



# Revue du Génie maritime

La Tribune du Génie maritime au Canada



Automne 2023

Chronique spéciale

**Essai de résilience Charpy :**  
une étude de cas pour quantifier les risques  
associés aux spécifications pour les aciers  
entrant dans la fabrication des navires





Photo du Lt Ryan Howden

**Le cours de familiarisation avec le génie maritime de la MRC présente aux nouveaux officiers de marine du service technique la vie à bord des navires et les systèmes avec lesquels ils travailleront en mer.**

**Voir page 4**



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

Commodore Keith Coffen, CD

**Rédacteur en chef**  
Capv Sean Williams, CD  
Chef d'état-major du GPEM

**MDR conseiller éditorial**  
PM 1 Paul Parent, MMM, CD  
Chef d'unité de la DGGPEM

PM 1 Chris Magee, CD  
DSPN 3-3, DGGPEM

**Gestionnaire du projet**  
Ltv Chris Leung

**Directeur de la production  
et renseignements**  
Brian McCullough  
RGM.Soumissions@gmail.com

**Co-rédactrice à la production**  
Jacqueline Benoit

**Conception graphique  
et production**  
d2k Graphisme & Web  
www.d2k.ca

**Revue du Génie maritime  
sur Canada.ca :**  
[https://www.canada.ca/fr/  
ministere-defense-nationale/  
organisation/rapports-publications/  
revue-genie-maritime.html](https://www.canada.ca/fr/ministere-defense-nationale/organisation/rapports-publications/revue-genie-maritime.html)

**Tous les numéros de la Revue  
sont disponibles en ligne au :**  
[https://publications.gc.ca/site/  
fra/9.504251/publication.html](https://publications.gc.ca/site/fra/9.504251/publication.html)

**... et par l'Association  
de l'histoire technique de  
la Marine canadienne :**  
[http://www.cntha.ca/  
publications/m-e-j/](http://www.cntha.ca/publications/m-e-j/)

# Revue du Génie maritime



(Établie en 1982)  
Automne 2023

## Chronique du Commodore

Gestion des risques dans la Marine royale canadienne en tant que responsabilité partagée  
*par le commodore Keith Coffen, CD*..... 2

## Tribune

La phase en mer du cours de familiarisation avec le génie maritime (CFGM)  
*Par le Ltv Ryan Howden* ..... 4

## Chroniques spéciales

Recherche et développement pour la défense Canada (Atlantique) : Énergie de rupture  
à l'ERC dans les spécifications pour les aciers entrant dans la fabrication des navires  
*par Alison Mark, Ph.D.*..... 7

La courbe en baignoire : l'avons-nous bien comprise?  
*par le capc Eric Bertrand* ..... 13

Document de service technique :  
Proposition de remplacement du système d'extinction d'incendie au  
halon 1301 à bord des navires de la classe *Halifax* par un système plus écologique  
*par le Matc A.G. Cleghorn*..... 16

## Bulletin d'information

La structure du groupe professionnel de TECH MAR subira des  
transformations à la suite de consultations ..... 20

Passation du commandement CETM ..... 20

Des apprentis de l'IMF Cape Breton font preuve d'innovation et de  
créativité en concevant un nouveau système ..... 21

## Nouvelles de l'AHTMC

Rétrospective : Exemples de réussite du gouvernement du Canada et  
de l'industrie de la technologie marine  
*par Chris Madsen, Ph.D.* ..... 22



Instrument d'essai Charpy de la section des matériaux de pointe  
et de l'énergie du Centre de recherche de l'Atlantique de  
Recherche et développement pour la défense Canada.

Photo par Alison Mark, RDDCA

La *Revue du Génie maritime* (ISSN 0713-0058) est une publication **non classifiée de l'OTAN** 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. Pour une demande de reproduction, contacter : RGM.Soumissions@gmail.com ou La Revue du Génie maritime, DGGPEM, 101, prom. Colonel By, Ottawa (Ontario) Canada, K1A 0K2.

Pour une demande d'abonnement gratuit, un changement d'adresse ou pour  
annuler un abonnement à la Revue, svp écrire au : RGM.Soumissions@gmail.com.

## CHRONIQUE DU COMMODORE

# Gestion des risques dans la Marine royale canadienne en tant que responsabilité partagée

Par le commodore Keith Coffen, CD

La perte soudaine par implosion du sous-marin civil *Titan* dans l'Atlantique Nord le 18 juin a suscité une importante couverture médiatique au sujet des processus de gestion des risques techniques et de leur prise en compte dans la conception, la construction et le pilotage de ce véhicule marin. Deux jours plus tard, l'écrasement tragique d'un hélicoptère CH-147F Chinook de l'Aviation royale canadienne (ARC) et la perte des deux pilotes près de Petawawa, en Ontario, a une fois de plus mis en évidence les risques auxquels les membres des Forces armées canadiennes (FAC) sont exposés dans le cadre de leur travail.

Je sais, d'après les questions qui ont été soulevées lors de récentes assemblées publiques et de discussions au Conseil de la marine, que la question des risques dans les forces armées n'est jamais loin dans l'esprit des gens, et c'est peut-être le moment de vous faire part de quelques réflexions sur la gestion des risques dans la Marine royale canadienne (MRC).

Nous comprenons tous que le risque est présent dans tous les aspects de notre vie, et j'aime à croire qu'au travail ou à la maison, nous nous efforçons de demeurer vigilants tout en faisant la part des choses. Comme on le sait, les opérations navales comportent certains risques auxquels la plupart des gens ne seront jamais exposés de leur vivant, et les marins – nous tous – acceptent un niveau de risque associé à la vocation qu'ils ont choisie, sachant qu'ils pourraient être en situation de danger. Des cultures de sécurité robustes comme celle qui existe à l'intérieur de la MRC reconnaissent que le risque est toujours présent, prennent des mesures actives pour s'assurer que le risque est aussi faible que raisonnablement possible (AFQRP) et mettent en place des systèmes pour que les leçons apprises servent à perfectionner les processus de gestion des risques chaque fois que c'est nécessaire. Du point de vue du génie naval, je dirais que nous abordons le problème sous deux angles fondamentaux : en fournissant des navires de conception sûre et en veillant à ce qu'ils soient pilotés de manière sécuritaire.

Quiconque a déjà navigué à bord d'un navire de la MRC comprend qu'un niveau impressionnant de sécurité est



Photos par Brian McCullough

L'arsenal d'Halifax

véritablement incorporé à la conception du navire de guerre, laquelle est fondée sur la modélisation structurelle et les calculs techniques éclairés par des décennies, voire des siècles, de données empiriques, et renforcée par l'application de facteurs de sécurité conceptuelle qui fournissent une marge d'erreur entre les conditions telles que conçues et telles que construites – pensez au compartimentage du navire pour le contrôle de l'invasion et de la fumée, à la présence de systèmes redondants, aux systèmes automatiques de surveillance et d'intervention, aux systèmes d'urgence pour la survie et l'intervention en cas d'incident, et bien plus encore.

La marine a également commencé à tirer parti plus directement de l'expérience professionnelle des sociétés internationales de classification maritime pour s'assurer que les navires de la MRC sont sûrs, adaptés à leur usage et conformes à la législation et à la réglementation en vigueur. Les plus récents grands projets de navires de la MRC – navires de patrouille extracôtiers et de l'Arctique, navires de soutien interarmées et navires de combat de surface canadiens – ont fait appel à une société de classification pour assurer une surveillance et une certification indépendantes dans des domaines de risque spécifiques pendant les phases de conception, de construction et de mise en service. Le soutien de la société de classification est également mis à profit pour améliorer la surveillance des anciens navires de la MRC, ce qui fournira un degré

supplémentaire d'assurance matérielle étant donné que bon nombre de ces plateformes sont exploitées au-delà de leur durée de vie prévue à l'origine.

L'exploitation sécuritaire de nos navires de guerre dépend d'un certain nombre de facteurs clés, tant à bord des navires qu'à l'extérieur. Tout, de l'organisation et de l'établissement des États-majors de la Marine et des formations aux installations de maintenance de la Flotte, en passant par nos organisations de formation à terre et en mer, les processus de gestion du cycle de vie et d'assurance du matériel menés par le Directeur général - Gestion du programme d'équipement maritime (DGGPEM), et l'élaboration d'ordres techniques et d'ordres navals des Forces canadiennes – tous ces éléments contribuent à façonner la culture de la MRC dans l'optique d'opérations sécuritaires. Les conditions ne sont jamais idéales; les risques sont toujours présents, mais ils font l'objet de gestion. Pour son volet guerre navale, l'organisation fournit également les dimensions stratégique et tactique de la gestion des risques en choisissant les missions que la MRC entreprendra compte tenu de la posture et de la disponibilité opérationnelle de notre force, en veillant à ce que les équipages soient correctement préparés pour les missions en solo ou le déploiement dans le cadre d'une force plus importante, et en assurant la sécurité de la navigation en mer.

Étant donné que la MRC d'aujourd'hui est au cœur de la plus importante modernisation en temps de paix de son histoire, il y a lieu de s'inquiéter des profils de risque associés aux plateformes opérant à la limite ou au-delà de leur durée de vie prévue utile à l'origine, comme les classes *Halifax*, *Victoria* et *Kingston*. En effet, il y a des défis auxquels nous faisons face, et je pense qu'il est juste de dire que les frégates de la classe *Halifax* reçoivent le plus d'attention, surtout en ce qui concerne l'entretien supplémentaire de troisième échelon.

L'une de nos réponses est que Chantier Davie Canada Inc., un nouveau chantier naval de troisième échelon, a obtenu un contrat pour l'augmentation de notre capacité pendant la période de travail en cale sèche. Des projets sont également en cours de mise en œuvre pour remédier à l'obsolescence des systèmes et accroître la capacité, et cela fait suite à une période importante de « renouvellement des systèmes de combat » dans le cadre des efforts de modernisation de la classe *Halifax* au cours de la dernière décennie. De nouvelles innovations sont constamment appliquées, de la formation et de l'entretien assistés par la réalité augmentée à l'utilisation de techniques de fabrication additive pour certaines réparations, en passant par

l'utilisation future potentielle de l'intelligence artificielle pour prédire les lieux possibles des défaillances futures. Ainsi, même s'il y a certainement des défis de même que certains risques, l'entreprise de génie maritime et de maintenance s'avère capable de suivre le vieillissement de la classe *Halifax* alors que nous cherchons à maintenir les capacités de base de la MRC, et ainsi de réduire les risques supplémentaires pendant la période de transition jusqu'à l'arrivée des nouveaux navires de combat de surface.

Il convient de rappeler que les plateformes militaires peuvent être une source de risque quel que soit leur âge. En 1969, le NCSM *Kootenay* n'était en service que depuis dix ans lorsqu'il a subi une explosion dévastatrice de sa boîte de vitesses, entraînant d'importantes pertes en vies humaines et des blessures parmi le personnel. En 1995, je me suis embarqué à bord du NCSM *Regina* presque neuf alors que l'équipage du navire pleurait encore la perte d'un de ses camarades dans un accident de ravitaillement en mer (REM), et j'ai travaillé directement avec les membres survivants de l'équipe en tant qu'officier de sécurité lors du REM suivant cet incident. En 2004, le NCSM *Chicoutimi*, nouveau venu au Canada a été victime d'un incendie lors de son voyage inaugural au Canada, au cours duquel un collègue sous-marinier et ami a perdu la vie, et plusieurs autres ont été blessés. Et qui pourrait oublier l'écrasement, le 29 avril 2020, d'un hélicoptère CH-148 Cyclone encore tout neuf dans la mer Ionienne qui a coûté la vie à six membres des FAC, dont un d'eux qui était officier technique de la marine. Si nous devons être vigilants quant aux profils de risque de nos anciennes plateformes, nous ne pouvons pas nous permettre de nous focaliser sur un ensemble particulier de risques tout en étant aveugles à d'autres, en particulier lorsque des plateformes nouvelles et moins familières sont ajoutées à la flotte.

Mon dernier point à ce sujet est que la gestion des risques est une responsabilité partagée, et non pas quelque chose qui est « exécuté » par la haute direction ou quelqu'un d'autre. Nous avons tous un rôle à jouer. Une gestion des risques efficace commence fondamentalement par le meilleur apprentissage de nos métiers respectifs, sur le plan tant individuel que collectif. Cela signifie que nous devons comprendre les principes de fonctionnement des machines et des systèmes avec lesquels nous travaillons, respecter les exigences d'entretien, nous tenir au courant des procédures opérationnelles normalisées (et les appliquer), nous préparer par la formation et la pratique à intervenir en cas d'urgence, et, ce qui est peut-être le plus

(Suite à la page suivante...)

