



Défense
nationale

National
Defence

Revue du Génie maritime

La Tribune du Génie maritime au Canada



Depuis 1982

Automne 2018

Chronique spéciale : Sous le microscope

Recherches pour la défense canadienne sur les effets des revêtements sur l'intégrité du bronze au nickel-aluminium (BNA)



Canada

MÈRE CANADA SE SOUVENIR DU SACRIFICE DES CANADIENS, 1914-1918

Des Canadiens de tous les horizons
ont répondu à l'appel pendant la
Première Guerre mondiale

Il y a un siècle, à 11 h le 11 novembre 1918, s'est achevée la guerre qui, croyait-on, devait mettre fin à toutes les guerres.

Après la fin des hostilités est venu le temps de faire le bilan des pertes : la Première Guerre mondiale avait fait plus de 40 millions de victimes, dont environ 20 millions de morts. Presque la moitié des morts étaient des militaires, et les autres étaient des civils qui se trouvaient au mauvais endroit au mauvais moment dans le cours de l'histoire.

Environ 620 000 Canadiens se sont enrôlés dans le Corps expéditionnaire canadien (CEC) pendant la guerre. De ce nombre, près de 60 000 sont morts au combat. La jeune Marine royale canadienne (MRC) – créée seulement quatre ans avant le début de la guerre – a rapporté 150 morts toutes causes confondues. Il n'existe pas de données précises sur les Canadiens qui se sont enrôlés dans la Marine royale ou dans l'Armée britannique. Quelque 1400 Canadiens sont morts alors qu'ils étaient affectés aux services aériens britanniques.

Des 172 000 Canadiens blessés au cours de la « Grande Guerre », beaucoup sont revenus avec le corps et l'âme brisés. Dans la petite colonie britannique de Terre-Neuve, le bilan s'élevait à environ 1300 morts et à plusieurs milliers de blessés. Bien sûr, des millions de Canadiens ont joué leur rôle en restant derrière pour s'occuper du foyer.

— Tom Douglas



*Image reproduite avec l'aimable permission de :
Capitaine de corvette Norman Wilkinson, O.B.E.,
La réponse du Canada, MCG 19710261-0791, Collection
d'art militaire Beaverbrook, Musée canadien de la guerre.*



**Directeur général
Gestion du programme
d'équipement maritime**

Commodore
Christopher Earl, CD

Rédacteur en chef
Capv Mark Sheppard
Chef d'état-major du GPEM

MDR conseiller éditorial
PM 1 Gerald Dautre
Chef d'unité de la DGGPEM

Gestionnaire du projet
Lt(N) Shane Kavanagh

**Directeur de la production
et renseignements**
Brian McCullough
**brightstar.communications@
sympatico.ca**
Tél. (613) 831-4932

Corédacteur
Tom Douglas

**Conception graphique
et production**
d2k Graphisme & Web
www.d2k.ca
Tél. (819) 771-5710

Revue du Génie maritime



(Établie 1982)
Automne 2018

Editorial

Chronique du Commodore – « C'est un marathon, pas un sprint »
par le Commodore Christopher Earl, CD..... 2

Tribune

Le camp de base Innovation de Communitech
par l'Ens 1 Abbigail Cowbrough..... 3

Chronique spéciale

**Recherches pour la défense canadienne sur les effets des revêtements sur
l'intégrité du bronze au nickel-aluminium (BNA):**

Première partie : Les effets des revêtements sur le BNA..... 5
Deuxième partie : Atténuation de l'encrassement biologique des hélices au
moyen d'un revêtement antialissure temporaire 8

par Trisha Huber, Brad Noren, Vincent Drover et Heather Smiley

Chroniques

Le Système mondial de communications par satellite à large bande et son
intégration dans la Marine royale canadienne
par le Ltv Kevin Hunt..... 13

Critique de livre : Jackspeak of the Royal Canadian Navy: A Glossary of Naval Terminology...18

Améliorer la cybersécurité des systèmes de combat ACQUIS*
Par le Capitaine de frégate Jay Thor Turner 19

Bulletins d'information

Médaille du service méritoire (États-Unis) – le capc Brennan Blanchfield – DGRGP (Mer)23

Cloche commémorative de la Newfoundland Escort Force23

Nouvelles de l'AHTMC

Avec un peu d'aide...
par Tony Thatcher 24

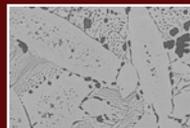


Image au microscope électronique à balayage d'un alliage de bronze au
nickel-aluminium. La chronique spéciale commence à la page 5.

(Photo reproduite avec l'aimable autorisation de Recherche et
développement pour la défense Canada (RDDC) – Atlantique.)

Tous les numéros de la *Revue*
sont disponibles en ligne sur
le site Internet de l'Association
de l'histoire technique de
la Marine canadienne –
www.cntha.ca

La *Revue du Génie maritime* (ISSN 0713-0058) est une publication officielle des Forces
canadiennes, publiée par le Directeur général – Gestion du programme d'équipement maritime.
Les opinions exprimées sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement les politiques
officielles. Le courrier et les demandes d'abonnement gratuit peuvent être adressés au **Rédacteur
en chef, La Revue du Génie maritime, DGGPEM, QGDN, 101, prom. Colonel By, Ottawa
(Ontario) Canada, K1A 0K2.** À moins d'avis contraire, les articles de cette revue
peuvent être reproduits à condition d'en mentionner la source. Un exemplaire de l'article
reproduit serait apprécié.

CHRONIQUE DU COMMODORE

« C'est un marathon, pas un sprint »

Par le Commodore Christopher Earl, CD

Au cours de ma carrière, il m'est arrivé de vivre divers événements qui, à l'origine, ne semblaient pas tellement importants. Puis, à un certain moment, des années plus tard dans certains cas, ces événements se sont transformés en faits marquants qui ont contribué à former l'essence même de ce que je suis. Nous avons tous vécu des expériences qui nous définissent en tant que personnes, des moments vécus durant nos années de service à la nation qui permettent à chacun de nous d'apporter une certaine sagesse et certaines connaissances au travail quotidien de la Marine royale canadienne.

Même si ces événements revêtent parfois une importance différente pour chacun, la Branche technique navale a vraiment la chance d'avoir une cohorte de plusieurs milliers d'hommes et de femmes qui œuvrent à résoudre des problèmes, à trouver des solutions novatrices et à faire avancer des projets d'acquisition et de maintien en puissance afin que la Marine demeure « prête à aider, prête à diriger, prête à combattre ». Si l'on considère que notre premier navire de patrouille extracôtier et de l'Arctique, le *Harry DeWolf*, a été lancé en septembre et qu'il entrera en service l'an prochain, que la première coupe d'acier pour les nouveaux navires de soutien interarmées a eu lieu en juin, que le MV *Asterix* est entré en service et apporte un soutien important aux unités navales canadiennes déployées, et que la décision sur la conception du navire de combat de surface canadien a été prise, l'avenir semble prometteur.

Et comme si ce n'était pas suffisant, notre branche continue de soutenir et de moderniser de nombreux systèmes de marine sur les frégates de la classe *Halifax*, alors même que nous entreprenons un ambitieux et important projet de modernisation des navires de la classe *Victoria*, et que nous continuons de soutenir les navires de défense côtière vieillissants. Jour après jour, nous veillons à ce que tous les éléments essentiels au fonctionnement de notre marine (c.-à-d. les petites embarcations, les auxiliaires, les armes, les radars, séparateurs huile-eau et autres) soient sûrs, fiables et facilement disponibles. Quand on regarde l'ensemble de la situation et que l'on songe à l'ampleur de la tâche, c'est tout à fait remarquable; le professionnalisme et l'engagement de notre branche à mener ses projets à bien sont absolument remarquables. Quel que soit le rôle que vous jouez, les efforts que vous déployez pour assurer le succès global de nos initiatives sont essentiels. Je vous remercie pour tout le travail que vous accomplissez jour après jour.



M. Patrick Finn, sous-ministre adjoint (Matériels), a présidé la cérémonie de changement de désignation le 1^{er} juin 2018 alors que le commodore Simon Page (à gauche) a cédé le poste de DGGPEM au nouveau commodore Christopher Earl (à droite).

L'ampleur de notre tâche peut parfois être accablante, et si je me fie à mon expérience personnelle, je sais pertinemment bien qu'à l'occasion, on dirait que la tâche semble toujours augmenter plutôt que de diminuer. Il semble toujours y avoir plus de travail à faire, et si notre gestion de notre charge de travail est déficiente, notre perfectionnement professionnel et notre vie personnelle pourraient en souffrir, et ce, au détriment de la disponibilité opérationnelle de la flotte... ce qui me ramène aux événements marquants que j'évoquais.

En effet, il y a une dizaine d'années, le Cam (ret) Richard Greenwood, un commodore qui agissait à l'époque en tant que DGGPEM, m'a dit quelque chose qui semble tellement pertinent aujourd'hui. Il m'a rappelé que le succès de notre branche se mesurait à sa capacité de toujours faire avancer ses dossiers, et de ne jamais oublier qu'une fois un dossier clos, un autre prendra immédiatement sa place. Selon lui, la clé du travail technique de la marine consiste à maintenir le rythme, et comme ce sont des personnes qui, au bout du compte, doivent maintenir le rythme, il faut bien garder à l'esprit qu'il s'agit « d'un marathon, et pas d'un sprint ».

Ces sages paroles du Cam Greenwood sont restées gravées dans mon esprit jusqu'à ce jour, et aujourd'hui, à mon tour, je demande à chacun de vous la chose toute simple suivante : prenez soin de vous et de votre famille, aimez votre travail et continuez de fournir le même soutien exceptionnel que vous fournissez à notre marine actuellement pour les années à venir.



Photo du Mat 3 A. Proulx, Unité de soutien des Forces canadiennes (Ottawa), Services d'imagerie

TRIBUNE

Le camp de base Innovation de Communitech

Par l'Ens 1 Abbigail Cowbrough

Du 9 au 13 juillet, dix-sept membres de la Marine royale canadienne, dont des officiers de marine-service technique (OMST), de l'enseigne de vaisseau de 2^e classe au commandant, ainsi que des militaires du rang occupant des emplois de techniciens de marine, de techniciens en génie des armes, de matelots de 1^{re} classe et de premiers maîtres de 2^e classe, ont participé au camp de base Innovation de Communitech à Kitchener-Waterloo, en Ontario, sur l'invitation du Centre de guerre aérospatiale des Forces Canadiennes. Communitech est un organisme qui aide les entreprises à apprendre des méthodes, à mettre au point des outils et à adopter une mentalité qui leur permettront de cerner de nouvelles possibilités d'innovation.

Le camp de base de Communitech est né d'un sondage sur le profil du moral de l'unité mené pour les emplois d'officiers de marine-service technique (OMST) à la fin de 2017, qui a permis de cerner un certain nombre de problèmes ayant une incidence sur la satisfaction professionnelle des OMST. Parmi ces problèmes, il y avait une préoccupation exprimée par les chefs de service (CDS) en mer au sujet de la lourde charge de travail, qui a des ramifications non seulement pour les CDS, mais pour l'ensemble du service d'ingénierie en mer. Le Conseil du génie maritime a été informé de ces résultats en mai 2018 et a demandé que les préoccupations relatives à la charge de travail des CDS soient examinées plus en détail. Le camp de base de Communitech a ensuite été défini comme un moyen novateur de réaliser cette tâche.

Pendant les trois premiers jours du camp, les participants ont cherché à savoir pourquoi les CDS sont surmenés, et une fois qu'ils ont cerné les causes fondamentales, ils ont téléphoné à 15 CDS, en poste et à la retraite, de partout au Canada. Les CDS ont confirmé ou infirmé les causes fondamentales cernées, et ils ont exprimé beaucoup d'enthousiasme au sujet du travail effectué.

Le processus de compréhension des causes fondamentales a nécessité des centaines de notes adhésives et d'idées, bonnes et mauvaises. L'équipe s'est concentrée sur les trois principaux problèmes qui touchent les CDS : Le premier problème est le manque de conciliation travail-vie personnelle qui découle d'un déficit du système de formation et d'attentes irréalistes en matière d'emploi. Le deuxième problème est le manque de temps pour satisfaire aux nécessaires exigences en matière de formation. Le troisième



et dernier problème repose sur une diminution du niveau de préparation technique de certaines plateformes, qui s'explique par une pénurie de personnel expérimenté, un manque de pièces de remplacement, ainsi qu'une maîtrise insuffisante du Système d'information de la gestion des ressources de la Défense (SIGRD).

Les deux coordonnateurs de Communitech ont utilisé de multiples stratégies pour guider l'équipe vers ces trois causes fondamentales. Celle-ci s'est d'abord penchée sur des idées générales qui ont été précisées avant la fin du camp de base. Elle a créé une longue ligne du temps qui représente la carrière d'un OMST, de sa position d'aspirant de phase VI à celle de CDS, en écrivant chaque tâche qu'un CDS doit effectuer pour se préparer à devenir un CDS et une fois qu'il en est devenu un. En général, les CDS consacrent une grande partie de leur temps à la formation et au mentorat de leur sous-chef de service et de leurs stagiaires de la phase VI. Un CDS a indiqué qu'il a participé à 35 comités de qualification en 2 ans. Un seul comité, ou comité de pratique en vue du comité de qualification final, peut durer jusqu'à quatre heures. La plus grande partie de leur charge de travail se résume à donner de la formation et à accomplir des tâches qui ne peuvent être déléguées. Par conséquent, les CDS travaillent



Un groupe d'officiers de la Marine royale canadienne et de militaires du rang participe à un exercice visant à cerner les causes fondamentales du surmenage des chefs de service en mer.



La Mat 1 Cheryl Gouthro et l'équipe présentent un compte rendu du travail effectué au Capv Sheppard.

en moyenne de 16 à 18 heures par jour lorsqu'ils sont en mer, et de 10 à 12 heures par jour lorsque le navire est à quai. Les CDS qui ont affirmé ne pas se sentir dépassés ont dit qu'ils disposaient « d'un excellent soutien divisionnaire » et « de militaires du rang et de sous-chefs de service capables de s'acquitter de leurs tâches ».

