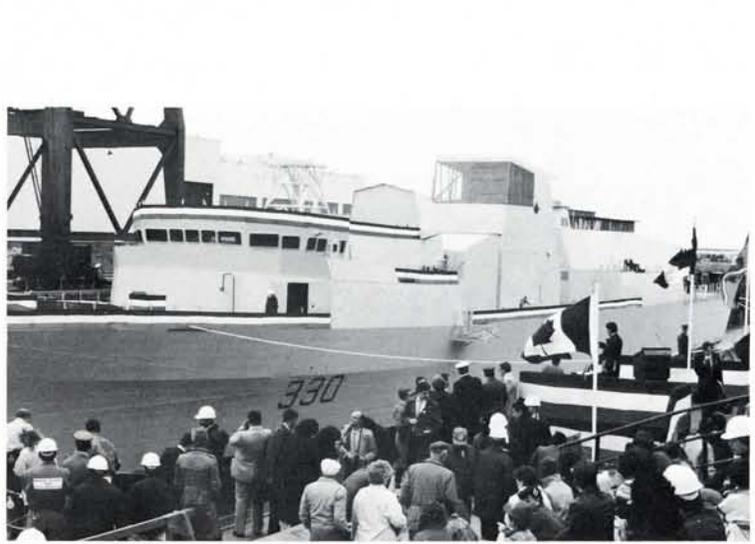


Revue du Génie maritime

Septembre 1988



L'INSPECTION DES MOTEURS DIESEL
- Un nouveau programme pour la marine



*La mise à l'eau
du Halifax
Le 19 mai, 1988*

**Article et photos additionnelles
sur la page 21**



Revue du Génie maritime



Directeur général
Génie maritime
et maintenance
le commodore W.J. Broughton

Rédacteur en chef
Capt(M) Dent Harrison, DMGE

Rédacteurs au service technique
LCdr P.J. Lenk (Systèmes de combat)
Cdr Roger Cyr (Systèmes de combat)
LCdr M. Bouchard (Mécanique navale)
LCdr Richard B. Houseman
(Architecture navale)

Directeur de la production
LCdr(R) Brian McCullough

Graphiques
Ivor Pontiroli, DDDS 7-2

Traitement de textes
par DMAS/CTM 4M
Mme. Terry Brown, Superviseur

PHOTO COUVERTURE

John Henderson du American Management Systems des E.-U. observe l'inspecteur de diesel du GMF(P) PM 1 Bruce Ferrie qui inspecte un diesel à bord du navire d'entraînement du port *Columbia*.

SEPTEMBRE 1988

DÉPARTEMENTS

Notes de la rédaction	2
Lettres	3
Chronique du commodore	4

ARTICLES

Programme d'inspection des moteurs diesel <i>par le lieutenant commander Richard Syl- vestre</i>	5
Propulsion électrique de la frégate ASM — A l'avant-garde <i>par W.A. Reinhardt et J.R. Storey</i>	8
Le système de décomposition du travail par produit — Plan directeur pour la construc- tion de FCP <i>par le lieutenant commander Rick Payne</i>	17
Les nouvelles frégates : une réussite en con- struction navale <i>par le lieutenant commander(R) Brian McCullough</i>	21
Le logiciel et le G Mar <i>par le commander Roger.Cyr</i>	22
RÉTROSPECTIVE	26
BULLETIN D'INFORMATION	28

La Revue du Génie maritime (ISSN 0713-0058) est une publication autorisée et non-officielle des ingénieurs maritimes des Forces canadiennes. Elle est publiée trois fois l'an par le Directeur général du Génie maritime et de la maintenance. Les opinions exprimées sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement les politiques officielles. Le courrier doit être adressé au Rédacteur en chef, La Revue du Génie maritime, DMGE, Quartier général de la Défense nationale, 101 Promenade du Colonel By, Ottawa, Ontario, Canada K1A 0K2. Le rédacteur en chef se réserve le droit de rejeter ou d'éditer tout matériel soumis. Nous ferons tout en notre possible pour vous retourner les photos et les présentations graphiques en bon état. Cependant, la Revue ne peut assumer aucune responsabilité à cet égard. À moins d'avis du contraire, les articles de cette revue peuvent être reproduits tout en tenant compte des mérites de l'auteur et de la Revue.



Notes de la rédaction

Il nous fait plaisir de souhaiter la bienvenue au commodore W.J. Broughton, récemment nommé au poste de Directeur général, Génie maritime et maintenance. Nous vous présentons une courte biographie de notre nouveau conseiller de la Branche du GMAR.

Le commodore Broughton a joint les rangs de la Marine royale du Canada (MRC) dans le cadre du Programme de formation des Officiers de la Force régulière. Il a fréquenté le collège Royal Roads et le Royal Military College où il a obtenu son diplôme en 1957 et a ensuite obtenu son baccalauréat en génie mécanique de l'Université Queens en 1958. Après avoir suivi sa formation élémentaire d'officier, il suit avec succès un programme d'études supérieures en sciences et en génie naval au Massachusetts Institute of Technology. Il a de plus obtenu un diplôme du Collège de commandement et d'état-major des Forces canadiennes et du Collège de la Défense nationale.

Au début de sa carrière, il sert comme officier de projet de l'hydroptère FHE-400 et travaille dans le domaine de la conception structurale au programme de modification des navires de la classe *Restigouche*. Affecté au chantier maritime HMC, à Halifax, il est responsable des inspections et des stipulations de radoub pour les systèmes de coques des navires et vaisseaux auxiliaires de la côte Est. Il retourne trois ans à Ottawa, d'abord comme architecte naval supérieur et ensuite comme ingénieur de projet du nouveau programme de construction de destroyers porte-hélicoptères de la classe 280. Ensuite, pendant deux ans, il est chargé des essais qui font suite au lancement des systèmes

de combat et des systèmes opérationnels des navires, à Halifax.

Lorsqu'il est promu capitaine de vaisseau, la commodore Broughton fréquente le Collège de la Défense nationale. Puis comme directeur du Génie maritime et de la maintenance, il prend part à l'élaboration de projets, dont celui de la frégate canadienne de patrouille (FCP) et de la prolongation de la vie des destroyers, ainsi que les programmes d'amélioration de la flotte, de la recherche et du développement dans le domaine des coques et de la conception des navires, et de grands projets de radoub. Il occupe ensuite un poste de directeur de l'analyse du programme et est responsable de l'élaboration du Système de gestion du Programme des services de défense et, en 1983, il est affecté pour un an auprès du groupe du personnel, à titre d'officier chargé du projet de revitalisation du GMAR. En 1984, il occupe le poste de directeur des Carrières militaires.

Le commodore Broughton a été promu à son grade actuel en août 1986 et nommé directeur général du Recrutement, de l'éducation et de l'instruction. Il a été nommé directeur général, Génie maritime et maintenance, le 23 mai 1988.

Le commodore Broughton est marié et père de trois grands enfants.

La mise sur pied du programme d'inspection de moteur diesel, objet de notre article de tête, se déroule tel que prévue et le premier cours officiel devrait avoir lieu à Halifax, à l'automne. Ce cours provisoire sera dispensé par le DMGE 2 avec l'aide du CETM et les diplômés devraient être affectés à des positions d'inspecteur de moteur diesel dans les unités de génie naval et les groupes de maintenance de flotte.

La qualification d'inspecteur de marine de moteur diesel, devrait bientôt être reconnue par les Forces canadiennes. L'approbation d'une exigence de qualification du personnel spéciale soumise récemment au directeur des Structures professionnelles militaires devrait reconnaître le cours d'inspecteur de moteur diesel, dispensé sur une base expérimentale l'an dernier, comme un cours de qualification spécialisé professionnel.

Depuis le cours d'essai offert en juillet 1987, nous avons assisté à une demande croissante pour l'inspection de moteurs diesel sur les deux côtes. Des douzaines d'inspections ont été effectuées et ont permis, dans certains cas, de déceler des défauts graves avant que des dommages importants ne surviennent et, dans d'autres cas, de reporter des remises à neuf coûteuses et inutiles.

Il y a encore beaucoup de travail à faire avant d'en arriver à l'établissement de normes standard élevées relatives à l'instruction, au fonctionnement, à l'inspection et à la maintenance des moteurs diesel à travers le pays. À cette fin, le soutien constant de chacun du programme d'inspection diesel en assurera le succès.

Dent Harrison

GUIDE DE RÉDACTION

Nous désirons recevoir des textes non classifiés, en anglais ou en français, qui répondent à l'un des objectifs de la Revue. Le Comité de rédaction de la Revue voit à la sélection des articles qui sont publiés dans la Revue.

Les articles doivent être dactylographiés à double interligne sur feuilles de papier à lettre de 8½ sur 11 et, en règle générale, ils ne doivent pas dépasser 4 000 mots (environ 17 pages). La première page de tout texte doit indiquer le nom, l'adresse et le numéro de téléphone de l'auteur. Les illustrations et les photographies doivent être accompagnées d'une légende complète, et le manuscrit doit comprendre une brève note biographique sur l'auteur. Une photo de l'auteur serait appréciée, mais n'est pas absolument nécessaire.

Les lettres de toutes longueurs sont les bienvenues. Cependant, seules les lettres signées pourront être publiées.



Lettres

Rédacteur,

Je lis votre revue avec intérêt; félicitations pour une autre série d'articles très intéressants.

Je vous écris pour vous donner la perspective d'un opérateur sur l'article du Lt (m) Sylvestre intitulé « Les moteurs Stirling ». Il établit au départ le principe que les SSK sont un véhicule fiable pour le soutien de la stratégie maritime Canadienne et ainsi une amélioration des systèmes de propulsion seraient de mise. Le livre blanc récemment publié a sans équivoque fait la différence entre des sous-marins de « position » et des sous-marins de « manœuvre » ce qui établit une toute différente perspective sur les besoins opérationnels auquel la conception doit être subordonnée.

L'historique des travaux de recherche dans le domaine de la propulsion AIP est quelque peu perturbée, avec des périodes offrant un espoir resplendissant qui sont contrainctes par des résultats décevants. Les systèmes AIP n'ont pas atteint le statut opérationnel dans les marines de haute mer pour la raison qu'ils ne supportent pas une stratégie de « manœuvre ». Le Lt Sylvestre parle de l'expérience Suédoise comme un exemple pour l'avenir; mais il ne faut pas oublier les besoins opérationnels de la Suède qui s'appliquent à la « position ». Les sous-marins Suédois opèrent dans un rayon restreint qui inclut les eaux territoriales et la mer Baltique. Ils ont un tonnage de 1 2000 tonnes et un équipage de moins de 30. Ils patrouillent pour des périodes de moins d'une semaine et sont limités en approvisionnement de nourriture et oxygène aussi bien que par leur système de propulsion. Malgré la présence de glace dans la mer Baltique, les sous-marins Suédois ont un champ d'action limité par la glace en bordée.

Il faut maintenant tenir compte de la réalité Canadienne. Pour raisons de géographie, les sous-marins Canadiens doivent avoir un champ d'action de plusieurs milliers de milles et plusieurs semaines en mer. Ces facteurs demandent un sous-marin de haute mer de taille et équipage important. Il faut aussi tenir compte du besoin de naviguer sous la glace, ce qui rend l'expérience Suédoise peu valable. Les patrouilles submergées d'après la stratégie de « manœuvre » étant établie pour la Marine Canadienne pourraient durer plusieurs semaines. Un système de propulsion limité par le temps n'est certainement pas acceptable.

Nous nous devons de considérer des solutions nouvelles et innovatives. Mais notre solution se doit de promouvoir l'avancement d'une stratégie par la technologie et non de trouver une place où y appliquer une technologie en justifiant une stratégie.

Cdr D.C. Morse
Commandant
NCSM Skeena

Rédacteur,

Il me fait plaisir de voir que mon article sur les moteurs Stirling a été trouvé intéressant, mais je suis surpris que le cdr Morse ne considère pas les ingénieurs en mécanique navale comme des « opérateurs ».

Quoi qu'il en soit, je trouve dommage qu'il a apparemment mal interprété mon point de vue qu'une combinaison de SSN et de SSK munis de AIP, et non seulement des AIP, produirait une force de sous-marins plus efficace que seulement des SSN.

En ce qui attrait au fait que les petits sous-marins de 1 200 tonnes de la RSWN ne s'appliquent pas aux opérations canadiennes, je suis d'accord. C'est la raison pour laquelle j'ai basé ma dissertation sur le sous-marin Upholder de 2 400 tonnes. Il faut aussi noter que le premier sous-marin de la RSWN ayant des moteurs Stirling n'a pas encore complété d'essais en mer. Dans quelques années, quand ils en auront la faculté, ces sous-marins pourront peut-être naviguer sous la glace de la mer Baltique.

Il va sans dire que « nous nous devons de considérer des solutions nouvelles et innovatives ». Pour cette raison il est important de se tenir au courant de nouvelles technologies qui émergent des autres marines tout en s'efforçant de combler les besoins de notre présente stratégie.

R.A. Sylvestre
Lieutenant Commander

LES OBJECTIFS DE LA REVUE DU GÉNIE MARITIME

- promouvoir le professionnalisme chez les ingénieurs et les techniciens du génie maritime.
- offrir une tribune où l'on peut traiter de questions d'intérêt pour la collectivité du génie maritime, même si elles sont controversées.
- présenter des articles d'ordre pratique sur des questions de génie maritime
- présenter des articles retraçant l'historique des programmes actuels et des situations et événements d'actualité.
- annoncer les programmes touchant le personnel du génie maritime.
- publier des nouvelles sur le personnel qui n'ont pas paru dans les publications officielles.



Chronique du commodore

par le commodore W.J. Broughton

Le rédacteur de la Revue m'a aimablement invité à écrire un article dans le présent numéro. À titre de nouveau conseiller de la Branche du GMAR, je crois qu'il est tout à fait de bon ton de parler de questions ayant trait au personnel.

