

Radar maritime de détection des glaces dangereuses

Barbara J. O'Connell
Garde côtière canadienne
Ottawa (Ontario, Canada)
Barb.OConnell@dfo-mpo.gc.ca

RÉSUMÉ

Les navires passant par les régions polaires bénéficieraient d'un radar de navigation dans les glaces marines qui pourrait les aider à distinguer entre les glaces pluriannuelles dangereuses et les glaces de première année épaisses. Les radars maritimes classiques sont conçus pour détecter des cibles et les éviter. Les radars maritimes améliorés offrent une image à plus grande définition de la glace dans laquelle le navire fait route et pourraient aider l'utilisateur à identifier certaines caractéristiques de la glace, mais ils ne peuvent distinguer entre la glace de première année et la glace plus ancienne. Ce document présente une des approches à l'identification des types de glace de mer par un radar maritime qui utilise la technologie de la polarisation croisée.

INTRODUCTION

L'afflux de glaces pluriannuelles qui proviennent de l'océan Arctique et qui entourent les archipels de l'Arctique canadien crée des dangers pour la navigation de tout navire qui se rend dans le Nord ou qui négocie le passage du Nord-Ouest. Il existe un risque élevé de dommages à la coque à la suite d'une collision avec la glace pluriannuelle et la glace de glacier, même pour des navires à coque renforcée pour la navigation dans les glaces. Dans l'Arctique, il fait jour pendant 24 heures au cours des mois d'été; toutefois, des périodes de brouillard, de neige et de visibilité réduite sont assez fréquentes, ce qui rend les radars utiles pour naviguer dans les champs de glace. Le risque de dommages aux navires causés par les glaces serait réduit si ces navires pouvaient détecter les glaces dangereuses assez tôt pour les éviter. La consommation de carburant est également plus élevée pour les navires qui affrontent de la glace dense; il est donc plus rentable d'éviter la glace pluriannuelle et la glace de première année. La figure 1 est une photographie d'un navire-pétrolier endommagé par la glace en faisant route vers Iqaluit (Nunavut, Canada), en juillet 2004. Le navire a nécessité des réparations dans le Sud, ce qui a donc retardé le programme de réapprovisionnement dans le Nord. Le naufrage du bateau de croisière « Explorer » dans l'Antarctique a souligné le besoin de radars offerts sur le marché qui pourraient aider à détecter et à éviter la glace dangereuse.

Le Programme de déglçage de la Garde côtière canadienne met au point un système de radar de détection des glaces dangereuses avec l'appui financier de Transports Canada (TC) et du Programme de recherche et de développement énergétique (PRDE), par l'entremise du Centre d'hydraulique canadien (CHC) du Conseil national de la recherches. Le radar maritime à haute vitesse et à polarisation double

produira des images à haute résolution de la glace et un contraste net entre la glace pluriannuelle dangereuse et les autres glaces de mer.



Figure 1. Dommages causés par la glace à un navire-pétrolier

Ce projet de plusieurs années est né d'une initiative en matière de technologie et d'innovation appliquées au changement climatique, à laquelle ont participé le CHC, TC, la Garde côtière canadienne et le Service canadien des glaces (Environnement Canada). Une étude de délimitation de l'étendue du projet menée auprès des commandants des navires commerciaux et des brise-glaces a permis de déterminer que les glaces pluriannuelles constituaient un domaine de recherche essentiel dans l'Arctique (Timco et al. 2005). En 2006, la GCC et TC ont commencé la première phase, soit la mise au point d'un radar maritime à haute vitesse qui tourne à 120 tr/min et qui produit des images à haute résolution capables de détecter de petits icebergs (bergy bits et bourguignons) par mer forte. Le radar a été évalué lors de trois essais spécialisés à bord du brise-glace NGCC *Henry Larsen*, afin de démontrer la capacité du radar dans divers environnements opérationnels et plusieurs conditions de glace (O'Connell 2008). Les essais dans l'Arctique et dans le sud du Canada ont été couronnés de succès, et le projet a été remarqué par d'autres commandants de brise-glaces de la GCC, le MDN, la garde côtière des États-Unis, le Royaume-Uni et plusieurs compagnies pétrolières et gazières américaines, lors de plusieurs forums nationaux et internationaux.

