

## NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

### Fondement scientifique du Système des régimes de glace : document de travail

Timco, G. W.; Kubat, I.

For the publisher's version, please access the DOI link below./ Pour consulter la version de l'éditeur, utilisez le lien DOI ci-dessous.

#### **Publisher's version / Version de l'éditeur:**

<https://doi.org/10.4224/40000427>

*Rapport technique (Conseil national de recherches du Canada. Centre d'hydraulique Canadien), 2002-03*

#### **NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :**

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=2e24e836-1914-4135-9e59-05b14284c63e>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=2e24e836-1914-4135-9e59-05b14284c63a>

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright>

READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits>

LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

**Questions?** Contact the NRC Publications Archive team at

PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

**Vous avez des questions?** Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

**Fondement scientifique du Système des régimes de  
glace :  
Document de travail**

**G.W. Timco et I. Kubat  
Centre d'hydraulique canadien  
Conseil national de recherches du Canada  
Ottawa (Ontario) K1A 0R6  
Canada**

**Rapport technique  
CHC-TR-002**

**Mars 2002**



## RÉSUMÉ

Le présent rapport a pour objet de fournir un cadre de discussion sur les moyens que Transports Canada devrait prendre pour adopter une approche plus scientifique au Système des régimes de glace du Canada. Le rapport commence par un bref aperçu des travaux qui ont été faits pour donner au Système des régimes de glace un fondement scientifique. Les résultats des discussions entre les parties intéressées au Système des régimes de glace sont aussi présentés. Quatre approches possibles sont proposées pour la mise en application du système, et les avantages et les désavantages de chaque approche sont examinés.



## TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ .....	1
TABLE DES MATIÈRES .....	3
LISTE DES FIGURES .....	4
LISTE DES TABLEAUX.....	4
1.0 INTRODUCTION .....	5
2.0 RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX.....	6
2.1 Le système des zones et des dates.....	6
2.2 Le système des régimes de glace .....	6
2.3 L'approche en sept points .....	10
2.3.1 Point 1 – Questions reliées à la sécurité.....	13
2.3.2 Point 2 – Problèmes spécifiques associés aux conditions glacielles correspondantes.....	14
2.3.3 Point 3 – Pertinence de la définition de SRGNA dans le numéral glacial....	14
2.3.4 Point 4 – Définition de glace difficile et conditions d'exploitation.....	14
2.3.5 Point 5 - Identification de la glace difficile .....	15
2.3.6 Point 6 - Détection de la glace difficile .....	15
2.3.7 Point 7 – Une méthode de mise en application du SRGNA .....	16
3.0 EXPOSÉ GÉNÉRAL.....	17
3.1 Devrait-il y avoir un Système des régimes de glace? .....	17
3.2 Entretiens avec les propriétaires et exploitants de navires commerciaux.....	18
3.3 Consultations avec la Garde côtière canadienne.....	18
3.4 Information sur SRG fournie par Transports Canada.....	19
3.5 Facteurs clés du Système des régimes de glace .....	19
4.0 MÉTHODES DE MISE EN APPLICATION DU Système des régimes de glace... 23	
4.1 Définition existante de numéral glacial ( <u>méthode RPPEA</u> ) .....	24
4.2 Ajout de déterminants au numéral glacial ( <u>Méthode interactive</u> ).....	26
4.3 Entier supplémentaire additionné au multiplicateur glacial ( <u>Méthode modifiée</u> )	28
4.4 Multiplicateurs non entiers ( <u>Méthode des non-entiers</u> ) .....	30
5.0 POINT DE VUE DE L'AUTEUR.....	31
5.1 Exposé général.....	31
5.2 Le Système des régimes de glace modifié .....	32
6.0 RECOMMANDATIONS .....	34
7.0 REMERCIEMENT .....	35
8.0 RÉFÉRENCES .....	35

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte des zones d'après le système des zones et des dates. ....	8
Figure 2 : Diagramme contextuel du fondement scientifique du Système des régimes de glace.....	13
Figure 3 : Diagrammes à secteurs montrant les valeurs du numéral glaciai pour les événements avec niveau de gravité des dommages (GD) $\geq 3$ , = 1 ou 2, et = 0. Le numéral glaciai a été calculé à l'aide de la définition du SRGNA.....	25
Figure 4 : Diagramme à secteurs montrant les valeurs du numéral glaciai pour des événements avec niveau de gravité des dommages égal ou inférieur à 3, égal à 1 ou 2 et égal à 0 (GD $\geq 3$ , 1 ou 2, 0). Le numéral glaciai a été calculé à l'aide de la méthode interactive.....	27
Figure 5 : Diagramme à secteurs montrant les valeurs du numéral glaciai pour des événements à niveau de gravité des dommages (GD) égal ou inférieur à 3, égal à 1 ou 2 et égal à 0. Le numéral glaciai a été calculé à l'aide de la méthode modifiée. ....	29

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Tableau des zones et des dates.....	7
Tableau 2 : Multiplicateurs glaciais (MG) du Système des régimes de glace.....	11
Tableau 3 : Cote de navires du Système des régimes de glace.....	11
Tableau 4 : Table des multiplicateurs du Système des régimes de glace modifié.....	33

# Fondement scientifique du Système des régimes de glace : Document de travail

## 1.0 INTRODUCTION

Transports Canada a demandé au Conseil national de recherches du Canada de trouver un fondement scientifique pour le Système des régimes de glace pour la navigation dans l'Arctique (SRGNA). Pour ce faire, le CNRC a élaboré une approche en sept points (Timco et al. 1997) sur laquelle on vient juste de terminer les travaux.

L'objectif du présent rapport est de présenter un cadre de travail sur l'approche que Transports Canada devrait prendre pour donner un fondement plus scientifique au système. Il ne reprend pas en détail les sept points de l'approche, mais résume plutôt les constatations des auteurs et indique les mesures qui doivent être prises pour mettre en application cette approche scientifique.

## 2.0 RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

### 2.1 *Le système des zones et des dates*

En 1972, le gouvernement du Canada a adopté un règlement intitulé *Règlement sur la prévention de la pollution des eaux arctiques* (RPPEA) pour régir la navigation dans les eaux canadiennes au nord du 60<sup>e</sup> parallèle. Ce règlement désigne ce qu'on appelle des **zones** de contrôle de la sécurité (figure 1) et comprend au Tableau de **dates** (Tableau I) applicables aux termes de la *Loi sur la prévention de la pollution des eaux arctiques*. Ces deux exigences se combinent pour former la matrice du « système des zones et des dates » qui indique les dates d'entrée et de sortie des divers types et cotes de navires. Les types et les cotes de navires, en ordre descendant de capacité dans les glaces, sont les suivants :

Cote arctique : 10, 8, 7, 6, 4, 3, 2, 1A, 1  
Types de navires : A, B, C, D, E

La cote arctique correspond à l'épaisseur en pieds de glace uniforme qu'un navire peut briser. Le système des zones et des dates repose sur le principe que la nature suit la même tendance année après année. C'est un système rigide sans grande marge de manœuvre.

Même s'il est utilisé depuis de nombreuses années, le système des zones et des dates comporte plusieurs lacunes :

1. La permission d'entrer ou non dans une région et le contrôle réglementaire sur les navires et les régions reposent uniquement sur des données historiques sur les glaces. Il ne tient pas compte de l'état réel de la glace au moment où le navire veut entrer dans la région.
2. Aucune mise à jour récente des informations sur l'état des glaces n'a été faite dans le système des zones et des dates, de sorte que les zones ne sont pas définies à partir des données les plus récentes et les plus complètes.
3. Même si la concentration de glace est faible à l'extérieur de la zone à une date particulière pour un navire donné, il ne sera pas facile pour ce dernier d'obtenir la permission d'entrer dans la zone.
4. La classification des navires est fondée sur la performance du navire (c.-à-d. combien de pieds de glace il peut briser) et non sur la sécurité structurale du navire dans les diverses conditions glacielles. Puisque le règlement vise surtout la sécurité (et non la performance), il s'agit d'une grave lacune.

### 2.2 *Le système des régimes de glace*

Pour corriger la situation, Transports Canada, en collaboration avec tous les groupes intéressés, a apporté d'importantes modifications au règlement en présentant le nouveau système des régimes de glace (RPPEA 1989; la Gazette du Canada 1996; Normes équivalentes 1995; RPPEA 1996). Ces modifications avaient pour objet de réduire les risques que les navires subissent des dommages de structure qui pourraient entraîner des