La majeure partie de mes propos fait suite aux débats tenus lors de la réunion d'avril du conseil du GMAR. Laissez-moi d'abord souligner que ces commentaires sont, dans une grande mesure, un reflet de l'excellent progrès enregistré sous la direction de mon prédécesseur, le contre-amiral Boyle, mon prédécesseur. Vous devez tous savoir, qu'il m'a passé les rênes d'un programme dynamique et en pleine santé pour lequel, j'en suis convaincu, vous aimeriez que je lui exprime, publiquement, les remerciements du groupe GMAR.

Bien que je vienne d'employer l'expression groupe GMAR, le conseil se préoccupe également des occupations techniques de mer du PNO. Notre capacité collective de diriger, soutenir et renouveler la flotte est directement liée à leur « vigueur ». Il est essentiel que les effectifs soient complets et que la formation soit appropriée. En outre, le conseil a exprimé sa profonde inquiétude au sujet du maintien de la production en dépit des effectifs accrus projetés et la formation supplémentaire nécessaire alors que nous nous préparons à recevoir les nouvelles FCP et les navires du projet de révision et de modernisation de classe Tribal (TRUMP). Vous savez qu'il est inévitable qu'il y ait certaines faiblesses dans notre part des crédits d'instruction des FC. En général, nous avons pu composer avec la situation et il devrait en être de même dans l'avenir. Le domaine le plus tou-

ché est celui des électriciens et électrotechniciens du GMAR. Nous avons accéléré le recrutement afin de s'assurer d'une progression constante de leur personnel formé.

Le conseil a donné son approbation de principe unanime en vue de la création d'un nouveau poste de technicien en contrôle et instrumentation. Le personnel de commandement et de la DGGMM élaborera conjointement cette proposition visant à satisfaire les exigences d'opération et de maintenance futures de la technologie numérique des systèmes de contrôle des machines. En attendant, un cours spécialisé sera offert.

Pour les officiers du GMAR, le conseil a reçu deux excellents rapports sur les programmes de vérification de l'instruction SM et SC. Leurs conclusions et recommandations ont été indispensables aux perfectionnements en cours en vue d'améliorer la programmation, l'envergure et le contenu de cette instruction. En bref, ils concluaient :

- que la structure de base du poste de GMAR est valable
- qu'il n'y a pas de problèmes structureaux fondamentaux en ce qui a trait aux plans d'instruction proposés par l'étude du GMAR
- que la mise en œuvre des détails d'instruction visant à satisfaire cette structure n'a pas été complète et précise
- que dans certains cas, des exigences mal placées à l'intérieur des spécifications de base du poste, du sous-poste et de la direction du service ont fait que certains éléments étaient programmés trop rapidement dans le cours de l'instruction
- les postes de IMSMA et IMSCA doivent être d'une durée minimale de 12 mois.
- pour le SM sous CEM, l'étude du GMAR a enlevé, plus qu'escompté, l'accent sur l'instruction d'opérateur.

En juin, un bureau de révision des spécifications du GMAR composé d'officiers du GMAR du commandement et du QGDN, y compris des représentants de tous les sous-postes, s'est réuni pour épurer les spécifications. La dotation en personnel et l'approbation ne devraient pas tarder. À la prochaine étape, en septembre, les comités de normalisation des cours s'occuperont d'amender la documentation qui définit le contenu des cours et de l'instruction en apprentissage. Comme vous pouvez le constater, le suivi afin de pallier les faiblesses notées dans les programmes de vérification de l'instruction se fait en concertation.

Je veux terminer en disant que je suis touché que l'on m'ait offert les postes de DGGMM et de conseiller du GMAR. Mon rôle, comme je l'entend, est de m'assurer que les meilleures politiques, planification et méthodes soient en place de façon à optimiser la productivité de nos effectifs. C'est de cette façon, selon moi, que je sers le mieux la population. En ces temps remplis de défis à relever, je vise ce but ultime.

Programme d'inspection des moteurs diesel

Par le Lieutenant commander Richard Sylvestre

Introduction

Les grandes initiatives prises en vue d'améliorer l'efficacité de la Marine canadienne mettent un nouvel accent sur l'utilisation des moteurs diesel pour la production de l'énergie électrique et de la force motrice. Les moteurs diesel modernes offrent par rapport aux systèmes concurrents des avantages aux niveaux de la consommation de carburant sous charge partielle, de la fiabilité, de la facilité d'exécution des réparations à bord, des frais d'entretien et de l'obtention de pièces de rechange. Toutefois, pour tirer profit de ces avantages importants, il est essentiel de maintenir la rigueur des normes d'exploitation et de baser l'entretien des moteurs sur leur condition plutôt que sur un programme traditionnel établi en fonction du calendrier. Par le passé, ces règles fondamentales de l'entretien des moteurs diesel n'ont généralement pas été enseignées ou appliquées de façon satisfaisante — en particulier pour ce qui a trait aux navires de surface — et il est devenu nécessaire d'imposer à l'échelle de la flotte des normes d'exploitation et d'entretien considérablement plus sévères en vue de pouvoir répondre aux besoins techniques à venir. Cette préoccupation suscite présentement plusieurs mesures, dont la mise sur pied du Programme d'inspection des moteurs diesel⁽¹⁾ par le directeur-Génie maritime et électrique, en collaboration avec le Centre d'essais techniques (Mer).

Historique

Par le passé, on arrivait difficilement à établir la condition des moteurs diesel avant d'avoir à les réviser ou à les réparer. Les moteurs subissaient à grands frais des révisions qui n'étaient pas toujours justifiées, et certains atteignaient presque le point d'auto-destruction parce que leurs défauts n'étaient pas détectés assez tôt. Les normes d'exploitation laissaient également quelque peu à désirer, ouvrant inévitablement la voie à des défaillances inexcusables. Cette situation inacceptable peut être attribuée à l'absence de techniques efficaces de contrôle de l'état des moteurs diesel et au caractère peu pertinent des cours professionnels dispensés en mécanique navale. Une étude récemment menée à l'école de la Flotte — Halifax a révélé que les cours portant sur les moteurs diesel ne comportaient pas suffisamment de formation pratique et qu'ils ne préparaient pas adéquatement le personnel affecté à la mécanique navale pour lui

permettre d'assurer le bon fonctionnement et l'entretien des moteurs en mer.

Jusqu'à dernièrement, ces problèmes suscitaient peu d'intérêt. Bien sûr, on se préoccupait de l'augmentation des frais reliés à l'utilisation du diesel dans les vieux sous-marins et les navires auxiliaires, mais comme les principaux navires de guerre ne recouraient au diesel que pour la production de l'énergie électrique d'urgence ou de secours, les problèmes n'ont jamais revêtu une grande importance. Cependant, la situation devait changer du jour au lendemain avec le projet concernant la Frégate canadienne de patrouille. Le fait que la FCP dépende de moteurs diesel modernes hautement perfectionnés pour tout ce qui a trait à la propulsion et à la production d'électricité a fortement avivé les préoccupations de la Marine concernant l'exploitation et l'entretien des moteurs diesel.

Les initiatives en voie de réalisation dans le domaine des moteurs diesel comprennent la construction d'un centre de formation doté de tout le matériel nécessaire et la révision des cours professionnels à l'École de la Flotte — Halifax, la mise en œuvre d'un programme d'inspection des moteurs diesel, le remplacement des vieux moteurs, diverses modifications techniques de navires (SHIPALT) destinées à améliorer la filtration, la lubrification et la vérification des huiles et un contrôle plus efficace de la qualité des pièces de rechange. De plus, une ligne de conduite globale visant la totalité des quelque 500 moteurs diesel est promulguée dans la Directive logistique concernant l'équipement — moteurs diesel⁽²⁾, et on est à réviser et à augmenter les articles du Naval Engineering Manual traitant des moteurs diesel.

Analyse de l'état des moteurs diesel

Effectuer des révisions en fonction d'un calendrier pré-établi, indépendamment du nombre d'heures de marche accumulées ou de la condition des appareils, constitue une façon simpliste d'assurer l'entretien qui génère souvent de nouveaux problèmes en corrigeant d'autres. La nouvelle orientation vers un entretien logique en fonction de l'état des moteurs est par conséquent bienvenue. Elle pose toutefois un problème au niveau de la fiabilité de l'évaluation de la condition des appareils. L'analyse spectrométrique des huiles et l'analyse des phénomènes vibratoires, techniques qu'utilise

actuellement la Marine pour effectuer le contrôle de l'état des moteurs (CEM), ne permettent pas d'obtenir une évaluation sûre, d'où la nécessité de recourir à de nouvelles techniques. Des méthodes plus efficaces sont en train d'être adoptées pour analyser les huiles et les calorimètres, et des recherches sont menées en vue de mettre au point un système automatisé de CEM électronique approprié. Bien que ces dernières méthodes soient très prometteuses, elles n'en sont encore qu'à leur stade embryonnaire et il faudra attendre des années avant qu'elles ne fassent valoir pleinement leurs impressionnantes possibilités.

À défaut de toute autre forme de technique de CEM concluante à laquelle recourir pour assurer l'entretien des moteurs en fonction de leur état, il est essentiel que le personnel technique de la Marine soit utilisé de façon plus efficace. On pourra y parvenir en dispensant à des individus sélectionnés une formation centrée sur l'analyse de l'état des moteurs. Comme l'ont démontré les programmes respectivement mis sur pieds par la Marine américaine et la Marine britannique pour assurer la formation de leurs spécialistes et de leurs inspecteurs des moteurs diesel, des gains considérables peuvent être réalisés en augmentant la fiabilité des moteurs et en réduisant les frais d'entretien. Bien qu'on se penche également sur les techniques de CEM électronique tant du côté américain que du côté britannique, on prévoit de part et d'autre tirer grand profit de l'affectation continue de personnel au diagnostic des défauts des moteurs.

Inspections des moteurs diesel

Au mois de juillet 1987, d'anciens inspecteurs de moteurs diesel de la Marine américaine ont donné à Halifax un cours de formation d'inspecteurs de diesel qui a été très bien accueilli. Durant le cours et par la suite, des inspections de groupes diesel opérationnels effectuées sur les lieux ont révélé un manque de compétence alarmant chez les préposés canadiens au maniement et à l'entretien des moteurs diesel. Les points faibles fréquemment observés à travers la flotte consistaient notamment en des fuites et des accumulations excessives de saleté et de fluides, des instruments défectueux, des registres portant des renseignements incomplets et inexacts sur les moteurs, des chemises de cylindres rayées, des fuites de carburant au piston,

des injecteurs défectueux, des culbuteurs usés et des fils de freinage défectueux. Dans certains cas, des segments de piston brisés, des coussinets défectueux, des déclencheurs de secours inutilisables et des fuites de carburant dangereuses ont été découverts avant que les moteurs ne soient lourdement endommagés.

L'évidence à laquelle ont mené les inspections a suscité de longues discussions qui ont finalement abouti à la décision de mettre sur pied un programme canadien d'inspection des moteurs diesel à partir d'idées empruntées à la Marine américaine et à la Marine britannique. Comme il est décrit ici, ce programme n'est pas de concept compliqué. Il s'agit d'une technique de CEM fondamentale basée sur l'observation des anomalies par un personnel compétent. Une inspection de diesel comportera un examen mécanique et administratif approfondi dans le cadre duquel un inspecteur qualifié passera deux ou trois jours à :

a. évaluer l'ensemble de la documentation technique relative au moteur, y compris les manuels, les carnets de bord, les registres concernant l'analyse des huiles et des calorifères et les fiches d'entretien;

b. évaluer l'entretien général et l'instrumentation;

c. retirer au besoin couvercles et pièces pour examiner l'usure d'éléments comme les segments de coussinets, les chemises de cylindres et les soupapes, et vérifier le réglage des crémaillères d'injection, des mécanismes régulateurs d'injection, des régulateurs de régime et des dispositifs de sécurité;

d. observer le fonctionnement du moteur en utilisation normale afin de détecter les fuites, les températures de marche et les pressions excessives, les régimes inappropriés et les baisses de puissance à la sortie; et

e. rédiger à l'intention des responsables du navire et des autorités côtières appropriées un rapport d'inspection officiel en s'aidant de l'ordinateur.

