà été observé dès la mi-juillet ou seulement à la fin août. Toutefois, il faut noter que des intrusions de glace de deuxième année en provenance du détroit de Foxe sont parfois observées certaines années.

Dans le détroit d'Hudson, on a déjà vu l'englacement débiter dès la mi-octobre, mais également aussi tard que la première semaine de décembre, et il est arrivé que la glace ait complètement fondu dès la

fin juillet ou aussi tard qu'au début septembre. Dans la baie d'Ungava, on a déjà vu l'englacement débiter dès la fin octobre ou seulement la deuxième semaine de décembre.

3.7.8 Régime des glaces dans la baie de Baffin et le détroit de Davis

À la fin mai et en juin, la glace mince de la polynie des eaux du Nord dans la partie septentrionale de la baie de Baffin se désintègre, puis la fonte s'étend vers le sud jusqu'aux approches du détroit de Lancaster. La banquise se détériore plus rapidement autour de la côte orientale que dans le centre de la baie. Par conséquent, au début du mois d'août, il reste encore de la glace à proximité de la côte entre le cap Dyer et Clyde River et dans les parties centrales de la baie vers le nord jusqu'à près de 74° de latitude Nord. À la fin août, la banquise est finalement réduite à des bancs de glace au large entre le cap Dyer et la baie Home. Le dégagement survient en moyenne à la fin août.

Le courant qui coule vers le nord le long de la côte du Groenland est relativement chaud tandis que le courant qui coule vers le sud à l'est de l'île de Baffin est relativement froid. Par conséquent, la formation de la glace débute plus tôt le long du côté ouest de la baie que du côté du Groenland. En septembre, de la nouvelle glace commence à se former au nord-ouest de la baie de Baffin. À la fin du mois, une frange de glace se forme le long de la côte de l'île de Baffin. La formation de la glace s'accélère en octobre et en novembre, à tel point que c'est la glace de première année qui prédomine au nord du cap Dyer à la mi-novembre. En moyenne, la limite sud de la glace de mer se stabilise près d'une ligne reliant la côte du Groenland à près de 68° de latitude Nord à un point dans la direction générale du sud-ouest situé à quelque 200 km au large de l'île Resolution.

C'est la glace de première année qui prédomine tout au long de l'hiver dans la baie de Baffin et le détroit de Davis. En raison d'une zone de basse pression qui est souvent centrée sur la baie de Baffin, les vents peuvent former un chenal de séparation le long de la côte de l'île de Baffin. Un pourcentage de glace de plusieurs années, qui provient principalement du détroit de Smith et quelquefois du détroit de Lancaster, envahit le côté ouest de la baie. L'épaisseur de cette glace varie entre 240 et 320 cm. La formation de crêtes de glace, de chevauchements et d'hummocks y est importante, et les icebergs abondent.

**MISE EN GARDE : LA PRÉSENCE DE GRANDES QUANTITÉS DE VIEILLE GLACE
DANS LA PARTIE SEPTENTRIONALE DE LA BAIE DE BAFFIN
CONSTITUE UN RISQUE IMPORTANT À LA NAVIGATION.**

Une voie d'eau libre traversant la partie nord de la baie de Baffin peut se former dès la troisième semaine de juin et aussi tard que la dernière semaine d'août. Dans la baie Frobisher, il arrive que la glace ait complètement disparu dès la fin juin, mais également aussi tard que le début octobre. Dans la baie de Baffin et le détroit de Davis, la glace peut avoir complètement disparu dès la mi-août, mais certaines années, il arrive qu'elle n'ait pas complètement disparu lorsque l'englacement débute. Dans ce dernier cas, les tempêtes automnales parviennent généralement à bien disperser les floes restants dans la région. L'englacement peut commencer dans le nord-ouest de la baie de Baffin dès la dernière semaine d'août, mais aussi seulement au milieu du mois d'octobre. Dans la baie Frobisher, la formation de nouvelle glace peut débiter aussi tôt que la mi-octobre et aussi tard que la deuxième semaine de novembre.

3.7.9 Régime des glaces dans l'archipel arctique

Lorsque les températures montent au-dessus du point de congélation dans le Haut-Arctique, les polynies et les étendues libres de glace commencent lentement à s'agrandir. Ensuite, au cours du mois de juin, la glace mobile commence à disparaître à l'ouest du détroit de Lancaster et le déglacement de la glace consolidée débute. Des mares commencent à se former sur la glace consolidée dans l'archipel; elles s'agrandiront au début juillet. Dans la majeure partie de l'archipel, la formation de fractures se produit généralement en juillet, mais souvent pas avant le mois d'août dans le détroit de Barrows, la

baie Norwegian, le détroit du Vicomte de Melville, le détroit de Peel, le détroit de Larsen et le détroit de M'Clintock.

Dans le détroit de Dolphin et Union, le golfe Coronation et le détroit de Dease, la glace disparaît complètement généralement avant la fin juillet. C'est habituellement au début août que la glace disparaît complètement dans l'inlet de l'Amirauté et Pond Inlet, et au cours de la deuxième semaine d'août dans le golfe de la Reine-Maud ainsi qu'au sud et à l'est de l'île du Roi-Guillaume. C'est normalement à la fin août que sont complètement libres de glace le détroit de Wellington et le détroit de Jones, mais des incursions de glace provenant du nord peuvent se produire. La fonte est souvent terminée au début septembre dans le détroit de Peel, l'inlet Prince-Régent et le golfe de Boothia. Cependant, l'extrémité sud du golf de Boothia et la baie Comité demeurent encombrées de vieille glace tout l'été. Dans le bassin Sverdrup, la zone de fracturation est plutôt variable et, en général, il reste de la glace jusqu'au début de l'englacement à l'automne.

Dans le chenal Parry et les parties centrales de l'archipel, c'est en septembre que la nouvelle glace commence à se former. Elle s'épaissit rapidement pour devenir de la glace de première année en octobre et ensuite se consolider dans la majeure partie de la région. Toutefois, dans le détroit de Lancaster, l'englacement peut être retardé d'un mois en raison des vents forts et de l'activité des marées. Au cours de la première semaine d'octobre, de la nouvelle glace commence à se former autour de l'île du Roi-Guillaume pour se consolider tôt en novembre. L'englacement s'étend au golfe Coronation et la consolidation est généralement terminée à la mi-novembre.

Dans les parties centrales du détroit du Vicomte de Melville et du détroit de M'Clintock, la glace peut se déplacer de façon restreinte pendant le mois de décembre. De petites ouvertures créées par les marées sont courantes dans le détroit de Penny et dans le détroit de Bellot alors qu'il existe une importante polynie dans le chenal Hell Gate pendant tout l'hiver. Dans la partie orientale du chenal Parry, le taux de consolidation varie considérablement d'une année à l'autre. Certaines années, la consolidation atteint presque l'entrée est du détroit de Lancaster, tandis que d'autres années, elle atteint seulement le détroit de Barrows. La lisière de la consolidation médiane se situe toutefois à l'île Prince Leopold.

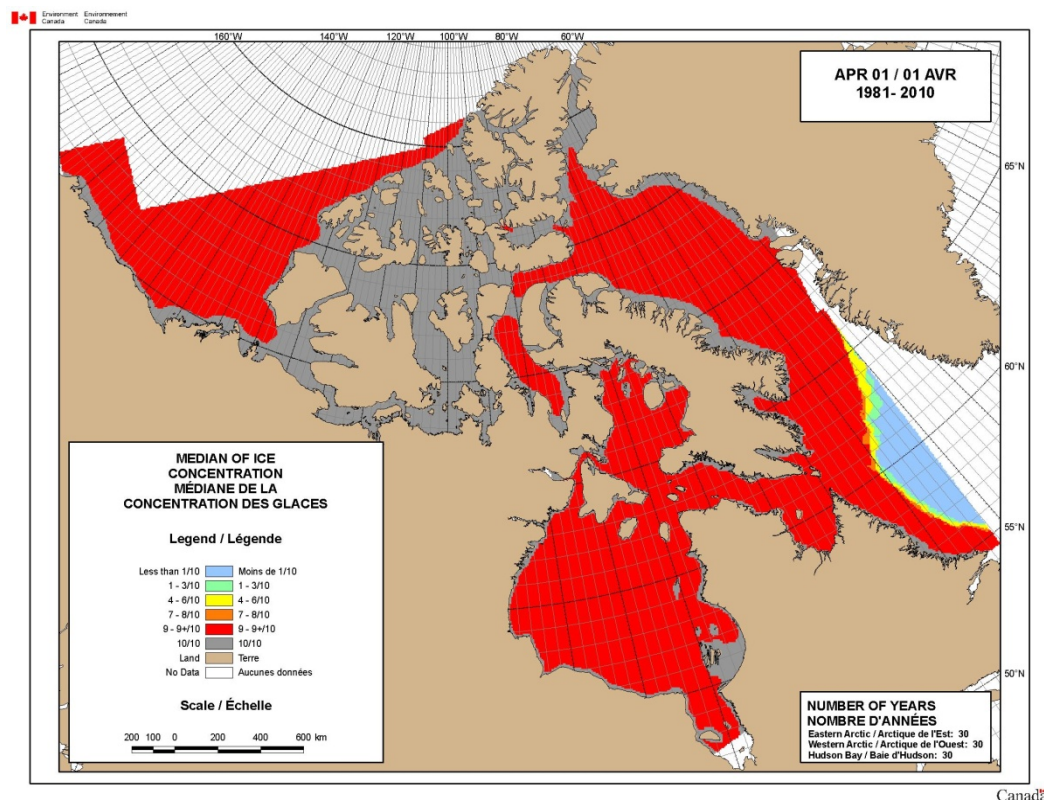
À l'est et au sud d'une ligne qui relie l'île du Roi-Guillaume, l'île Bathurst et le sud de l'île d'Ellesmere, c'est la glace de première année qui prédomine, même s'il y a un faible pourcentage de glace de plusieurs années ici et là. La baie Comité constitue une exception, car c'est surtout de la glace de plusieurs années qui s'y trouve. À l'ouest et au nord de cette ligne, la glace de plusieurs années prédomine et la concentration de glace de première année dépend de l'ampleur du déglacement au cours de la saison de fonte précédente.

La région du détroit de Larsen et les eaux environnantes ainsi que la région de la baie Comité mentionnée ci-haut agissent comme un piège pour la vieille glace qui les envahit périodiquement en provenance de régions plus au nord, car il n'y a pas de sortie propice pour la glace. L'énergie thermique absorbée au cours de l'été suffit à réduire l'épaisseur des vieux floes d'une quantité supérieure à la formation normale de cette glace durant l'hiver. Ce cycle peut prendre plusieurs années avant de faire fondre complètement un vieux floe, mais un « nouveau » lot de vieille glace envahit la région tous les deux ou trois ans.

L'état des glaces peut varier grandement d'une année à l'autre. Pendant les hivers plus froids, une couverture de glace consolidée peut se former dans le détroit de Lancaster et l'inlet Prince-Régent et des morceaux de glace peuvent encore se trouver dans le détroit de Lancaster au moment où s'amorce l'englacement. Au cours des années plus faciles, l'eau dans le détroit de Lancaster peut devenir bergée dès la fin du mois de mai et y demeurer libre jusqu'à ce que de la nouvelle glace se forme en octobre. Au cours des étés plus froids, nombreux sont les chenaux qui restent couverts de glace consolidée ou occupés par une banquise serrée, ce qui entraîne un englacement hâtif. D'autre part, au cours d'un été plus chaud, il y a dislocation dans la plupart des chenaux et il s'ensuit un vaste déglacement. Cela peut faire en sorte que la vieille glace qui s'est détachée de la couverture de glace des îles de la Reine-

Élizabeth dérive vers le sud jusqu'au chenal Parry, ce qui contribue à rendre l'état des glaces plus difficile à cet endroit l'année suivante.

Figure 41 : Concentration médiane de glace dans l'Arctique canadien



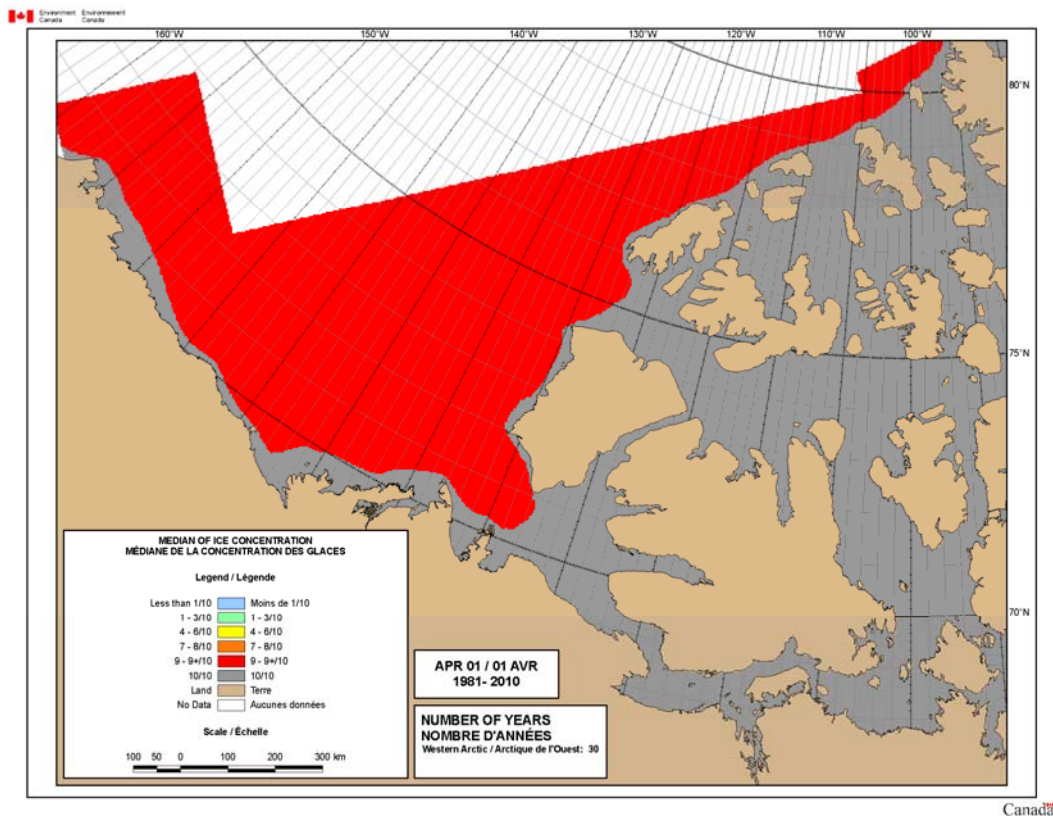
3.7.10 Régime des glaces dans la mer de Beaufort

De la vieille glace ou de la glace de plusieurs années d'une épaisseur de 450 cm – la banquise arctique – se déplace continuellement au gré des courants et des vents dans l'océan Arctique et elle est présente à longueur d'année. Son degré de progression dans la mer de Beaufort à un moment donné dépend du régime des vents pour l'année en cours. En moyenne, la limite de la banquise arctique s'étend d'un point à proximité du cap Prince Alfred vers le sud-ouest jusqu'à environ 200 km au nord de l'île Herschel, puis vers l'ouest jusqu'à environ 200 km au large de la côte septentrionale de l'Alaska. Entre la banquise arctique et la banquise côtière, c'est la glace de première année mobile qui prédomine tout au long de l'hiver.

La lisière de la consolidation dans le golfe Amundsen peut être très différente d'une année à l'autre, mais elle se situe en général près du cap Baring ou du cap Lambton, quelquefois au cap Kellett. Au printemps, les vents du nord-ouest s'apaisent et ce sont les vents d'est et du sud-est qui deviennent prédominants; c'est pourquoi il s'y forme une polynie. En juin, la glace commence à fondre dans le delta du Mackenzie et il s'y forme rapidement une étendue d'eau libre. En général, il se forme des fractures dans le golfe Amundsen à la fin juin; la glace se met alors à dériver et à fondre. La banquise côtière qui s'est formée le long de la péninsule de Tuktoyaktuk se fracture à la fin juin ou au début juillet et, à la fin de juillet, une voie d'eau libre se forme habituellement entre la baie Mackenzie et le cap Bathurst. Le golfe Amundsen est généralement complètement libre de glace avant le mois d'août.

En juillet, un étroit chenal côtier ou de séparation se forme à l'ouest du delta du Mackenzie jusqu'à la pointe Barrow. Les glaces à la dérive lâches n'apparaissent pas le long de la côte avant la première semaine du mois d'août et ce n'est qu'au cours de la première semaine de septembre qu'une voie d'eau libre se forme.

Figure 42 : Étendue des glaces de mer au milieu de l'hiver dans la mer de Beaufort



Dans la mer de Beaufort, l'englacement dépend dans une très grande mesure de l'emplacement de la limite sud de la banquise arctique. La formation de nouvelle glace débute à la fin septembre entre les floes de plusieurs années et s'étend vers le sud ainsi que vers le large à partir de la côte. À la fin octobre, la glace qui se trouve autour de la banquise arctique est de première année. La banquise côtière est importante et s'étend de la côte jusqu'à ce que la profondeur de l'eau atteigne environ 20 m. Durant les mois d'hiver, les vents de mer maintiennent la banquise mobile appuyée contre la banquise côtière.

Lors des étés froids, il se peut que la banquise côtière le long de la péninsule de Tuktoyaktuk ne se détache pas avant la mi-juillet. Ces étés froids se produisent lorsque des vents du nord-ouest maintiennent la banquise arctique près de la côte. Une zone d'eau libre peut apparaître le long de la côte de l'Alaska dès la troisième semaine de juillet.

Le tableau 7 indique les années où l'étendue et la concentration de glaces a atteint un record, haut ou bas, pour différentes régions. Dans le nord, les statistiques pour la saison sont du 25 juin au 15 octobre. Dans le sud, la saison débute à l'automne lorsque la glace se forme, et continue jusqu'au printemps suivant ou au début de l'été lorsque la glace fond.

Tableau 7 : Couverture de glace minimum et maximum

Région	Couverture de glace minimum	Couverture de glace maximum
Eaux du nord canadien	2012	1983
Arctique canadien	2012	1972
Passage du nord-ouest	2012	1978
Mer de Beaufort	2012	1975
Golfe du Saint-Laurent	2009-2010	2002-2003
Eaux de la côte est de Terre-Neuve	1968-1969	1989-1990
Lac Ontario	2001-2002	1978-1979
Lac Érié	1997-1998	1977-1978
Lac Michigan	1997-1998	1976-1977
Lac Huron	2001-2002	1993-1994
Lac Supérieur	1997-1998	1993-1994

CHAPITRE 4. NAVIGATION DANS LES EAUX COUVERTES DE GLACES

4.1 GÉNÉRALITÉS

Les glaces sont un obstacle pour tout navire, même pour un brise-glace, et l'officier de navigation inexpérimenté se doit d'accorder tout le respect nécessaire à la puissance éventuelle des glaces sous toutes leurs formes. Il reste cependant tout à fait possible, comme l'expérience continue à le démontrer, que des navires bien préparés qui ont été confiés à des mains expertes naviguent sans difficulté dans des eaux couvertes de glaces.

Le premier principe d'une bonne navigation dans les glaces est de conserver sa liberté de manœuvre, car un navire pris dans les glaces est entraîné par ces dernières. Ce type de navigation exige beaucoup de patience et peut être épuisante, que l'on soit escorté ou non par un brise-glace. Le long contournement en eau libre d'une zone de glaces difficile dont on connaît les limites est souvent le moyen le plus rapide et le plus sûr de rentrer à bon port ou de gagner la mer libre.

L'expérience démontre que quatre règles fondamentales de manœuvre des navires dans les glaces s'imposent :

1. Le navire doit constamment avancer, même très lentement;
2. Le navire doit s'adapter au mouvement des glaces – il ne doit pas être manœuvré au rebours d'elles;
3. Une vitesse excessive entraîne des avaries causées par la glace;
4. Il faut connaître les caractéristiques de manœuvre de son navire.

MISE EN GARDE : UNE VITESSE EXCESSIVE EST LA GRANDE CAUSE D'ENDOMMAGEMENT DES NAVIRES PAR LES GLACES.

Figure 43 : Étrave à bulbe d'un navire de charge classé 100 A1 cote glace 1A de Lloyd's, endommagée par les glaces alors qu'il se dirigeait vers Iqaluit (Nunavut) en juillet.



4.2 EXIGENCES RELATIVES AUX NAVIRES MANŒVRÉS DANS LES GLACES

L'appareil propulsif et l'appareil à gouverner de tout navire devant naviguer dans les glaces doivent être fiables et capables de réagir rapidement aux ordres de manœuvre. Les appareils de navigation et de communication doivent également être fiables, en particulier le radar, qui doit être maintenu en parfait état de marche.

Les navires légers doivent être ballastés afin d'être le plus bas possible sur leur ligne de flottaison, mais une assiette excessive sur l'arrière n'est pas recommandée, car cela diminuerait la manœuvrabilité et augmenterait les risques d'avaries causées par les glaces à la partie basse la plus vulnérable de la proue. Les crépines d'aspiration de la salle des machines doivent pouvoir s'enlever facilement et être maintenues exemptes de glace et de neige. Enfin, les navires doivent disposer de bons projecteurs pour la navigation de nuit, qu'ils soient escortés ou non par un brise-glace.

Les navires opérant en eaux couvertes de glaces peuvent connaître des retards et doivent donc être suffisamment pourvus en eau douce, en ravitaillement et en carburant, particulièrement les navires qui utilisent du carburant de soute lourd pour la propulsion principale.

4.3 CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES DÉFAVORABLES

Les navires et leur équipement naviguant dans les eaux canadiennes l'hiver et à de hautes latitudes sont exposés aux phénomènes suivants :

- Basses températures de surface;
- Vents forts;
- Basses températures de l'eau de mer à l'injection;
- Faible humidité;
- État des glaces variant de la gadoue à la banquise;
- Neige, grésil et pluie verglaçante;
- Brouillard et ciel couvert, particulièrement à l'interface glace-eau;
- Givrage de la superstructure lorsqu'il existe une forte et dangereuse possibilité de givrage rapide et épais, entraînant une perte de la stabilité, est présente.

4.3.1 Givrage de la superstructure

Le givrage de la superstructure est un processus complexe tributaire des conditions météorologiques, du chargement et du comportement du navire par tempête, de même que de la taille et de l'emplacement de la superstructure et du gréement. La cause la plus courante de la formation de glace est le dépôt de gouttelettes d'eau sur la structure du navire. Ces gouttelettes proviennent des embruns créés à la crête des vagues ou par le navire lui-même. La neige, le brouillard (y compris la fumée de mer arctique), les chutes de température ambiante et le gel des gouttes de pluie au contact de la structure du navire peuvent aussi être à l'origine de la formation de givre. Parfois, l'eau embarquée et retenue sur le pont peut aussi contribuer à la formation de givre.

Le givre se forme en fonction de la route du navire par rapport au vent et à la mer et il est généralement plus sévère lorsqu'il se forme sur l'étrave, les pavois et les lisses de pavois, le côté au vent de la superstructure et du rouf, les manchons d'écubier, les ancres, les engins de pont, le pont de gaillard et le pont supérieur, les sabords de décharge, les conteneurs, panneaux d'écouilles, les antennes, les étais, les haubans de mât, les mâts, les mâtereaux et sur d'autres éléments de gréement. Il faut s'assurer que le guindeau demeure exempt de givre de façon à pouvoir jeter l'ancre à tout moment en cas d'urgence. Les embruns qui pénètrent constamment dans les manchons d'écubier peuvent former un givre épais à l'intérieur du conduit et les ancres rangées dans les logements encastrés peuvent geler en place, ce qui empêcherait de jeter l'ancre. Il est de bonne pratique dans des conditions d'embruns de laisser les ancres légèrement plus basses que les écubiers de façon à pouvoir les dégivrer au besoin. Aussi, il est conseillé de maintenir une

serre de sécurité en place pour empêcher le glissement des freins, ce qui permettra de libérer l'ancre rapidement dans le cas d'une panne.

Figure 44 : Conditions de fort givrage



Si la température de l'air est égale ou inférieure à $-2,2^{\circ}\text{C}$ et qu'en même temps le vent souffle à 17 nœuds ou plus, la superstructure peut givrer. En eau douce, comme sur les Grands Lacs ou le fleuve Saint-Laurent, la superstructure peut givrer à une température égale ou inférieure à 0°C , et le givre s'accumule plus rapidement qu'en eau salée.

En règle générale, les vents de force 5 sur l'échelle de Beaufort causent un faible givrage, les vents de force 7, un givrage modéré et ceux d'une force supérieure à 8, un givrage fort.

Dans de telles circonstances, la formation de givre est la plus intense quand le navire se dirige face au vent et à la mer. Par vent de travers ou par vent trois-quarts, le givre s'accumule plus vite du côté du navire exposé au vent, causant ainsi une inclinaison constante extrêmement dangereuse puisque dans le cas d'un navire chargé, le niveau d'immersion du pont pourrait facilement être atteint.

MISE EN GARDE : LE GIVRAGE D'UN NAVIRE PEUT NUIRE À SA STABILITÉ ET À SA SÉCURITÉ.

Figure 45 Équipage enlevant la glace du parapet.

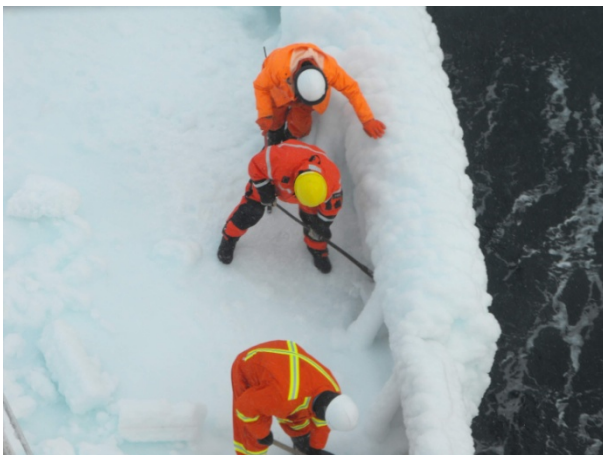


Figure 46 Accumulation de glace sur le gaillard



Il est possible de réduire au minimum les effets des embruns verglaçants en ralentissant les machines en mer houleuse pour diminuer le battage de l'avant, en adaptant le mouvement du navire à celui de la mer ou en recherchant des conditions plus modérées près de la côte ou dans des glaces de mer. Une autre option

serait de se diriger vers des eaux plus chaudes, bien que cela soit impossible dans bien des régions maritimes du Canada.

Dans des conditions de givrage sévère, le dégivrage à la main peut être la seule façon d'empêcher le navire de chavirer. Il importe que le capitaine tienne compte de la durée prévue d'une tempête givrante et du rythme d'accumulation de givre sur son navire au moment d'établir une stratégie.

Il y a plusieurs façons de réduire au minimum la menace du givrage sur les bateaux de pêche :

- Se diriger vers des eaux plus chaudes ou une région littorale abritée;
- Ranger tous les engins de pêche, les tonneaux et les engins de pont sous le pont ou les arrimer le plus bas possible sur le pont;
- Abaisser et attacher les espars;
- Recouvrir les machines de pont et les embarcations;
- Attacher les rampes antitempêtes;
- Enlever les caillebotis des dalots de pont et déplacer tous les objets pouvant empêcher le drainage de l'eau sur le pont;
- Rendre le navire le plus étanche possible à l'eau;
- Remplir d'eau de mer tous les réservoirs inférieurs vides comprenant une tuyauterie de ballast, si le franc-bord est suffisamment haut;
- Établir une communication radio bilatérale fiable avec des installations à terre ou un autre navire.

4.4 INDICES DE LA PRÉSENCE DE GLACES DANS LES ENVIRONS

Lorsqu'un navire se déplace en eau libre, il est possible de constater la proximité de glaces au moyen des indices suivants :

- a) **Halo glaciaire :** C'est un indice relativement sûr qui peut fournir une première indication de l'existence d'un champ de glace dans les environs. Habituellement, on observe le phénomène quelque temps avant d'apercevoir les glaces; il se présente comme un reflet lumineux sur les nuages au-dessus des glaces. Une récente précipitation de neige en accroît l'éclat. Par temps clair, le halo indiquant la présence de glace est atténué, mais peut avoir l'aspect d'une brume sèche de teinte pâle ou jaunâtre. Un halo glaciaire peut parfois être détecté la nuit grâce à la lumière reflétée par la lune ou par les étoiles lorsque le ciel est dégagé;
- b) La présence de petits fragments de glace révèle souvent une plus grande concentration de glaces à proximité;
- c) La mer se calme et la houle tombe subitement lorsqu'on approche d'un champ de glaces sous le vent;
- d) Dans les régions nordiques, de même que dans la mer du Labrador et à Terre-Neuve, l'arrivée du brouillard indique souvent la présence de glaces dans les environs.

NOTA : *Pour assurer une gestion efficace des glaces sur les Grands Bancs et sur le littoral atlantique canadien, il est primordial de signaler la présence de glaces ou d'icebergs à ECAREG CANADA en s'adressant au centre des Services de communication et de trafic maritimes (SCTM) de la Garde côtière canadienne le plus proche. Les messages seront acheminés sans frais.*

Par temps clair, il peut y avoir réfraction anormale et, bien que le champ de glace soit visible d'une plus grande distance que d'habitude, ses caractéristiques peuvent être démesurément amplifiées. De loin, un champ de glace peut être perçu comme des escarpements élevés de glace fendus par des crevasses où se trouvent les eaux libres.

Signes de la présence d'eau libre :

- a) **Ciel d'eau :** Taches de couleur sombre sur des nuages bas, parfois presque noires comparativement aux nuages, indiquant la présence d'eau libre. Par temps très clair, ce signe est moins évident. Lorsqu'un halo glaciaire est visible la nuit, l'absence de lueur à certains points de l'horizon peut indiquer la présence d'eau libre, mais on ne peut se fier totalement à cette indication pour déterminer qu'il s'agit bien d'un ciel d'eau.
- b) Des taches sombres dans le brouillard indiquent la même chose, mais elles ne peuvent être aperçues d'aussi loin qu'un reflet sur les nuages.
- c) Une lisière sombre sur un nuage à haute altitude indique la présence de nappes d'eau libre pouvant donner accès à de grandes étendues d'eau libre à proximité.

4.5 NAVIGATION SANS ESCORTE

L'expérience démontre que les navires non renforcés pour les glaces, et qui ont une vitesse d'environ 12 nœuds en eau libre, sont parfois irrémédiablement coincés dans des glaces dont la concentration est relativement faible. En revanche, les navires renforcés pour les glaces et étant suffisamment puissants devraient pouvoir avancer dans des glaces de première année d'une concentration de 6/10 ou de 7/10. De tels navires peuvent souvent naviguer sans autre aide que les recommandations de route. Dans une concentration de glace de 6/10 ou moins, la plupart des navires devraient pouvoir être gouvernés à faible vitesse autour des floes parmi les banquises lâches sans entrer en contact avec celles-ci.

4.5.1 Engagement dans les glaces

Les recommandations de route formulées par le surintendant des opérations dans les glaces au moyen du système de rapports approprié, comme l'ECAREG ou le NORDREG, reposent sur les dernières données disponibles. Les capitaines ont intérêt à régler leur cap en conséquence. Voici quelques conseils utiles sur la manœuvre d'un navire dans les glaces :

- a) Ne pas s'engager dans les glaces si une autre route, même plus longue, est possible;
- b) Ne pas sous-estimer la dureté de la glace, même s'il est facile de le faire, car cela est extrêmement dangereux;
- c) S'engager dans les glaces à vitesse réduite, attendre le choc initial et, une fois dans la banquise, augmenter la vitesse graduellement afin de garder la maîtrise et l'erre du navire, sans toutefois augmenter la vitesse au-delà du point où elle pourrait causer des dommages. Une attention particulière doit être portée à la vitesse enclenchée dans les zones de glaces fragiles, dans les chenaux libres ou dans les polynies, par exemple, zones dans lesquelles la vitesse pourrait augmenter sans que l'on s'en rende compte si la propulsion n'est pas coupée;
- d) Être prêt à faire « machine arrière » à tout moment;
- e) Ne pas tenter de traverser la banquise dans l'obscurité sans disposer de projecteurs puissants faciles à commander de la passerelle; si une mauvaise visibilité empêche d'avancer, tanguer dans les glaces et laisser tourner l'hélice au ralenti, puisqu'une hélice qui tourne au ralenti risque moins d'être abîmée par les glaces qu'une hélice immobile. Aussi, de cette façon, les blocs de glace ne se coinceront pas entre les lames de l'hélice et la coque;
- f) Faire machine arrière dans les glaces avec une extrême prudence, et toujours avec la barre à zéro, les hélices et les gouvernails étant les parties les plus vulnérables du navire. Ne pas faire marche arrière dans la glace si le navire doit éperonner des formations de glace lorsqu'il est mis à l'arrêt. Le navire doit faire marche arrière seulement dans le sillage formé par son passage;
- g) Se tenir loin de toute forme de glace de glacier (icebergs, fragments d'iceberg, bourguignons) dans la banquise; la glace de glacier se déplace avec le courant, tandis que la banquise est mue par le vent. De grosses formations de vieille glace peuvent se déplacer dans la même direction que le vent ou perpendiculairement au vent selon la direction du courant;

- h) Éviter, dans la mesure du possible, les crêtes de pression et ne pas tenter de se frayer un passage dans les banquises soumises à la pression. Le navire pourrait devoir être stoppé dans la glace jusqu'à ce que la pression se dissipe;
- i) Lorsqu'un navire opérant seul est pris dans les glaces, il requiert habituellement l'assistance d'un brise-glace pour être dégagé. Cependant, les navires ballastés réussissent parfois à se dégager eux-mêmes en transférant le ballast d'un côté à l'autre du navire au moyen des pompes. Une très légère modification de l'assiette ou de l'inclinaison peut suffire à libérer le navire, particulièrement dans les zones à coefficient de frottement élevé ou couvertes d'une couche de neige épaisse.

Le capitaine peut songer à retenir les services d'un officier de navigation dans les glaces dans l'Arctique.

4.6 BRISE-GLACES

La Garde côtière canadienne dispose d'un nombre restreint de brise-glaces pour escorter les navires et assister les navigateurs. Ces brise-glaces ont plusieurs responsabilités et ne peuvent toujours être disponibles dans un bref délai. Par conséquent, il importe de tenir le personnel du bureau d'ECAREG CANADA ou du Centre d'opérations des glaces au fait des positions et des mouvements prévus des navires en zone de glaces. S'ils ne suivent pas la procédure de communication de messages, les navires incertains de leur capacité d'affronter les conditions de glace qui prévalent par eux-mêmes, ne font qu'ajouter à la difficulté d'obtenir les services d'un brise-glace et cela pourrait causer de sérieux retards.

Les brise-glaces de la Garde côtière canadienne, dont beaucoup transportent des hélicoptères d'observation des glaces, naviguent dans les glaces depuis longtemps, des Grands Lacs jusqu'au pôle Nord. Leurs commandants et leurs équipages sont hautement compétents et ont une grande expérience de la navigation dans les glaces, de la manœuvre des brise-glaces et de l'escorte des navires. Les équipages d'un navire ou d'un convoi sous escorte doivent donc collaborer étroitement avec le commandant d'un brise-glace; il est essentiel que les opérations d'escorte soient menées sous la direction de ce dernier pour pouvoir avancer dans les glaces.