Tableau 1 : Tableau des zones et des dates

Item	Category	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
1.	Arctic Class 10	All Year	All Year	All Year	All Year	All Year	All Year	All Year	All Year	All Year	All Year	All Year					
2.	Arctic Class 8	July 1 to Year	All Year	All Year	All Year	All Year	All Year	All Year	All Year	All Year	All Year	All Year	All Year	All Year	All Year	All Year	All Year
3.	Arctic Class 7	Aug. 1 to Year	Aug. 1 to Year	July 1 to Year	July 1 to Year	July 1 to Year	July 1 to Year	July 1 to Year	July 1 to Year	July 1 to Year	July 1 to Year	July 1 to Year	July 1 to Year				
4.	Arctic Class 6	Sept. 30 to Year	Nov. 30 to Year	Dec. 31 to Year	Dec. 15 to Year	Aug. 1 to Year	July 15 to Year	July 1 to Year									
5.	Arctic Class 4	Aug. 15 to Year	Aug. 15 to Year	Nov. 30 to Year	Nov. 30 to Year	Aug. 15 to Year	Aug. 15 to Year	July 15 to Year	July 15 to Year	July 15 to Year	July 10 to Year	July 5 to Year	June 1 to Year	June 1 to Year	June 1 to Year	June 15 to Year	June 1 to Year
6.	Arctic Class 3	Aug. 20 to Year	Aug. 20 to Year	July 25 to Year	July 25 to Year	Aug. 20 to Year	Aug. 20 to Year	July 20 to Year	July 20 to Year	July 20 to Year	July 15 to Year	July 5 to Year	June 10 to Year	June 10 to Year	June 20 to Year	June 20 to Year	June 5 to Year
7.	Arctic Class 2	Sept. 15 to Year	Sept. 30 to Year	Oct. 15 to Year	Nov. 5 to Year	Nov. 5 to Year	Nov. 30 to Year	Dec. 15 to Year	Dec. 31 to Year	Aug. 1 to Year	Aug. 1 to Year	July 25 to Year	June 15 to Year	June 25 to Year	June 25 to Year	June 25 to Year	June 10 to Year
8.	Arctic Class 1A	No Entry	No Entry	Aug. 20 to Year	Aug. 20 to Year	Aug. 25 to Year	Aug. 25 to Year	Aug. 10 to Year	Aug. 10 to Year	Aug. 10 to Year	Aug. 10 to Year	Aug. 1 to Year	July 15 to Year	July 15 to Year	July 1 to Year	July 1 to Year	June 20 to Year
9.	Arctic Class 1	No Entry	No Entry	Sept. 15 to Year	Sept. 15 to Year	Sept. 30 to Year	Sept. 30 to Year	Oct. 15 to Year	Oct. 31 to Year	Nov. 30 to Year							
10.	Type A	No Entry	No Entry	Aug. 20 to Year	Aug. 20 to Year	Aug. 15 to Year	Aug. 15 to Year	Aug. 1 to Year	July 25 to Year	June 15 to Year	June 25 to Year	June 25 to Year	June 25 to Year	Nov. 15 to Year			
11.	Type B	No Entry	No Entry	Aug. 20 to Year	Aug. 20 to Year	Aug. 25 to Year	Aug. 25 to Year	Aug. 10 to Year	Aug. 10 to Year	Aug. 10 to Year	Aug. 1 to Year	July 15 to Year	July 1 to Year	July 1 to Year	July 1 to Year	July 1 to Year	June 20 to Year
12.	Type C	No Entry	No Entry	Sept. 5 to Year	Sept. 5 to Year	Sept. 30 to Year	Sept. 30 to Year	Oct. 15 to Year	Oct. 31 to Year	Oct. 25 to Year	Oct. 15 to Year	Oct. 15 to Year	Oct. 15 to Year	Nov. 10 to Year			
13.	Type D	No Entry	Aug. 10 to Year	Aug. 15 to Year	Aug. 15 to Year	Aug. 5 to Year	July 15 to Year	July 1 to Year	July 1 to Year	July 1 to Year	July 1 to Year	Nov. 10 to Year					
14.	Type E	No Entry	Aug. 10 to Year	Aug. 20 to Year	Aug. 20 to Year	Aug. 10 to Year	July 15 to Year	July 1 to Year	Aug. 15 to Year	July 20 to Year	July 20 to Year	Oct. 31 to Year					

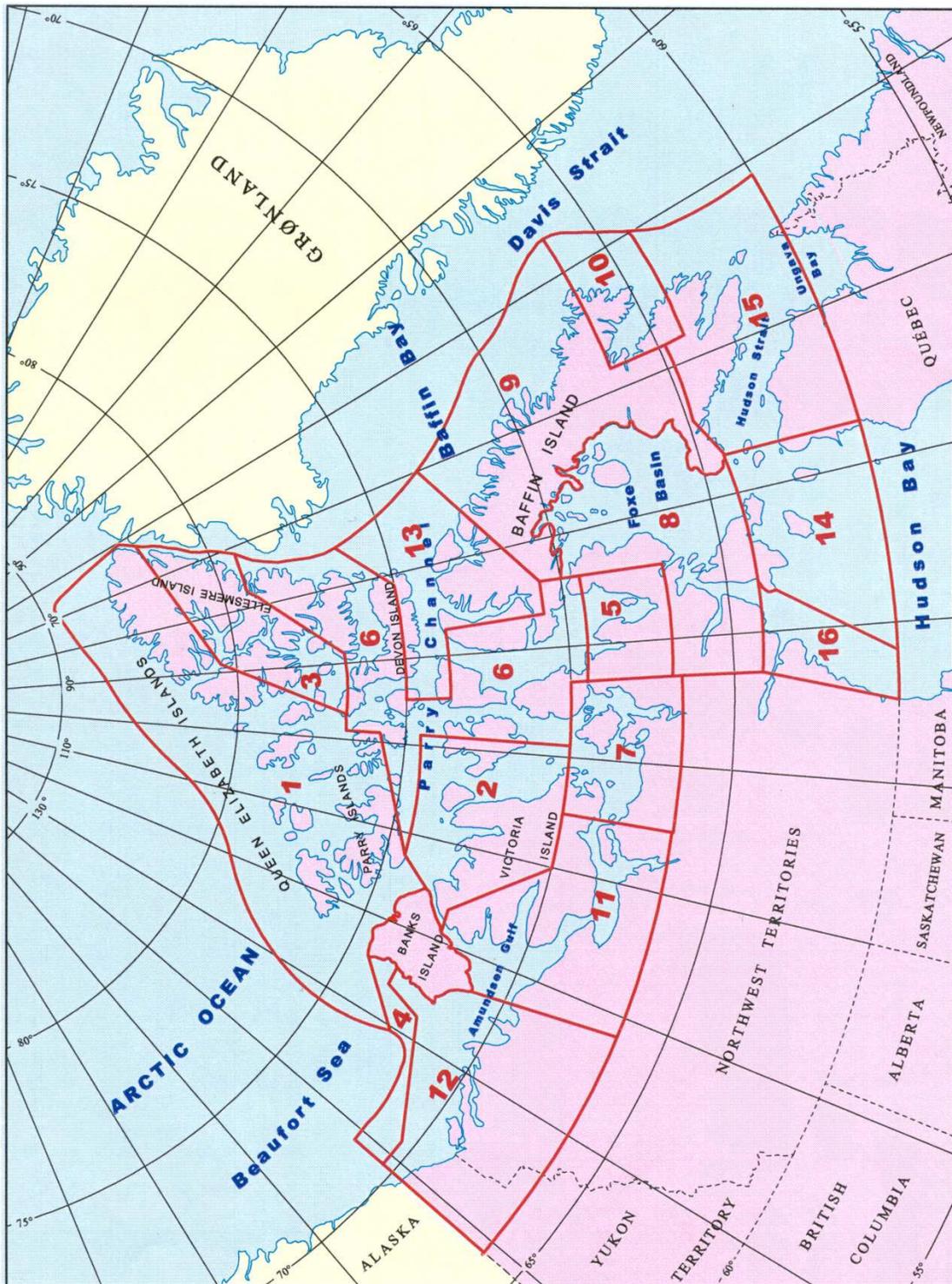


Figure 1 : Carte des zones d’après le système des zones et des dates.

déversements de produits nuisibles pour l'environnement, tout en procurant aux propriétaires et aux capitaines de navires la souplesse nécessaire pour juger par eux-mêmes de la pertinence d'entrer dans une région en fonction des conditions glacielles existantes.

Le nouveau système établit un « régime de glace », c.-à-d. une région dont les conditions glacielles sont habituellement constantes, à chaque fois qu'un navire entre dans une région géographique donnée, ou à l'avance, pour fins de planification ou de conception. Le **Système des régimes de glace pour la navigation dans l'Arctique** (SRGNA) repose sur une simple équation mathématique qui produit un **numéral glacial** combinant le régime de glace et la capacité du navire à naviguer dans cette région en toute sécurité. Le numéral glacial (NG) est fonction de la quantité de glace dangereuse par rapport à la classification SRGNA du navire (voir le tableau 2) et se calcule de la façon suivante :

$$NG = [C_a \times MG_a] + [C_b \times MG_b] + \dots \quad [1]$$

où

$NG$  = **Numéral glacial**

$C_a$  = Concentration en dixièmes de glace de type «  $a$  »

$MG_a$  = **Multiplicateur glacial** pour de la glace de type «  $a$  » et la catégorie de navire (d'après le tableau 2).

Le terme du côté droit de l'équation ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ , etc.) est répété pour chaque type de glace présent, y compris l'eau libre. Les valeurs du multiplicateur glacial sont ajustées pour tenir compte de la décroissance de la glace ou de la formation d'ondins en additionnant ou en soustrayant un correctif de 1 au multiplicateur, respectivement (voir le tableau 2). Le numéral glacial est donc unique à un régime de glace donné et au navire manœuvrant à l'intérieur de ses limites.

Une cote est accordée aux navires qui sont conçus pour manœuvrer dans des formations de glace très intenses, tant pour les opérations de transit que pour le déglacage (catégorie arctique canadienne ou CAC), de même qu'aux navires conçus pour manœuvrer dans les conditions plus modérées offertes par les glaces de première année (en fonction du type de navire). Les cotes ont été déterminées en fonction du type de glace limite que le navire peut affronter, c.-à-d. en fonction de la classification de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) pour la glace de mer indiquée sur le tableau 3 (SRGNA 1989).

Le Système des régimes de glace détermine si un navire donné peut entrer ou non dans un régime de glace particulier. Si le numéral glacial est négatif, le navire *n'est pas* autorisé à pénétrer. Par contre, si le numéral est égal ou supérieur à zéro, le navire est autorisé à y entrer. C'est à l'officier responsable de la navigation dans les glaces, c.-à-d. le capitaine ou l'officier de quart, qu'il incombe de planifier la route, d'identifier la glace et de faire les calculs. Il faut que le navigateur prenne toutes les mesures et les précautions nécessaires, y compris d'éviter les obstacles, pour que l'application du Système des régimes de glace soit un succès. La consigne qui veut que l'officier chargé de l'application des règlements (l'officier de prévention de la pollution) dirige la manœuvre du navire en cas de danger, reste inchangée.

À l'heure actuelle, le Système des régimes de glace n'est que partiellement mis en application et ce, exclusivement à l'extérieur de la région visée par le système des zones et des dates. C'est-à-dire que le trafic maritime est régi par le système des zones et des dates, mais que les navires sont autorisés à entrer dans des zones (habituellement) restreintes en raison des conditions glacielles, le Système des régimes de glace donne un numéral glacial positif. Pour ce faire, il faut qu'il y ait un officier de navigation dans les glaces à bord et qu'il ait initialement envoyé un message d'acheminement des régimes de glace au bureau du NORDREG de la GCC à Iqaluit indiquant un numéral glacial positif. Une fois le voyage terminé, un *Compte rendu après action* doit être envoyé à Transports Canada.