Les inspections donneront lieu à des évaluations détaillées de la condition mécanique des éléments internes des moteurs, de sorte que la maintenance pourra être axée sur des déficiences précises. Ceci devrait réduire considérablement les révisions inutiles et permettre la détection des défaillances mineures avant qu'elles ne dégénèrent en troubles graves. Outre leur uti-

lité évidente dans la prise de décisions relatives à l'entretien, les inspections régulières devraient également :

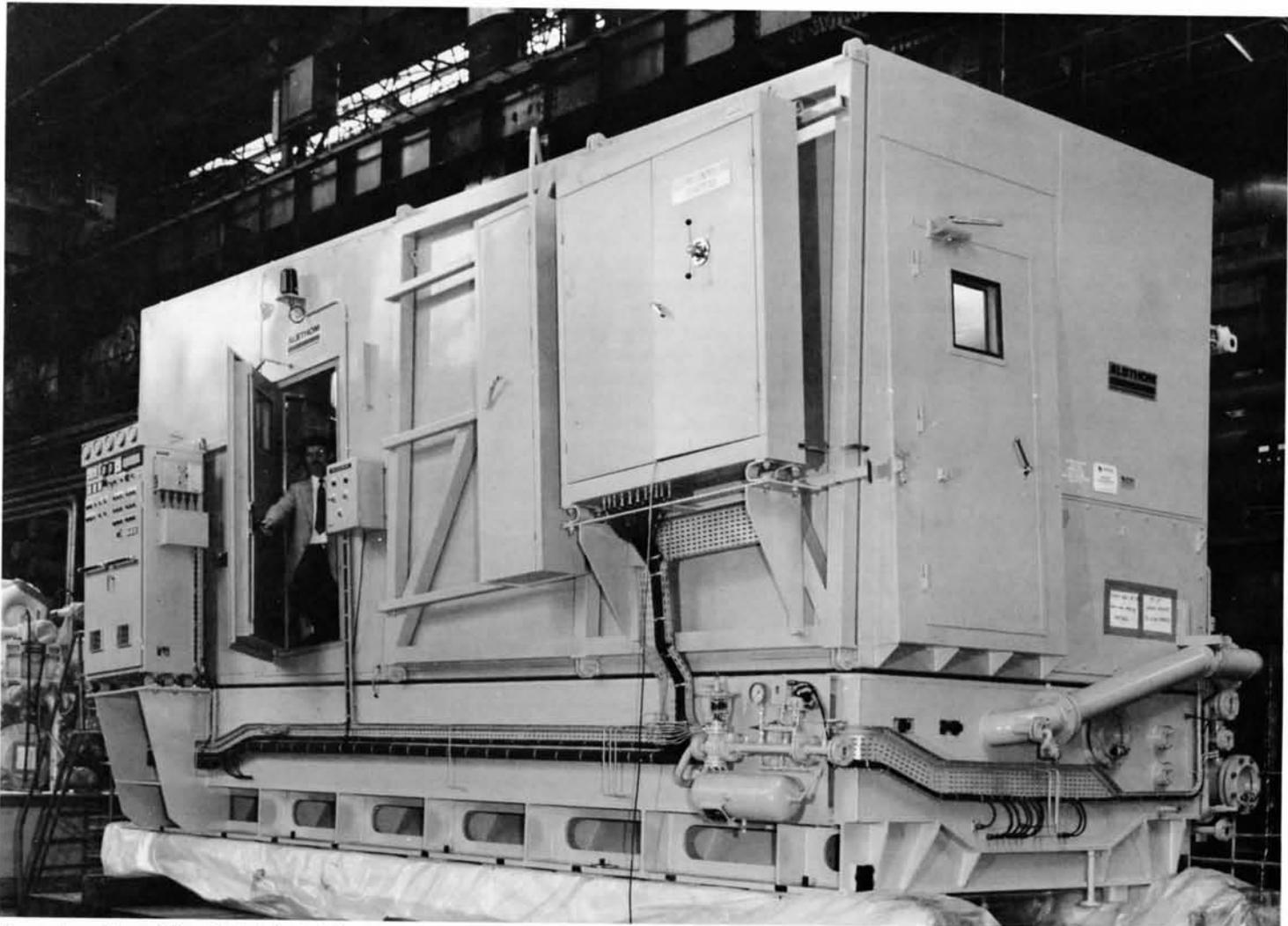
a. accroître la sensibilisation de la flotte face au mode d'exploitation et d'entretien des moteurs et favoriser l'application des méthodes appropriées, ce qui réduira la fréquence des réparations dues à des défaillances inexcusables; et

b. servir d'indicateur constant et visible des normes appliquées à travers la flotte en matière d'exploitation et d'entretien des diesel.

Au début, les inspections se feront sur une base annuelle et avant et après la révision/remise en état dans le cas de la plupart des moteurs de plus de 200kW et des autres moteurs coûteux ou d'une importance cruciale. Au fur et à mesure que le programme sera intégré au système de gestion de l'entretien, le moment des inspections sera déterminé par des plans d'entretien préventif, et d'autres moteurs pourront être inclus.

Inspecteurs

Le rôle principal des inspecteurs de moteurs diesel sera de procéder à des inspections en se



Un moteur de croisière Pielstick de 6,2 mw prêt à être installé à bord d'une frégate canadienne de patrouille. Le choix par la FCP de moteurs diesel moderne et sophistiqué pour ses besoins de propulsion et d'électricité a accordé un statut particulier à la fiabilité des diesels.

fondant sur un guide d'inspection des diesel et en suivant des directives techniques pertinentes. De plus, les inspecteurs devront notamment:

- a. assister et conseiller le personnel des navires aux prises avec des problèmes de moteurs diesel;
- b. informer le QGDN des anomalies au niveau du plan d'entretien préventif, de la liste justificative du matériel et des autres documents;
- c. aviser les centres de formation des pro-

blèmes de formation apparents observés dans la flotte; et

- d. fournir aide et conseils pertinents relativement aux essais portant sur les moteurs diesel.

Les inspecteurs seront pour la plupart des spécialistes en mécanique navale. Lorsqu'ils serviront à titre officiel d'inspecteurs de diesel en chef, ils occuperont pendant des périodes d'affectation de deux à trois ans des logements côtiers prévus à cette fin. Après une période d'affecta-

tion, un inspecteur pourra reprendre ses fonctions normales en mer (avec une connaissance précieuse et beaucoup plus approfondie des diesel), et ses affectations subséquentes à terre pourront inclure des postes d'inspecteur principal dans des centres locaux ou au QGDN.

La formation des inspecteurs de moteurs diesel comprendra un cours exhaustif d'une durée de trois à quatre semaines. Les candidats seront sélectionnés d'après leur expérience et leur rendement antérieur, selon leur disponibilité et en fonction d'autres exigences de la dotation. Le cours sera inspiré du cours de formation des inspecteurs de la Marine américaine et sera dispensé par un entrepreneur professionnel en attendant de pouvoir être donné de façon satisfaisante par des ressources internes compétentes. La qualification subséquente au titre d'inspecteur de diesel s'obtiendra à la suite d'une période de formation sur le tas qui se déroulera normalement dans les premiers mois de l'affectation du candidat à un poste d'inspecteur en second.

Perspective d'avenir

Avec l'entrée en service de la FCP et l'amélioration de nombreuses installations diesel au cours des dix prochaines années, la Marine en viendra à tirer de ses moteurs diesel au moins 80 pour cent de son énergie électrique et plus de 50 pour cent de sa force motrice. Ces chiffres témoignent du besoin urgent des améliorations que nous venons de décrire. Grâce à la mise en œuvre du programme d'inspection et aux autres initiatives importantes, nous serons en mesure de gérer notre nouvelle technologie des diesel au moins aussi bien que nous avons géré nos turbines à gaz et à vapeur par le passé.



Références

1. I2815-119 (DMGE 2) 22 mars 1988 — « Programme d'inspection des moteurs diesel ».
2. EFFC: 4500-1 (ENG/DCOMPT (D)) 8 juin 1987.
3. I2815-0 (DMGE 2) 29 janvier 1988 — « Draft Marine Diesel Engine Equipment Logistics Directive ».



Le Lieutenant-commander Sylvestre était Officier des projets-moteurs diesel à la DMGE (2) avant d'être nommé en mai dernier Officier des projets — systèmes de contrôle des machines à la DMGE (7).



Les règles de la bonne pratique en génie diesel sont l'élément primordial du programme d'inspection des diesels de la Marine. Le programme est très prometteur en ce qui a trait à l'amélioration de la fiabilité des diesels dans la flotte.

Propulsion électrique de la frégate ASM

À l'avant-garde

Par MM. W.A. Reinhardt et R. Storey

Introduction

Si on la compare aux différents modes de propulsion mécaniques des navires, la propulsion électrique comporte de nombreux avantages dont les suivants :

- bas niveau de bruit ;
 - consommation d'énergie réduite ;
 - vitesse réglable à l'infini et commande précise de la vitesse de rotation de l'hélice ;
 - renversement de marche simple et rapide ;
 - connectivité intrinsèque ;
 - plus grande souplesse concernant la conception du système de propulsion et l'aménagement du navire.
- (• Au Canada, on peut aussi compter l'avantage d'une grande facilité de construction en temps de guerre.)

Des avantages de ce genre ont permis l'utilisation de système de propulsion électrique à bord de porte-aéronefs, de pétroliers, de navires de ligne, de sous-marins, de brise-glaces et de navires de recherche océanographique. Jusqu'à pré-

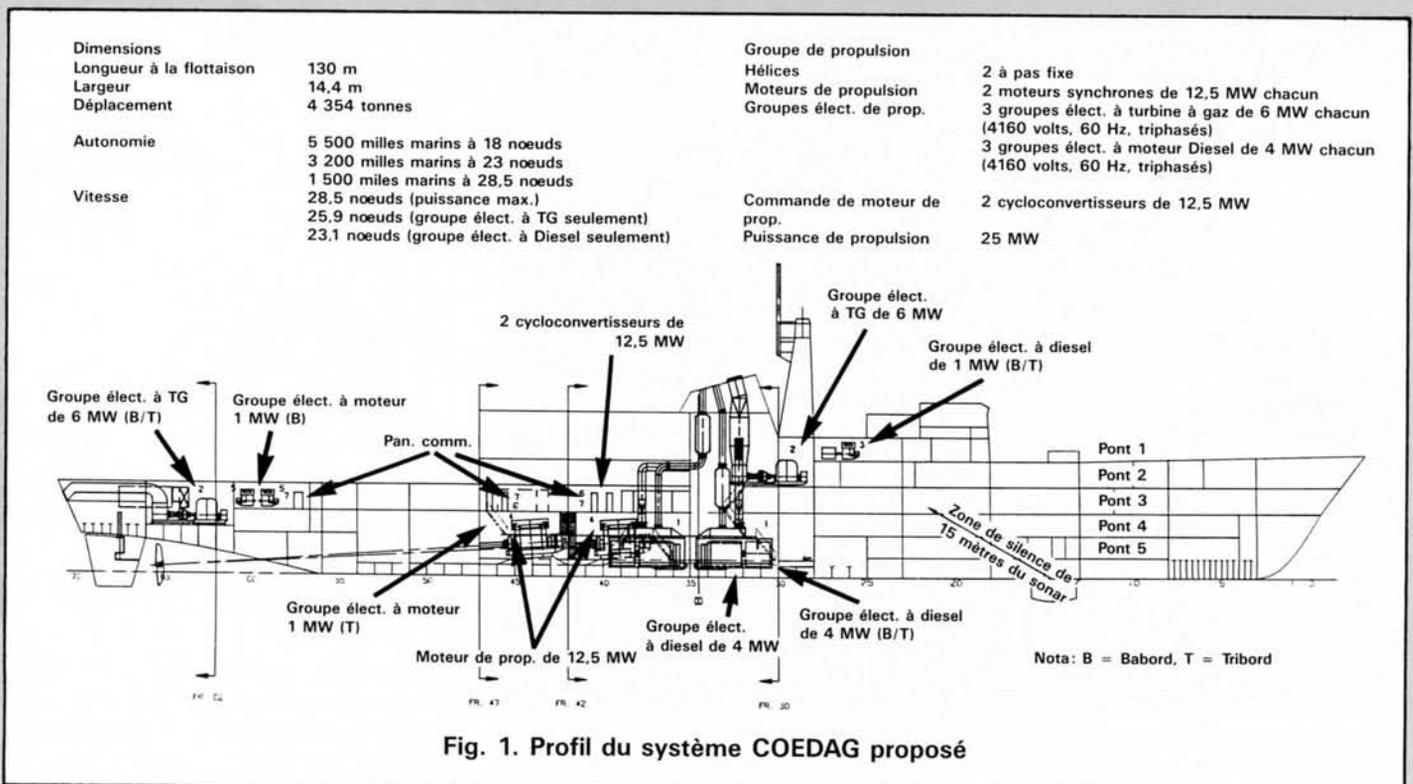
sent, toutefois, aucun système de propulsion entièrement électrique n'a été utilisé à bord d'une frégate. On a généralement expliqué cette situation par le fait que les systèmes électriques présentent un encombrement, un poids et des coûts d'acquisition relativement plus élevés que les systèmes de propulsion mécanique ; cependant, ces inconvénients peuvent être réduits considérablement grâce aux matériaux, à l'équipement et aux techniques de conception modernes.

Compte tenu des perfectionnements dans le domaine des dispositifs électriques à semi-conducteurs à grande puissance et des priorités qu'on accorde aujourd'hui à la faible consommation d'énergie, à l'automatisation et aux caractéristiques de bruit faible à bord des navires de lutte anti-sous-marine, la propulsion électrique représente une alternative viable aux groupes propulseurs classiques. La Royal Navy (Marine nationale britannique), par exemple, utilise un système de propulsion de croisière électrique à bord de sa frégate ASM de classe *Duke* (type 23).

Comme les réducteurs et les hélices à pales orientables contribuent grandement au bruit des navires, il est particulièrement souhaitable de les supprimer des systèmes de propulsion des frégates ASM. Une solution consiste à utiliser l'énergie électrique de propulsion sur toute la plage des vitesses des frégates ASM.

En gardant cette possibilité à l'esprit, la Direction du génie maritime et électrique a entrepris une étude de faisabilité et de conception ainsi qu'une étude de simulation concernant un système de propulsion entièrement électrique destiné à un navire de type frégate. Ces études visaient :

- à déterminer la capacité à satisfaire aux exigences techniques et opérationnelles d'une frégate au moyen de la propulsion électrique ; et
- à concevoir un modèle pouvant le mieux répondre aux besoins.



Le présent document décrit une frégate avec données sur sa conception et ses caractéristiques électriques. Le document examine aussi la conception du système et la disposition des machines, traite des avantages et des inconvénients des systèmes et signale les résultats de l'étude de simulation. Finalement, le document présente des conclusions et des perfectionnements à venir.

Conception du navire

L'étude de conception a démontré qu'il est possible d'utiliser un système de propulsion entièrement électrique, semblable à ceux utilisés actuellement à bord des brise-glaces canadiens et qu'il s'agit là d'une alternative viable au groupe de propulsion mécanique classique. La figure 1 montre la disposition générale d'un groupe de propulsion donné parmi d'autres et la figure 2 montre le schéma de l'installation électrique.

Disposition des machines

La disposition des machines permet de constater la souplesse du système de propulsion électrique, en ce sens que les dispositifs d'entraînement n'ont pas à être alignés avec les arbres ou les réducteurs. Les moteurs sont montés dans des salles en quinconce, aussi à l'arrière que possible et leur position n'est limitée que par des considérations d'inclinaison de l'arbre, d'envahissement par l'eau et d'espace réservé au jeu de l'hélice. La disposition offre des améliorations en ce qui concerne la robustesse, la réduction du bruit et de la signature infrarouge des échappements des turbines à gaz. La suppression des gros coffres centraux libère de l'espace précieux.