NOTA : *Le service d'escorte par un brise-glace ne sera assuré que si l'équipage du navire à escorter offre son entière collaboration.*

4.6.1 Communications avec les brise-glaces

Lorsqu'un navire a demandé l'aide d'un brise-glace, il doit maintenir une veille radio sur 2 182 kHz et sur le canal 16 (156,8 MHz). Les brise-glaces ont souvent de la difficulté à établir le premier contact avec ces navires. Il s'ensuit une perte de temps et une consommation non nécessaire de carburant. Les communications MF et VHF ayant fait leurs preuves, il serait bon d'utiliser ces fréquences pour entrer en communication avec les brise-glaces.

Une veille radio continue sur une fréquence convenue doit être maintenue sur la passerelle de chaque navire escorté par un brise-glace de la Garde côtière canadienne. Les navires doivent pouvoir faire usage d'au moins une des fréquences MF et VHF suivantes :

2 237	kHz	MF
2 134	kHz	MF
2 738	kHz	MF
156,3	MHz	VHF canal 6

Le tableau 8 énumère les signaux alphabétiques, acoustiques, visuels ou radiotéléphoniques servant aux communications entre un brise-glace et un navire escorté. Ces signaux sont convenus internationalement et n'ont que le sens qu'indique le tableau.

En situation d'escorte, des communications permanentes et étroites doivent être maintenues, normalement par radiotéléphone sur une fréquence de travail VHF choisie et convenue pour la liaison entre navires. En attendant l'arrivée du brise-glace, on doit aviser les centres des opérations dans les glaces et le brise-glace de tout changement de l'état du navire.

Tableau 8 Signaux de manœuvre à utiliser pour élargir les communications radiotéléphoniques entre un brise-glace et le ou les navires escortés

Lettres ou chiffres de code	Instruction provenant du brise-glace	Réponse provenant du ou des navires escortés
WM	Le brise-glace commence ses manœuvres. Utiliser les signaux spéciaux et attendre continuellement d'autres signaux sonores, visuels ou radiotéléphoniques.	
A	Allez de l'avant (faites route le long du chenal dans les glaces).	Je vais de l'avant (je fais route le long du chenal dans les glaces).
G	Je vais de l'avant, suivez-moi.	Je vais de l'avant. Je vous suis.
J	Ne me suivez pas (faites route le long du chenal dans les glaces).	Je ne vous suivrai pas (je fais route le long du chenal dans les glaces).
P	Ralentissez.	Je ralentis.
N	Stoppez vos machines.	Je stoppe mes machines.
H	Faites marche arrière.	Je fais marche arrière.
L	Stoppez votre navire immédiatement.	Je stoppe mon navire.
4	Stoppez. Je suis pris dans les glaces.	Je stoppe mon navire.
Q	Réduisez la distance entre navires.	Je réduis la distance entre navires.
B	Augmentez la distance entre navires.	J'augmente la distance entre navires.
Y	Soyez prêt à recevoir (ou à envoyer) la remorque.	Je suis prêt à recevoir (ou à envoyer) la remorque.
FE	Stoppez votre erre (signal qui n'est donné qu'à un navire dans un chenal dans les glaces se trouvant devant un brise-glace).	Je stoppe mon erre.
WO	Mission du brise-glace terminée. Faites route vers votre destination.	
5	Attention.	Attention.

Signaux pouvant être utilisés durant les opérations de déglacage.

E	Je change de cap et viens sur tribord.	Je change de cap et viens sur tribord.
I	Je change de cap et viens sur bâbord.	Je change de cap et viens sur bâbord.
S	Je fais marche arrière.	Je fais marche arrière.
M	Mon navire est stoppé et n'a plus d'erre.	Mon navire est stoppé et n'a plus d'erre.

NOTA : SIGNAL D'ARRÊT D'URGENCE : Les brise-glaces sont dotés de feux rotatifs rouges installés directement à l'arrière au sommet de la superstructure. Ces feux rotatifs sont visibles de l'arrière et seront activés lorsque le ou les navires escortés doivent effectuer un arrêt d'urgence.

Un brise-glace peut utiliser le signal « K », sonore ou lumineux, afin de rappeler aux navires leur obligation d'assurer continuellement une écoute radio.

Si plusieurs navires sont escortés, les distances entre navires devront être constantes autant que possible. Il faut faire attention à la vitesse de votre navire et du navire qui vous précède. Si la vitesse de votre navire diminue, donnez le signal « Attention » au navire qui vous suit.

Les signaux visuels sont rarement utilisés en pratique. Ils sont inscrits sur la liste à titre d'information en cas de défaillance de la communication radio.

L'usage de ces signaux ne dispense pas les navires de se conformer au Règlement international pour prévenir les abordages en mer.

4.6.2 Renseignements nécessaires avant une opération d'escorte

Avant qu'un brise-glace n'assure un service d'escorte ou d'intervention, il aura besoin, en tout ou en partie, des renseignements qui suivent pour juger de la capacité du navire escorté :

- Nom, type et indicatif d'appel du navire;
- Identification du navire (numéro Lloyds) ou numéro de l'Organisation maritime internationale (OMI);
- Nom du propriétaire ou de l'agent;
- Pays d'immatriculation;
- Tonnage (brut et net);
- Longueur et largeur du navire;
- Port de départ et de destination;
- Type de cargaison et quantité (tonnage);
- Nom de l'officier de navigation dans les glaces, s'il est à bord;
- Vitesse en eau libre;
- Cote glace, s'il y a lieu, et société de classification;
- Tirants d'eau avant et arrière;
- Nombre d'hélices et de gouvernails;
- Puissance sur l'arbre;
- Appareil propulsif (qu'il soit diesel ou à turbine, et puissance en marche arrière exprimée en tant que pourcentage de la puissance en marche avant toute) et type de carburant pour la propulsion principale (p. ex. carburant de soute lourd, diesel, gaz naturel liquéfié, etc.);
- Fréquences d'utilisation du radiotéléphone, systèmes de communication, y compris le numéro de téléphone ou de télécopieur (ou les deux).

Il appartient au capitaine du navire escorté de signaler toute défectuosité relativement à son navire.

4.6.3 Opérations d'escorte

Voici des commentaires descriptifs au sujet des procédures d'escorte des brise-glaces :

- a) **Largeur du passage :** La progression d'un navire escorté dans les glaces dépend principalement de la largeur du passage ouvert par le brise-glace. Ce passage est directement proportionnel à la vitesse de progression du brise-glace vers l'avant et à la distance entre le brise-glace et le navire qui le suit.
- b) **Largeur du brise-glace :** À vitesse restreinte dans des floes massifs, un brise-glace ouvre un passage dont la largeur est d'environ 30 à 40 % supérieure à la sienne. À grande vitesse, si la glace peut être facilement brisée par les vagues arrière (le sillage), le passage pourra atteindre trois fois la largeur du brise-glace.
- c) **Distance minimale entre navires :** La distance minimale à respecter entre le navire escorté et le brise-glace sera déterminée par le commandant du brise-glace d'après la distance nécessaire au

navire escorté pour s'arrêter complètement en passant de la marche avant toute à la marche arrière toute. Quand la distance a ainsi été établie, **il incombe au commandant du navire escorté** de s'y tenir. S'il est incapable de maintenir la distance minimale et perd de l'avant, le brise-glace doit en être immédiatement informé pour éviter qu'il ne soit coincé dans des glaces avec les retards qui s'ensuivent.

- d) **Distance maximale entre navires :** La distance maximale à respecter entre le navire escorté et le brise-glace se détermine d'après l'état des glaces et la distance sur laquelle le passage restera ouvert ou praticable derrière le brise-glace. Si la distance entre les navires est trop grande, le navire escorté risque d'être coincé dans des glaces et devra alors être dégagé par le brise-glace. Si le navire escorté est incapable de maintenir la distance minimale, le brise-glace doit en être immédiatement informé pour éviter qu'il ne soit coincé dans des glaces avec les retards qui s'ensuivent.
- e) **Maintien de la distance entre navires :** Les capitaines doivent respecter le plus possible la distance entre le navire escorté et le brise-glace. La progression dans les glaces dépend très largement du maintien de la bonne distance entre les navires. La distance est déterminée selon l'état des glaces, et le risque de collision viendrait du navire escorté dépassant le brise-glace.

Figure 47 : Le Commandant du brise-glace déterminera la distance sécuritaire pour l'escorte



- f) **Concentration des glaces :** Dans des glaces de concentration 9+/10, le passage aura tendance à se refermer rapidement derrière le brise-glace. Dans ce cas, il faut suivre le brise-glace de très près et à une vitesse que déterminera son commandant selon le type de glace.
- g) **Pression des glaces :** Le passage se referme très rapidement lorsque la concentration des glaces est de 9+/10 et que celle-ci est soumise à la pression. Il est alors presque impossible de naviguer parce que le passage, d'une largeur à peine supérieure à celle du brise-glace, se refermera et les glaces coinceront le navire escorté.
- h) **Effet de l'escorte sur la largeur du passage :** En ouvrant un passage, le brise-glace repousse les floes vers l'extérieur. La largeur du passage dépend donc de l'ampleur de ce mouvement vers l'extérieur et de l'étendue de la zone d'eau libre vers laquelle les floes sont repoussés. Plus la distance d'escorte est grande, plus le mouvement est long et plus le passage sera large.

- i) **Vitesse :** Lorsqu'un brise-glace heurte des floes de chaque côté du passage, ceux-ci sont projetés vers l'extérieur avec assez de puissance pour vaincre la force de l'appel d'eau à l'arrière, sinon des blocs de glace et de petits floes sont rejetés dans le sillage. Des fragments de glace et des floes demeureront dans la plupart des passages ouverts par les brise-glaces, ce qui pourrait causer des avaries au navire escorté à une vitesse excessive.

Lorsqu'un brise-glace avance à vitesse restreinte dans les glaces, les floes glissent le long de la coque et restent intacts, à l'exception de quelques petits fragments qui peuvent se détacher des bords d'attaque. Par contre, à grande vitesse, les floes sont fracassés. Le brise-glace devra donc progresser à une vitesse qui lui permettra de briser les floes aussi finement que possible, réduisant ainsi les possibilités d'avarie du navire qui le suit.

Figure 48 : Un brise-glace en renfort le long d'un navire pour le libérer des glaces



- j) **Coincement du navire escorté :** Un navire escorté qui s'immobilise pour une raison quelconque doit immédiatement avertir le brise-glace. Si le navire est coincé dans des glaces, il faut laisser tourner les machines au ralenti, en marche avant, afin d'empêcher que les hélices ne se prennent dans les glaces. Il ne faut stopper les machines qu'à la demande du capitaine du brise-glace.
- k) **Dégagement d'un navire coincé dans des glaces :** Pour dégager un navire escorté qui est coincé dans des glaces, le brise-glace fait habituellement marche arrière dans le passage pour briser les glaces de l'un des côtés devant le navire et revient ensuite le long de ce dernier avant que les deux navires ne reprennent leur route. Pour dégager un navire sans escorte, le brise-glace s'en approche d'ordinaire par l'arrière et le double à un angle de 20° à 30° par rapport à son cap. Par vent modéré, l'approche s'exécute d'un côté ou de l'autre. Si les vents sont forts et très obliques par rapport au passage, la décision du côté par lequel il faut doubler le navire coincé est déterminée par celui du navire coincé ou du brise-glace qui subit le plus l'action du vent. À l'occasion, le brise-glace peut décider de doubler le navire coincé d'un côté, de tourner à l'arrière et de revenir de l'autre côté, diminuant ainsi la pression des deux côtés.
- l) **Méthodes d'escorte :** Lorsqu'un navire escorté est coincé dans des glaces, le brise-glace fait habituellement marche arrière pour le dégager, puis reprend sa place devant lui. Toutefois, si la

progression est lente, on peut vouloir profiter du passage dès le dégagement; le brise-glace fait alors avancer le navire dans le passage qu'il vient d'ouvrir et le suit. Avant que le navire escorté n'atteigne la fin du passage précédemment ouvert par le brise-glace, celui-ci fait machine avant toute et double le navire escorté. Cette méthode réduit le nombre des manœuvres de dégagement et permet d'avancer plus rapidement.

- m) **Feux rotatifs rouges et corne à air comprimé** : Les brise-glaces de la Garde côtière canadienne escortant des navires dans les glaces utilisent deux feux rotatifs rouges pour avertir qu'ils sont à l'arrêt. Ces feux sont le plus souvent disposés verticalement, à 1,8 m l'un de l'autre sur l'arrière du grand mât, et sont visibles à une distance d'au moins 2 milles. Toutefois, en raison des contraintes en matière de construction de certains brise-glaces, ils peuvent être disposés horizontalement, à peu près dans la même position orientée vers l'arrière.

En guise de signal avertisseur supplémentaire, tous les brise-glaces sont pourvus d'une corne à air comprimé orientée vers l'arrière. Cette corne a une portée de 5 milles marins et retentit pendant que les feux rotatifs rouges sont allumés. Avant de commencer les opérations d'escorte, les équipages de tous les navires doivent se renseigner sur la disposition et le fonctionnement des feux rotatifs rouges et de la corne à air comprimé.

- n) **Immobilisation du brise-glace** : L'usage des feux rotatifs rouges et de la corne à air comprimé, séparément ou simultanément, signifie que le brise-glace est immobilisé, qu'il ne peut plus avancer et qu'il doit faire machine arrière. Durant une opération d'escorte où la distance entre le brise-glace et le navire escorté est courte, on doit toujours établir une vigie pour surveiller les feux rotatifs rouges. Ces signaux indiquent une situation d'extrême urgence et le capitaine du navire escorté doit immédiatement faire machine arrière toute. Le gouvernail doit être positionné à barre toute pour augmenter le frottement de la glace sur la coque tant que le navire a de l'erre et jusqu'à ce qu'il s'arrête. Ensuite, le gouvernail doit être remis à la position de milieu du navire.
- o) **Immobilisation du brise-glace sans avertissement** : Les capitaines savent que l'état inattendu des glaces ou d'autres situations d'urgence peuvent forcer un brise-glace à s'immobiliser ou à exécuter toute autre manœuvre devant le navire escorté sans prévenir celui-ci au moyen des signaux précités. Les capitaines doivent toujours être prêts à réagir afin d'éviter de dépasser le brise-glace.
- p) **Remorquage dans les glaces** : Cette manœuvre n'est entreprise qu'en cas d'urgence puisque le navire escorté et le brise-glace risquent de subir des avaries. Avant d'accepter de remorquer un navire, le commandant du brise-glace jugera de la nécessité d'une mesure aussi extrême. Les brise-glaces de la Garde côtière canadienne ne sont pas équipés pour des opérations de remorquage à couple serré. On peut consulter en ligne la politique et les procédures d'exploitation sur l'aide aux navires désemparés sur le site Web de la Garde côtière canadienne à l'adresse suivante : <http://www.ccg-gcc.gc.ca/Publications/Politique-aide-aux-navires-desempares>.
- q) **Ancrage dans les glaces** : Il n'est pas recommandé d'ancrer dans les glaces, sauf en cas d'urgence. S'il est nécessaire d'ancrer, il faut employer le moins de chaîne possible, et le cabestan et le guindeau doivent être prêts à fonctionner. Les machines doivent être en position parées à manœuvrer ou en marche si le temps de mise en route est de plus de 20 minutes. Si l'eau est trop profonde pour qu'une ancre puisse être jetée, le navire peut être immobilisé dans la banquise côtière (si les conditions le permettent). Lorsqu'il se trouve en eau profonde en haute mer, un navire peut être immobilisé de façon sécuritaire dans les glaces à la dérive sans être ancré lorsque l'obscurité ou une mauvaise visibilité empêche la progression. Le navire dérivera alors avec les glaces qui pourraient le retourner, mais il demeurera tout de même en sécurité s'il est positionné adéquatement avant l'arrêt des moteurs.
- r) **Convois** : Le commandant du brise-glace peut décider de former un convoi de navires après avoir consulté les autorités compétentes à terre. Lors des manœuvres dans les glaces, cette mesure favorisera le mouvement du plus grand nombre de navires quand il n'y a pas assez de brise-glaces

d'une puissance suffisante pour faciliter l'escorte de navires faisant route à destination ou en provenance d'un secteur ou d'un port à proximité.

Le commandant du brise-glace déterminera l'ordre de marche des navires du convoi de manière à en hâter le mouvement dans les glaces (sans nécessairement s'en tenir à la règle du premier arrivé, premier servi). Il incombe aux divers navires du convoi d'établir et de garder une distance convenable et sûre entre eux. Le brise-glace déterminera la distance qui doit le séparer du navire de tête du convoi.

Si l'état des glaces change en cours de route, ou si certains navires ont de la difficulté à suivre le navire devant eux, le commandant du brise-glace peut décider de changer l'ordre des navires du convoi afin qu'ils puissent aider les autres navires à avancer.

4.7 EFFET DE LA GLACE ET DE LA NEIGE SUR LE RENDEMENT DES NAVIRES

Dans le cas des navires qui ne sont pas expressément conçus ni construits pour la navigation dans les glaces, on doit examiner la pertinence et la meilleure façon d'utiliser leurs appareils propulsifs et leurs systèmes de commande, en plus du renforcement de la coque, pour que le navire puisse naviguer dans des eaux couvertes de glaces.

4.7.1 Résistance des navires

La résistance d'un navire est plus grande en glace plane qu'en eau libre. Plus l'épaisseur et la force des glaces augmentent, plus un navire doit accroître sa puissance pour maintenir sa vitesse. Toutefois, même parmi les banquises lâches ou dans des glaces de forte concentration, le navigateur doit faire preuve de prudence et éviter les vitesses excessives.

En règle générale, on peut affirmer que la glace empilée, cassée et reformée constitue de sérieuses entraves à la progression d'un navire. La circonspection est également de mise quand on navigue dans des glaces planes où se dressent çà et là des hummocks ou dans des zones où se trouvent des glaces empilées ou un mélange de vieilles glaces.

MISE EN GARDE : TOUT NAVIRE NON RENFORCÉ POUR LA NAVIGATION DANS LES GLACES DOIT ÉVITER LES GROS FLOES NON BRISÉS, SURTOUT SI LA GLACE EST DÉFORMÉE PAR DES EMPILEMENTS, DES CRÊTES OU DES BLOCS DE GLACE CASSÉE ET REFORMÉE.

Lorsque l'épaisseur de la glace excède celle où le navire peut continuer sa progression (lorsque se présentent, par exemple, de la vieille glace, des crêtes, des chevauchements ou des hummocks), on pourrait devoir recourir à l'éperonnage si la structure du navire le permet.

Il importe que l'officier de navigation dans les glaces connaisse bien les limites de la résistance de son navire aux impacts avec la glace sans subir d'avaries, et à quelle vitesse la coque risque d'être endommagée par les glaces dans la zone sur laquelle il navigue.

L'influence de la neige sur le rendement d'un navire varie directement selon l'épaisseur et le type de neige et augmente largement la résistance du navire. Le coefficient de frottement entre la neige et la coque est fonction de la consistance et de la charge d'humidité de la neige, la neige plus mouillée se caractérisant par un coefficient plus élevé que la neige sèche. Dans certaines conditions ambiantes, la neige sera très « collante » et, dans d'autres, très sèche et très poudreuse. De façon empirique, on peut estimer la résistance liée à la couverture nivale en ajoutant la moitié de l'épaisseur de la neige à l'épaisseur observée de la glace, puis évaluer le rendement dans les glaces d'après ce calcul de l'épaisseur ajoutée. Dans une neige « collante », cette résistance est très difficile à prévoir, mais peut se révéler très grande, voire égale ou supérieure à la résistance de rupture de la glace. Les revêtements à faible coefficient de frottement et la forme de la coque jouent un grand rôle dans le rendement naval en zone de glaces à couverture nivale. Durant des manœuvres d'éperonnage, un revêtement à faible coefficient de frottement permettra le

dégagement de la glace vers l'arrière après chaque poussée du brise-glace plus facilement qu'avec une coque en acier sans ce type de revêtement.

4.7.2 Manœuvre des navires

Les caractéristiques de forme de la coque qui influent le plus sur la manœuvrabilité en zone de glaces sont le rapport longueur-largeur, le dévers et la forme de l'avant, du milieu et de l'arrière. L'état des glaces, comme l'épaisseur, la couverture, la pression et la présence de zones de cisaillement, agit tout autant sur la manœuvrabilité. Le diamètre du cercle de virage d'un navire augmente selon l'augmentation de l'épaisseur de la glace. Les virages dans les glaces planes subissent généralement l'influence du degré de ralentissement dans les glaces. Les virages continus sont recommandés pour la plupart des navires qui ne sont pas aussi manœuvrables en zone de glaces que les brise-glaces. Cependant, les brise-glaces recourent plus couramment aux manœuvres en étoile ou en dégagement de chenal comme méthodes de virage plus rapides (décrites à la sous-section 4.9.1). On a aussi pu démontrer que les systèmes d'inclinaison sont efficaces pour la plupart des brise-glaces, particulièrement dans les zones de glaces à couverture nivale.

4.7.3 Capacité structurale

Le rendement d'un navire en zone de glaces peut être limité par la capacité de la coque de résister aux impacts des glaces. Le degré des forces d'impact des glaces variera selon les modes d'exploitation et les régimes des glaces. Par exemple, un navire qui se trouve dans de la glace de première année s'exposera moins aux impacts des glaces qu'un navire qui se trouve dans de vieilles glaces. Un navire – généralement un brise-glace – qui doit avoir recours à une importante manœuvre d'éperonnage pour protéger des navires ou des structures de moindre résistance aux glaces s'exposera nécessairement, pour briser la glace, à des impacts plus violents, susceptibles de causer des dommages aux navires qu'il protège. Sur le plan de l'intensité générale d'impact, les manœuvres d'éperonnage sont celles qui génèrent les plus grandes forces contre la structure d'un navire et si ces manœuvres sont effectuées à répétition, elles risquent de causer des dommages cumulatifs.

4.7.4 Systèmes d'amélioration du rendement

Les systèmes d'amélioration du rendement visent à réduire la puissance nécessaire à la propulsion et à rendre un navire plus manœuvrable dans les glaces. Les systèmes d'inclinaison, qui impriment un mouvement de balancement à un navire et atténuent l'effet de frottement statique, se révèlent utiles lorsqu'un navire est pris dans des glaces sous pression ou s'échoue sur une formation glacée. Ces systèmes faisaient partie des brise-glaces de la Garde côtière canadienne jusqu'au début des années 1980. Les systèmes suivants de lubrification de coque peuvent également diminuer la résistance et augmenter la manœuvrabilité :

- a) **Revêtements à faible coefficient de frottement** – On peut recourir à des revêtements à faible coefficient de frottement pour réduire les forces de frottement; ces revêtements sont maintenant utilisés sur beaucoup de brise-glaces.
- b) **Système de production de bulles d'air** – Les systèmes de production de bulles d'air ont été adoptés pendant les années 1970 sur les brise-glaces de la mer Baltique et sont aujourd'hui courants sur les brise-glaces et les navires de charge. Ces systèmes utilisent un ou plusieurs compresseurs pour souffler de l'air dans des buses latérales au-dessous de la ligne de flottaison. Les bulles montent à la surface avec l'eau entraînée, lubrifiant la zone de contact entre les glaces et la coque, tant au-dessus qu'au-dessous de la ligne de flottaison. Les conditions et les manœuvres auxquelles ce type de système est particulièrement bien adapté sont la navigation lente dans de la « glace collante » ou dans des glaces à profonde couverture nivale, les manœuvres dans des glaces sous pression, les manœuvres de recul après l'éperonnage et les manœuvres d'accostage. Dans les eaux libres, le système de production de bulles d'air peut parfois être utilisé au lieu des propulseurs.
- c) **Système de déversement avec injection d'air** – Dans ce système, on injecte de l'air dans de l'eau qui est pompée dans des buses latérales au-dessous de la ligne de flottaison.

- d) **Système de déversement à la coque** – Le système de déversement à la coque, que l'on trouve dans quelques brise-glaces canadiens, pompe de grandes quantités d'eau dans des buses avant au-dessus de la ligne de flottaison. Le but est d'inonder la glace d'eau, ce qui a pour effet de lubrifier la zone de contact entre le navire et les glaces, pour enlever la couverture de neige présente sur la glace devant être brisée.

4.8 TECHNIQUES DE MANŒUVRE DES NAVIRES DANS LES GLACES

4.8.1 Manœuvres dans diverses conditions glacielles

Les glaces sont un obstacle pour tout navire, même pour un brise-glace, et le navigateur inexpérimenté se doit d'accorder le respect nécessaire à la puissance éventuelle des glaces sous toutes leurs formes. Il reste cependant tout à fait possible, comme l'expérience continue à le démontrer, que des navires bien entretenus et bien équipés qui ont été confiés à des mains expertes naviguent sans difficulté dans des eaux couvertes de glaces.

Le premier principe d'une navigation sans difficulté dans les glaces réside dans le fait d'éviter de s'arrêter ou de se prendre dans les glaces. Une fois qu'un navire est bloqué dans les glaces, il est à leur merci. Une telle navigation exige beaucoup de patience et peut être épuisante, que l'on soit escorté ou non d'un brise-glace. Le plus long contournement en eau libre d'une zone de glaces difficile dont on connaît les limites est souvent le moyen le plus rapide et le plus sûr de rentrer à bon port ou de gagner la mer libre.

NOTA : *Il ne faut pas sous-estimer la dureté de la glace, ni les risques d'avaries qui y sont liés.*

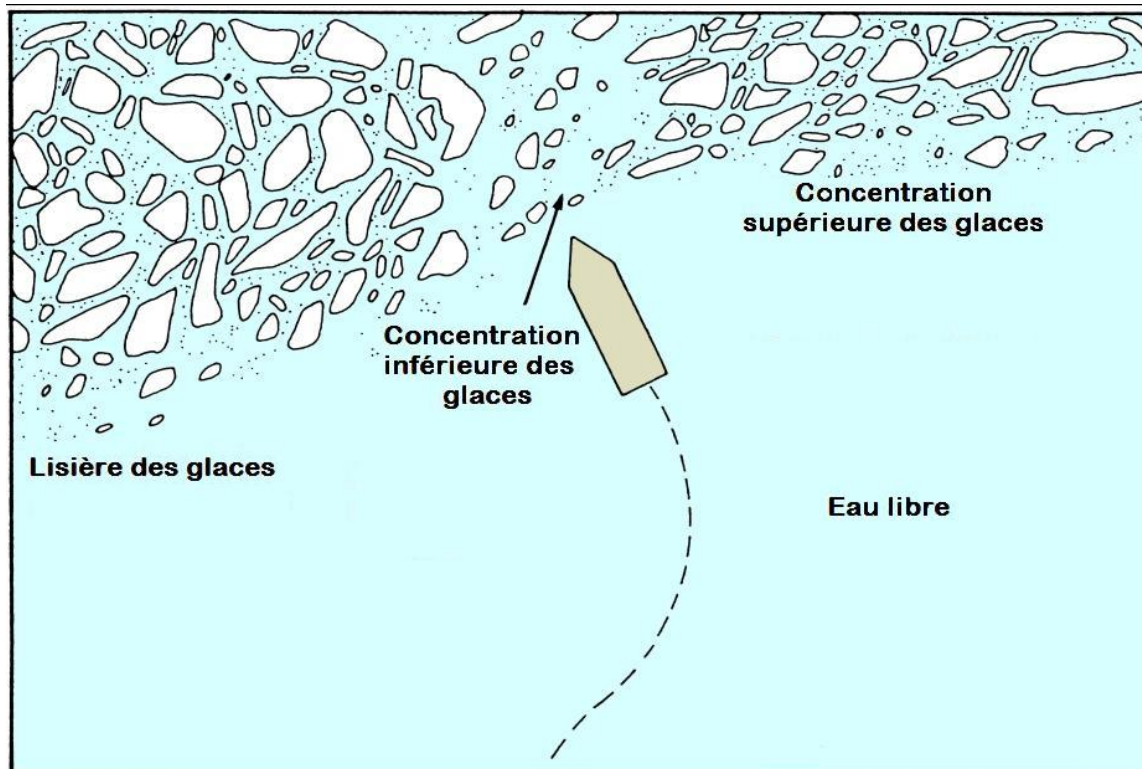
Avant de s'engager dans les glaces

Il est préférable et plus sûr pour un navire non renforcé ou un navire dont la capacité structurale ne convient pas à la condition glacielle ambiante de contourner les glaces, même si le parcours doit s'en trouver considérablement allongé. Il vaut toujours mieux emprunter une route en eau libre que de traverser une grande étendue de glaces. Toute économie prévue de carburant sera plus que dévalorisée par le risque d'avaries et la consommation de carburant pourrait être supérieure dans une telle traversée, même si la distance est moins grande.

Les conditions qui suivent doivent être réunies avant qu'un navire ne pénètre dans un champ de glace :

- a) Suivre la route recommandée émise par le surintendant des opérations des glaces par le biais d'un centre des Services de communications et de trafic maritimes (SCTM). De telles recommandations s'appuient sur les derniers renseignements disponibles et les capitaines ont intérêt à régler leur cap en conséquence si des changements sont recommandés durant leur passage;
- b) Établir des vigies supplémentaires et envisager le renforcement de l'équipe à la passerelle selon la visibilité;
- c) Le jour, la lumière doit être suffisante pour que l'on puisse traverser tout le champ de glace; si la traversée s'effectue de nuit, le navire doit être convenablement pourvu de projecteurs puissants et fiables;
- d) Réduire la vitesse le plus possible au moment de recevoir le premier choc des glaces;
- e) Le navire doit être perpendiculaire à la lisière de la banquise pour éviter les collisions obliques, et choisir soigneusement le point d'engagement dans les glaces (voir la figure 49) pour entrer de préférence dans une zone de moindre concentration de glace;
- f) Le personnel de la salle des machines doit avoir été bien informé de la situation et de ce qu'il peut avoir à faire, puisqu'il peut être nécessaire de faire machine arrière à tout moment et que les changements de régime des machines seront fréquents;
- g) Le navire doit avoir été ballasté jusqu'au tirant d'eau glacial, s'il y a lieu, ou jusqu'au tirant qui assure la protection d'une étrave à bulbe, du gouvernail ou des hélices (le cas échéant);
- h) Le navire doit être muni d'un système interne de refroidissement fonctionnel au cas où de la gadoue obstruerait la prise d'eau de refroidissement de l'appareil propulsif.

Figure 49 : Procédure adéquate pour aborder un champ de glace : approche lente et perpendiculaire à la lisière



Après la pénétration dans les glaces

Après que le navire s'est engagé dans les glaces, on augmente lentement sa vitesse en tenant compte de l'état des glaces et de la vulnérabilité du navire. Si la visibilité faiblit pendant la traversée des glaces, la vitesse doit être réduite jusqu'à pouvoir stopper le bâtiment dans la distance de visibilité. En cas de doute, il faut s'arrêter jusqu'à ce que la visibilité s'améliore. Les risques d'avaries causées par les glaces se multiplient avec la diminution de la visibilité. S'il y a arrêt, il faut laisser tourner les hélices à faible régime pour empêcher la glace de s'accumuler autour de l'arrière du navire.

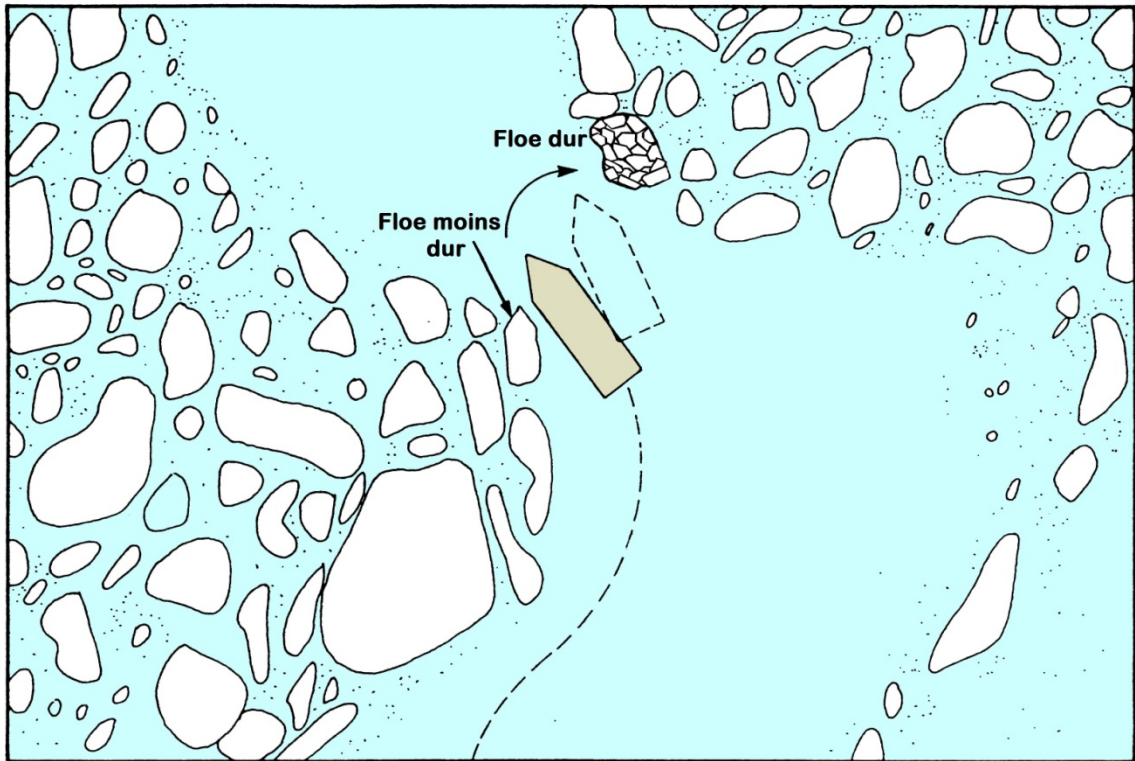
Lors de la navigation dans les glaces, les règles générales sont :

- Exploiter la banquise au mieux en suivant les nappes d'eau libre et les zones de faible concentration de glace, même si au départ il faut s'écarter largement de sa route;
- Éviter, dans des conditions de visibilité restreinte, de suivre un chenal d'eau libre à une vitesse excessive, ce passage ayant peut-être été frayé par un iceberg;

Éviter de prendre trop de vitesse dans un chenal ou dans une polynie se trouvant dans un champ de glace, ou lorsqu'on navigue dans des banquises lâches.

Manœuvre de virage dans les glaces

Il est possible de devoir changer de cap dans les glaces. Dans la mesure du possible, les changements de cap doivent se faire en eau libre ou dans les zones où la couverture de glace est relativement légère; les virages dans les glaces exigent beaucoup plus de puissance que les virages en zone dégagée parce que le navire doit briser la glace de côté plutôt qu'avec sa proue. Les virages doivent donc être entrepris d'avance et s'effectuer selon la courbe la plus large possible. Il faut faire preuve de prudence même lors des virages en eau libre, car il est facile de sous-estimer le mouvement tournant du navire et d'entrer en contact avec la glace par le travers ou l'arrière. Une collision oblique avec des glaces molles peut être suivie d'une collision avec des glaces plus dures (voir la figure 50).