Au cours des années, Transports Canada a commandité un nombre considérable de projets de recherche sur le Système des régimes de glace, mettant au cause toute une série d'observations spécialisées depuis le bord des navires. Il a financé plusieurs projets et ateliers reliés à la connaissance des charges locales sur la coque des navires dans différentes conditions glacielles. Il a aussi travaillé avec le Service canadien des glaces pour assurer la coordination du Système des régimes de glace entre les deux organismes.

Transports Canada a produit une trousse d'assistance aux utilisateurs (TAU 1998) qui donne des renseignements (documentation et vidéo) sur le Système des régimes de glace.

### **2.3 L'approche en sept points**

La crédibilité du Système des régimes de glace a d'importantes répercussions, non seulement sur la sécurité des navires et la prévention de la pollution, mais aussi sur l'établissement des taux d'assurance et sur la prédiction du rendement des navires. Le système a définitivement besoin d'un fondement scientifique. À cette fin, Transports Canada a demandé au Centre d'hydraulique du Canada du Conseil national de recherches du Canada à Ottawa de l'aider à mettre au point une méthodologie pour établir un fondement scientifique au SRGNA. C'est ce qui a mené à l'élaboration de l'approche en sept points dite **de la carte routière** (voir *Timco et Frederking* 1996; *Timco et al.* 1997).

Différentes approches ont été considérées, mais, pour diverses raisons, il a été décidé que c'est l'approche empirique qui serait la plus efficace pour l'établissement d'un fondement scientifique. Cette approche ne repose pas sur des calculs de premier principe des dommages potentiels causés par les glaces. Elle s'appuie plutôt sur un grand nombre de données recueillies de navires différents qui ont navigué à travers toute une gamme de conditions glacielles et environnementales. Elle étudie les conditions glacielles qui ont réellement causé des dommages aux navires.

**Tableau 2 : Multiplicateurs glaciels (MG) du Système des régimes de glace****Tableau des multiplicateurs glaciels par catégorie de navire**

Codes de glace SEA / MMO	Types de glace	Multiplicateur 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, de plusieurs années...(PLA)	-4	-4	-4	-4	-4	-3	-1
8·	Glace de deuxième année.....(DA)	-4	-4	-4	-4	-3	-2	1
6 ou 4·	Glace de 1 <sup>re</sup> année épaisse.....(PAE) > 120 cm	-3	-3	-3	-2	-1	1	2
1·	Glace de 1 <sup>re</sup> année moyenne.....(PAM) 70-120 cm	-2	-2	-2	-1	1	2	2
7	Glace de 1 <sup>re</sup> année mince.....(PA) 30-70 cm	-1	-1	-1	1	2	2	2
9	Glace de 1 <sup>re</sup> année mince, 2 <sup>e</sup> phase 50-70 cm							
8	Glace de 1 <sup>re</sup> année mince, 1 <sup>re</sup> phase 30-50 cm	-1	-1	1	1	2	2	2
3 ou 5	Glace blanche, grise 15-30 cm	-1	1	1	1	2	2	2
4	Glace grise 10-15 cm	1	2	2	2	2	2	2
2	Nilas, croûte de glace < 10 cm	2	2	2	2	2	2	2
1	Nouvelle glace.....(N) < 10 cm							
	Glace pâteuse (fragments > 2 cm)							
⇒△	Eau bergée							
+++	Eau libre							

Notes : Glace morte – pour les types de glace morte suivants : PLA, DA, PAE et PAM, ajouter 1 au multiplicateur glaciels.  
 Glace tourmentée – pour les floes dont les ondins arquent de plus de 3/10° et dont la concentration globale est supérieure à 6/10°, soustraire 1 du multiplicateur glaciels.

**Tableau 3 : Cote de navires du Système des régimes de glace**

CATÉGORIE	CHAMP D'OPÉRATION	TYPE DE GLACE
CAC 1	Sans restrictions	Glace de plusieurs années
CAC 2	Transit ou déglçage contrôlé	Glace de plusieurs années
CAC 3	Transit ou déglçage contrôlé	Glace de deuxième année
CAC 4	Transit ou déglçage contrôlé	Glace de première année épaisse
Type A	Transit	Glace de première année moyenne
Type B	Transit	Glace de 1 <sup>re</sup> année mince – 2 <sup>e</sup> ph.
Type C	Transit	Glace de 1 <sup>re</sup> année mince – 1 <sup>re</sup> ph.
Type D	Transit	Glace blanchâtre
Type E	Transit	Glace grise

Il y a plusieurs choses dont il faut tenir compte avec le Système des régimes de glace. Premièrement, il repose sur des règlements relatifs à la lutte contre la pollution et il a donc plus rapport à la sécurité qu'à l'exploitation. Pour être convenable, il faut que le système satisfasse aux besoins de Transports Canada à titre de législateur, mais il ne doit pas indûment pénaliser les exploitants de navires qui désirent naviguer dans les eaux prises dans les glaces. En développant un fondement scientifique, on peut utiliser plusieurs éléments clés qui peuvent servir une approche scientifique. À partir de ce

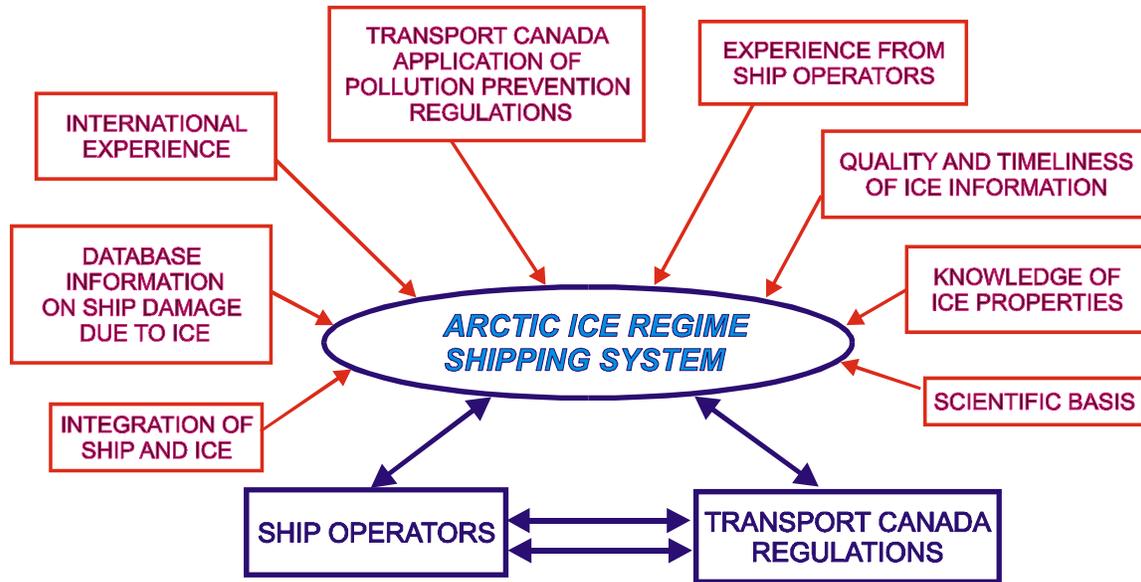
principe, Timco et Frederking (1996) ont préparé le diagramme contextuel du fondement scientifique illustré sur la figure 2. Ce diagramme présente un aperçu des principaux facteurs sur lesquels reposent ces travaux. Il est important de comprendre ce diagramme. C'est la force maîtresse derrière le fondement scientifique.

Une approche très directe a été utilisée pour développer la méthodologie. Elle s'est articulée autour de sept grandes questions fondamentales et des réponses à ces questions. Chaque question est le prolongement logique de la réponse à la question précédente. Ces questions sont les suivantes :

1. Quels problèmes un navire peut-il rencontrer en naviguant dans la glace?
2. De quels exemples spécifiques de problèmes réels peut-on se servir pour faire une analyse déterministe (p. ex. cas concrets pouvant servir à identifier et comprendre les problèmes)?
3. Est-ce que le Système des régimes de glace existant aurait prévu ces problèmes?
4. Si non, comment peut-on améliorer la définition des conditions du problème?
5. Est-ce que les méthodes de détection des glaces actuelles permettent d'identifier les conditions glacielles difficiles?
6. Si non, comment peut-on améliorer le système de détection des glaces d'une manière pragmatique pour être en mesure de détecter les glaces difficiles?
7. Comment cette information peut-elle être communiquée au navire pour qu'il puisse mettre en application le Système des régimes de glace?

Ces questions ont abouti au développement d'une méthode en sept points :

1. Définition des questions associées à la sécurité.
2. Définition des problèmes spécifiques associés aux conditions glacielles correspondantes.
3. Évaluation de la pertinence du SRGNA.
4. Définition de glace difficile et de conditions d'exploitation.
5. Identification de la glace difficile.
6. Détection de la glace difficile.
7. Méthode de mise en application du SRGNA à fondement scientifique.



Anglais	French
ARCTIC ICE REGIME SHIPPING SYSTEM	Système des régimes de glace pour la navigation dans l'Arctique
SHIP OPERATORS	Exploitants de navires
INTEGRATION OF SHIP AND ICE	Intégration glace-navire
DATABASE INFORMATION ON SHIP DAMAGE DUE TO ICE	Base de données sur les dommages causés par la glace aux navires
INTERNATIONAL EXPERIENCE	Expérience internationale
TRANSPORT CANADA APPLICATION OF POLLUTION PREVENTION REGULATIONS	Application des règlements relatifs à la lutte contre la pollution par Transports Canada
EXPERIENCE FROM SHIP OPERATORS	Expérience des exploitants de navires
QUALITY AND TIMELINESS OF ICE INFORMATION	Qualité et actualité des renseignements sur la glace
KNOWLEDGE OF ICE PROPERTIES	Connaissance des propriétés de la glace
SCIENTIFIC BASIS	Fondement scientifique
TRANSPORT CANADA REGULATIONS	Règlements de Transports Canada

**Figure 2: Diagramme contextuel du fondement scientifique du Système des régimes de glace**

L’auteur et ses collègues ont publié plusieurs rapports et documents décrivant l’approche adoptée pour chacun des sept points à l’étude et les travaux associés (Timco et Frederking 1996; Timco et al. 1997, 1999; Timco et Morin 1997, 1998a, 1998b; Timco et Kubat 2000, 2001a, 2001b; Kubat et Timco 2001). Les détails de ces travaux sont trop volumineux pour en faire le compte rendu ici et seuls de brefs résumés des résultats de chaque étude sont présentés ici. Les parties intéressées peuvent consulter les rapports originaux pour plus de détails.