Alimentation électrique du navire

L'alimentation triphasée de 440 volts à 60 Hz du navire est fournie par deux groupes électrogènes à moteur synchrone de 1 MW, eux-mêmes alimentés par le circuit commun de propulsion. En outre, des groupes électrogènes à moteur diesel de 1 MW chacun servent de groupes de relève, ce qui est la pratique courante dans la Marine canadienne.

Analyse de la conception

Conception de la frégate

L'étude de la conception a porté sur une maquette de frégate OTAN de caractéristiques et de déplacements récents. Cette frégate de référence a été étudiée en fonction d'un système CODOG (propulsion mixte moteur diesel et turbine à gaz) aussi utilisé pour des fins de comparaison à bord de la frégate à propulsion électrique.

Ensuite, la frégate à propulsion électrique a été perfectionnée à partir de la frégate de référence, compte tenu de la pratique de la conception dans la Marine canadienne. Le système utilisé à bord de la frégate à propulsion électrique est de type COEDAG (propulsion mixte moteur Diesel-électrique et turbine à gaz).

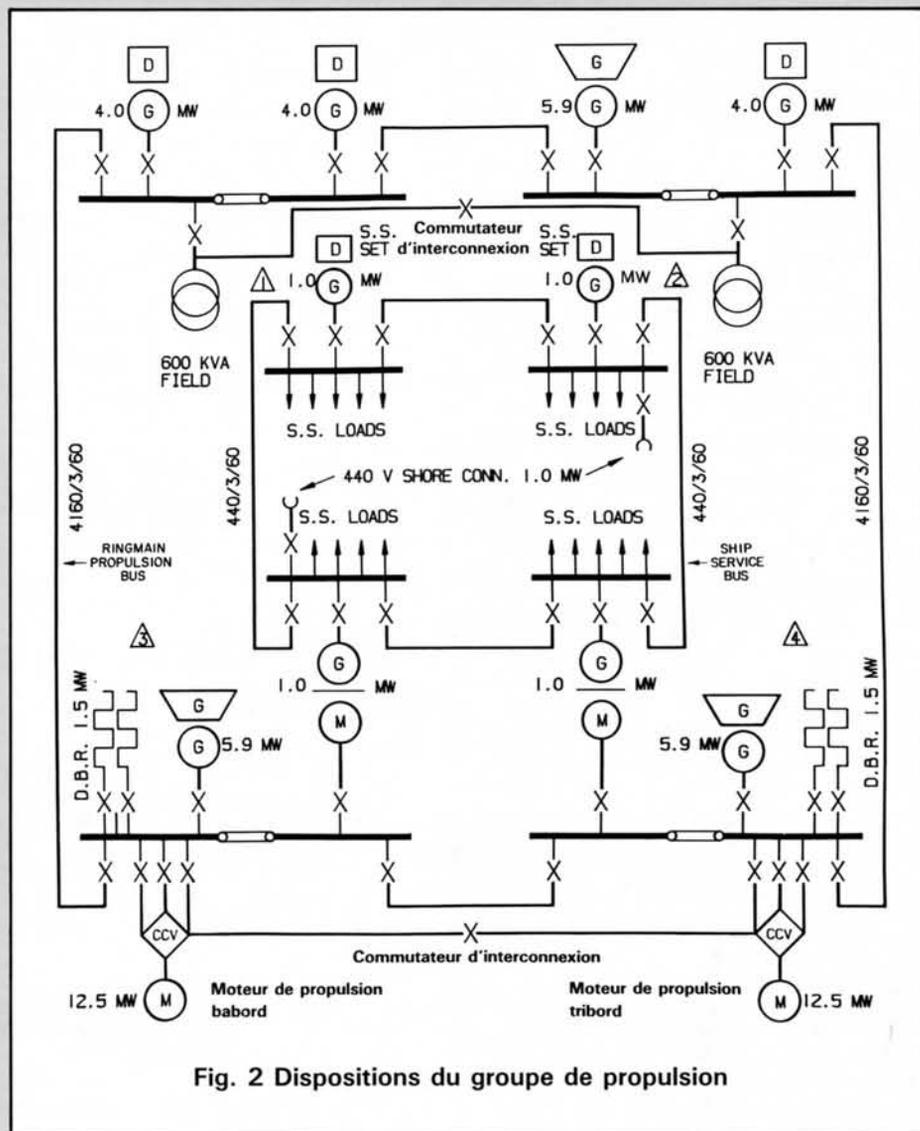


Fig. 2 Dispositions du groupe de propulsion

Caractéristiques de plate-forme	COEDAG	CODOG
Déplacement (en tonnes)	4,354	4,247
Combustible (en tonnes): pour satisfaire aux exigences d'autonomie (vie utile totale)	402	554
par 100 heures (mode normal)	111,000	150,221
(mode défense)	113	153
(mode silence)	123	163
Puissance à l'arbre (MW): à 15 °C	177	300
à 38 °C	25	30
à 43 °C	25	26.4
Encombrement des machines et du combustible (m ³)	25	24.9
	1,362	1,188

Tableau 1: Comparaison des plates-formes

Le Tableau 1 présente un résumé comparatif des caractéristiques techniques des frégates de référence (CODOG) et à propulsion électrique.

Caractéristiques électriques

Le moteur de propulsion est l'élément principal du système de propulsion; il faut par conséquent le choisir avec soin. Le moteur à c.c. est plus encombrant que le moteur à c.a. de même puissance (voir figure 3) et ne convient donc pas à une frégate. Le fonctionnement du moteur asynchrone à c.a. dépend largement de

l'entrefer (c'est-à-dire qu'il nécessite un petit entrefer concentrique) et le moteur est plus sujet aux avaries dues aux chocs et à la flexion de l'arbre; il s'agit là d'un inconvénient sérieux dans le cas d'une frégate. Le moteur synchrone à c.a. ne présente aucun de ces problèmes.

La figure 4 montre trois des systèmes à c.a. pouvant servir à entraîner une hélice à pas fixe. L'inverseur à commutation par la charge (LCI) fonctionne sur une vaste plage de vitesse, mais la vitesse minimale ne doit pas être inférieure à 10 pour cent de la vitesse nominale en raison

de la f.é.m. insuffisante du moteur pour la commutation automatique des thyristors. Le cyclo-convertisseur permet de commander la vitesse jusqu'à un régime nul, ce qui est comparable aux systèmes d'entraînement à c.c. L'inverseur à commutation forcée ne fonctionne qu'à des niveaux réduits de puissance car les dispositifs à semi-conducteurs comme les thyristors déclenchables par la gâchette, qui possèdent les caractéristiques nominales voulues, sont encore en cours de perfectionnement.

Compte tenu des constatations précédentes et du désir de conserver une technologie canadienne, le choix a été arrêté sur des moteurs synchrones à c.a. avec cycloconvertisseurs. La figure 5 montre le moteur de propulsion et le cycloconvertisseur mis au point pour le brise-glace de type 1200 de la Garde côtière. Le moteur a une puissance nominale de 9,4 MW, ce qui est relativement près de la puissance nominale de 12,5 MW nécessaire au modèle de la frégate.

Circuit commun de propulsion

Pour des raisons de plus grandes robustesse et maintenabilité, le réseau à collecteurs bouclés a été choisi, comme le montre la figure 2. Ce système de 4 160 volts a été retenu en raison de l'encombrement réduit des moteurs et génératrices et en raison des cotes de courant nominal inférieures (câbles et disjoncteurs plus petits). Le choix du câblage et son installation doivent aussi tenir compte du brouillage et de la compatibilité électromagnétiques (BEM/CEM) ainsi que de la distortion harmonique produite par le cycloconvertisseur.

Alimentation du navire

L'alimentation du navire doit satisfaire aux exigences du STANAG 1008. Plusieurs méthodes différentes ont été étudiées pour obtenir l'alimentation du navire à partir du circuit commun de propulsion, y compris les transformateurs, les inverseurs et les groupes électrogènes à moteur. Les transformateurs et les inverseurs ont été rejetés en raison de la piètre qualité de l'alimentation et de problèmes de f.é.m. Les groupes électrogènes, par contre, ont été étudiés plus en détail puis intégrés au système.

Moteurs primaires de groupes électrogènes de propulsion

Il a été déterminé qu'entre trois et sept groupes électrogènes de propulsion pourraient être utilisés en fonction de la fiabilité, de la maintenabilité, de la complexité, de la réduction de poids et d'encombrement, etc. En tenant compte d'une exigence de puissance de propulsion minimale de 25 MW, neuf configurations différentes ont été retenues pour fins d'évaluation comme le montre le Tableau 2. La consommation en combustible et le poids du combustible ont été calculés pour les neuf modèles et les valeurs sont indiquées au Tableau 3. La consommation à vie en combustible est établie à partir du profil opérationnel indiqué à la figure 6, c'est-à-dire 20 ans en temps de paix (150 jours par année) et 5 ans en temps de conflit ou de tension (220 jours par année).

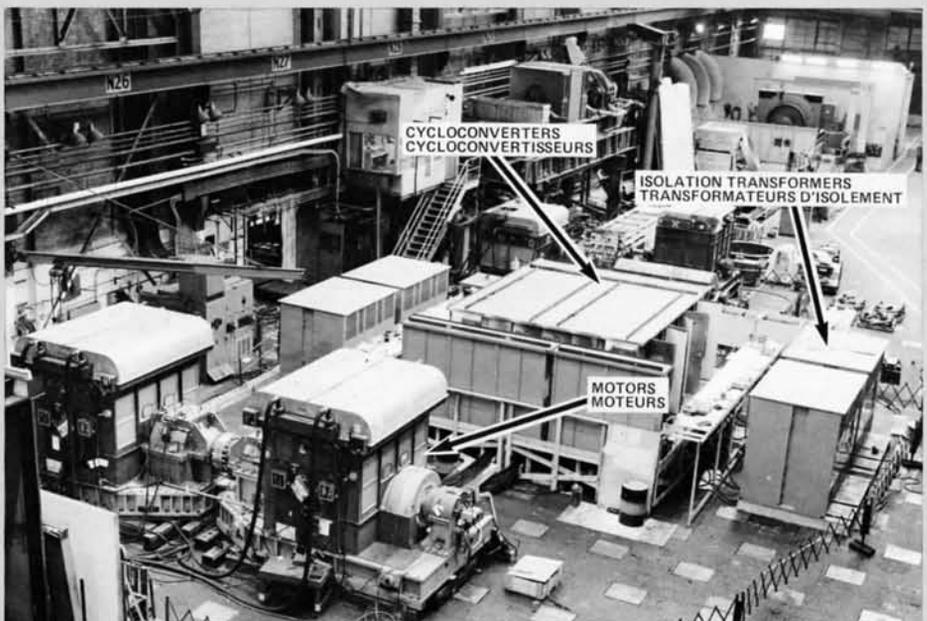
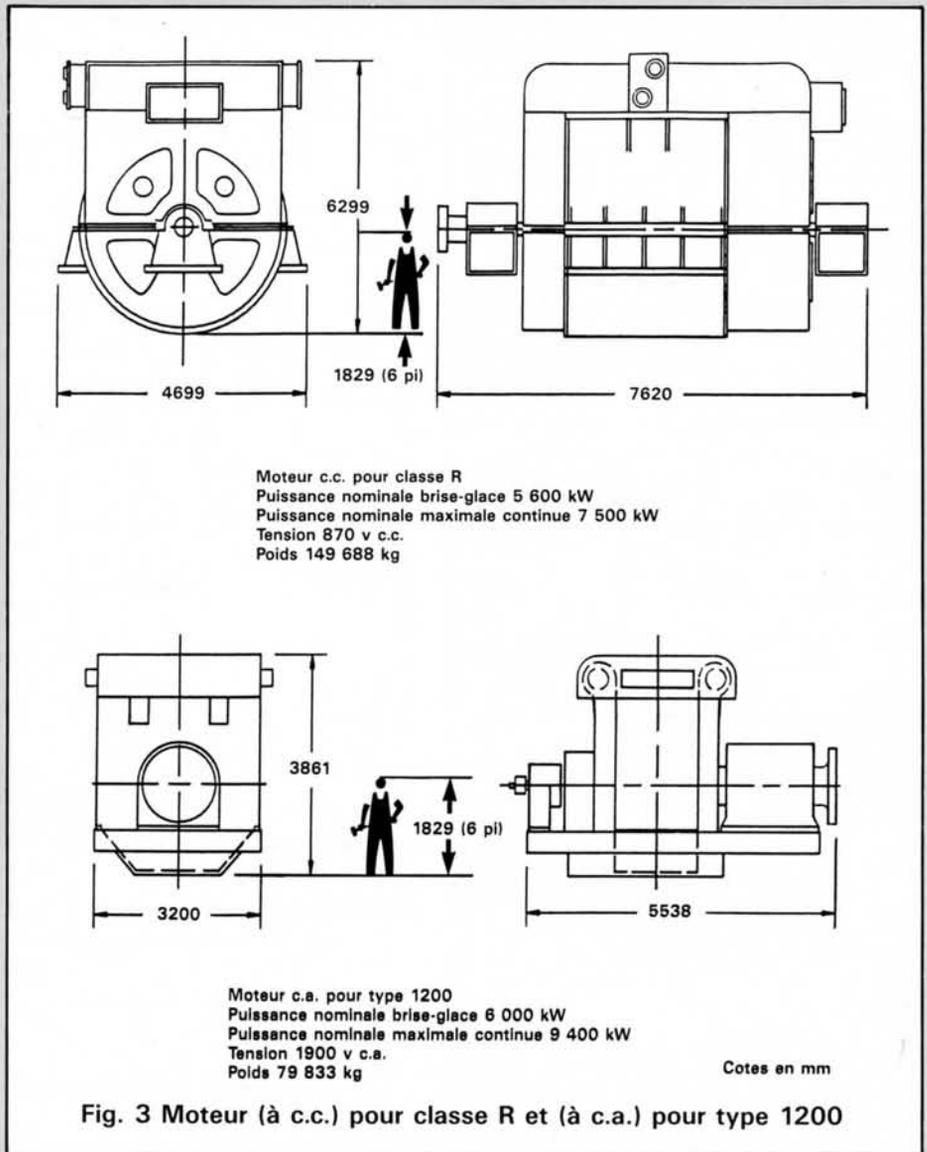