La seconde phase comprend la mise au point d'un radar à polarisation

croisée qui transmet des impulsions radar horizontalement et qui les reçoit verticalement. Une « caractéristique à double canal » permettra d'intégrer les données provenant de deux récepteurs distincts pour les afficher sur un seul écran. Le traitement en temps réel des données polarisées affichées dans un espace couleur rouge-vert-bleu (RVB) offrira un contraste net entre la glace pluriannuelle, la glace de première année et les autres types de glace et les eaux libres.

Le présent document va décrire la technologie actuelle et antérieure utilisée pour la classification des types de glace par des capteurs radar qui utilisent la polarisation croisée, ainsi que la façon dont la Garde côtière canadienne prévoit incorporer la technologie dans des radars de détection des glaces dangereuses.

DÉTECTION PAR HYPERFRÉQUENCES DES GLACES

La glace de mer nouvelle est très salée parce qu'elle contient des gouttelettes concentrées, appelées de la saumure, qui sont bloquées dans des poches entre des cristaux de glace. Quand la glace vieillit, la saumure s'échappe à travers la glace, et quand celle-ci devient une glace pluriannuelle, presque toute la saumure l'a quittée, laissant des cavités vides et des canaux de drainage. Les divers types de glaces de mer ont des propriétés physiques très différentes, allant d'une glace essentiellement constituée d'eau douce dans des bassins de fonte gelés de nouveau, à une glace nouvelle très salée et à une glace pluriannuelle ancienne extrêmement poreuse. La glace pluriannuelle est de la glace qui a survécu à la fonte de l'été et qui est beaucoup plus épaisse que la glace plus récente, habituellement d'une épaisseur comprise entre 2 et 4 mètres, avec des crêtes allant jusqu'à 20 mètres (Carsey 1992).

Les capteurs des satellites à hyperfréquences peuvent détecter les propriétés électromagnétiques différentes de la glace de première année et de la glace pluriannuelle. En général, la glace pluriannuelle épaisse est facile à distinguer de la glace plus récente et plus mince, parce que l'énergie du radar rebondit sur les bulles dans la glace qui reste quand la saumure s'est évacuée. Les radars à synthèse d'ouverture (SAR) sont des outils très utiles pour mesurer la glace de mer épaisse et mince (EoE 2010). Les données des SAR à canal unique, tels que RADARSAT-1, sont toutefois quelque peu limitées dans leur capacité à identifier les types de glace. Les SAR polarimétriques, tels que RADARSAT-2, fournissent des renseignements supplémentaires qui peuvent aplanir les difficultés dans l'interprétation et l'analyse de la glace (NRCan 2007).

RADARSAT-1 est un radar de satellite à polarisation horizontale, ce qui signifie que les ondes radar sont horizontales par rapport à la surface de la Terre. RADARSAT-2 est capable de transmettre et de recevoir des données en polarisation horizontale (H) et verticale (V). Les images acquises 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 équidensité colorée fausse.

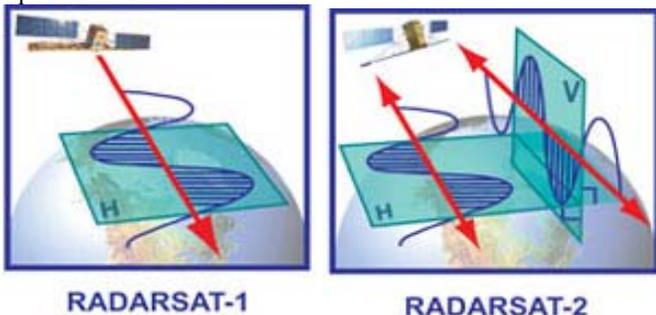


Figure 2. Modes de polarisation RADARSAT (MDA 2008)

Les images de RADARSAT-2 analysées par le Service canadien des glaces d'Environnement Canada démontrent clairement les avantages des images à polarisation croisée et à équidensité colorée. Les images suivantes ont été prises le 14 septembre 2008 dans le détroit de M'Clure. La figure 3 est en polarisation HH (émission et réception horizontales). Dans l'image, il est difficile de différencier la glace pluriannuelle des autres types de glaces.