**2.3.1 Point 1 – Questions liées à la sécurité**

Cette étude a passé en revue les données historiques sur les problèmes liés à la sécurité qu’un navire peut rencontrer dans les glaces. La révision des données a permis de découvrir qu’un grand nombre de navires ont été endommagés par la glace. Par

dommages, on entend principalement la déformation de la coque ou les avaries attribuables aux chocs avec la glace, les dommages aux hélices ou aux appareils à gouverner, les navires immobilisés à cause de la pression des glaces, la glace passant par dessus bord et les dommages à des composants critiques du navire. On trouvera une liste et une description complète des dommages dans Timco et Kubat (2000). L'étude avait pour but de classer les questions reliées à la sécurité et d'identifier le jeu de données le plus complet possible.

### *2.3.2 Point 2 – Problèmes spécifiques associés aux conditions glacielles correspondantes*

Cette étude avait pour objet de recueillir d'une manière très systématique des renseignements tant sur les événements qui ont abouti à des dommages que sur les événements qui n'ont pas abouti à des dommages. Pour les besoins de l'étude, un événement correspond à un passage dans un régime de glace connu. L'événement comprend toutes les données pertinentes, notamment les caractéristiques du navire, la route, le climat, les conditions glacielles et, le cas échéant, les dommages subis. Il était important que l'étude comprenne les événements avec dommages et les événements sans dommages pour qu'il y ait équilibre entre les restrictions visant à limiter les dommages (c.-à-d. du point de vue du législateur) et la capacité à naviguer dans les glaces (du point de vue de l'exploitant).

Le CHC a développé une banque de données très complète qui combine tous les éléments clés d'une manière systématique (Timco et Morin 1997, 1998a, 1998b; Timco et al. 1999). Puisque les détails de la base de données ont été examinés en profondeur dans ces références, elle ne sera pas étudiée ici. Pour le moment, il est plus important de comprendre que la base de données peut servir à évaluer l'incidence de toute une quantité de paramètres différents dans le Système des régimes de glace.

### *2.3.3 Point 3 – Pertinence de la définition de SRGNA dans le numéral glacial*

Il a été possible d'utiliser la base de données du CHC pour déterminer si la définition du numéral glacial (NG) proposée dans le SRGNA concorde avec les données empiriques documentées. Une analyse a été effectuée et on a découvert que, bien que la définition donnée par le système soit relativement fidèle, plusieurs événements avec dommages avaient un numéral glacial positif, et qu'un nombre considérable d'événements avec numéral glacial négatif n'ont pas abouti à des dommages. D'après notre analyse, la définition actuelle de numéral glacial correspond au sens général qu'on veut lui donner. Mais elle laisse de côté plusieurs événements qui ont abouti à des dommages, et restreint l'accès de façon appréciable dans les situations où il n'y a pas eu de dommages.

### *2.3.4 Point 4 – Définition de glace difficile et conditions d'exploitation*

À cette fin, on s'est servi de la base de données du CHC pour étudier l'impact de plusieurs facteurs dont on ne tient pas compte dans l'actuelle définition du numéral glacial. Pour ce faire, on a utilisé une **approche interactive** qui prend en compte des

facteurs comme la vitesse du navire, l'expérience du capitaine, la solidité de la glace, la visibilité, etc. (voir Timco et Kubat 2000, 2001b). Cette méthode s'est traduite par une importante amélioration de la définition de numéral glacial. Les deux principes fondamentaux de la nouvelle méthodologie sont les suivants :

1. Les exploitants de navires sont récompensés lorsqu'ils utilisent des navires renforcés pour la navigation dans les glaces (CAC ou type A ou B) commandés par des capitaines expérimentés qui naviguent prudemment quand les conditions glacielles et la navigation sont difficiles.
2. Les exploitants de navires sont sévèrement pénalisés quand ils utilisent des navires de cote inférieure (type C et moins) et du personnel moins expérimenté.

Mais, même si cette approche représente une importante amélioration de la définition du numéral glacial, elle risque d'être difficile à appliquer puisque plusieurs autres facteurs doivent être pris en considération. Néanmoins, il a clairement été démontré que l'on pouvait faire d'importantes améliorations si les facteurs appropriés étaient pris en considération dans le Système des régimes de glace.

### *2.3.5 Point 5 - Identification de la glace difficile*

Cette étude a examiné si le Service canadien des glaces (SCG) et le système de détection des glaces actuel étaient vraiment aptes à prédire avec précision les conditions glacielles. Une comparaison a été faite entre les conditions glacielles prédites par le SCG et les données recueillies sur le terrain (Timco et Kubat 2000; Kubat et Timco 2001). À partir des données analysées au cours de cette étude, il semble que les prévisions du SCG donnent une description assez fiable des conditions glacielles réelles. Bien que les prévisions ne soient pas rigoureusement exactes, il n'y avait pas d'erreurs de mesure flagrantes dans les prévisions.

On a aussi fait une analyse de la variabilité des régimes de glace à l'intérieur d'un même « œuf » d'une même carte. Cette analyse a démontré qu'il pouvait y avoir une grande variabilité dans les conditions glacielles à l'intérieur d'une même région, et ce, même si les conditions moyennes s'avèrent exactes. C'est la raison pour laquelle, en navigation tactique, il ne faut pas se contenter d'utiliser les cartes du SCG pour calculer le numéral glacial. Les observations continues de l'état des glaces depuis le navire sont un élément essentiel dans la détermination du bon numéral glacial.

### *2.3.6 Point 6 - Détection de la glace difficile*

Cette étude avait pour objet d'examiner, d'une façon pragmatique, quelles améliorations pourraient être apportées aux méthodes d'identification des glaces si le point d'étude 5 ne donnait pas les résultats escomptés. Toutefois, comme nous l'avons mentionné précédemment, les prévisions du SCG sont tout à fait raisonnables et peuvent être utilisées dans le Système des régimes de glace pour fins de planification stratégique. Nous n'avons donc pas déployé beaucoup d'efforts sur cette étude.

### 2.3.7 Point 7 – Une méthode de mise en application du SRGNA

Les résultats de cette étude font l'objet du reste du présent rapport.

## 3.0 EXPOSÉ GÉNÉRAL

Une fois le travail de base effectué sur le fondement scientifique, il restait à élaborer une méthode pour le mettre en application. Et c'est au cours de ces travaux que l'auteur a eu plusieurs entretiens avec les principales parties intéressées. Ces entretiens ont été d'une grande valeur. Ils sont au centre des conclusions qui se dégagent du rapport.

Il est important, avant d'élaborer sur le point d'étude n° 7, de revoir le diagramme contextuel (figure 2) qui est à la base de l'approche scientifique. Les études effectuées jusqu'à présent ont essentiellement porté sur toutes les cases rouges du diagramme. Maintenant, il reste à élaborer un plan de mise en application qui soit acceptable à Transports Canada et aux exploitants de navires, tout en maintenant le fondement scientifique du système. Il faudrait aussi souligner que l'auteur n'est pas directement concerné par le Système des régimes de glace. Ses travaux visent à faciliter la création d'un fondement scientifique pour le système.

### 3.1 *Devrait-il y avoir un Système des régimes de glace?*

Une question fondamentale se pose en ce qui concerne le Système des régimes de glace. On l'utilise depuis plusieurs années en dehors du cadre du système des zones et des dates et il est évident que les navigateurs le connaissent déjà assez bien. Certains semblent fortement convaincu que le Système des régimes de glace est tout à fait adéquat et qu'il comporte plusieurs avantages sur le système des zones et des dates, notamment :

1. L'analyse des données disponibles pour le fondement scientifique démontre clairement que le Système des régimes de glace est un outil efficace pour l'identification des conditions glacielles dangereuses.
2. On a fait des progrès importants dans la qualité et la disponibilité des informations sur les glaces au cours des dernières années. La méthode du Système des régimes de glace fait directement usage de cette information alors que le système des zones et des dates ne les utilise qu'indirectement.
3. Certains navires sont équipés de systèmes de détection des glaces très perfectionnés (p. ex. IceNav) qui leur donnent des informations presque en temps réel qu'ils peuvent utiliser soit pour l'exploitation stratégique, soit pour l'exploitation tactique du navire.
4. On connaît beaucoup mieux le processus du chargement des coques par la glace et des charges connexes sur la coque. Cette information a été intégrée au Système des régimes de glace.
5. On a acquis une bonne dose d'expérience avec le Système des régimes de glace, aussi bien à bord des navires que du point de vue de la documentation des événements reliés à la glace, ce qui permet de l'améliorer constamment.

Il existe donc d'excellentes raisons de continuer à utiliser et à développer le Système des régimes de glace, comparativement au système des zones et des dates.

### **3.2 Entretien avec les propriétaires et exploitants de navires commerciaux**

Au cours des entretiens que nous avons eus avec les propriétaires et exploitants de navires commerciaux, il est ressorti qu'il y avait beaucoup de confusion et de méfiance à l'égard du Système des régimes de glace. Les plaintes les plus fréquentes sont les suivantes :

- La définition du numéral glacial est incorrecte – un grand nombre de voyages dont le NG était négatif se sont soldés sans avaries.
- Le système prête à confusion et est difficile à comprendre.
- Son application en temps réel est impossible.
- Le système ne tient pas compte de plusieurs facteurs clés (comme la vitesse du navire et les dimensions du floe).
- Les capitaines expérimentés n'ont pas à calculer de NG – ils savent quand la situation peut s'avérer dangereuse.
- La plupart des accidents sont attribuables à des dangers non détectés.
- La définition de régime de glace est ambiguë. On peut rencontrer des centaines de régimes différents à chaque voyage.
- Les régimes comportant plusieurs sortes de glace compliquent les choses parce qu'il n'est pas nécessaire de calculer le NG de tous les régimes.
- Ils sont à l'aise avec le système des zones et des dates et peuvent s'en servir pour leur planification à long terme.

Il est aussi évident que plusieurs intervenants se méfient du Système des régimes de glace parce qu'ils soupçonnent « Ottawa » de tenter d'exercer un plus grand contrôle sur le transport maritime. Certains pensent que ce contrôle pourrait même s'exercer en temps réel.