Au quatrième jour du camp de base, trois solutions ont été avancées. La première solution consiste à faire en sorte que les gens terminent leur formation de la phase VI et de sous-chef de service avant de monter à bord d'un navire afin que le temps qu'ils passent en mer soit mieux utilisé à renforcer leurs compétences et à acquérir de l'expérience de travail concrète. Si l'on réduisait la charge de formation des CDS, ceux-ci seraient moins stressés et pourraient déléguer plus de tâches. La deuxième solution consiste à mettre sur pied une équipe à terre pour aider les services à gérer leur charge de travail. La troisième solution est de mettre sur pied un programme de mentorat des CDS qui leur permettraient d'échanger avec des membres plus expérimentés qu'eux. Chaque solution a été présentée à un CDS différent qui a donné son avis sur sa viabilité dans la flotte.

Voici deux des leçons les plus importantes apprises : « c'est en échouant que l'on apprend » et « c'est en échangeant des propositions que l'on trouve des solutions ». L'échec permet d'écarter des idées et des solutions qui n'ont pas d'influence positive sur le problème. Ce processus permet d'aller de l'avant et de consacrer du temps et des ressources à de véritables solutions. Une façon de valider une idée est de présenter au client (les CDS) un prototype de solution. Cela permet au client de donner son avis et d'étudier l'incidence de la solution proposée. Pour concevoir un prototype, il suffit de créer une solution simple de haut niveau et de trouver un moyen de la mettre en œuvre. Un prototype peut mener ou non à une solution concrète, mais il vaut mieux avoir une idée de sa mise en œuvre dès le début du processus que d'obtenir un produit fini qui ne règle pas le problème. Il était beaucoup plus avantageux pour le groupe de créer une solution, de la présenter aux CDS et de recevoir leur rétroaction au cours de la même semaine que d'attendre pendant des mois avant de recevoir leurs commentaires.

Le dernier jour, le chef d'état-major de la GPEM, le Capv Mark Sheppard, est parti d'Ottawa pour rendre visite à l'équipe et a été informé du travail effectué à Communitech. Ayant lui-même récemment participé à un atelier sur l'innovation, il connaît bien les techniques enseignées par Communitech et il s'est montré très ouvert à celles-ci.

Communitech a été une expérience formidable et a offert un espace accueillant et ouvert aux employés de tous les rangs des forces navales. Le fait d'avoir rassemblé des officiers et des militaires subalternes et supérieurs a permis de soulever un grand nombre d'idées et de réflexions qui n'auraient pas été explorées autrement. Cette semaine complète d'apprentissage pour les employés de tous les rangs a permis de faciliter deux améliorations immédiates. La première était une décision mise en œuvre sur les deux côtes afin de permettre à des officiers qualifiés de CDS à terre d'aider leurs collègues en mer en approuvant les exigences des FRT pour les stagiaires. La deuxième était une entente visant à réduire les exigences en matière de rapports pour les CDS embarqués en éliminant l'exigence du bulletin technique quotidien – l'orientation officielle de cette décision sera promulguée sous peu.

Un deuxième atelier a eu lieu récemment à Communitech afin de préciser les options qui avaient été recensées lors du premier atelier. Les résultats de ces travaux seront présentés cet automne au Conseil du génie maritime, qui s'est engagé à faciliter la résolution des problèmes soulevés relativement à la charge de travail des CDS.

Le travail en mer d'un chef de service technique a toujours été exigeant et le sera toujours. Grâce au travail effectué à Communitech, on comprend mieux où les exigences sont trop élevées et ce que l'on peut faire pour réduire ces exigences tout en continuant d'appuyer les missions avec des services d'ingénierie de guerre navale de renommée mondiale. La branche technique de la marine est entièrement déterminée à mieux comprendre le problème de la charge de travail des CDS et elle n'hésitera pas à prendre des mesures décisives pour faire en sorte que cette expérience soit un point marquant et valorisant dans la carrière de tous.



L'Ens 1 Abbigail Cowbrough (à l'avant centre de la photo de groupe) est une ingénieure en mécanique navale diplômée du Collège militaire royal du Canada. Elle travaille pour l'autorité technique de la flotte à l'installation de maintenance de la flotte Cape Scott d'Halifax en attendant le début de sa formation pratique. Elle promeut actuellement des initiatives pour le maintien en poste et la crédibilité des OMST. Elle fait partie des membres qui ont assisté au laboratoire d'innovation de Communitech.

CHRONIQUE SPÉCIALE

Recherches pour la défense canadienne sur les effets des revêtements sur l'intégrité du bronze au nickel-aluminium (BNA)

Introduction éditoriale : Grâce à ses excellentes propriétés de résistance à la corrosion, le bronze au nickel-aluminium est utilisé dans plusieurs applications marines, notamment les hélices de navires. Toutefois, selon que la protection cathodique fonctionne ou non, le BNA réagit de façon intéressante lorsqu'il est revêtu d'une couche d'époxy ou d'un agent antisalissure pour réduire l'encrassement biologique.

Même si ses recherches sur ces effets ont été interrompues par la fermeture en mars dernier du Laboratoire du chantier naval du Pacifique (LCNP) — une installation auxiliaire de Recherche et développement pour la défense Canada (RDDC) Atlantique située à Esquimalt — la scientifique de la Défense **Trisha Huber** a pu tirer certaines conclusions qui devraient beaucoup intéresser les ingénieurs navals et les scientifiques des matériaux de partout. La *Revue du génie maritime* est très heureuse de pouvoir présenter ce résumé des conclusions de Trisha Huber.

Première partie : Les effets des revêtements sur le BNA¹

Par Trisha Huber, Brad Noren, Vincent Drover et Heather Smiley

Le bronze au nickel-aluminium (BNA) présente une excellente résistance à la corrosion et est utilisé pour de nombreux composants marins, y compris les hélices. Lorsque le BNA bénéficie d'une protection cathodique, l'encrassement biologique du BNA peut être important (figure 1)², mais le revêtement du BNA peut aider à minimiser ce problème. Des études récentes sur les effets des revêtements sur le BNA ont été réalisées au Laboratoire du chantier naval du Pacifique, à la BFC Esquimalt. En l'absence d'une protection cathodique, on sait que le BNA subit une corrosion fissurante³. Bien que les hélices soient habituellement munies d'une protection cathodique, il peut y avoir des cas de protection cathodique inadéquate (c.-à-d. système de protection cathodique éteint ou entrée d'eau sous un revêtement⁴). Les études résumées ici porteront sur la progression de la corrosion fissurante sous un revêtement en l'absence d'une protection cathodique.

Des échantillons de BNA ont été revêtus d'une couche d'époxy marin (apprêt du système de revêtement permanent) ou d'une couche antisalissure ablatif à base de cuivre



Figure 1. L'hélice obstruée d'un navire qui est resté amarré pendant 18 mois à Victoria, en Colombie-Britannique. L'important l'encrassement biologique a dû être enlevé par voie mécanique, ce qui a augmenté le risque de dommages à l'hélice.

(revêtement temporaire) — figure 2 — puis immergés pendant 18 mois dans de l'eau de mer. Des coupes transver-

1. Ces travaux ont été présentés initialement dans un rapport scientifique de RDDC (DRDC-RDDC-2018-R154) en août 2018.
2. Lorsque le BNA bénéficie d'une protection cathodique, la résistance naturelle à l'encrassement biologique est supprimée; il faut donc parfois revêtir le BNA pour minimiser ce problème.
3. La corrosion fissurante peut se produire dans une zone où le substrat est revêtu d'un autre matériau (créateur de fissures) et une mince couche de liquide se trouve entre le substrat et le matériau. Le créateur de fissures peut être un enduit, un encrassement biologique ou un autre matériel, y compris des dépôts calcaires, qui sont créés par les précipitations de carbonate de calcium et d'hydroxyde de magnésium dans l'eau de mer dans des conditions alcalines; les conditions alcalines sont créées par la production d'hydroxyde découlant de la protection cathodique.
4. La modélisation succincte effectuée par le Groupe des sciences et de la technologie de la défense (GTSN), en Australie, indique que le potentiel de protection diminue sous un revêtement décollé, ce qui fait en sorte qu'il y a des zones où la protection cathodique n'est pas suffisante.

Crédit photo : S. McLaughlin, RDDC – Centre de recherche de l'Atlantique.



Figure 2. L'avant et l'arrière des échantillons revêtus d'une couche d'époxy (à gauche) et d'une couche antisalissure (à droite) après qu'un défaut intentionnel a été entaillé de chaque côté, et avant qu'ils soient immergés.

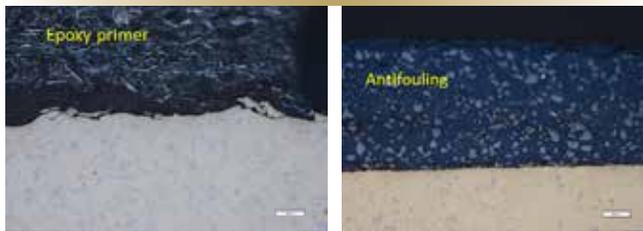


Figure 3. Il convient de noter la surface rugueuse de l'échantillon revêtu d'une couche d'époxy (à gauche) résultant du grenailage, contrairement à la surface lisse de l'échantillon revêtu d'une couche antisalissure (à droite). Les barres d'échelle sont de 50 µm.

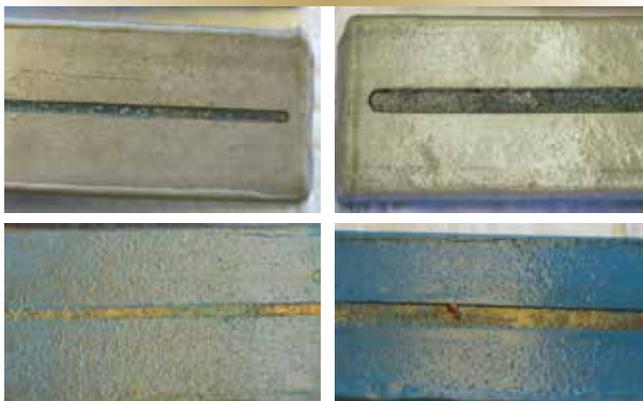


Figure 4. Les échantillons revêtus d'une couche d'époxy (en haut, de gauche à droite) et d'une couche antisalissure (en bas) présentent des signes de ternissement ainsi que des produits de corrosion à base de cuivre bleu vert et de fer brun rouge.

sales des échantillons ont été effectuées et examinées périodiquement (trois, six, douze et dix-huit mois) pour déceler l'apparition de corrosion fissurante.

L'examen des coupes transversales des échantillons revêtus d'une couche d'époxy marin a révélé des dommages attribuables à la préparation de surface du BNA, alors que les échantillons revêtus d'une couche antisalissure qui ont subi une préparation de surface n'étaient pas endommagés et étaient encore très lisses (figure 3).

Après avoir été immergés pendant trois mois, on a observé l'apparition de produits de corrosion à base de cuivre bleu vert et de fer brun rouge (figure 4). Après avoir été immergés pendant 18 mois, les échantillons revêtus d'une couche d'époxy présentaient des cloques importantes, ce qui indique une entrée d'eau (figure 5).

On a observé une différence majeure au chapitre de la corrosion sous le revêtement entre les échantillons revêtus d'une couche antisalissure et les échantillons revêtus d'une couche d'époxy. Les échantillons revêtus d'une couche d'époxy présentaient une corrosion importante sous le revêtement et une corrosion fissurante plus avancée⁵ alors que les échantillons revêtus d'une couche antisalissure présentaient très peu de corrosion sous le revêtement et une corrosion fissurante très légère.

La corrosion fissurante est difficile à détecter au début; on a donc gravé les échantillons revêtus d'une couche d'époxy avec du nitrate d'argent pour faire ressortir les premiers signes de ce processus. Après la gravure, les zones contenant de la corrosion semblent un peu mâchées, comme l'indique la figure 6. L'étendue de la corrosion sous le revêtement a été mesurée pour tous les échantillons revêtus d'une couche d'époxy et signalée en fonction de l'emplacement de la fissure, tel qu'il est indiqué à la figure 7. D'après le résumé présenté au tableau 1 de l'étendue mesurée de la corrosion pour chaque échantillon, selon l'emplacement de la fissure et le moment de l'immersion, il est clair que l'étendue de la corrosion varie considérablement entre les quatre emplacements de la fissure. Bien que le taux de corrosion fissurante dépende de nombreux facteurs, dont la géométrie de la fissure, il est évident qu'une fois la corrosion fissurante amorcée, elle peut se poursuivre à un rythme d'environ un centimètre par année sous l'époxy⁶.

5. La corrosion fissurante du BNA est une corrosion sélective de phase (CSP), où une phase du BNA (alpha) subit initialement de la corrosion, mais plus tard, à l'intérieur de la fissure, les conditions changent de sorte que différentes phases subissent de la corrosion, et la phase initiale corrodée ne rouille plus.
6. La progression de la corrosion fissurante a été constatée dans des échantillons revêtus d'une couche d'époxy qui ne bénéficiaient pas d'une protection cathodique. Aucun signe de corrosion fissurante n'a été décelé dans les échantillons bénéficiant d'une protection cathodique, quoique l'expérience ait visé à vérifier les échantillons pendant cinq ans. La fermeture du Laboratoire du chantier naval a donné lieu à la conclusion prématurée des expériences.

Ce qu'il faut surtout retenir de ces études est que le BNA immergé dans de l'eau de mer ne devrait pas être revêtu d'un enduit anticorrosif (époxy marin) si la protection cathodique n'est pas utilisée. Si l'atténuation de l'encrassement biologique est importante en l'absence d'une protection cathodique, alors un revêtement antisalissure temporaire ablatif à base de cuivre servira bien à cette fin.