Figure 50 : Danger d'une manœuvre de virage dans un chenal en zone de glaces

Le navire aura une forte tendance à suivre la voie de moindre résistance et il peut se révéler difficile, voire impossible de virer hors d'un chenal. Les navires dotés de deux hélices devraient s'en servir pour tourner. Dans des glaces très concentrées, un navire naviguant sans escorte peut avancer plus facilement en appliquant la pleine puissance et en maintenant la barre à zéro, ce qui lui permettrait de trouver la moindre résistance sans effet de frottement du gouvernail pour maintenir une route en ligne droite.

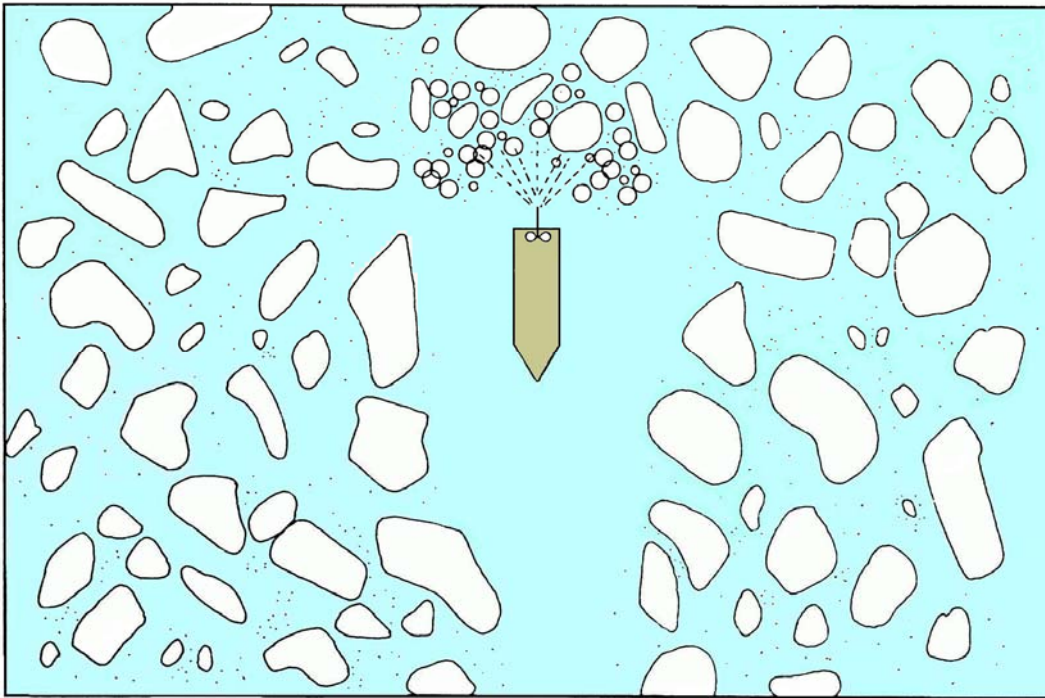
MISE EN GARDE : ÉVITER DE TOURNER DANS DES GLACES DENSES; IL FAUT RECHERCHER DES ZONES DE GLACE PLUS MINCE OU DES POLYNIES.

S'il est impossible d'effectuer un virage en eau libre, le capitaine doit décider de la manœuvre de virage à exécuter. Si le virage n'a pas à être serré, il est préférable de maintenir son erre dans la glace en mettant de la barre. Lorsque l'état des glaces est tel que le navire progresse très peu, l'effet de frottement du gouvernail que l'on tourne peut suffire à immobiliser le navire. Dans ces circonstances ou dans le cas où le navire doit effectuer un virage serré, on devra exécuter une manœuvre en étoile, qui consiste à tourner sur place en reculant et en avançant à l'aide des machines et du gouvernail. Les capitaines devront évaluer les dangers d'un recul dans les glaces pour exécuter cette manœuvre et les dangers d'un long virage en zone de glaces. À chaque recul du navire, il faut veiller à ne pas pousser l'hélice et le gouvernail dans des glaces se trouvant à l'arrière du navire.

Manœuvre de recul dans les glaces

Le recul dans les glaces est une manœuvre dangereuse, puisqu'il expose à l'action des glaces les parties les plus vulnérables du navire, à savoir le gouvernail et l'hélice. Il ne faut y recourir qu'en cas de nécessité absolue, et il ne doit jamais être question d'éperonner en marche arrière. Au cours des dernières années, des navires « bivalents » renforcés pour la navigation dans les glaces ont été conçus pour briser la glace lors de déplacement en marche arrière tout en protégeant leur étrave à bulbe, mais seul ce type de navire spécialement conçu devrait tenter une telle manœuvre.

Figure 51: Manœuvre de recul dans les glaces : barre à zéro, marche arrière très lente



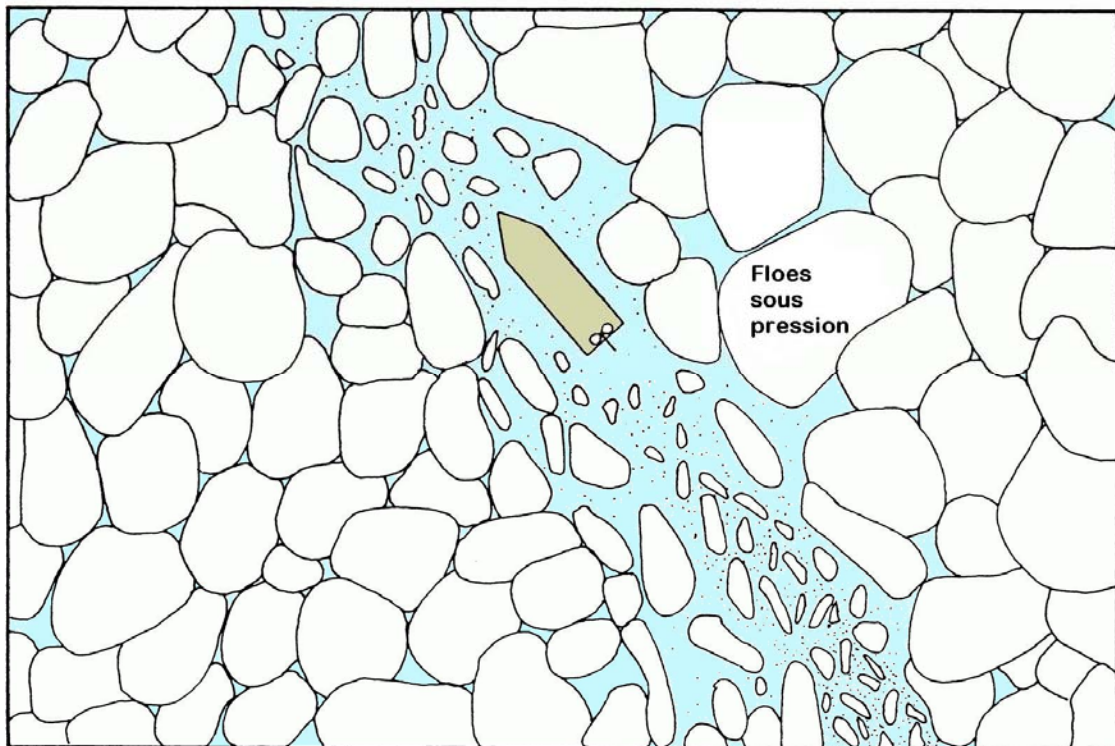
Le navire doit passer en marche arrière très lente avec la barre à zéro (figure 51). Si le gouvernail est sorti et heurte un fragment de glace en marche arrière, la force de torsion qui s'exercera sur l'étambot arrière sera beaucoup plus grande que si la barre est à zéro. En position longitudinale, le gouvernail sera protégé par l'oreille antiglace, s'il y en a une. Quand la glace commence à s'accumuler sous l'arrière, une brève poussée en marche avant devrait permettre de la déloger. Il peut être très efficace d'appliquer cette technique de recul et de déloger les glaces par des poussées en marche avant, mais il faut bien surveiller la distance entre l'arrière du navire et la lisière des glaces. S'il est difficile d'observer la poupe depuis la passerelle, il faut établir une vigie sûre à l'arrière avec une liaison radio ou téléphonique.

MISE EN GARDE : ÉVITER LE PLUS POSSIBLE DE RECULER DANS LES GLACES. SI CETTE MANŒUVRE DEVIENT NÉCESSAIRE, IL FAUT L'EXÉCUTER AVEC UNE EXTRÊME PRUDENCE EN MARCHÉ TRÈS LENTE.

Précautions à prendre pour éviter d'être coincé dans des glaces

La meilleure façon de ne pas être coincé dans des glaces est d'éviter les zones de glaces sous pression. Cette pression peut être créée de diverses façons. Par exemple, les situations de resserrement d'une banquise lâche par les vents dominants sont les plus fréquentes, mais ce tassement se produit aussi quand les marées, les courants ou des vents du large pressent les glaces contre la côte. La banquise soumise à la pression pendant quelque temps subira des déformations sous forme de crêtes, d'amoncellement ou d'hummocks. Les apparences sont trompeuses, la partie émergée d'une crête ou d'un hummock pouvant n'être que de 1 à 2 m alors que la partie immergée peut se trouver plusieurs mètres en dessous. Le danger de coincement dans des glaces s'accroît largement en zone de vieilles glaces ou de glaces de glacier, la pression qui s'exerce sur la coque étant dans ce cas beaucoup plus forte.

Lorsqu'on navigue dans la banquise, on doit fréquemment vérifier s'il n'y a pas d'indices que le passage se referme derrière le navire. Normalement, le passage se resserrera par dégagement de pression au gré de la progression du navire, mais si les glaces commencent à se refermer entièrement derrière, c'est sûrement le signe que la pression augmente (figure 52).

Figure 52 : Pression du champ de glace refermant le passage derrière le navire

De même, si on emprunte un chenal d'eau libre entre la banquise et la côte ou entre les glaces mobiles et la banquise côtière, on doit surveiller les changements de direction de vent ou de marée, la voie pouvant se refermer rapidement.

MISE EN GARDE : TOUT NAVIRE NON RENFORCÉ POUR LA NAVIGATION DANS LES GLACES DOIT ÉVITER LES FLOES EMPILÉS OU EN CRÊTES.

Dégagement d'un navire coincé dans des glaces

Pour dégager un navire coincé dans des glaces, il faudra peut-être devoir attendre que les conditions s'améliorent, ou atténuer l'emprise des glaces sur la coque, ce qui peut être fait de plusieurs façons :

- Faire machine avant et arrière toute en mettant la barre tantôt à bâbord tantôt à tribord, manœuvre qui écarte les glaces par effet de levier. En marche arrière, il faut s'assurer que des glaces ne parviennent pas jusqu'à l'hélice ou, si le navire se dégage, qu'il ne recule pas dans une lourde couverture de glace. Si un navire est doté de deux hélices, une hélice devrait faire propulser le navire vers l'avant en alternance avec l'autre propulsant vers l'arrière pendant quelques minutes. Ensuite, il faut renverser l'ordre de propulsion des hélices de façon à faire pivoter le navire pour créer une ouverture plus grande dans la glace derrière le navire.
- Ballaster le navire alternativement à bâbord et à tribord pour qu'il s'incline et pour changer la configuration sous l'eau. Cette méthode ne doit être utilisée que si l'on connaît les conséquences possibles d'une inclinaison excessive à la suite du dégagement brusque du navire.
- Remplir et vider en alternance le coqueron avant et le coqueron arrière est une méthode plus sécuritaire que l'utilisation des ballasts, mais cette solution est en général efficace seulement pour modifier l'assiette de la proue afin d'obtenir un meilleur angle et de s'attaquer à la glace devant, ou pour permettre une meilleure propulsion à l'hélice lorsque l'arrière du navire est davantage enfoncé

dans l'eau. Cette méthode peut aussi être efficace pour se dégager d'une crête, en élevant la proue du navire de façon à ce qu'il glisse vers l'arrière lorsque la proue est élevée.

- d) Balancer des charges suspendues aux grues de bord ou au matériel de levage, en ce qui concerne les petits navires, pour donner de la gîte et dégager le navire. Là encore, on ne doit employer cette méthode que si l'on connaît les conséquences possibles d'un dégagement brusque.

Figure 53 De la glace sous pression va fermer le passage derrière le navire



Éperonnage

L'éperonnage est particulièrement efficace lorsqu'on essaie de progresser dans des glaces épaisses que l'on ne pourrait briser autrement.

MISE EN GARDE : LES NAVIRES QUI NE SONT PAS RENFORCÉ POUR LES GLACES OU QUI SONT POURVUS D'UNE ÉTRAVE À BULBE NE DOIVENT PAS SE LIVRER À DES MANŒUVRES D'ÉPERONNAGE.

LORS DES MANŒUVRES D'ÉPERONNAGE, LES NAVIRES RENFORCÉS POUR LES GLACES DOIVENT FAIRE PREUVE D'UNE EXTRÊME PRUDENCE.

En ce qui concerne les navires ayant la capacité d'éperonner les glaces, c'est par tâtonnements que l'on juge de la meilleure distance de recul à prendre par rapport à la lisière des glaces pour gagner de la vitesse. La distance optimale sera celle qui donne la meilleure progression vers l'avant pour le moins de déplacement vers l'arrière. Il est toujours nécessaire d'effectuer d'abord de brefs éperonnages pour déterminer l'épaisseur et la dureté de la glace. Il est primordial de surveiller de près l'état des glaces pour que le navire ne s'engage pas dans une crête sur un gros floe. Les floes de vieille glace, qui peuvent se trouver partout dans la banquise des eaux nordiques doivent être repérés et évités durant les manœuvres d'éperonnage.

Les manœuvres d'éperonnage requièrent une extrême prudence, car les forces de l'impact avec la glace peuvent être très grandes. Pour les navires renforcés pour les glaces, ces forces peuvent être supérieures à celles que le concepteur avait à l'esprit lorsqu'il a dressé les plans de charpente du navire et elles peuvent causer des avaries. Cependant, si l'éperonnage se fait toujours à petite vitesse, les risques d'avarie s'en trouveront grandement réduits.

4.8.2 Manœuvre d'un navire avarié dans les glaces

Il est possible au besoin d'abandonner un navire dans des eaux couvertes de glaces en abaissant les canots et les radeaux de sauvetage jusqu'à la surface glacée, si la glace est assez épaisse pour en supporter le poids. En ce qui concerne les navires dotés de dispositifs de largage rapides des canots de sauvetage sans bossoirs d'embarcation, il ne faut jamais lancer les canots dans la glace; il faut plutôt les abaisser doucement sur la surface glacée en utilisant l'équipement de récupération en sens inverse.

Si on peut rendre le bateau suffisamment navigable pour qu'il puisse poursuivre sa route, on devra évaluer l'effort que requerra la rupture des glaces pour le reste de cette route, par opposition au risque que l'on prend en attendant sur place d'être escorté. Il faut protéger de tout nouveau choc la partie endommagée en corrigeant l'assiette, bien que cette modification puisse agir sur la capacité de rupture de la glace. Dans les navires renforcés pour les glaces, le fait de ballaster pour réduire l'inondation au minimum peut exposer la coque au-dessus ou au-dessous de la zone de renforcement. Il faut veiller à ce que la correction d'assiette ne soumette pas non plus le gouvernail ni les hélices à l'action des glaces. Si une telle correction est inévitable, il faut s'assurer que toute décision ultérieure sera prise en toute connaissance des dangers.

4.8.3 Accostage

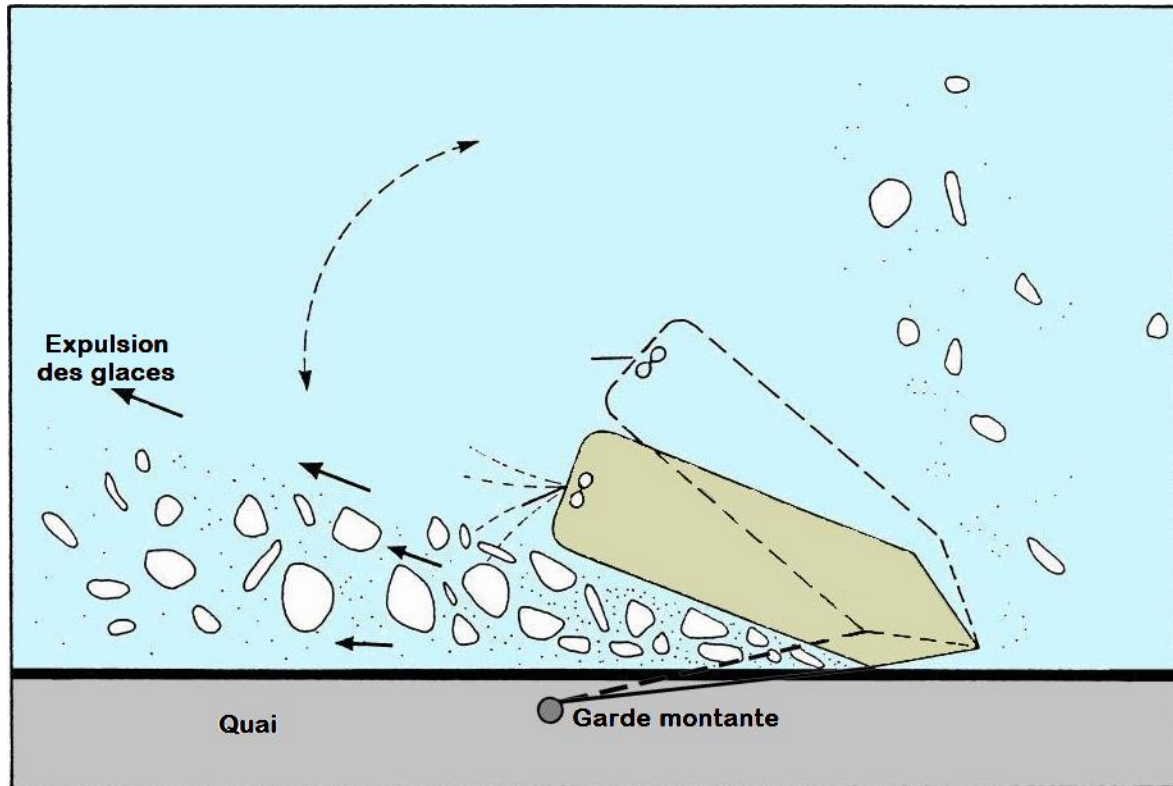
L'accostage dans des eaux couvertes de glaces peut être, et se révèle habituellement, une longue opération, particulièrement dans l'Arctique où normalement il n'est pas possible de compter sur des remorqueurs. À l'approche d'un poste d'accostage dans des eaux couvertes de glaces, il est souhaitable (même si ce n'est pas la pratique normale) de poster un officier à l'avant pour qu'il signale à la passerelle la distance qui sépare le navire du quai ou du débarcadère, car une variation de l'épaisseur des glaces (qui n'a pas été observée de la passerelle) pourrait faire brusquement augmenter ou diminuer la vitesse d'approche au quai.

Une multitude de facteurs entrent en jeu selon la taille du navire et le genre de poste d'accostage, mais le but devrait être d'aligner le bord du navire en laissant le moins de glace possible entre le navire et la façade du poste. Pour y arriver, il faut se ranger par la proue le long de l'extrémité rapprochée du quai et en glissant le long de la façade (comme on aborde par la proue le bajoyer à l'entrée d'une écluse dans la voie maritime), ou encore en positionnant la proue à l'endroit souhaité, en l'amarrant à l'aide d'une solide garde montante et en faisant machine avant lente pour que le remous expulse les glaces entre le quai et le navire (figure 54). Souvent, il faut combiner les deux techniques (pour les navires suffisamment manœuvrables, il est possible de dégager le quai de toute glace avant l'accostage). Il est important de veiller à ne pas abîmer le quai lors du contact avec le navire, ou en projetant de la glace sur les piliers. Quant au navire, il peut lui aussi subir des dommages lors de la projection de gros floes non brisés contre la façade rigide d'un poste d'accostage.

MISE EN GARDE : IL FAUT METTRE LES MACHINES EN POSITION PARÉES À MANŒVRER EN TOUT TEMPS LORS D'UN ACCOSTAGE À UN QUAI SITUÉ DANS UNE RIVIÈRE OU DANS UNE ZONE DE FORTE MARÉE OÙ LES GLACES SONT EN MOUVEMENT.

Une fois le navire accosté, il faut tout mettre en œuvre pour le garder aligné et ne pas laisser de glaces se glisser entre le navire et le quai. Si le quai se trouve dans une rivière ou une zone de forte marée, il n'y a rien qui puisse maintenir l'alignement si les glaces sont en mouvement. La prudence dicte dans ce cas d'éloigner le navire du quai avant que la situation ne se détériore. L'état des glaces peut changer rapidement lorsque le navire est à quai et c'est pourquoi il est souhaitable de mettre les machines en position parées à manœuvrer en tout temps.

Figure 54 Accostage : expulsion des glaces par le remous pendant que la proue est amarrée avec une garde montante



4.8.4 Remorquage dans les glaces

Il est possible de remorquer un navire dans les glaces sur une longue distance, bien que la contrainte qui s'exerce sur le câble de remorque soit plus grande que lors d'un remorquage en eau libre, puisque le remorqueur ou le brise-glace subit les secousses de l'accélération ou du ralentissement causées par l'impact avec les glaces. Par contre, la contrainte peut être allégée si un brise-glace fraie la voie au brise-glace-remorqueur. Normalement, la Garde côtière canadienne ne procède pas à des opérations de remorquage, sauf en situation d'urgence. Il existe une longue tradition dans ce domaine dans la mer Baltique où les brise-glaces ont une encoche de remorquage à l'arrière et sont munis de treuils et de câbles robustes pour que le navire remorqué puisse être tiré par la proue et assujéti à l'arrière du brise-glace-remorqueur. Il s'agit de la méthode de remorquage à couple serré, qui est considérée comme une méthode efficace dans les zones de couverture de glace uniforme.

MISE EN GARDE : LA MÉTHODE DE REMORQUAGE À COUPLE SERRÉ, COURAMMENT UTILISÉE EN EUROPE PAR LES BRISE-GLACES DANS LA MER BALTIQUE ET DANS LES EAUX RUSSES DU PASSAGE DU NORD-EST, N'EST PAS UTILISÉE DANS LES EAUX CANADIENNES.

Dans les années 1970 et au début des années 1980, il y a eu beaucoup d'opérations de remorquage dans les glaces de la mer de Beaufort par des brise-glaces ou des navires ravitailleurs-remorqueurs-manipulateurs d'ancres à l'occasion de déplacements de navires ou de plateformes de forage. L'expérience démontre que de telles opérations exigent des connaissances spécialisées en remorquage et en navigation dans les glaces, ainsi qu'un équipement spécialisé approprié. L'équipement de remorquage doit être robuste et permettre de fréquentes modifications de la longueur de câble. Il est recommandé d'utiliser des boudins amortisseurs ou

des chaînes anticavalement robustes. Les attelages doivent optimiser la manœuvrabilité pour que le navire-remorqueur et le navire remorqué puissent contourner les crêtes et les floes massifs.

Il est recommandé de doubler la remorque d'un câble plus faible, d'ordinaire une pantoire plus légère, qui se rompra avant la remorque ou l'attelage. Dans des zones de glaces difficiles, la remorque doit être maintenue la plus courte possible pour éviter qu'elle ne passe sous les floes en raison du poids du câble et de la caténaire formée par un câble plus long. Lorsqu'il dégage un navire coincé dans des glaces, le navire-remorqueur peut raccourcir la remorque pour que le remous de l'hélice lubrifie la coque du navire remorqué, mais il faut s'assurer de ne pas endommager ce dernier par un trop grand remous. Le remorquage dans les glaces est une manœuvre bien particulière que l'on ne doit pas entreprendre sans formation ni expérience.

4.8.5 Vitesse

Dans toute manœuvre ou tentative d'évitement des glaces, il faut se rappeler que la force de l'impact varie proportionnellement au carré de la vitesse. Ainsi, si la vitesse passe de 8 à 12 nœuds, l'intensité de l'impact avec tout bloc de glace fera plus que doubler. Cependant, **lorsqu'on navigue dans les glaces, il est très important de toujours demeurer en mouvement**. La vitesse que dicte la prudence dans des conditions glacielles données dépend de la visibilité, de la nature et de la concentration des glaces, de la cote glace du navire et des caractéristiques de manœuvre du navire (rapidité des arrêts).

4.8.6 Gestion des glaces

Là où un brise-glace sert à éviter que des glaces n'entrent en collision avec des ouvrages fixes comme des plateformes de forage, la technique de gestion des glaces entre en jeu. La flotte de brise-glaces et de navires ravitailleurs hauturiers dans l'Arctique canadien et américain participe à des activités de soutien des opérations de forage. Les brise-glaces tentent soit de briser les glaces à la dérive avant qu'elles n'atteignent une plateforme, soit d'écarter et de détourner les floes menaçants afin qu'ils contournent une plateforme. En situation de gestion des glaces, il est très important de se renseigner sur l'état actuel et futur des glaces pour optimiser le déploiement des brise-glaces.

4.9 REPÉRAGE DE DANGERS GLACIELS À PETITE DISTANCE

Bien que la vigilance du personnel de quart aide un navire à éviter de gros obstacles (comme les icebergs), il y a toujours lieu de prévoir un repérage à courte distance des dangers glaciels comme les petits icebergs ou les vieux floes. La navigation sur de courtes distances est une opération interactive ne se prêtant pas à l'application des techniques classiques de planification de traversée.

Deux catégories d'instruments facilitent le repérage des dangers à petite distance, à savoir les instruments visuels et les instruments radar. La catégorie d'instruments visuels comprend les projecteurs et les jumelles et la catégorie d'instruments radar (les radars de marine en bande X ou S et les nouveaux systèmes radars qui sont améliorés pour détecter la glace).

MISE EN GARDE : IL NE FAUT PAS COMPTER SEULEMENT SUR LE RADAR DE MARINE POUR REPÉRER LES GLACES, ET PLUS PARTICULIÈREMENT LES GLACES DE GLACIER.

4.9.1 Utilisation du radar pour le repérage des glaces

Le radar peut se révéler d'un grand secours pour la navigation dans les glaces durant les périodes de visibilité restreinte, à condition que les images soient correctement interprétées. La glace constitue une mauvaise cible radar au-delà de 3 ou 4 milles marins et les meilleurs résultats s'obtiennent à une distance de 2 à 3 milles marins. Les échos radar de toutes les formes de glaces (même des icebergs) sont beaucoup plus faibles que ceux d'un navire en raison de la réflectivité de l'énergie des signaux radar provenant de la glace (et plus particulièrement de la neige), moins grande que celle provenant de l'acier. La détection de

cibles glacielles compactes ou lisses est encore plus difficile sur l'écran radar, bien que les données radar puissent jouer un rôle décisif quand on tente de localiser de telles cibles dans de mauvaises conditions comme en haute mer, dans le brouillard ou parmi les échos produits par une neige épaisse. Ainsi, dans des glaces concentrées, la mauvaise réflectivité et la surface lisse d'un floe peuvent produire sur l'affichage radar l'aspect d'une nappe d'eau libre; les échos produits par des oiseaux en mer calme peuvent faire croire qu'il s'agit de floes. Les zones d'eau libre et les floes au relief adouci se présentent à peu près de la même façon sur l'affichage radar, si bien que l'opérateur peut facilement les confondre. Dans un champ de glace, la bordure d'un floe lisse est bien marquée, tandis que la limite d'une zone d'eau libre ne l'est pas. Le navigateur doit se garder de tout excès de confiance dans ces circonstances.

Par vents forts, les vagues, qui en eau libre produisent des échos parasites sur l'écran radar, se répartissent uniformément sur toute la surface de l'eau, sauf en zone calme sous le vent.

Les glaces qui se trouvent à moins d'un mille de la côte ou qui se rattachent à celle-ci semblent faire partie de la masse terrestre sur l'affichage radar, mais l'opérateur parviendra à les distinguer en diminuant le gain du récepteur. Les navigateurs ne devraient pas se fier uniquement au radar pour repérer les icebergs, puisque ces derniers peuvent ne pas constituer une cible bien définie. Les navigateurs doivent en particulier faire preuve de prudence lorsqu'ils font route dans des secteurs où des glaces et des icebergs sont présents. L'absence d'échos parasites sur l'écran radar produit par la mer peut également révéler la présence de glaces. Les crêtes sont bien visibles sur l'affichage radar, mais il est difficile de les distinguer du sillage refermé d'un navire ou des glaces empilées, l'aspect radar étant le même dans les trois cas.

L'efficacité du radar de marine variera selon les puissances et les longueurs d'onde. Le réglage optimal ne sera pas le même pour la navigation dans les glaces et en eau libre. La réflectivité radar des glaces étant beaucoup plus faible que celle des navires ou des terres, on devra moduler le gain pour assurer une bonne détection. En règle générale, les radars puissants sont préférables, car il a été démontré que les radars de 50 kW détectent mieux les glaces que ceux de 25 kW. De même, les radars de 3 cm (bande X) détaillent davantage les glaces, alors que les radars de 10 cm (bande S) font voir les glaces et les crêtes à une plus grande distance; il est donc recommandé d'utiliser ces deux longueurs d'onde.

MISE EN GARDE : LE RADAR DE MARINE EST UN IMPORTANT INSTRUMENT DE REPÉRAGE DES GLACES DE MER ET DES ICEBERGS. CEPENDANT, IL NE FAUT PAS COMPTER SEULEMENT SUR LE RADAR DE MARINE POUR REPÉRER LES GLACES LORSQUE LA VISIBILITÉ EST MAUVAISE, CAR IL N'EST PAS CERTAIN QUE LE RADAR DÉTECTERA TOUS LES TYPES DE GLACE ET TOUTES LES TAILLES DE GLACE. DE PLUS, LE RADAR NE DISTINGUERA PAS LA VIEILLE GLACE DE LA GLACE DE PREMIÈRE ANNÉE.

4.9.2 Radars de navigation dans les glaces

Les radars de marine classiques sont conçus pour détecter des cibles et les éviter. Les radars de marine améliorés offrent une image à plus grande définition de la glace dans laquelle le navire fait route et peuvent aider l'utilisateur à reconnaître certaines caractéristiques de la glace. Il existe différents radars de marine améliorés et optimisés pour la navigation dans les glaces. Les figures 55 à 58 comparent des images produites au moyen d'un radar en bande X courant et d'un radar en bande X amélioré installé à bord d'un brise-glace de la Garde côtière canadienne. Le signal analogique du radar en bande X (azimut, vidéo, déclenchement) est converti par une interface radar modulaire et affiché sous forme d'une image vidéo numérique de 12 bits (1024×1024). Sur l'image du radar de marine amélioré, le trait de côte est plus précis; les icebergs, les fragments d'icebergs et les bourguignons, plus petits, sont visibles à de plus grandes distances. Sur l'image d'un radar courant, les échos parasites produits par la mer gênent le repérage des cibles plus petites à proximité du navire. Le radar en bande X produira des images plus précises de la glace à courte distance, principalement en-deçà de 4 milles nautiques, lorsqu'on utilise la courte impulsion du

radar. La forme des floes de glace, des crêtes, de la glace empilée, et des zones d'eau libre sont aussi mieux définies sur un radar de marine amélioré, et particulièrement lorsque l'onde de courte impulsion est utilisée.

Figure 55 : Image produite au moyen d'un radar en bande X courant

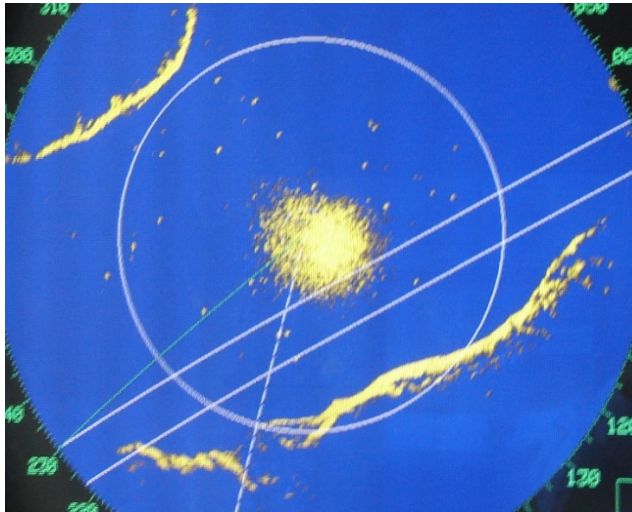


Figure 56 : Image produite au moyen d'un radar en bande X amélioré

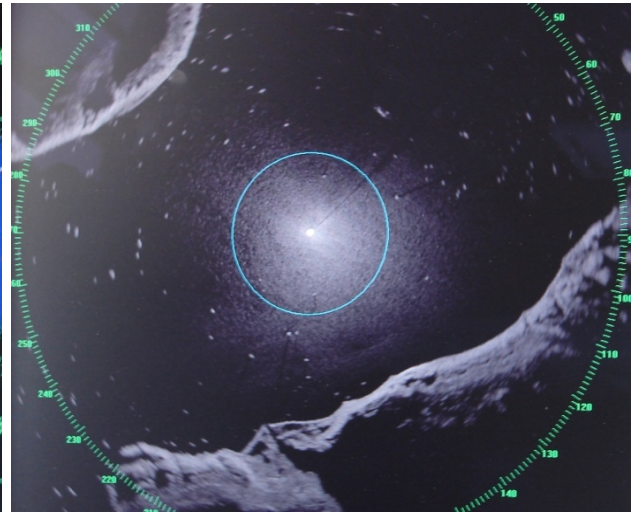


Figure 57 : Image produite au moyen d'un radar en bande X courant

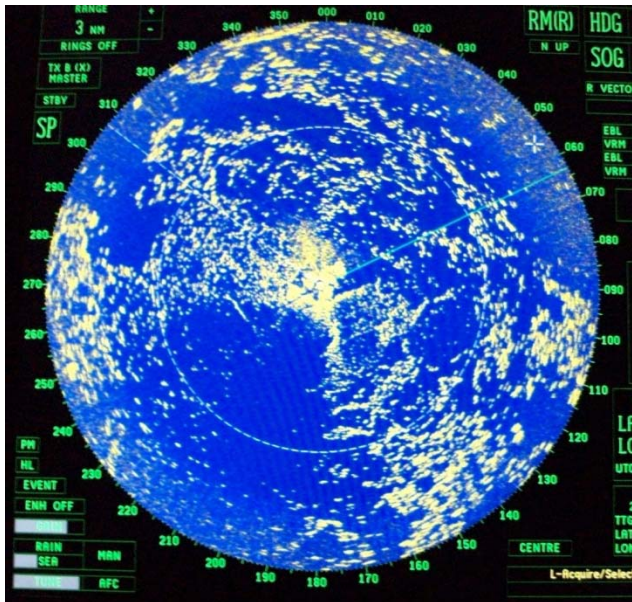
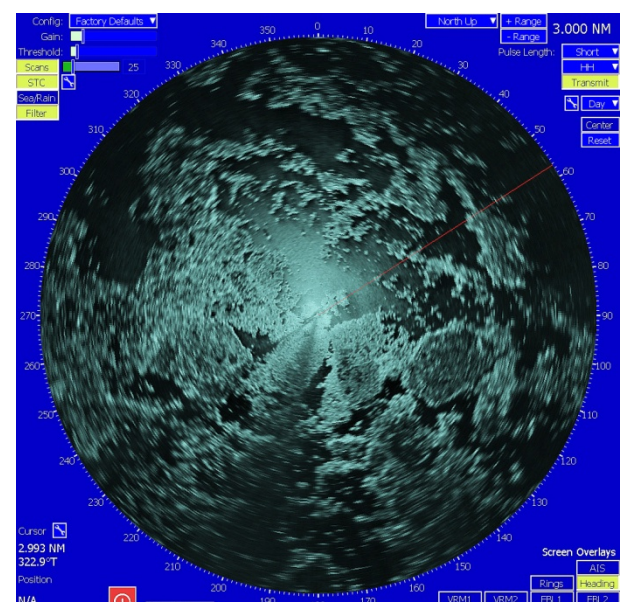


Figure 58 : Image produite au moyen d'un radar en bande X amélioré



Les expériences réalisées avec des radars à polarisation croisée montrent qu'il est possible d'améliorer les écrans radar pour mieux repérer les vieilles glaces et les glaces de glacier. Des progrès s'accomplissent aussi en matière de conception de systèmes à bord des navires qui utilisent des radiomètres à hyperfréquences passifs pour mesurer l'émissivité naturelle de la glace (capacité relative de sa surface à dégager de l'énergie par rayonnement), produisant des images assimilables à celles du radar et susceptibles d'être relevées de couleurs pour distinguer l'eau libre des divers types de glace.