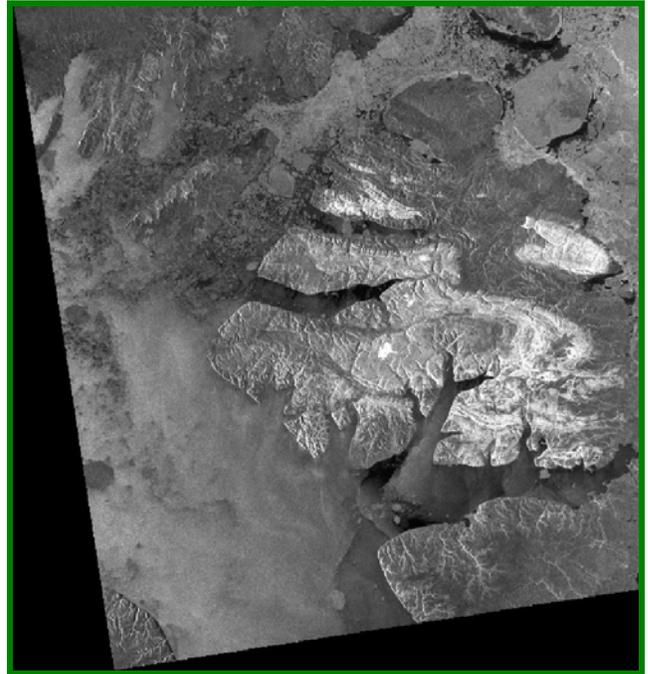


Figure 3. Image HH de RADARSAT-2 (MDA 2009)

Les modes de polarisation croisée combinent l'émission horizontale et la réception verticale (HV) ou vice-versa (VH). Dans l'image HV suivante (figure 4), la glace pluriannuelle se démarque nettement, mais les types de glaces plus minces ne sont pas aussi clairs.

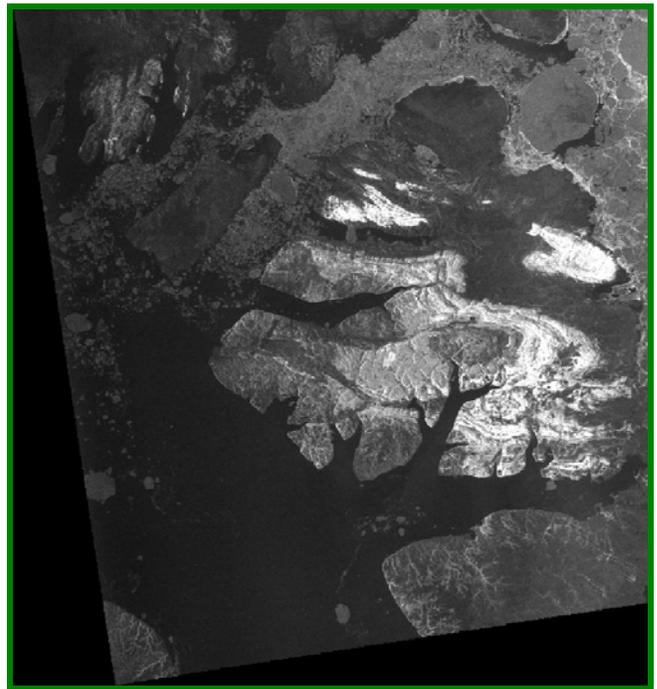


Figure 4. Image HV de RADARSAT-2 (MDA 2009)

Une combinaison d'images HH, HV et RVB221 aide à différencier tous les types de glace. La figure 5 est une image RVB221 avec une très bonne détection de la glace pluriannuelle, et une détection supérieure des bandes de glaces plus minces.