Les auteurs remercient sincèrement Yueping Wang, Kumar Sadayappan (Ressources naturelles Canada [RNCa]), Wayne Neil et Kate Dylejko (Groupe des sciences et de la technologie de la défense [GTSCD]), Chris Bayley, Joel Higgins et Alexandra McLeod de leurs discussions utiles et de leur soutien technique.

Références

1. RICHARDSON, I. *Guide to Nickel Aluminum Bronze for Engineers*, Copper Development Association Publication No. 222, Éditions C. Powell, janvier 2016.
2. WHARTON, J.A., R.C. BARIK, G. KEAR, R.J.K. WOOD, K.R. STOKES, F.C. WALSH, « The corrosion of nickel-aluminum bronze in seawater », *Corrosion Science*, n° 47, 2005, p. 3336-3367.
3. WHARTON, J.A. et K.R. STOKES, « The influence of nickel-aluminum bronze microstructure and crevice solution on the initiation of crevice corrosion », *Electrochimica Acta*, n° 53, 2008, p. 2463-2473.
4. HUBER, T.A. et Y. WANG, « The Effect of Propeller Coating on Cathodic Protection Current Demand: Sea Trial and Modelling Studies », *Corrosion*, no 68, 2012, p. 441-448.
5. MINISTRY OF DEFENCE. « Procedures for First Level Nickel Aluminium Bronze Castings », *Ministry of Defence Standard 02-872 Part 3 Revalidation*, n° 1, 2 décembre 2002, Section 3 – Etching and Examination for Corrosion, p. 14.



Tableau 1 : Étendue de la corrosion fissurante pour les échantillons revêtus d'une couche d'époxy, par emplacement de la fissure

ÉCHANTILLON	MESURE DE LA CORROSION SOUS LE REVÊTEMENT (EN MILLIMÈTRES)			
	a	b	c	d
ÉPOXY DE 3 MOIS – 1	0	0	2,5	0
ÉPOXY DE 3 MOIS – 2	0	0	2,75	0
ÉPOXY DE 6 MOIS – 1	5,3	0	7,3	0
ÉPOXY DE 6 MOIS – 2	0	0	6,8	0
ÉPOXY DE 12 MOIS – 1	6	11,5	> 6,2 ¹	5,1
ÉPOXY DE 12 MOIS – 2	0	0	10,9	0
ÉPOXY DE 18 MOIS – 1	0	> 12,1 ¹	5,7	14,8
ÉPOXY DE 18 MOIS – 2	0	0	13,5 ²	0

¹ Au-delà de cette profondeur, le revêtement manquait, ce qui fait que la corrosion sous le revêtement s'étendait plus loin que ce qui avait été mesuré.

² L'échantillon avait été découpé pour le montage, et la corrosion sous le revêtement s'étendait jusqu'au bord, et donc s'étendait plus loin que ce qui avait été mesuré.



Figure 5. Des échantillons revêtus d'une couche d'époxy après avoir été immergés pendant 18 mois, présentant des cloques importantes à de nombreux endroits.

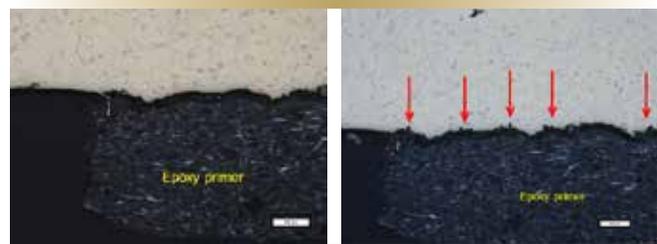


Figure 6. Emplacement de la fissure à un centimètre après avoir été immergés pendant trois mois : la photo à droite montre l'effet de la gravure avec du nitrate d'argent pour souligner les zones présentant une corrosion fissurante (flèches rouges). Les barres d'échelle sont de 50 µm.

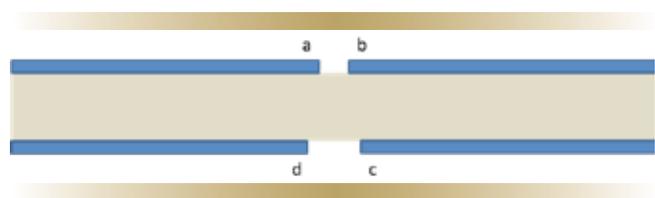


Figure 7. Diagramme montrant les fissures étiquetées.

Deuxième partie : Atténuation de l'encrassement biologique des hélices au moyen d'un revêtement antisalissure temporaire

Par Trisha Huber, Brad Noren, Vincent Drover et Heather Smiley

Résumé

Les effets du revêtement antisalissure ablatif à base de cuivre sur les échantillons revêtus de bronze au nickel-aluminium (BNA) bénéficiant d'une protection cathodique ont fait l'objet d'études. Les échantillons ont été immergés pendant 18 mois dans de l'eau de mer à faible débit, sous protection cathodique, puis vérifiés périodiquement (trois, six, douze et dix-huit mois), notamment en procédant à une petite coupe transversale afin de les examiner au microscope. Les changements dans le revêtement lui-même, ainsi que les surfaces du BNA, ont été vérifiés en fonction du temps. On a constaté qu'une transformation du cuivre s'était amorcée après trois mois et que celle-ci avait progressé au fil du temps. De plus, on a constaté l'électrodéposition du cuivre, provenant du revêtement, sur le BNA exposé après 18 mois.

Introduction

Le bronze au nickel-aluminium, couramment utilisé pour les hélices, est un alliage complexe à base de cuivre qui contient généralement de 6 % à 13 % d'aluminium, jusqu'à 7 % de fer et 7 % de nickel, et jusqu'à 1,5 % de manganèse, en poids [1]. L'aluminium, le fer et le nickel améliorent la force et la résistance à la corrosion, tandis que le manganèse augmente la résistance et transmet la résistance à l'oxydation [1, 2]. Les éléments d'alliage ne sont pas répartis uniformément dans la base de cuivre, mais ils existent en quantités variables dans différentes phases de la microstructure. La microstructure peut être contrôlée, dans une certaine mesure, par la composition, les conditions de fabrication (température) et le traitement thermique subséquent [1]. La prévalence et la répartition de chaque phase ont une incidence importante sur les propriétés globales de l'alliage.

La figure 1 présente une image de BNA au microscope électronique à balayage, indiquant les différentes phases. La phase α est principalement composée de cuivre et d'aluminium et semble être de couleur pâle. Les phases κ intermétalliques sont riches en nickel, en aluminium et en fer, et semblent plus sombres. La phase κ I consiste généralement de grands globules de forme irrégulière, et la phase κ II constitue généralement la plus petite des globules

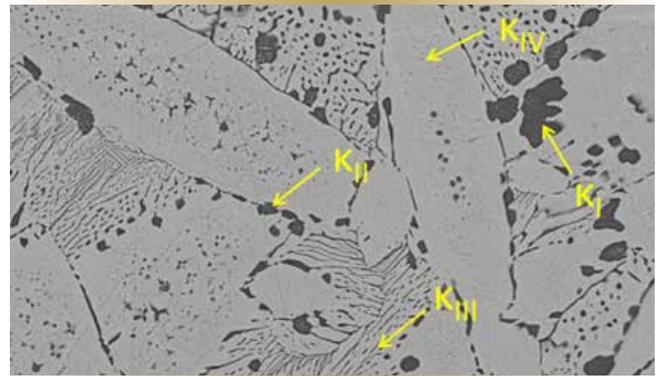


Figure 1. Image de BNA au microscope électronique à balayage présentant la phase α riche en cuivre et les différentes phases κ intermétalliques, indiquées par des flèches jaunes.

de forme irrégulière, ou rosettes. La phase κ III existe sous forme de précipités lamellaires (lamellaires dégradés) dans la région eutectoïde, et la phase κ IV existe sous forme de petites particules réparties dans toute la phase α [1, 2].

Corrosion du BNA

Bien que le BNA présente une forte résistance à la corrosion générale, attribuable à la formation d'une couche d'oxyde double (composée d'oxyde de cuivre [1] [Cu₂O] et d'alumine [Al₂O₃]), il est sensible à la corrosion par piqûres, à la corrosion galvanique et à la corrosion fissurante [1]. La corrosion du BNA peut être atténuée par une protection cathodique. Les hélices de BNA qui sont raccordées électriquement à la coque du navire par des systèmes de mise à la masse de l'arbre de propulsion devraient être protégées par le système de protection cathodique du navire (soit des anodes sacrificielles, soit un système de protection cathodique par courant imposé [PCCI]). En l'absence d'un système de protection cathodique, la protection par inadvertance des hélices peut également se produire au moyen d'un couplage galvanique à la coque en acier, au détriment de la coque.

Atténuation de l'encrassement biologique des hélices

Bien que le BNA présente une résistance à l'encrassement biologique découlant de la formation d'ions de cuivre créés par la dissolution lente du BNA dans l'eau de mer [1], la

suppression de la formation d'ions de cuivre, par voie de protection cathodique, diminue la résistance naturelle du BNA à l'encrassement biologique. Il s'agit d'un grave problème pour les navires qui restent amarrés pendant de longues périodes. La figure 1 de la partie 1 montre l'hélice d'un navire qui est resté amarré pendant 18 mois. L'encrassement biologique est important et couvre toutes les surfaces de l'hélice. Il a fallu recourir à des moyens mécaniques pour éliminer l'encrassement biologique, ce qui risquait d'endommager l'hélice.

Afin d'atténuer l'encrassement des navires destinés à rester amarrés pendant de longues périodes, les hélices peuvent être recouvertes d'un revêtement permanent ou d'un revêtement antisalissure temporaire. Le revêtement permanent aurait pour but d'atténuer l'encrassement biologique, de réduire la traînée et d'optimiser le potentiel de la coque [3] pour la durée de vie des hélices (ou, du moins, jusqu'à la prochaine période de travail en cale sèche). L'objectif du revêtement temporaire serait de permettre d'atténuer l'encrassement biologique jusqu'à ce que le navire soit en service actif, après quoi le revêtement s'usera lentement lorsque le navire deviendra plus actif.

Nous présentons ici les faits saillants des observations notées dans le cadre d'une expérience au cours de laquelle des échantillons de BNA recouverts d'un revêtement antisalissure avec protection cathodique ont été immergés dans de l'eau de mer pendant 18 mois. Une vérification périodique a été effectuée après avoir été immergés pendant trois, six, douze et dix-huit mois, en procédant à la photographie et au sectionnement des échantillons afin de les examiner au microscope.

Exploration expérimentale

Des échantillons de BNA usinés à partir d'une ancienne hélice ont été découpés en petits morceaux rectangulaires d'environ 4 po de longueur sur 1,5 po de largeur sur 1/8 po d'épaisseur (c.-à-d. 10 cm x 3,8 cm x 0,3 cm). L'analyse élémentaire du BNA coulé, déterminée au moyen de la spectrométrie de masse à source à plasma inductif (ICP-MS), a permis d'établir que le BNA était de filetage UNS C95800 : 9,6 % d'aluminium, 4,9 % de nickel, 4,5 % de fer, 1,7 % de manganèse et le reste de cuivre.

La préparation de surface comprenait l'abrasion à la main avec du papier abrasif de 400 grains, destiné à rendre la surface rugueuse pour accroître l'adhésion, mais sans trop modifier le profil de la surface du BNA. Après avoir essuyé la surface avec de l'éthanol, le revêtement antisalissure ablatif à base de cuivre a été appliqué au moyen d'une brosse, en deux couches, ce qui a donné une épaisseur de

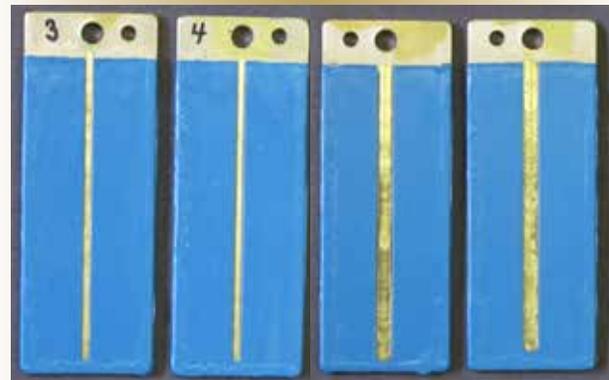


Figure 2. L'avant (gauche) et l'arrière (droite) des échantillons recouverts d'un revêtement antisalissure après que des défauts intentionnels ont été gravés de chaque côté : 2 mm à l'avant et 5 mm à l'arrière.

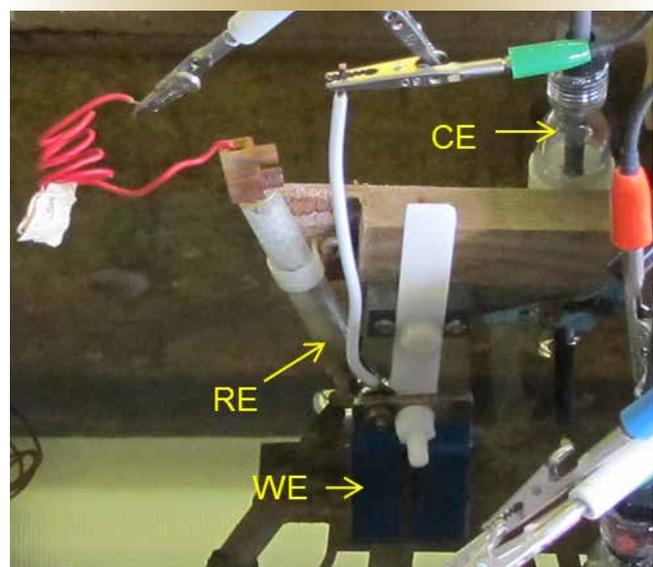


Figure 3. Gros plan d'un échantillon immergé, montrant l'emplacement relatif de l'échantillon (électrode de travail [WE]), de l'électrode de référence (RE) et de l'électrode auxiliaire en graphite (CE).

couche sèche d'environ 250 μm . Le revêtement contenait jusqu'à 50 % en poids d'oxyde de cuivre (I) et jusqu'à 10 % en poids d'oxyde de cuivre (II). Une fois le revêtement complètement séché, une fente a été intentionnellement gravée dans le revêtement en faisant une entaille en longueur de chaque côté de l'échantillon, jusqu'à la surface du BNA. D'un côté, désignée arbitrairement comme étant l'avant, la fente mesurait 2 mm de largeur, tandis qu'à l'arrière, la fente mesurait 5 mm de largeur (figure 2).