En dépit de cela, le Système des régimes de glace est utilisé par plusieurs exploitants en dehors du cadre du système des zones et des dates avec beaucoup de succès.

### **3.3 Consultations avec la Garde côtière canadienne**

La Garde côtière canadienne n'a pas beaucoup d'expérience en ce qui a trait au Système des régimes de glace. Au cours de la dernière année, on s'est efforcé d'éduquer la GCC sur le système et de les amener à l'utiliser. Les consultations avec la GCC ont indiqué ce qui suit :

1. Le système porte à confusion et est difficile à utiliser.
2. Ils ne trouvent pas de bonne corrélation entre le numéral glacial et le niveau de danger potentiel associé au régime de glace.
3. Ils ont aussi soulevé la question du contrôle réglementaire du transport maritime par l'entremise du Système des régimes de glace.

En parlant avec les représentants de la GCC, il a été facile de constater qu'ils n'avaient pas reçu de formation adéquate sur le système et que ce manque pouvait expliquer en

grande partie la confusion et le négativisme de leur part. Ils étaient par contre assez disposés à approfondir la question de la formation et à continuer à évaluer le système si cette évaluation se faisait d'une manière coordonnée et complète.

### **3.4 Information sur SRG fournie par Transports Canada**

À la lumière des commentaires des exploitants commerciaux et de la GCC, l'auteur a examiné d'un œil critique l'information fournie par Transports Canada sur le Système des régimes de glace, notamment le rapport initial sur le SRGNA (SRGNA 1989) et les Normes équivalentes (1995), les normes relatives au Système des régimes de glace pour la navigation dans l'Arctique (SRGNA 10996) et la plus récente Trousse d'assistance à l'utilisateur (TAU de Transports Canada, 1998).

Bien que ces rapports contiennent des renseignements sur le SRG, de l'avis de l'auteur, il sont trop inadéquats pour servir d'outil de formation sur le Système des régimes de glace. Voici quelques exemples qui illustrent ce fait :

- Les rapports et les renseignements qu'ils contiennent se rapportent directement aux règlements, ce qui donne une apparence très bureaucratique et peu conviviale à tout le système.
- Les rapports et la Trousse d'assistance à l'utilisateur (TAU) n'expliquent pas très clairement les principes de base du système. Par exemple, la définition de régime de glace n'est présentée qu'à la page 9 de la TAU.
- La TAU ne donne aucune explication sur ce que l'on retrouve dans les œufs des cartes du Service canadien des glaces, mais on les utilise quand même pour illustrer des exemples de calcul du numéral glacial.
- Il y a des incohérences entre les définitions du numéral glacial. Par exemple, il n'y a pas d'allocation supplémentaire de +1 au multiplicateur glacial pour la décroissance de la glace de plusieurs années dans le document original du RPPEA (1989), mais il y en a une dans le document sur le SRGNA.
- Certaines personnes ont exprimé des réserves en ce qui concerne le logiciel de la TAU qui ne fonctionne pas toujours correctement et cause des défaillances de système.

### **3.5 Facteurs clés du Système des régimes de glace**

L'auteur a examiné les facteurs qui ont été identifiés dans l'approche interactive (Timco et Kubat 2001a, 2001b) par plusieurs des parties intéressées comme étant les facteurs clés du Système des régimes de glace :

#### **Classification des navires (actuellement envisagée pour le SRG)**

- Élément essentiel à considérer.
- Très difficile à incorporer puisqu'aucun navire n'a été construit aux spécifications de la cote CASPPR.
- Il doit y avoir des négociations avec les exploitants maritimes sur le multiplicateur glacial sur certains navires particuliers.

- Certains navires sont fortement déclassés à cause d'une ou deux caractéristiques qui ne satisfont pas aux exigences de la cote (p. ex. les brise-glaces russes).
- Il peut y avoir certaines hésitations à utiliser les nouvelles règles sur la navigation polaire parce que l'industrie du transport (conservatrice) est peut-être réticente à utiliser la nouvelle technologie.
- On a encore beaucoup de travail à faire en ce qui concerne la justification des niveaux de risque, surtout en ce qui a trait aux types de navires.

#### Taux de concentration de la glace (actuellement envisagé pour le SRG)

- Élément essentiel à considérer.
- Ne se présente pas sous forme de quantité unique (c.-à-d. que deux personnes différentes peuvent estimer différentes concentrations pour le même régime de glace).

#### Épaisseur de la glace (actuellement envisagé pour le SRG)

- Élément essentiel à considérer.
- La définition de limite des glaces selon le type peut faire une grande différence dans la détermination du numéral glacial, surtout en ce qui concerne le type de navire, mais il serait difficile de la subdiviser davantage.
- L'irrégularité de la glace peut aussi être importante à considérer.

#### Conditions estivales (actuellement non envisagé pour le SRG)

- Élément important à considérer.
- Associé à la solidité de la glace, à la visibilité et à la résistance (fragilité) de l'acier des coques.
- On devrait porter plus d'attention à la solidité de la glace, surtout en ce qui concerne la glace de plusieurs années.

#### Décroissance (actuellement envisagé pour le SRG)

- Définition de décroissance confuse et obscure.
- L'information sur l'écoulement de surface est importante pour les exploitants.

#### Ondins (actuellement envisagé pour le SRG)

- Le système existant en tient suffisamment compte.
- On devrait faire plus d'effort pour mieux quantifier cet aspect – il donne une indication de l'épaisseur de la couche consolidée.

#### Présence de glace de plusieurs années (actuellement envisagé pour le SRG)

- On ne sait trop pourquoi le multiplicateur glacial pour la glace de plusieurs années est le même pour tous les types de navires; p. ex. pourquoi –4 pour les navires de type A et pour les navires de type E? [Remarque de l'auteur : l'analyse des dommages aux navires par d'autres auteurs montre clairement qu'un grand nombre d'événements qui ont abouti à des dommages ont été causés par de la glace de plusieurs années.]

- La glace de plusieurs années peut être soit très dure, soit très faible durant les mois d'été et il est impossible de savoir dans quel état elle se trouve. On doit donc toujours y faire très attention.

#### Navire sous escorte (actuellement envisagé indirectement pour le SRG)

- Difficile à considérer.
- Il est important que le navire d'escorte aussi bien que le navire sous escorte comprenne le Système des régimes de glace.
- Peut avoir une incidence sur la dimension du floe dont on ne tient pas compte dans le numéral glacial; p. ex. la concentration et l'épaisseur de la glace peuvent être les mêmes, mais un floe de plus petite dimension n'aura peut-être pas une masse suffisante pour causer des dommages.

#### Visibilité (actuellement non envisagé pour le SRG)

- Élément important à considérer.
- Les navigateurs doivent faire preuve de prudence raisonnable.
- Peut être incorporée à titre de facteur de pondération du numéral glacial.

#### Vitesse du navire (actuellement non envisagé pour le SRG)

- Élément important à considérer
- On pourrait éventuellement trouver un rapport pour faire du numéral glacial une fonction de la vitesse du navire pour chaque cote de navire.

#### Expérience du capitaine ou de l'officier de navigation dans les glaces (actuellement non envisagé pour le SRG)

- Aspect important à inclure.
- Les officiers responsables de la navigation dans les glaces devraient avoir fait un minimum de 4 à 5 voyages dans l'Arctique sous la supervision d'un officier expérimenté dans le domaine avant d'avoir la permission de naviguer seuls.
- Les règlements devraient contenir des exigences particulières pour les officiers de navigation dans les glaces.
- L'IDM-MUN a élaboré un plan de cours pour les officiers de navigation dans les glaces il y a environ 5 ans, mais il n'a jamais été mis en application.
- Facteur d'importance critique – il peut comprendre plusieurs autres facteurs.

#### Manœuvrabilité du navire (actuellement non envisagé pour le SRG)

- Facteur important mais difficile à incorporer explicitement.
- Dépend de l'expérience du capitaine.
- Peut avoir une incidence sur le régime de glace puisqu'un navire plus facilement manœuvrable peut plus facilement éviter la glace de plusieurs années et les gros floes.

#### Matériel de navigation (dans les glaces) (actuellement non envisagé pour le SRG)

- Les règlements sur cet aspect très important sont inexistants (la plupart des dommages sont attribuables au manque de détectabilité de la glace dangereuse).

- Devrait faire partie du RPPEA.

*Dimensions du floe (actuellement non envisagé pour le SRG)*

- Les navigateurs doivent faire preuve de prudence raisonnable.
- Peuvent altérer le régime de glace considérablement puisqu'elles peuvent avoir une incidence sur la manœuvrabilité du navire.
- Les floes plus petits n'ont pas la même masse et ne peuvent causer les mêmes dommages.

*Fragments d'icebergs (actuellement non envisagé pour le SRG)*

- Ne peuvent pas être considérés dans la réglementation puisque leur concentration n'est pas précisée sur les cartes.
- Très important facteur à considérer puisque ces fragments peuvent causer des dommages considérables [Remarque de l'auteur : ils sont aussi solides que de la glace de plusieurs années].
- On peut inclure ce facteur en incorporant les régions avec « eau bergée » sur les cartes du SCG.

---

## 4.0 MÉTHODES DE MISE EN APPLICATION DU SYSTÈME DES RÉGIMES DE GLACE

Quelle est la meilleure façon de réviser, d'améliorer et de mettre en application le Système des régimes de glace? Plusieurs méthodes ont été proposées durant nos conversations avec les divers intervenants. L'auteur les a regroupées en quatre approches possibles :

1. Définition existante du numéral glacial.
2. Addition de déterminants au numéral glacial.
3. Nombre entier supplémentaire ajouté au multiplicateur glacial.
4. Multiplicateurs non entiers.

Chacune de ces méthodes est examinée en détail dans les sections qui suivent. Il y a lieu de noter que ces méthodes sont présentées pour fins de discussion auprès des groupes intéressés.

#### **4.1 Définition existante de numéral glacial (méthode RPPEA)**

Description – La définition existante du numéral glacial employant le tableau des multiplicateurs existant du SRGNA avec les modifications existantes pour la décroissance et les ondins.

Méthode – Le Système des régimes de glace existant serait utilisé dans sa forme présente.