(Suite de la page précédente)

important, inculquer des normes élevées aux marins que nous formons. Lorsque nous observons des problèmes que nous ne sommes pas en mesure de résoudre, une gestion efficace des risques exige que nous les signalions à quiconque dispose des solutions nécessaires. C'est seulement lorsqu'un problème ne peut être résolu en raison de contraintes de temps ou de ressources que le « processus de gestion des risques », comme nous l'appelons, devrait intervenir; nous communiquons alors le problème et les risques qui y sont associés, tout en envisageant les mesures que nous pouvons prendre pour les atténuer et en nous assurant que les risques résiduels sont approuvés comme tels au bon niveau.

À ce sujet, chaque marin doit lire les ordres de marine (OMAR) 3001-0, Gestion des risques du matériel naval en service – Politique et Gestion des risques du matériel naval en service – Processus 3001-1, et C-23-005-001/AG-002, Gestion des risques liés au matériel naval. De plus, chaque sous-marinier ou aspirant sous-marinier doit lire les OMAR 1150-0, SUBSAFE - Programme de sécurité des sous-marins, 1150-1, SUBSAFE – Processus de sécurité des sous-marins et 1150-3, SUBSAFE – Système de gestion

des risques des sous-marins, et C-20-VIC-000/AG-001, Gestion et certification du matériel dans les sous-marins – classe *Victoria*. Ensemble, ces ordres décrivent les processus utilisés par la MRC et le Groupe des matériels pour s'assurer que le risque est défini, communiqué, évalué, atténué et géré aux bons niveaux de l'organisation, que les plateformes navales soient anciennes ou nouvelles.

Alors que nous terminons ce qui, je l'espère, a été un été reposant pour vous et les vôtres, réfléchissons ensemble à la meilleure façon de veiller à ce que les risques dans nos domaines personnels et professionnels soient maintenus au niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre à tout moment, afin de garantir la sécurité et le bien-être des personnes qui nous sont les plus chères – la famille, les amis et les camarades de bord. Comme toujours, je suis confiant dans notre capacité collective à relever nos défis et je suis reconnaissant envers la communauté technique navale pour sa résilience, son adaptabilité, sa force d'âme et son esprit d'initiative, dont elle fait preuve quotidiennement en fournissant des services vitaux à la MRC et au Canada.



## TRIBUNE

# La phase en mer du cours de familiarisation avec le génie maritime (CFGM)

Article et photos du Ltv Ryan Howden

Les parcours professionnels uniques des officiers de marine du service technique (OMST) sont le résultat de leurs expériences et cheminements variés tout au long de leur carrière. Mais tous ou presque commencent leur formation technique par le cours de familiarisation avec le génie maritime (CFGM) aux Écoles navale. D'une durée de trois mois, le CFGM est la première étape de la longue formation qu'ils devront suivre pour devenir OMST. Son but est de présenter aux étudiants les nombreux systèmes d'ingénierie à bord des frégates de la classe *Halifax* de la MRC.

Le cours de l'an dernier, qui s'est déroulé d'octobre à décembre 2022, a permis à 20 futurs OMST d'horizons différents de franchir cette première étape importante de

leur carrière technique. En novembre, les étudiants ont pu monter à bord du NCSM *Montréal* (FFH-336) et passer quelques semaines en mer. Pendant leur séjour, ils ont pu voir les équipements qu'ils avaient étudiés et discuter avec les ingénieurs et les techniciens du navire. Pour beaucoup, cette première fois en mer a fait figure d'apprentissage sur la vie à bord d'une unité en mer.

Le CFGM mêle à la théorie des démonstrations pratiques pour enseigner aux étudiants comment les différents systèmes à bord du navire fonctionnent ensemble pour « créer » un navire de guerre. Le cours offre une rare occasion aux étudiants qui s'orienteront vers le génie des systèmes maritimes ou le génie des systèmes de combat d'en apprendre davantage sur le rôle de leurs homologues.

Le cours de familiarisation avec le génie maritime commence en classe, où des OMST expérimentés présentent aux stagiaires 12 différents systèmes :

*Systèmes maritimes :*

- Propulsion principale et ligne d'arbre
- Système principal de lubrification
- Services de carburant
- Système de direction
- Production et distribution d'électricité
- Système de gestion intégrée de plateforme

*Systèmes de combat :*

- Radars
- Communications
- Systèmes de navigation
- Système de gestion des opérations de combat
- Système de contrôle des tirs
- Enveloppe des armes et des capteurs

Par la suite, les élèves ont eu l'occasion de faire une visite guidée de ces systèmes à bord d'un navire amarré. Le cours prévoit une phase en mer, qui a dû être annulée pendant plusieurs années pour diverses raisons. Merci encore au capitaine et à l'équipage du NCSM *Montréal*, qui a gentiment accueilli nos étudiants à bord en novembre. En raison d'un manque de lits, la classe a été divisée en deux, ce qui a permis à tout le monde de passer environ deux semaines à bord du navire. Pour la plupart des étudiants, s'habituer à la vie en mer a pris un certain temps, surtout lorsque les vagues faisaient tanguer le navire, entraînant des sensations de malaise pour certains. Mais la plupart ont fini par s'adapter après quelques jours en mer.

Une journée type pour les étudiants commençait par des quarts dans la salle des machines, la salle des opérations et le pont, leur permettant ainsi d'acquérir des connaissances à la fois auprès des opérateurs et des techniciens, de comprendre le rôle de tous les systèmes à bord et d'observer les responsabilités quotidiennes du personnel. L'après-midi, des techniciens et des ingénieurs expliquaient aux étudiants les différents systèmes d'ingénierie. Le soir, les étudiants faisaient des exercices pratiques et répondaient aux questions des ingénieurs à bord.

En parallèle du programme prévu, les étudiants ont pu observer et participer à d'importantes opérations du navire, comme les ravitaillements en mer, l'assistance à l'équipe des



opérations pendant les exercices et les tirs d'armes. Ils ont également eu l'occasion de voir de plus près l'entretien nécessaire avant et après un tir d'arme. Cela leur a permis d'acquérir des connaissances pratiques sur les systèmes et de vivre une expérience à bord d'un navire.

Le premier groupe d'étudiants a quitté Halifax le 1<sup>er</sup> novembre et a eu la chance de naviguer au sein d'un groupe opérationnel de l'OTAN comprenant des navires français, espagnols, danois, allemands et américains, avec le tout dernier porte-avions américain, l'USS *Gerald R. Ford* (CVN-78). Ce fut l'occasion de voir comment notre marine interagit avec nos alliés et d'acquérir une véritable expérience opérationnelle. Au début du séjour, le navire a organisé une cérémonie du jour du Souvenir sur le pont d'envol, l'occasion de repenser à la raison pour laquelle nous faisons ce métier.

Après deux semaines de navigation, le NCSM *Montréal* a atteint Cardiff, au pays de Galles. Pour beaucoup, cette

*(Suite à la page suivante...)*

toute première arrivée dans un port était exaltante. Nous en avons profité pour lâcher prise et visiter Cardiff. Situé en plein cœur de la ville, le château de Cardiff est impressionnant. Puis les étudiants sont rentrés à Halifax par avion, tandis que le deuxième groupe a pris le relais sur le navire.

Le deuxième groupe était plus expérimenté, et comprenait deux étudiants qui avaient déjà servi. En quittant Cardiff le 18, ce groupe a effectué des quarts, des visites guidées et des exercices pratiques, comme l'avait fait le premier groupe. Lorsque le navire a accosté aux Açores pour faire le plein, tous les élèves ont participé au ravitaillement. La suite du voyage vers Halifax a été marquée par d'autres exercices opérationnels, comme des tirs d'armes et des divertissements tels que le tournoi de golf « Mar Tech Open » qui s'est déroulé sur des parcours miniatures sur le navire, ainsi qu'un barbecue sur le pont d'envol. Ce deuxième groupe n'a certes pas eu la chance de naviguer avec un groupe opérationnel, mais il a pu constater que la vie en mer est parfois douce et que les occasions de s'amuser et de tisser des liens sont nombreuses.

À leur retour à Halifax, les étudiants étaient heureux de retrouver la terre ferme, même s'ils ont adoré leur expérience et qu'ils ont hâte de participer à leur prochaine sortie en mer en tant que stagiaires de la phase VI.

La phase en mer n'aurait pas connu autant de succès sans le formidable accueil de l'équipage du *Montréal* et de ses ingénieurs. Mention spéciale aux personnes suivantes : **Ltv Connor Hoekstra, Ltv Chris Quigley, Ltv Chris Chang et l'Ens 1 Nathan Sherwood.**

En tant qu'officier chargé de la formation, j'ai eu le privilège de voir l'excellent travail de ces étudiants porter



leurs fruits, avec une amélioration constante de leurs connaissances et de leurs présentations au fur et à mesure de la navigation. Les évaluations finales des étudiants ont eu lieu en décembre 2022, et l'étendue de leurs connaissances était impressionnante. Je suis convaincu que cette phase en mer leur a été extrêmement bénéfique et leur servira dans leur carrière d'OMST.

Je crois que l'inclusion d'une phase en mer dans le CFGM est importante, car elle permet non seulement d'acquérir une expérience pratique des systèmes techniques, mais aussi des connaissances concrètes sur la façon dont un navire fonctionne en mer. Cela s'avère extrêmement utile pour ceux qui occuperont des postes de phase VI, de sous-chef de section et de chef de section.



*Le Ltv Ryan Howden est officier du cours destiné aux OMST et instructeur pour le cours de familiarisation en génie naval à l'École navale de l'Atlantique à Halifax (N.-É.).*



## CHRONIQUE SPÉCIALE

## Recherche et développement pour la défense Canada (Atlantique) : Énergie de rupture à l'ERC dans les spécifications pour les aciers entrant dans la fabrication des navires

Par Alison Mark, Ph.D.

À mesure que les navires vieillissent et que les marges se réduisent, les méthodes probabilistes ou de fiabilité pour analyser les structures et les matériaux des plateformes suscitent de plus en plus d'intérêt auprès des propriétaires et des exploitants de navires. La nécessité croissante d'effectuer des analyses coûts-avantages plus élaborées en raison du vieillissement des navires, de la pression sur les budgets et des préoccupations environnementales, associée au coût relativement faible de la puissance statistique, fait de la quantification des risques un investissement judicieux.

Les méthodes traditionnelles du génie structural utilisent généralement des coefficients de sécurité pour s'assurer que la résistance d'une structure est plus que suffisante pour supporter ses charges. Les incertitudes présentes des deux côtés de cette équation sont gérées en ajustant l'importance du coefficient de sécurité. Les méthodes probabilistes intègrent l'incertitude sur chaque valeur requise pour calculer la résistance et la charge dans l'analyse. Les analyses probabilistes demandent plus de travail, mais fournissent des indicateurs basés sur le risque au concepteur et au décideur [1, 2].

Cet article présente une étude de cas dans laquelle une analyse probabiliste de base a été appliquée pour évaluer les spécifications de ténacité de l'acier utilisé en construction navale.

### Contexte

Les spécifications des matériaux assurent que ces derniers répondront aux exigences de la conception. Les navires sont conçus pour fonctionner et transporter en toute sécurité un équipage dans diverses conditions (p. ex. types et amplitudes de charges, températures), et la conception repose sur l'hypothèse que les matériaux utilisés auront certaines propriétés (résistance, ténacité, etc.). La ténacité est nécessaire pour éviter toute défaillance du navire causée par des fissures rapides qui le fragilisent.

La ténacité des matériaux peut être mesurée de plusieurs façons. Les essais de résilience Charpy sont rapides et relativement faciles à réaliser. Les essais de ténacité, assez courants dans les laboratoires de recherche, sont plus complexes à mettre en place et à analyser. Les essais de déchirement dynamique en tour de chute se situent entre les deux en matière de complexité, mais nécessitent un équipement spécial, dont seuls quelques exemplaires sont disponibles au Canada. Le laboratoire de l'énergie et des matériaux de pointe de RDDC (Atlantique) à la BFC Halifax est équipé pour effectuer ces trois types d'essais pour la MRC.

La figure 1 montre un appareil d'essai de résilience Charpy et une éprouvette du matériau mis à l'essai, soit un barreau carré de 10 mm d'épaisseur et de 50 mm de long,

(Suite à la page suivante...)