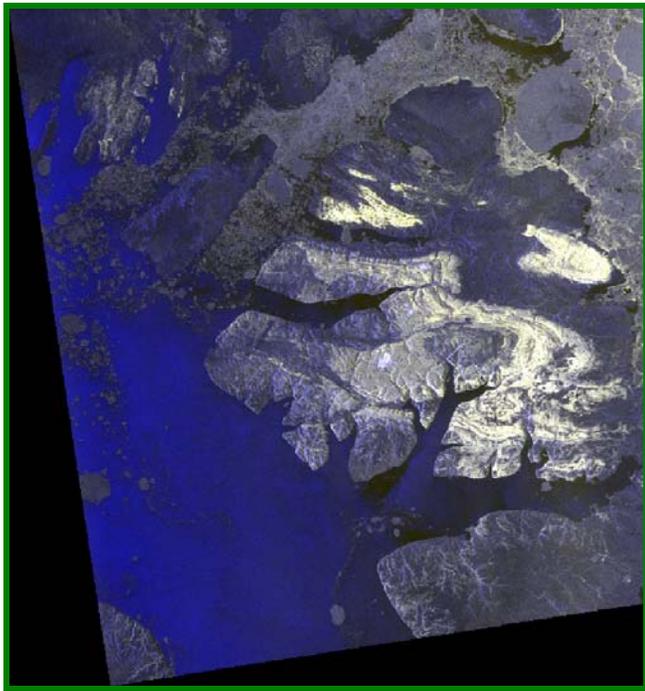


Figure 5. Image RVB221 de RADARSAT-2 (MDA 2009)

L'utilisation de données SAR à fréquences multiples et la possibilité d'utiliser une visualisation en couleur a amélioré l'interprétation visuelle de la glace, comme on peut le voir sur la figure 6. Dans cette image polarimétrique captée en trois fréquences (bandes C, L et P) par le SAR aéroporté (AIRSAR) de la NASA, la nouvelle glace mince qui se forme et la glace de première année lisse sont colorées en bleu. La glace à crête de première année et les glaces éparées sont illustrées en orange, vert et noir. La glace de première année comprimée est en rose. Les formes blanches et grises sont la glace pluriannuelle. (Scheuchl et al. 2002)

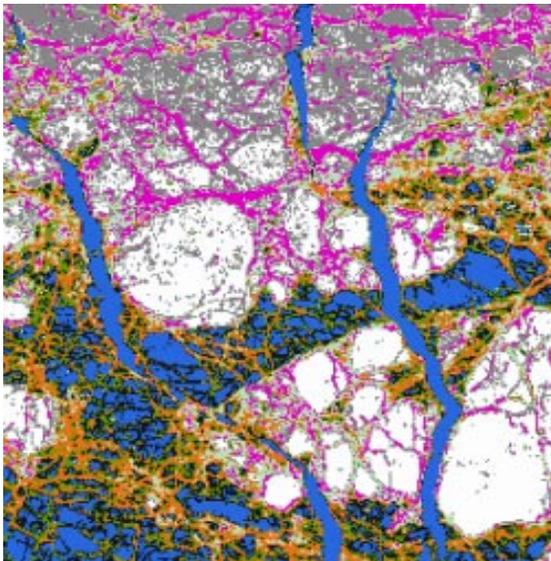


Figure 6. Image polarimétrique AIRSAR (NASA)

MISE AU POINT DES RADARS MARITIMES À POLARISATION CROISÉE

Les premières recherches ont démontré que la rétrodiffusion de radars à polarisation croisée était bien plus forte sur la glace pluriannuelle plus récente et la glace d'icebergs que sur la glace de première année saline et la glace grise-blanche. Les scientifiques ont commencé à étudier la faisabilité d'intégrer la polarisation dans un système de radar maritime. Un radar maritime pour l'Arctique a été mis au point et éprouvé à la fin des années 80; toutefois, des limites dans la technologie du traitement n'ont pas permis au système de profiter pleinement des deux signaux polarisés. Cette option était également onéreuse et elle n'était donc pas rentable pour les armateurs.

Dans les années 90, une étude de faisabilité a démontré qu'il était possible d'étalonner les deux signaux radar indépendants, HH et HV, ce qui permettrait un traitement en temps réel des signaux radar à polarisation croisée (Sicom 1998). On a fabriqué un prototype en utilisant un radar de pêche bon marché, modifié pour recevoir l'élément vertical du radar à polarisation croisée. Un contrôleur prototype asservi en azimut a synchronisé le radar pour qu'il tourne à la même vitesse et adopte la même position angulaire que le radar principal. Le système de radar a été installé sur le navire *MV Arctic* de Canarctic pour des essais dans l'Arctique en 2003-2004. Il a été démontré que le radar à polarisation croisée était capable de détecter et d'identifier la glace pluriannuelle et la glace de glacier. Des images de ces essais sont illustrées aux figures 7 et 8. L'opérateur devait passer alternativement des images HH aux images HV pour les comparer, étant donné que les deux canaux n'étaient pas complètement intégrés (TDC 2006).