4.9.3 Icebergs

Normalement, les icebergs présentent une grande partie émergée et, de ce fait, ils sont faciles à repérer visuellement (par temps clair) ou au radar de bord. Lorsque la visibilité est mauvaise ou nulle, on doit compter sur le radar. L'écho radar produit par un iceberg dont la partie émergée est petite, la surface lisse ou avec une couverture de neige épaisse est moins évident, surtout si l'iceberg est entouré d'échos brillants de la mer ou d'échos parasites produits par les glaces. Suivant leur taille, leur aspect et leur façon de se déplacer, les icebergs peuvent être repérés dans un rayon de 4 à 15 milles marins ou plus dans le cas des très gros icebergs, mais en cas de brouillard, de pluie ou d'autres conditions qui affectent les échos radar, la capacité de détection diminue. Les icebergs peuvent ne pas produire de cibles bien définies, mais la zone de l'affichage radar située directement derrière eux peut être exempte d'échos parasites. Les cibles radar produites par les icebergs occasionneront parfois une « ombre-radar » sur leur côté éloigné, cachant ainsi d'autres cibles. Toutefois, il est possible dans certains cas de repérer un iceberg parmi les échos parasites sur l'écran radar en s'éloignant de l'observateur radar. Un gros iceberg ayant une longue pente douce peut ne pas fournir de surfaces réfléchissantes suffisantes pour apparaître sur l'écran radar. Par conséquent, l'absence de cibles radar ne doit pas être interprétée comme une absence d'icebergs dans les environs.

MISE EN GARDE : IL NE FAUT PAS S'EN REMETTRE UNIQUEMENT AU RADAR DE MARINE POUR REPÉRER LES ICEBERGS, LES FRAGMENTS D'ICEBERG ET LES BOURGUIGNONS DANS LE BROUILLARD ET L'OBSCURITÉ.

L'observation révélera que l'ombre s'accroît à l'approche de l'iceberg et tourne si l'angle que forment le navire et l'iceberg change. Il faut toutefois faire preuve de prudence dans l'emploi de cette technique, car l'écho produit par la banquise est susceptible d'obscurcir celui produit par l'iceberg.

Lorsque le navire se rapproche de l'iceberg, la cible radar diminue et peut en fait disparaître à très petite distance, auquel cas il n'y aura que l'ombre pour trahir la présence de l'iceberg. C'est pourquoi il importe de pointer un iceberg (qui n'a pas fait l'objet d'un repérage visuel) qu'un navire approche jusqu'à ce qu'on ait franchi le point le plus près soit passé.

4.9.4 Fragments d'iceberg

De temps à autre, des morceaux de glace se détachent, ou vèlent, d'un iceberg. Les gros morceaux sont des fragments d'iceberg et les petits, des bourguignons. Alors que les icebergs se déplacent principalement sous l'effet des courants à cause de leur important tirant d'eau, les fragments d'iceberg et les bourguignons sont surtout mus par le vent et passeront sous le vent de l'iceberg (figure 59). C'est ce qui se produit généralement, mais l'effet de puissants courants de marée peut modifier le tableau. Cependant, à cause de l'influence du vent sur les fragments d'icebergs et les bourguignons, il est souhaitable, si cela est possible, de passer du côté du vent des icebergs pour éviter ces fragments et ces bourguignons.

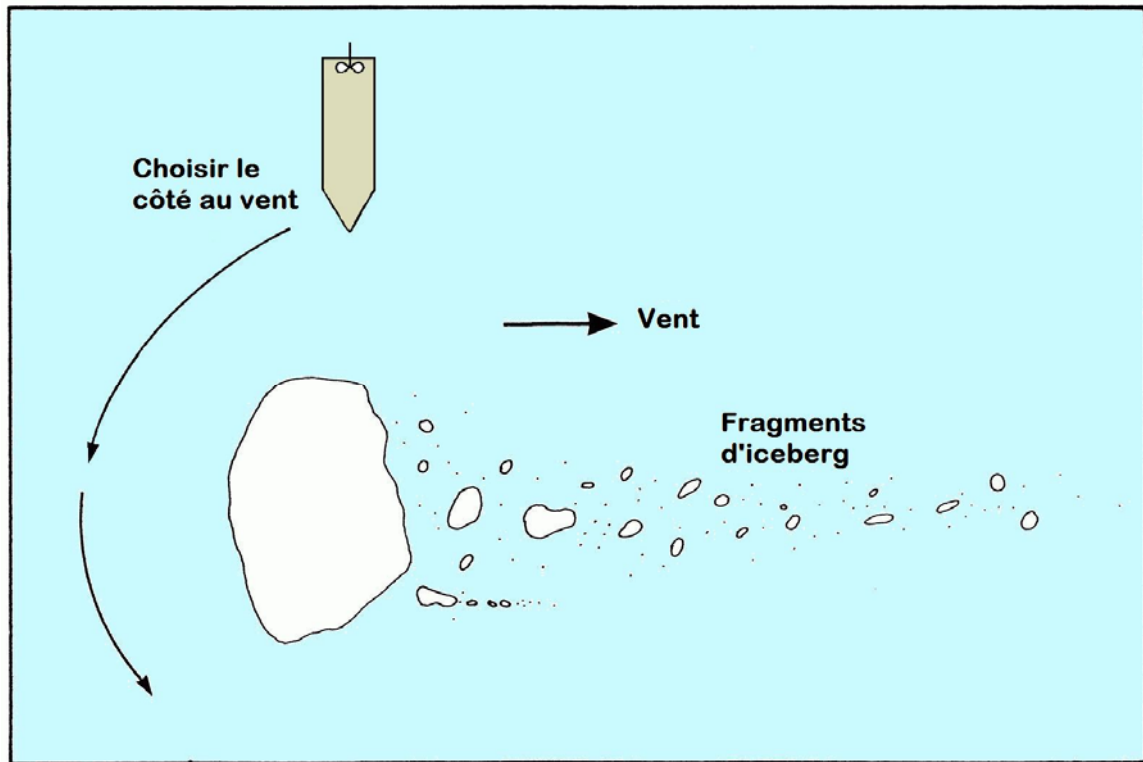
La distance de doublement d'un iceberg est fonction des circonstances, mais il faut se rappeler que :

- 1) plus le navire passe près de l'iceberg, plus il s'expose à rencontrer des fragments d'iceberg;
- 2) il faut éviter de passer trop près de l'iceberg parce que sa partie immergée peut saillir à quelque distance de son extrémité visible.

Le repérage visuel des fragments d'iceberg dépend du degré de visibilité, ainsi que de la faible activité de la mer ou de l'état des glaces (surface relativement lisse). Lorsqu'il y a beaucoup de vent, la présence de fragments d'iceberg peut être signalée par des embruns projetés vers le haut par des vagues heurtant la glace, alors que la glace elle-même demeure invisible. Au moyen du radar, il est relativement facile de distinguer ces fragments (dans les eaux où on en trouve) d'une zone d'eau libre ou d'une couverture lisse de glace de première année, si leur hauteur est suffisante pour que leur écho se démarque de ceux de l'eau ou de la glace. Il faudrait vérifier soigneusement l'affichage radar pour y relever les ombres révélatrices de fragments d'iceberg moins hauts ou se trouvant dans des glaces ou dans des eaux qui produisent davantage d'échos parasites.

Le repérage de fragments d'iceberg au radar est difficile dans la banquise, surtout s'il existe des chevauchements de glaces, des crêtes ou des hummocks, qui causent de la rétrodiffusion et qui peuvent créer des ombres occultant les fragments. La détection devient particulièrement ardue dans la banquise lâche, car les ombres-radar distinguables derrière les fragments bas sont petites et difficiles à distinguer des échos foncés produits par l'eau libre entre les floes. Il faut éviter les fragments comme on évite les icebergs, mais on peut passer plus près parce que la partie immergée des fragments d'iceberg est peu susceptible de s'étendre aussi loin que celle des icebergs.

Figure 59 : Manœuvre de contournement d'un iceberg et de fragments d'iceberg



4.9.5 Bourguignons

Du fait de leur relief lisse et de leur petite partie émergée, les bourguignons sont le type de glace de glacier le plus difficile à repérer (tant visuellement qu'au radar) et c'est pourquoi ils constituent la forme la plus dangereuse de glace. En eau libre ou bergée quand les conditions météorologiques sont bonnes, la détection visuelle des bourguignons est possible à 2 ou 3 milles marins du navire, contrairement à la détection radar, qui est possible à 0,5 mille marin seulement. Lorsque les conditions météorologiques sont très mauvaises, un bourguignon peut ne pas être repéré en haute mer ou parmi les échos parasites produits par la mer sur l'écran radar. De plus, dans une forte houle, un bourguignon peut être submergé pendant le passage de deux ou trois ondulations de la houle, rendant difficile sa détection, quelle que soit la méthode utilisée. La détection au radar ou visuelle peut se limiter à 0,5 mille marin d'un navire, lorsqu'elle est possible. Il importe de surveiller constamment le réglage radar et notamment le bouton d'accord (radar à accord manuel), pour s'assurer que l'appareil fonctionne à son plein rendement. Il peut être utile de varier les réglages, mais il faut veiller à accorder le radar à nouveau après toute modification. On a parfois intérêt à repérer un bourguignon visuellement, puis à accorder le radar pour un retour maximal.

Par temps clair, il peut être possible de repérer visuellement les bourguignons se trouvant dans une couverture de glace (parce qu'ils sont souvent d'un aspect transparent, vert ou sombre), mais il est souvent impossible d'en distinguer les échos parasites de ceux des glaces environnantes sur l'image radar. Comme on ne peut localiser avec précision chaque bourguignon parmi des floes, il faut établir une vitesse sécuritaire lorsqu'on navigue au radar dans des eaux couvertes de glaces.

MISE EN GARDE : LES BOURGUIGNONS SONT PRESQUE IMPOSSIBLES À DÉTECTER AU RADAR. ILS CONSTITUENT UNE MENACE REDOUTABLE POUR LES NAVIRES. IL FAUT PRÉVOIR UNE SURVEILLANCE VISUELLE ET UNE SURVEILLANCE RADAR CONSTANTES DANS TOUTE RÉGION OÙ DES BOURGUIGNONS PEUVENT SE TROUVER.

4.9.6 Vieux floes

Les vieux floes sont surtout repérés visuellement, car il est impossible de distinguer au radar de marine la glace de première année de la vieille glace. On peut réduire les distances parcourues dans de vieilles glaces en consultant des cartes d'analyse des glaces pour éviter les zones de forte concentration de vieilles glaces, mais les navigateurs doivent rester à l'affût de ces dernières, même dans des zones où les cartes n'en signalent pas. Lorsque les conditions météorologiques sont bonnes, la détection visuelle est possible jusqu'à 1 ou 2 milles marins du navire. Les vieilles glaces diffèrent des glaces de première année par leur surface arrondie et érodée, leur teinte bleutée, leur partie émergée plus haute et l'existence d'un réseau bien défini de canaux d'eau de fonte. La vieille glace se rencontre un peu partout dans l'Arctique canadien, la baie de Baffin, les détroits de Davis et d'Hudson et le bassin Foxe et elle s'observe à l'occasion dans la mer du Labrador, au large de la côte nord-est de Terre-Neuve et dans les Grands Bancs. Elle ne représente pas un danger dans le détroit de Cabot, dans le golfe du Saint-Laurent, dans les Grands Lacs et dans le fleuve Saint-Laurent.

4.9.7 Visibilité

La navigation dans des conditions de visibilité restreinte causée par des précipitations, par le brouillard ou par l'obscurité est inévitable dans des eaux couvertes de glaces ou à proximité. Ainsi, il se peut qu'une traversée des glaces doive se poursuivre la nuit ou dans le brouillard, ce qui est fréquent dans l'Arctique en saison d'eau libre, et la visibilité est souvent réduite l'hiver par la poudrière dans le golfe du Saint-Laurent. Il faut tout mettre en œuvre pour réduire le plus possible les risques de collision avec des glaces lorsque la visibilité est restreinte et pour se conformer au Règlement pour prévenir les abordages en mer. Il faut notamment s'efforcer :

- d'établir une **constante** surveillance visuelle et radar;
- d'utiliser des projecteurs la nuit (ce qui pourrait être inefficace dans le brouillard ou durant des précipitations en raison de l'éblouissement par réflexion);
- de réduire la vitesse avant de s'engager dans un champ de glace lorsque la visibilité est mauvaise, et de ne pas augmenter la vitesse avant de bien connaître les dangers;
- de diminuer la vitesse dans **toute situation de navigation dans les glaces** où le rapport entre vieille glace, glace de glacier et glace de première année indique que les risques de collision avec des glaces dangereuses se multiplient sensiblement;
- de repérer les icebergs, les fragments d'iceberg et les bourguignons au radar de marine avant que leur écho soit occulté par les échos parasites produits par la mer ou les glaces, ainsi que de suivre ces cibles au moyen de l'aide au pointage radar automatique (ARPA);
- de changer les distances pour optimiser la détection radar d'icebergs lorsqu'on navigue dans la banquise;
- de se servir du radar pour détecter les icebergs et les fragments d'iceberg en observant leur ombre-radar dans une couverture de glace mixte;
- de reconnaître la difficulté de repérer au radar de marine les glaces de glacier et les vieilles glaces dans une banquise lâche lorsqu'on ne peut guère discerner d'ombres-radars.

Beaucoup d'opérations d'escorte se font dans le brouillard lorsque le navire escorté doit maintenir une distance requise derrière le brise-glace en se servant du radar. Si le brise-glace ralentit brusquement ou que

l'on perd sa position sur l'écran radar, une collision risque de se produire. Il importe dans ces situations de garder le contact radio VHF et de surveiller continuellement la distance radar entre les navires.

Figure 60 L'utilisation de projecteurs est essentielle en transit de nuit



4.10 PLANIFICATION DES TRAVERSÉES

Cette section vise à fournir la marche à suivre en matière d'acquisition et d'utilisation de renseignements pouvant servir à planifier des traversées dans les glaces ou aux environs. Rien dans les consignes présentées ici ni dans ce qui en découle ne peut primer sur l'autorité du capitaine ni dispenser l'officier de quart d'exercer ses responsabilités normales et d'observer les bonnes pratiques en matière de matelotage.

Pour les traversées d'eaux couvertes de glaces, la planification de la route est fondée sur des principes normalisés de navigation (résolution A.893(21) de l'Organisation maritime internationale, intitulés *Directives pour la planification du voyage* et adoptée le 25 novembre 1999). L'existence de glaces de mer le long de l'itinéraire planifié donne plus d'importance à la pratique traditionnelle de planification des traversées, rendant nécessaire un examen constant de la planification en cours de route.

La planification des traversées comporte deux étapes :

- a) La phase stratégique, lorsque le navire est dans un port ou en eau libre;
- b) La phase tactique, lorsque le navire se trouve à proximité ou à l'intérieur d'une zone d'eau couverte de glaces.

La planification, tant stratégique que tactique, se divise en quatre étapes :

- L'évaluation;
- La planification;
- L'exécution;
- La surveillance.

La phase stratégique peut être considérée comme étant à petite échelle (grand secteur), dans l'hypothèse où le navire sera à l'extérieur d'une zone d'eaux couvertes de glaces et à des jours ou des semaines de rencontrer de la glace. Elle peut être revue plusieurs fois avant que ne commence la phase tactique, qui elle peut être considérée comme à grande échelle (petit secteur) et revue continuellement au fur et à mesure que la traversée se déroule.

La planification des traversées en eau libre est un processus fixe dans lequel les renseignements sont recueillis en majeure partie, sinon en totalité, avant que le navire ne quitte le quai. Le caractère localisé de certaines données de planification de traversée dans les glaces en zone arctique indique qu'il se peut que les renseignements ne soient disponibles que lorsque le navire s'engage dans les eaux canadiennes. La quantité et l'étendue de ces données dépendent du type de traversée. Les traversées les plus difficiles, celles qui se font, par exemple, en début ou en fin de saison, mobilisent donc plus de ressources comme les brise-glaces, et nécessitent des rapports plus fréquents sur l'état actuel des glaces et des prévisions appropriées sur l'état des glaces. En ce qui concerne la planification des traversées en eaux couvertes de glaces, particulièrement dans l'Arctique, il s'agit d'un processus évolutif qui exige de la souplesse au niveau de la planification et de l'exécution.

Effectif de passerelle

Il est recommandé de renforcer la surveillance lorsqu'on s'engage dans une zone de glaces ou s'en approche, en raison des dangers liés à la navigation dans les eaux couvertes de glaces. Une telle navigation peut être épuisante et les capitaines doivent veiller à ne pas présumer de leurs forces, même s'ils doivent pour ce faire doubler le nombre d'officiers de quart sur la passerelle ou stopper leur navire la nuit pour ménager une période de repos suffisante non seulement pour le personnel sur la passerelle, mais aussi pour celui de la salle des machines, qui pourrait être appelé à effectuer des manœuvres ou à dégager les crépines d'aspiration, par exemple, pendant de longues périodes.

4.10.1 Phase stratégique

Évaluation

À ce stade, toutes les sources de renseignements utiles à la planification de traversées en eau libre sont exploitées, ainsi que toutes les sources permettant de dresser un tableau de l'état des glaces le plus complet possible. Il faut donc s'enquérir de la disponibilité des données sur les glaces du Service canadien des glaces auprès des centres des Services de communications et de trafic maritimes (SCTM) de la Garde côtière canadienne (indicatif d'appel VFF pour Iqaluit et VFR pour la baie Resolute en ce qui concerne les eaux arctiques, et VFH pour Halifax en ce qui concerne le secteur maritime de l'Est), par télécopieur (éventuellement) en passant par l'Organisation internationale de télécommunications maritimes par satellite (INMARSAT), au moyen du satellite de télécommunications du service mobile (MSAT), ou auprès de sites Web spécialisés comme le site d'Environnement Canada (<http://www.ec.gc.ca/glaces-ice/>), où l'information relative à l'état des glaces est disponible en tout temps.

Planification

La planification stratégique est un exercice prospectif qui vise à évaluer les conditions glacielles qu'un navire est susceptible de rencontrer le long de l'itinéraire prévu. Elle repose sur les prévisions météorologiques et les publications disponibles sur la climatologie des glaces de la région à traverser, ainsi que sur les documents nautiques habituels. La planification peut durer des heures, des jours ou même des mois selon les routes, les destinations et la nature de l'environnement de glace à traverser.

NOTA : *Pour les navires non renforcés pour les glaces et qui suivront les indications d'un centre des opérations dans les glaces de la Garde côtière canadienne, le travail à ce stade est semblable à celui qu'exige une traversée ordinaire.*

Le capitaine élaborera une route vers sa destination en s'appuyant sur les données issues de l'étape de l'évaluation et tracera cet itinéraire sur les cartes appropriées. Les principes qui entrent en jeu à ce stade sont ceux qui régissent la planification d'une traversée en eau libre. Il faut établir l'itinéraire en ayant à l'esprit les limites suivantes des éléments du système de navigation dans les glaces :

- disponibilité des renseignements sur les glaces;
- efficacité amoindrie du repérage visuel des dangers glaciels lors des traversées en fin de saison ou en période hivernale;
- difficulté accrue du repérage des dangers glaciels dans les cas où une banquise lâche est conjuguée à une visibilité restreinte.

Autres renseignements pouvant être portés sur les cartes :

- lisière de glace prévue, zones de banquise serrée et lisière de la banquise côtière;
- zones d'eau libre où on peut avoir à affronter une banquise d'une certaine taille, comme les glaces de l'Est du Groenland aux abords méridionaux du massif groenlandais;
- distance sécuritaire d'évitement de zones dont on sait qu'elles sont infestées d'icebergs, comme les eaux au large du cap Farvel et de l'île Disko, au Groenland;
- régions importantes sur le plan écologique où le cap, la vitesse ou les activités sur les glaces peuvent faire l'objet de restrictions. Par exemple, la pêche sur la glace dans le fleuve Saint-Laurent et dans la rivière Saguenay, ou les traditionnelles routes de glace des Inuits dans l'Arctique.

Exécution

Une fois la planification de la traversée terminée, il faut arrêter le cadre tactique de l'exécution du plan. Pour estimer le moment de l'arrivée à destination, il est possible de se fonder sur les conditions glacielles auxquelles s'attendre en route. Il faut tenir compte des réductions de vitesse prévues ou des changements de cap importants dus à une visibilité restreinte, à la traversée d'une banquise consolidée, à des zones de forte concentration de vieille glace et aux retards d'obtention des renseignements. Il faut également songer au point de l'itinéraire où il sera nécessaire de ballaster le navire jusqu'au tirant d'eau glacial et de ralentir la marche.

Enfin, il faut penser au moment où il faudra renforcer les vigies ou doubler les postes de quart en prévision d'une pénétration dans les glaces ou d'une approche de zones de visibilité restreinte ou de zones infestées d'icebergs, de fragments d'iceberg ou de bourguignons.

Surveillance

Il faut continuer à surveiller la route jusqu'à l'atteinte de la zone couverte de glaces. À l'approche d'une telle zone, on dispose de renseignements sur les glaces plus nombreux et de meilleure qualité (grâce aux analyses et aux prévisions du Service canadien des glaces), ce qui permet d'estimer plus précisément la date d'arrivée et aussi de déterminer un changement de cap.

Il faut refaire une ou plusieurs fois l'évaluation stratégique à l'approche d'une zone de glaces selon la quantité de nouveaux renseignements que l'on reçoit.

NOTA : *Tous les navires doivent être à l'écoute des mises à jour d'instructions de route des centres des opérations dans les glaces de la Garde côtière canadienne.*

4.10.2 Phase tactique

Si on ne dispose pas de renseignement détaillé sur les glaces avant d'atteindre des eaux couvertes de glaces, le navire peut être limité à la route tracée lors de la planification stratégique plutôt qu'à une route proprement tactique. Il faut tout mettre en œuvre pour obtenir des données détaillées sur l'état des glaces, particulièrement lorsqu'on est susceptible de rencontrer une banquise consolidée, de grandes concentrations de vieille glace ou des glaces très mobiles.

Évaluation

L'obtention de renseignements tactiques se fait principalement (mais non pas exclusivement) par l'acquisition de cartes d'observation et d'analyse des glaces du Service canadien des glaces. Pour recevoir ces cartes, il faut disposer à bord du navire d'un télécopieur pouvant être calé sur les fréquences requises. D'autres données peuvent provenir du radar de marine (bandes X et S), d'observations visuelles et d'images

radar traitées. Les cartes des glaces sont téléchargeables à partir du site Web du Service canadien des glaces lorsqu'une liaison téléphonique par satellite est disponible.

Les données d'observation (visuelle) héliportée peuvent aussi s'avérer précieuses, lorsqu'il y en a.

Planification

La planification tactique peut se faire de la même façon que celle des traversées en eau libre sur des cartes à grande échelle, mais si on a pu obtenir d'autres renseignements, il est possible de tracer la route sur une carte à petite échelle. Une planification ainsi enrichie de données supplémentaires signifie que l'on trace son itinéraire pour tirer avantage de conditions glacielles optimales. Il s'agit dans ce cas :

- de trouver des chenaux d'eau libre;
- de trouver des chenaux de glace de première année dans une banquise serrée ou dans des champs de vieille glace;
- d'éviter les zones de glace tourmentée;
- d'éviter les zones de pression effective ou éventuelle.

Une fois l'itinéraire tracé, il faut le reporter sur des cartes à grande échelle et vérifier si la bathymétrie convient. Les deux sources doivent être conciliées pour que la meilleure route soit également la plus sûre. L'itinéraire étant établi, on peut juger nécessaire de recueillir d'autres données.

Exécution

Une fois la route déterminée, on peut réviser le moment prévu de l'arrivée. Il faut tenir compte de toute variation des conditions météorologiques, et notamment de la visibilité ou de la direction et de la vélocité des vents avant de mettre le plan à exécution, car ces aspects sont importants pour l'évaluation des zones de pression ou le repérage des chenaux d'eau libre.

Surveillance

Il faut surveiller la progression de la traversée sur la carte par les moyens traditionnels pour pouvoir poursuivre la navigation dans les glaces.

4.11 PRINCIPES DE NAVIGATION À DE HAUTES LATITUDES

La navigation à de hautes latitudes demande beaucoup de soin quant à la procédure à appliquer et aux renseignements à utiliser. L'éloignement de l'Arctique et la proximité du pôle Nord magnétique ont une incidence sur les cartes fournies et les instruments de navigation à employer avec elles. Dans cette section, il sera question de quelques-uns de ces effets et de certaines limites qu'accusent les cartes et les instruments en usage dans l'Arctique.

4.11.1 Instruments de navigation

Les exigences relatives aux équipements pour naviguer dans les eaux canadiennes au nord du 60° de latitude nord dans une zone de contrôle de sécurité de la navigation sont décrites dans le *Règlement sur la Sécurité de la navigation*. En bref, les éléments suivants sont requis :

- 2 radars;
- 2 gyrocompas;
- 2 échosondeurs, chacun muni d'un transducteur indépendant ;
- 2 projecteurs et deux ampoules de rechange ;
- récepteur météo fac-simile; et
- antenne de rechange.

4.11.2 Cartes marines et publications nautiques du Service hydrographique du Canada

En ce qui concerne l'Arctique, les cartes papier, cartes marines électroniques et cartes matricielles de navigation peuvent être de mauvaises qualités en raison du manque de levés hydrographiques récents. Bon nombre de ces cartes couvrent des régions inadéquatement relevées ou sont fondées sur d'anciens levés où

des sondages ponctuels seulement ont été recueillis, ou encore où les données ont été recueillies le long d'une seule route. Les navigateurs doivent être conscients de ces limites.

Deux préoccupations sont liées à l'emploi de cartes dans l'Arctique : les projections irrégulières utilisées par rapport aux eaux du sud et la précision des levés. Si la sécurité de la navigation dépend toujours de la disponibilité de cartes marines et de publications nautiques à jour, la navigation dans l'Arctique nécessite des connaissances particulières et les navigateurs doivent utiliser toutes les sources de mises à jour, y compris les *Avis aux navigateurs* et les Avis à la navigation diffusés, pour s'assurer de toujours avoir les cartes papier, les cartes marines électroniques et les publications nautiques les plus à jour.

Projections

En compensation de la convergence des méridiens à proximité du pôle, l'échelle des parallèles se trouve progressivement déformée. Dans l'Arctique, la distorsion de la latitude des projections de Mercator est telle que ces projections ne sont utiles que dans les cartes à grande échelle. Plus on s'élève en latitude, plus le recours à la loxodromie pour les relèvements visuels devient problématique, car cela nécessite des corrections de convergence sans cesse plus importantes.

Dans l'Arctique, les projections courantes sont les projections coniques conformes de Lambert, les projections polyconiques et les projections stéréographiques polaires. Ces dernières sont répandues, car la distorsion y est minimale pour des secteurs relativement grands. Ces projections sont utilisées sur environ 30 % des cartes marines nordiques du Service hydrographique du Canada. Lorsqu'on change de carte, la grande diversité de projections accroît l'importance de la vérification du type de projection et des mises en garde concernant les distances et les relèvements, par exemple. Ainsi, il est habituel, avec les cartes de Mercator, d'utiliser l'échelle de latitude pour la distance, ce qui est impossible avec les cartes polyconiques. On doit être particulièrement prudent lorsqu'on porte le point sur la carte à de hautes latitudes, puisqu'une correction de convergence peut s'imposer même pour des relèvements visuels. Pour éviter les corrections requises par l'utilisation de relèvements au compas pour déterminer les positions, trois portées radar d'éléments connus peuvent fournir une position précise.

MISE EN GARDE : DANS L'ARCTIQUE, COMME DANS TOUTE AUTRE RÉGION, IL FAUT VÉRIFIER LA PROJECTION CARTOGRAPHIQUE AVANT D'UTILISER UNE CARTE. IL FAUT AUSSI ÊTRE CONSCIENT QUE DIFFÉRENTES PROJECTIONS PEUVENT ÊTRE UTILISÉES SUR LA MÊME CARTE.

Précision

La précision des cartes de l'Arctique peut grandement varier selon la date des levés et les technologies disponibles à ce moment-là. Les levés des régions les plus fréquentées, qu'il s'agisse du détroit de Lancaster, du détroit de Barrows ou des environs de Nanisivik, sont relativement corrects, mais beaucoup de cartes s'appuient sur des données de photographie aérienne (où intervient la triangulation au sol) jointes à des lignes de sonde provenant de missions de reconnaissance ou de sondages ponctuels par hélicoptère, recueillis en de nombreux endroits distincts. Jusqu'à maintenant, les levés et les cartes conformes aux normes actuelles couvrent seulement 10 % de l'Arctique. En d'autres termes, le Service hydrographique du Canada a acquis des profils bathymétriques continus et a enregistré les positions des navires hydrographiques au moyen de systèmes de radiocommunication modernes ou de systèmes de localisation par satellite répondant aux normes internationales actuelles en matière de levé hydrographique. Le Service hydrographique du Canada a aussi effectué des analyses détaillées là où les données indiquaient des diminutions possibles de la profondeur marine. De façon générale, plus les levés sont récents, plus les résultats sont fiables et précis. Les levés les plus récents ont souvent consisté, mais pas toujours, à insonifier la totalité du fond en utilisant un sonar multifaisceaux, des systèmes à balayage à transducteurs multiples et des systèmes de bathymétrie par laser aéroportés.

Les nouvelles versions des cartes marines peuvent contenir un mélange de données anciennes et nouvelles et la présence de courbes bathymétriques sur les nouvelles cartes ne veut pas dire que l'information est nouvelle.

Voici certaines précautions à prendre lorsqu'on consulte des cartes marines de l'Arctique :

- Vérifier la projection et comprendre ses limites;
- Vérifier la date des levés hydrographiques et examiner le diagramme de classification des sources;
- Utiliser l'azimut-distance pour reporter des positions entre cartes;
- Vérifier s'il s'agit de sondages de mission de reconnaissance;
- Utiliser la carte à plus grande échelle disponible;
- Vérifier la méthode de mesure des distances et de prise des relèvements;
- Mettre à jour les cartes marines et les publications nautiques en surveillant les *Avis aux navigateurs*, les *Avis à la navigation* et toute autre source pour rechercher des corrections de carte.

Il est important de noter que les cartes matricielles de navigation sont des versions électroniques des cartes papier et qu'elles ne fournissent normalement pas plus de précision. La plupart des cartes marines électroniques S-57 sont aussi des versions électroniques des cartes papier, mais en ce qui concerne l'Arctique, certaines cartes marines électroniques S-57 n'existent pas en version papier et sont donc fondées sur des levés récents. Il est par conséquent inévitable d'examiner les métadonnées dans le système électronique de visualisation des cartes marines pour évaluer ces renseignements.

4.11.3 Point de référence horizontale

L'un des principaux problèmes liés aux cartes de l'Arctique concerne le point de référence horizontale sur laquelle se fonde les cartes. Vu le nombre croissant de navires qui utilisent des systèmes de positionnement de précision, comme le système de localisation GPS ou le système mondial de satellites de navigation (GLONASS) de la Russie, ce problème ira en s'accroissant. Dans le cas du GPS, les positions sont transmises au Système géodésique mondial (WGS84), qui est pratiquement l'équivalent du Système de référence nord-américain de 1983 (NAD83). Il n'y a aucune correction à apporter si l'on navigue avec un GPS en utilisant une carte papier du NAD83. Par contre, si l'on veut représenter une position sur une carte papier du Système géodésique nord-américain de 1927 (NAD27), les corrections appropriées doivent être apportées manuellement. Les cartes marines électroniques émises par le Service hydrographique du Canada, qu'elles soient matricielles ou vectorielles, contiennent toujours des coordonnées établies d'après le NAD83.

Les navigateurs doivent toujours comparer les positions tracées sur les cartes électroniques avec les cartes papier ayant la plus grande échelle possible de la même région, puisque les renseignements fournis dans les différentes cartes électroniques offertes sur le marché peuvent varier grandement. Par exemple, la position d'un navire tracée sur une carte papier montrant qu'il navigue en eau profonde peut cependant montrer qu'il est à terre sur une carte électronique dont les détails relatifs au littoral sont insuffisants. À l'inverse, la position d'un navire donnée par un GPS, tracée selon ses coordonnées de latitude et de longitude sur une carte papier, peut indiquer que le navire est sur le littoral, alors que trois portées radar à partir du littoral indiquent qu'en réalité, le navire est bien à flot.

Nota : La valeur d'une carte marine dépend dans une grande mesure de la précision et du niveau de détail des levés sur lesquels elle est fondée.

La navigation dans l'Arctique exige beaucoup de prudence de la part des navigateurs, en particulier lorsqu'ils voyagent dans des zones mal cartographiées ou lorsqu'ils planifient de nouvelles routes. Il est possible d'obtenir des renseignements supplémentaires dans l'édition annuelle des *Avis aux navigateurs*, de même que dans le fascicule *Instructions nautiques*.

4.11.4 Compas

Le compas magnétique peut être imprévisible dans l'Arctique et il s'avère guère utile pour la navigation.