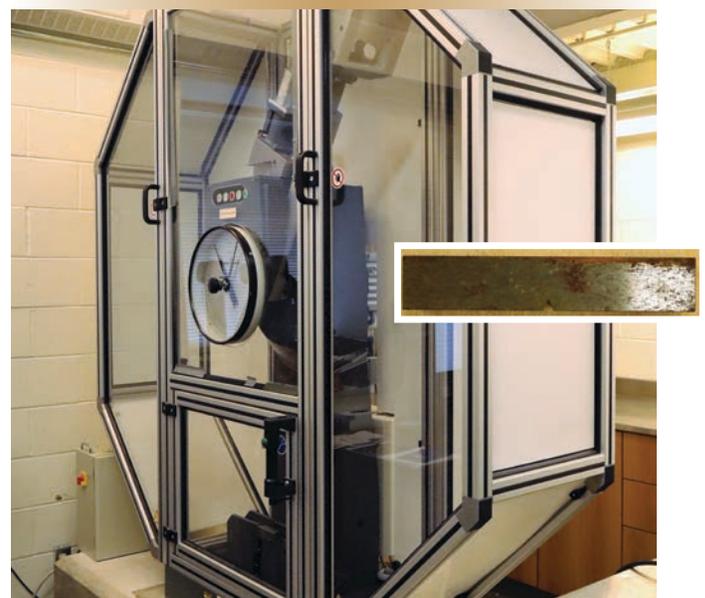


Figure 1. Instrument d'essai Charpy du laboratoire des matériaux de pointe et de l'énergie du Centre de recherche de l'Atlantique de Recherche et développement pour la défense Canada. Encadré : Éprouvette Charpy.

avec une entaille légèrement tranchante en son milieu. L'essai de résilience Charpy mesure l'énergie nécessaire pour fracturer cette éprouvette relativement petite avec son entaille préexistante (amorce de fissure) sous une charge d'impact à taux élevé. Tous ces facteurs (taille de l'éprouvette, netteté de la fissure et taux de charge) ont une incidence sur le comportement de rupture d'un matériau. Une éprouvette de plus grande taille avec une entaille plus nette soumise à un taux de charge plus élevé a tendance à être plus fragile.

La figure 2 montre une éprouvette CT (*compact tension*) encastrée dans un cadre de charge pour mener des essais de ténacité (p. ex. des essais de propagation des fissures). Les essais de ténacité utilisent des éprouvettes dont l'épaisseur est contrôlée, ainsi que des amorces de fissure nettes et des taux de chargement faibles, pour mieux reproduire les conditions à bord d'un navire. Les essais de ténacité sont conçus pour fournir des paramètres sur les matériaux pouvant être utilisés pour prédire le comportement de la propagation des fissures en situation réelle.

La tour de chute du laboratoire de l'énergie et des matériaux de pointe (figure 3) est un dispositif d'essai par impact qui utilise une éprouvette de forme similaire au barreau Charpy, mais plus grand (environ 16 x 40 x 180 mm). Elle peut être utilisée pour des essais basiques



Figure 2. Éprouvette TC avec des fixations en étrier spéciales et des jauges de déformation, et instrument de charge hydraulique utilisé pour les essais de ténacité. Encadré : Éprouvette TC.

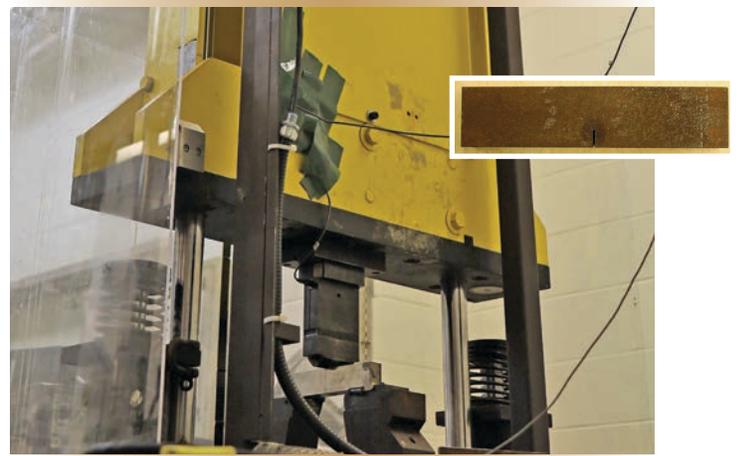


Figure 3. Tour de chute du laboratoire de l'énergie et des matériaux de pointe du Centre de recherche de l'Atlantique de RDDC. Encadré : Éprouvette de déchirement dynamique.

d'aspect de rupture, qui reposent sur l'analyse des surfaces de rupture des barreaux testés afin de distinguer le comportement fragile du comportement ductile. Elle peut également être équipée d'instruments et utilisée pour mesurer l'énergie de déchirement dynamique, qui représente la résistance d'un matériau à la propagation rapide d'une fissure [3].

Tous les essais fournissent des valeurs d'énergie ou de ténacité, mais ce qui est encore plus pertinent, c'est de comprendre comment ces valeurs évoluent en fonction de la température.

La ténacité de l'acier est fortement influencée par la température. Le comportement ductile domine à des températures élevées, tandis que le comportement fragile domine à des températures basses. La relation entre l'énergie de rupture et la température se décrit généralement par une courbe en « S », comme le montre la figure 4. Pour de nombreux aciers, à des températures

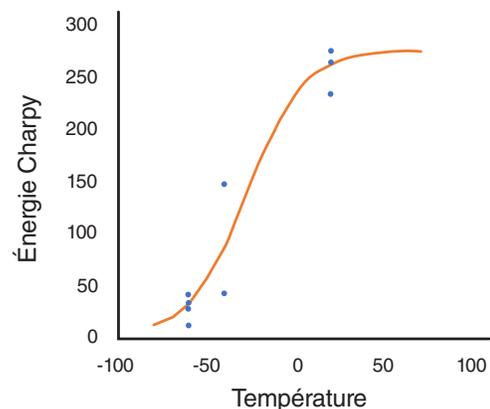


Figure 4. Courbe en S ERC-température pour les aciers au carbone-manganèse. Figure retracée selon les données du point [4].

élevées, le comportement est entièrement ductile et l'énergie de rupture plafonne à ce qu'on appelle l'énergie en palier supérieur. À mesure que la température diminue, le comportement devient plus fragile et l'énergie d'impact diminue jusqu'à atteindre un palier de comportement inférieur complètement fragile. La notion de température de transition est un concept utile, généralement défini comme la température à laquelle le comportement du matériau passe principalement de ductile à fragile à mesure que la température diminue. Il ne faut toutefois pas oublier que la valeur de la température de transition dépend de l'essai utilisé pour la déterminer. En raison des différences de comportement de l'acier selon les conditions d'essai, la température de transition de l'énergie Charpy, déterminée à partir des essais Charpy, diffère de la température de transition de la ténacité lors des essais de propagation des fissures. De nombreuses recherches ont été consacrées à l'étude et à la tentative de prédire la relation entre les différentes températures de transition pour les aciers.

En raison de la simplicité des essais de résilience Charpy, les valeurs de l'ERC (essai de résilience Charpy) sont fréquemment employées pour définir les spécifications de ténacité des aciers. Les limites de l'ERC pour les aciers utilisés en construction navale sont généralement attribuables à une étude majeure sur les défaillances des navires, réalisée pendant la Seconde Guerre mondiale. L'étude a examiné de nombreux types d'acier utilisés sur des navires de l'époque. Les essais de rupture à l'ERC ont été effectués à différentes températures et les données ont été combinées aux résultats sur les défaillances en service de ces mêmes aciers. Les données ont été utilisées pour déterminer les énergies de rupture à l'ERC et les températures qui correspondaient à un comportement « sécuritaire » en service. Les résultats de la recherche indiquent que le début des fractures en service était peu probable si la température de fonctionnement était supérieure à la température avec une ERC de 20 J pour l'acier, et que les fissures avaient tendance à se stabiliser au-dessus de la température avec une ERC de 27 J [5]. Ces résultats ont conduit à l'idée d'utiliser des associations d'ERC et de température dans les spécifications des aciers. L'acier doit présenter une ERC d'une certaine valeur (généralement 27 J), mesurée à une température inférieure à la plus basse température de fonctionnement du navire. L'objectif était de s'assurer que le matériau fonctionnera dans sa zone ductile, c'est-à-dire que sa température de fonctionnement demeurera supérieure à la température de transition ductile-fragile.

La relation entre l'énergie Charpy et le comportement de fissuration, établie à partir de l'étude sur les aciers utilisés pendant la guerre, a servi de fondement pour utiliser les énergies Charpy dans les spécifications des aciers; cependant, les valeurs spécifiques utilisées dépendent de l'acier et de l'application. Par exemple, la MRC a depuis longtemps spécifié trois associations ERC-température dans ses spécifications pour les aciers où une ténacité élevée est requise. La relation entre l'énergie Charpy et la ténacité n'est ni simple ni prévisible d'un point de vue théorique, et, à mesure que les aciers se sont améliorés, de nombreuses initiatives ont vu le jour pour continuer de collecter des données et d'établir des relations empiriques entre diverses valeurs de ténacité.

## La question

Comme mentionné précédemment, la MRC spécifie trois associations ERC-température pour les aciers à haute ténacité; elle opte également pour l'utilisation de règles de classe pour certains navires, comme le Lloyd's Register (LR), qui pourtant ne spécifient qu'une seule association ERC-température. La question suivante a donc été posée : compte tenu des connaissances actuelles sur les relations de ténacité des aciers, quel est l'intérêt de connaître une seule valeur d'énergie Charpy, contre trois, sur la prédiction et la compréhension du comportement de ténacité d'un acier utilisé en construction navale?

## Analyse

La complexité dans la prédiction de la ténacité à partir des valeurs d'énergie Charpy découle en partie de la difficulté à mesurer la ténacité elle-même; les mesures en laboratoire sont sensibles à la taille de l'éprouvette et à la température, entraînant une variation importante des résultats. Des recherches intensives ont été menées sur de grands ensembles de données pour déterminer les tendances. Il en ressort qu'il existe une forme commune à la relation entre la température et une ténacité de référence (à une certaine épaisseur) pour une grande variété d'aciers [5]. Le concept de courbe maîtresse a été élaboré. Il s'agit d'un graphique de la ténacité de référence par rapport à la température relative,  $T-T_0$ , où  $T_0$  correspond à la température juste au-dessus du palier inférieur totalement fragile.  $T_0$  est couramment utilisée comme température de transition de la ténacité. Si  $T_0$  peut être déterminée pour un acier spécifique, la courbe maîtresse peut être fixée sur l'axe de température, et la ténacité de référence peut alors être déterminée sur une plage de températures. En connaissant

*(Suite à la page suivante...)*

l'épaisseur de la pièce, sa ténacité peut être prédite à partir de la ténacité de référence. Les variations dans les données sont reflétées par les valeurs d'incertitude, intégrées dans les relations de prédiction.

Les recherches portant sur la corrélation entre la température de transition Charpy et T<sub>0</sub> pour la même gamme d'aciers ont également abouti à des conclusions [5]. La température TC<sub>27J</sub> a été choisie pour représenter la température de transition Charpy, car elle correspond à un point sur la courbe de transition Charpy similaire à la température T<sub>0</sub> sur la courbe maîtresse. TC<sub>27J</sub> est la température à laquelle l'énergie Charpy est de 27 J. Une équation a été élaborée pour permettre de prédire la température T<sub>0</sub> à partir de TC<sub>27J</sub> lorsque la limite d'élasticité et l'énergie Charpy en palier supérieur sont également connues. Là encore, la variation des données se retrouve dans les valeurs d'incertitude.

Pour répondre à la question posée sur l'intérêt de spécifier trois associations ERC-T par rapport à une seule, ces relations ont été utilisées dans une analyse probabiliste pour estimer la température moyenne de transition de la ténacité ainsi que son incertitude à partir des données sur l'énergie de résilience. Les résultats ont été comparés pour trois ensembles de données d'ERC d'entrée : a) des données d'ERC mesurées à trois températures, b) trois associations ERC-température (comme dans les spécifications de la MRC), et c) une association ERC-température (comme dans les spécifications des règles de classe). Une description plus détaillée des calculs se trouve dans un rapport de RDDC intitulé « On the use of Charpy impact energy in specifications for naval steels » [7].