Fig. 5 Essai du système de propulsion de brise-glaces de type 1200, pour la Garde côtière

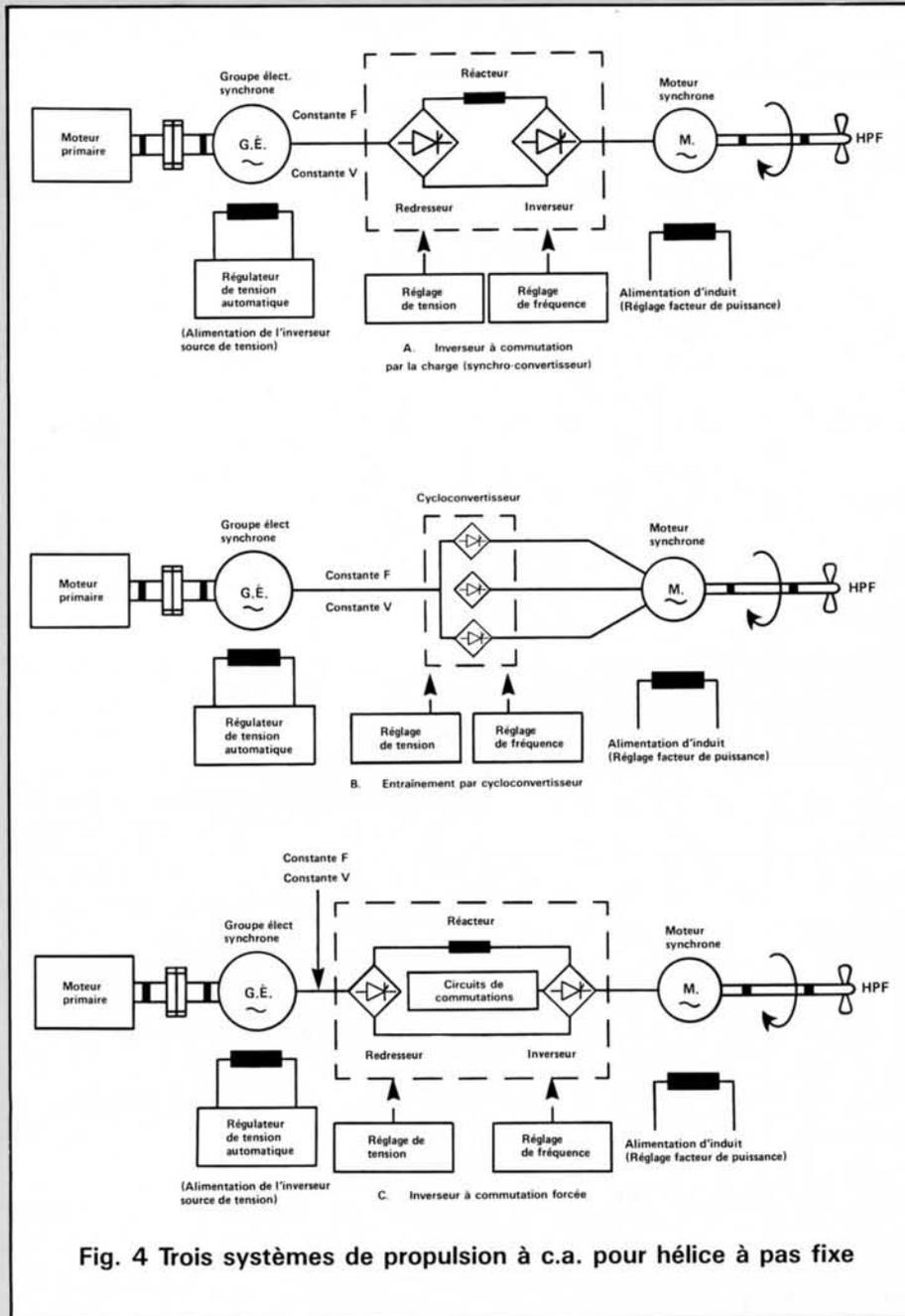


Fig. 4 Trois systèmes de propulsion à c.a. pour hélice à pas fixe

Option	Consommation de combustible pendant toute la vie utile (tonnes)	Consommation de combustible vie utile, en deçà de consommation de référence (%)	Combustible pour satisfaire à l'exigence d'autonomie (tonnes)	Combustible pour satisfaire à l'exigence d'autonomie, en deçà de consommation de référence (%)	Poid du système de propulsion (tonnes)
A	155,500	-3.5	490	11.6	681
B	128,110	14.7	481	13.2	709
C	115,220	23.3	414	25.3	740
D	111,000	26.1	402	27.4	768
E	107,160	28.7	371	33.0	872
F	108,380	27.8	371	33.0	887
G	119,920	20.2	483	12.8	687
H	107,630	28.3	375	32.3	838
I	147,540	1.8	705	-27.3	674
Référence CODOG	150,221	0	554	0	506

Tableau 3: Résumé des options (poids et consommation de combustible)

Option	Nombre de moteurs	Puissance nominale (MW) et type (turbine à gaz ou diesel)
A	6	6.0 (G)
B	5	6.0 (G)
	1	4.0 (D)
C	4	6.0 (G)
	2	4.0 (D)
D	3	6.0 (G)
	3	4.0 (D)
E	2	6.0 (G)
	5	4.0 (D)
F	1	6.0 (G)
	6	4.0 (D)
G	2	12.0 (G)
	2	4.0 (D)
H	1	12.0 (G)
	5	4.0 (D)
I	2	15.0 (G)
	1	4.0 (D)

Système électrique = Circuit commun

Tableau 2: Résumé des options de groupes électrogènes

Les cinq modèles ayant présenté les meilleurs résultats ont été étudiés de façon plus approfondie: un résumé comparatif est présenté au Tableau 4 et au classement au Tableau 5.

Le système « D » a été choisi comme système à mettre au point car il se classait le mieux et présentait le meilleur potentiel aux fins de démonstration de la souplesse de la propulsion électrique.

Groupe de propulsion électrique

Les générateurs sont des machines synchrones sans balais, robustes et de type marin ayant un facteur de puissance de 0,65.

Les deux moteurs de propulsion sont des machines synchrones à c.a., à dix pôles, d'une puissance nominale de 12,5 MW chacun, avec plage de régime de renversement de marche de 0 à 220 tr/min. Le régime de chaque moteur est commandé par un cycloconvertisseur sur la plage de fréquences comprises entre 0 et 16,7 Hz.

Le cycloconvertisseur, présenté en vue schématisée à la figure 7, fonctionne au moyen de thyristors montés tête-bêche. La plage utile de fréquences d'un cycloconvertisseur est comprise entre zéro et une demi-fois la fréquence d'entrée, en raison des harmoniques. La fréquence de 16,7 Hz nécessaire aux moteurs de propulsion est bien dans ces limites.

La commande du groupe d'alimentation sera assurée par un système de commande et de gestion automatique de l'alimentation du navire à microprocesseur et qui permettra de sélectionner le mode de fonctionnement le plus efficace.

Discussion

Il est plus facile de se rendre compte des avantages potentiels de la propulsion électrique à bord d'une frégate ASM en revoyant justement les avantages et les inconvénients du système.

Option	C	D	E	G	H
Puissance (MW): à 15 °C	32.0	30.0	32.0	32.0	32.0
à 38 °C	27.0	26.3	29.5	29.1	30.6
Consommation de combustible (en tonnes)					
Vie utile totale (marche normale)	115,220	111,000	107,160	119,920	107,630
Autonomie (marche normale)	414	402	371	483	375
Par 100 heures (marche normale)	117.6	113.3	109.3	122.4	109.8
Par 100 heures (en mode silence)	196.7	176.8	247.3	252.6	300
Poids du matériel de propulsion et du combustible (en tonnes)	1195	1210	1281	1219	1251
Déplacement (en tonnes)	4337	4354	4424	4362	4394
Rapports du poids du mat. de prop. et du comb. sur le déplacement (en p. cent)	27.53	27.79	28.96	27.95	28.47
Encombrement du mat. de prop. et du combustible (m ³)	1319	1362	1490	1455	1519
Surface de pont qu'occupe le matériel (m ²)	224	237	280	231	283
Fiabilité des moteurs primaires	.7919	.7845	.7877	.6791	.6395
Coûts de l'entretien à vie (million de \$)	8.68	6.20	6.52	9.27	6.56
Coûts d'acquisition et d'installation du groupe électrogène initial (million de \$)	24.90	24.71	28.09	20.51	25.67

Tableau 4: Résumé comparatif

Option	Cotes maximales	C	D	E	G	H
Puissance totale	10	10	9	10	10	10
Cons. de combustible	10	10	9	10	10	10
Mode normal	10	6	8	10	5	10
Mode silence	10	8	9	10	6	7
Poids total	10	10	9	6	9	6
Exigence d'espace	10	10	9	6	9	6
Fiabilité	10	10	9	9	7	6
Maintenabilité	10	6	10	9	6	9
Investissement	20	14	15	10	20	13
Robustesse	10	9	10	10	8	5
Bruit et vibrations	10	10	10	10	10	9
Totaux	110	93	98	90	90	81

Tableau 5: Barème de classement

Bruit et vibrations

Comme les dispositifs de réduction de bruit sont de plus en plus efficaces à bord des sous-marins, la tâche première de la frégate ASM (qui est de repérer des cibles) est de plus en plus difficile. Les limites des sonars de coque attribuables au bruit hydrodynamique sont bien connues; c'est pourquoi des sonars remorqués ont été mis au point et peuvent être remorqués sur plusieurs mètres en arrière du navire en eau calme. Cependant, malgré la longueur de la remorque, le rendement du sonar remorqué peut être sévèrement détérioré par le bruit rayonné du navire, surtout à faible vitesse.

Lorsque les navires se déplacent sur l'eau à des vitesses inférieures à la vitesse de rotation de l'hélice à laquelle se produit la cavitation, le bruit rayonné dominant est normalement celui

produit par les machines de propulsion principales et les machines auxiliaires. La combinaison turbine à gaz et hélice à pales orientables se prête mal au faible bruit à bas régime, une condition nécessaire pendant la veille au sonar.

La figure 8 montre les courbes approximatives types du bruit rayonné par les systèmes de propulsion électrique, à vapeur et à turbine à gaz. Le fait de montrer la turbine à gaz et le réducteur sur une plate-forme marque une nette amélioration par rapport au navire à turbine à vapeur, mais à faible vitesse, l'hélice à pales orientables devient source de bruit. Un système de propulsion électrique avec hélice à pas fixe supprime l'utilisation du réducteur principal et de l'hélice à pales orientables, et du même fait réduit le bruit à faible vitesse.

Des études menées sur la frégate de type 23 de la Marine britannique ont indiqué qu'un système de propulsion à diesel-électrique pouvait réduire les niveaux de bruit de l'octave de 10 dB. Un système à turbine à gaz, présentant les mêmes valeurs de réduction de bruit, peut offrir d'autres améliorations en raison des caractéristiques élémentaires des moteurs primaires. On peut aussi tirer profit de l'installation des générateurs à des points plus élevés à bord du navire de manière à allonger le parcours de transmission du bruit jusqu'à la mer.

Un navire à propulsion électrique et à turbine à gaz, dont les turbines sont disposées en hauteur à bord, peut être de 15 à 20 décibels plus silencieux qu'un navire à propulsion mécanique, compte tenu du bruit dans la bande large; il peut être encore plus silencieux pour du bruit dans la bande étroite. Cette réduction du bruit améliore grandement la capacité de détection des sonars actifs et passifs du navire et diminue la portée de détection du navire par un sous-marin.

Consommation réduite de combustible

Si on compare les données d'un navire à propulsion électrique en c.a. à celles du navire de référence à propulsion CODOG, le premier présentera une consommation de combustible de 30 à 40 pour cent inférieure sur toute sa durée de service.

À partir du Tableau 3, il est facile de constater les effets des moteurs diesel et des petites turbines à gaz sur le rendement. La frégate à propulsion électrique est moins comburivore lorsqu'elle fonctionne avec de petites turbines à gaz en mode ASM, mais elle doit utiliser de plus grosses turbines pour être plus silencieuse aux basses vitesses.