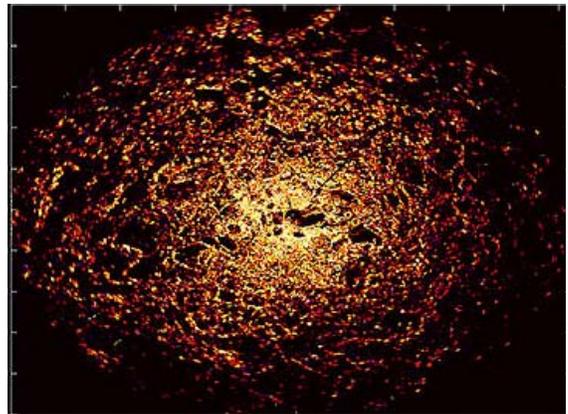


Figure 7. Radar maritime standard; aucune différence entre la glace de première année et la glace pluriannuelle

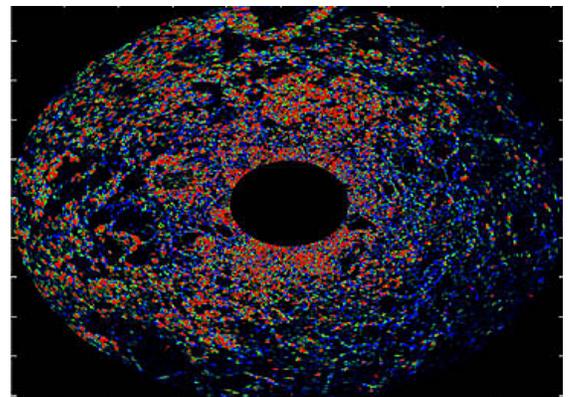


Figure 8. Image à traitement à polarisation croisée. Les zones en rouge indiquent la glace pluriannuelle dangereuse.

MISE AU POINT DE RADARS DE DÉTECTION DE GLACES DANGEREUSES

D'importantes améliorations aux radars maritimes et au traitement des signaux radar ont augmenté la capacité à fabriquer des radars à haute vitesse et à polarisation croisée pour une meilleure détection des glaces. Le radar principal à haute vitesse installé à bord du NGCC *Henry Larsen*, dans la première phase du projet de Radars de détection de glaces dangereuses, a démontré que c'était un outil intégral pour le personnel de navigation sur la passerelle, aidant à définir les formes des floes et les chenaux vers les eaux libres dans la glace. Dans la figure 9, on voit le brise-glace au centre, escortant un cargo dans les chenaux entre des floes de glace de première année.

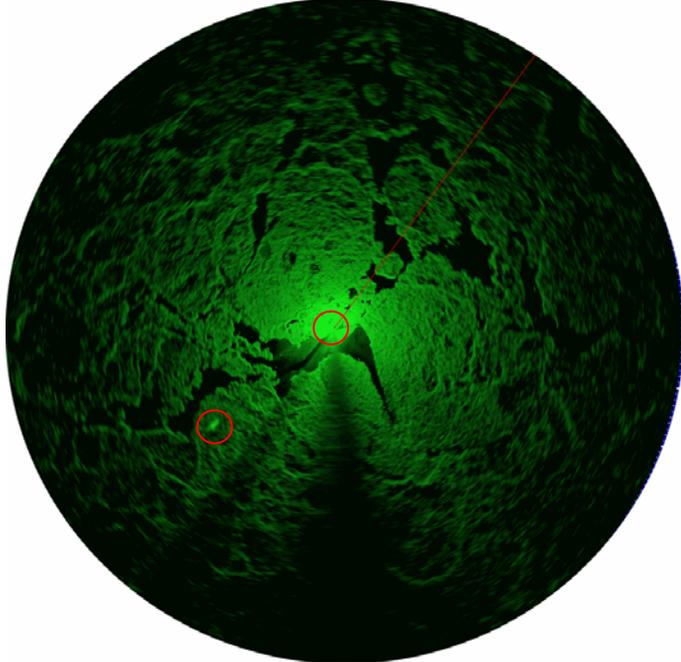


Figure 9. Image radar de glace de première année

Le système radar de détection des glaces dangereuses comprendra deux scanners de radar à haute vitesse lorsqu'il sera terminé. Le scanner principal à haute vitesse émet et reçoit en polarisation horizontale (HH). En mars 2009, on a commencé la mise au point d'un second radar commercial, de marque Bridgemaster à bande X, qui a également été modifié pour tourner à 120 tr/min. Le scanner a été remplacé par une antenne polarisée verticalement et réglée pour réception seulement (HV). La rotation, la fréquence et la minuterie de la rotation du radar asservi ont été synchronisées sur le radar d'émission. La figure 10 (ci-dessous) est un schéma du système radar.