Pour effectuer une analyse probabiliste, les incertitudes des valeurs d'entrée doivent être connues ou estimées. Dans cette étude, toutes les valeurs ont été considérées comme étant normalement distribuées et représentées par une valeur moyenne, avec une marge d'erreur égale à l'écart-type (qui reflétait l'incertitude). Cela traduit la variabilité des données chaque fois qu'un matériau est mesuré. Par exemple, la limite d'élasticité d'un acier peut être de 350 MPa; mais si 100 mesures étaient effectuées, les valeurs varieraient plus ou moins et la limite d'élasticité serait indiquée comme étant de 350 ± 18 MPa, par exemple. Les écarts-types des valeurs d'entrée ont été déterminés à partir de la littérature ou par calcul à l'aide des ensembles de données pertinents.

La **première étape** consistait à déterminer la température de transition Charpy (TC<sub>27J</sub>) à partir des données de l'ERC, ce qui a été fait de deux manières :

Pour les cas comportant plusieurs points de données, cela a été réalisé en ajustant une courbe aux données de l'ERC en fonction de la température, puis en calculant TC<sub>27J</sub> à l'aide de l'équation de la courbe. L'incertitude de la valeur TC<sub>27J</sub> obtenue par ajustement de la courbe a été déterminée à l'aide d'équations relatives à l'incertitude de la procédure d'ajustement.

Lorsqu'un seul point de données ERC était disponible, TC<sub>27J</sub> était estimée en utilisant une relation générale qui donne une estimation prudente de la température de transition fondée sur une seule valeur d'ERC et la température à laquelle elle a été mesurée, la limite d'élasticité de l'acier et l'ERC en palier supérieur de l'acier. Lorsque l'ERC en palier supérieur n'était pas connue, elle était estimée à deux fois l'ERC mesurée la plus élevée pour l'acier. L'incertitude de TC<sub>27J</sub> dans ce cas a été déterminée par la méthode de Monte-Carlo [9]. En utilisant les distributions (moyennes et écarts-types) des valeurs des paramètres d'entrée, TC<sub>27J</sub> a été calculée environ 100 000 fois avec différentes valeurs d'entrée sélectionnées aléatoirement provenant de leurs distributions respectives. Cela a généré un ensemble de valeurs TC<sub>27J</sub>, qui a été ajusté à une distribution normale, fournissant ainsi une moyenne et un écart-type (utilisé comme incertitude) pour TC<sub>27J</sub>.

La **deuxième étape** consistait à calculer la température de transition de la ténacité (T<sub>0</sub>) à partir de TC<sub>27J</sub> :

Cela a été réalisé en utilisant la relation entre T<sub>0</sub> et TC<sub>27J</sub>, qui dépend de la limite d'élasticité et de l'ERC en palier supérieur. L'écart-type pour T<sub>0</sub> calculé avec cette équation est indiqué dans la littérature comme étant de 18 °C [5]; cette valeur a été obtenue lors de l'élaboration de l'équation.

Les données ERC d'entrée sont présentées dans les tableaux 1 à 3.

	Température [°C]	Valeur moyenne [J]	Écart-type [J]
ERC	20	259	21,2
	-40	69	74,1
	-60	29	12,7

Tableau 1. Données d'entrée pour le cas a) données ERC mesurées à trois températures [4].

	Température [°C]	Valeur moyenne [J]	Écart-type [J]
ERC	20	60	18
	-40	40	12
	-60	20	6

Tableau 2. Données d'entrée pour le cas b) trois associations ERC-température.

	Valeur moyenne	Écart-type
ERC [J]	40	12
Température [°C]	-40	2

Tableau 3. Données d'entrée pour le cas c) une association ERC-température.

## Résultats

Les distributions d'ERC et de température de transition de la ténacité calculées dans les trois cas sont présentées dans le tableau 4.

	TC27J [°C]	T0 [°C]
Cas a)	-64,7 ± 10	-108,9 ± 18
Cas b)	-57,3 ± 10	-96,8 ± 18
Cas c)	-42,3 ± 10	-86,5 ± 18

Tableau 4. Températures de transition calculées.

Étant donné que l'objectif des spécifications de ténacité est de garantir que l'acier demeure dans sa plage de comportement ductile, quelle que soit la température de fonctionnement, la température de transition doit être inférieure à la température de fonctionnement la plus basse de l'acier. Ici, pour chaque cas, la distribution des températures de transition possibles, représentée par la moyenne plus ou moins l'écart-type, a été comparée à une température de fonctionnement minimale de -40 °C [10]. La probabilité que la température de transition soit effectivement supérieure à la température de fonctionnement minimale a été déterminée. La figure 5 illustre cette comparaison. La distribution de la température de transition est représentée par la courbe, et la probabilité que la température de transition soit supérieure à la température de fonctionnement minimale définie est représentée par la zone sous la courbe en rouge. La valeur se trouve dans les tableaux standard [9]. Les résultats sont présentés dans le tableau 5.

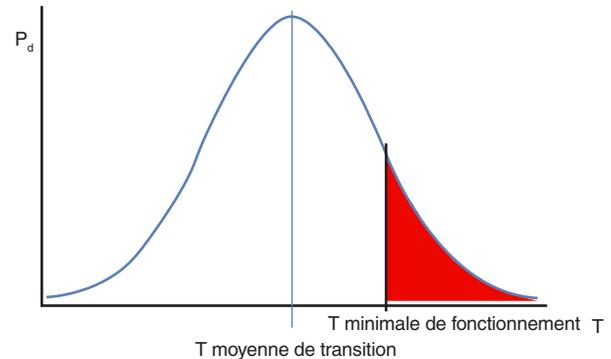


Figure 5. Schéma montrant la moyenne et la distribution de la température de transition par rapport à la température de fonctionnement minimale. La probabilité que la température de transition soit supérieure à la température de fonctionnement est représentée par la zone rouge.

	TC27J [°C]	Probabilité	T0 [°C]	Probabilité
Cas a)	-64,7 ± 10	0,7 %	-108,9 ± 18	~0
Cas b)	-57,3 ± 10	4,2 %	-96,8 ± 18	0,1 %
Cas c)	-42,3 ± 10	40,9 %	-86,5 ± 18	0,5 %

Tableau 5. Résultats des calculs probabilistes de TC27J et T0, et probabilités que chaque température de transition soit supérieure à une température de fonctionnement de -40 °C.

## Résumé

L'objectif des spécifications de ténacité de l'acier est de s'assurer que l'acier d'un navire est suffisamment solide pour résister en toute sécurité aux charges et aux conditions qu'il subira. Pour ce faire, la température de transition de la ténacité de l'acier doit être inférieure à la température de fonctionnement minimale du navire. Dans cette analyse, la température de transition de la ténacité, T0, a été utilisée comme température de transition, calculée à partir des données de l'ERC.

Que T0 soit estimée à partir de trois valeurs à différentes températures ou une valeur à -40°C, les résultats montrent que, pour des données représentatives d'aciers utilisés en construction navale (y compris les valeurs limites des spécifications), la température moyenne de transition de la ténacité est bien inférieure à la température de fonctionnement minimale. Les calculs montrent également que l'utilisation d'une seule valeur d'ERC est plus prudente, ce qui conduit à une estimation d'une température de transition plus élevée. Cela fait partie intégrante de la méthode de calcul; les relations sont conçues pour donner des résultats prudents en présence de données d'entrée considérées comme moins favorables.

(Suite à la page suivante...)

L'avantage de spécifier trois valeurs d'ERC, plutôt qu'une, transparaît dans les valeurs calculées de TC27J. Bien que les essais de ténacité soient plus représentatifs de la plupart des situations réelles de fissuration, l'idéal serait que la température de transition Charpy soit également inférieure à la température de fonctionnement. Pour le cas c), avec une association ERC-température spécifiée, les résultats montrent une probabilité significative que ce ne soit pas le cas.

L'avantage de l'analyse probabiliste est qu'une valeur quantitative est attribuée à l'incertitude du résultat. L'avantage d'avoir des données de qualité et en grand nombre sur les matériaux peut également être quantifié. Des analyses de sensibilité peuvent être facilement réalisées pour déterminer où les efforts de caractérisation des propriétés des matériaux permettront au mieux de réduire les risques. Les mêmes méthodes probabilistes peuvent être appliquées aux analyses de limites de charge, aux calculs de propagation des fissures et à d'autres domaines encore.

Les futures recherches dans ce domaine qui auront lieu au sein du laboratoire de l'énergie et des matériaux de pointe de RDDC porteront sur la mécanique de la rupture, les évaluations des défauts et les calculs de croissance des fissures. L'objectif est de fournir des données quantifiées sur les risques afin d'éclairer les décideurs de la MRC.



*Alison Mark, Ph.D., est une scientifique de la défense à Recherche et développement pour la défense Canada (Atlantique). Elle travaille à la section des matériaux de pointe et de l'énergie (TEA) de la BFC Halifax (N.-É.).*

## Références

- [1] Raynaud, P., Kirk, M., Benson, M. et Homiack, M. (2018), Important Aspects of Probabilistic Fracture Mechanics Analyses (Technical Letter Report TLR-RES/DE/CIB-2018-01), Office of Nuclear Regulatory Research, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C., États-Unis.
- [2] Pegg, N. (1995), The Application of Structural Reliability Methods to Submarine Pressure Vessels, R & D pour la défense Canada – Atlantique, Mémoire technique, RDDC Atlantique MT 1995-223.
- [3] ASTM International (2011), Standard Test Method for Dynamic Tear Testing of Metallic Materials (ASTM E604-83), ASTM International, West Conshohocken, Penn., États-Unis.
- [4] Bayley, C. et Sterjovski, Z. (2012), Hull Toughness Considerations for Naval Surface Platforms (présentation), R & D pour la défense Canada – Atlantique, Discussion technique, Centre de recherche de l'Atlantique.
- [5] Wallin, K. (2011), Fracture Toughness of Engineering Materials, Warrington, R.-U. : Éditions EMAS.
- [6] Wikimedia (2006), Tanker *Schenectady* (en ligne), Wikipédia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TankerSchenectady.jpg> (Date d'accès : 2 déc. 2022).
- [7] Mark, A.F. (2022), On the use of Charpy impact energy in specifications for naval steels (DRDC-RDDC-2022-L278), Recherche et développement pour la défense Canada, Centre de recherche de l'Atlantique.
- [8] Cattan, J. (1996), Statistical Analysis of Charpy V-Notch Toughness for Steel Wide Flange Structural Shapes, *Modern Steel Construction*, 5, pp. 38-43.
- [9] Melchers, R. et Beck, A. (2018), Structural Reliability Analysis and Prediction, Hoboken, N.J., États-Unis : John Wiley & Sons Ltd.
- [10] Ministère de la Défense nationale (2007), Qualification environnementale des équipements destinés à être utilisés sur des navires de combat en surface (Rapport technique D-03-010-000/SG-001), Défense nationale, Canada.

## Soumissions à la Revue

La *Revue* fait bon accueil aux articles non classifiés en anglais ou en français. Afin d'éviter le double emploi et de veiller à ce que les sujets soient appropriés, nous conseillons fortement à tous ceux qui désirent nous soumettre des articles de communiquer avec le Directeur de la production, [RGM.Soumissions@gmail.com](mailto:RGM.Soumissions@gmail.com), avant de nous faire parvenir leur article.

## CHRONIQUE SPÉCIALE

## La courbe en baignoire : l'avons-nous bien comprise?

Par le capc Eric Bertrand

*Illustrations de l'auteur sauf indication contraire.*

La courbe en baignoire est un diagramme de référence utilisé pour illustrer la fiabilité et la maintenance d'un système au fil du temps. Comme le montre la figure 1, la courbe en baignoire se compose de trois phases : le démarrage ou la mise en service; le fonctionnement normal; et la fin de vie. Malheureusement, c'est à ce stade que la plupart des modèles de fiabilité et des enseignements sur la fiabilité des systèmes prennent fin. On en parle dans le cours de familiarisation avec le génie maritime (CFGM), ainsi que dans plusieurs autres cours techniques, sans toutefois approfondir l'analyse ou l'étude de la courbe elle-même. Cette théorie est pourtant appliquée tout au long des cycles de maintenance de nos plateformes navales sans tenir compte du fait qu'il pourrait y avoir des hypothèses sous-jacentes.