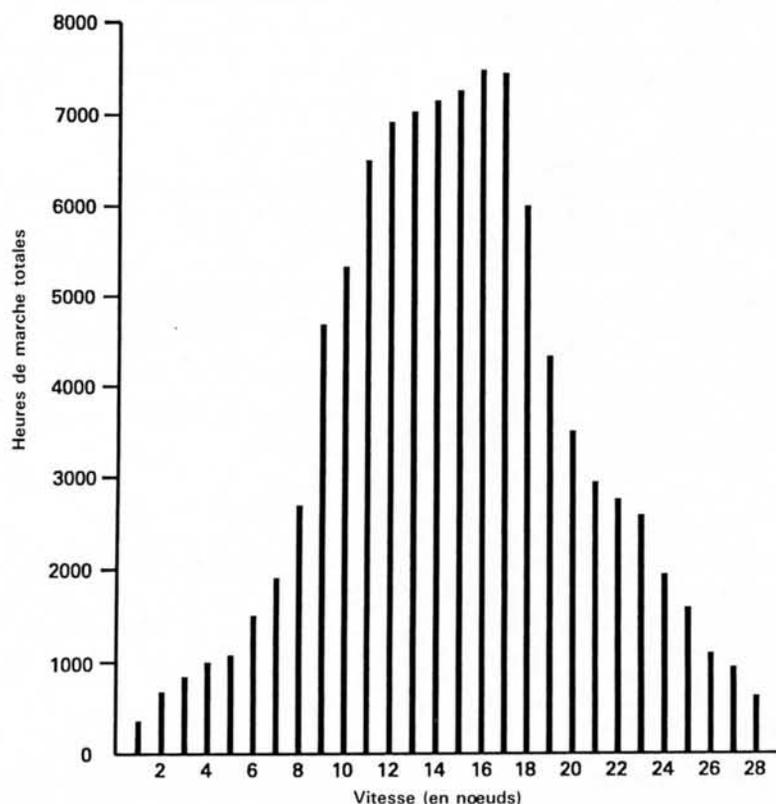


Fig. 6 Profil de fonctionnement pendant tout le service

La consommation de combustible par centaines d'heures de marche (Tableau 4) suit la même courbe que le profil sur toute la durée utile de service (c'est-à-dire que si le navire fonctionne 7,5 pour cent du temps à 18 nœuds, cette valeur correspond à 7,5 heures par cent heures de marche). Le Tableau 1 présente la consommation de combustible par cent heures de marche, tant pour des opérations normales que pour la marche silencieuse.

La meilleure consommation de combustible est attribuable à la connectabilité inhérente des différents groupes électrogènes aux moteurs. La puissance produite peut continuellement coïncider avec la charge du moteur de propulsion; par conséquent, elle suit la courbe de puissance et de vitesse du navire de beaucoup plus près et coïncide avec celle-ci plus facilement que dans le cas d'un navire à propulsion mécanique, comme en fait foi la figure 9.

En somme, le navire à propulsion électrique présente les avantages de silence des turbines à gaz et d'efficacité des moteurs primaires diesel. Il offre plus pour moins; autrement dit, il va plus loin en consommant moins de combustible et tout en étant plus silencieux.

Manœuvres

Le système de propulsion électrique permet de faire varier à l'infini les vitesses de marche à l'intérieur de la plage de régime du moteur

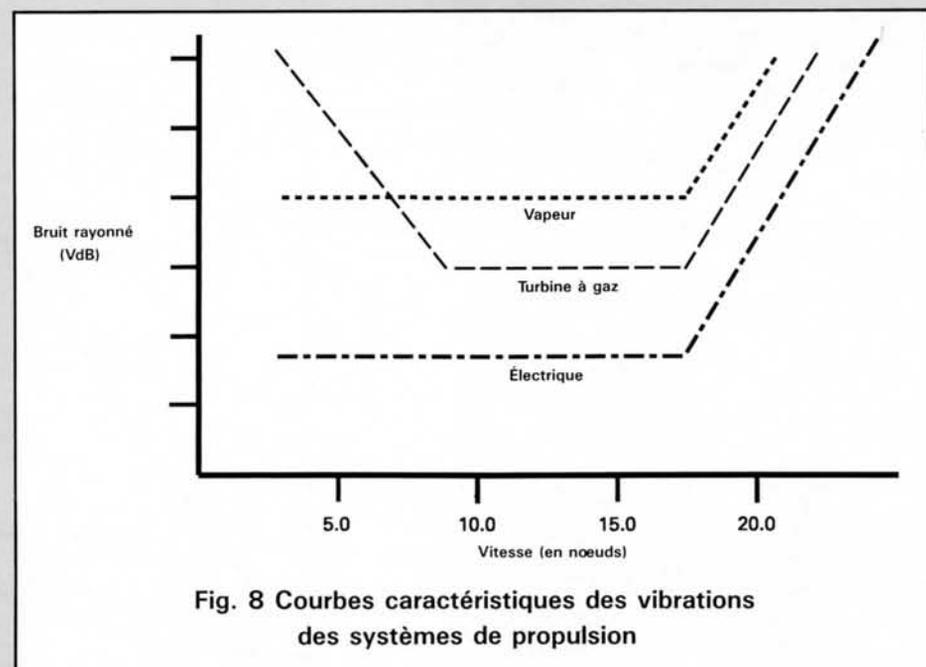


Fig. 8 Courbes caractéristiques des vibrations des systèmes de propulsion

(de -200 à 0 à 200 trs/min), sans retard sauf ceux imposés par la quantité totale de combustible embarquée. L'accélération et la décélération dans cette plage de vitesse sont commandées par les limites de poussée de l'hélice et de l'arbre et par les caractéristiques du moteur primaire

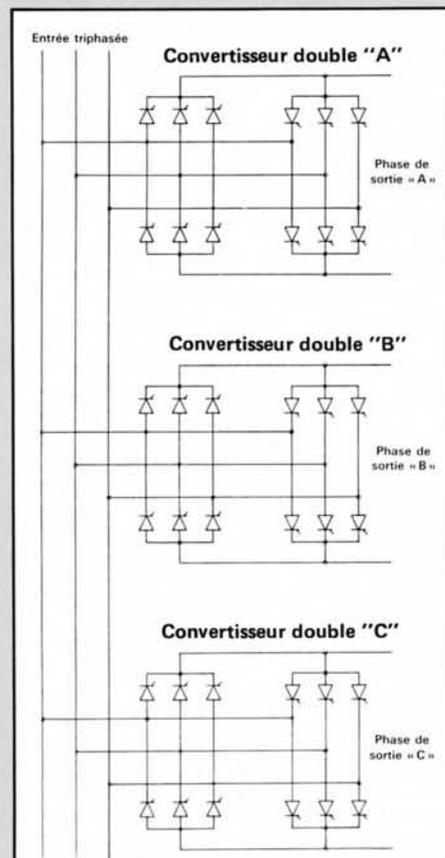


Fig. 7 Cycloconvertisseur à 36 branches, triphasé à six impulsions

de générateur qui peuvent limiter les manœuvres en « tout ou rien ». Le renversement de la rotation des moteurs s'effectue simplement par un changement du signal de comance au cycloconvertisseur.

À l'exécution d'un arrêt d'urgence, une énergie négative est générée par l'aspiration d'eau à l'hélice et par l'inertie du système une fois l'énergie propulsive annulée. Normalement, cette énergie négative a une valeur supérieure à ce que peuvent absorber les moteurs, l'alimentation du navire, les pertes, etc. ; par conséquent, elle accélère les moteurs primaires et les groupes électrogènes. La survitesse peut être partiellement contenue au moyen du régulateur, mais le groupe électrogène pourrait tout de même être déclenché par survitesse.

Afin de contrer ce défaut, la capacité d'absorption primaire du système a été augmentée grâce à des résistances de freinage dynamique. Ces résistances, conçues à partir des commandes de brise-glaces, ont une cote équivalente à environ 10 pour cent de celle du groupe de propulsion et elles peuvent être utilisées avec toute combinaison de groupes électrogènes à diesel et à turbine à gaz. Les résistances sont en circuit en présence d'une augmentation de deux pour cent de la vitesse, et elles restent en circuit seulement pendant la période de récupération, c'est-à-dire environ dix secondes.

Robustesse

La robustesse est liée à deux facteurs primordiaux : les avaries causées soit par les chocs sous-marins, soit par le tir de projectiles.

La zone d'un système de propulsion électrique la plus susceptible d'être endommagée par les chocs est normalement celle des moteurs principaux, car il s'agit habituellement d'appareils montés directement (sans support) en raison de leur poids et de leurs exigences de centrage. Les moteurs principaux sont conçus à partir la technologie des brise-glaces qui exige un niveau réduit d'amortissement, surtout dans les plans vertical et longitudinal. Le reste du matériel est monté sur amortisseurs à la façon militaire normale, au besoin.

Comme les avaries physiques dues au percement de la coque entraîneraient probablement la mise hors circuit du matériel contenu dans le compartiment touché, la seule protection réalisable est obtenue par cloisonnement. La souplesse d'aménagement du système électrique permet d'éloigner considérablement les moteurs primaires l'un de l'autre et de disposer les moteurs principaux dans des compartiments en quinconce.

Fiabilité

Un certain nombre de situations et de problèmes possibles touchant le système de propulsion ont été analysés afin qu'on puisse identifier les conditions opérationnelles du navire. Le cas échéant, les résultats relatifs au système COEDAG ont été comparés à ceux du système classique CODOG, pour ce qui concerne les points suivants :

- un groupe électrogène de moteur principal coupé pour fins d'entretien ;
- un compartiment de production d'énergie gravement endommagé ;
- la perte partielle d'alimentation à un moteur principal ;

- la perte de refroidissement à un moteur principal ; et
- la perte d'un groupe électrogène d'alimentation du navire.

La principale conclusion à tirer de l'étude des incidents postulés est que le navire ne subirait que des effets négligeables surtout du fait de la souplesse du système. À cet égard, le navire à propulsion COEDAG est de beaucoup supérieur au navire à propulsion CODOG. Il a semblé que la complexité accrue du système ne causerait probablement pas de problèmes importants, justement en raison de la grande faiblesse de la plupart des éléments principaux. L'entretien périodique et les avaries dues aux accidents et en mission sont les causes les plus probables de mise hors service du matériel ; le *Tableau 6* présente les données de vitesse et de puissance découlant de ces cas.

Possibilité de fabrication au Canada

La Garde côtière canadienne construit présentement des brise-glaces à propulsion électrique à c.a. avec l'aide d'entrepreneurs canadiens. Cependant, dans les domaines des gros réducteurs marins, des systèmes d'hélices à pales orientables ou d'accouplements d'arbre souples, à puissance et couple élevés, on ne dispose pas au Canada de l'expérience ni des installations pour leur fabrication. Actuellement, ces éléments proviennent des États-Unis et d'Europe, mais en cas de conflit, il serait sans doute difficile de pouvoir compter sur ces sources d'approvisionnement.

Le Canada peut présentement concevoir et fabriquer des groupes électrogènes de propulsion, des moteurs et des cycloconvertisseurs ; il pourrait probablement obtenir les droits de fabrication sous licence de moteurs diesel et de turbines à gaz.

Compatibilité et brouillage électromagnétiques

Le brouillage électromagnétique constitue un problème croissant pour le matériel électronique de bord ultrasensible ; ce brouillage peut être causé par induction, conduction et rayonnement. Le système de propulsion, les câbles de distribution et presque tous les appareils électriques peuvent être une source de BEM ; les navires à propulsion électrique embarquent évidemment beaucoup plus de ces sources que les navires à propulsion plus classique. Afin de réduire les effets du BEM, il importe de bien concevoir le système et d'employer des méthodes de construction appropriées.

Le système de propulsion devrait être confiné le plus possible à un secteur du navire, à l'écart du matériel sensible. Chaque câble de circuit commun de propulsion doit être soigneusement blindé et même protégé par un conduit en acier ; le cas échéant, il faut maintenir la symétrie des trois phases afin de réduire les courants induits dans le conduit ainsi que les effets de chauffage dus à l'hystérésis. Les câbles sensibles acheminés au voisinage des câbles haute tension doivent aussi être blindés de façon appropriée.

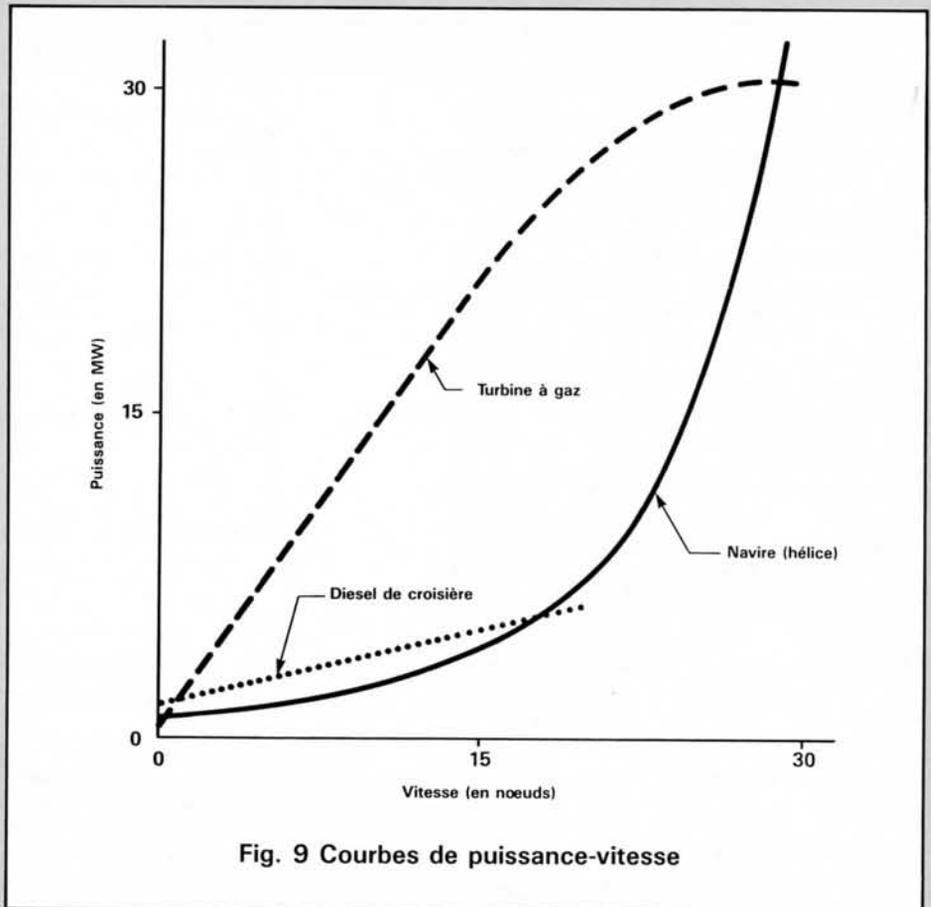


Fig. 9 Courbes de puissance-vitesse

Distortion harmonique

Les harmoniques et la distortion harmonique sont générés par la fonction génératrice d'ondes du cycloconvertisseur. Plus la fréquence de sortie du cycloconvertisseur est élevée, plus il y a d'harmoniques transmis au moteur et réfléchis au circuit commun de propulsion.