*Nota : Le compas magnétique dépend dans sa force directive de la composante horizontale du champ magnétique terrestre. Dans l'Arctique, plus on approche du pôle Nord magnétique, plus cette composante s'affaiblit, jusqu'à ce que le compas magnétique finisse par **perdre toute utilité en tant qu'instrument de mesure.***

Si on doit utiliser le compas, il faut en vérifier fréquemment l'erreur par observation astronomique et, comme le taux de changement de déclinaison augmente à mesure que l'on approche du pôle, il faut se reporter à la courbe ou à la rose de déclinaison de la carte. Dans les hautes latitudes, généralement au-dessus de 70° de latitude Nord dans l'Arctique canadien, le compas magnétique ne sera pas régler à moins que le navire garde le même cap pendant une longue période. On peut donc dire que le compas magnétique est pratiquement inutile au nord du détroit de Lancaster.

Le **gyrocompas** est aussi fiable dans l'Arctique qu'à des latitudes plus basses, et ce, jusqu'à environ 70° de latitude Nord. Au nord de ce parallèle, il faut en vérifier la précision avec soin. Même avec la compensation que donne un correcteur de latitude sur les compas de certaines marques, le gyrocompas continue à perdre de la force horizontale jusqu'à devenir inutilisable au nord du 85° de latitude Nord environ. Il est important de consulter le mode d'emploi du gyrocompas avant de gagner de plus hautes latitudes. Les nombreux changements de cap et de vitesse ainsi que les collisions avec les glaces peuvent nuire à la précision de l'instrument. C'est pourquoi, lorsqu'on navigue dans l'Arctique, il faut :

- contre-vérifier la position du navire avec d'autres systèmes de navigation, comme les systèmes électroniques de localisation de la position, avec lesquels il est possible de comparer l'historique de la route avec la route suivie (compte tenu des vents et des courants);
- vérifier l'erreur du gyrocompas chaque fois que les conditions atmosphériques le permettent, soit par azimut, soit par amplitude;
- utiliser le GPS, lorsqu'on se trouve en hautes latitudes près du pôle Nord, puisqu'il s'agit de la solution de rechange au gyrocompas la plus juste pour s'orienter. S'il fonctionne correctement, le GPS peut aussi servir à corriger la route par rapport au cap.

4.11.5 Sondages

Lorsqu'on se trouve dans des zones où les levés hydrographiques sont insuffisants ou anciens, il est recommandé de se servir de l'échosondeur pour relever les rochers ou les hauts-fonds non encore repérés, bien qu'il soit douteux que l'échosondeur avertisse le navigateur suffisamment à temps pour que le navire ne s'échoue pas. L'échosondeur doit être utilisé même dans les eaux du Haut-Arctique sondées convenablement, car le trafic maritime dans le secteur est léger et beaucoup de routes n'ont pas encore été parcourues par des navires à grand tirant d'eau.

Un grand nombre de cartes de navigation dans l'Arctique proviennent de sondages de mission de reconnaissance (qui n'ont pas été effectués dans le cadre d'un levé). C'est pourquoi il est peu probable qu'une ligne de sondage serve vraiment à établir une position. De plus, de faux échos peuvent provenir des glaces passant sous l'échosondeur ou du remous que crée une manœuvre de recul ou d'éperonnage dans les glaces. Dans des couvertures denses de glace, l'échosondeur peut relever de multiples échos, ce qui fait qu'il est impossible de distinguer celui qui représente l'épaisseur réelle de la partie immergée de la glace. Lorsque les sondages sont ainsi occultés, il peut être utile de stopper le navire dans la glace jusqu'à ce qu'un écho distinguable apparaisse parmi les échos parasites.

4.11.6 Détermination de la position

Les problèmes qui se posent pour déterminer la position relèvent soit d'une mauvaise identification des repères à terre, soit de l'imprécision des levés. Le peu de relief de certaines régions de l'Arctique rend difficile le repérage d'amers ou de points terrestres. De plus, les amoncellements de glace sur un rivage ou une banquise côtière peuvent dissimuler la côte. C'est pourquoi il faut surveiller davantage les relèvements ou les distances radar dans l'Arctique que dans les eaux méridionales. Les observations visuelles sont toujours préférables. Parfois, il est possible de déterminer la position d'icebergs échoués et ensuite de se

servir de ces icebergs comme éléments de référence pour déterminer la position, à condition de procéder avec prudence.

De grandes zones du territoire arctique n'ont pas été relevées selon les mêmes normes que les régions plus au sud, et même certaines des cartes les plus récentes sont fondées sur des données provenant de missions de reconnaissance. Pour prévenir le plus possible les erreurs, il faut toujours utiliser trois lignes (distances ou, faute de mieux, relèvements) pour déterminer la position. Il ne faut pas se guider, par exemple, sur les deux rives d'un chenal ou sur des lignes venant de deux secteurs différents de levé. En raison des problèmes qui risquent de se poser, il est recommandé de toujours comparer les coordonnées qui ont été établies dans l'Arctique aux indications d'autres sources d'information comme les systèmes électroniques de localisation de la position. Enfin, il faut éviter de se fier à une seule source d'information.

4.11.7 Utilisation du radar pour la navigation dans les eaux arctiques

Il n'est pas recommandé de déterminer la position en mesurant la distance d'un seul point terrestre ou d'un seul relèvement au radar ou au gyrocompas. Dans les eaux arctiques, il vaut mieux mesurer par radar la distance de deux points ou plus, mais cette méthode exige un choix attentif et une identification correcte des cibles proéminentes apparaissant sur l'écran radar. L'utilisation du radar pour déterminer la position dans les eaux arctiques présente les difficultés suivantes :

- a) Difficulté à déterminer où la glace prend fin et où le littoral commence. Une réduction du gain du récepteur devrait diminuer l'écho produit par les glaces;
- b) Écarts de mesure causés par des erreurs de distance ou des inexactitudes des cartes. Le navigateur devrait se servir de la côte la plus rapprochée et non pas des deux rives d'un chenal ou d'une anse étendue;
- c) Incertitude quant à la hauteur et, par conséquent, à la distance des masses terrestres à cause du manque de renseignements topographiques sur la carte;
- d) Manque d'aides fixes dans le secteur et levés hydrographiques insuffisants, obsolètes ou inexistants.

En général, les conditions arctiques ou le temps froid ne gênent pas le fonctionnement des radars. Parfois, certaines conditions météorologiques peuvent produire ce que l'on appelle un effet de conduit, c'est-à-dire une flexion du faisceau radar à la suite d'une perte d'humidité dans l'atmosphère. Cet effet peut diminuer ou augmenter les distances de détection de cible, selon le degré et le sens de cette flexion. L'interprétation des images radar lorsqu'on veut déterminer la position constitue une réelle difficulté pour l'emploi du radar dans l'Arctique.

Le Système d'Identification Automatique (SIA) est maintenant obligatoire pour la plupart des gros navires susceptibles d'être rencontrés dans les eaux canadiennes. C'est un outil pratique pour distinguer sur un écran radar les échos réfléchis par un navire par rapport à ceux des icebergs. Ce système est aussi très pratique lorsqu'on navigue dans les glaces pour être en mesure d'identifier un navire qui est à proximité, mais non perceptible, pour échanger de l'information sur les glaces, des détails sur la progression, et d'autres informations soit par radio ou communication satellite (courriel).

4.11.8 Système de localisation GPS

Le système de localisation GPS est un système spatial de navigation radio qui permet aux utilisateurs munis d'un récepteur approprié sur terre, en mer ou dans les airs de déterminer leur position, leur vitesse et l'heure qu'il est à tout moment du jour ou de la nuit et quelles que soient les conditions météorologiques.

Ce système de navigation comprend essentiellement 24 satellites opérationnels disposés en six plans orbitaux ayant un rayon orbital de 26 560 km (environ 10 900 milles marins au-dessus de la Terre). Sur ces 24 satellites, 21 sont considérés comme étant pleinement opérationnels et les trois autres, bien qu'en mesure de fonctionner, comme étant des satellites « de réserve ». Les plans orbitaux sont inclinés à 55° par rapport au plan de l'équateur et la période orbitale est d'environ 12 heures. Cette constellation de satellites permet au récepteur terrestre de capter les multiples signaux émis 24 heures sur 24 par plusieurs satellites. Les satellites émettent en continu des signaux de mesure de distance, des signaux de localisation et des signaux

temporels qui sont captés et traités par les récepteurs GPS, de sorte que l'utilisateur peut déterminer sa position tridimensionnelle (latitude, longitude et altitude), ainsi que sa vitesse et l'heure.

Même si les satellites sont en orbite terrestre selon un plan de 55°, la précision de la position est généralement de près de 100 m, peu importe où on se retrouve sur terre. Dans le cas d'un navire se trouvant à 55° de latitude Nord ou Sud, ou plus près des pôles, les satellites sont disposés en constellation autour du navire et le receveur calcule en temps réel l'affaiblissement de la précision horizontale (HDOP) avec les satellites possiblement situés de l'autre côté du pôle. Dans le cas d'un navire se trouvant au pôle Nord ou près du pôle Nord, tous les satellites sont au sud, mais également répartis en azimut, produisant ainsi un bon relèvement de position. Par contre, plus un navire se trouve près du Nord et plus la composante verticale de sa position s'affaiblit, puisqu'aucun satellite ne passe directement au-dessus des régions situées au-delà de 55° de latitude Nord.

Diverses sources d'erreurs peuvent réduire la précision des coordonnées GPS, surtout dans les régions polaires, et entraîner notamment des retards troposphériques ou une réfraction ionosphérique dans la zone aurorale. L'épaisseur de la troposphère varie de moins de 9 km au-dessus des pôles à plus de 16 km à l'équateur, ce qui peut occasionner des retards de propagation des signaux à cause de la réfraction par propagation électromagnétique. Toutefois, la précision des modèles et des calculs exécutés par le récepteur GPS permet de réduire au minimum cette erreur. Dans la zone aurorale (à l'intérieur de laquelle se produisent les aurores boréales et australes), la réfraction ionosphérique causée par les tempêtes solaires et géomagnétiques entraîne le même type d'erreur.

Les régions polaires, où il fait plus sec, comportent un mince avantage, à savoir l'efficacité de traitement des données satellites par le récepteur. Dans des climats maritimes plus chauds, où l'atmosphère est humide, il est plus difficile d'obtenir des modèles précis.¹

Si le récepteur GPS utilise une référence horizontale différente de celles de la carte employée pour calculer la latitude et la longitude, des erreurs surviendront lorsque les positions obtenues par GPS seront tracées sur la carte. Les récepteurs GPS peuvent être programmés pour donner la latitude et la longitude en fonction de diverses données mémorisées. Depuis 1986, le Service hydrographique du Canada a converti certaines de ses cartes au NAD83. Généralement, les cartes électroniques sont établies d'après le NAD83. Toutefois, il importe de vérifier les métadonnées figurant sur les cartes électroniques pour s'en assurer. Chaque carte mentionne les données horizontales qui ont été utilisées pour telle carte. Pour ce qui est des données qui ne sont pas établies d'après le NAD83, les corrections seront apportées pour convertir les positions déterminées d'après le NAD83 aux données de la carte. Le bloc titre de la carte indiquera les données horizontales utilisées pour la carte et donnera les corrections pour convertir les données de la carte au NAD83 et vice versa. Par ailleurs, une mise en garde est formulée pour les cartes matricielles; puisqu'une carte matricielle est en réalité l'image d'une carte papier, le bloc titre peut indiquer qu'une carte n'est pas établie d'après le NAD83. Cependant, toutes les cartes matricielles émises par le Service hydrographique du Canada sont fondées sur le NAD83 et donc aucune correction n'y est nécessaire.

4.11.9 Système mondial de satellites de navigation (GLONASS)

Le système mondial de satellites de navigation (GLONASS) est un système de radionavigation par satellite exploité par les Forces de défense aérospatiale de la Russie pour le compte du gouvernement russe. Il complète le système de localisation GPS, qui a été inventé par le département de la Défense des États-Unis, et est actuellement le seul autre système de navigation utilisé capable de procurer une couverture mondiale et la même précision que le GPS et de remplacer ce dernier. La constellation de satellites GLONASS comprend 24 satellites opérationnels pour fournir des services continus à la navigation partout dans le monde, et sept satellites de rechange utilisés durant l'entretien et les réparations des satellites.

4.11.10 Radios

Dans l'Arctique, les communications radio autres que les liaisons en visibilité directe peuvent être brouillées par les perturbations ionosphériques. Lorsqu'on établit la communication, il faut convenir des fréquences de substitution en cas de dégradation du signal. Le recours à des fréquences multiples et à des stations-relais de remplacement est la seule façon d'éviter un tel brouillage.

4.11.11 INMARSAT

L'Organisation internationale de télécommunications maritimes par satellite (INMARSAT) possède et exploite trois constellations de onze satellites géosynchrones en orbite à une altitude de 37 786 km (22 240 milles terrestres) au-dessus de la Terre. L'utilisation des services INMARSAT est la même dans l'Arctique que dans le sud jusqu'à ce que le navire approche de la limite de réception du satellite, à environ 82° de latitude Nord. Dans les hautes latitudes, où le satellite ne s'élève que de quelques degrés au-dessus de l'horizon, l'intensité du signal dépend de la hauteur de l'antenne parabolique de réception et du relief environnant.

Lorsque le navire quitte la zone de couverture du satellite, la liaison deviendra d'une intensité variable et diminuera progressivement jusqu'à devenir inexploitable. Au moment où la liaison ne se prête plus à la communication vocale, il peut être encore possible d'utiliser le télex. Au retour du navire dans la zone de couverture du satellite, on peut avoir de la difficulté à obtenir et à garder le signal jusqu'à ce que le satellite s'élève bien au-dessus de l'horizon.

4.11.12 Satellite de télécommunications du service mobile (MSAT) et système de satellites SkyTerra Communications

Les satellites stationnaires de télécommunications du service mobile MSAT-1 et MSAT-2 offrent des services de communication téléphonique mobiles par satellite et des services d'accès aux données en Amérique du Nord depuis 1995. Le plus récent satellite, le SkyTerra-1, a été envoyé en orbite le 14 novembre 2010, et la livraison du satellite SkyTerra-2 est prévue pour 2012. Le réseau de téléphone satellitaire et les réseaux cellulaires locaux sont compatibles, ce qui permet aux utilisateurs de communiquer au moyen du réseau cellulaire normal et d'avoir recours aux satellites seulement dans les régions hors de portée des tours de téléphonie cellulaire. Les satellites stationnaires sont utiles dans les régions peu peuplées où la construction de tours de téléphonie cellulaire n'est pas rentable, de même que pour les services d'intervention d'urgence, qui doivent demeurer opérationnels même si le réseau cellulaire local est en panne.

4.11.13 Système de satellites Iridium

La constellation de satellites Iridium comprend 66 satellites en orbite basse terrestre (LEO) reliés les uns aux autres, ainsi que des satellites de rechange, mis en orbite d'un pôle à l'autre et dont la trajectoire dure à peu près 100 minutes. Cette orbite montre que la visibilité des satellites et la zone de rayonnement aux pôles Nord et Sud sont excellentes.

4.12 RECHERCHE ET SAUVETAGE

Les Forces canadiennes ont la responsabilité de coordonner les activités de recherche et de sauvetage au Canada, y compris dans les eaux arctiques, et de fournir des aéronefs spécialisés en recherche et sauvetage pour appuyer les opérations de recherche et de sauvetage maritimes. Par définition, le service de recherche et de sauvetage comporte la surveillance des appels de détresse et l'exécution des activités de communication, de coordination, de recherche et de sauvetage au moyen de ressources publiques et privées. Tout incident nécessitant une assistance doit être signalé à un centre des Services de communications et de trafic maritimes (SCTM).

La Garde côtière canadienne collabore avec les Forces canadiennes pour coordonner les activités de recherche et de sauvetage maritimes dans l'Arctique. Elle recherche les personnes, les navires et autres embarcations qui sont, ou que l'on croit, en danger imminent et leur porte assistance. Elle compte des navires spécialisés en recherche et sauvetage maritimes dans des emplacements stratégiques. Il n'y a pas d'unité de recherche et de sauvetage réservée à l'année pour les eaux arctiques. Toutefois, les unités de la Garde côtière canadienne déployées dans ces zones durant la saison de navigation sont désignées comme ayant pour rôle secondaire de mener des activités de recherche et de sauvetage. Les aéronefs spécialisés en recherche et sauvetage sont basés plus au sud dans l'Arctique pour parer aux incidents de recherche et de sauvetage; ils peuvent aussi être déjà présents pour réaliser des missions d'entraînement.

Les centres de coordination des opérations de sauvetage, qui couvrent l'ensemble des eaux qui relèvent de la compétence canadienne, sont ouverts en tout temps et regroupent du personnel des Forces canadiennes et de la Garde côtière canadienne. Ces centres sont situés à Victoria (Colombie-Britannique), à Trenton (Ontario) et à Halifax (Nouvelle-Écosse). Le Centre conjoint de coordination des opérations de sauvetage de Trenton fournit des systèmes d'intervention d'urgence et d'alerte qui sont utilisés pour la recherche et le sauvetage dans les régions des Grands Lacs et de l'Arctique. Consultez le site http://www.jrcchalifax.forces.gc.ca/JRCC_home_F.htm pour en savoir davantage.

Les publications suivantes, disponibles auprès du Service hydrographique du Canada à l'adresse <http://www.charts.gc.ca/index-fra.asp>, contiennent des renseignements additionnels sur les services de recherche et de sauvetage dans les eaux canadiennes :

- *Instructions nautiques* pour l'Arctique canadien, volume 1, quatrième édition, chapitre 1;
- Édition annuelle des *Avis aux navigateurs*, section D.

4.13 SIGNALEMENT DE DÉVERSEMENTS D'HYDROCARBURES

Tout incident qui met en cause le déversement d'hydrocarbures ou de lubrifiants pétroliers dans l'environnement marin doit être signalé immédiatement à NORDREG CANADA. L'exploitant doit également signaler l'incident au Centre de signalement des déversements, accessible en tout temps.

Nunavut et Territoires du Nord-Ouest : (867) 920-8130

Yukon : (867) 667-7444

Garde côtière canadienne (sans frais) : 1-800-265-0237 (en tout temps).

4.14 CARBURANT ET EAU

Le RPPEAN exige des navires opérant dans les Zones du Système de régime des glaces de l'Arctique d'avoir à bord suffisamment de carburant et d'eau pour compléter le voyage prévu et quitter toutes les Zones. À cette fin, la capacité d'un navire à produire sa propre eau potable sera prise en compte. Il n'existe aucune infrastructure dans l'Arctique permettant l'approvisionnement en carburant et en eau, à moins que l'opérateur du navire de croisière ait pris des arrangements à cet effet lors de sa phase de planification. Transports Canada exigera un estimé de la consommation de carburant anticipé pour tout le voyage, et NORDREG CANADA devra être informé sur le volume de carburant à bord avant que le navire ne pénètre dans la première Zone.

4.15 PERTURBATIONS ENVIRONNEMENTALES AFFECTANT LE MOUVEMENT DES GLACES, LES OISEAUX, LES ANIMAUX ET LES POPULATIONS DE POISSONS

Les effets environnementaux néfastes constituent une préoccupation de plus en plus importante dans le domaine de la navigation maritime. Cette préoccupation concerne la navigation dans les eaux couvertes de glaces où des situations nautiques particulières peuvent représenter des possibilités de perturbations environnementales. Certes, il est entendu que les accidents peuvent nuire à l'environnement, mais même une navigation maritime normale risque d'affecter ces éléments de l'environnement, jugés comme étant précieux :

- Les espèces ou les habitats rares ou menacés;
- Les espèces ou les habitats uniques dans une région;
- Les espèces ou les habitats présentant une grande valeur esthétique;
- Les espèces pouvant être utilisées par les populations locales;
- Les espèces utilisées dans le cadre de pratiques culturelles et socio-économiques des populations locales.

Beaucoup d'effets possibles ne sont pas propres aux environnements glaciels, mais la présence de glaces, les basses températures et l'éloignement géographique peuvent aggraver les perturbations comparativement à des activités semblables menées dans des environnements plus cléments.

Parmi les perturbations environnementales particulières aux eaux couvertes de glaces, on compte la limitation possible des déplacements sur la glace de la population locale quand un passage a été frayé pour les navires, le dérèglement éventuel du processus d'englacement ou de déglacement en ce qui concerne la lisière locale des glaces et, au début du printemps, le bouleversement des habitudes de reproduction des phoques sur les glaces.

Les perturbations que peuvent causer des conditions normales de navigation sont généralement spécifiques aux lieux. Dans la plupart des cas, il est possible de les éviter en connaissant les zones et les périodes de l'année où des problèmes risquent de se poser. En adhérant aux pratiques de navigation décrites dans le présent guide, on réduira au minimum le risque de perturbations environnementales liées à la navigation dans les glaces. Les navigateurs doivent s'informer de la façon dont leur navire peut nuire à l'environnement et prendre des mesures pour restreindre le plus possible ces perturbations.

4.16 INFORMATION SUR LES GLACES

Pour naviguer en toute sécurité et efficacité, le navigateur doit avoir une solide connaissance du milieu marin. Cela vaut tout particulièrement pour la navigation dans les glaces. Il incombe à tous les navigateurs de veiller, avant de s'engager dans des eaux couvertes de glaces, à disposer d'une bonne information sur le milieu glaciaire pour toute la durée de la traversée.

Les modes d'obtention de données glacielles pour la navigation varient selon les sources. Les contenus et les structures de présentation sont aussi fonction de la nature du système de collecte des données brutes et du degré d'analyse ou de perfectionnement par lequel se réalise le produit final.

Beaucoup de sources de renseignements ne sont ni normalement, ni régulièrement mises à la disposition du navire en mer, surtout en dehors des eaux canadiennes. Parfois, il faut prendre des arrangements au préalable pour recevoir des produits particuliers. Le navigateur est invité à examiner soigneusement le niveau de l'information dont il a besoin et à faire le nécessaire pour que les renseignements recherchés lui parviennent à bord.

4.16.1 Niveaux d'information sur les glaces

Il est possible de distinguer quatre niveaux d'information sur les glaces selon leur degré de finesse descriptive et le caractère immédiat de l'information :

- données générales;
- données synoptiques (sommaires ou cartes d'ensemble);
- données spécifiques à des routes;
- données localisées.

Les données générales sont principalement d'ordre chronologique ou historique. Elles décrivent la variabilité naturelle dans le temps et dans l'espace des conditions glacielles de la région où on a l'intention de naviguer et peuvent en outre indiquer les liens de ces conditions avec d'autres facteurs climatologiques comme les vents, les courants et les marées. Elles interviennent très tôt dans la démarche de planification stratégique, mais peuvent aussi servir à tout moment de la traversée.

Les données synoptiques exposent les conditions glacielles pour des régions et des périodes déterminées. Elles peuvent décrire les conditions réelles ou prévues, mais dans les deux cas, elles ne sont pas très détaillées. Comme ce genre d'information sert normalement des jours ou même des semaines avant que l'on entre en zone de glaces et que l'état des glaces est souvent un phénomène dynamique, leur plus grande valeur est en tant qu'outil d'aide à la planification stratégique.

Les données spécifiques à des routes sont plus détaillées que les données synoptiques et portent habituellement sur des régions plus petites. Leur niveau de détail peut même aller jusqu'à la caractérisation individuelle de floes et d'autres traits de la couverture de glace. C'est au stade de la planification tactique qu'elles sont les plus utiles.

Les données localisées indiquent la présence de dangers distincts à proximité immédiate du navire. Ce niveau d'information joue un rôle critique dans la surveillance et l'exécution d'un plan tactique de traversée.

Le Service canadien des glaces d'Environnement Canada fournit de l'information sur les glaces et des prévisions à long terme pour faciliter les activités maritimes. Sur le plan des renseignements synoptiques, la Division des opérations dans les glaces du Service canadien des glaces livre de précieuses données de planification stratégique grâce à une série d'avis, de prévisions à court terme et de bulletins de vulgarisation sur l'état des glaces et des icebergs. Ces données sont diffusées en direct par les circuits radio de la marine dans un rayon pouvant atteindre 320 km. La publication saisonnière de la Garde côtière canadienne, qui a pour titre *Aides radio à la navigation maritime*, dresse la liste des fréquences et des heures de diffusion. Les stations radio de la Garde côtière canadienne transmettent continuellement des bulletins enregistrés dans un rayon effectif de 60 à 80 km. On peut aussi obtenir ces renseignements sur le site Web du Service canadien des glaces ou en s'abonnant auprès de la section Service d'abonnement du site Web du Service canadien des glaces.

On peut se procurer des prévisions avec « évolution prévue » (comprenant les perspectives saisonnières et des prévisions sur 30 jours deux fois par mois), ainsi que des cartes quotidiennes d'analyse des glaces sur le Web, par courriel, par télécopieur ou par abonnement postal. Pour de plus amples renseignements, communiquez avec :

Adresse : Service canadien des glaces
373, promenade Sussex, 3^e étage
Académie de La Salle, bâtiment E
Ottawa (Ontario) K1A 0H3

Téléphone : 1-877-789-7733

Télécopieur : 613-947-9160

Site Web du Service canadien des glaces : <http://ice-glaces.ec.gc.ca/>

La principale source extérieure de renseignements à la disposition d'un navire est la diffusion des cartes d'analyse des glaces par le Service canadien des glaces. Si un navire est doté de son propre hélicoptère de reconnaissance, les observations aériennes visuelles peuvent être beaucoup plus instructives dans le cadre de la planification des routes et de la planification tactique.

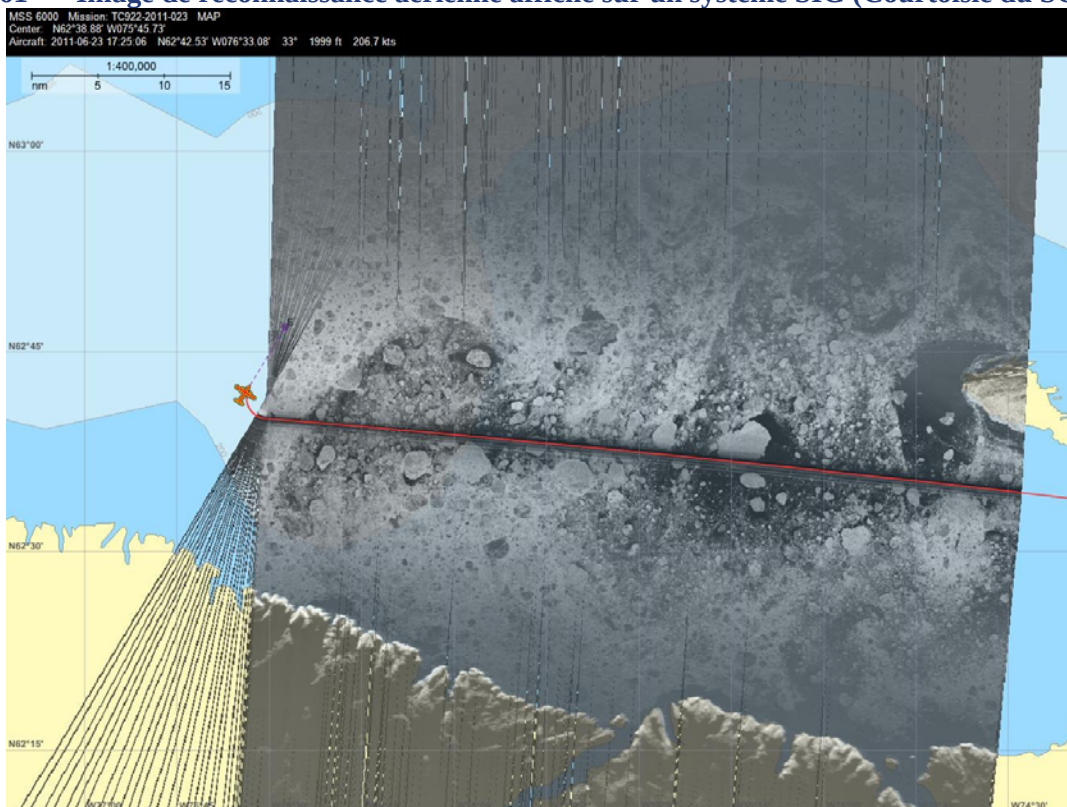
4.16.2 Systèmes de télédétection

Avec du matériel spécialisé de réception et de traitement, les navires peuvent obtenir les données synoptiques complémentaires sur les glaces transmises par les systèmes de télédétection aériens ou satellitaires.

Le Service canadien des glaces exploite deux systèmes radar imageurs aériens d'observation des glaces qui peuvent communiquer directement des données brutes aux centres des opérations dans les glaces de la Garde côtière canadienne. Ces systèmes opérationnels dans toutes les conditions météorologiques pénètrent la couverture nivale sèche pour produire des images en gris de la surface glacée. Le niveau de détail de ces images dépend de la résolution des capteurs, qui peut varier entre 25 et 400 m. Les images ainsi obtenues conviennent donc à la planification tactique des routes. Les données de résolution supérieure peuvent être combinées aux observations visuelles et au radar de marine pour repérer des dangers à petite distance.

Un grand nombre de systèmes commercialisés permettent aux navires de recevoir directement les images de satellites météorologiques en vue d'évaluer la disposition régionale des glaces. Ces systèmes sont conçus pour capter les images VHF (137 MHz) provenant de divers satellites météorologiques à l'aide de logiciels d'ordinateurs personnels peu coûteux. La résolution de l'image est de l'ordre de 3 à 4 km et fournit des renseignements synoptiques appropriés pour la planification des traversées. Le faible coût de ces systèmes (normalement quelques dizaines de milliers de dollars) permet à un plus grand nombre de navires traversant des eaux couvertes de glaces de s'en servir (figure 61).

Figure 61 Image de reconnaissance aérienne affiché sur un système SIG (Courtoisie du SCG)



Le Canada possède un satellite radar imageur appelé RADARSAT-2 entièrement opérationnel qui assure presque en permanence une couverture globale à haute résolution (100 m) des eaux couvertes de glaces. Il peut transmettre et recevoir des données en polarisation horizontale (H) et verticale (V). Les images reçues avec les diverses combinaisons de polarisation en émission et en réception peuvent être affichées sur des canaux simples ou en diverses combinaisons, dont des ratios et des images en couleurs fausses.

Figure 62 : Image en polarisation HH du détroit de M'Clure captée par RADARSAT-2 (MDA 2009)

Figure 63 : Image en polarisation HV du détroit de M'Clure captée par RADARSAT-2 (MDA 2009)

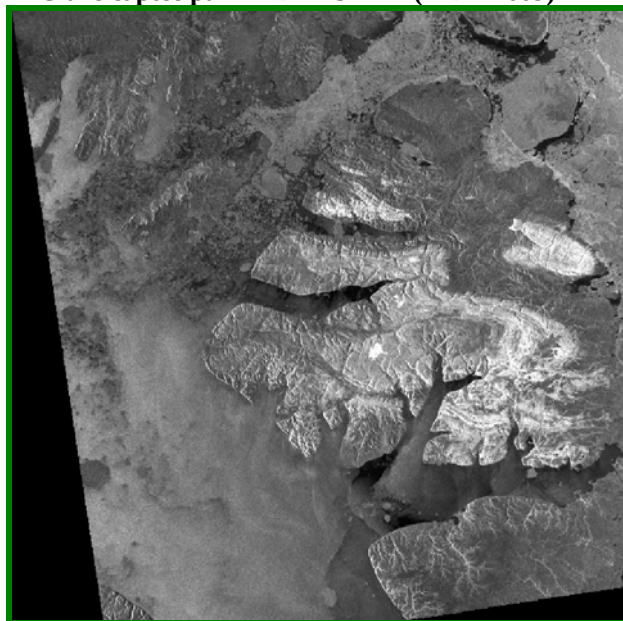
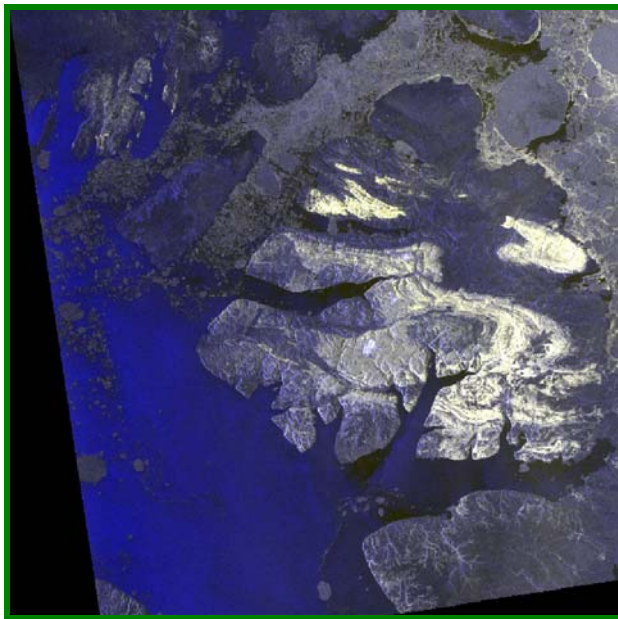


Figure 64 : Image RVB221 du détroit de M'Clure captée par RADARSAT-2 (MDA 2009)



Les images 62 à 64 ont été captées par RADARSAT-2 le 14 septembre 2008 dans le détroit de M'Clure. La figure 62 montre une image en polarisation HH (émission et réception horizontales). Sur cette image, il est difficile de différencier la glace de plusieurs années des autres types de glace. Les modes de polarisation croisée combinent l'émission horizontale et la réception verticale (HV), ou vice-versa (VH). Sur l'image HV ci-dessous (figure 63), la glace de plusieurs années se démarque nettement, mais les types de glace plus mince ne sont pas aussi clairs.

Une combinaison d'images en polarisations HH, HV et RVB221 aide à différencier tous les types de glace. La figure 64 montre une image RVB221 avec une très bonne détection de la glace de plusieurs années, et une détection améliorée des cordons de glaces plus minces.

4.16.3 Cartes des glaces du Service canadien des glaces

Les cartes des glaces publiées par le Service canadien des glaces utilisent la terminologie et les symboles normalisés de l'Organisation météorologique mondiale pour décrire l'état des glaces en divers lieux. Le navigateur doit être conscient qu'il s'agit de données synoptiques et que les conditions glacielles illustrées représentent des moyennes pour le secteur. Il est toujours possible que l'état des glaces local diffère grandement de celui que présente une carte. C'est pourquoi, lorsqu'on se sert de cartes des glaces pour planifier la route, il importe de maintenir la manœuvrabilité pour éviter une lourde couverture locale de glace.

Les cartes d'analyse des glaces diffusées tous les jours par le Service canadien des glaces n'indiquent pas les zones de glace tourmentée, fragmentée ou sous pression. Elles indiquent cependant les tendances générales de dérive des champs de glace en milles par jour, et la pression qui s'exerce peut donc être déduite. Lorsqu'il consulte ces cartes, le navigateur doit constamment garder à l'esprit la possibilité d'une dérive des glaces ou d'un changement de l'état des glaces, précaution particulièrement précieuse quand des eaux peu profondes resserrent les couloirs de navigation ou que les vents, les courants ou les marées créent des zones de convergence des glaces.