Comme l'indique la figure 2, la courbe en baignoire possède trois causes fondamentales : les défaillances lors de la période de rodage qui diminuent avec le temps, les défaillances aléatoires qui se produisent de temps à autre au fil du temps, et les défaillances dues à l'usure qui augmentent avec le temps. Quand on additionne ces trois composantes, on se retrouve à peu près avec une courbe en baignoire classique.

Le problème est que les parties de cette courbe ne sont pas aussi bien équilibrées dans le secteur de la maintenance des navires que dans les figures 1 ou 2. Pour les courbes propres à chaque navire, nous avons une courbe qui ressemble très peu à celle d'une baignoire, avec pratiquement aucun niveau stable d'utilisation. Les recherches issues de sources ouvertes, ainsi que les mesures de la Gestion du programme d'équipement maritime (GPEM) et de la Marine royale canadienne (MRC), montrent que la période de rodage est objectivement faible et a tendance à ne toucher de façon significative que les premiers navires d'une classe. Heureusement, les défaillances à l'état stable sont maîtrisées et gérées par des plans de maintenance préventive fondés sur l'expérience de l'industrie et des études sur les matériaux. Cependant, les défaillances dues à l'usure sont la caractéristique dominante qui affecte les besoins en maintenance dès le début de la mise en service d'un navire et augmente de manière exponentielle jusqu'à

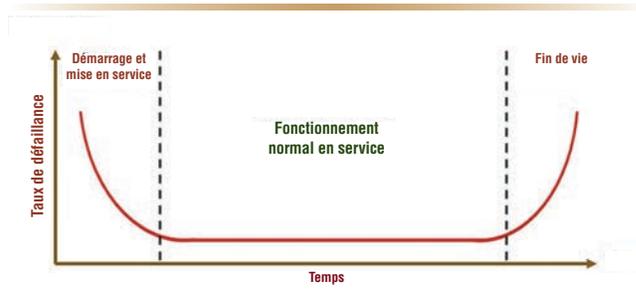


Figure 1. Courbe en baignoire classique.

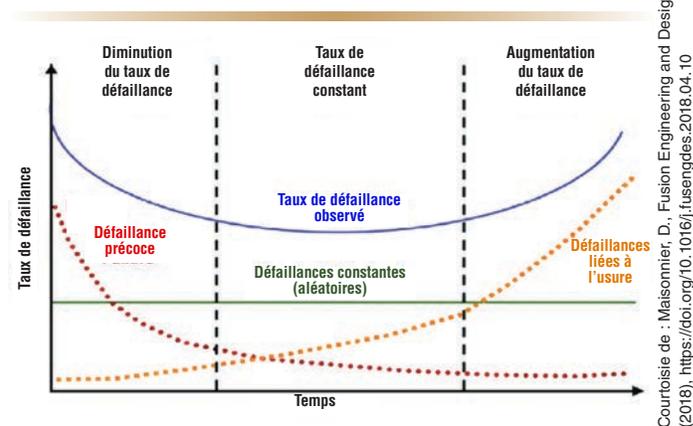


Figure 2. La courbe en baignoire est le résultat d'une combinaison de trois distributions de défaillances distinctes et inégales.

la fin de son cycle de vie. La figure 3 montre un graphique de l'US Navy (USN) qui reprend les chiffres exponentiels du Service du budget de l'USN pour prévoir les exigences de durée de vie des navires dont l'exercice financier (EF) est fixe afin d'éliminer les effets de l'inflation.

La figure 4 montre les mesures de la GPEM sur les heures de travail direct utilisées pour les périodes de mise en cale sèche pour les navires de la classe *Halifax*, et indique une augmentation exponentielle de la main-d'œuvre, et donc des coûts, au fil du temps. Cette tendance pour l'ensemble des navires peut être approximativement transposée à chaque navire, puisque les 12 plateformes ont été mises en service dans un délai de trois ans et ont sensiblement le même âge.

*(Suite à la page suivante...)*

Courtoisie de : Maisonnier, D., Fusion Engineering and Design (2018), <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2018.04.10>

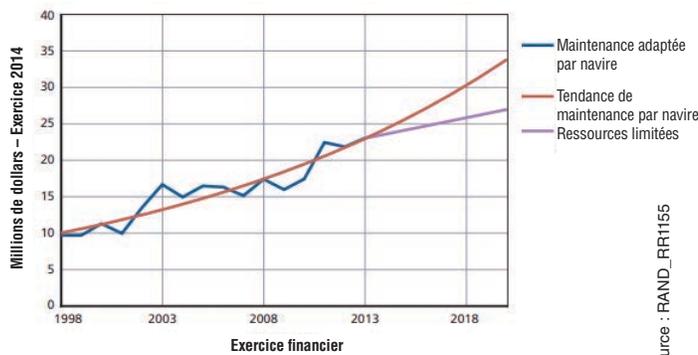


Figure 3. L'USN utilise la distribution exponentielle pour planifier des stratégies pour ses navires de surface.

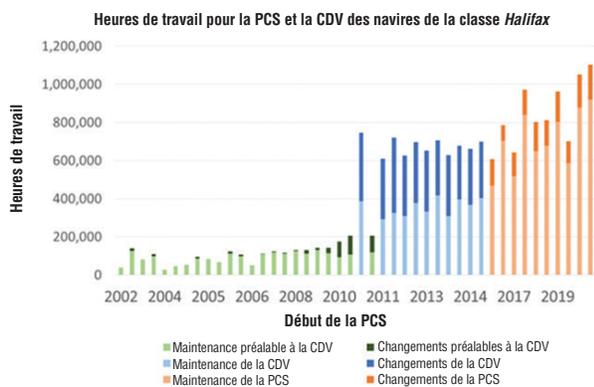


Figure 4. Les heures de travail en cale sèche augmentent à un rythme relativement exponentiel pour les navires de la classe *Halifax*.

Si nous combinons les trois causes de défaillance pour chaque navire, en respectant les échelles réelles observées dans notre marine (figure 5), nous obtenons un résultat similaire à la figure 3, avec une distribution qui augmente de manière exponentielle et ressemble au modèle de l'USN.

En supposant un niveau stable d'utilisation dans la planification et la stratégie, mais en observant une augmentation exponentielle, plusieurs problèmes se posent : nous ne prévoyons pas suffisamment les besoins de maintenance croissants dans nos plans de gestion des programmes; nous ne prévoyons pas de durées croissantes dans nos périodes de cale sèche (PCS); et nous ne planifions pas la posture de la force et la disponibilité opérationnelle (PF et DO) d'après l'hypothèse selon laquelle les navires auront des besoins de maintenance accrus au fil du temps. Les plans de disponibilité du matériel à long terme prévoient toujours des PCS de durée fixe, des périodes de travail prolongées fixes et des volumes de travail à court terme fixes. Par exemple, le profil de maintenance des navires de la classe *Halifax* prévoit encore 12 semaines de courtes périodes de travail par année tout au long du cycle de vie.

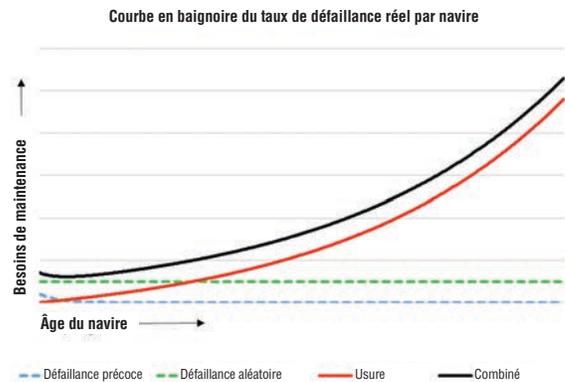


Figure 5. En catégorisant correctement les causes de défaillance, la courbe en baignoire par navire devient presque totalement exponentielle.

De mauvaises prévisions signifient également que l'industrie ne peut pas s'adapter à nos exigences sans traverser une alternance de forte expansion et de ralentissement. Imaginons par exemple que nous ayons une importante classe de destroyers et que nous supposons que les besoins en matière de maintenance seraient stables. Si notre seule préoccupation est d'équilibrer la maintenance en fonction de cette classe de navires, alors il est tout à fait acceptable d'acheter tous les navires dans un délai de 10 ans, puis de les remplacer un à un 30 ans plus tard par un nouveau lot de navires pour 10 années supplémentaires. La figure 6 illustre cette idée avec un nombre constant de navires en régime permanent au fil du temps, en utilisant des hypothèses en régime permanent qui ne tiennent pas compte du fait que les navires plus anciens ont besoin d'une maintenance plus importante que les navires récents.

La figure 7 illustre les résultats de l'augmentation exponentielle des besoins de maintenance si tous les navires sont achetés en même temps; elle met en évidence un cycle d'expansion et de ralentissement important. Ce problème majeur survient lorsqu'on ignore la croissance exponentielle des besoins de maintenance par navire.

Cependant, en tenant compte des besoins de maintenance qui augmentent de façon exponentielle, nous pourrions échelonner la production de ces destroyers de façon à ce que le dernier destroyer d'une série soit produit au moment où la nouvelle série est prête à être produite, comme le montre la figure 8.

Cette approche équilibrée permet d'obtenir un âge moyen de stabilité par navire et de stabiliser l'ensemble des besoins de maintenance de la flotte. Ces répercussions de la stabilité sur le secteur de la maintenance sont présentées à la figure 9. La PF et DO serait plus facile à prévoir et à

(Suite du texte à la page 16)

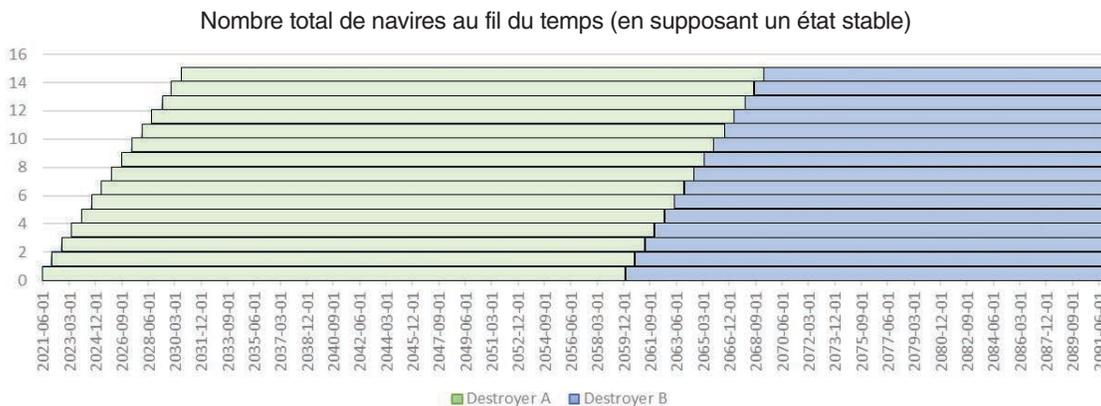


Figure 6. Exemple du destroyer : la planification en régime permanent montre le même nombre de navires au fil du temps. Les besoins en maintenance devraient être stables.

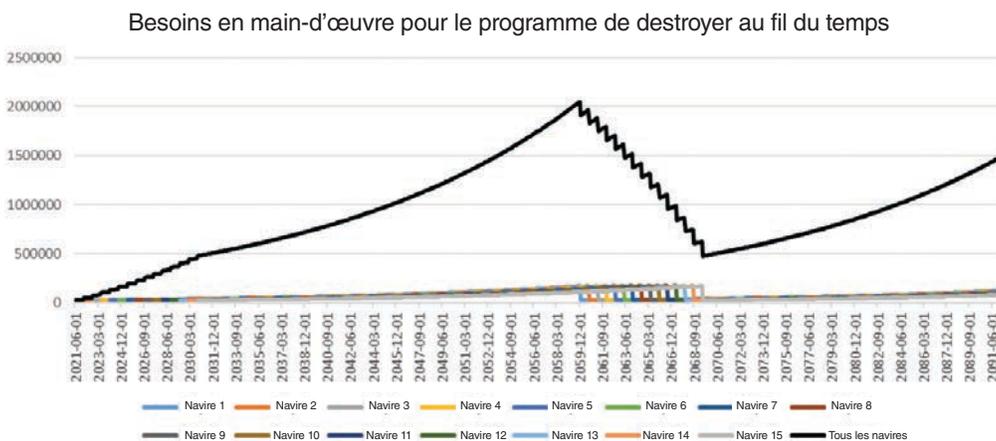


Figure 7. Exemple du destroyer : ignorer les besoins de maintenance accrus par navire au fil du temps peut entraîner un cycle d'expansion et de ralentissement important.