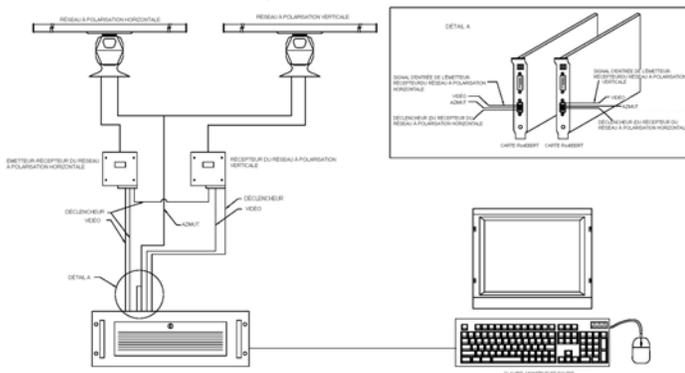


Figure 10. Schéma du radar

Les scanners ont été éprouvés par temps froids, vents forts et vibrations intenses, afin de s'assurer qu'ils seraient assez robustes pour fonctionner en continu à bord des brise-glaces dans les conditions extrêmes de l'Arctique. Voici un rendu d'artiste des deux antennes sur le mât du NGCC *Henry Larsen* (figure 11).

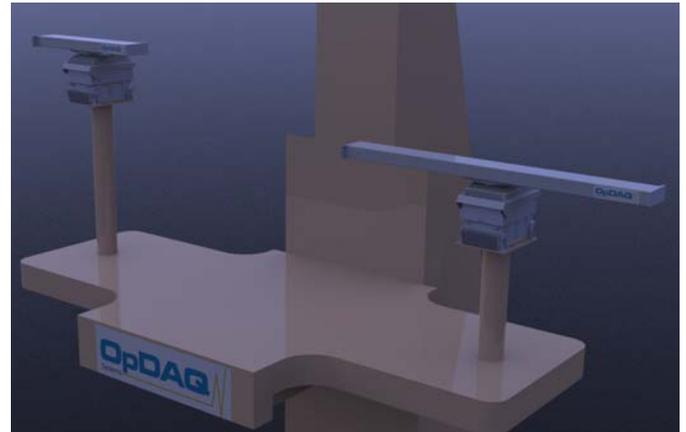


Figure 11. Représentation graphique des deux scanners à bord du brise-glace

La prochaine étape du projet consistera à intégrer les signaux HH et HV des récepteurs et à développer des algorithmes pour afficher les images sur un seul écran. L'utilisateur pourra passer de l'image HH type à l'image HV, ou à l'image HH/HV fusionnée. Il s'agit de produire des images radar HH/HV en couleur au lieu des images habituelles en échelle de gris, avec la glace pluriannuelle d'une couleur différente de celle de la glace de première année. Comme nous l'avons déjà mentionné, le radar à polarisation croisée détecte les propriétés physiques de la glace de mer (salinité, microstructure et rugosité de la surface) qui varient selon la concentration, le type, l'âge et l'épaisseur de la glace. Des angles d'incidence obtus sont plus efficaces pour faire ressortir la topographie, ce qui permet de démarquer la limite entre la glace et l'eau et de détecter les icebergs.

Le scanner à polarisation verticale et ses mises à niveau seront installés à bord du NGCC *Henry Larsen*. Des essais du système seront effectués au large de la côte du Labrador pendant l'hiver, et dans l'Arctique pendant l'été 2011, afin de valider la capacité du radar à différencier la glace pluriannuelle de la glace de première année. Une quantité et une diversité suffisantes de données seront recueillies afin d'analyser et d'évaluer objectivement et systématiquement le radar de détection de glaces dangereuses. L'imagerie polarimétrique RADARSAT-2, des photographies et des vidéos de la glace seront compilées. Des spécialistes du Service des glaces vérifieront les types de glace sur place et, si possible, le MPO fournira un soutien supplémentaire avec l'utilisation du capteur d'épaisseur de glace à induction électromagnétique à montage fixe dans un hélicoptère (EISFlow), mis au point par Geosensors Inc. de Toronto.