Les avantages de cette méthode sont :

1. Le système est utilisé depuis plusieurs années – bien connu.
2. Relativement simple à utiliser.
3. Peut être facilement reporté sur les cartes du SCG (p. ex. entrée de cote minimale dans un œuf pour une région particulière).

Les inconvénients de cette méthode sont :

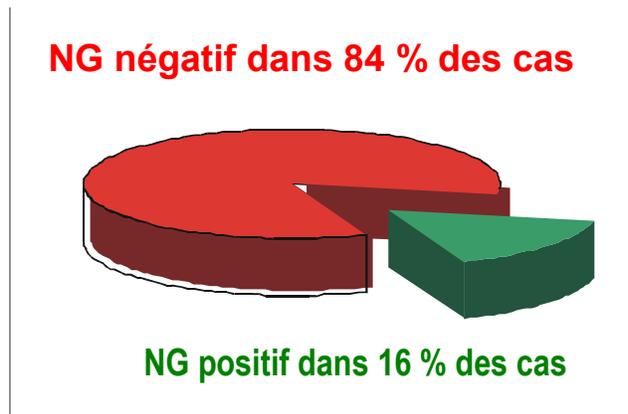
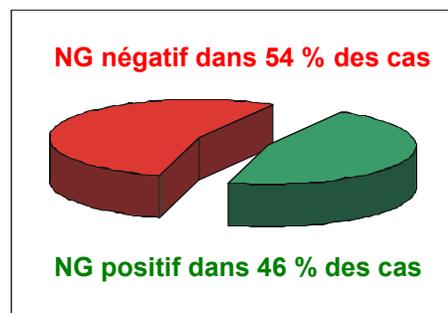
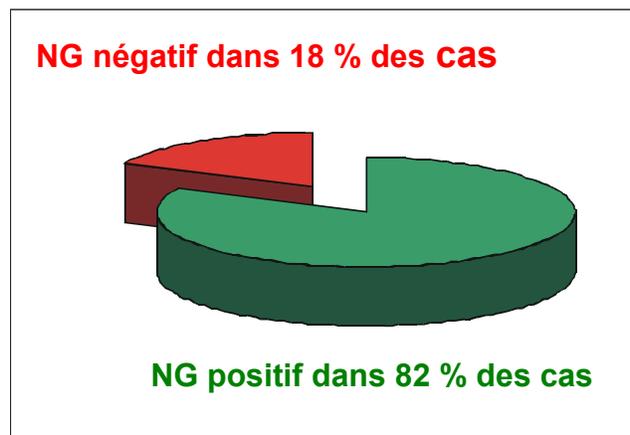
1. Valable, mais ne convient pas bien aux données empiriques.
2. Ne tient pas compte de tous les paramètres importants.
3. Ne tient pas compte du facteur vitesse.
4. Le tableau des multiplicateurs porte à confusion pour plusieurs.
5. Le tableau des multiplicateurs est incohérent (on utilise p. ex. le même multiplicateur de glace de plusieurs années pour les navires de cote E et pour les navire de cote A).

On a analysé la base des données du CHC-CNRC sur les régimes de glace pour étudier la pertinence de la définition. La figure 3 montre les résultats sur un diagramme à secteurs. Dans ce cas-ci, les données ont été fractionnées en trois degrés de gravité des dommages (GD) différents :

1. Niveau de gravité des dommages égal ou supérieur à 3 ( $GD \geq 3$ ), ce qui peut causer des dommages dus à la pollution (dommages probables dus à la pollution – DPP).
2. Niveau de gravité des dommages égal à 1 ou 2 ( $GD = 1$  ou  $2$ ), où il y a des dommages au navires, mais pas de brèche dans la coque.
3. Niveau de gravité des dommages égal à 0 ( $GD = 0$ ), où il n'y a pas eu de dommages.

Dans un Système des régimes de glace idéal, tous les dommages en situation de  $GD \geq 3$  seraient négatifs (c.-à-d. que toute la partie supérieure du diagramme serait rouge), et tous les événements sans dommages devraient avoir un niveau  $GD = 0$  (c.-à-d. que toute la partie inférieure du diagramme devrait être verte). Ça n'est évidemment pas le cas en ce qui a trait à la définition actuelle de numéral glacial du SRGNA.

Même si la définition actuelle du SRGNA tient compte de 84 % des événements avec DPP, elle en néglige 16 %. Et plus encore, il y a 18 % des événements sans dommage ( $GD = 0$ ) qui ont un numéral glacial négatif même si le navire n'a subi aucun dommage.

**Pour GD  $\geq 3$** **Pour GD = 1 ou 2****Pour GD = 0**

**Figure 3 : Diagrammes à secteurs montrant les valeurs du numéral glaciaire pour les événements avec niveau de gravité des dommages (GD)  $\geq 3$ , = 1 ou 2, et = 0. Le numéral glaciaire a été calculé à l'aide de la définition du SRGNA.**

## **4.2 Ajout de déterminants au numéral glacial (Méthode interactive)**

Description – Utiliser un tableau des multiplicateurs (révisé) et additionner ou soustraire au numéral glacial calculé pour tenir compte de la vitesse, de la visibilité, de l'expérience, etc.

Méthode – Le Système des régimes de glace existant sert à calculer le numéral glacial. Ce dernier peut ensuite être augmenté ou diminué par l'addition ou la soustraction de quantités prédéfinies pour chacun des facteurs importants (p. ex. additionner 5 si la vitesse du navire est inférieure à 3 nœuds; soustraire 3 dans le cas d'un navire de type E et de glaces de plusieurs années, etc.). Les détails de la quantité à additionner ou à soustraire serait basée sur la meilleure adéquation à la base de données du CHC-CNRC et sur l'expérience de l'intervenant. Cette méthode serait similaire à celle qui a été examinée par Timco et Kubat (2001a, 2001b) pour l'optimisation de l'adéquation à la base de données. Elle repose sur la méthode interactive examinée par Timco et Kubat.

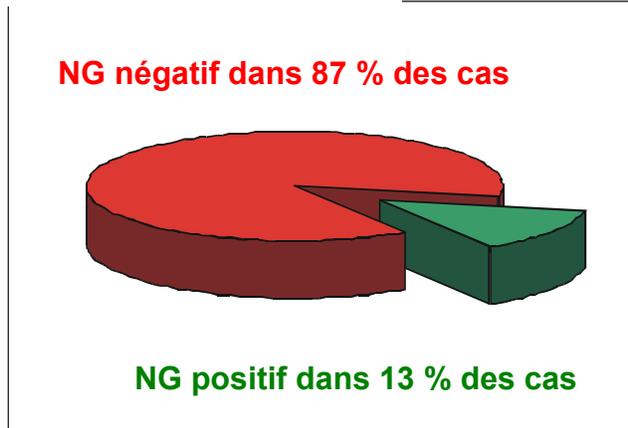
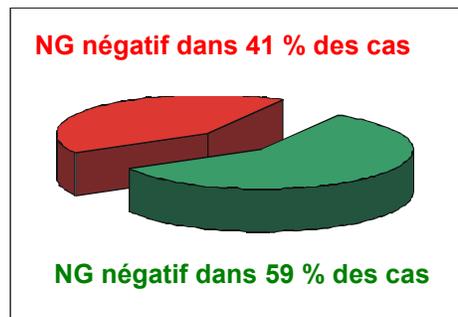
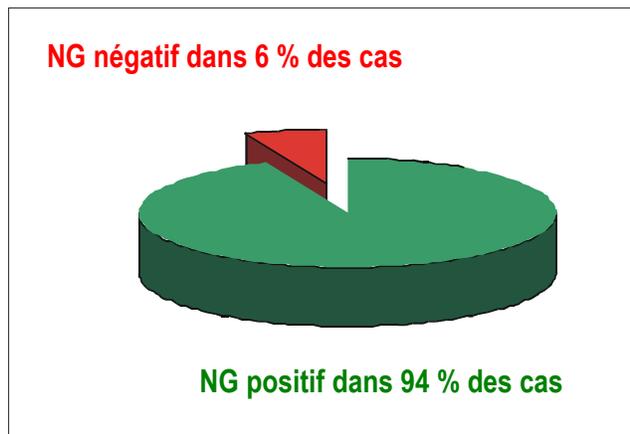
Les avantages de cette méthode sont :

1. Système beaucoup plus précis.
2. Peut tenir compte de presque tous les facteurs, y compris la vitesse.

Les inconvénients de cette méthode sont :

1. Très difficile à utiliser et exigeant.
2. Chaque régime de glace nécessite des calculs détaillés.
3. Les calculs doivent être faits à l'aide d'un programme informatique (donc plus coûteux à mettre en application et non accessible à tous les navires).
4. Divergences sur l'unité de grandeur d'ajustement pour chaque facteur.
5. Ne pourrait pas servir à la préparation de l'itinéraire (p. ex. la visibilité pourrait modifier le NG, etc.).

Le diagramme à secteurs de la Figure 4 montre la distribution des données basée sur cette définition. Il s'agit d'une amélioration importante sur la définition existante du SRGNA. Dans ce cas-ci, un plus grand nombre d'événements avec DPP ont un numéral glacial négatif. De façon encore plus frappante, le nombre d'événements à NG négatif sans dommages diminue de façon significative. Avec cette méthode, le nombre d'événements négatifs passe de 18 à 6 %. Manifestement, il s'agit d'une méthode beaucoup plus précise.

**Pour  $GD \geq 3$** **Pour  $GD = 1$  ou  $2$** **Pour  $GD = 0$** 

**Figure 4 : Diagramme à secteurs montrant les valeurs du numéral glaciaire pour des événements avec niveau de gravité des dommages égal ou inférieur à 3, égal à 1 ou 2 et égal à 0 ( $GD \geq 3$ , 1 ou 2, 0). Le numéral glaciaire a été calculé à l'aide de la méthode interactive.**

### **4.3 Entier supplémentaire additionné au multiplicateur glacial (Méthode modifiée)**

Description – Utiliser le tableau des multiplicateurs existant et additionner un entier supplémentaire (+1) au multiplicateur glacial si un navire satisfait à trois exigences spécifiques, à savoir : un capitaine avec un certain nombre d'années d'expérience, du très bon matériel de détection des glaces et des conditions glacielles estivales (à faible résistance).