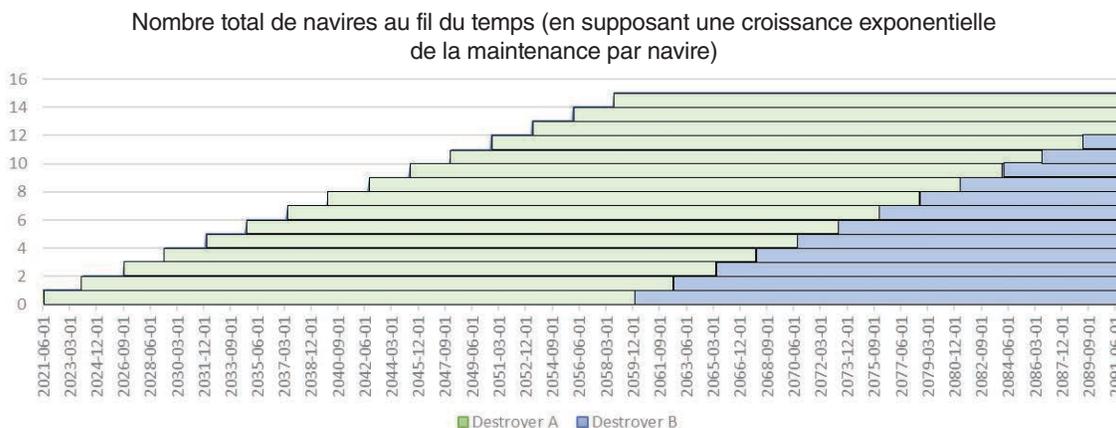


Figure 8. Une construction navale échelonnée favorise la stabilité des industries connexes.

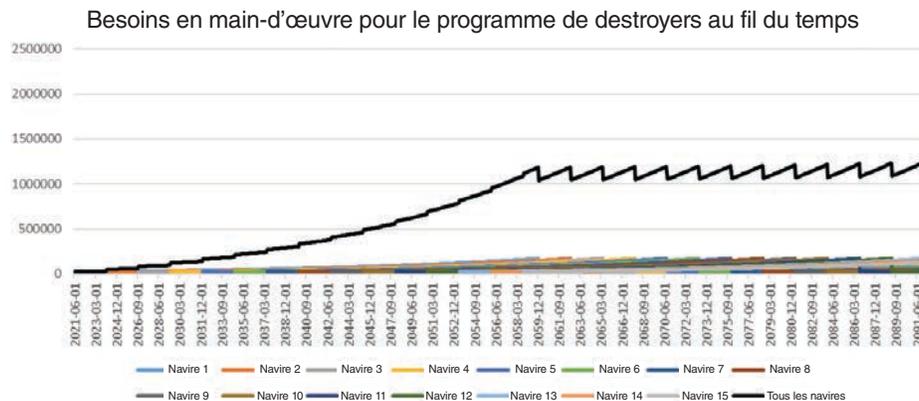


Figure 9. L'ensemble des besoins de maintenance peut atteindre un état stable malgré la croissance exponentielle des demandes de maintenance par navire.

engager, car elle repose sur des hypothèses sous-jacentes réalistes tout en utilisant des attentes de disponibilité adaptées à chaque navire.

Ma proposition consiste à élargir le principe de la courbe en baignoire dans notre service avec des courbes plus personnalisées et plus cohérentes avec la MRC. Par ailleurs, l'augmentation exponentielle des besoins de maintenance devrait être intégrée à tous les niveaux de la planification, tout au long du cycle de vie des navires, des

engagements en matière de PF et DO aux plans de maintenance pour l'ensemble des lignes de maintenance en passant par l'acquisition et la mise hors service des navires.



*Le capc Eric Bertrand était l'officier gérant de performance et de soutien à la gestion, aux installations de maintenance de la Flotte Cape Scott et Cape Breton. Il est aujourd'hui chef du cabinet d'état-major – Opérations, Commandement du personnel militaire à Ottawa.*

## CHRONIQUE SPÉCIALE

# Proposition de remplacement du système d'extinction d'incendie au halon 1301 à bord des navires de la classe *Halifax* par un système plus écologique\*

Par le Matc A.G. Cleghorn  
(Conseiller technique : M 1 Phillippe Kelley)

[\* Adapté d'un document pour cours techniques sur le RQ-PO2 Tech Mar de l'École navale (Atlantique) de juillet 2022.]

**L**e système d'extinction d'incendie au halon 1301 installé à bord des frégates de la classe *Halifax* de la Marine royale canadienne (MRC) utilise, comme son nom l'indique, du halon 1301 (c.-à-d. du bromotrifluorométhane) comme agent d'extinction pour venir à bout des flammes. Le problème du halon gazeux est qu'il appauvrit la couche d'ozone et peut rester dans l'atmosphère pendant environ 65 ans [1]. Il a un potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone (PACO) extrêmement élevé de 10,0 ou plus, ainsi qu'un potentiel de réchauffement du globe (PRG) élevé

d'environ 6 290 [2]. (Contrairement aux idées reçues, une exposition limitée au Halon 1301 dans les espaces occupés ne présente qu'un risque minime pour le personnel.)

Bien que le Canada ait interdit l'importation, l'exportation et la production de halon et de ses produits connexes dans les années 1990, son utilisation reste autorisée à bord des navires militaires et de certains véhicules exemptés en vertu du *Règlement sur les substances appauvrissant la couche d'ozone et les halocarbures de remplacement*. Toutefois, comme les frégates devraient être remplacées par de nouveaux navires

de combat à compter de 2030, l'objectif du présent document, rédigé pour répondre aux exigences du cours, est de proposer deux options de remplacement respectueuses de l'environnement pour équiper les navires de la classe *Halifax*, et de présenter des options viables pour leur mise en œuvre.

## Configuration actuelle du halon

Le système d'extinction d'incendie au halon 1301 à bord des navires de la classe *Halifax* comprend environ 60 bouteilles, ainsi que des capteurs, des jets et des tuyaux pour diriger le halon dans chaque espace protégé. Le système peut être activé de plusieurs façons : manuellement à partir des bouteilles, localement depuis un avertisseur d'incendie situé à l'extérieur de l'espace protégé, à distance depuis un système de contrôle intégré de plateforme (SCIP) ou encore automatiquement dans les salles des machines sécurisées.

## Option de remplacement A – Système d'extinction d'incendie 3M Novec 1230

L'option A serait le fluide de protection incendie 3M Novec 1230, actuellement utilisé par la MRC à bord des navires de patrouille extracôtiers et de l'Arctique de la classe *Harry DeWolf* en tant que système principal d'extinction des incendies, et à bord des navires de la classe *Halifax* à titre de protection contre les incendies sur les génératrices diesel CAT<sup>MD</sup>. Le système Novec 1230 présente un excellent profil environnemental, avec un PACO de 0, un PRG inférieur à 1, une présence dans l'atmosphère de seulement cinq jours, ainsi qu'un niveau de sécurité important pour le personnel et sur son environnement [3].

Le système Novec 1230 éteint le feu principalement en éliminant la chaleur. Stocké sous forme liquide à température ambiante, il est libéré sous forme de gaz lorsqu'il est utilisé. Les formes liquide et gazeuse du Novec 1230 présentent une non-conductivité électrique, ce qui en fait un produit compatible avec les espaces contenant des armoires et des composants électriques. Il s'évapore à une température extrêmement basse, environ 25 fois inférieure à celle de l'eau, et possède une pression de vapeur 12 fois supérieure à celle de l'eau, ce qui signifie qu'il s'évapore environ 50 fois plus vite que l'eau. Les caractéristiques du fluide Novec 1230 permettent de l'utiliser de façon uniforme et rapide dans l'espace à protéger.

Lorsqu'il est utilisé, le Novec 1230 crée un mélange gazeux avec l'air dont la capacité thermique élevée est capable d'absorber de plus en plus d'énergie thermique à chaque changement de température. La conception du système est personnalisable à la taille et à la disposition de

chaque espace protégé, de sorte qu'il décharge une quantité suffisante d'agent pour absorber la quantité d'énergie thermique nécessaire pour refroidir l'espace et empêcher toute combustion. Le Novec 1230 prétend avoir la capacité thermique la plus élevée de toutes les solutions de rechange au halon, ce qui en fait l'un des systèmes d'extinction d'incendie les plus efficaces. [3]

Puisque le Novec 1230 est déjà utilisé par la MRC, on peut s'attendre à ce que le remplacement des bouteilles, des pièces et du fluide Novec 1230 soit facile, assurant ainsi une réactivité rapide en cas de maintenance ou de renouvellement, et à ce que des experts en la matière soient disponibles pour le gérer. Le système est actuellement livré à la MRC par Kidde Fire Protection Systems, et son programme de maintenance est actuellement confié à Don Brenton's Fire Protection, avec qui la MRC fait affaire depuis de nombreuses années.

Les travaux d'installation du système Novec 1230 à bord des navires de la classe *Halifax* dans sa configuration optimale, comme c'est le cas sur les navires de la classe *Harry DeWolf* (figure 1), seraient considérables. Les bouteilles de halon 1301 existantes devraient d'abord être retirées par du personnel qualifié, selon des directives

(Suite à la page suivante...)



Source : photo MDN

Figure 1. Système Novec 1230 sur le NCSM *Harry DeWolf* pour les espaces bâbord/tribord à basse tension.

environnementales strictes. Il faudrait déterminer la taille des réservoirs de stockage du Novec 1230 pour chaque espace et modifier les supports sur le pont pour les adapter aux nouveaux réservoirs et aux bouteilles d'azote utilisées pour pressuriser le système. Puisque les raccords des tuyaux entre les bouteilles de halon 1301 et le collecteur de tuyauterie ne seraient plus nécessaires, ils devraient être bouchés ou soudés. Le tuyau de refoulement ou le tuyau du réservoir du Novec 1230 serait ensuite raccordé à un régulateur de pression à l'extrémité de l'ancien collecteur de halon 1301 pour utiliser la tuyauterie existante. Tous les dispositifs de commande électronique nécessaires pour activer le système pourraient être installés en reprenant le câblage existant, tandis que les capteurs de chaleur, les détecteurs de fumée et les avertisseurs d'incendie seraient remplacés en utilisant au maximum le câblage existant. Enfin, les lances à incendie situées à l'intérieur des espaces protégés devraient être remplacées par des lances adaptées au système Novec 1230. Le SCIP du navire devrait ensuite être mis à jour pour assurer l'intégration complète du système Novec 1230.

### Option de remplacement B – Système d'extinction d'incendie IG-55 (argon)

L'option B serait le système d'extinction d'incendie IG-55 (gaz inerte) à l'argon, offert par différentes entreprises, dont Kidde Fire Protection Services, qui fournit actuellement à la MRC les systèmes Novec 1230 et les systèmes anti-incendie de cuisine.

Le système IG-55 est actuellement utilisé sur plusieurs plateformes maritimes, notamment les bateaux de croisière, les navires de la marine marchande et les navires militaires. Il se compose d'un mélange de 50 % d'argon et de 50 % d'azote, et a un PACO et un PRG de zéro, puisque les deux

gaz existents sont présents dans l'atmosphère. Il ne présente pas de danger pour les personnes. Ce système pourrait être installé à bord des navires de la classe *Halifax* selon la même configuration que le halon 1301, à quelques différences près qui ne nécessiteraient pas de changements importants à l'infrastructure existante (figure 2).

Le système IG-55 éteint l'incendie en aspergeant l'espace protégé du mélange argon-azote, abaissant la teneur en oxygène à un niveau tel que la combustion ne peut pas avoir lieu. Le système est stocké et libéré sous forme de mélange gazeux, ce qui réduit considérablement, voire élimine, le risque d'évaporation par réaction atmosphérique ou par des moyens mécaniques (comme une lance), réduisant ainsi au minimum la probabilité d'une libération inefficace. L'IG-55 peut être stocké à des pressions de 200 ou 300 bars, permettant ainsi d'adapter la quantité de gaz nécessaire en fonction de la taille de l'espace à protéger ou de l'espace de stockage disponible pour les bouteilles. Ce système d'extinction utilise une vanne régulatrice brevetée sur les bouteilles, assurant ainsi des taux de refoulement et de débit optimaux en seulement une minute [4].