Les échantillons ont été immergés dans de l'eau de mer (pompée à partir d'une petite baie près du port d'Esquimalt) et reliés à un potentiostat Gamry Reference 600, fonctionnant

en mode potentiostatique (850 mV par rapport à Ag/AgCl), avec une électrode auxiliaire en graphite et une électrode de référence Ag/AgCl (figure 3). Pendant une bonne partie de la période de 18 mois, l'eau de mer dans le système s'écoulait; toutefois, pour les périodes d'entretien (environ une semaine par mois), le système ne fonctionnait pas. Pendant ces périodes, on a aéré l'eau de mer pour s'assurer que les conditions n'étaient pas complètement stagnantes.

Les échantillons ont été retirés de l'eau de mer au bout de trois, six, douze et dix-huit mois pour en faire l'examen visuel et pour procéder à une coupe transversale du fond de chaque échantillon pour les examiner au microscope à l'aide d'un microscope métallographique inversé Olympus GX71. Des échantillons tirés de ces échantillons ont été montés dans un époxy d'enrobage à froid et polis à 0,05 microns (μm) avec de la pâte d'alumine et un support en tissu. Le bord tranchant de chaque échantillon d'origine a été réparé au moyen d'un revêtement d'époxy et introduit de nouveau dans le réservoir d'eau de mer.

Résultats et discussion

Ces expériences ont été conçues pour reproduire des conditions dans lesquelles les hélices munis d'une protection cathodique sont temporairement recouvertes d'un revêtement antisalissure. Le dispositif antisalissure ablatif à base de cuivre est un polymère à épuisement contrôlé qui contient une quantité importante d'oxydes de cuivre (de 25 % à 50 % en poids d'oxyde de cuivre [I] et de 1,0 % à 10 % d'oxyde de cuivre [II]) qui agit comme biocide. L'entrée d'eau de mer entraîne la dissolution de l'oxyde de cuivre, ce qui entraîne un rejet lent des ions de cuivre de la surface du revêtement. Au fil du temps, la partie la plus éloignée du revêtement s'épuise dans le biocide — c'est ce qu'on appelle la couche lixiviée. À côté, la couche lixiviée augmente l'épaisseur, ce qui entrave la diffusion du biocide à la surface. Cependant, la matrice de revêtement est conçue pour s'enlever au fur et à mesure que le navire se déplace, essentiellement pour rajeunir le revêtement et permettre le rejet du biocide.

La figure 4 montre les échantillons sous protection après avoir été immergés pendant 18 mois. Bien qu'on s'attende à ce que le BNA exposé conserve une apparence brillante, ce qui correspond à une protection cathodique, les échantillons présentaient un assombrissement au niveau du BNA exposé, lequel est devenu progressivement plus sombre avec le temps. L'obscurcissement du BNA chez les échantillons revêtus d'une couche antisalissure peut s'expliquer par le fait que les ions de cuivre biocides lixiviés subissent un dépôt électromagnétique dans les parties exposées du BNA. Ce phénomène a déjà été



Figure 4. L'avant (à gauche) et l'arrière (à droite) des échantillons revêtus d'une couche antisalissure avec protection cathodique après 18 mois.

observé¹, lorsque le BNA recouvert d'un revêtement antisalissure a été immergé dans un gros bécier d'eau de mer et muni d'une protection cathodique; on a observé du cuivre à la surface du BNA, et il ne s'est pas produit de corrosion sélective de phase.

Transformation et électrodéposition du cuivre

Dans des conditions de protection cathodique, l'oxyde de cuivre en contact électrique avec le substrat peut être réduit en cuivre métallique. Ce processus, connu sous le nom de transformation du cuivre, a été observé pour la première fois sur les coques des navires dans les années 1960 [4]. La transformation du cuivre peut survenir lorsque le revêtement antisalissure contenant de l'oxyde de cuivre n'est pas isolé électriquement de la coque munie d'une protection cathodique, par exemple lorsque l'apprêt est trop mince ou contient des vides, ou lorsque la couche antisalissure est appliquée directement sur le substrat sous protection cathodique.

Ce phénomène a été observé dans ces expériences dès le début de la période de trois mois, et le degré de transformation du cuivre a augmenté approximativement en fonction du temps (figure 5). Ces parties sont adjacentes à la ligne de pointage ou à la limite de l'échantillon où le revêtement est plus mince.

En plus de la transformation du cuivre dans le revêtement, il peut y avoir réduction des ions de cuivre biocides lixiviés sur la surface (électrodéposition). Ce phénomène a été observé sur des échantillons protégés d'une couche antisalissure après avoir été immergés pendant 18 mois (figure 6). Ce processus modifie clairement la surface du substrat et est susceptible de nuire à la surface de l'hélice, car cela pourrait avoir un impact sur la trainée et le bruit.

Conclusions

On a constaté que le revêtement antisalissure ablatif à base de cuivre se transformait en cuivre dans les zones minces ou

1. Résultats non publiés.

adjacentes à un défaut dans le revêtement. De plus, le dépôt indésirable de cuivre à la surface du BNA a été observé, ce qui a augmenté sa rugosité. Cela pourrait vraisemblablement causer des problèmes de traînée et de bruit. L'application d'un revêtement antialissure à base de cuivre pourrait être un moyen valide d'atténuer l'encrassement biologique pendant une courte période (moins de 12 mois), mais son utilisation à long terme sur le BNA bénéficiant d'une protection cathodique n'est pas recommandée.

Remerciements

Les auteurs remercient sincèrement Yueping Wang, Kumar Sadayappan (Ressources naturelles Canada [RNCa]), Wayne Neil et Kate Dylejko (Groupe des sciences et de la technologie de la défense [GTSCD]), Chris Bayley, Joel Higgins et Alexandra McLeod de leurs discussions utiles et de leur soutien technique.

Au sujet des auteurs

L'auteure principale, **Trisha Huber**, a obtenu son doctorat en chimie de l'Université Queen's en 1994 et travaille dans le milieu de la recherche en défense du gouvernement du Canada depuis 2001. En tant que scientifique de la Défense à RDDC, son travail a porté sur divers aspects des revêtements marins, notamment sur l'intégration de technologies d'auto-réparation dans les revêtements (principalement au-dessus de l'eau) afin de réduire la corrosion. À la suite de la fermeture du Laboratoire du chantier naval du Pacifique en mars dernier, M^{me} Huber a commencé à faire la transition du poste de scientifique des matériaux à celui de spécialiste de la recherche opérationnelle au Centre d'analyse et de recherche opérationnelle de RDDC, où elle a déclaré qu'elle se réjouissait à la perspective de continuer à appuyer la Marine royale canadienne (MRC).

Brad Noren est technologue en environnement aux installations de maintenance de la Flotte Cap Breton, mais il a travaillé comme technologue en chimie au Laboratoire du chantier naval du Pacifique pendant la réalisation de la présente étude sur les effets des revêtements sur le BNA. Le chimiste analyste **Vincent Drover** et la technologue de la recherche **Heather Smiley** de RDDC Atlantique à Halifax ont été invités à aider à terminer les aspects expérimentaux de l'étude au LCNP.

Références

1. RICHARDSON, I. Guide to Nickel Aluminum Bronze for Engineers, Copper Development Association Publication No. 222, Éditions C. Powell, janvier 2016.

Suite à la page suivante

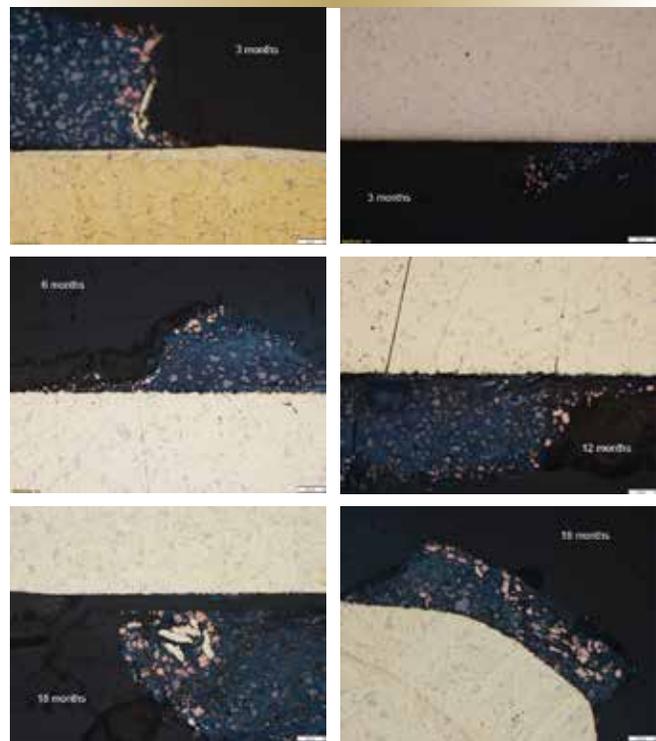


Figure 5. Images d'échantillons protégés recouverts d'un revêtement antialissure montrant des signes de transformation du cuivre dès trois mois, et dont le degré augmente approximativement en fonction du temps. La transformation du cuivre désigne le processus par lequel les particules d'oxyde de cuivre dans le revêtement antialissure subissent une réduction du cuivre métallique en raison du courant de protection cathodique. Les zones les plus susceptibles de subir une transformation du cuivre sont celles où le revêtement est très mince, comme aux coins (en bas à droite) et les zones adjacentes à un défaut dans le revêtement (toutes les autres images). Les barres d'échelle sont de 50 µm.

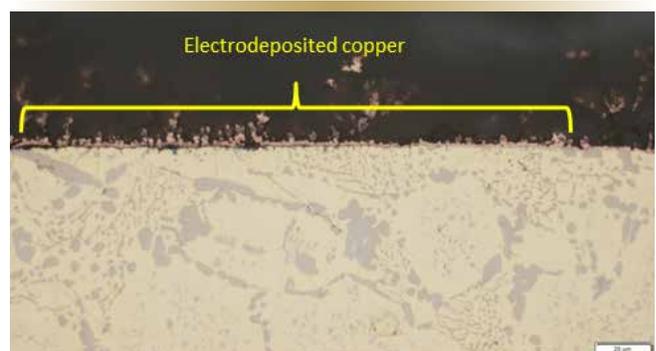


Figure 6. Dépôt de cuivre visible dans la zone exposée du BNA après une immersion de 18 mois. La barre d'échelle est de 20 µm.

Soutien à la science des matériaux pour la Marine royale canadienne

Par Gary Fisher

Depuis que les gens utilisent des navires, la science des matériaux marins s'est avérée nécessaire. Que cette science soit développée par observation simple et par erreurs et échecs, ou au moyen d'instruments modernes et sophistiqués, elle a pour but de répondre à trois questions fondamentales :

- Utilisons-nous les bons matériaux?
- Comment pouvons-nous protéger ces matériaux contre les dommages?
- Comment réparer les dommages causés aux matériaux?

La MRC reconnaît depuis longtemps le besoin d'un soutien scientifique des matériaux. Au cours de la Deuxième Guerre mondiale, par exemple, la MRC employait des scientifiques sur la côte ouest pour soutenir les opérations dans le Pacifique, ce qui a mené à la création du Conseil de recherches pour la défense (CRD) en 1947 pour assurer la disponibilité d'un soutien scientifique de défense aux Forces armées canadiennes en temps de guerre et en temps de paix. Le CRD, aujourd'hui connu sous le nom de Recherche et développement pour la défense Canada (RDDC), a établi un certain nombre de centres partout au pays, dont le Laboratoire naval du Pacifique (LNP), situé à Esquimalt, en 1948. Il est plus tard devenu le Centre de recherches pour la défense — Pacifique (CRDP), précurseur du Laboratoire du chantier naval du Pacifique.

La recherche scientifique sur les matériaux a marqué les débuts des opérations du LNP, en commençant par des travaux sur la protection cathodique des coques des navires en 1950. Au fil des ans, la recherche sur les matériaux de défense sur la côte ouest a donné lieu à un certain nombre de réalisations importantes, notamment :

- l'élucidation de la science sous-jacente et l'élaboration de la conception de base d'un système de protection cathodique par courant imposé (PCCI) qui est toujours utilisé pour prévenir la corrosion de la coque sur les navires militaires et commerciaux partout dans le monde;



- la mise au point de peintures anticorrosion vinyliques à base d'aluminium qui résistent aux effets de délamination (ou de décollement) causés par la protection cathodique — essentiel à l'adoption du système de PCCI;
- l'introduction et le développement de la gammagraphie afin de vérifier l'intégrité de la soudure des navires et de la coque;
- l'acquisition, au moyen d'enquêtes sur les défaillances de composants, d'une compréhension approfondie de la défaillance et de la fracture du métal. Cela a amené les scientifiques du CRDP à publier le document « Why Metals Fail », qui était un document standard dans de nombreux programmes d'études universitaires canadiens pendant des années;
- la mise au point du Ferroskan^{MC} pour faciliter l'analyse des débris métalliques usés par le contact avec les surfaces de composants métalliques lubrifiés.

Alors que l'industrie et le milieu universitaire du Canada assument un pourcentage croissant du travail lié à la science des matériaux marins, le ministère de la Défense nationale a décidé en mars de cette année de fermer le Laboratoire du chantier naval du Pacifique de RDDC et de regrouper tous les projets à RDDC Atlantique à Halifax.