Méthode – On utiliserait la méthode du Système des régimes de glace existant. Les exploitants de navires pourraient accroître le multiplicateur glacial pour la glace de première année si le navire satisfaisait aux trois critères additionnels suivants : (1) le capitaine ou l'officier responsable de la navigation dans les glaces a plus de « x » années d'expérience dans l'Arctique. (2) le navire est équipé d'un matériel de détection des glaces et de navigation complet et dispose d'un personnel compétent pour l'utiliser et (3) la glace offre une résistance plus faible en raison des conditions estivales. Dans ce cas-ci, le critère relatif aux conditions glacielles estivales remplacerait l'allocation d'un entier additionnel pour la décroissance et serait fondé sur l'analyse prédéfinie perfectionnée par Timco et al. (2001).

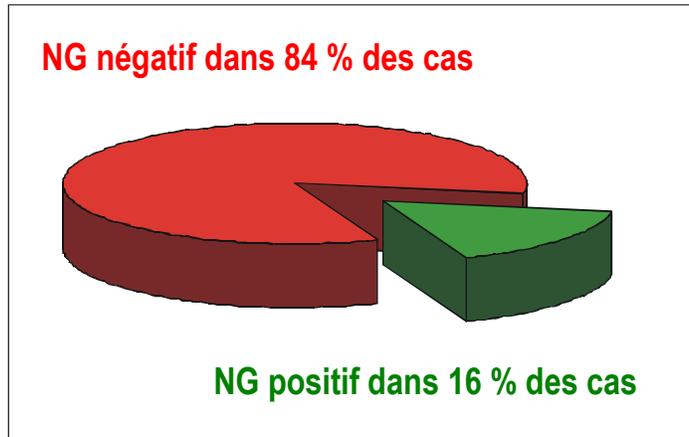
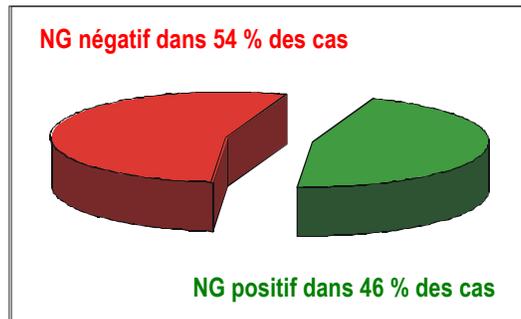
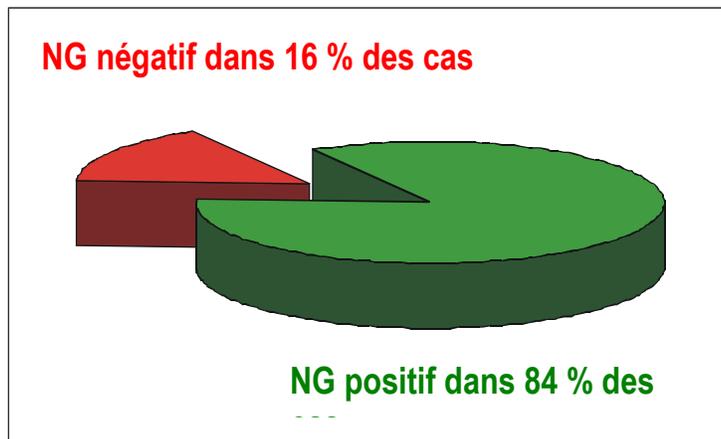
Les avantages de cette méthode sont :

1. Méthode bien connue, très similaire au SRG existant.
2. Met l'accent sur les navires bien équipés, dotés d'un équipage expérimenté, c.-à-d. axés sur la sécurité.
3. Permet un meilleur accès aux navires mieux équipés.
4. Meilleure adéquation aux données empiriques.

Les inconvénients de cette méthode sont :

1. Il faudrait que le navire satisfasse à toutes les exigences pour recevoir une allocation supplémentaire.
2. Divergences possibles sur la quantité d'expérience et de matériel requis pour l'allocation supplémentaire. Il faudrait que Transports Canada en définisse les critères.
3. Ne tiendrait pas compte de plusieurs facteurs importants (p. ex. la vitesse du navire, la taille du floe, etc.) d'une manière explicite.

Les données ont été analysées à l'aide de cette méthode, en faisant des hypothèses raisonnables sur les dates pour l'allocation estivale. L'analyse, dans ce cas, était plutôt subjective et les données qui ont été influencées par cette méthode sont très limitées à cause de cela. Le diagramme à secteurs de la Figure 5 montre les résultats de l'analyse. Dans ce cas-ci, il n'y a pas de changement entre un niveau de  $GD \geq 3$  et un niveau de  $GD = 1$  ou  $2$ , mais il y a une certaine amélioration pour le niveau de  $GD = 0$ , et le nombre d'événements faux négatifs passe de 18 à 16 % comparativement à la définition du SRGNA.

**Pour GD  $\geq 3$** **Pour GD = 1 ou 2****Pour GD = 0**

**Figure 5 : Diagramme à secteurs montrant les valeurs du numéral glaciaire pour des événements à niveau de gravité des dommages (GD) égal ou inférieur à 3, égal à 1 ou 2 et égal à 0. Le numéral glaciaire a été calculé à l'aide de la méthode modifiée.**

#### **4.4 Multiplicateurs non entiers (Méthode des non-entiers)**

Description - Chaque navire se verrait attribuer une série de multiplicateurs unique basée sur la classification du navire, l'expérience de l'équipage, le matériel de navigation dans les glaces, la période de l'année (c.-à-d. en fonction de la résistance de la glace, de la décroissance, etc.), la vitesse du navire, etc. Les multiplicateurs seraient attribués quand le navire franchit le 60<sup>e</sup> parallèle, et l'allocation supplémentaire au multiplicateur glacial serait un nombre non entier pour chaque facteur identifié.

Méthode – À chaque fois qu'un navire franchit le 60<sup>e</sup> parallèle, il doit s'enregistrer auprès du NORDREG (Système de trafic de l'Arctique canadien) et donner les détails standard sur le navire, comme le nom du capitaine, de l'officier responsable de la navigation dans les glaces, le matériel de détection des glaces de bord, etc. NORDREG fait une évaluation de ces informations et donne au navire une série de multiplicateurs glaciaux (un MG pour la glace en-dessous de la limite de glace pour la cote du navire et un MG pour la glace au-dessus de la limite pour la cote). Les multiplicateurs seraient attribués au moyen d'un système prédésigné pour les facteurs définis. Les multiplicateurs glaciaux seraient des nombres non entiers et refléteraient la capacité du navire, la compétence de l'équipage, la période de l'année (c.-à-d. la résistance de la glace, etc.).

Les avantages de cette méthode sont :

1. Système très précis.
2. Encouragerait les propriétaires de navires à améliorer la sécurité.
3. La méthode et l'application seraient semblables à celles du système existant sauf pour ce qui est du multiplicateur glacial non entier.
4. Les capitaines ne seraient pas obligés de connaître tous les détails de la méthode de calcul des multiplicateurs glaciaux. C'est NORDREG qui les produirait automatiquement.
5. Peut facilement s'accommoder des changements pour fins d'harmonisation internationale.

Les inconvénients de cette méthode sont :

1. Beaucoup plus de travail pour le gouvernement canadien.
2. Au départ, pourrait créer la confusion chez les propriétaires et les capitaines de navires.
3. Divergences possibles sur l'unité de grandeur de l'allocation supplémentaire pour chaque facteur.

Une analyse de cette méthode n'est pas possible tant que les déterminants des multiplicateurs glaciaux n'ont pas été établis. Toutefois, on croit que les résultats seraient très similaires à ceux de la méthode interactive.

## 5.0 POINT DE VUE DE L'AUTEUR

### 5.1 Exposé général

Il n'est pas facile de décider quelle direction donner au fondement scientifique du Système des régimes de glace. Des compromis doivent être faits.

Le maintien du statu quo (méthode 1) comporte plusieurs inconvénients et ne devrait pas être envisagé. Sa plus sérieuse lacune est de ne pas refléter fidèlement les données empiriques de la navigation dans l'Arctique. La méthode actuelle ne tient pas compte de plusieurs événements avec dommages et elle restreint fortement la navigation même dans le cas qui s'avèrent sans danger (c.-à-d. sans dommages), tout en donnant un numéral glacial négatif. Donc, si cette méthode est adoptée, on peut s'attendre que les autorités de réglementation et les exploitants trouvent le système inadéquat et frustrant.

D'un point de vue *scientifique*, la meilleure solution serait d'adopter la méthode interactive (addition d'un déterminant au numéral glacial) ou la méthode du nombre non entier (multiplicateurs non entiers). Ces deux méthodes sont faites sur mesure pour les données empiriques et procurent la meilleure adéquation pour un système à fondement scientifique. Mais les deux méthodes sont très difficiles d'application et peuvent s'avérer très frustrantes.

D'un point de vue *pratique*, la méthode modifiée est la meilleure (entier supplémentaire additionné au multiplicateur glacial). Cette méthode met l'accent sur la sécurité et récompense les navires dont l'équipage est expérimenté et le matériel de détection des glaces et de navigation approprié. On s'est aperçu que ces facteurs étaient des éléments essentiels dans l'analyse scientifique de Timco et Kubat (2000, 2001b). Leurs analyses ont permis d'élaborer deux principes fondamentaux qui procurent l'adéquation optimale des données empiriques :

1. Les exploitants de navires sont récompensés lorsqu'ils utilisent un navire renforcé pour la navigation dans les glaces (CAC ou type A ou B) et qu'ils emploient des capitaines expérimentés qui naviguent avec prudence lorsque l'état des glaces et les conditions de navigation sont difficiles.
2. Les exploitants de navires sont sévèrement pénalisés quand ils utilisent des navires de cote inférieure et des équipages moins expérimentés.

Ces facteurs seraient incorporés dans la méthode modifiée. En l'occurrence, plusieurs des facteurs clés comme la vitesse, la manœuvrabilité du navire, la taille du floe, etc. ne seraient pas explicitement pris en considération. On tiendrait plutôt compte de l'expérience du capitaine ou de l'officier responsable de la navigation dans les glaces. Cela exigerait plus de souplesse de la part des exploitants tout en maintenant la structure de base du Système des régimes de glace. Elle procurerait aussi le cadre nécessaire pour la diminution des événements aboutissant à des dommages qui peuvent causer de la pollution. Par surcroît, cette méthode conserverait la simplicité générale de la méthode actuelle du Système des régimes de glace. *Cette méthode combine la simplicité du système actuel tout en améliorant les principes fondamentaux sous l'impulsion de la*

*méthode scientifique.* La difficulté avec cette méthode réside dans la définition de niveau d'expérience du capitaine, et la définition de niveau acceptable de matériel de détection des glaces et de navigation pour l'allocation supplémentaire. Ces problèmes ne devraient cependant pas être insurmontables.