La carte d'analyse des glaces est le principal produit cartographique du Service canadien des glaces. Elle sort quotidiennement à 1800 UTC (temps universel coordonné) en saison de navigation et représente la meilleure estimation possible de l'état des glaces au moment de la diffusion. On la prépare l'après-midi afin qu'elle puisse parvenir aux utilisateurs à temps pour la planification des activités des jours suivants.

La figure 65 donne un exemple de carte quotidienne d'analyse des glaces. Le Service canadien des glaces se sert des codes et des symboles reconnus par l'Organisation météorologique mondiale pour décrire toutes les formes de glaces, tous les états des glaces et toutes les concentrations de glaces. Les codes relatifs aux glaces paraissent sous une forme ovale appelée « code de l'œuf », qui est décrite en détail dans le *Manuel des normes d'observation des glaces* (MANICE), mais dont un simple aperçu est donné dans la présente section. L'emploi des codes et des symboles varie selon le type de carte des glaces :

- Carte quotidienne actuelle des glaces : propre à des régions et très détaillée;
- Carte régionale hebdomadaire des glaces : à plus petite échelle et moins détaillée.

Les données de base sur les concentrations, les stades de formation (âge) et la forme des glaces (taille des floes) sont présentées dans un ovale simple, dans lequel est inscrit un maximum de trois types de glace. C'est cet ovale et les codes qu'il contient qui sont appelés « code de l'œuf ».

Les symboles utilisés dans le code de l'œuf relèvent de quatre catégories de données sur les glaces :

1. Concentration totale premier niveau
C_t – Concentration totale des glaces dans le secteur, exprimée en dixièmes.
2. Concentrations partielles des types de glace deuxième niveau
C_aC_bC_cC_d – Concentrations partielles des premier (C_a), deuxième (C_b), troisième (C_c) et quatrième (C_d) rangs pour l'épaisseur, exprimées en dixièmes.
3. Type de glace correspondant aux concentrations partielles du deuxième niveau troisième niveau
Stade de formation des glaces des premier (S_o), deuxième (S_a), troisième (S_b) et quatrième (S_c) rangs pour l'épaisseur et des types de glace plus minces (S_d et S_e), dont les concentrations sont indiquées comme C_a, C_b, C_c et C_d respectivement.
4. Taille prédominante des floes pour le type et la concentration de glace dernier niveau
taille des floes correspondant à S_a, S_b, S_c, S_d et S_e (quand S_d et S_e sont supérieurs à une trace).

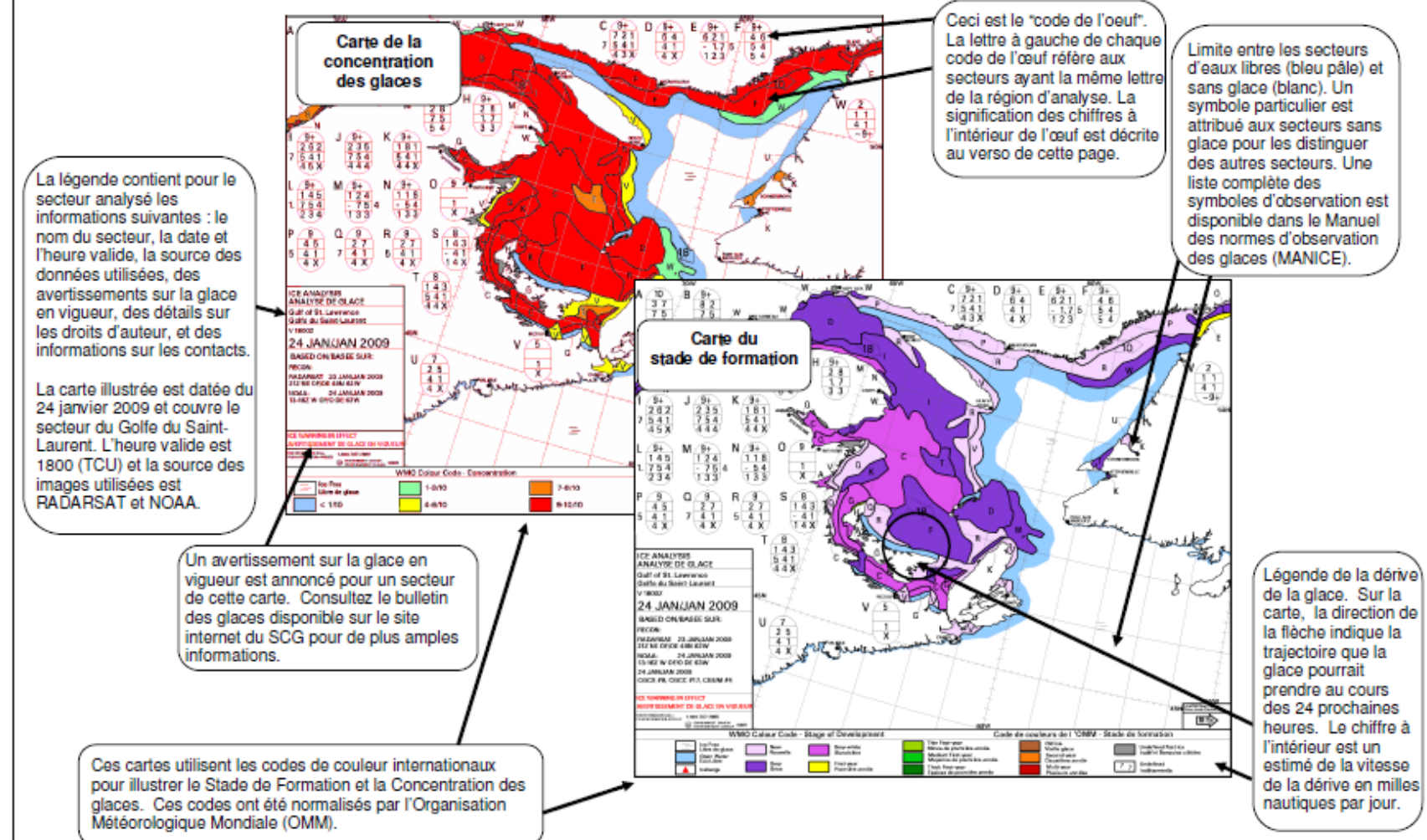
Les tableaux 9, 10 et 11 énumèrent les codes utilisés dans les codes de l'œuf pour les stades de formation des glaces de mer et des glaces de lac, ainsi que pour les tailles des floes, respectivement.

Tableau 9 Codes des stades de formation des glaces de mer (S_o, S_a, S_b, S_c, S_d et S_e)

Description	Épaisseur	Code
Nouvelle glace	<10 cm	1
Nilas, glace vitrée	0-10 cm	2
Jeune glace	10-30 cm	3
Glace grise	10-15 cm	4
Glace blanchâtre	15-30 cm	5
Glace de première année	30-200 cm	6
Glace mince de première année	30-70 cm	7
Glace mince de première année (premier stade)	30-50 cm	8
Glace mince de première année (deuxième stade)	50-70 cm	9
Glace moyenne de première année	70-120 cm	1•
Glace épaisse de première année	120-200 cm	4•
Vieille glace	7•	
Glace de deuxième année	8•	
Glace de plusieurs années	9•	
Glace d'origine terrestre	▲•	
Indéterminée ou inconnue	X	

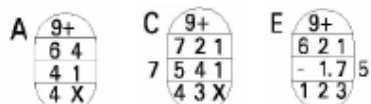


Figure 65 Comment lire une carte quotidienne des glaces du Service Canadien des Glaces



Code de l'oeuf

Les concentrations de glace, les types, et la taille des floes sont décrits à l'intérieur d'une forme ovale appelée "code de l'oeuf", tel qu'illustré ci-dessous.



La **première ligne** de l'oeuf indique la concentration totale des glaces dans le secteur associé à l'oeuf. La concentration est un ratio exprimé en dixième et exprime la fraction du secteur couvert de glaces par rapport à l'ensemble du secteur.

La **deuxième ligne** donne la concentration partielle des types de glace (stade de formation). Jusqu'à 5 types de glace peuvent être rapportés sur un oeuf. Les 3 principaux types le plus épais sont illustrées à gauche de l'oeuf, et les autres groupes à droite. La somme des concentrations partielles équivaut à la concentration totale.

La **troisième ligne** décrit le type de glace ou stade de formation et réfère à la concentration partielle de glace située immédiatement au-dessus.

La **ligne du bas** montre la taille du floe moyen associée aux types de glace de la troisième ligne.

Note: lorsqu'un point est présent, les nombres à gauche du point possèdent aussi un point (.) dans leur code.

Troisième ligne de l'oeuf - Stade de formation

Code	Type de glace
1	Nouvelle glace
4	Glace grise
5	Glace blanchâtre
7	Glace mince de première année
1.	Glace moyenne de première année
4.	Glace épaisse de première année
7.	Vieille glace
8.	Glace de deuxième année
9.	Glace de plusieurs années

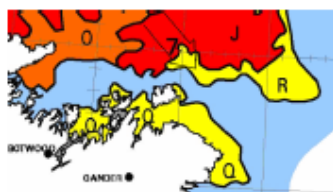
Dernière ligne de l'oeuf - Taille du floe

Code	Élément	Taille
1	Sarrasins	< 2 m
2	Glace en crêpes	2 - 20 m
3	Petits floes	20 - 100m
4	Floes moyens	100 - 500m
5	Grands floes	500 - 2000m
6	Floes immenses	2 - 10km
7	Floes géants	> 10km
8	Banquise côtière	
9	Icebergs	
X	Sans forme (nouvelle glace)	

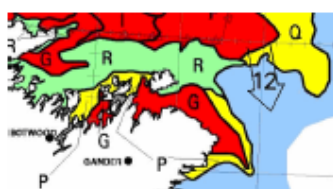
Note: Si un point est présent, tous les nombres sur le même niveau et à gauche de ce dernier sont considérés pour avoir aussi un point.

Mouvement des glaces près des zones limitées

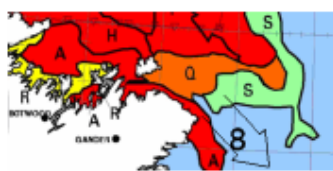
La glace de mer peut croître et se disperser très rapidement lorsque les températures de l'air sont très basses et les vents légers. Ceci se produit après le passage d'un front froid dans le secteur. Les cartes de concentration des glaces ci-dessous illustrent l'évolution de la glace au large de Gander, Terre-Neuve-et-Labrador, entre le 24 et 26 janvier 2008.



24 janv. 2008
Temp. de jour à
Gander -5.5°C



25 janv. 2008
Temp. de jour à
Gander -10.5°C



26 janv. 2008
Temp. de jour à
Gander -15.2°C

Au cours de ces 3 jours, la glace au nord et à l'est de Botwood s'est formée et a épaissi. Les flèches de dérive visibles sur les cartes indiquent la vitesse générale de la glace à l'intérieur de 10 milles nautiques du centre de la flèche. Ceci ne prend pas en compte l'effet de la masse terrestre dans le secteur.

Ainsi, lorsque la flèche de dérive pointe vers la terre, ceci pourrait indiquer une augmentation de la concentration de la glace côtière et/ou de la pression. En absence de vents, les courants marins déplacent la glace. Le courant du Labrador, par exemple, déplace la glace vers le sud à une vitesse d'environ 5 à 10 milles nautiques par jour.

Cartes de Concentration vs Cartes du stade de formation

Les cartes de concentration et du stade de formation ont des codes de couleur distincts qui sont reconnus internationalement (OMM). Chaque carte de glace produite contient une légende pour interpréter le code de couleur. Aucune couleur n'est interchangeable entre les cartes de concentration et du stade de formation.

Sources des données utilisées pour produire une carte des glaces quotidiennes

RECON: Décrit la date et l'information sur le secteur à partir de la patrouille de reconnaissance aérienne des glaces

RADARSAT: Décrit la date et le secteur couvert par l'image satellite RADARSAT. Les images ne sont pas affectées par les nuages.

NOAA: Décrit la date et le secteur couvert par l'image AVHRR de NOAA. Les nuages peuvent obstruer la vue des glaces.

Les autres sources de données sont énumérées après ces sources principales et peuvent inclure: d'autres images satellites ou les cartes produites à partir des navires. En général, plus il y a de sources et plus la carte des glaces sera précise. Toutefois, le nombre de détails illustrés peut être limité par la résolution de l'image et l'espace disponible.

Le Service Canadien des Glaces est responsable de la production et de la distribution de l'information sur les glaces et les icebergs pour les voies navigables canadiennes et les zones météo (METAREAS) XVII et XVIII dans l'Arctique.

L'information sur les glaces est disponible avec des niveaux de détails variés. Les cartes couvrant de grands secteurs sont produites hebdomadairement comme registre climatique des conditions de glace. Les cartes quotidiennes sont produites pour les secteurs où les conditions maritimes sont actives. Les cartes d'analyse d'images sont produites sur demande pour répondre à des besoins spécifiques.

Des observateurs des glaces fournissent des informations utiles sur les glaces à partir soit des navires ou des avions.

Les prévisions des glaces sont disponibles quotidiennement dans les bulletins pour les secteurs maritimes actifs. Ils fournissent une information générale sur la concentration et le type de glace dominants, de même que sur les avertissements en vigueur.

Service Canadien des Glaces -Service Météorologique du Canada

Une division d'Environnement Canada

Téléphone: (877) 789-7733

Courriel: Weather.Info.Meteo@ec.gc.ca



Tableau 10 Codes des stades de formation des glaces de lac

Description	Épaisseur	Code
Nouvelle glace de lac	<5 cm	1
Glace de lac mince	5-15 cm	4
Glace de lac moyenne	15-30 cm	5
Glace de lac épaisse	30-70 cm	7
Glace de lac très épaisse	>70 cm	1•

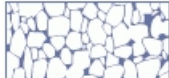
Tableau 11 Codage de l'œuf des tailles des floes (F_a , F_b , F_c , F_d , F_e , F_p et F_s)

Description	Code
Glace en crêpes	0
Petits glaçons et sarrasins (brash)	1
Glaçons	2
Petits floes	3
Floes moyens	4
Grands floes	5
Floes immenses	6
Floes géants	7
Banquise côtière, bourguignons ou floebergs	8
Icebergs	9
Indéterminé ou inconnu	X

Interprétation des cartes des glaces

Les cartes des glaces observées ou interprétées doivent comporter des lignes de démarcation de tous les changements relativement aux paramètres des glaces. Toutefois, les exigences relatives aux cartes quotidiennes d'analyse des glaces ont été formulées de concert avec la Garde côtière canadienne. Plus particulièrement, ces exigences visent le traçage de lignes de démarcation obligatoires des types et des concentrations de glaces et des dimensions des floes présentant un intérêt pour le navigateur.

Table 12 Concentration

	<1/10	Open water/ Eau libre		9/10	Very close pack/ Banquise très serrée
	1-3/10	Very open drift/ Banquise très lâche		9+/10	Very close pack/ Banquise très serrée
	4-6/10	Open drift/ Banquise lâche		10/10	Compact/Consolidated ice Banquise compact/consolidée
	7-8/10	Close pack/Drift Banquise serrée			

En règle générale, une carte quotidienne d'analyse des glaces ne montrera pas de ligne de démarcation entre des concentrations de glace ne variant que d'un dixième, sauf s'il s'agit d'une banquise très serrée ou compacte. La concentration totale est le facteur déterminant de la délimitation des glaces, mais on ne tiendra pas compte de la nouvelle glace lorsque des glaces de première année ou des glaces plus épaisses sont présentes.

La **lisière des glaces** est la démarcation entre l'eau libre et les concentrations de glace d'un ou plusieurs dixièmes. Cela veut dire que l'on peut s'attendre à trouver des traces de glace au-delà de la lisière. Dans le cas de la glace blanchâtre ou d'une glace plus épaisse, le spécialiste des prévisions météorologiques a la latitude d'établir une ligne de démarcation supplémentaire entre les glaces à la dérive ou la banquise serrées (7 à 8 dixièmes) et les glaces à la dérive ou la banquise très serrées (9 à plus de 9 dixièmes).

L'utilisateur d'une carte quotidienne d'analyse des glaces doit être conscient que les types de glace sont considérés comme étant planes et non déformés. À cause des chevauchements des glaces et de la formation de crêtes, des traces de glaces plus épaisses seront habituellement présentes. Dans ce cas, on utilise les codes 8• (glace de deuxième année) et 9• (glace de plusieurs années) dans l'Arctique pour la période d'octobre à décembre et, quand la situation est bien connue, pour toute autre période. Une ligne de démarcation n'est pas requise entre ces deux types. Le long de la côte du Labrador et dans les eaux de Terre-Neuve, on emploie le code 7• (vieille glace).

Dans des zones de glace plus épaisse, la navigation est plus difficile parmi les grands floes que parmi les petits. Lorsque des glaces de première année ou plus épaisses sont présentes en concentration d'au moins 6 dixièmes, une ligne de démarcation est requise entre les zones de floes moyens ou grands (code 4 ou supérieur) et les zones de petits floes (code 3 ou inférieur).

Des cordons et des bancs sont souvent utilisés sur une carte pour tenter de décrire avec précision les conditions glacielles dans une zone de concentration totale « glaces à la dérive très lâches » à « glaces à la dérive lâches ». Dans de telles zones, surtout le long des lisières, les vents, les courants et les marées disposent les glaces en cordons et en bancs très serrés entre lesquels s'étendent de grandes nappes d'eau libre. De même, on utilise fréquemment deux codes de l'œuf joints par le symbole du cordon pour dépeindre des cordons et des bancs serrés ou très serrés d'un type plus épais. Dans ce cas, les bancs sont enchâssés dans une grande zone de couverture de glace plus mince. Un navire qui peut avancer convenablement dans la concentration moyenne de glace d'une banquise lâche doit réduire sa vitesse lorsqu'il rencontre un cordon ou un banc de la concentration la plus dense.

La carte quotidienne d'analyse des glaces offre une image statique de l'état des glaces à 1800 UTC. Les glaces ont généralement une certaine mobilité selon les conditions météorologiques et océanographiques. Les flèches de dérive figurant sur les cartes aident l'utilisateur à évaluer l'évolution des conditions glacielles pendant les 24 heures qui suivent. Ces flèches indiquent la dérive nette prévue sur 24 heures des glaces entièrement mobiles selon les prévisions éoliennes et la connaissance que l'on a des courants. Les forces éoliennes sont directement proportionnelles au facteur de déplacement des glaces. Le facteur de déplacement des glaces, quant à lui, est directement proportionnel à l'épaisseur des glaces et indirectement proportionnel à la concentration totale de glace et à la taille des floes. Cela signifie que les glaces qui se déplacent le plus rapidement, comme les glaces à la dérive très lâches, devraient dériver au rythme indiqué. Il y a toujours un laps de temps entre le début de vents forts et le début de la dérive d'un champ de glace dans la direction du vent, et le champ de glace continuera de dériver dans cette direction pendant un certain temps après que le vent est tombé ou a changé de direction.

Les flèches peuvent servir d'indication de la pression glacielle lorsqu'elles figurent dans une zone de glaces plus épaisses et qu'elles sont orientées vers une zone de glaces encore plus épaisses ou vers la côte. À l'inverse, on indiquerait les zones d'atténuation de pression ou de formation de chenaux par une flèche représentant une dérive en mer.

L'utilisateur doit savoir que, du fait de la fonte et de la destruction de la glace, une lisière pourrait ne pas progresser au rythme indiqué. À l'opposé, en période de formation, elle pourrait avancer à un rythme plus rapide.

Figure 66 Navire s'approchant d'un cordon ou de la glace de plusieurs années

4.16.4 Caractéristiques des glaces de mer

Des formes et des formations caractéristiques sont liées à des types de glace et donnent des indications utiles que le navigateur peut mettre à profit pour reconnaître et caractériser l'état des glaces. Il faut se rappeler que des conditions ambiantes comme l'obscurité, le brouillard, la couverture nivale, la rugosité de la glace et la fonte en surface peuvent venir compliquer cette constatation. D'autres renseignements sur les caractéristiques et la terminologie des types glaciels sont présentés à l'0.

Nouvelle glace

La nouvelle glace est de la glace récemment formée dont les cristaux ne sont que faiblement soudés ensemble s'il y a, bien sûr, agglutination. On la trouve habituellement à l'état non structuré sous forme de cristaux répartis à la surface de la mer dans une couche pouvant excéder 1 m d'épaisseur, selon l'état de la mer.

Figure 67 : Exemple de nouvelle glace

On reconnaît la nouvelle glace à sa texture épaisse comme de la soupe et à son aspect mat, comme l'illustre la figure 67. Elle peut aussi prendre la forme de bosses de glace blanche et spongieuse de quelques centimètres de diamètre (état désigné par le terme « shuga »), qui peuvent être formées par de fortes chutes de neige dans l'eau lorsque la température est aux environs du point de congélation.

Nilas

Le nilas est de la glace qui s'est formée au point de créer une mince couche élastique à la surface de la mer. Cette couche peut atteindre 10 cm d'épaisseur et se caractérise par son aspect sombre et mat.

Le nilas a des caractéristiques uniques de déformation qui le rendent facilement reconnaissable. Il ondule facilement dans le sillage d'un navire, souvent sans rupture, et lorsque deux couches de nilas convergent, elles peuvent se chevaucher et s'imbriquer en formant des « doigts » relativement minces. La figure 68 illustre toutes ces caractéristiques. La nouvelle glace et le nilas ne constituent pas un danger pour la navigation.

Figure 68 Exemple de nilas



Jeune glace

La jeune glace est de la glace d'une épaisseur de 10 à 30 cm. Ce type glacié comprend la glace grise (d'une épaisseur de 10 à 15 cm) et la glace blanchâtre (d'une épaisseur de 15 à 30 cm). Comme ces désignations l'indiquent, la jeune glace se distingue facilement par sa teinte grise. Les floes de glace grise qui convergent se chevaucheront pour former des « doigts » plus larges que ceux que forme le nilas, et il peut y avoir des chevauchements de très vastes couches. On observe fréquemment des champs étendus de fragments, surtout de glace blanchâtre.

Figure 69 : Exemple de glace en crêpes



La jeune glace est d'une résistance suffisante pour représenter une menace pour les navires non renforcés pour la navigation dans les glaces et ralentir l'avance des navires à faible puissance. Les figures 69 et 70 montrent des exemples de jeune glace.

Figure 70: Exemple de jeune glace, de glace grise et de glace blanchâtre



Glace de première année

La glace de première année (que l'on appelle parfois « glace blanche ») est une glace de plus de 30 cm d'épaisseur et de moins d'un an. Elle peut être mince, moyennement épaisse ou épaisse, mais il est souvent difficile de juger de son épaisseur à première vue, la couleur et les caractéristiques de sa surface étant relativement les mêmes pour toutes les épaisseurs. Dans des crêtes, l'épaisseur des extrémités des blocs est une indication de l'épaisseur minimale, mais les glaces planes entrant dans la composition d'une crête peuvent être plus épaisses selon l'âge de cette crête.

Figure 71 : Exemple de glace de première année



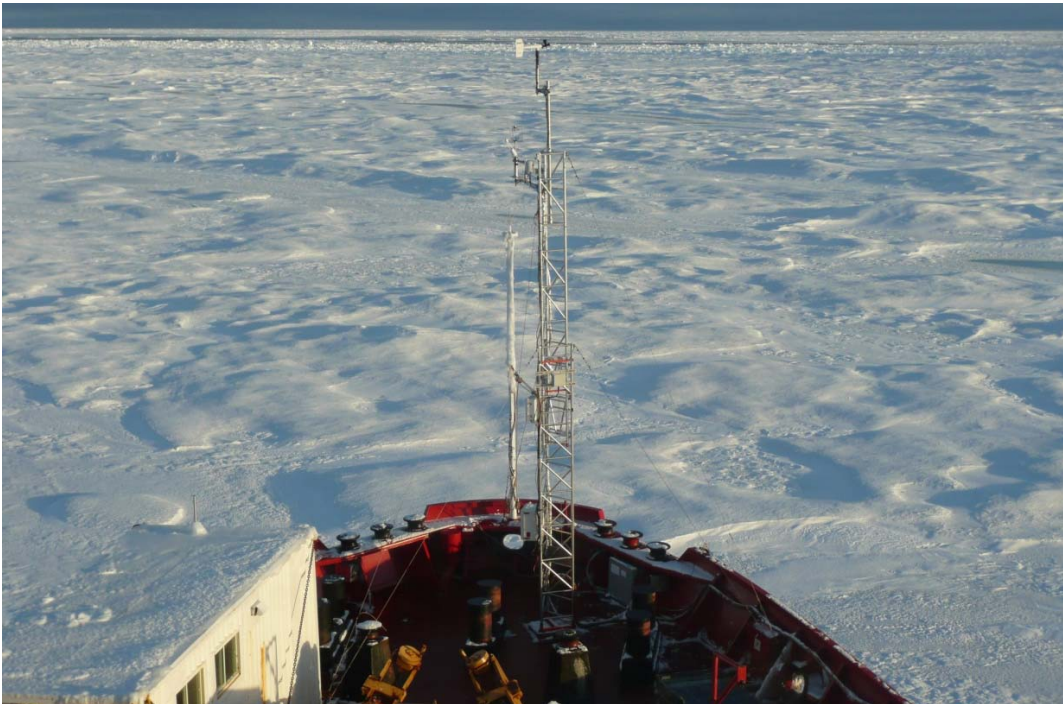
La façon la plus précise d'estimer l'épaisseur des glaces est d'observer les extrémités des morceaux contre la coque du navire. Il est utile de connaître les dimensions d'une ou deux composantes du pont (comme la largeur de la lisse) que l'on pourra voir de la passerelle en même temps que des morceaux de glace viendront s'y fracasser. La figure 71 montre un exemple de glace de première année.

Vieille glace

La vieille glace est une glace ayant plus d'un an d'existence et qui a survécu à au moins une saison de fonte. Ce type de glace comprend la glace de deuxième année et la glace de plusieurs années. En période de fonte, des mares se forment à la surface des glaces de première année qui, à cause de leur teinte plus sombre, tendent à absorber plus de rayonnement solaire que les bancs avoisinants de glace blanche. Si la glace ne fond pas entièrement avant le début de la nouvelle saison d'englacement, l'ondulation de la surface en deviendra un trait permanent. Avec la succession des cycles de fonte et de gel, les glaces deviennent progressivement plus épaisses et la différence entre les mares et les hummocks s'accroît.

Il n'est pas toujours facile de distinguer la glace de deuxième année de la glace de première année, puisque la couverture nivale et l'eau de fonte ont tendance à occulter les premiers stades de la formation d'hummocks. La couverture de glace qui correspond en fait à la glace de deuxième année se limite normalement à la tranche supérieure de 50 à 100 cm, le reste représentant la formation de glace de première année. Ainsi, lorsque des morceaux roulent sur leur flanc, on peut reconnaître la glace de deuxième année à la présence entre les deux couches d'une ligne de démarcation distincte de plusieurs centimètres d'épaisseur. Sous cette ligne de démarcation, on distinguera d'ordinaire la glace de première année à sa couleur légèrement plus verte et à la disposition verticale de ses cristaux en colonnes. La figure 72 montre un exemple de glace de deuxième année.

Figure 72 : Exemple de glace de deuxième année



La glace de plusieurs années est plus facile à reconnaître que la glace de deuxième année, principalement parce que les hummocks et les mares de fonte deviennent de plus en plus prononcés. De plus, il existe normalement un réseau bien établi de drainage reliant les mares, et les floes ont généralement une plus grande partie émergée que les glaces de première année. Là où la glace est vive, la couleur de la glace de plusieurs années peut paraître plus bleutée que celle de la glace de première année.

La taille, l'épaisseur et la rugosité des floes de plusieurs années varient considérablement selon l'histoire de leur formation. Même lorsque des fragments ou de la neige en dissimulent la surface, on peut souvent reconnaître ces floes très forts aux crêtes de glace de première année qui se forment dans bien des cas sur leur pourtour. On peut aussi discerner un grand nombre de ces caractéristiques sur la photo (figure 73) d'un floe type de plusieurs années. La glace de plusieurs années est la glace de mer la plus résistante et la plus dure, et elle constitue un sérieux obstacle, voire un danger, pour tous les navires. Même les brise-glaces les plus puissants feront tout pour l'éviter.

Figure 73 : Exemple de glace de plusieurs années



Icebergs, des fragments d'iceberg et des bourguignons

Les navigateurs doivent se méfier des chenaux dans la banquise qui pourraient soudainement les conduire en face d'un iceberg. Comme les icebergs ont un fort tirant d'eau glacial, ils obéissent davantage aux courants océaniques et moins aux vents que les glaces de mer environnantes. Il peut en résulter des différences de mouvement et, dans ce cas, un iceberg peut frayer un chenal d'eau libre dans la banquise.

Ces observations valent généralement autant pour les fragments d'iceberg et les bourguignons que pour les icebergs, mais la moindre taille des premiers rendra souvent leur repérage plus difficile, d'où le très grand danger qu'ils représentent. Il faut surveiller particulièrement les fragments d'iceberg et les bourguignons, car ils peuvent être bien cachés dans un champ de glace cassée et reformée ou par le moutonnement en mer libre, comme on le voit sur la figure 74. Leur forme peut même rendre les plus gros fragments d'iceberg difficiles à détecter au radar de marine, lorsque leur partie émergée est relativement basse et que leurs flancs sont orientés de manière à dévier l'énergie du signal loin des antennes. Le fragment d'iceberg que l'on peut voir sur la figure 75 était invisible sur l'image radar. Il est bon de réduire la vitesse dans les eaux bergées et d'ajouter une vigie pour assurer une surveillance continue et adéquate. Les fragments d'iceberg et les bourguignons représentent la plus grande menace pour les navires dans les eaux couvertes de glaces.

MISE EN GARDE : LE NAVIGATEUR DOIT ÊTRE À L'AFFÛT DES FRAGMENTS D'ICEBERG ET DES BOURGUIGNONS EN TOUT TEMPS LORSQU'IL SE TROUVE DANS DES EAUX BERGÉES. IL NE FAUT PAS S'EN REMETTRE UNIQUEMENT AU RADAR DE MARINE POUR REPÉRER LES ICEBERGS, LES FRAGMENTS D'ICEBERG ET LES BOURGUIGNONS DANS LE BROUILLARD ET L'OBSCURITÉ.

Figure74 : Iceberg et bourguignons en mer libre



Figure75 : Exemple d'un fragment d'iceberg non repéré au radar de marine



4.16.5 Observations maritimes depuis les navires

Les observations des conditions météorologiques, de la mer et des glaces depuis les navires constituent une importante source d'information pour les centres de prévision des intempéries d'Environnement Canada. Elles permettent aux météorologues :

- de savoir où se trouvent les navires et de se concentrer sur ces secteurs;
- de confirmer les prévisions par des données réelles pour la période de prévision;
- d'apprendre en temps réel quels vents sont générés par les divers systèmes barométriques dans un secteur;

- de savoir quelles techniques de prévision conviennent dans un secteur donné pour prévoir l'état de la mer, le givrage des navires et les mouvements des glaces, entre autres.

Les données d'observation directe depuis les navires sont incorporées aux cartes et aux analyses météorologiques. Les observations transmises par les navires traversant le détroit d'Hudson et la baie d'Hudson, par les bateaux de pêche sillonnant le détroit de Davis en novembre et en décembre et par tout navire naviguant dans l'Arctique sont de première nécessité.

En plus de les intégrer dans les prévisions courantes, on stocke ces données au Centre climatologique canadien à Toronto pour que des météorologues puissent les analyser, notamment pour en dégager les valeurs moyennes et extrêmes du vent pour diverses zones maritimes. Les ingénieurs se servent de ces données pour évaluer des phénomènes extrêmes prévus et qui pourraient agir sur les navires et les structures; ils peuvent ainsi élaborer et raffiner des formules de calcul des conditions telles que l'état de la mer et le givrage des navires.

Il est possible de communiquer sans frais les observations au centre de prévision des intempéries approprié figurant sur la liste de la section 1.7 ou au centre des Services de communication et de trafic maritimes (SCTM) le plus proche, qui les transmettra au centre de prévision des intempéries approprié. Les observations des conditions météorologiques, de la mer et des glaces peuvent être ajoutées à tout compte rendu de position. Ainsi, tous les navires naviguant en eaux arctiques sont tenus de signaler leur position une fois par jour. Il est fort utile de fournir des observations météorologiques toujours aux mêmes heures (0000, 0600, 1200 et 1800 UTC) en vue de la mise à jour des cartes et des prévisions.

CHAPITRE 5. CONCEPTION ET CONSTRUCTION DES NAVIRES POUR LA NAVIGATION DANS LES GLACES

5.1 CONCEPTION DE LA FORME DE LA COQUE

5.1.1 Forme de la proue

La forme de la proue des navires de type est caractéristique des navires conçus pour la navigation en eau libre. Ces navires sont munis d'une étrave à bulbe, qui est particulièrement vulnérable à la glace épaisse de première année et aux vieux floes. Comme telle, l'étrave à bulbe ne sert qu'à chasser la glace, c'est-à-dire à la pousser loin du navire. C'est pourquoi les exploitants de navires de type ne doivent pas tenter de briser la glace de façon brutale. En ce qui concerne les brise-glaces, on peut décrire la forme de leur proue par leurs angles d'étrave, de dévers, de section longitudinale et de flottaison. Ces angles contribuent au déglacage, à la submersion de la glace et au dégagement de la glace. Les tendances récentes en matière de conception des brise-glaces consistent à augmenter les angles de dévers et à diminuer les angles de flottaison, d'étrave et de section longitudinale.

On peut qualifier certaines formes de la proue des brise-glaces de classiques ou régulières en ce qu'elles représentent une amélioration progressive de leur résistance au déglacage, tout en conservant la coque unie qui offre le moins de résistance en eau libre (figure 76). D'autres formes de proue peuvent être considérées comme non classiques ou irrégulières, puisqu'elles s'écartent nettement des formes de coque unie (figure 77). Dans des eaux couvertes de glace unie, l'expérience semble montrer que les meilleures formes classiques ont offert un rendement presque égal à celui des meilleures formes non classiques.

Figure 76 : Forme de l'avant classique d'un brise-glace

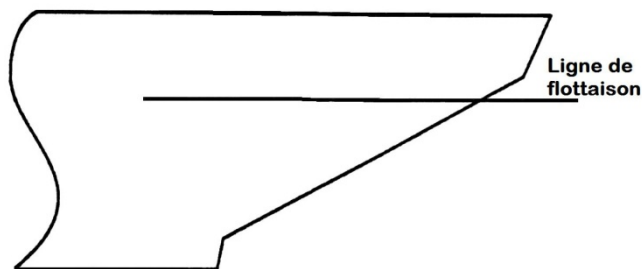
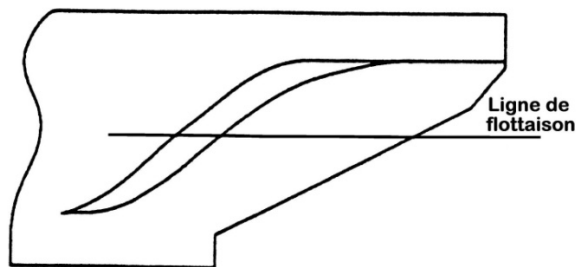


Figure 77 : Forme de l'avant non classique



5.1.2 Forme du milieu

Pour choisir la forme du milieu du navire, il faut considérer l'effet de ce choix sur la résistance, la manœuvrabilité, les coûts de construction et le port en lourd requis. La section médiane de la coque peut se caractériser par un angle de dévers (sur toute la profondeur ou localement), une forme droite et un effilement longitudinal.