Gary Fisher est le chef de section du Laboratoire du chantier naval du Pacifique, une section de RDDC – Atlantique située à Esquimalt, en Colombie-Britannique.



2. WHARTON, J.A., R.C. BARIK, G. KEAR, R.J.K. WOOD, K.R. STOKES, F.C. WALSH, « The corrosion of nickel-aluminum bronze in seawater », *Corrosion Science*, n° 47, 2005, p. 3336-3367.
3. HUBER, T.A. et Y. WANG, « The Effect of Propeller

- Coating on Cathodic Protection Current Demand: Sea Trial and Modelling Studies », *Corrosion*, n° 68, 2012, p. 441-448.
4. ANDERTON, W.A. « Cathodic reduction of cuprous oxide in vinyl antifouling paints », *J. Oil Col. Chem. Ass'n*.



CHRONIQUE

Le Système mondial de communications par satellite à large bande et son intégration dans la Marine royale canadienne

Par le Lt Kevin Hunt

Images reproduites avec l'aimable autorisation de Harris Corporation, à moins d'indications contraires.

Introduction

Les ressources maritimes canadiennes sont désormais connectées à la dernière constellation de communication par satellite (SATCOM) des États-Unis pour satisfaire à leurs exigences stratégiques en matière de communication. L'antenne SATCOM que l'on installe actuellement à bord des navires des flottes de l'Atlantique et du Pacifique accroîtra la redondance d'une connectivité fiable et à haut débit en mer. L'article qui suit décrit le Système mondial de communication par satellite à large bande (Wideband Global SATCOM ou WGS), son installation à bord du destroyer de la classe Iroquois NCSM *Athabaskan* (retiré du service de la Marine royale canadienne [MRC] en 2017) et son intégration continue dans les autres navires de combat de surface et bâtiments non combattants.

Contexte du système WGS

Le système WGS est un réseau SATCOM militaire qui appartient au département de la Défense (DoD) des États-Unis. Il a pour rôle de toujours fournir à ses utilisateurs des services SATCOM à haut débit et à deux fréquences (bande Ka et bande X en bidirectionnalité). La constellation de satellites visait à accroître la capacité de communication de l'armée américaine, en renforçant le système SATCOM pour la défense (Defense Satellite Communications System ou DSCS) vieillissant et le service de radiodiffusion à l'échelle mondiale (Global Broadcast Service ou GBS). Cette nouvelle capacité SATCOM a ensuite été offerte aux alliés des États-Unis en échange de sommes pour les mises à niveau du système.

Le contrat de construction des trois premiers satellites WGS a été attribué en janvier 2002 à Boeing Satellite Systems, qui avait alors commencé à fabriquer sa plate-forme satellitaire BSS-702HP. Le contrat comprenait les trois satellites, les commandes connexes au sol, le soutien technique et toute la formation nécessaire. Le premier satellite, WGS-1, a été lancé en 2007 et il a été mis en service en avril 2008. Les satellites WGS-2 et WGS-3 ont été lancés en 2009 pour compléter la couverture mondiale de concert avec le satellite WGS-1. En 2012, le DoD des États-Unis a retenu



Crédit photo : MRC

les services de Boeing pour accroître la bande passante du système, ce qui a lancé le processus de construction des plates-formes satellitaires suivantes du bloc II, qui devaient alors comprendre un certain nombre de mises à niveau. Le satellite WGS-4 et les suivants comprenaient une capacité de dérivation des radiofréquences pour la connectivité des véhicules aériens sans pilote, dont les exigences en matière de collecte de renseignements et de surveillance exigent des débits binaires plus élevés.

Il fallait seulement trois satellites géostationnaires à égale distance l'un de l'autre pour offrir une couverture mondiale le long de l'équateur, mais les sept autres satellites du bloc II avaient pour but d'accroître la bande passante et d'intégrer une redondance dans le réseau. Au moment d'écrire ces lignes, la constellation compte neuf plates-formes en orbite, et Boeing a signé un contrat pour livrer un dixième et dernier satellite en 2018.

Adhésion au système WGS

En 2007, le gouvernement australien a financé la construction du sixième satellite de la constellation et de l'infrastructure terrestre qui l'accompagnait, au coût de 822,7 millions de dollars américains, en échange d'un accès à l'ensemble du système WGS pour ses forces militaires. La participation de l'Australie au programme WGS a ouvert la porte à d'autres partenaires internationaux. Le financement du neuvième satellite de la constellation était un partenariat

international entre le Canada, le Danemark, le Luxembourg, les Pays-Bas et la Nouvelle-Zélande. La contribution financière de chaque pays partenaire était proportionnelle à l'accès à la bande passante de leurs forces armées.

Le partenariat conclu en 2012 entre le Canada et le DoD des États-Unis à propos de la bande passante du système WGS s'inscrivait dans le cadre du projet Mercury Global de 452 millions de dollars; de cette somme, 340 millions de dollars ont servi à financer la mise au point de la plate-forme du neuvième satellite. Le reste des fonds a servi à subventionner la construction des stations terrestres et terminaux déployables nécessaires. Avec Boeing en tant qu'entrepreneur principal, la contribution du Canada prévoyait le retour de 240 millions de dollars américains au Canada sous la forme d'emplois. Parmi les cinq partenaires internationaux du DoD des États-Unis, c'est le Canada qui a versé la plus importante contribution financière en échange d'un accès à l'ensemble du système WGS, comme l'Australie. Le partenariat de location de la bande passante avec les États-Unis est la méthode la plus rentable de satisfaire à nos exigences militaires stratégiques en matière de SATCOM, comparativement à l'élaboration et à l'exploitation d'une constellation SATCOM exclusivement canadienne avec une couverture mondiale. L'intégration du système WGS dans la flotte de surface de la Marine permet d'échanger des données à haut débit avec le quartier général, et ce, dans les deux sens.

Avant l'entente sur le système WGS, les Forces armées canadiennes (FAC) achetaient de la bande passante auprès d'entreprises commerciales de SATCOM, selon ses besoins, à un coût d'environ 25 millions de dollars par année, un prix qui devait croître sans cesse au cours des décennies suivantes. Compte tenu des menaces croissantes à l'échelle mondiale en matière de cybersécurité, la transition vers un système de satellites sûr et sous contrôle de l'État convenait au caractère protégé des communications militaires. La participation au système WGS est l'option la plus rentable pour les besoins de SATCOM du Canada, mais l'accès facile à la bande passante dans certaines régions géographiques n'est jamais garanti. De plus, le DoD des États-Unis peut mettre fin à la connectivité de la Marine royale canadienne (MRC) à tout moment à ses propres fins opérationnelles.

Le Canada a accédé à la constellation WGS en 2012 à l'aide de terminaux terrestres provisoires. Le protocole d'entente avec les États-Unis prévoyait des fréquences réservées pour les communications militaires jusqu'en 2031. L'intégration des capacités de mise en réseau avec des

forces militaires expéditionnaires du monde entier a été immédiate, notamment avec les ressources de l'opération Impact au Moyen-Orient et de l'opération Reassurance en Europe.

Le satellite WGS-9, financé en partie par le Canada, a été lancé de Cap Canaveral le 18 mars 2017 en présence de représentants du ministère de la Défense nationale (MDN). Selon Rico Attanasio, directeur général des programmes de satellites civils et de défense de Boeing, l'amélioration continue de la charge utile au fur et à mesure de l'avancement du programme a fait du satellite WGS-9 « l'un des satellites de communication militaire les plus efficaces en orbite ».

Description du système WGS

La constellation du système WGS offre une bande passante commutable instantanément de 4,875 GHz, et les satellites du bloc I (WGS-1, WGS-2 et WGS-3) fournissent des débits de transmission de 2,1 Gbit/a à 3,6 Gbit/s selon la modulation et la configuration des terminaux terrestres. Le débit de données élevé satisfait aux exigences modernes d'échange de données de commandement, de contrôle, de communication, d'informatique, de renseignement, de surveillance et de reconnaissance (C4ISR) servant au commandement, au contrôle, au soutien et à la gestion de l'information des forces militaires. Le taux de transfert de données des trois satellites originaux est dix fois plus élevé que celui des anciens satellites du système DSCS. Les satellites du bloc II (WGS-4, WGS-5, WGS-6 et WGS-7) et du bloc II modifié (WGS-8 et WGS-9) ont un débit de données de 6 Gbit/s et de 11 Gbit/s, respectivement.

Comme tous les systèmes SATCOM, le système WGS est divisé en trois segments, soit le segment spatial, le segment de commande et le segment des terminaux.

Le segment spatial est constitué des satellites construits à partir de la plate-forme BSS-702HP de Boeing. Deux panneaux solaires extensibles alimentent deux batteries au lithium-ion pour fournir les 11 kilowatts (puissance disponible en fin de vie) nécessaires, tandis qu'un système de propulsion électrique comptant quatre propulseurs axiaux et quatre propulseurs radiaux exécute toutes les manœuvres de maintien en position. La configuration à haute puissance du bus est nécessaire pour répondre à la demande de puissance de la charge utile et avoir un pointage d'antenne précis. Les composants mis à l'essai et les redondances repoussent à 15 ans la durée de vie du satellite en orbite.

Les satellites se trouvent à une altitude orbitale d'environ 35 800 kilomètres, et leur vitesse orbitale correspond à la période de rotation de la Terre. Ils semblent donc immobiles dans le ciel puisqu'ils maintiennent une position fixe par rapport à une antenne au sol. Les satellites effectuent quotidiennement des mises à feu, d'une durée totale de 30 minutes, pour maintenir leur position orbitale de 0,01° par rapport à la Terre. Étant donné que les satellites semblent immobiles par rapport à la surface de la Terre, un terminal terrestre stationnaire peut maintenir sa connectivité sans suivi actif. De son orbite géostationnaire, chaque satellite a un champ de visée qui couvre la Terre du 65° degré de latitude Nord au 65° degré de latitude Sud. Il est possible d'avoir des zones de couverture souples grâce aux 19 faisceaux de couverture indépendants de chaque satellite, soit 8 antennes réseau à commande de phase orientables et façonnables pour l'émission et la réception en bande X, 10 antennes paraboliques orientables à gain élevé dans la bande Ka, et 1 antenne à grand faisceau en bande X qui couvre toute la partie visible de la Terre. Les utilisateurs de l'une des deux bandes de fréquences peuvent se connecter partout à l'intérieur du champ de visée, et on peut modifier les faisceaux de couverture en temps quasi réel à l'aide de commandes au sol.

La grande capacité de communication de la constellation WGS est attribuable aux répéteurs à canaux numériques en parallèle, qui s'occupent de la conversion des signaux montants en données avant la liaison descendante. La nouvelle technologie des circuits de canalisation de la sixième génération de Boeing isole les signaux montants en bande X et Ka dans 1 900 sous-canaux routables environ. Le canaliseur fait le meilleur usage possible de la souplesse opérationnelle en convertissant les signaux en bande X en signaux en bande Ka, et inversement, ce qui permet d'augmenter la bande passante de 90 pour cent comparativement à celle des satellites précédents. Ce même canaliseur veille également au contrôle automatique du réseau et permet d'offrir des services de diffusion et de multidiffusion. Les satellites du bloc II modifiés ont donc presque doublé la bande passante disponible des premiers satellites WGS.

En matière de sécurité, les satellites traitent à la fois des données non classifiées et chiffrées, tout en isolant les données transmises par chaque pays sur le réseau. La mise à niveau de la résilience des systèmes spatiaux a permis à Boeing d'actualiser les capacités antibrouillage au moyen d'un logiciel installé dans toute la flotte. Les techniques de gestion de l'information renforcent désormais la protection des satellites contre les menaces électroniques intentionnelles et non intentionnelles, en plus de permettre la

géolocalisation des signaux hostiles. De plus, la dernière mise à niveau fait en sorte que les satellites ont recours à une faible correction aval des erreurs, à l'entrelacement des canaux et à l'étalement du spectre à saut de fréquence pour rendre les signaux plus résistants aux activités hostiles.

Le segment de commande, dirigé par le 4^e Escadron des opérations spatiales au Colorado, surveille continuellement la charge utile des satellites et les manœuvres de maintien en position. La gestion de l'utilisation du réseau se fait au moyen de centres des opérations spatiales à large bande (COSLB) qui sont exploités par l'Armée de terre et qui sont installés partout dans le monde. Chaque COSLB régit le fonctionnement d'un maximum de trois satellites WGS. Le suivi et le contrôle, en plus des liaisons montantes de commande, sont assurés par le matériel au sol dans le cadre d'un contrat attribué à ITT Industries et Raytheon. Les données télémétriques transmises au sol au moyen de la bande X ou Ka comprennent des renseignements sur la dégradation et la correction de l'orbite.

Enfin, le segment des terminaux comprend les diverses unités militaires mobiles, comme les ressources navales, terrestres et aériennes, y compris les drones sans pilote. Le projet Mercury Global prévoyait le financement de la construction de sept sites terrestres à trois endroits pour assurer la connectivité entre la constellation WGS et le réseau de communication existant des FAC. Les sites terrestres, qui comprennent des antennes et leur infrastructure terrestre connexe, sont aménagés partout au Canada. En 2014, General Dynamics Canada a obtenu un contrat de 59,1 millions de dollars pour la construction de ces sites et un deuxième contrat pour le soutien en service. En ce qui concerne l'utilisateur, on a affecté 15 millions de dollars de l'investissement initial à l'acquisition de différents types de terminaux portatifs pour les unités déployées, dont des appareils assez petits pour être transportés par des soldats sur le champ de bataille. Les communications entre ces petits terminaux et la constellation ne sont possibles qu'avec les antennes en bande Ka à gain élevé du satellite.