Le niveau de distortion de la tension au circuit commun d'alimentation du navire est limité aux valeurs contenues dans le STANAG 1008, c'est-à-dire une distortion harmonique totale (THD) ne dépassant pas cinq pour cent, avec harmoniques simples ne dépassant pas trois pour cent. Comme l'alimentation du navire est assurée par des groupes électrogènes, il n'est pas nécessaire que la distortion harmonique au circuit commun de propulsion soit régulée selon les limites inférieures prescrites dans le STANAG 1008 pour la tension de service du navire. Néanmoins, il importe de déterminer la valeur de cette distortion au circuit commun afin qu'on puisse reconnaître les effets des harmoniques en fonction de la taille des éléments de l'installation électrique. Par exemple, le diamètre des câbles sera surdimensionné de 10 à 30 pour cent; les groupes électrogènes seront dotés de gros enroulements amortisseurs et comporteront plus de fer; l'appareillage de commutation devra avoir des cotes nominales plus élevées, et les relais de protection, les régulateurs de tension automatiques et le matériel de commande devront être protégés contre les harmoniques.

Théoriquement, la distortion harmonique peut produire des vibrations dans les moteurs de propulsion, ce qui pourrait causer du bruit sous-marin. Il est prévu dans un avenir rapproché de faire subir des essais aux brise-glaces de la Barde côtière dans le but de mesurer l'étendue de ces vibrations.

Encombrement, poids et coûts d'acquisition

En tenant compte de la technologie existante dans l'industrie et qui fait appel à l'utilisation

de machines et à des appareillages de commande et de commutation refroidis à l'air, le système de propulsion électrique est environ 50 pour cent plus lourd que le système mécanique. En outre, il est plus encombrant. Par conséquent, une frégate à propulsion électrique doit être plus longue de manière à accommoder l'excédent de poids et d'encombrement. L'allongement du navire a permis d'améliorer la tenue en mer, d'atteindre des vitesses maximales plus élevées pour une même puissance et d'augmenter la surface de pont pour l'installation de systèmes de combat. Ce navire plus long et plus lourd coûte évidemment plus cher au départ. Cependant, comme la frégate à propulsion électrique peut naviguer plus longtemps tout en consommant moins d'énergie qu'un navire à propulsion mécanique, les économies réalisées sur les coûts de combustibles serviront à compenser les coûts initiaux, mais les montants de compensation seront fonction des prix à venir de l'énergie.

Simulation du système

La simulation par ordinateur a permis d'évaluer le rendement du système électrique et les manœuvres du navire dans différentes conditions de marche.

Simulation du système électrique

La simulation du système électrique a été réalisée par modélisation de chaque élément du système, par exemple: les câbles, les moteurs et les générateurs convenant à la plage de fréquences (0 à 1 000 Hz). Les sous-ensembles ont été combinés pour former un modèle du système. Les courants de distortion d'amplitude et de fréquence appropriées ont été débités dans le réseau et les tensions générées à différents points du système ont été analysées.

- a. *Harmoniques* (distortion de la tension et du courant). Le pire cas de THD a été de 18 pour cent, avec pire harmonique simple de 9 pour cent. Cela signifie qu'il est nécessaire de choisir et de concevoir

avec soin le matériel du circuit commun de propulsion et qu'il faut disposer de groupes électrogènes pour assurer une bonne alimentation du navire.

- b. *Analyses des transitoires*. Par simulation, on a analysé les transitoires pour savoir dans quelle mesure les perturbations produites sur le circuit commun de propulsion pouvaient s'infiltrer dans le circuit commun d'alimentation du navire par l'entremise des groupes électrogènes pendant les manœuvres du navire. Les simulations de transitoires de tension et de fréquence ont démontré que les valeurs des perturbations se trouvaient dans les limites prescrites dans le STANAG 1008.
- c. *Analyse des défauts liés à la charge*. Des schémas de charge prévue et de niveau de défaut ont été produits pour les systèmes électriques de bouclage. Les niveaux de défauts dus à des défauts à tous les disjoncteurs ont été calculés et ont indiqué des variations négligeables au voisinage du circuit commun de bouclage de propulsion, en raison de la faible impédance au câble. Les défauts à demi-cycle, à trois et à huit cycles ont présenté des valeurs calculées conformes aux capacités des disjoncteurs.

L'analyse de la charge a été effectuée pour différents modèles de groupe propulseur. Il a été constaté qu'il fallait au moins deux groupes électrogènes pour assurer l'alimentation nécessaire aux moteurs principaux et au navire. Cette exigence minimale a été soulevée du fait qu'aux puissances de propulsion plus faibles, les groupes électrogènes étaient limités davantage par leur puissance réactive (en MVAR) que par leur puissance active en MW. C'est le cycloconvertisseur qui exige une grande puissance réactive. Aux bas régimes du moteur (fréquences de sortie inférieures), la tension de sortie du cycloconvertisseur doit être abaissée pour empêcher tout excédent de flux magnétique au moteur.

Simulation des manœuvres du navire

Les modèles de simulation des moteurs diesel, des turbines à gaz, des cycloconvertisseurs, des groupes électrogènes, des résistances de freinage dynamique et des moteurs de propulsion ont été développés et interconnectés par l'entremise d'un système de commande générale. Les modèles de moteurs diesel, de turbines à gaz et de cycloconvertisseurs disposaient aussi de leur propre circuit de commande.

La simulation en temps réel comportait plusieurs combinaisons de scénarios pour le système de propulsion, de charges, de caractéristiques du système de commande et de contraintes transitoires.

Pour les régimes transitoires de manœuvre du navire (accélération, arrêt d'urgence, manœuvre de marche avant toute à arrêt complet), le régulateur de charge devait maintenir la fréquence dans les limites prescrites dans le STANAG 1008. Cette régulation de la charge s'effectuait par la commande des régulateurs des

	Pourcentage de la puissance utile	Vitesse maximale (en noeuds)
COEDAG		
1 groupe élec. à TG (mode normal)	80	27
1 groupe élec. à TG (mode silence)	67	20
1 groupe élec. à D (mode normal)	87	27
1 groupe élec. à D (mode économique)	67	20
1 moteur	50	23
1 cycloconvertisseur	50	23
CODOG		
1 TG (mode normal)	50	24
1 TG (mode silence)	50	24
1 Diesel (mode normal)	100	30
1 Diesel (mode économique)	0	0
1 réducteur	0	0

Tableau 6: Résumé des caractéristiques de fiabilité

moteurs primaires et par l'utilisation de résistances de freinage dynamique pour absorber la puissance opposée produite pendant la manœuvre du navire.

Les résultats de simulation ont indiqué que le rendement utile d'un navire à propulsion électrique serait équivalent sinon supérieur à celui d'un navire semblable à propulsion mécanique pour ce qui concerne le temps de renversement de marche, la distance de freinage, l'accélération, etc. Le navire est passé à 25 nœuds (90 pour cent de la vitesse maximale) en 40 secondes et à la vitesse maximale en 60 secondes. Il s'est arrêté en 50 secondes, sur une distance de moins de 400 mètres (3 longueurs de navire), à partir de la vitesse maximale et au moyen des résistances de freinage dynamique qui ont absorbé la puissance opposée produite.

La simulation a facilité l'établissement et la confirmation de la bonne séquence de commande et des limites du système de propulsion.

Perfectionnements à venir

La présente section porte sur les perfectionnements techniques encore à l'étude ou qui n'ont pas encore été appliqués à la marine. La discussion sur les perfectionnements portera surtout sur ce qu'il est possible de réaliser dans un avenir immédiat et décrira les avantages ou les inconvénients anticipés.

Il serait possible de réduire immédiatement le poids et l'encombrement des moteurs et des groupes électrogènes en utilisant un isolant à haute température (180 °C) au lieu de 155 °C pour les enroulements. Cette technique permettrait de réduire de 45 pour cent le poids global, et pourrait améliorer l'accélération du navire. L'utilisation d'une tension de circuit commun de propulsion plus élevée (6,6 ou 10 kV) pourrait entraîner une réduction de poids et d'encombrement des moteurs, des groupes électrogènes, du câblage et de l'appareillage de commutation. Cependant, dans le cas des thyristors utilisés actuellement dans le cycloconvertisseur, cela signifie qu'il faudrait en augmenter le nombre pour pouvoir traiter la tension plus élevée, ce qui augmenterait ainsi l'encombrement de l'appareil.

Le fait d'augmenter la fréquence au circuit commun de propulsion entre 60 et 400 Hz permettrait aux groupes électrogènes à turbine à gaz de fonctionner sans réducteur, ce qui diminuerait le poids et l'encombrement des groupes électrogènes. Le fonctionnement à fréquence plus élevée présente aussi l'avantage de réduire la distorsion du signal de tension produite par le cycloconvertisseur. La distorsion est une fonction du rapport de la fréquence d'entrée et de la fréquence de sortie du cycloconvertisseur. Les fréquences plus élevées nécessitent cependant des dispositifs et des stratégies de commande plus rapides.

Le refroidissement direct à l'eau de l'induit et de l'inducteur des moteurs principaux et des cycloconvertisseurs réduit considérablement l'encombrement et le poids. Le poids du cycloconvertisseur ne serait réduit que légèrement,

mais son encombrement serait diminué de 33 pour cent. La taille du moteur serait quant à elle réduite de 50 pour cent. L'inducteur du groupe électrogène pourrait être refroidi à l'eau, mais le refroidissement de l'induit est difficile à effectuer en raison des joints d'arbre tournant à haute vitesse. La taille des circuits de refroidissement auxiliaires serait alors accrue, mais les circuits ne seraient pas forcément montés sur le matériel même.

L'utilisation de matière à densité et énergie élevées et à grande perméabilité magnétique permettrait de réduire le poids et l'encombrement des moteurs et des groupes électrogènes. La Siemens a déjà réduit de 40 pour cent le poids et l'encombrement d'un moteur de 1,1 MW. Le moteur PERMAYN renferme du cobalt au samarium et présente 20 pour cent moins de pertes qu'une machine comparable à c.c.

De nouveaux thyristors à tension nominale plus élevée permettront aussi de réduire le poids et l'encombrement. Les thyristors grande puissance déclenchables par la gâchette nouvellement lancés sur le marché permettront une bien meilleure régulation du convertisseur de puissance. S'ils sont bien réglés, ces thyristors peuvent déclencher pour compenser les harmoniques et la distorsion du signal de tension. Le circuit de commande devra traiter des équations transcendantes non linéaires pour l'amplitude de l'onde.

Conclusions

On a défini un système de propulsion électrique avec suffisamment de précision pour s'assurer de sa capacité à satisfaire et même surpasser les objectifs précis établis initialement. Il a été démontré que dans de nombreux secteurs du rendement opérationnel, le navire à propulsion électrique présente un rendement supérieur marqué sur le navire CODOG de référence. Le navire à propulsion électrique s'est classé bon premier dans des conditions de marche plus difficiles, par exemple: en situation de tension, de conflit ou avec avaries; voilà un caractère à ne pas dédaigner pour un navire de guerre.

Les données de consommation et d'autonomie des deux navires ont confirmé que le système électrique est moins comburivore d'environ 30 à 40 pour cent comparativement au système CODOG et qu'il présente un meilleur rendement pendant des opérations nécessitant silence de marche, basse vitesse ou drgr élevé de préparation.

La frégate à propulsion électrique équipée du matériel prévu devrait être plus longue que son équivalent à propulsion mécanique. Le poids et l'encombrement accrus entraîneraient des coûts initiaux plus élevés, mais le navire plus long présenterait une meilleure tenue en mer, nécessiterait une puissance moins élevée et offrirait plus d'espace de pont pour l'installation de système d'armes.

Un navire à propulsion électrique basée sur le groupe de propulsion électrique c.a./c.a. de brise-glaces de la Garde côtière et fonctionnant

au moyen du matériel industriel courant, constitue une alternative réalisable aux frégates plus classiques. Les perfectionnements potentiels afin de réduire l'encombrement de l'installation électrique sont sérieux et réalisables et permettront d'obtenir une frégate de taille comparable à celle des navires de la présente génération à propulsion CODOG.

La propulsion électrique à c.a. permet d'obtenir les caractéristiques suivantes:

- un navire ASM plus silencieux et présentant une plus grande autonomie;
- une plus faible consommation de combustible grâce à la propriété de connectivité;
- une manoeuvrabilité optimale en vertu de la vitesse variable à l'infini et du renversement de marche simple et rapide; et
- une robustesse accrue du navire.



Références

1. Pelly, B.R., *Thyristor Phase Controlled and Cycloconverters*, J. Wiley and Sons, 1971.
2. MDN/DMGE, German and Milne Inc., *Feasibility Electric Propulsion Study*, 1987
3. MDN/DMGE, YARD Ltd, *Electric Frigate Simulation Study*, 1987



M. W.A. Reinhardt est ingénieur principal au DMGE 6 dans le secteur des systèmes de propulsion et d'entraînement par moteur électrique de bord.



M. J.R. Storey est ingénieur en systèmes de propulsion électrique au DMGE 6.

Le système de décomposition du travail par produit

Plan directeur pour la construction de FCP

par le Lieutenant-commander Richard Payne

Introduction

À sa naissance, il y a 11 ans, le bureau du programme de Frégate canadienne de patrouille (FCP) avait comme défi de définir les termes d'un contrat pour la livraison clés en main d'une nouvelle flotte de frégates canadiennes de patrouille, contrat qui devait être passé avec l'industrie canadienne. La poursuite incessante de ces objectifs a abouti en 1983 par l'attribution du plus important marché public de la Défense canadienne à la Saint John Shipbuilding Limited. Depuis lors, la Saint John Limited et ses nombreux sous-contractants du monde entier ont uni leurs efforts pour livrer la marchandise en respectant des contraintes de coûts, d'échéance et de rendement très serrées.