Les entreprises qui offrent ce système utilisent le même catalogue de bouteilles, de vannes, de contrôleurs et d'autres pièces diverses disponibles sur leur site Web, avec des numéros de pièces correspondants. Commander des pièces de rechange ou avoir accès à des EM est aussi simple que de passer un appel ou d'envoyer un courriel, d'autant plus que Kidde est déjà le fournisseur actuel de la MRC pour le système d'extinction IG-55. De plus, l'argon et l'azote utilisés dans le système sont faciles à se procurer dans la plupart des pays, y compris le Canada, même pour les consommateurs, ce qui signifie qu'ils sont largement disponibles et peu coûteux.

L'installation du système IG-55 à bord des navires de la classe *Halifax* ne présente pas de difficultés particulières. Les bouteilles de halon 1301 devraient être retirées et remplacées par des bouteilles d'IG-55 dans les mêmes supports, avec des bagues d'adaptation en caoutchouc en raison de leur diamètre légèrement plus petit. Les tuyaux de refoulement pourraient utiliser les mêmes raccords que les bouteilles de halon 1301, et les dispositifs de commande électronique pourraient reprendre le câblage existant. Comme pour l'option A, les capteurs de chaleur, les détecteurs de fumée et les avertisseurs d'incendie reprendraient au maximum le câblage existant. Les lances installées dans les espaces protégés seraient remplacées par des lances adaptées au système IG-55. Enfin, le SCIP



Source : <https://www.inertgasfiresystems.com>

Figure 2. Une installation type d'IG-55, semblable à celle du halon 1301.

devrait être mis à jour pour assurer l'intégration complète du système IG-55.

## Analyse des options

Les options A et B sont toutes deux réalisables, car elles peuvent être intégrées à la configuration actuelle des navires de la classe *Halifax*. Par ailleurs, elles répondent aux améliorations souhaitées sur le plan environnemental et la sécurité. Plus précisément :

1. elles présentent une configuration similaire à celle du système au halon 1301, où les grandes bouteilles pressurisées peuvent être contrôlées par des solénoïdes, des soupapes de régulation de pression et une activation manuelle;
2. les deux options peuvent être surveillées et pilotées depuis le SCIP de la même façon que le système halon, ce qui facilite leur intégration;
3. les deux options fournissent une extinction d'incendie et une protection égales ou supérieures au système halon 1301;
4. les deux options offrent un niveau de sécurité très élevée pour les occupants, car ni l'une ni l'autre n'utilise de produits nocifs. De plus, elles ne réduisent pas le niveau d'oxygène dans l'espace à un niveau auquel les fonctions cérébrales et physiques sont gravement altérées, laissant ainsi suffisamment de temps au personnel pour évacuer en toute sécurité;
5. les deux options atteignent les objectifs sur le plan environnemental. L'agent extincteur utilisé dans le système Novec 1230 a un PACO de 0 et un PRG inférieur à 1. Les gaz utilisés dans le système IG-55 ont un PACO de 0 et un PRG de 0. Ces chiffres représentent une

probabilité presque nulle que l'un ou l'autre des systèmes puisse nuire à l'environnement ou à l'atmosphère de quelque façon que ce soit, ce qui signifie qu'ils sont tous deux visés par des règlements environnementaux et qu'ils ne devraient pas être interdits à l'avenir.

## Conclusion et recommandation

Le présent document pour cours techniques révèle un problème avec le système actuel d'extinction d'incendie au halon 1301 qui équipe les navires de la classe *Halifax*, en ce sens que le système est extrêmement nocif pour l'environnement. Bien que les deux options répondent à tous les critères requis et que leur intégration se ferait sans difficulté, le système IG-55 (option B) est l'option privilégiée. Son installation nécessiterait beaucoup moins de travail et coûterait environ 37 000 \$ de moins que le coût estimé de 200 000 \$ pour l'installation du système Novec 1230 (option A).

Il est donc recommandé que cette proposition soit examinée par la chaîne de commandement, et, si elle est validée, qu'elle soit présentée à un groupe de gestionnaires du cycle de vie des navires de la classe *Halifax* afin de déterminer si les options présentées sont viables pour la mise en œuvre, en fonction des délais et des contraintes budgétaires.



*Le matelot-chef Alexander Cleghorn est pompier senior à bord du NCSM St. John's.*

Voir l'édition anglaise pour les références.

Bien que le Canada ait interdit l'importation, l'exportation et la production de halon et de ses produits connexes dans les années 1990, son utilisation reste autorisée à bord des navires militaires et de certains véhicules exemptés en vertu du *Règlement sur les substances appauvrissant la couche d'ozone et les halocarbures de remplacement*.



Photo par Brian McCullough

## BULLETIN D'INFORMATION

### La structure du groupe professionnel de TECH MAR subira des transformations à la suite de consultations

(Actualité de notre Marine, le 6 juillet 2023)

Comme annoncé dans le NAVGEN 25/23, la MRC transformera le groupe professionnel de TECH MAR, dont la structure se composera de deux groupes professionnels préparatoires, Élec et Méc, aux grades de matelot de 3<sup>e</sup> classe (mat 3) à maître de 1<sup>re</sup> classe (m 1), et d'un groupe professionnel d'accueil au grade de premier maître de 2<sup>e</sup> classe (pm 2).

La nouvelle structure comprendra trois groupes professionnels distincts relevant d'un groupe fonctionnel de techniciens de marine :

1. Deux groupes professionnels préparatoires :
  - a. Technicien en mécanique des systèmes de marine (TMSM) de mat 3 à m 1, avec un sous-groupe professionnel de technicien de structures des systèmes de marine (TSSM), de mat 1 à m 1.
  - b. Technicien en électricité des systèmes de marine (TESM) de mat 3 à m 1.
2. Un groupe professionnel d'accueil : premier maître des systèmes de marine (PMSM) au grade de pm 2.

Cette décision a été prise au cours de l'analyse du groupe professionnel (AGP) de TECH MAR qui est toujours en cours. Il est important de noter que cette décision ne

marque pas la fin de l'AGP, mais le début de la planification de la mise en œuvre, des mises à jour de la politique et du perfectionnement détaillé. Ces mesures vous seront communiquées une fois qu'elles auront été mises en place.



### Passation du commandement CETM



Une cérémonie de passation de commandement pour le Centre d'essais techniques (Mer), (CETN) de Montréal, au Québec, a eu lieu le 17 juillet 2023. Le commandant sortant, le **Capf Frédéric Bard** (à gauche), et le commandant entrant, le **Capf de frégate Christian Nadeau** (assis à droite), ont signé les documents de transfert sous la supervision du **Cmdre Keith Coffen**, Directeur général – Gestion du programme d'équipement maritime (DGGPEM). CETM est une unité locale de la DGGPEM. La cérémonie a été animée par **Joël Parent** (au podium), directeur du site CETM, et diffusée en direct sur MS Teams à l'intention du personnel du CETM et de la DGGPEM.

## BULLETIN D'INFORMATION

### Des apprentis de l'IMF Cape Breton font preuve d'innovation et de créativité en concevant un nouveau système

Par Gabrielle Brunette

Le système d'analyse, de détection et de repérage sonores (SADAR), un dispositif capable de simuler la fonctionnalité et la conception du système radar de navigation d'un navire, a été conçu et produit par un groupe de quatre apprentis dans le cadre de leur stage de formation à l'Installation de maintenance de la Flotte Cape Breton (IMF Cape Breton) à Esquimalt, C-B.

« Chaque apprenti de notre programme de formation en électronique doit réaliser un projet qui met en valeur ses connaissances théoriques et l'expérience acquise au cours de ses stages dans les différents ateliers », a déclaré **Ryan Solomon**, chef du groupe 5.

Les apprentis **Jordan Baird**, **Luke Vinden**, **Walter Parsons** et **Jaden Prigione** — diplômés du programme de technologie en génie électrique du Collège Camosun à Victoria, C-B — ont reçu un ensemble de consignes à suivre de la part de Solomon, qui a insisté sur le fait que le produit devait être à la fois interactif et portable. En tant que BPR pour le recrutement, Solomon voulait un produit que l'on pourrait facilement transporter pour les diverses activités de sensibilisation — afin de présenter les capacités de l'IMF tout en suscitant un intérêt pour l'emploi au sein de l'installation.

Le SADAR fonctionne de la même manière que les systèmes radar traditionnels, mais il utilise des sons à haute-fréquence pour détecter et afficher les cibles, au lieu de mesurer le temps qu'il faut à une onde électromagnétique pour rebondir sur une cible et revenir au récepteur.

« Nous avons cherché à imiter un système existant sur les frégates de patrouille canadiennes, à savoir le radar de navigation, en utilisant des composants simples de bricoleur susceptibles de démystifier la complexité du système réel », a déclaré Walter Parsons.

Le système comprend deux parties principales : La boîte bleue est essentiellement le cerveau du SADAR et est responsable de la génération et de l'analyse des signaux. La position et la distance des cibles environnantes sont ensuite affichées sur l'écran radar panoramique. La petite boîte grise dotée de capteurs interchangeable, permettant de développer les capacités du système à l'avenir, est le transducteur et le récepteur de son qui pivote sur 360 degrés.



Photo par Andrew Yancoff

Le projet SADAR de l'équipe d'apprentis fonctionne de la même manière que les systèmes radar traditionnels, mais utilise des sons à haute fréquence pour détecter et afficher les cibles.

L'équipe a passé des centaines d'heures à développer le matériel, le logiciel et l'infrastructure du système, tout en s'acquittant de ses tâches d'apprentissage habituelles et en collaborant avec d'autres ateliers de l'IMF Cape Breton. L'équipe a été ravie de constater que les membres d'autres métiers qui ont participé au projet sont fiers du travail individuel qu'ils ont accompli pour le projet SADAR.

« En plus de voir le projet final mené à bien, la camaraderie qui s'est établie non seulement entre les apprentis électroniciens de notre cohorte, mais aussi avec les membres des autres métiers, a été très gratifiante », a ajouté Walter Parsons.

Pendant la réalisation du projet, les membres de l'équipe ont été confrontés à de nombreuses difficultés, notamment des problèmes de dépannage et un manque d'expérience en programmation, difficultés qu'ils ont surmontées ensemble.

« Le projet SADAR a non seulement mis à l'épreuve les connaissances en électronique des apprentis, mais il a également renforcé leurs capacités en matière de conception technique et les a aidés à mieux comprendre comment les différents ateliers de l'IMF travaillaient ensemble pour accomplir un travail », a précisé Solomon.

« Il nous semble que nos capacités et nos forces ne seraient pas au niveau qu'elles sont sans notre solide éducation. » Parsons ajouté.



*Gabrielle Brunette est Étudiante Coordonnatrice en Communications à L'installation de maintenance de la flotte Cape Scott à Halifax, N-É.*



# NOUVELLES

 (AUTOMNE 2023)

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

*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**  
Ltv Jason Delaney

**Liaison à la Revue du  
Génie maritime**  
Brian McCullough

**Webmestre**  
Peter MacGillivray

**Webmestre émérite**  
Don Wilson

*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 du Ltv Jason Delaney, à la Direction histoire et patrimoine, QGDN, 101, Ch. Colonel By, Ottawa, ON K1A 0K2  
Tél. : (613) 998-7045  
Télé. : (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](http://www.cntha.ca)

## Rétrospective : Exemples de réussite du gouvernement du Canada et de l'industrie de la technologie marine

Par Chris Madsen, Ph.D.

En mai 2009, le groupe de travail sur les industries marines de l'Association des industries canadiennes de défense et de sécurité (AICDS) a publié un exposé de position sur la construction navale au Canada, axé sur les questions entourant les navires du gouvernement du Canada conçus, construits et appuyés par l'industrie canadienne. Le rapport comprenait une annexe historique intéressante intitulée « Export Sales Generated by Participation in Canadian Ship Acquisition Projects » (ventes à l'exportation générées par la participation à des projets d'acquisition de navires canadiens), qui mettait en lumière un certain nombre d'exemples de réussite en technologie marine qui avaient un bon potentiel de ventes intérieures et à l'exportation.

Les technologies ont représenté des progrès importants pour la Marine royale canadienne (MRC) et d'autres organismes gouvernementaux en partenariat avec des entreprises privées canadiennes. La liste complète (<https://www.defenceandsecurity.ca/UserFiles/File/pubs/cadsi-mir.pdf>) comprend une trousse familière, comme la série « SHIN » de systèmes de navigation embarqués à intégration numérique et « Beartrap », le dispositif d'appontage et d'arrimage rapide d'hélicoptère. Cependant, il y avait d'autres technologies qui ont connu du succès sur le plan commercial et qui sont aujourd'hui moins bien connues, et qui risquent d'être oubliées par la communauté technique navale de la MRC.