L'antenne choisie pour la MRC est le terminal SATCOM AN/USC-69 construit par Harris Corporation (figure 1). L'antenne est un exploit technique en soi, capable de suivre continuellement les satellites géostationnaires et non géostationnaires à partir d'un navire dans des conditions allant jusqu'à l'état de la mer 6. Cette antenne, capable de fonctionner à double bande, a longtemps été utilisée par les ressources navales américaines pour accéder aux satellites DSCS et WGS. L'antenne est munie de son propre dispositif de mesure de l'inertie pour suivre et compenser le tangage et le roulis,

n'exigeant ainsi que l'entrée du cap du navire. Le système peut stocker deux profils de blocage en cas de blocage de la ligne de visée vers le satellite par la superstructure du navire et à des fins de protection du matériel sensible.

Installation et intégration dans la MRC

Harris Corporation a fourni à la MRC les terminaux commerciaux militaires permettant aux navires de combat de surface et aux bâtiments non combattants d'accéder au système WGS par l'entremise du protocole Internet mondial. Les frégates de la classe *Halifax Regina, Ottawa, Toronto* et *St. John's* ont reçu les premiers systèmes du genre (AN/USC-69[V3]) dans le cadre du projet de modernisation à court terme des SATCOM. Le *Toronto* et le *St. John's* ont utilisé le système WGS lors de leur participation à l'opération Reassurance en 2012 et 2013, respectivement. En janvier 2016, on a installé le terminal AN/USC-69(V3) pour une mission particulière en deux semaines à bord de l'*Athabaskan* et à le relier à la suite de communications. La bande passante limitée avec la large bande de la flotte et la présence d'une seule antenne SHF fonctionnelle ont forcé l'installation du système juste à temps pour que le navire puisse se rendre à la station navale américaine Mayport de Jacksonville, en Floride, pour l'exercice au niveau du groupe opérationnel (TGEX) 2-16. Le système comprend une antenne munie d'un radôme de protection (figure 2) sur le toit du hangar (classe *Halifax*), après l'espace de pilotage (navires de défense côtière de la classe *Kingston*) et sur le toit de la passerelle (*Athabaskan*), un raccord à air à basse pression pour fournir 1 lb/po² de pression positive au radôme, une armoire de commande et une station commandée par ordinateur à distance pour le contrôle et la surveillance. Des données provenant du système de navigation par inertie fournissent le cap du navire. Pour garantir une configuration adéquate, la base de l'antenne doit se situer à moins de 0,5° du zéro de référence du navire pour le tangage et le roulis, et elle doit être alignée à moins de 0,1° du cap du navire. Cette précision exige une construction sur mesure de la part des services techniques au-dessus de la surface. L'infrastructure du navire, ce qui comprend le câblage et le panneau de répartition, limite la capacité de production du système. De 2016 à 2017, l'*Athabaskan* a atteint une moyenne approximative de 1,3 Mbit/s à 1,8 Mbit/s, alors que la classe *Halifax* a connu un débit moyen de 3 Mbit/s. Toutefois, l'accès à Internet à haut débit comportait son lot de difficultés techniques.

Problèmes initiaux

L'installation de dernière minute du système à bord de l'*Athabaskan* en 2016 et le déclassement prévu du navire ont eu pour conséquence un soutien limité en ce qui a trait à la

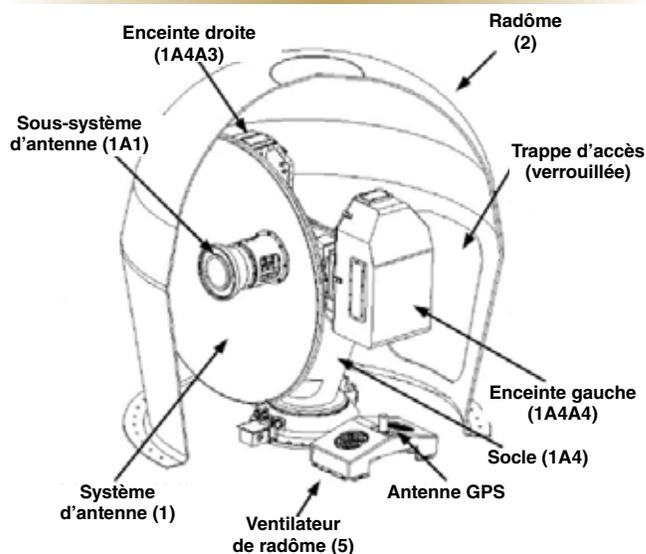


Figure 2. L'antenne Harris protégée par le radôme.

sécurité des radiofréquences et aux opérations des systèmes. Le navire n'avait pas été conçu pour accueillir un tel système. La plate-forme distincte à radar de poursuite et d'illumination (STIR) était alors inoccupée, mais l'antenne était souvent obstruée à cause des appareils environnants et de la proximité du mât. On considère qu'une antenne est obstruée si sa ligne de visée vers le satellite est bloquée. À lui seul, le mât était responsable des traces obstruées à 40° à une élévation de 20° du satellite, traces qu'ont tenté d'éviter dans la mesure du possible les personnes de quart et les officiers de la salle des opérations lors des exercices. Si l'élévation du satellite était inférieure à 20°, alors la proximité des deux antennes SATCOM UHF OE-82 augmentait l'angle des caps obstrués jusqu'à un total de 56°. En présence d'obstructions lors des manœuvres, le système s'est toujours remis en ligne.

Le premier relevé des radiofréquences effectué par le Centre d'essais techniques de la qualité (CETQ) a limité l'accès au toit de la passerelle, au pont des canons et au gaillard d'avant du brise-lames puisqu'il s'agit de zone hors limites dans un contexte de rayonnement, ce qui restreint les opérations des navires et des hélicoptères. Étant donné que l'*Athabaskan* était le seul navire du genre muni du système, le CETQ a élaboré des profils de blocage autour de la structure du navire. Un profil de blocage de 10° empêchait le rayonnement du gaillard d'avant pour des raisons de sécurité, mais il interrompait aussi la connectivité avec le satellite WGS-3 qui se trouve à une élévation de 18° dans le port d'Halifax. Une limite d'élévation de 10° a entraîné des pertes de connectivité pendant la navigation dans tout état de la mer notable. La courte période de travail de l'*Athabaskan* à l'été 2016 a permis au CETQ de mener une autre enquête, ce qui a mené à un

profil de blocage de 0° et à des contraintes à l'emploi pour raisons médicales (CERM) moins restrictives. À une puissance inférieure à quatre watts, il existe une CERM à zéro mètre. En s'exerçant à proximité de la station navale Mayport, le nouveau profil de blocage de 0° a permis une connectivité continue puisque le même satellite se tenait maintenant à 12° au-dessus de l'horizon. Avec une seule antenne, la position du navire au quai de Mayport et les mâts des navires à proximité ont déterminé si la connectivité était possible. En orbite au-dessus du Brésil à 52° de longitude Ouest, le satellite WGS-5 offrait effectivement une cible plus élevée dans le ciel, mais la connectivité a été interrompue en raison de difficultés techniques éprouvées par le système WGS. Le système de l'*Athabaskan* était en bon état, et le navire s'est reconnecté au satellite WGS-3 sur le chemin du retour.

Comme il s'agissait du premier et du seul navire de la classe Iroquois à utiliser le système, des problèmes immédiats ont nécessité la tenue d'une enquête. La présence d'air humide en provenance du circuit d'air à basse pression et l'inefficacité d'un joint de la porte d'accès au radôme ont entraîné une accumulation de glace sur les roulements de l'antenne par temps froid. Les particules de glace ont nui à certains réglages mineurs visant à maintenir la connectivité d'une plate-forme toujours en mouvement. Même si les fixations de porte étaient solidement fermées, seul un temps plus chaud permettait de résoudre le problème. De plus, la présence de soudures inadéquates sur un certain nombre de connecteurs de l'antenne et de l'armoire de contrôle a entraîné des pertes constantes de connectivité et nécessité des remplacements. Le modem affichait aussi régulièrement des défauts qui exigeaient un redémarrage du système.

Le personnel du service de génie des systèmes de combat de l'*Athabaskan* a acquis sa maîtrise du système et élaboré les procédures de sécurité et d'exploitation nécessaires en cours d'emploi. Deux profils de blocage possibles (le premier limité à 10°, l'autre à 0°) exigeaient deux ensembles distincts de listes de vérification du contrôle positif.

Les autres problèmes éprouvés ont échappé à la volonté de l'équipage. Les conditions météorologiques sur place et les conditions au site terrestre ont été deux facteurs favorables à la connectivité du système. L'*Athabaskan* a transmis et reçu des signaux dans la bande X, alors que toutes les transmissions entre le satellite et la station terrestre ont utilisé la bande Ka. Cette dernière est vulnérable à l'absorption atmosphérique, de sorte que la liaison descendante du satellite WGS-3 avec le site terrestre du dépôt naval d'armement de Dartmouth (Nouvelle-Écosse) a été touchée à plus d'une reprise par ce problème. De plus, la faible élévation du satellite à l'horizon a amplifié les problèmes de connectivité dus aux parasites atmosphériques.



Crédit photo : MRC

Figure 3. L'antenne SATCOM AN/USC-69 (radôme gris) à une ligne de visée présente une ligne de visibilité dégagée de près de 245 degrés depuis sa position sur le toit du hangar d'une frégate.

Comme pour les autres systèmes SATCOM, il est difficile de maintenir la connectivité pour les niveaux supérieurs de l'échelle d'état de la mer et les vitesses de navire plus élevées. De plus, la nature même de l'orbite géostationnaire signifie que les satellites WGS ne sont pas accessibles dans les régions extrêmes au nord et au sud. En s'élevant au-dessus du 74° de latitude, le satellite descend simplement sous l'horizon et il n'est plus visible.

Leçons apprises et avenir

En 2015, la MRC a reçu une approbation ministérielle dans le cadre du projet de modernisation du système maritime de SATCOM afin de fournir une capacité permanente de SATCOM au moyen du système WGS en utilisant les mêmes terminaux (AN/USC-69[V3]) avec la même capacité. Le système de ce projet sera installé à bord de tous les navires des classes *Halifax* et *Kingston*.

Au moment d'écrire ces lignes, les installations à bord du *Vancouver* et du *Glace Bay* étaient terminées, et les dernières installations devraient s'achever au plus tard en 2021. L'*Asterix*, un pétrolier ravitailleur d'escadre de la classe *Resolve*, devrait aussi recevoir ce système puisque le Canada a accès au système WGS jusqu'en 2031. À bord des navires de la classe *Halifax*, le système s'ajoutera aux services déjà fournis par les terminaux multibandes de la Marine (TMM) et la bande passante de la flotte.

À bord des frégates, l'antenne n'est pas aussi obstruée que sur l'*Athabaskan* en raison de son installation sur le toit du hangar. La ligne de visée est libre sur environ 245 degrés (figure 3), mais le fait d'avoir une seule antenne produit un ensemble particulier de roulements qui crée de l'obstruction pour l'antenne. Le fait d'avoir deux antennes, comme l'antenne SHF de la classe *Iroquois* et le TMM de la classe *Halifax*, permet une connectivité continue peu importe le cap du navire.

Les installations actuelles dans le cadre du projet de modernisation du système maritime de SATCOM ne profitent pas d'une alimentation sans interruption (ASI). Le tube à ondes progressives, qui amplifie le signal de sortie, a besoin d'environ cinq minutes pour se refroidir, et l'ordinateur a aussi besoin de temps pour s'arrêter correctement. Une perte soudaine de puissance peut entraîner une dégradation des composants du système, mais le rétablissement incontrôlé de l'alimentation du système peut causer des pannes. L'intégration d'une ASI dans la modernisation du système maritime de SATCOM de la classe Halifax empêcherait la détérioration graduelle du système.

Au chapitre de la sécurité, toutes les futures installations du système comprendront un simple commutateur à trois voies pour faciliter le contrôle positif. Une option de faible puissance permettant au système de poursuivre son rayonnement inférieur à quatre watts faciliterait les travaux dans la mâture en raison des CERM d'une distance de zéro mètre. Au lieu de toujours arrêter le système, l'interrupteur facilitera également les activités des hélicoptères tout en maintenant la connectivité, mais avec une bande passante réduite.

Le DoD des États-Unis a déjà entamé des discussions sur la prochaine génération de communications par satellite. Le Pentagone souhaite améliorer ses ressources spatiales en stimulant la collaboration internationale; il a donc invité d'autres pays, dont le Canada, à participer à

l'analyse des solutions de rechange pour y étudier les exigences et les options.

Conclusion

Avec un coût cumulatif de plus de 3,7 milliards de dollars américains, la constellation WGS est le plus grand projet spatial militaire international. Ce projet parvient à renforcer la capacité de communication de l'armée américaine dans le monde entier, mais il consolide par la même occasion l'interopérabilité des forces américaines avec leurs alliés à la plus récente frontière de combat.

Remerciements

J'aimerais remercier le Capc Dominic Dupuis, le m 1 Chris Oldham, Charlie Falldien, William Kennedy et le personnel de la DSCN 2-3 qui ont apporté leur expertise technique à la réalisation du présent article.



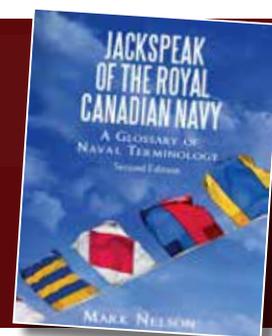
Le Ltv Kevin Hunt est un officier du génie des systèmes de combat maritime. Il a suivi sa Phase VI et sa formation d'OGSC adjoint à bord du NCSM Athabaskan, l'un de premiers navires de combat de surface à installer et à beaucoup utiliser le système AN/USC-69(V3). Il est titulaire d'une maîtrise en sciences spatiales avec des recherches sur les communications par satellite.

Critique de livre : Jackspeak of the Royal Canadian Navy: A Glossary of Naval Terminology – Deuxième édition

Compte rendu de Tom Douglas – corédacteur, *Revue du génie maritime*

Dundurn Press (info@dundurn.com)

ISBN 978-1-45974-279-6 (livre broché : 19,99 \$); 184 p.; bibliographie.