5.1.3 Forme de la poupe

La forme de la poupe des brise-glaces est principalement dictée par le nombre d'hélices, qui est lui-même fonction de la puissance requise et des besoins opérationnels. La poupe doit assurer la meilleure protection possible aux gouvernails et aux hélices. Un certain nombre de possibilités s'offrent aux concepteurs pour procurer cette protection. L'arrière classique, qui est caractéristique des brise-glaces de la Garde côtière canadienne, est arrondi pour maximiser le rendement du déglacage par l'arrière, et est habituellement muni d'une oreille antiglace qui protège le gouvernail. Plusieurs brise-glaces ont une poupe inclinée à tableau qui permet aux fragments de monter à la surface bien en avant des hélices.

Plusieurs caractéristiques techniques peuvent être ajoutées à l'arrière d'un navire pour protéger les gouvernails et les hélices :

- une oreille antiglace fixée à la coque juste au-dessus du gouvernail, pour le protéger durant les manœuvres de recul;

- des butoirs de gouvernail, pour protéger le gouvernail et l'appareil à gouverner contre les dommages durant les manœuvres de recul lorsque la glace risque de déplacer le gouvernail de sa position centrale;
- des tuyères, pour assurer une certaine protection aux hélices;
- des ailerons de déflexion, parfois ajoutés à la coque en vue de faire dévier les fragments loin des hélices;
- une plage de dégagement des glaces (ou jupe antiglace), qui fait saillie en coin à la ligne de flottaison (sous la coque du navire) en avant des hélices et remonte suivant une pente vers la ligne de flottaison en arrière de celles-ci pour éloigner les blocs de glace.

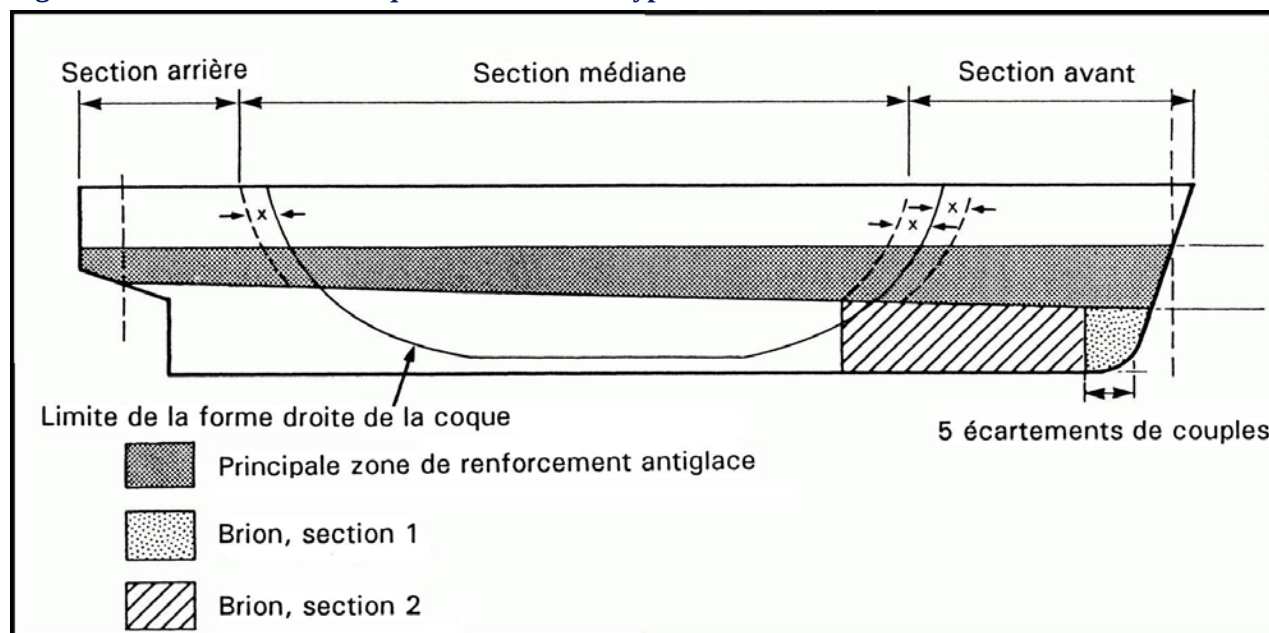
5.2 CONCEPTION DE LA CHARPENTE

5.2.1 Poussée des glaces

Pour concevoir la charpente des brise-glaces ou d'autres navires destinés à la navigation dans les glaces, il faut connaître l'importance de la poussée des glaces sur laquelle influent la forme de la coque, le déplacement, la puissance, la vitesse, la concentration des glaces et le type glacial.

La poussée des glaces qui s'exerce sur la coque d'un navire varie selon les parties de la coque touchées. Elle est plus intense à l'avant et généralement moins intense sur le fond. La figure 78 illustre les sections de la coque d'un navire de type. La recherche dans le domaine démontre que la poussée des glaces ne se répartit pas également sur la surface de contact entre la coque et la glace. Il semble que la forme de cette zone est elliptique et que la longueur du grand axe dépasse de huit fois environ celle du petit axe. Pour ce qui est de la zone de contact de l'avant du navire, cette forme elliptique est pour ainsi dire symétrique des deux côtés de l'étrave.

Figure 78 : Sections de la coque d'un navire de type



5.2.2 Disposition de la charpente

La charpente d'un navire doit être conçue et disposée de façon à pouvoir résister aux forces qui s'y exercent globalement et localement. Le facteur général le plus courant à prendre en considération est le module adéquat de résistance de la poutre-coque pour les navires de cote glace la plus élevée en « situation d'échouement ». Cette situation peut survenir lorsqu'un navire effectue des manœuvres d'éperonnage d'un floe et que sa partie avant sort de l'eau pour se poser sur le floe. Les navires de cote arctique plus basse, les navires de type et les navires qui ne sont pas uniquement destinés à des opérations dans les eaux arctiques,

comme ceux qui sont exploités dans les Grands Lacs ou d'autres eaux intérieures, n'ont pas nécessairement besoin d'un module de résistance plus élevée que les navires naviguant en eau libre, puisque les contraintes de flexion qui s'exercent lors des manœuvres normales n'excèdent pas celles d'une navigation par grosse mer. Chaque section de la charpente doit pouvoir résister à la flexion, au cisaillement, au flambage et au déjettement. Bien que les ruptures de flexion aient toujours été considérées comme les plus probables, l'expérience de la navigation dans l'Arctique démontre que le flambage et le déjettement des membrures sont des modes de rupture plus critiques. Un navire de type ne doit jamais être utilisé pour briser la glace avec son poids de façon si brutale que sa partie avant sorte de l'eau comme le ferait un brise-glace. Toutefois, un navire de type ballasté exposant une assiette excessive sur l'arrière peut coincer des floes sous sa partie avant à une distance considérable de la poupe. Le fond du navire peut facilement être endommagé si de gros floes sont poussés contre le bordé de fond, qui est en général moins résistant que la zone de bordé renforcé.

Dans une charpente classique de brise-glace, des maîtres-couples espacés d'environ 40 cm soutiennent le bordé extérieur. Ils s'appuient sur des serres longitudinales que supportent des porques ou des cloisons. Les racinaux de la charpente principale supportent les charges générales, alors que les maîtres-couples soutiennent les charges locales. Cette disposition est fondée sur l'hypothèse suivant laquelle la rupture initiale sera causée par l'affaissement des maîtres-couples; la portée de ces couples doit donc être courte, d'où la position des serres. Dans ce genre de charpente, la rupture provient habituellement du flambage et du déjettement des couples.

Des dispositions plus simples sont nées de la constatation que le flambage et le déjettement étaient les modes de rupture critiques. Elles prévoient que les plaques d'acier entre deux ponts reposent sur de gros maîtres-couples dont l'espacement est plus grand que dans la disposition classique, dans l'hypothèse où la résistance de la membrane du bordé extérieur peut être prise en compte dans les calculs de la résistance. Les couples sont conçus pour résister à la flexion, au flambage et au déjettement, ce qui donne des couples plus lourds et rend les serres inutiles. La disposition de la charpente ainsi obtenue comprend des bordés plus minces et des maîtres-couples plus gros, mais très peu d'éléments et de liaisons, ce qui facilite la construction et réduit le coût.

5.2.3 Matériaux de construction et comportement à basse température

L'intégrité de la charpente requiert un choix approprié des matériaux de la coque. Les deux principales catégories d'acier utilisées en construction navale sont les aciers à résistance normale et à haute résistance (en référence à leur limite d'élasticité inférieure). Dans ces deux catégories, il existe plusieurs qualités d'acier qui se distinguent par leur composition chimique et d'autres propriétés mécaniques.

L'expérience démontre que le facteur critique des propriétés de la tôlerie des navires de cote arctique est leur résistance aux ruptures de fragilité dans les situations de basses températures et de charge élevée typiques des opérations dans les glaces. Pendant la conception, les basses températures représentent la condition ambiante la plus importante pour la sélection de matériaux résistants aux ruptures de fragilité. À basse température, la ductilité et la résistance aux ruptures diminuent; le fait que l'acier se fragilise augmente les probabilités de ruptures de fragilité catastrophiques. Ce phénomène est plus fréquent au-dessus de la ligne de flottaison, où l'acier est exposé à des températures de l'air très basses.

Les navigateurs à bord d'un bâtiment naviguant dans les glaces doivent connaître le type d'acier utilisé dans sa construction. Le plan de développement du bordé extérieur doit être à bord et clairement indiquer les qualités d'acier utilisées. Si un navire ne comporte pas d'acier résistant aux basses températures, il importe d'éviter les collisions avec des glaces dures lorsque la température de l'air est très basse ou lorsque le navire a été exposé à de très basses températures durant une longue période avant de naviguer dans les glaces.

5.3 SYSTÈMES DE PROPULSION

Les systèmes de propulsion des bâtiments destinés à la navigation dans les glaces doivent être fiables, souples (en tenant compte de la redondance) et faciles d'entretien. Ils doivent également avoir des rapports élevés de puissance-poids et de puissance-espace. Les deux systèmes de propulsion qui prédominent dans les navires destinés à la navigation dans les glaces sont la transmission diesel-électrique avec hélices à pas

fixe (caractéristique des brise-glaces) et la transmission diesel-mécanique avec hélices à pas variable. Les navires qui n'ont pas à effectuer de déglacage sont généralement pourvus d'une transmission diesel-mécanique, avec ou sans hélices à pas variable. Les systèmes de propulsion les plus récents des brise-glaces comprennent des systèmes de propulsion Azipod immergés, qui sont très efficaces tant pour les brise-glaces que pour les navires de charge brise-glaces. En éliminant la nécessité de recourir au gouvernail, ces systèmes améliorent la manœuvrabilité des navires tout en écartant les risques de dommages au gouvernail.

5.3.1 Machines d'entraînement

Le choix de la machine d'entraînement dépend de la tâche à accomplir, de la zone d'opérations et de facteurs économiques. On trouve actuellement des moteurs diesel, des turbines à vapeur et des turbines à gaz dans les brise-glaces ou les navires destinés à la navigation dans les glaces.

Les moteurs diesel à régime moyen sont habituellement unidirectionnels et requièrent un appareil distinct pour la marche arrière, qui peut consister en une hélice à pas variable ou un système d'entraînement électrique. L'inconvénient majeur de ce système est l'absence de protection contre le surcouple. En revanche, des génératrices diesel à régime moyen ont été installées dans beaucoup de brise-glaces, parallèlement à des moteurs à propulsion électrique ou pour entraîner une hélice à pas variable au moyen d'un engrenage. Les diesels lents sont d'ordinaire accouplés directement à une hélice à pas fixe, bien que certains le soient à une hélice à pas variable. D'habitude, ces moteurs sont installés dans des navires destinés à naviguer uniquement dans des eaux à faible concentration de glace, dans des glaces fragmentées ou sous escorte. Par ailleurs, les turbines à vapeur sont unidirectionnelles et, dans les brise-glaces, un appareil de transmission électrique assure généralement la marche arrière. Mis à part les navires à propulsion nucléaire, très peu de brise-glaces sont dotés de turbines à vapeur. Les brise-glaces à propulsion nucléaire utilisent leurs turbines à gaz pour générer de l'électricité et faire fonctionner les moteurs à propulsion électrique, exactement comme les brise-glaces diesel-électriques classiques; seule la machine d'entraînement est différente. Les turbines à gaz sont également unidirectionnelles et la marche arrière se fait au moyen d'une boîte de mécanisme de changement de marche ou d'une hélice à pas variable.

5.3.2 Transmissions électriques

Les brise-glaces de la Garde côtière canadienne sont habituellement équipés de systèmes de transmission électrique. Auparavant, il s'agissait le plus souvent de systèmes CA-CC, mais depuis peu, on utilise le système CA-FFC-CA, où FFC désigne un stabilisateur toutes fréquences. Les brise-glaces commerciaux et les navires de charge sont généralement dotés de transmissions mécaniques.

5.3.3 Transmissions mécaniques

Les transmissions mécaniques se composent de réducteurs, d'embrayages et (peut-être) de volants. Dans les navires destinés à la navigation dans les glaces et qui sont dotés de moteurs diesel à régime moyen, de réducteurs et d'hélices à pas variable, il est normal de relier le moteur et le réducteur par un embrayage multidisque, par un coupleur hydraulique ou encore par les deux. Les volants ajoutent de l'inertie au système et sont utilisés aussi bien entre la machine d'entraînement et le réducteur qu'à l'arrière de ce dernier.

5.3.4 Arbres et organes de ligne d'arbres

Les accouplements d'arbres sont habituellement de deux types. Dans le cas des hélices à pas fixe, la ligne d'arbres comprenant des brides intérieures forgées en une seule pièce à l'arbre est la plus courante. Lorsque l'hélice est boulonnée à l'arbre comme dans le cas d'une hélice à pas variable, une bride extérieure est fournie et l'accouplement intérieur est de type à manchon cylindrique avec injection d'huile. L'arbre d'hélice des brise-glaces doit être le plus court possible, et les moteurs de propulsion placés aussi loin que possible pour réduire les vibrations dans l'arbre et le nombre de paliers d'arbre requis pour y parvenir.

Habituellement, les brise-glaces de la Garde côtière canadienne ont des paliers à douves de caoutchouc lubrifiés à l'eau. Des paliers à revêtement antifriction lubrifiés à l'huile ont été installés dans beaucoup de navires canadiens de cote arctique du secteur privé. Ces paliers n'ont pas posé de problèmes importants, mais il y a danger de rupture si le joint d'huile s'abîme et qu'il y a fuite d'huile.

D'après les statistiques, ce sont les problèmes liés aux joints d'arbre d'hélice qui ont immobilisé le plus de navires. L'utilisation des joints de type radial est très répandue dans les navires de cote arctique munis d'arbres de taille moyenne (jusqu'à 120 cm de diamètre environ) et à petit jeu de palier d'étambot. Les joints de type axial sont utilisés dans un certain nombre de brise-glaces et de navires de cote glace et ont été testés sur des arbres ayant jusqu'à 160 cm de diamètre.

MISE EN GARDE : CE SONT LES PROBLÈMES LIÉS AUX JOINTS D'ARBRE D'HÉLICE QUI ONT IMMOBILISÉ LE PLUS DE NAVIRES.

5.3.5 Hélices

Les hélices à pas fixe sont utilisées dans la plupart des brise-glaces. Depuis 1966, en revanche, on utilise des hélices à pas variable dans un grand nombre de brise-glaces et de navires de charge brise-glaces. Les pales d'hélice des navires de cote glace sont habituellement en acier inoxydable et en bronze au nickel-aluminium. Les systèmes comportant une machine d'entraînement sans renversement, comme les moteurs diesel à régime moyen ou les turbines à gaz, seront généralement dotés d'hélices à pas variable pour la marche arrière. Les systèmes d'entraînement électrique et les diesels lents utilisent en général des hélices à pas fixe et la marche arrière se fait par inversion de la rotation des arbres.

Les tuyères augmentent souvent la propulsion et la protection des hélices et peuvent réduire les exigences de résistance des pales. Toutefois, en ce qui concerne les navires à faible tirant d'eau qui naviguent dans la mer de Beaufort, il est arrivé que ces tuyères se soient obstruées dans de la glace épaisse ou déformée (comme la glace empilée ou tourmentée). Le décolmatage à contre-courant des tuyères obstruées par les sarrasins prend beaucoup de temps et l'eau drainée à travers une tuyère obstruée peut causer de graves cavitations.

5.4 SYSTÈMES DE COMMANDE DE GOUVERNAIL

Une analyse récente des dommages causés aux systèmes de commande de gouvernail des navires naviguant dans les glaces indique que, dans plus de la moitié des cas, ce sont les mèches de gouvernail qui se sont brisées. Dans 20 % des cas, il s'agissait de l'appareil à gouverner et dans 20 % des cas encore, des parties comme les aiguillots, les coussinets, les clavettes et les paliers. Les charges les plus élevées sur les systèmes de commande de gouvernail s'exercent lors des manœuvres en marche arrière. Le rythme de montée de la charge peut être si rapide que les soupapes de décharge, lors de la navigation en eau libre, n'ont pas une vitesse de réaction suffisante et que la poussée des glaces atteint alors des niveaux excessifs avant qu'elles ne deviennent efficaces.

MISE EN GARDE : IL FAUT METTRE LA BARRE À ZÉRO LORS DES MANŒUVRES EN MARCHÉ ARRIÈRE POUR ÉVITER QUE DES CHARGES ÉLEVÉES NE S'EXERCENT SUR L'APPAREIL À GOUVERNER.

Dans la plupart des brise-glaces, une oreille antiglace installée directement au-dessus et à l'arrière du gouvernail permet de le protéger. Des butoirs de gouvernail peuvent aussi être installés sur la coque pour immobiliser le gouvernail à deux degrés au moins de la portée maximale de l'appareil à gouverner. Les brise-glaces de la mer Baltique utilisent deux gouvernails lorsqu'ils sont dotés de deux hélices, contrairement à ceux de la Garde côtière canadienne, qui n'en ont qu'un seul lorsque l'appareil de propulsion est à deux ou à trois hélices.

MISE EN GARDE : LE GEL DES SYSTÈMES DU PONT ET DE LA SALLE DES MACHINES EST LE PROBLÈME LE PLUS FRÉQUENT DANS LES NAVIRES ÉTRANGERS QUI NAVIGENT PAR CLIMAT FROID ET DANS DES EAUX COUVERTES DE GLACES.

5.5 SYSTÈMES AUXILIAIRES

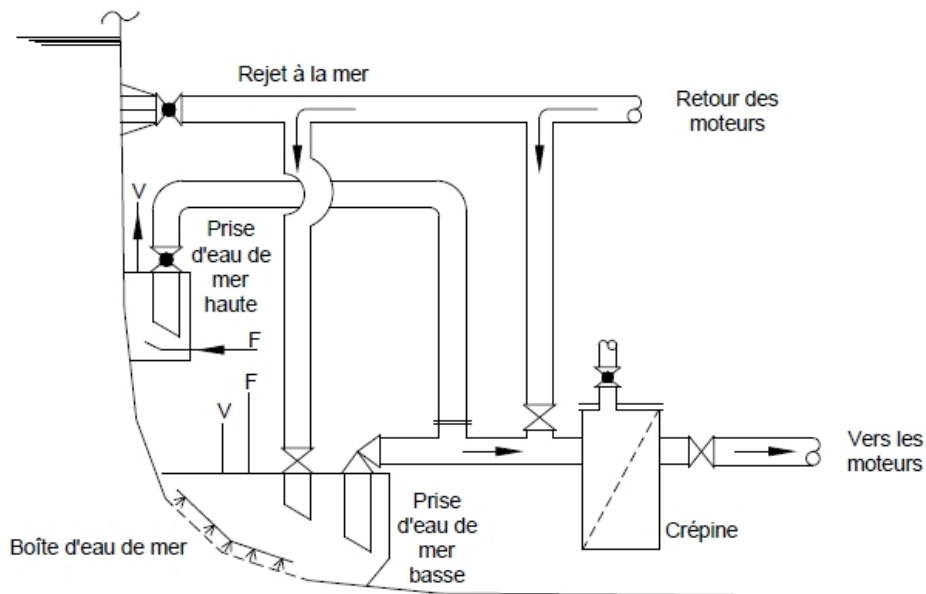
5.5.1 Refroidissement

La glace ou la gadoue peuvent pénétrer dans les caissons d'eau de mer ou dans les prises d'eau de mer, ce qui empêche l'écoulement de l'eau de mer vers le système de refroidissement. C'est un problème que connaissent la majorité des navires qui s'engagent dans des eaux couvertes de glaces, particulièrement lorsqu'ils sont en tirant d'eau léger. Sans eau pour le système de refroidissement, l'appareil propulsif fonctionne mal et risque de surchauffer, d'où des possibilités d'arrêt ou d'avaries importantes. Les navires naviguant dans les glaces doivent être conçus de façon à empêcher la glace d'obstruer les conduits du système de refroidissement.

Généralement, le circuit de refroidissement devrait :

- a) maintenir un apport d'eau provenant d'aspirations situées le plus bas possible et le plus à l'arrière possible près du centre du navire.
- b) Utiliser des boîtes d'eau de mer qui devraient :
 - a. Être installées de chaque côté du navire ;
 - b. Être immergées le plus profondément possible;
 - c. Être ouvertes à la mer sur une surface d'au moins cinq à six fois la section totale des prises d'aspiration desservies par le caisson d'eau de mer;
 - d. Être munies sur le bordé du navire d'une crépine ayant des perforations d'environ 20 mm de diamètre pour empêcher l'entrée de grosses particules de glace;
 - e. Être munies d'une prise de vapeur à basse pression pour nettoyer la crépine;
 - f. Être munies d'une conduite d'aération depuis la prise d'eau de mer qui soit de dimensions égales à celle de la conduite d'aspiration.
- c) Utiliser des dispositifs pour détourner l'eau de refroidissement réchauffée vers les prises et les crépines d'eau de mer.
- d) Permettre avec des moyens manuels de dégager les boîtes d'eau de mer en introduisant de la vapeur ou de l'air à basse pression.
- e) Permettre à la glace et la gadoue introduites dans le système de flotter librement à l'écart de l'aspiration des pompes en évitant d'agiter l'eau.
- f) Permettre l'utilisation permanente ou temporaire d'eau de lest de deux façons :
 - a. Refouler l'accumulation de glace des crépines d'aspirations.
 - b. Refroidir les moteurs comme moyen à court terme ou à plus long terme si une grande quantité d'eau est utilisable en circuit fermé.

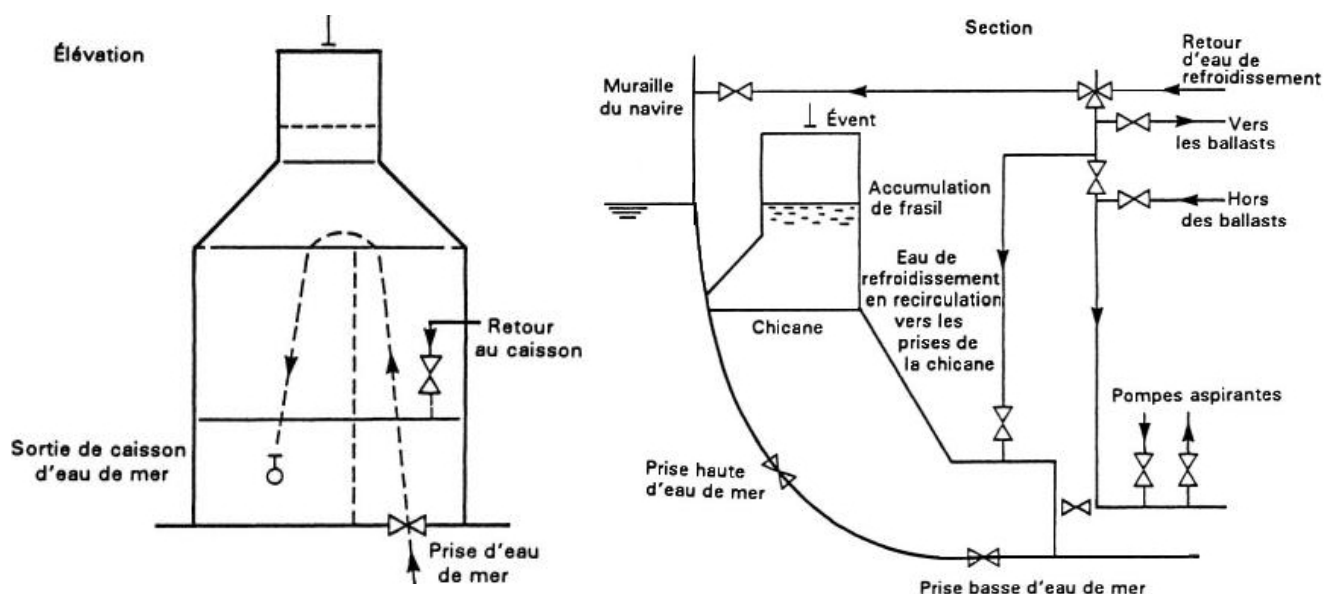
MISE EN GARDE : L'OBSTRUCTION DES CAISSONS D'EAU DE MER PEUT CAUSER UNE SURCHAUFFE DU SYSTÈME DE REFROIDISSEMENT DE L'APPAREIL PROPULSIF, CE QUI OBLIGE LE NAVIRE À RÉDUIRE SON RÉGIME OU À ARRÊTER COMPLÈTEMENT LE MOTEUR.

Figure 79 : Déglacage utilisant les retours à la boîte d'eau de mer et la crépine – Vue en section

Il doit être possible de dégager les caissons d'eau de mer s'ils sont envahis par la glace. Plusieurs caractéristiques techniques peuvent atténuer ou éliminer ce type de problème :

- Des prises d'eau de mer placées en haut et en bas de la coque, le plus loin possible les unes des autres;
- Des caissons d'eau de mer de type « chicane », qui permettront de résoudre le problème d'obstruction de la conduite d'aspiration. Ce principe, couramment utilisé dans les brise-glaces de la mer Baltique, est illustré sur la figure 79. La zone d'aspiration est séparée des prises d'eau de mer par une chicane verticale. La glace qui pénètre dans le caisson flotte vers le haut et ne devrait donc pas se diriger vers la zone d'aspiration;
- Des retours de dégivrage, pour amener la vapeur ou l'eau chaude d'alimentation en haut du caisson d'eau de mer où du frasil a pu s'accumuler, ou directement dans la zone d'aspiration du système de refroidissement obstrué;
- La recirculation de l'eau des ballasts dans le circuit d'eau de refroidissement, pour permettre d'utiliser les ballasts comme refroidisseurs, ce qui permet de pallier un problème de blocage des caissons d'eau de mer. Il faut noter, toutefois, que bien qu'efficace, cette solution ne vaut habituellement qu'à court terme, à moins qu'on ne dispose de vastes quantités d'eau de ballasts ou que le navire ne soit doté d'un circuit de circulation périphérique (bordé extérieur), l'eau des ballasts recirculée risquant de devenir trop chaude pour agir en tant que liquide de refroidissement;
- Des moyens de dégager manuellement les circuits de toute obstruction par la glace devraient être fournis;
- Les officiers et les mécaniciens doivent être conscients de ces problèmes éventuels et des solutions qui s'offrent à bord.

Figure 80 : Solution de disposition de prise d'eau de mer



5.5.2 Gel de tuyaux, de soupapes et de réservoirs

L'eau peut geler dans les tuyaux, les soupapes et les réservoirs, empêchant alors l'assèchement de la cale et la purge des ballasts et causant des dommages à la structure. Les coquillons avant et arrière sont particulièrement vulnérables au gel, puisqu'ils sont situés au-dessus de la ligne de flottaison et qu'ils sont souvent exposés à la température ambiante. Les ballasts latéraux qui s'étendent au-dessus de la ligne de flottaison sont aussi vulnérables au gel, et les ballasts remplis d'eau douce gèleront plus rapidement que ceux contenant de l'eau de mer. Si les ballasts sont comprimés et que de l'eau stagnante se trouve dans les tuyaux de dégagement d'air et les tuyaux de sonde, ceux-ci peuvent aussi geler, empêchant les ballasts d'être pompés. Le navire doit être conçu pour que les risques de gel soient réduits au minimum ou éliminés grâce à une disposition judicieuse des réservoirs et des tuyaux et à un choix approprié des soupapes et des systèmes de chauffage. Lorsque des températures très froides sont prévues, il faut tout mettre en œuvre pour purger les réservoirs et les canalisations qui pourraient geler.

MISE EN GARDE : L'EAU PEUT GELER DANS LA TUYAUTERIE D'ASSÈCHEMENT DE LA CALE ET DANS LE CIRCUIT DE BALLASTAGE ET CAUSER DES DOMMAGES STRUCTURAUX AUX RÉSERVOIRS.

Le système anti-feu est souvent exposé aux intempéries et doit être disponible en cas de besoin. Les solutions possibles pour prévenir le gel du système anti-feu sont les suivantes :

- Purger le réseau principal d'incendie constitue la meilleure protection contre le gel, mais cela n'est pas toujours possible à réaliser;
- Assécher à l'air comprimé le réseau principal d'incendie;
- Remplir le réseau principal d'incendie d'un liquide (comme du glycol et de l'eau) dont le point de congélation est bas. Il s'agit de la solution la moins pratique;
- Laisser le réseau principal d'incendie se déverser constamment à la mer pour maintenir la circulation. Cette solution est applicable seulement pendant des périodes relativement courtes à cause de

l'accumulation de glace aux points de déversement lorsque les prises d'eau d'incendie sont laissées ouvertes;

- Les machines de pont hydrauliques, comme les guindeaux, les treuils, les grues de bord ou les bossoirs d'embarcation, entre autres, sont aussi vulnérables aux froids intenses. Les réservoirs hydrauliques, les pompes et les canalisations doivent être situés dans des zones chauffées sur le navire à proximité des machines qu'ils alimentent.

Les officiers et les mécaniciens doivent être conscients de ces problèmes éventuels et des solutions qui s'offrent à bord.

5.5.3 Élimination des déchets

Tous les navires produisent des déchets, qu'il s'agisse d'eau de ballasts contaminée, d'huiles usées, d'ordures ménagères ou d'excréments humains. Il faut évacuer ces déchets de façon sécuritaire et efficace ou les garder à bord jusqu'à ce qu'on puisse s'en débarrasser à terre.

L'eau de fond de cale, l'eau sale de ballast, l'eau de purge des réservoirs et les boues des purificateurs sont de bons exemples d'eaux huileuses. L'eau de fond de cale est habituellement rejetée à l'aide d'un séparateur d'eau huileuse conçu pour limiter à 15 parties par million la teneur en huile des eaux ainsi évacuées. Il faut toutefois ajouter qu'une telle teneur huileuse des rejets dans les eaux de l'Arctique va à l'encontre du *Règlement sur la prévention de la pollution des eaux arctiques par les navires*. En ce qui concerne les huiles isolées et les boues des purificateurs, on doit disposer d'une capacité suffisante d'entreposage à bord ou brûler ces déchets dans des chaudières ou des incinérateurs embarqués.

MISE EN GARDE : UNE TENEUR HUILEUSE DES REJETS DE 15 PARTIES PAR MILLION VA À L'ENCONTRE DU RÈGLEMENT SUR LA PRÉVENTION DE LA POLLUTION DES EAUX ARCTIQUES PAR LES NAVIRES.

En vertu du Règlement sur la prévention de la pollution des eaux arctiques par les navires, les rejets d'ordures ménagères sont interdits, mais on peut diviser ces déchets en matières combustibles et non combustibles. Dans les petits navires, ce serait sans doute pratique d'installer des incinérateurs et de prévoir un espace d'entreposage suffisant à bord.

Le Règlement sur la prévention de la pollution des eaux arctiques par les navires permet actuellement les rejets d'eaux usées, mais on peut décider de brûler les boues résiduelles dans un incinérateur ou de les garder dans un réservoir.

5.5.4 Chauffage du mazout

Dans les navires qui utilisent du mazout lourd ou intermédiaire pour leur appareil propulsif, il est normal de chauffer le mazout dans les soutes principales. On utilise habituellement des serpentins de vapeur et parfois des fluides thermiques. En général, les serpentins sont calibrés en fonction des basses températures survenant lors de la navigation dans l'Arctique ou dans des eaux froides, et un régulateur de température protège le circuit contre la surchauffe. Toutefois, il faut veiller à ce que le système de chauffage du mazout ne surchauffe pas lorsqu'on s'engage dans des eaux plus tempérées.

MISE EN GARDE : IL FAUT VEILLER À CE QUE LE SYSTÈME DE CHAUFFAGE DU MAZOUT NE SURCHAUFFE PAS LORSQU'ON S'ENGAGE DANS DES EAUX PLUS TEMPÉRÉES.

ANNEXE A**TERMINOLOGIE DES GLACES, DE LA NAVIGATION ET DE LA
CONCEPTION DE NAVIRES**

A.1 TERMINOLOGIE DES GLACES

Il existe une terminologie internationalement reconnue des formes et des conditions glacielles. Ces travaux terminologiques ont été coordonnés par l'Organisation météorologique mondiale. La terminologie ainsi établie sert de fondement à la description de l'état des glaces par le Service canadien des glaces d'Environnement Canada, et est décrite en détails dans la dernière édition du MANICE. La liste des termes courants avec leur description est donnée dans cette annexe pour accompagner le présent guide.

A) TYPES DE GLACE DE MER

<i>Glace de mer</i>	Toute forme de glace trouvée en mer qui résulte du gel de l'eau de mer.
<i>Nouvelle glace</i>	Terme général s'appliquant à toute glace formée récemment et comprenant le frasil, le sorbet, la gadoue et la shuga. Ces types de glace sont composés de cristaux de glace qui ne sont encore que faiblement soudés entre eux par le gel (s'ils le sont) et n'ont un aspect défini que lorsqu'ils flottent en surface.
<i>Frasil</i>	Fines aiguilles ou plaquettes de glace en suspension dans l'eau.
<i>Sorbet</i>	Stade de congélation postérieur au frasil; les cristaux commencent à s'agglutiner pour former en surface une couche épaisse comme de la soupe. Le sorbet réfléchit peu la lumière et donne à l'eau une apparence mate. Ce type de glace est souvent confondu avec une nappe de pétrole en raison de son apparence semblable en eau libre.
<i>Gadoue</i>	Neige saturée et mêlée d'eau reposant sur la terre ou la glace, ou masse visqueuse flottant sur l'eau après une forte chute de neige.
<i>Shuga</i>	Accumulation de morceaux de glace blanche et spongieuse ayant quelques centimètres de diamètre; ils se forment à partir de sorbet ou de gadoue et, quelquefois, de glace de fond remontant à la surface.
<i>Nilas</i>	Couche de glace mince et élastique, ondulant facilement sur les vagues et la houle ou sous la pression, et formant sous cette dernière des avancées en forme de « doigts » entrecroisés (formation de doigts de glace flottante). Cette couche a une surface mate et peut atteindre 10 cm d'épaisseur. On peut distinguer le nilas sombre et le nilas clair, selon leur degré de transparence.
<i>Nilas sombre</i>	Nilas ayant jusqu'à 5 cm d'épaisseur et une couleur très sombre.
<i>Nilas clair</i>	Nilas ayant plus de 5 cm d'épaisseur et dont la couleur est plus claire que le nilas sombre.
<i>Jeune glace</i>	Glace au stade de transition entre le nilas et la glace de première année, d'une épaisseur de 10 à 30 cm. Elle peut être divisée en glace grise et en glace blanchâtre.
<i>Glace grise</i>	Jeune glace de 10 à 15 cm d'épaisseur. Elle est moins souple que le nilas et se brise sous l'effet de la houle; en général, les fragments se chevauchent sous la pression.
<i>Glace blanchâtre</i>	Jeune glace de 15 à 30 cm d'épaisseur qui, sous l'effet de la pression, aura plus tendance à former des crêtes qu'à se chevaucher.