Même si les récits sur la technologie qui figurent dans l'annexe ont été rédigés il y a 15 ans, et même si le développement et le déploiement opérationnel de certains de ces systèmes ont progressé, ces résumés importants représentent un artefact historique majeur qui mérite d'être préservé dans une tribune plus vaste. Voici un résumé abrégé et révisé de quelques-unes de ces fascinants exemples de réussite du gouvernement du Canada et de l'industrie, tel qu'elles ont été décrites en 2009 :

### Systemes sonar

En tant que marine spécialisée dans la guerre anti-sous-marine (GASM), dans les années 1960, le Canada a commencé à mettre au point des sonars qui pouvaient être remorqués derrière un navire et dirigés vers des profondeurs mieux adaptées à la détection des sous-marins. Le Centre de recherches navales, maintenant Recherche et développement pour la défense Canada (Atlantique), a élaboré le concept du sonar à immersion variable (VDS) et a collaboré avec l'industrie canadienne pour produire des systèmes de guidage et de manutention qui permettraient une utilisation dans les conditions difficiles de l'Atlantique Nord. Le sonar AN/SQS-505 de nouvelle génération a été conçu par la MRC et mis au point par Westinghouse (récepteur et traitement) et Edo, par la suite C-Tech (transducteur et émetteur). Ce sonar a été installé à bord des destroyers améliorés de la classe Restigouche et des destroyers DDH-280 de la classe Tribal au début des années 1970 dans des configurations à coque et à immersion variable.

Le développement subséquent a porté principalement sur l'amélioration du traitement des signaux, dirigé par RDDC(A), et conçu par Computing Devices Canada (CDC, devenu General Dynamics Canada). Tous les systèmes sonar des frégates de patrouille canadiennes, soit le sonar à moyenne fréquence AN/SQS-510 monté sur coque, le processeur AN/SQR-501 du système sonar à réseau remorqué canadien (CANTASS) et le système de traitement des bouées acoustiques AN/UYS-503, ont été conçus et produits par CDC. Dans chaque cas, un concept de recherche a été converti en système militaire renforcé grâce à une collaboration fructueuse entre RDDC(A) et l'entrepreneur. Ces sonars ont connu d'importantes ventes à l'étranger et ont joué un rôle de premier plan au sein de la MRC en gardant le Canada à l'avant-garde de la GASM sur la scène mondiale.

### Technologie furtive

Les navires de la marine cachent leur présence en réduisant les signatures, comme les émissions infrarouges (IR) des gaz d'échappement des moteurs et les champs électriques et magnétiques

(CEM) de fréquence extrêmement basse des sous-marins générés par le courant alternatif entre le système de protection cathodique d'un navire et ses hélices. Le premier peut être détecté par des capteurs infrarouges dans les systèmes de guidage des missiles entrants, et le second par des mines d'influence sous-marines qui peuvent déclencher leur détonation.

Au début des années 1980, le Centre de recherches pour la défense de Suffield, en Alberta, a commencé à travailler sur des dispositifs visant à diluer les émissions de gaz d'échappement et a mis au point une configuration appelée la boule du CRDS, en raison de sa forme. W.R. Davis Engineering a obtenu le contrat pour mettre au point la boule du CRDS et installer éventuellement ce système dans les deux principaux tuyaux d'échappement des turbines à gaz des frégates de patrouille canadiennes. Une configuration différente a été adaptée aux destroyers modernisés de la classe tribale du projet de MNCT. Davis est devenu le chef de file mondial avec cette technologie, à tel point qu'il n'a pas de concurrent dans le monde occidental, et ses produits ont été installés sur tous les programmes qui utilisent la suppression des infrarouges.

De même, les premiers développements ont mené à la production d'un système actif de mise à la terre de l'arbre qui élimine pratiquement la signature des CEM de fréquence extrêmement basse en mettant l'arbre porte-hélice à la coque du navire, de sorte qu'un courant anode-coque constant est obtenu par la rotation de l'arbre. Ce produit est unique et n'a pas de concurrents. Son marché est plus limité, mais il est adapté à toutes les nouvelles constructions navales aux États-Unis. De plus, il a été fourni à des navires de guerre au Canada, en Norvège, au Royaume-Uni, en Australie et en Corée du Sud.

Pour terminer son travail sur les infrarouges, Davis a mis au point le logiciel de systèmes de contre-mesures de réduction des menaces navales pour modéliser la signature infrarouge d'un navire et ses menaces infrarouges. Ce logiciel unique a été adopté par l'USN et l'OTAN. Il y a plus de 20 utilisateurs ainsi que des contrats de développement en cours avec certains de ces utilisateurs.

## Modélisation et simulation des systèmes de propulsion navale et du contrôle des machines

L'un des éléments clés de la mise en œuvre du Système intégré de commandes des machines (SICM) pour la frégate de patrouille canadienne a été la mise au point d'un contrôleur de moteur LM 2500 (turbine à gaz GE). GasTOPS, une entreprise privée canadienne spécialisée dans le contrôle et la simulation dynamique des turbines à gaz marines, a mis au point un modèle de simulation haute-fidélité du LM 2500 qui décrit avec précision la dynamique des rotors des turbines à gaz, le contrôle du carburant et les processus de combustion; ainsi qu'une version numérisée des algorithmes de contrôle hydromécanique du moteur.

GasTOPS élargirait ses capacités de modélisation et de simulation dynamiques et développerait des processus de simulation de calibre mondial pour évaluer et concevoir des solutions de contrôle pour les systèmes de propulsion navale pour la MRC et les marines internationales, les intégrateurs de systèmes de propulsion de navires, et les fournisseurs de systèmes de contrôle maritime. Suivant le rythme de l'émergence de la propulsion électrique intégrée comme solution viable à la propulsion navale et maritime,

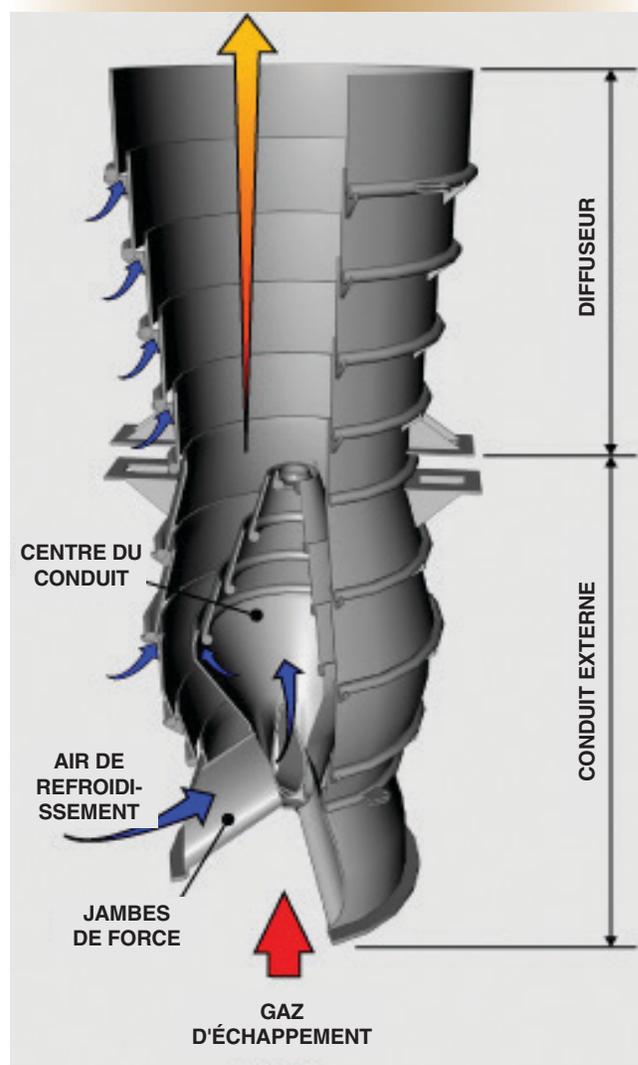


Image courtoisie de W.R. Davis Engineering Ltd

Technologie furtive : la boule du CRDS du supprimeur IR

GasTOPS a ensuite inclus des solutions de simulation pour l'évaluation de la dynamique de la propulsion mécanique et électrique dans sa série d'outils de simulation.

## Systèmes d'instruction synthétiques reconfigurables

L'arrivée de la frégate de patrouille canadienne (classe *Halifax*) et de ses systèmes complexes a fait ressortir la nécessité de méthodes d'instruction plus efficaces et moins coûteuses pour les procédures d'exploitation et de maintenance. Dans le passé, on utilisait un ensemble complet d'équipement de navire dans une installation de formation à terre, mais au début des années 1990, on a reconnu que l'évolution des ordinateurs personnels et des environnements de formation synthétique avait atteint un niveau de maturité qui pouvait être pratiquement exploité.

La MRC a conclu un contrat avec l'industrie canadienne pour mettre au point des solutions d'entraînement synthétiques qui

(Suite à la page suivante...)

permettraient au personnel d'être formé de façon plus efficace et rentable. L'un d'eux était le simulateur d'opérations de combat naval (NCOT) reconfigurable et pour PC de MacDonald, Dettwiler and Associates (MDA), qui reproduisait les systèmes et l'équipement à bord des navires.

À son tour, le NCOT a amené MDA à mettre au point le Système d'instruction maritime reconfigurable (RMTS), une solution d'instruction modulaire exportable qui pourrait être facilement adaptée aux exigences particulières des systèmes d'instruction navale dans le monde, y compris ceux des marines de l'OTAN. Cela a donné lieu à un contrat d'exportation avec la Marine royale pour la formation du personnel de combat sur les destroyers de type 42 et de type 45, avec la possibilité d'étendre le système à d'autres classes de navires et à des plans d'ensemble de formation beaucoup plus vastes qui généreraient des ventes supplémentaires.

### Radar à balayage électronique actif

Au début des années 1990, le Canada a joué un rôle important dans l'étude du système de guerre antiaérienne de l'OTAN (NAAWS). L'étude a produit une configuration de système de combat recommandée pour contrer les menaces auxquelles les marines seraient confrontées à l'aube du XXI<sup>e</sup> siècle. La mise au point d'un radar multifonctions et d'un système de veille et poursuite par infrarouge (IRST) à longue portée a constitué un élément important de cette initiative.

À l'époque, la MRC était en train de mettre au point le navire de remplacement de la classe *Iroquois*, connu sous le nom de projet de remplacement des matériels de défense aérienne (CADRE). Dans la

recherche de technologies qui intègrent le concept NAAWS, le Canada a conclu un protocole d'entente avec la Marine royale des Pays-Bas et la Marine fédérale allemande pour la mise au point d'un radar multifonctions, connu sous le nom de radar à balayage électronique actif. L'entrepreneur principal pour cette activité était Thales Nederland, et plusieurs entreprises canadiennes participaient à la mise au point de produits essentiels pour ce système de radar révolutionnaire. Parmi ces entreprises, mentionnons Brecon Ridge (Nortel à l'époque), Lockheed Martin Canada, Stork Canada, Thales Canada et CMC Electronics.

Bien que le projet CADRE n'ait pas donné lieu à un contrat, le radar à balayage électronique actif est devenu une grande réussite sur le marché international, ce qui a permis aux entreprises canadiennes d'obtenir un rendement important de 4 pour 1 sur l'investissement de la MRC.

Comme le conclut l'annexe de 2009 de l'AICDS : « Ces développements notables de l'industrie canadienne sont directement attribuables à sa participation à des projets de navires du gouvernement canadien et au soutien de programmes de R-D. Sans les projets de navires, ces développements, les ventes à l'exportation qui en ont résulté et l'accès à des emplois permanents n'auraient pas eu lieu. »



*Chris Madsen, Ph.D, est professeur au Département des études de la défense du Collège des Forces canadiennes et au Collège militaire royal du Canada à Toronto, en Ontario.*

### « Ingénieur maritime » bénévole



Le 21 juin, le directeur exécutif de l'AHTMC, **Tony Thatcher** (à gauche), et l'ancien directeur général de la Division du génie du QGDN, le cmdre (à la retraite), **Bill Broughton**, ont remis un certificat à **Brian McCullough**, directeur de la production de longue date à la *Revue du Génie maritime*. Il a été nommé ingénieur maritime bénévole pour ses plus de quatre décennies de service au sein de la communauté technique de la MRC.