Pour bien des auteurs, être invité par son éditeur à produire une deuxième édition plus complète de son ouvrage constitue une preuve incontestable de succès. Le premier OPC (à la retraite) Mark Nelson a publié en octobre une nouvelle édition de son livre sur le jargon de la marine qu'il a compilé au cours de ses 26 ans de carrière au sein de la Marine royale canadienne. La dernière édition du *Jackspeak* renferme plus de 400 nouvelles expressions.

Saviez-vous qu'un « 280 lady » est un marin qui a servi principalement sur des navires de la classe 280 (*Iroquois*)? Ou que « Pig boats » sont des navires de la classe *Porte* qui

ouvraient et fermaient les entrées submergées. Ils ont ensuite été convertis en navires d'entraînement de la Réserve navale.

L'auteur souligne que le jargon de la marine peut être difficile à comprendre pour une nouvelle recrue : « Par exemple, il y a plus d'une façon de dire qu'une personne est paresseuse. On peut la traiter de flanc-mou ou de raie ou dire qu'elle tire au flanc. Il en va de même pour les aménagements pour dormir. Un marin dort dans une fosse, un chariot ou panier, mais seulement à l'occasion dans une couchette. »



Améliorer la cybersécurité des systèmes de combat ACQUIS*

Par le Capitaine de frégate Jay Thor Turner

[*Adaptation du projet de recherche dirigée du Collège des Forces canadiennes de 2016 mené par l'auteur, qui comprend des citations et des références bibliographiques complètes.]

Le monde change et évolue constamment, ce qui suppose que le contexte des menaces en fait de même. Afin d'améliorer la cybersécurité des systèmes acquis, le ministère de la Défense nationale (MDN) et les Forces armées canadiennes (FAC) doivent former leurs effectifs, notamment les principaux décideurs, et élaborer un programme général de cybersécurité qui intègre la gestion des risques au génie solide des exigences et à l'ingénierie de la sécurité des systèmes (ISS), tant à l'interne que dans l'industrie.

Les efforts déployés par les FAC pour s'adapter à l'évolution des technologies sur le plan économique et pour maintenir un avantage technologique au combat se sont traduits par des systèmes qui ont été conçus à partir de matériel et de logiciels commerciaux, ces systèmes s'accompagnant de nouvelles vulnérabilités et de points d'attaque plus nombreux. De plus, la volonté de relier tous les systèmes et d'avoir accès à de grandes quantités de données pour permettre une prise de décisions améliorée et plus rapide accroît également l'exposition des FAC aux menaces. L'utilisation de la technologie de pointe est devenue une arme à double tranchant qui oblige les FAC à s'assurer que leurs systèmes sont à la fois efficaces et défendables dans le cyberspace.

Alors que les FAC adoptent les technologies de pointe disponibles en vue d'améliorer et de moderniser leurs capacités, en l'absence d'une saine gestion et de techniques adéquates, elles exposent leurs logiciels et leurs systèmes axés sur les logiciels à des risques de plus en plus importants. Dans le contexte d'une course mondiale aux armements, la complexité et les coûts des plateformes et des systèmes militaires modernes ne cessent de croître, et le prix pour maintenir un avantage technologique concurrentiel par rapport aux adversaires potentiels augmente considérablement en conséquence. Au cours des dernières décennies, ces tensions ont entraîné plusieurs changements dans la façon dont les Forces acquièrent leurs systèmes militaires pointus. L'un des principaux changements est

l'attention portée à l'acquisition de systèmes en vente sur le marché plutôt qu'aux systèmes répondant aux spécifications militaires. Ce changement est manifeste lorsqu'on compare la construction des premières frégates de la classe *Halifax* au plus récent projet de carénage de demi-vie et de modernisation MCH/FELEX. [Le mémoire intégral du projet de l'auteur présente une étude de cas sur la classe *Halifax*. – **le rédacteur en chef**]

L'Énoncé de politique de défense du Canada de 1992 précisait que l'approvisionnement en matière de défense devait « éviter les solutions purement canadiennes qui entraînent des dépenses et des risques considérables dans les domaines de la recherche et du développement ou des modifications du matériel en service. » On donne suite à cette approche dans le document « Incidences du budget : Défense nationale – 1994 » : [traduction] « dans sa stratégie d'acquisition, le Ministère [...] mettra l'accent sur l'achat de matériel déjà sur le marché et sur l'utilisation de technologies commerciales standards et, à moins que cela soit absolument nécessaire, évitera d'apporter des modifications à des fins militaires. » Enfin, dans le Livre blanc sur la défense de 1994 :

« Le Ministère se contentera plus souvent de technologies commerciales existantes si elles satisfont aux exigences et aux normes militaires essentielles. Les spécifications purement militaires ou les modifications typiquement canadiennes ne seront retenues que lorsqu'elles seront jugées absolument indispensables. »

La menace croissante dans le cyberspace

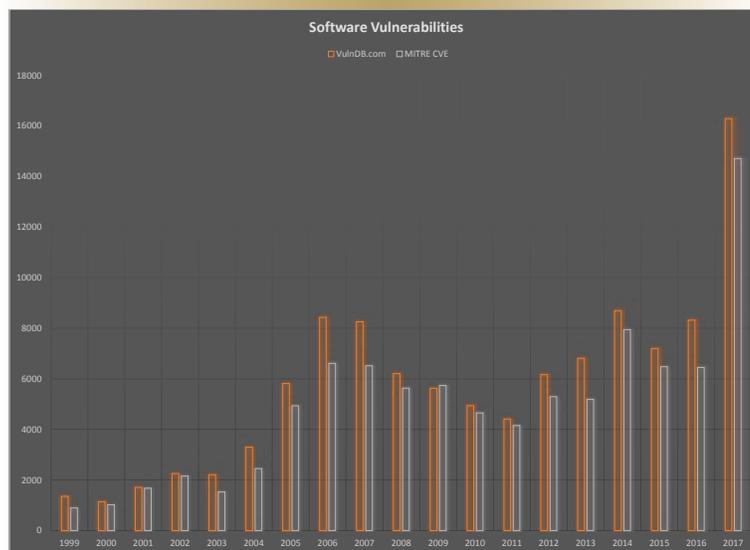
Bien que l'utilisation accrue de technologies commerciales procure un avantage indéniable dans certains domaines, elle produit également des effets indésirables, notamment l'exposition à un ensemble de cybermenaces plus vastes. On retrouve les composants matériels et logiciels commerciaux utilisés dans les systèmes modernes dans bon nombre

de systèmes et de produits d'usage industriel, commercial ou personnel, ce qui modifie le contexte pour les agresseurs potentiels. La plupart des composants commerciaux sont accessibles à des fins d'essai, d'expérimentation ou d'examen, ce qui permet aux agresseurs potentiels de concevoir et d'élaborer des cyberattaques efficaces. Par exemple, les résultats d'une enquête menée par PricewaterhouseCoopers en 2016 indiquent que le nombre d'incidents de sécurité détectés a augmenté de 38 % dans l'ensemble des industries en 2015, tandis que ce nombre a augmenté de 137 % dans les organisations du secteur public.

De nombreuses formes de cyberattaques reposent sur l'exploitation de lacunes et de vulnérabilités dans les logiciels ou les micro-logiciels qui peuvent être attaqués sur un réseau ou sur Internet au moyen de logiciels malveillants, aussi appelés maliciels. Certains maliciels sont comparables à une arme à guidage automatique et peuvent naviguer de façon autonome sur des réseaux et des systèmes informatiques, exploitant les vulnérabilités pour se reproduire, hausser les avantages et livrer des charges utiles précises. La charge utile livrée par le maliciel peut varier selon l'effet désiré de l'attaque, allant de l'obtention d'un accès continu à un système ou à un réseau (p. ex. les portes dérobées ou un outil d'administration à distance/cheval de Troie) jusqu'à la modification du fonctionnement d'un dispositif commandé par ordinateur, en passant par la surcharge du système (c.-à-d. une attaque par refus de service). Dans tous ces cas, les maliciels présentent un danger évident et un risque réel pour les opérations militaires en perturbant les systèmes et les plateformes de combat.

L'industrie et les FAC doivent prendre les mesures nécessaires pour gérer les risques cybernétiques à l'égard des systèmes modernes de combat et de plateforme. En l'absence de mesures appropriées, les systèmes des FAC pourraient se trouver dans une position indéfendable ou être exposés à des cyberattaques, ce qui désavantagerait nettement les cyberdéfenseurs militaires. Bien qu'il existe de nombreuses façons de gérer ce risque, l'approche de longue date consiste à intégrer la sécurité dans le système.

Les FAC procèdent actuellement à la réfection de leur flotte navale et se préparent à faire l'acquisition d'un nouvel avion de chasse et d'un système interarmées de surveillance et d'acquisition d'objectifs au moyen de véhicules aériens sans pilote. Ces nouveaux navires, aéronefs et autres systèmes seront mieux interreliés au moyen de réseaux informatiques, et comporteront plus de matériel et de



logiciels commerciaux que jamais auparavant. Compte tenu de la complexité de ces « systèmes de systèmes », il est fort probable que le MDN ne serait pas en mesure de payer ou de gérer les améliorations après livraison pour accroître la sécurité de ces systèmes. En outre, toute tentative de gérer ou de contrôler un risque résiduel associé à la sécurité de ces systèmes représenterait un défi de taille étant donné la menace cybernétique croissante. Par ailleurs, la défense de ces systèmes serait très ardue pour les cyberdéfenseurs des FAC qui en sont encore au début de leur développement de cette capacité qui, à ce jour, s'est concentrée uniquement sur les systèmes et les réseaux informatiques traditionnels.

Une nouvelle approche en matière de cybersécurité des systèmes

Compte tenu des défis qui se profilent, le MDN et les FAC doivent adapter leur approche en matière d'acquisition de systèmes de manière à mettre la cybersécurité au premier plan des considérations et à l'intégrer, à la valider et à la vérifier dans les systèmes tout au long de l'élaboration, de la mise en œuvre et de la livraison définitive. Le MDN et les FAC doivent former leurs effectifs à ce chapitre. Même si la situation s'est améliorée au fil du temps, dès les premiers instants, le projet MCH/FELEX a permis de constater plusieurs problèmes qui peuvent survenir lorsque les décideurs sont insuffisamment informés des risques qu'ils acceptent en matière de cybersécurité. Les décideurs ainsi que le personnel qui les informe doivent suivre une formation adéquate pour assurer la gestion efficace de la cybersécurité. Cette formation doit être souple et adaptée régulièrement à mesure qu'évoluent les risques liés à la technologie et à la cybersécurité. Une simple mise à jour

des politiques ne sera pas efficace si les effectifs ne suivent pas la formation nécessaire pour les mettre en œuvre.

Au-delà de la formation générale en matière de cybersécurité, deux domaines importants doivent être abordés : l'ingénierie de la sécurité des systèmes (ISS) et le génie des exigences. Comme l'ont fait remarquer les chercheurs de la RAND Corporation qui travaillent à l'amélioration de la cybersécurité des systèmes d'artillerie de l'USAF, le personnel du projet doit [traduction] « comprendre tant l'ingénierie de la sécurité des systèmes que la mentalité et les tactiques des adversaires déterminés à mener des attaques dans le cyberspace. » Par ailleurs, le personnel du projet, les ingénieurs-systèmes et les gestionnaires du cycle de vie des systèmes doivent être bien conscients des considérations relatives à l'ISS. Enfin, le personnel du SMA(Mat) et les concepteurs des exigences opérationnelles doivent suivre une formation officielle en génie des exigences spécialisée dans le domaine du génie des exigences de sécurité. Le coût de ne pas régler d'avance les problèmes liés aux exigences est beaucoup trop élevé une fois la phase d'exploitation et de maintenance du cycle de vie entamée.

Le MDN et les FAC doivent améliorer le génie des exigences et, pour ce faire, il est nécessaire d'avoir des politiques et des normes pertinentes et actuelles en matière de cybersécurité. Afin de suivre l'évolution rapide du cyberspace, les politiques et les normes doivent être souples et adaptables. Des efforts et des ressources considérables pourraient s'avérer nécessaires pour s'adapter aux nouvelles cybermenaces, ce qui pourrait obliger le MDN et les FAC à faire appel à des sources extérieures (c.-à-d. recourir

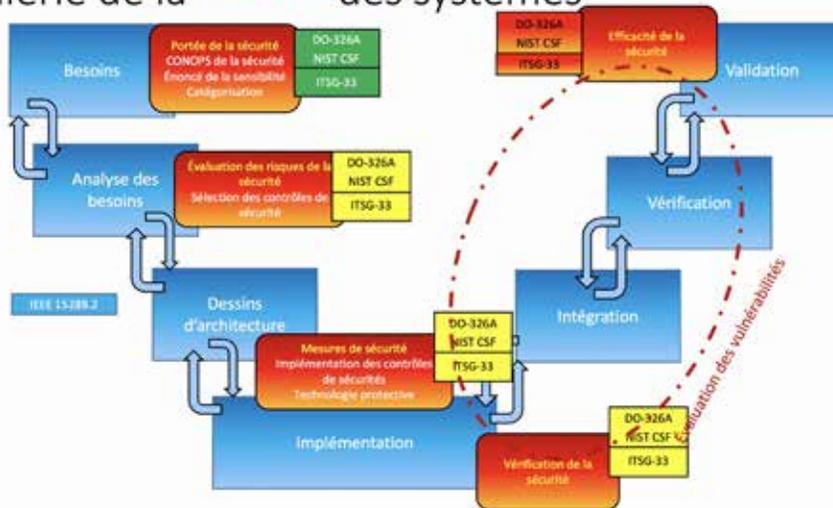
à l'expertise et à l'expérience de consultants externes) pour élaborer ces politiques et ces normes, ou se concentrer sur le processus et des principes comme l'ISS pour élaborer des solutions de cybersécurité. En fonction de ces normes et politiques, les exigences devront être ancrées dans la réalité et être raisonnablement applicables lorsque le système sera mis en œuvre. Ici encore, de la formation et une expertise spécialisée seront nécessaires à l'appui de cette démarche afin d'éviter certaines des embûches rencontrées au cours du projet MCH/FELEX, comme la mise hors service de matériel informatique ou la mise en œuvre de solutions interdomaines. De plus, cela éviterait l'élaboration d'exigences fondées sur des politiques générales sans la conduite des analyses nécessaires. Des exigences générales éclairées et un génie solide des exigences de sécurité vont de pair avec l'ISS et représentent des investissements à rendement élevé.