À partir de cet examen et de cette analyse, l'auteur recommande que Transports Canada songe sérieusement à mettre en application la méthode n° 3 pour le Système des régimes de glace.

## 5.2 Le Système des régimes de glace modifié

Le Système des régimes de glace modifié prend alors la forme suivante :

Le **numéral glacial** (NG) repose sur la quantité de glace dangereuse par rapport à la classification du navire et est calculé de la façon suivante :

$$NG = [C_a \times MG_a] + [C_b \times MG_b] + \dots \quad [2]$$

où

$NG$  = Numéral glacial

$C_a$  = Concentration en dixièmes de glace de type « a »

$IM_a$  = **Multiplicateur glacial** pour la glace de type « a » et la catégorie de navire

Le terme du côté droit de l'équation ( $a, b, c, \dots$ ) est répété pour chaque type de glace présent, quel qu'en soit le nombre, y compris l'eau libre. Le tableau 4 comprend une liste révisée du tableau des multiplicateurs. Dans celui-ci, les changements par rapport au tableau des multiplicateurs glaciels actuel sont indiqués par les cases jaunes. Il y a deux changements importants par rapport au système existant :

1. Les multiplicateurs glaciels pour la glace de première année et la glace de plusieurs années sont majorés de 1 pour toutes les cotes de navire inférieures (types E, D et C)<sup>1</sup>.
2. Une allocation estivale remplace la modification pour la glace en décroissance. Cette allocation ajoute un entier (+1) aux multiplicateurs glaciels pour la glace de première année et les navires de type B ou supérieurs (indiqué par les cases en rouge). L'allocation est attribuée si :
  - 1) la résistance de la glace est faible<sup>2</sup>;
  - 2) le capitaine ou l'officier responsable de la navigation dans les glaces a au moins 4 ans d'expérience dans l'Arctique; et

<sup>1</sup> Pour tenir compte des événements avec dommages importants que subissent les navires des cotes inférieures dans la glace de plusieurs années (Timco et Kubat 2000).

<sup>2</sup> Timco et al. (2001) ont démontré que le critère de définition des glaces de faible résistance peut être basé sur la température moyenne quotidienne de l'air ambiant. Une analyse a montré que la résistance de la glace de première année est environ 10 % de sa résistance au cœur de l'hiver une fois que la température moyenne quotidienne de l'air ambiant se situe au-dessus de 0 °C depuis 1 mois. On est en train de développer un critère similaire pour l'automne (période de croissance pour la glace). On prévoit inclure ces dates sur les cartes de glace du SCG.

- 3) le navire est doté des instruments et du matériel nécessaires pour bien identifier les conditions glacielles. Il peut s'agir d'un radar maritime ou de la capacité à recevoir l'information directement du SCG par satellite.

**Tableau 4 : Tableau des multiplicateurs du Système des régimes de glace modifié**

Types de glace	Multiplicateur glacial pour chaque catégorie de navires						
	Type					CAC	
	E	D	C	B	A	4	3
Vieille glace, de plusieurs années	-5	-5	-5	-4	-4	-3	-1
Glace de deuxième année	-5	-5	-5	-4	-3	-2	-1
Glace de 1 <sup>re</sup> année épaisse	-3	-3	-3	-2	-1	1	2
Glace de 1 <sup>re</sup> année moyenne	-2	-2	-2	-1	1	2	2
Glace de 1 <sup>re</sup> année mince – 2 <sup>e</sup> stade	-1	-1	-1	1	2	2	2
Glace de 1 <sup>re</sup> année mince – 1 <sup>er</sup> stade	-1	-1	1	2	2	2	2
Glace blanche, grise	-1	1	1	2	2	2	2
Glace grise	1	2	2	2	2	2	2
Nilas, croûte de glace	2	2	2	2	2	2	2
Nouvelle glace	2	2	2	2	2	2	2
Glace pâteuse	2	2	2	2	2	2	2
Eau libre	2	2	2	2	2	2	2

Glace tourmentée : pour les floes dont les ondins arquent de plus de 3/10° et dont la concentration globale est supérieure à 6/10°, soustraire 1 du multiplicateur glacial.

Conditions estivales : pour les navires qui satisfont aux exigences pour la navigation estivale, additionner 1 au multiplicateur glacial pour la glace de première année (indiquée par les cases rouges).

## 6.0 RECOMMANDATIONS

Pour que la mise en application du Système des régimes de glace aille de l'avant, l'auteur recommande ce qui suit :

1. Que tous les intervenants – Transports Canada, propriétaires et exploitants de navires, la Garde côtière canadienne – parviennent initialement à un accord de principe sur le mérite du Système des régimes de glace et sur son incorporation dans la réglementation.
2. Que tous les intervenants aient la possibilité de participer à la prise de décision concernant la meilleure méthode pour définir le numéral glacial et la mise en application du système. La méthode choisie doit suffisamment rassurer le législateur que l'aspect sécurité a été considéré, tout en donnant aux exploitants la souplesse nécessaire pour faire fonctionner leur entreprise. Une fois que tous les intervenants auront faits leurs commentaires, Transports Canada, à titre de législateur, doit prendre la décision finale et adopter la meilleure méthode.
3. Que tous les intervenants jouent un rôle actif dans l'amélioration du Système des régimes de glace. Ce qui inclut de démontrer par de la rétroaction continue que le SRG fonctionne et de renseigner le législateur sur l'importance relative des paramètres clés ayant une incidence sur le numéral glacial.
4. Que Transports Canada mette au point une méthode améliorée pour éduquer la population sur le Système des régimes de glace. Cette méthode devrait viser à aider les gens (1) à comprendre le principe fondamental du Système des régimes de glace, (2) à identifier les régimes de glace, (3) à calculer le numéral glacial pour les différentes situations et (4) à utiliser les divers systèmes d'information sur la navigation dans les glaces pour appuyer le Système des régimes de glace.

Si Transports Canada met en application ces recommandations, le Système des régimes de glace pourrait devenir un outil extrêmement utile et précis pour réduire les risques de pollution attribuable au transport maritime dans l'Arctique.

## 7.0 REMERCIEMENT

Les auteurs voudraient remercier les personnes suivantes pour leurs commentaires utiles et leur participation : Glenda Cameron, capt. Doug Camsel, capt. John Cowan, Bob Frederking, Bob Gorman, David Jackson, Tim Keane, Andrew Kendrick, Tom Paterson, Victor Santos-Pedro, Peter Timonin, Georges Tousignant, Dugald Wells, Robert Wolfe, Brian Wright et Tom Zagon.

## 8.0 RÉFÉRENCES

CANADA, TRANSPORTS CANADA, *TP-12260 – Equivalent Standards for the Construction of the Arctic Class Ships*, Ottawa, Ont., 1995.

CANADA, TRANSPORTS CANADA, *TP 12259E – Arctic Ice Regime Shipping System (AIRSS) Standards*, SRGNA, Ottawa, Ont., juin 1996.

CANADA, TRANSPORTS CANADA. *TP 9981 – Proposals for the Revision of the Arctic Shipping Pollution Prevention Regulations*, RPPEA, Ottawa, Ont., 1989.

CANADA, GAZETTE DU CANADA, *Regulations Amending the Arctic Shipping Pollution Prevention Regulations*, p. 1729, Ottawa., 1996.

KUBAT, I. ET TIMCO, G.W. *Ground-Truthing of Ice Conditions Predicted by the Canadian Ice Service. Proceedings 16th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions*, POAC'01, p. 1071-1080, Ottawa, Canada. 2001.

TIMCO, G.W. ET FREDERKING, R.M.W. *A Methodology for Developing a Scientific Basis for the Ice Regime System*, Conseil national de recherches du Canada, rapport HYD-TR-009, TP-12789E, Ottawa, Canada. 1996.

TIMCO, G.W., FREDERKING, R.M.W. ET SANTOS-PEDRO, V.M., *A Methodology for Developing a Scientific Basis for the Ice Regime System*. Proceedings ISOPE'97, Vol II, p. 498-503, Honolulu, USA. 1997.

TIMCO, G.W. ET MORIN, I., *Canadian Ice Regime System Database*. Conseil national de recherches du Canada, rapport HYD-TR-024, TP 13003E, Ottawa, Canada. 1997.

TIMCO, G.W. ET MORIN, I., *Scientific Basis for Ice Regime System: March 1998 Update*. Conseil national de recherches du Canada, rapport HYD-CTR-047, Ottawa, Canada. 1998a.

TIMCO, G.W. ET MORIN, I., *Canadian Ice Regime System Database*. Proceedings ISOPE'98, Vol. II, p. 586-591, Montréal, Québec, Canada. 1998b.

TIMCO, G.W., SKABOVA, I. ET MORIN, I., *Scientific Basis for Ice Regime System: March 1999 Update*. Conseil national de recherches du Canada, rapport HYD-CTR-072, Ottawa, Canada. 1999.

TIMCO, G.W. ET KUBAT, I., *Scientific Basis for the Ice Regime System: March 2000 Update*. CHC/CNRC, rapport HYD-TR-048, TP 1357E, Ottawa, ON, Canada. 2000.

TIMCO, G.W. ET KUBAT, I., *Scientific Basis for the Ice Regime System: March 2001 Update*. CHC/CNRC, rapport HYD-TR-061, TP-13405, Ottawa, ON, Canada. 2001a.

TIMCO, G.W. ET KUBAT, I., *Canadian Ice Regime System: Improvements Using an Interaction Approach*. Compte rendu du 16<sup>e</sup> congrès international sur le génie portuaire et océanique en conditions arctiques, POAC'01, p. 769-778, Ottawa, Canada. 2001b.

CANADA, TRANSPORTS CANADA, *User Assistance Package for the implementation of the Canada's Arctic Ice regime Shipping System (AIRSS)*, rapport et vidéo, TP12819, Ottawa, Ont., 1998.