A) TYPES DE GLACE DE MER

<i>Glace de première année</i>	Glacé n'ayant qu'un seul hiver de formation et provenant de jeune glacé; son épaisseur varie entre 30 cm et 2 m. Elle se subdivise en trois types de glacé : glacé mince de première année (glacé blanche), glacé moyenne de première année et glacé épaisse de première année.
<i>Glace mince de première année</i>	Glacé de première année de 30 à 70 cm d'épaisseur.
<i>Glace moyenne de première année</i>	Glacé de première année de 70 à 120 cm d'épaisseur.
<i>Glace épaisse de première année</i>	Glacé de première année de plus de 120 cm d'épaisseur.
<i>Vieille glacé</i>	Glacé de mer ayant survécu à au moins un été de fonte. La plupart des caractéristiques topographiques de la vieille glacé sont plus arrondies que celles de la glacé de première année. Elle peut se diviser en glacé de deuxième année et en glacé de plusieurs années.
<i>Glace de deuxième année</i>	Vieille glacé n'ayant subi qu'un été de fonte. Comme elle est plus épaisse et moins dense que la glacé de première année, une partie plus importante émerge de l'eau. Contrairement à ce qui se passe avec la glacé de plusieurs années, la fonte d'été produit un motif régulier de nombreuses petites mares d'eau. Les endroits où la glacé est vive et les mares d'eau sont généralement d'un bleu vert.
<i>Glace de plusieurs années</i>	Vieille glacé qui a survécu à au moins deux étés de fonte. Les hummocks sont encore plus arrondis que dans le cas d'une glacé de deuxième année, et la glacé est presque exempte de sel. Là où la glacé est vive, sa couleur est généralement bleue. La fonte détermine une configuration qui se caractérise par de grandes mares irrégulières liées entre elles et un réseau de drainage bien développé.

B) TYPES DE GLACE DE LAC

<i>Glace de lac</i>	Glacé formée sur un lac, quel que soit l'endroit où on l'observe.
<i>Nouvelle glacé de lac</i>	Glacé formée récemment et de moins de 5 cm d'épaisseur.
<i>Glace de lac mince</i>	Glacé de couleur variable et de 5 à 15 cm d'épaisseur.
<i>Glace de lac moyenne</i>	Stade de formation postérieur des floes ou de la banquise côtière, d'une épaisseur de 15 à 30 cm.
<i>Glace de lac épaisse</i>	Glacé de 30 à 70 cm d'épaisseur.
<i>Glace de lac très épaisse</i>	Floe ou banquise côtière qui a atteint une épaisseur de plus de 70 cm.

C) FORMES DE GLACE

<i>Glace en crêpes</i>	Morceaux de glace surtout de forme circulaire ayant de 30 cm à 3 m de diamètre et jusqu'à 10 cm d'épaisseur, avec des bords relevés en raison de l'impact entre les morceaux. Ils peuvent se former sous l'effet d'une faible houle à partir de sorbet, de gadoue ou de shuga ou à la suite de la fragmentation de glace vitrée ou de nilas, ou encore à partir de glace grise s'il y a une forte houle ou de grosses vagues. La glace en crêpes se forme aussi parfois en profondeur, à l'interface de deux masses d'eau ayant des caractéristiques physiques différentes, d'où elle remonte en surface. Elle peut rapidement couvrir de grandes étendues d'eau.
<i>Glaçon</i>	Tout fragment de glace relativement plat mesurant moins de 20 m d'extension.
<i>Petit glaçon</i>	Glaçon de moins de 2 m d'extension horizontale.
<i>Floe</i>	Tout fragment de glace relativement plat mesurant 20 m d'extension ou plus. Selon leur extension horizontale, les floes se subdivisent ainsi :
<i>Petit floe</i>	De 20 à 100 m d'extension.
<i>Floe moyen</i>	De 100 à 500 m d'extension.
<i>Grand floe</i>	De 500 m à 2 km d'extension.
<i>Floe immense</i>	De 2 à 10 km d'extension.
<i>Floe géant</i>	Plus de 10 km d'extension.
<i>Floe de batture</i>	Grand floe épais, inégal et décoloré, mesurant souvent plus de 8 km d'extension, qui se forme en amont des hauts-fonds, des petites îles et le long des estrans du fleuve Saint-Laurent et de son estuaire lorsqu'une température froide précède ou accompagne les marées de mortes-eaux. Le floe de batture se compose de glaces de différentes épaisseurs formées sous la pression à marée descendante; cette masse se soude sous l'action du gel et se forme à chaque marée successive. Comme l'amplitude des marées augmente entre les mortes-eaux et les sources, de grands pans de glace échouée se détachent et dérivent au gré du courant vers la partie nord-ouest du golfe du Saint-Laurent. Il s'agit ici d'une description canadienne que l'on ne retrouve pas dans la nomenclature de l'Organisation météorologique mondiale.
<i>Sarrasins (brash)</i>	Accumulation de glace flottante composée de fragments qui n'ont pas plus de 2 m d'extension et qui viennent de la rupture d'autres formes de glace. Les sarrasins peuvent aussi se trouver dans le passage ouvert par un brise-glace.
<i>Banquise côtière</i>	Glace qui se forme et reste fixe le long de la côte, où elle est liée soit au rivage, soit à un mur ou à une falaise de glace, soit entre des hauts-fonds ou à des icebergs échoués. Des fluctuations verticales peuvent être observées lorsque le niveau de la mer varie. La banquise côtière peut être formée sur place à partir de l'eau de mer ou d'une banquise de n'importe quel âge retenue au rivage par le gel; elle peut s'étendre sur quelques mètres comme sur plusieurs centaines de kilomètres à partir de la côte. La banquise côtière peut être constituée de glace de plus d'un an et on peut alors la désigner en employant l'expression correspondant à son âge (vieille, de deuxième année ou de plusieurs années). Si elle s'élève à plus de 2 m au-dessus du niveau de la mer, on l'appelle « plateau de glace ». Dans les zones de fortes marées, une fissure de marée où peuvent se trouver des crêtes de pression ou des nappes d'eau libre risque de se former le long du littoral.

C) FORMES DE GLACE

Glace échouée Glace flottante qui est échouée dans des eaux peu profondes.

D) RÉPARTITION DES GLACES

Glaces à la dérive/banquise Terme utilisé dans un sens très large et désignant toute étendue de glace autre que la banquise côtière, quelle que soit sa forme ou la façon dont elle est disposée. Lorsque sa concentration est élevée, c'est-à-dire de 7/10 et plus, le terme « glaces à la dérive » peut être remplacé par le terme « banquise », ou « pack ».

Couverture de glace Rapport entre une surface de glace de concentration quelconque et la surface totale de la mer dans un grand secteur géographique, qui peut être le globe tout entier, un hémisphère ou une entité océanographique déterminée comme la baie de Baffin ou la mer de Barents.

E) CONCENTRATION DES GLACES

Concentration Rapport exprimé en dixièmes qui indique quelle proportion de la surface de la mer, dans la zone étudiée, est couverte de glace. La concentration totale fait référence aux glaces présentes à tout stade de formation, et la concentration partielle, aux glaces d'un stade particulier ou d'une forme particulière; elle représente seulement une partie de la concentration totale.

Banquise consolidée Glace flottante dont la concentration est de 10/10 et où les floes ont été soudés par le gel.

Banquise compacte Glace flottante dont la concentration est de 10/10 et où il n'y a pas d'eau visible.

Banquise très serrée Glace flottante dont la concentration est de 9/10 à moins de 10/10.

Banquise serrée Glace flottante dont la concentration est de 7/10 à 8/10 et qui se compose de floes dont la plupart sont en contact.

Banquise lâche Glace flottante dont la concentration est de 4/10 à 6/10 avec de nombreux chenaux et polynies. Les floes n'y sont généralement pas en contact les uns avec les autres.

Banquise très lâche Glace dont la concentration est de 1/10 à 3/10 et où il y a plus d'eau libre que de glace.

Eau libre Grande étendue d'eau librement navigable dans laquelle la glace est présente à des concentrations inférieures à 1/10; aucune glace d'origine terrestre n'y est présente.

Eau bergée Zone d'eau librement navigable dans laquelle il y a des glaces d'origine terrestre. Il peut y avoir d'autres types de glaces, mais leur concentration totale est inférieure à 1/10.

Eau libre de glace Aucune glace n'est présente; s'il y a de la glace de quelque type que ce soit, ce terme ne doit pas être employé.

F) DISPOSITION DES GLACES

<i>Champ de glace</i>	Étendue de glace flottante formée de floes de n'importe quelle dimension et qui est de plus de 10 km d'étendue.
<i>Grand champ de glace</i>	Champ de glace mesurant plus de 20 km d'extension.
<i>Champ de glace moyen</i>	Champ de glace mesurant entre 15 et 20 km d'extension.
<i>Petit champ de glace</i>	Champ de glace mesurant de 10 à 15 km d'extension.
<i>Banc de glace</i>	Zone de glace mesurant moins de 10 km d'extension.
<i>Mer de glace</i>	Étendue variable de banquise serrée ou très serrée couvrant des centaines de kilomètres carrés, que l'on trouve dans la même région tous les étés.
<i>Ceinture</i>	Vaste zone de glaces à la dérive plus longue que large. La largeur de la ceinture peut mesurer de 1 à plus de 100 km.
<i>Langue</i>	Avancée de la lisière des glaces qui peut avoir plusieurs kilomètres de long et qui est causée par le vent ou le courant. La portion flottante d'un glacier en saillie de la côte est aussi une langue de glace.
<i>Cordon</i>	Longue et étroite bande de glaces à la dérive mesurant 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.
<i>Baie</i>	Grande échancrure, en forme de croissant, de la lisière des glaces formée soit par le vent, soit par le courant.
<i>Embâcle</i>	Accumulation de glace brisée coincée dans un chenal étroit, pouvant atteindre le fond des rivières et des eaux peu profondes et former un barrage.
<i>Fracture</i>	Toute cassure ou rupture dans une banquise très serrée, compacte, consolidée ou côtière ou dans un simple floe et qui est provoquée par des phénomènes de déformation. Les fractures peuvent contenir des sarrasins ou être recouvertes de nilas ou de jeune glace. La longueur des fractures peut varier de quelques mètres à de nombreux kilomètres.
<i>Zone de fracture</i>	Zone où il y a un grand nombre de fractures. Les fractures sont subdivisées comme suit :
<i>Fracture très étroite</i>	De 0 à 50 m de largeur.
<i>Fracture étroite</i>	De 50 à 200 m de largeur.
<i>Fracture moyenne</i>	De 200 à 500 m de largeur.
<i>Fracture large</i>	Plus de 500 m de largeur.
<i>Fissure</i>	Toute fracture dans une banquise côtière, une banquise consolidée ou un simple floe qui peut avoir donné lieu à une séparation variant entre quelques centimètres et 1 m.
<i>Fissure de marée</i>	Fissure à la ligne de jonction entre un pied de glace ou un mur de glace et une banquise côtière, cette dernière étant soumise aux mouvements de marée.

F) DISPOSITION DES GLACES

<i>Brèche de séparation</i>	Étroite zone de séparation entre la glace flottante et la banquise côtière où les morceaux de glace sont dans un état chaotique. La brèche de séparation se forme quand la banquise subit un cisaillement le long de la ligne de démarcation de la banquise côtière sous l'effet d'un vent ou d'un courant fort.
<i>Chenal</i>	Toute fracture ou tout passage à travers la glace accessible aux navires de surface.
<i>Chenal côtier</i>	Chenal entre la banquise et le rivage ou entre la banquise et une falaise de glace.
<i>Chenal de séparation</i>	Passage entre la banquise et une banquise côtière accessible aux navires de surface.
<i>Polynie</i>	Toute ouverture de forme non linéaire dans la glace. Les polynies peuvent contenir des sarrasins ou être couvertes de nouvelle glace, de nilas ou de jeune glace; les sous-marinières les appellent des « claires-voies ».
<i>Polynies récurrentes</i>	Polynies réapparaissant à la même position tous les ans.
<i>Lisière des glaces</i>	Démarcation à un moment quelconque entre l'eau libre et n'importe quel type de glace de mer, de lac ou de rivière, qu'elle soit côtière ou dérivante. Cette lisière peut être compacte ou lâche.
<i>Lisière serrée</i>	Lisière des glaces bien définie et serrée par le vent ou le courant, ordinairement du côté au vent d'une banquise.
<i>Lisière lâche</i>	Lisière des glaces mal définie délimitant une région de glace dispersée, ordinairement du côté sous le vent d'une banquise.
<i>Limite des glaces</i>	Terme de climatologie désignant la position extrême minimale ou maximale de la lisière des glaces pour un mois ou toute autre période. La limite est déterminée selon des observations sur un certain nombre d'années. Ce terme doit être précisé par l'emploi des termes « minimal » ou « maximal ».
<i>Lisière de la banquise côtière</i>	Démarcation à un moment quelconque entre la banquise côtière et l'eau libre.
<i>Zone de cisaillement</i>	Zone de contact entre la banquise côtière et la banquise où le mouvement et la pression provoquent souvent une zone de glace fortement tourmentée ou cassée et déformée.

G) CARACTÉRISTIQUES TOPOGRAPHIQUES DE LA SURFACE

<i>Glace plane</i>	Glace qui n'a subi aucune déformation.
<i>Glace déformée</i>	Terme général désignant des glaces qui ont été pressées les unes contre les autres et, de ce fait, soulevées ou enfoncées par endroits. Les subdivisions de ce type de glace sont : glace empilée, glace tourmentée et glace hummockée.
<i>Glace empilée</i>	Type de déformation de la glace provoquée par un morceau de glace qui en chevauche un autre tout en demeurant à l'horizontale.
<i>Glace imbriquée</i>	Type de glace empilée dans lequel les floes, en se chevauchant, forment sur leurs bords des avancées en forme de « doigts » qui s'imbriquent alternativement au-dessus ou en dessous d'autres floes. La glace imbriquée est fréquente dans le nilas et la glace grise.

G) CARACTÉRISTIQUES TOPOGRAPHIQUES DE LA SURFACE

Crête	Ligne ou mur de glace brisée qui est soulevée par la pression. Une crête peut être récente ou érodée. Le volume submergé de la glace brisée poussée vers le bas par la pression au-dessous d'une crête est appelé « quille de glace », et la partie émergée de la glace d'une crête est appelée « voilure ».
Glace tourmentée	Glace empilée au hasard, un fragment sur un autre, et formant des crêtes ou des murs. Elle se trouve habituellement dans la glace de première année.
Hummock	Monticule de glace brisée qui a été soulevée par la pression. Un hummock peut être récent ou érodé. Le volume de la glace brisée qui s'est enfoncée sous l'effet de la pression et qui se trouve submergée sous l'hummock est appelé « bummock ». Les floes brisés y sont souvent consolidés et presque impossibles à enfoncer.
Glace hummockée	Glace empilée au hasard, un fragment sur un autre, et formant une surface irrégulière. Lorsqu'elle est érodée, cette glace semble faite de monticules arrondis.

H) PROCESSUS DE MOUVEMENT DE LA BANQUISE

Formation de fractures	Phénomène de pression par lequel la glace est soumise à une déformation permanente qui cause sa rupture. Ce terme sert généralement à décrire des cassures à travers une banquise très serrée, compacte ou consolidée.
Formation d'hummocks	Phénomène de pression par lequel la glace est poussée à former des hummocks. Lorsque ce phénomène s'accompagne d'une rotation des floes, on dit qu'il y a « torsion ».
Formation de crêtes	Phénomène de pression par lequel la glace est poussée à former des crêtes.
Chevauchement des glaces	Phénomène de pression par lequel un fragment de glace monte sur un autre. Ce phénomène se produit surtout dans la nouvelle glace et la jeune glace.
Chevauchement avec imbrications	Type de chevauchement dans lequel chaque floe forme sur ses bords des avancées en forme de « doigts » qui s'imbriquent alternativement au-dessus et au-dessous d'autres floes. Ce type de chevauchement est fréquent dans le nilas et la glace grise.
Érosion	Phénomène d'ablation et d'accumulation qui fait peu à peu disparaître les irrégularités de la surface de la glace. Parfois appelée « paysage », l'érosion peut être plus marquée sur la vieille glace et servir à évaluer l'âge relatif des floes.
Divergence	Champs de glace ou floes qui, à l'intérieur d'une zone donnée, sont soumis à des mouvements de divergence ou de dispersion qui réduisent la concentration des glaces ou diminuent les contraintes dans les glaces.
Tassement	On dit que des morceaux de glace flottante sont soumis au tassement quand ils sont entraînés par un mouvement de convergence qui a pour effet d'augmenter la concentration de la glace ou de produire des contraintes pouvant causer des déformations de la glace.

H) PROCESSUS DE MOUVEMENT DE LA BANQUISE

<i>Cisaillement</i>	Une zone de banquise est soumise au cisaillement lorsque le mouvement de la glace varie substantiellement dans la direction normale du mouvement, ce qui soumet la glace à des forces de rotation qui peuvent provoquer un phénomène comparable à celui de la brèche de séparation. Les floes actifs soumis à ces conditions peuvent aussi être décrits comme étant des « torsions » lorsqu'ils sont soumis à de fortes marées et à des turbulences.
<i>Glace cassée et reformée</i>	Glace déformée constituée de morceaux de glace empilés de façon irrégulière sur le dessus d'une autre formation de glace, ou débris de glace coincés entre des floes à la suite d'une crête barométrique.

I) GLACES D'ORIGINE TERRESTRE

<i>Glace de glacier</i>	Glace faisant partie ou provenant d'un glacier, qu'elle soit sur terre ou qu'elle flotte dans la mer sous la forme d'un iceberg, d'un fragment d'iceberg, d'un bourguignon ou d'une île de glace.
<i>Glacier</i>	Masse de neige et de glace se déplaçant constamment d'un niveau continental supérieur à un niveau inférieur ou s'étalant continuellement si elle flotte. Les principales formes de glacier sont les inlandsis, les plateaux de glace, les coulées de glace, les calottes glaciaires, les glaciers de piémont, les glaciers de cirque et les divers types de glaciers de montagne (ou de vallée).
<i>Plateau de glace</i>	Glacier plat flottant, d'une épaisseur considérable, qui émerge de 2 à 50 m ou plus, et qui est fixé à la côte. Il est généralement très étendu et sa surface est plane ou légèrement ondulée. Il est alimenté par l'accumulation annuelle de neige et par l'avancée vers la mer des glaces terrestres. Certaines parties peuvent être échouées, et le bord qui fait face à la mer est appelé « falaise de glace ».

J) FORMES ET TAILLES DE GLACE DE GLACIER

<i>Vêlage</i>	Séparation par rupture d'une masse de glace qui se détache ainsi d'un mur, d'une falaise de glace ou d'un iceberg.
<i>Iceberg</i>	Importante masse détachée d'un glacier, de forme très variable, émergeant de plus de 5 m et qui peut être flottante ou échouée. Les icebergs peuvent être tabulaires, en dôme, pointus, biseautés, érodés ou en bloc, et ils peuvent être petits, moyens, gros ou très gros.
<i>Iceberg tabulaire</i>	Iceberg à sommet plat dont la largeur est plus grande que la hauteur et qui présente le plus souvent des bandes horizontales correspondant aux couches de neige.
<i>Iceberg en dôme</i>	Iceberg lisse et arrondi sur le dessus.
<i>Iceberg pointu</i>	Iceberg dont le milieu forme une pointe ou une pyramide constituée d'une ou de plusieurs pointes.
<i>Iceberg biseauté</i>	Iceberg plutôt plat sur le dessus et dont les parois verticales sont plus hautes à une extrémité qu'à l'autre.
<i>Iceberg érodé</i>	Iceberg érodé de façon à former une fente en U au niveau de l'eau ou à proximité, avec deux colonnes ou pointes.

J) FORMES ET TAILLES DE GLACE DE GLACIER

<i>Iceberg en bloc</i>	Iceberg à dessus plat et aux parois verticales abruptes, et qui est généralement un fragment d'iceberg tabulaire.
<i>Bourguignon</i>	Bloc de glace de glacier plus petit qu'un fragment d'iceberg, souvent transparent, mais paraissant vert ou presque noir; il émerge de moins de 1 m, possède une longueur de moins de 5 m et s'étend habituellement sur une superficie de 20 m ² environ.
<i>Fragment d'iceberg</i>	Morceau de glace de glacier qui émerge généralement de 1 à moins de 5 m et qui mesure entre 5 et 15 m de long et normalement de 100 à 300 m ² de superficie.
<i>Petit iceberg</i>	Morceau de glace de glacier qui émerge de 5 à 15 m et qui mesure de 15 à 60 m de long.
<i>Iceberg moyen</i>	Morceau de glace de glacier qui émerge de 16 à 45 m et qui mesure de 61 à 120 m de long.
<i>Gros iceberg</i>	Morceau de glace de glacier qui émerge de 46 à 75 m et mesure 121 à 200 m de long.
<i>Très gros iceberg</i>	Morceau de glace de glacier qui émerge de plus de 75 m et qui mesure plus de 200 m de long.
<i>Île de glace</i>	Grand morceau de glace flottante qui émerge d'environ 5 m et provient d'un plateau de glace arctique. Son épaisseur est de 30 à 50 m et sa superficie varie de quelques milliers de mètres carrés à plus de 500 km ² . Sa surface se caractérise ordinairement par une ondulation régulière qui lui donne, vue d'avion, une apparence côtelée.

K) CONCENTRATIONS ET LIMITES DES ICEBERGS

<i>Limite de toutes les glaces connues</i>	Ligne de démarcation en tout temps entre les eaux contenant des icebergs ou de la glace de mer et les eaux libres de glace.
<i>Limite maximale des icebergs</i>	Position maximale de la limite des icebergs fondée sur des observations portant sur un certain nombre d'années.

A.2 TERMINOLOGIE DE LA NAVIGATION

Les définitions relatives à la navigation dans les glaces données ci-dessous expliquent le sens des termes utilisés dans le présent manuel :

<i>Coincement</i>	Situation d'un navire entouré par les glaces et incapable de se déplacer.
<i>Échos parasites</i>	Renvois du signal radar par une cible répartie (comme la surface de la mer ou la glace) qui peut masquer l'écho d'une cible ponctuelle (comme un iceberg, un fragment d'iceberg ou un bourguignon).
<i>Éperonnage</i>	Tentative de briser la glace en poussant le navire en avant le plus loin possible à plusieurs reprises, en reculant et en répétant la manœuvre.
<i>Oreille antiglace</i>	Ouvrage en coin au-dessus du gouvernail qui protège celui-ci contre les glaces en marche arrière.
<i>Planification stratégique</i>	Planification à petite échelle (grand secteur) dans l'hypothèse où le navire se trouverait en dehors d'eaux couvertes de glaces des jours ou des semaines avant de rencontrer des glaces.
<i>Planification tactique</i>	Planification à grande échelle (petit secteur) et à court terme comportant une prise de décision dans des eaux couvertes de glaces.
<i>Quille</i>	Partie submergée de glace brisée sous une crête et qui y a été enfoncée par la pression.
<i>Renforcement antiglace</i>	Renforcement de la coque pour la navigation dans des eaux couvertes de glaces.
<i>Tirant d'eau glacial</i>	Tirant d'eau d'un navire qui peut tirer parti du renforcement antiglace de la structure de la coque.
<i>Zone de renforcement antiglace</i>	Zone du navire renforcée pour supporter les poussées de glace à la ligne de flottaison en tirant d'eau glacial.

A.3 TERMINOLOGIE DE LA CONCEPTION DES NAVIRES

Les définitions relatives à la conception des navires données ci-dessous expliquent le sens des termes utilisés dans le présent manuel.

Angle de dévers	Angle entre la verticale et la muraille du navire.
Angle de ligne d'eau	Angle entre la tangente à un point quelconque d'une ligne d'eau et d'une ligne horizontale.
Angle de section longitudinale	Angle entre la tangente à un point quelconque d'une section longitudinale de la coque et la ligne de flottaison.
Angle d'étrave	Angle entre l'étrave du navire et la ligne de flottaison.
CA-CC	Type d'appareil de transmission électrique où un alternateur (CA) entraîne un moteur à courant continu (CC) relié à l'hélice du navire.
CA-FFC-CA	Type d'appareil de transmission électrique où un alternateur (CA) entraîne un moteur à courant continu (CC) relié à l'hélice du navire. Entre l'alternateur et le moteur, se trouve un stabilisateur toutes fréquences (FFC) qui contrôle les signaux de l'alternateur.
Caisson d'eau de mer	Enceinte pratiquée à l'intérieur du bordé extérieur sous l'eau et qui s'ouvre sur la mer par une crépine amovible. Un robinet et des tuyaux reliés au caisson amènent l'eau de mer dans le navire à des fins de refroidissement, de lutte contre les incendies ou d'hygiène.
Déjettement	Affaissement d'un couple contre le bordé de la muraille.
Ductile	Qui peut être étiré, effilé et plié sans se rompre.
Effilement longitudinal	Variation progressive de la forme de la coque sur la longueur du navire, de la partie large de l'avant à la partie étroite de l'arrière.
Forme droite (ou cylindrique) de la coque	Partie de la coque d'un navire qui se caractérise par un bordé extérieur plat et qui ne change pas de forme sur une distance longitudinale.
Module	Constante qui établit le rapport d'ordre de grandeur entre une force et son effet matériel.
Navire de cote arctique	Navire conçu conformément aux exigences unifiées de l'Association Internationale des Sociétés de Classification (IACS) pour les navires de classe arctique.
Navire de type	Catégorie de navires définie par le <i>Règlement sur la prévention de la pollution des eaux arctiques par les navires</i> . Ces navires sont uniquement conçus pour la navigation dans des eaux couvertes de glaces et ne sont nullement destinés à des opérations de déglacage. Ils font partie de la catégorie des navires renforcés pour la navigation dans les glaces.
Oreille antiglace	Ouvrage en coin au-dessus du gouvernail qui protège celui-ci contre les glaces en marche arrière.

ANNEXE B DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

B1 CARTES DE NAVIGATION, AVIS AUX NAVIGATEURS, AIDES RADIO, LIVRES DES FEUX ET INSTRUCTIONS NAUTIQUES

En vertu du *Règlement sur les cartes marines et les publications nautiques* (1995) établi conformément à la *Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada*, la personne chargée de la navigation d'un navire doit utiliser la dernière édition d'une carte publiée de manière officielle par le Service hydrographique du Canada.

Pour obtenir les renseignements les plus récents sur les cartes papier officielles, les cartes marines électroniques vectorielles S-57, les cartes matricielles de navigation BSB, les publications nautiques et la liste des revendeurs autorisés du Service hydrographique du Canada dans le monde entier, veuillez consulter le site www.charts.gc.ca ou communiquer avec :

Service hydrographique du Canada
615, rue Booth
Ottawa (Ontario) K1A 0E6
Canada
Service à la clientèle
Courriel : CHSInfo@dfo-mpo.gc.ca
Téléphone : 1-866-546-3613
www.charts.gc.ca

B2 INFORMATION SUR LES GLACES

Environnement Canada,
Service canadien des glaces
373, promenade Sussex, E-3
Ottawa (Ontario) K1A 0H3

La liste suivante présente les publications disponibles auprès du Service canadien des glaces :

MANICE est le Manuel des normes d'observation des glaces. *MANICE* est le document qui fait autorité en matière d'observation de toutes les formes de glace, incluant les glaces de mer, de lacs, de rivières, et la glace d'origine terrestre.

Atlas annuel des glaces de l'Arctique fait partie d'une série d'atlas préparé chaque année par le Service canadien des glaces depuis 1990. Ces atlas documentent les glaces hivernales de l'Arctique canadien pour en permettre la comparaison d'une année à l'autre.

Atlas climatique des glaces sur 30 ans, côte est et Grands Lacs.

Aperçus saisonniers pour les eaux arctiques d'Amérique du Nord.

Résumés saisonniers pour l'Arctique canadien.

B.3 NAVIGATION

Pour obtenir les dernières publications au sujet de la Sécurité maritime, consultez le site suivant:

<http://www.tc.gc.ca/fra/securitemaritime/tp-menu-515.htm>

Des exemples de quelques publications sont énumérés ci-dessous :

Bulletins de la sécurité des navires :

<http://www.tc.gc.ca/fra/securitemaritime/bulletins-menu.htm>

Système de régime des glaces pour la navigation dans l'Arctique (SRGNA) Normes – TP 12259 :

<http://www.tc.gc.ca/fra/securitemaritime/tp-tp12259-menu-605.htm>

Normes équivalentes pour la construction de navires de la classe arctique (1995) - TP 12260 :

<http://www.tc.gc.ca/fra/securitemaritime/tp-tp12260-menu-924.htm>

Trousse d'aide à l'utilisateur pour la mise en œuvre du Système des régimes de glaces pour la navigation dans l'Arctique (SRGNA) – TP 12819 F :

<http://www.tc.gc.ca/fra/securitemaritime/tp-tp12819-menu-1338.htm>

Lignes directrices concernant l'exploitation des navires à passagers dans les eaux arctiques canadiennes – TP 13670 F :

<http://www.tc.gc.ca/fra/securitemaritime/tp-tp13670-menu-2315.htm>

Petits bateaux de pêche – Manuel de sécurité – TP 10038 F :

<http://www.tc.gc.ca/fra/securitemaritime/tp-tp10038-menu-548.htm>

Directives en matière de transfert d'hydrocarbures dans les eaux de l'Arctique – TP 10783 F :

<http://www.tc.gc.ca/fra/securitemaritime/tp-tp10783-menu-1292.htm>

La survie en eaux froides (2003) – TP 13822 F :

<http://www.tc.gc.ca/fra/securitemaritime/tp-tp13822-menu-610.htm>

Loi sur la protection des eaux navigables : Traversées hivernales – TP 14590 F :

<http://www.tc.gc.ca/fra/securitemaritime/tp-tp14590-menu-2972.htm>

Programme national de surveillance aérienne – TP 15064 F – Brochure :

<http://www.tc.gc.ca/fra/securitemaritime/tp-tp15064-menu-4081.htm>

ANNEXE C CONSEIL SUR L'ACCEPTATION DES PUBLICATIONS NAUTIQUES NUMÉRIQUES AU CANADA

Le *règlement sur les cartes et les publications nautiques, 1995(RCPN)* exige d'avoir à bord et d'utiliser plusieurs publications nautiques. De plus en plus, les navires choisissent d'utiliser les publications obligatoires à bord en format électronique, si disponible, plutôt que les copies papier. Plusieurs publications nautiques au Canada sont maintenant disponibles en format électronique et peuvent être téléchargées de l'internet en format PDF. Certains navires peuvent transporter des publications en format électronique émises par une autre Administration (publications numériques d'une amirauté) tel que reconnu par le RCPN sous-section 6 (3).

La circulaire (MSC-MEPC.2/Circ.2) de l'OMI *Exigences sur la responsabilité des publications à bord des navires* autorise l'utilisation de publications électroniques si elles ont été émises par l'OMI, une Administration ou une organisation autorisée par une Administration. Ceci assure l'exactitude et protège contre les copies illégales. Le document électronique doit aussi être traité selon la procédure SMS de contrôle des documents sur les navires, incluant la procédure de mise à jour en temps opportun. Il existe une exception, cependant, car l'OMI exige que les documents *Code International des Signaux* et le *volume III* du manuel IAMSAR soient toujours disponibles en format papier pour assurer l'accessibilité et la transférabilité en cas d'urgence.

En vertu de SOLAS, les cartes marines et les publications nautiques en format électronique peuvent être utilisées pour rencontrer les exigences de SOLAS V, à condition que mesures adéquates de secours soient en place. Ainsi, les publications nautiques électroniques doivent se conformer aux mêmes exigences que les copies en papier à savoir :

- Doit avoir à bord et utiliser l'édition la plus récente des régions où le navire transitera;
- Doit être publiée et émise par l'autorité légale tel que spécifié ;
- Doit être précis et à jour, et fondé sur les informations contenues dans les *Avis aux navigateurs*, *Avis à la navigation* ou les *avertissements radio à la navigation*.

Les conseils suivants doivent être considérés lorsque des publications nautiques numériques sont utilisées :

- Le système principal doit être situé sur la passerelle et disposé à proximité soit des stations de planification ou de surveillance du voyage;
- Pour assurer la continuité des opérations, il est important que les équipements d'ordinateur utilisés soit très fiables ;
- Le système ne doit en aucune façon nuire aux autres systèmes d'opération de la passerelle ;
- La taille de l'écran, la résolution et la luminosité doivent être sélectionnées de façon à assurer un affichage clair des informations sur la navigation, et ce, pour l'ensemble des conditions de lumière ambiantes ;
- Le système principal doit être disponible en tout temps durant le voyage et, en conséquence, disposé d'une source d'alimentation d'urgence ;
- Un système de sauvegarde adéquat est requis pour assurer la disponibilité continue des données, dans le cas où se produirait une défaillance du système informatique. Un système de sauvegarde acceptable devrait inclure une copie conforme du système principal avec une source d'alimentation indépendante (i.e., un 2^{ème} ordinateur). Il n'est pas nécessaire que le système de sauvegarde soit situé sur la passerelle, toutefois, il devra être possible de transférer facilement le système de sauvegarde ou d'imprimer des copies pour la passerelle.

- Les mises à jour doivent être faites sur le système principal et de sauvegarde aussitôt que possible. Lorsque le navire est dans un port, les mises à jour doivent être effectuées avant la planification du passage ou le commencement du voyage.
- Étant donné que la publication doit être à bord, avoir accès seulement aux publications par le biais d'internet ne sera pas considéré comme présente à bord et en conséquence, non acceptable.

Les inspecteurs de Transports Canada Sécurité Maritime doivent être en mesure de vérifier facilement que :

- La publication a été publiée ou émise par une autorité légale,
- La publication est complète pour le secteur qui sera navigué,
- Le statut de mise à jour (i.e., l'édition la plus récente, corrigée et mise à jour tel que publiée, et modifiée par l'autorité légale qui l'émet).