Toujours selon les chercheurs de la RAND Corporation, les exigences qui sont suffisamment précises pour être intégrées dans un contrat et assujetties à des tests opérationnels ont peu de chance de réussir. Les grands projets d'immobilisation continueront de faire l'objet de contrats et de documents d'exigences, mais une combinaison de solides exigences de sécurité et d'une ISS éprouvée est nécessaire à la réussite en matière de cybersécurité. À l'heure actuelle, le principal défi consiste à s'assurer que l'entrepreneur intègre l'ISS à ses processus. Pour ce faire, une solution consisterait à exiger la conformité à une norme convenablement adaptée comme la norme ISO/IEC 15288:2015 *Ingénierie des systèmes et du logiciel – Processus du cycle de vie du système*, complétée par la norme

NIST SP 800-160 – Ingénierie des systèmes de sécurité :

Considérations relatives à une approche multidisciplinaire pour l'ingénierie de systèmes sécuritaires fiables. En plus de demander la conformité, un processus de vérification pourrait s'avérer nécessaire pour veiller à ce que les pratiques exemplaires ou les processus normalisés ne soient pas délaissés à mesure qu'augmentent les pressions sur les ressources et sur l'horaire. Le MDN et les FAC doivent investir considérable-

Ingénierie de la SÉCURITÉ des systèmes



ment dans l'ISS et trouver des méthodes pour en vérifier l'usage par les entrepreneurs dans le but d'intégrer la sécurité dans les systèmes.

Comme on peut le constater, plusieurs problèmes doivent être réglés. Les changements rapides dans ce domaine demandent à la fois de la souplesse et un solide cadre de soutien. Un programme officiel de cybersécurité, comme le programme Cybersafe de la marine américaine, permettrait de gérer les risques liés à ce domaine. Premièrement, il créerait une culture institutionnelle selon laquelle la responsabilité en matière de cybersécurité revient à tout le personnel. Cet aspect est renforcé en formant adéquatement les effectifs afin que tous les membres du personnel aient une certaine compréhension de la cybersécurité. Deuxièmement, le programme et les efforts seraient axés sur la survivabilité d'abord, puis à l'assurance des missions, ce qui correspond bien à la devise de la MRC en matière de contrôle des avaries, soit « *flotter, se déplacer, combattre* ». Dans cette optique de la cybersécurité, la mission accorderait une importance accrue aux points critiques de défaillance entre les systèmes. Un programme comme Cybersafe inciterait l'ISS et les cadres de gestion des risques (CGR) à considérer l'espace problématique en matière de cybersécurité comme étant constitué de personnes, de processus et de technologies. Le problème de cybersécurité ne sera pas réglé au moyen d'une seule méthode ou perspective unique, mais au moyen d'une approche générale de la sécurité des systèmes. Le MDN devra procéder à l'examen et à l'amélioration de son propre CGR lié à la sécurité des TI, et cibler les adaptations nécessaires pour harmoniser ce dernier avec les processus d'acquisition. Le MDN et les FAC doivent élaborer un vaste programme de cybersécurité axé sur la gestion des risques particuliers liés à l'acquisition de plateformes et de systèmes de combat.

En résumé, il est recommandé que le MDN et les FAC :

- forment l'ensemble de leurs effectifs en matière de cybersécurité;
- offrent une formation officielle au personnel de projet et aux concepteurs d'exigences opérationnelles en matière de génie des exigences;
- investissent considérablement dans l'ISS, notamment par la tenue d'une formation, et trouvent des méthodes, comme la vérification, pour en vérifier l'usage par les sous-traitants afin d'intégrer la sécurité dans la conception des systèmes;
- élaborent un programme général de cybersécurité pour l'acquisition qui comprend un cadre amélioré de gestion des risques et qui intègre entièrement l'ISS.

Conclusions

La difficulté liée à l'acquisition de systèmes cybersécuritaires et cyberrésilients est gérable. Afin d'améliorer la cybersécurité des systèmes acquis, le MDN et les FAC doivent former leurs effectifs, y compris les principaux décideurs, et élaborer un programme général de cybersécurité qui intègre un génie solide des exigences, l'ingénierie de la sécurité des systèmes, tant à l'interne que dans l'industrie, et la gestion des risques. Le domaine cybernétique est un environnement complexe en évolution rapide dans lequel seuls l'adaptabilité et des principes fondamentaux judicieux assureront le succès. L'époque de la sécurité par l'obscurité est révolue. La complexité et l'utilisation croissantes de la technologie commerciale dans les systèmes modernes de combat et de plateforme axés sur des logiciels continuent d'élargir les différents points d'attaque dans ce nouveau secteur.

Il existe de nombreuses approches pour s'attaquer à ce problème grandissant, mais aucune approche unique ou statique ne pourrait réussir. Le problème doit être abordé au cœur du ou des systèmes en intégrant la cyberrésilience et la cybersécurité comme qualités inhérentes de la conception de façon à éviter les lacunes des approvisionnements antérieurs qui ont abordé la question de sécurité après coup ou qui ont été malavisés dès le départ. La formation, la sensibilisation ainsi qu'une vue d'ensemble de l'espace problématique, qui comprend les perspectives de la mission et de l'adversaire, sont nécessaires pour réussir à défendre certains des systèmes les plus importants du Canada dans le cyberspace. En fonction de l'analyse présentée dans la recherche, il est manifeste que des mesures doivent être prises pour assurer une défense adéquate des systèmes de combat et de plateforme du MDN et des FAC contre une cyberattaque éventuelle inévitable. Grâce à la préparation et à la formation, le MDN et les FAC pourront empêcher qu'une cyberattaque fasse des ravages sur nos systèmes essentiels à la mission.



Le Capf Turner est gestionnaire principal de la sécurité et de l'environnement de données intégré pour le Projet des navires de combat de surface canadiens, à Ottawa.

Référence :

Buy Cyber-Secure: Improving Cybersecurity of Procured Combat Systems, Capc Jay Thor Turner, projet de recherche dirigé PR 500, Collège des Forces canadiennes, PCEMI 42, Toronto, Ontario, le 9 mai 2016.

BULLETIN D'INFORMATION

Médaille du service méritoire (États-Unis) – le capc Brennan Blanchfield – DGRGP (Mer)

Le 15 juin 2018 – Le Contre-Amiral Art McDonald a présenté au **Capc Brennan Blanchfield** la médaille du service méritoire pour son service exceptionnel durant sa mutation en tant qu'officier de la production Aegis pour le projet des destroyers de classe *Arleigh Burke* de juillet 2014 à juillet 2017 au centre de construction et réparation de la construction navale à Pascagoula, Mississippi. Le Capc Blanchfield fut reconnu par les Forces armées des États-Unis pour son leadership hors du commun d'une équipe multidisciplinaire de plus de 20 membres ainsi que sa supervision des activités de production pour la construction de six navires de la classe DDG-51. Ses efforts inlassables ont abouti à la réalisation de nombreux jalons critiques dans l'horaire de production des six navires ainsi que l'exécution des essais de construction en deux parties du DDG-113 et des essais de tir. Sa contribution au-delà de notre frontière lui a fait honneur ainsi qu'aux Forces armées canadiennes.



Photo du Pm 2 Duane (Sunny) Gall

Le Capc Blanchfield est présentement l'agent de production au Projet de Navire de soutien interarmées au Détachement à Vancouver.

— Courtoisie SMA(Mat) MATFLASH



Cloche commémorative de la Newfoundland Escort Force

La lieutenant-gouverneure de Terre-Neuve-et-Labrador, Judy Foote, a reçu le 11 septembre la dernière des trois cloches commandées pour commémorer les marins des forces navales alliées, les marins marchands et le personnel de la Force aérienne qui ont perdu la vie en maintenant des lignes de ravitaillement vitales entre l'Amérique du Nord et l'Europe pendant la Seconde Guerre mondiale.

Le dévoilement à la résidence de la lieutenant-gouverneure à St. John's a marqué l'aboutissement d'un projet de 13 ans visant à relier les villes portuaires de St. John's (T.-N.-L.), Halifax (N.-É.) et Londonderry (Irlande du Nord) aux points de cheminement des convois en temps de guerre sous la protection de leurs escortes navales. La cloche de la Newfoundland Escort Force, consacrée le 20 mai dans la cathédrale Saint-Colomba de Derry, à Londonderry, a été donnée à la province de Terre-Neuve-et-Labrador par la section de Londonderry de la Royal Naval Association, représentée par le président **Robert Buchanan** avec d'autres membres et leurs conjoints.

En plus des dignitaires locaux, étaient présents à la cérémonie le **Capf Corey Bursey**, représentant le Haut Commissariat du Canada à Londres, la coordonnatrice de projet, le **Capc (retraité) Pat Jessup** – présidente des RP du Fonds de commémoration de la marine canadienne à but non lucratif responsable de la préservation de la corvette



Photo reproduite avec l'aimable autorisation du Capc (ret.) Pat Jessup

Dévoilant la cloche commémorative de la Newfoundland Escort Force à la résidence de la lieutenant-gouverneure à St. John's (T.-N.-L.) sont : Robert Buchanan (à gauche), Jim Reddy, la lieutenant-gouverneure Judy Foote, et le pilote de bombardier en temps de guerre Arthur Barrett.

NCSM *Sackville* construite en temps de guerre, amarrée à Halifax – le cmdt de *Sackville*, le **Capf (retraité) Jim Reddy**, le pilote de bombardier en temps de guerre de 95 ans **Arthur Barrett** de St. John's, des représentants du club des officiers Crow's Nest à St. John's et d'autres administrateurs qui ont contribué à ce projet commémoratif touchant.





NOUVELLES

L'Association de l'histoire technique de la Marine canadienne

Avec un peu d'aide...

Par Tony Thatcher

Nouvelles de l'AHTMC

Établie en 1997

Président de l'AHTMC

Pat Barnhouse

Directeur exécutif de l'AHTMC

Tony Thatcher

Liaison à la Direction —

Histoire et patrimoine

Michael Whitby

Liaison à la Revue du

Génie maritime

Brian McCullough

**Services de rédaction et
production du bulletin**

Brightstar Communications

(Kanata, ON)

en liaison avec

d2k Graphisme & Web

(Gatineau, QC)

Nouvelles de l'AHTMC est le bulletin non officiel de l'Association de l'histoire technique de la marine canadienne. Prière d'adresser toute correspondance à l'attention de M. Michael Whitby, chef de l'équipe navale, à la Direction histoire et patrimoine, QGDN, 101, Ch. Colonel By, Ottawa, ON K1A 0K2
Tél. : (613) 998-7045
Télec. : (613) 990-8579

Les vues exprimées dans ce bulletin sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement le point de vue officiel ou les politiques du MDN.

www.cntha.ca



Depuis 1992, l'AHTMC se porte bien en tant qu'organisme bénévole composé principalement de retraités qui travaillent à l'appui de la Direction - Histoire et patrimoine (DHP) du ministère de la Défense nationale du Canada. La DHP a un projet en cours pour capturer et préserver l'histoire technique de la Marine royale canadienne, et l'AHTMC est heureuse de pouvoir y contribuer de façon significative dans le cadre de son projet d'histoire orale en cours.

Au fil des ans, nous avons recueilli un grand nombre de témoignages authentiques extraordinaires de la part de personnes qui, dans leur temps, ont travaillé en première ligne pour certaines des réalisations techniques les plus intéressantes de la Marine royale canadienne au cours des 60 dernières années ou plus. Dans la plupart des cas, les renseignements détaillés que nous avons pu recueillir au sujet des circonstances et de la prise de décisions associées aux programmes de navires et d'équipement de la MRC, ainsi qu'à l'infrastructure industrielle de défense qui les appuie, pourraient bien avoir été perdus.

Ce qui est intéressant, c'est que nos marins en mer d'aujourd'hui travaillent avec de l'équipement et des systèmes qui, dans bien des cas, ont évolué directement à partir du travail effectué par les Canadiens et les Canadiennes qui ont fait de nouvelles percées dans tous les domaines de la technologie navale au cours des dernières décennies. Ces gens talentueux n'ont pas simplement adopté l'innovation, ils l'ont incluse dans tout ce

qu'ils ont fait. Cela se poursuit donc avec les membres militaires et civils de l'équipe de la Défense du Canada aujourd'hui.

L'AHTMC a eu la chance de documenter et de préserver de nombreux aspects de l'histoire technique de la MRC pour la DHP et au bénéfice des futurs chercheurs. C'est l'une des meilleures façons de célébrer les réalisations importantes de notre pays dans le domaine des arts techniques maritimes, et cela nous fait plaisir de pouvoir partager cette information sur notre site Web. Aujourd'hui, après plus de 25 ans d'efforts, nous sommes heureux de dire que nous bénéficions d'un soutien extraordinaire du Bureau du directeur général de la Gestion du Programme d'équipement maritime.

Nous aurions besoin d'un peu d'aide de la part de tous nos amis pour que le travail bénévole que nous faisons au nom de tous les Canadiens puisse se poursuivre. À cette fin, nous recherchons quelques nouveaux membres – des sous-ministres, en fait – qui pourraient bientôt prendre les rênes du projet d'histoire orale de l'AHTMC et de la maintenance de notre site Web. Il ne fait aucun doute que ces tâches exigent beaucoup d'attention, mais le travail est gratifiant en ce sens que les importantes leçons orales et écrites des programmes techniques de la Marine royale canadienne continueront d'être préservées pour les générations à venir.

Nous avons hâte d'avoir de vos nouvelles.



Canada