À la fin des essais dans l'Arctique, un rapport final sera rédigé pour conclure le projet, inclure des recommandations des utilisateurs finals sur le système et une description complète des données des essais et des documents compilés pendant les essais. Le rapport final sera déposé avec tous les documents supplémentaires, tels que les données radar, les images par satellite, les photographies et les vidéos, ainsi que tout autre document pertinent au projet et aux travaux subséquents.

Le projet a des capacités d'interopérabilité avec les technologies existantes et innovatrices futures. L'image radar à haute définition peut être superposée sur des systèmes de navigation électronique maritime,

par exemple le système de cartographie Aldebaran II d'ICAN, à bord du NGCC *Henry Larsen*, améliorant l'utilité de l'imagerie radar.

Deux entreprises ont exprimé un intérêt à produire des versions commerciales des produits; le système devrait donc être disponible pour l'industrie maritime à l'achèvement du projet.

CONCLUSION

La détection fiable des glaces dangereuses au moyen des radars classiques est impossible. Les technologies avancées de radar ont démontré qu'elles sont cruciales pour une navigation sûre et efficace dans l'Arctique, aidant à réduire les temps de parcours et l'exposition aux glaces dangereuses. La mise au point et l'utilisation de radars à polarisation croisée entraînerait d'importantes améliorations dans la détection de glace pluriannuelle dans un environnement de glace de première année, réduisant ainsi les risques de collision.

REMERCIEMENTS

À M. Charles Gautier, de l'Agence spatiale canadienne, et à M. Robert Gorman, d'Enfotec Technical Services, pour l'important soutien technique qui a aidé à concrétiser ce projet.

Au CCTII, à la Sécurité maritime dans l'Arctique de Transports Canada, au Programme de recherche et de développement énergétiques (PRDE) et à la Garde côtière canadienne pour avoir fourni un financement essentiel pour ce projet.

Des remerciements s'adressent particulièrement aux capitaines, aux officiers et à l'équipage du NGCC *Henry Larsen* qui ont accordé leur appui entier au projet et aux essais. L'appui des Services techniques de la GCC à St. John's a été primordial pour la réussite du projet.



Figure 12. Le NGCC *Henry Larsen* dans le détroit de Nares, aux essais du prototype

RÉFÉRENCES

Carsey, Frank D., Éditeur, *Microwave Remote Sensing of Sea Ice*, American Geophysical Union, Washington, DC, É-U, 1992

Encyclopédie de la mer, télédétection de la glace de mer, http://www.eoearth.org/article/Remote_sensing_of_sea_ice, 16 avril 2010

Tutoriel : Polarimétrie des radars, Applications à la glace de mer, Ressources naturelles Canada, Centre canadien de télédétection. http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/polarim/apps2/01_e.php, 2008

O'Connell, B., *Marine Radar for Improved Ice Detection*, Délibérations de la 8^e Conférence internationale sur les navires et les structures marines dans les glaces (ICETECH 2008), Society of Naval Architects and Marine Engineers – Section de l'Arctique, Banff, Alberta, Canada.

Polarimétrie, *About Radarsat-2*, MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd, <http://www.radarsat2.info/about/polar/index.asp>

Scheuchl, B, Flett D., Caves, R., Cumming, I., *Potential of RADARSAT-2 data for operational sea ice monitoring*, *Journal canadien de télédétection*, volume 30, n° 3, pp. 448–461, 2004

Scheuchl B., Hajnsek I., Cumming I.G., *Sea Ice Classification Using Multi-Frequency Polarimetric SAR Data*, dans les délibérations du Symposium international sur la géoscience et la télédétection, IGARSS'02, Toronto, du 24 au 28 juin 2002

Sicom Systems Ltd., *Cross-polarized radar system*, TP 13263E, Fonthill, Ontario, Canada. 1998

Timco, G.W., Gorman, B., Falkingham, J. et O'Connell B., *2005 Scoping Study: Ice Information Requirements for Marine Transportation of Natural Gas from the High Arctic*, Rapport du CHC-CNRC CHC-TR-029, 2005, Ottawa (Ontario, Canada)

Centre de développement des transports (CDT), Gautier, C., *Cross-Polarized Radar System*, <http://www.tc.gc.ca/innovation/tdc/projects/marine/b/9078.htm>, 2006