Plusieurs étapes importantes comme la définition des termes du contrat, l'approvisionnement pour le contrat et la conception détaillée des frégates, ont été franchies avec succès, et le programme FCP se concentre maintenant sur la construction même des frégates. En mai dernier, lors d'une cérémonie double au chantier naval de la Saint John, (voir l'article « Les nouvelles frégates... ») la quille de la FCP 02 a été mouillée dans le bassin et la FCP 01 mise à l'eau et baptisée *Halifax*. Les travaux de construction de la frégate *Halifax* ont débuté en juin 1986 et en novembre 1989, elle sera livrée au Commandement maritime et constituera le premier des 12 navires modernes du contrat. C'est grâce à un plan de gestion de la construction appelé, Le système de décomposition du travail par produit (P.W.B.S.), que l'on a pu, en seulement un peu plus de trois ans, rendre ce navire de guerre totalement opérationnel, de l'acier de construction aux machines, en passant par les ordinateurs et son armement de guerre. Conçu par un constructeur de navires japonais au cours des années 1960, le P.W.B.S. est devenu un outil de gestion largement utilisé qui convient particulièrement aux projets technologiques complexes comme la construction d'aéronefs, de centrales nucléaires et de navires de guerre.

Le produit

Le produit: une frégate canadienne de patrouille à la fine pointe de la technologie, bien éprouvée et prête pour le combat. Grâce à un concept appelé groupe technologique, le P.W.B.S. divise le produit en objectifs de production contrôlables, ou *produits intermédiaires*, qui font appel à des procédés de construction

semblables. Pour la construction d'une frégate de patrouille, quelques 262 produits intermédiaires sont répartis dans cinq groupes de procédés de construction: montage de la charpente d'acier, armement de zone, installations spéciales, modules et fabrication par lot.

Le navire a été divisé en grandes zones délimitées par le périmètre et le niveau. Un *élément d'assemblage* est habituellement une structure de pont simple, d'une paroi à l'autre. La FCP est divisée en 58 éléments unifiés qui sont ensuite regroupés en 26 *éléments de montage*. Par exemple, l'élément de montage 2150 se compose des éléments d'assemblage 2130, 2140 et 2150. La coque de la FCP, ainsi, nécessite la construction d'un total de 84 éléments.

Lorsque les éléments ont été montés, le travail se déplace vers les zones d'armement. Normalement, une zone d'armement est délimitée d'une cloison à l'autre et d'un pont à l'autre, et il peut s'agir d'un compartiment, d'un hall ou d'un couloir ou d'une zone extérieure comme le pont avant. Sur une FCP, il y a 111 zones d'armement, chacune faisant appel à des gens de métier comme les électriciens, tuyauteurs, monteurs et peintres.

Certains produits ne peuvent être confinés dans un secteur spécifique comme un élément ou une zone et ils doivent donc être construits indépendamment comme des installations spéciales. Ces produits sont habituellement de



Élément de montage — Cet élément de montage 4110 vient de recevoir une couche d'apprêt dans l'installation de décapage au jet et de peinture. La superstructure de pont est un élément de montage résultant de l'assemblage des éléments unifiés 4110, 4120, 4210 et 4220.

nature complexe et nécessitent des procédés exclusifs de fabrication, de montage et d'installation. Sur la FCP, on compte en tout 26 installations spéciales dont l'arbre de couche, le canon Bofor de 57 mm, la direction des vannes rotatives, le mâtereau et le système à l'appontage, d'amarrage et de manutention.

Il y a seulement huit modules sur une FCP. Ces produits peuvent être fabriqués entièrement de façon autonome et montés ensuite sur le navire à l'étape de construction appropriée. Par exemple, le réservoir centrifuge et de purge du mazout peut être fabriqué, soudé, assemblé, peint et mis à l'épreuve sur le banc d'essai avant d'être expédié à l'entrepôt en attendant d'être monté sur le navire.

Les produits nécessitant les mêmes opérations sont fabriqués en lots. Les panneaux de cloison emboutis, supports de luminaires et porte-lance d'incendie sont quelques exemples des 33 produits manufacturés utilisés dans la construction d'un FCP.

Le travail

Lorsque le produit (frégate) a été divisé en objectifs de production contrôlables, on peut s'attaquer au travail de construction proprement dit. La méthode de construction d'un navire varié d'un changier naval à l'autre selon des paramètres comme les ressources humaines, techniques et financières disponibles. Au chantier de la Saint John Shipbuilding, comme dans la plupart des chantiers navals modernes, la construction d'un navire de guerre s'apparente au travail sur une chaîne de montage.

L'approche conceptuelle fondamentale utilisée dans la construction de navire n'a guère changé depuis nombre d'années. Le HMS *Warrior*, le premier cuirassé au monde, a été récemment restauré jusque dans ses moindres détails et est maintenant exposé à Portsmouth, en Angleterre. L'une des caractéristiques les moins évidentes mais des plus remarquables de cet imposant bâtiment, est qu'il a été construit en 1860, en ayant recours à certains principes fondamentaux de la construction par éléments encore en usage de nos jours. Ce qui a changé au fil des ans sont le perfectionnement et l'amélioration apportés aux procédés de base de construction de la coque, d'armement et de peinture de zone, principalement grâce à l'automatisation.

CONSTRUCTION DE LA COQUE — La construction métallique se décompose en sept niveaux de fabrication distincts. Le premier niveau, la fabrication des pièces, produit des éléments finis qui de par leur nature ne peuvent être subdivisés. Par exemple, les plaques d'acier sont marquées, découpées, cintrées ou formées en pièces spécifiques. À l'étape de l'assemblage des pièces, ces unités préfabriquées sont assemblées en composants comme des poutres en T ou en L et à l'étape de l'assemblage en sous-élément ils sont assemblés en structures comme les panneaux de pont, les cloisons et les plaques de la coque.

L'assemblage en éléments unifiés s'effectue par le soudage des sous-éléments et d'autres piè-

ces assemblées et préfabriquées en éléments unifiés complets (il y en a 58 dans une FCP), après quoi, à l'étape du montage unifié, les éléments unifiés seront combinés (par deux ou par quatre) pour former les 26 éléments de montage qui seront abaissés dans le bassin. Le montage de la coque s'effectue par l'assemblage des éléments de montage dans le bassin qui formeront éventuellement la coque du navire et finalement, l'armement à bord comprend le parachèvement des travaux, de la charpente de renforcement à l'inspection des ballasts.

ARMEMENT DE ZONE — Ce deuxième procédé se divise en trois étapes: l'armement modulaire est le travail qui peut être effectué en atelier ou sur le banc d'essai; l'armement des éléments unifiés est le travail à froid et à chaud avant l'armement alors que les éléments unifiés sont encore à l'abri sur la chaîne de montage; et l'armement à bord est le travail qui peut seulement être effectué lorsque la coque a été érigée.

Ces trois étapes différentes d'armement entraînent des coûts importants. De façon empirique, on calcule, qu'à l'étape de l'armement, ce qui prend une heure/homme de travail sur la chaîne de montage équivaut à trois heures/homme en cale sèche et à autant que sept heures/homme sur un bateau à flot. Il n'est guère

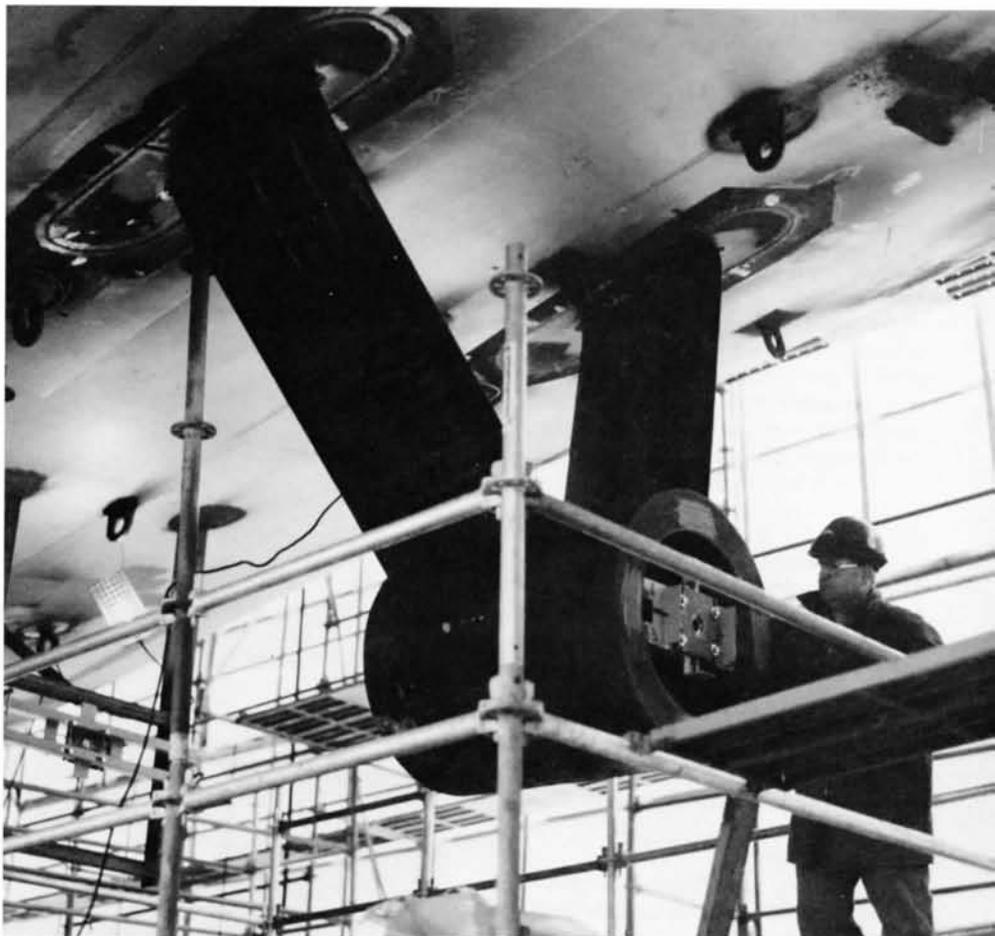
étonnant que le pré-armement soit considéré, de nos jours, comme une étape très importante en construction navale!

PEINTURE DE ZONE — Le troisième important procédé de construction se divise en quatre étapes: l'application d'un apprêt en atelier, d'un apprêt, d'une sous-couche de finition et d'une couche de finition. Il est plus pratique et économique d'exécuter ces travaux de peinture de zone le plus tôt possible en cours de construction.

La matrice du P.W.B.S.

La construction d'une FCP nécessite le travail d'une armée de planificateurs, d'ingénieurs, d'acheteurs, de techniciens en contrôle de précision, de spécialistes en contrôle de la qualité, de directeurs en comptabilité industrielle, de surveillants et d'hommes de métier.

Tous doivent travailler dans un effort concerté à la réalisation de la FCP. La matrice du système de décomposition du travail (P.W.B.S.) constitue le programme d'exécution de cette tâche. Comme nous l'avons souligné plus haut, le produit (frégate) a été soigneusement analysé et subdivisé en 262 produits intermédiaires. En outre, le travail nécessaire à la construction et à l'assemblage de ces 262 produits a été évalué



Installation spéciale — L'arbre de couche constitue l'une des 26 installations spéciales sur une FCP. Un technicien en contrôle de précision de la Saint John Ltd se prépare pour la dernière mesure en ligne de visée nécessaire pour le perçage du support-A intermédiaire de tribord.

PRODUIT		POSTE DE TRAVAIL									
		1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
Éléments											
4410	Cheminée inférieure	*	*	*		*		*	*		
4420	Cheminée supérieure	*	*		*	*		*	*		
4410	Cheminée	*								*	
Zones d'armement											
1600	Pont découvert	*	*							*	*
2260	Culottes de cheminées	*	*		*			*	*	*	
3134	Salle du gyroscope no 2	*	*					*	*	*	
4114	Salle des ordinateurs	*	*					*	*	*	
Installations spéciales											
6110	Sonar C5	*	*						*	*	
6230	Diesel de croisière	*	*		*				*	*	
6580	Ceinture de masquage	*	*		*				*	*	
Modules											
7210	Réservoir d'alimentation	*	*			*					
7239	Chambre des machines auxiliaires	*	*			*					
Produits manufacturés											
7609	Couvercle de trou d'aération	*	*								
7939	Porte-lance d'incendie	*	*								

Figure 1. La matrice PWBS représente le cadre de base pour la planification, la coordination et l'exécution des travaux de construction des FCP. La matrice complète comporte 262 produits intermédiaires répartis en cinq catégories.



Produit manufacturé — Les supports de câbles utilisés dans tout le navire sont fabriqués en lots. Les articles sont ensuite réunis par élément pour la pose à l'étape de pré-armement à chaud de la construction.

et réparti entre dix postes de travail bien définis. Ces deux éléments, produit et travail, forment maintenant le cadre fondamental de la matrice du P.W.B.S. La Figure 1 représente un échantillon de la matrice qui, dans son entier, énumère les 262 produits intermédiaires en ordonnée et les dix postes de travail en abscisse.

Chaque point d'intersection d'un produit et d'un poste de travail constitue une cellule d'activité, ou une tâche. Ces tâches en revanche traduisent diverses exigences pour les différents participants aux travaux de construction.

Les planificateurs utiliseront la matrice principalement comme outil d'ordonnement. Leur objectif consiste à déterminer la date du début et de la fin de chaque tâche et de coordonner le travail de façon à réaliser un programme de production efficace en maintenant le niveau de main-d'œuvre le plus constant possible. Lorsqu'elle fonctionnera à plein régime, la Saint-John Shipbuilding aura besoin d'une main-d'œuvre d'environ 1 200 hommes de métier pour la construction des FCP. Le service de planification est aussi responsable de la prescriptions des ordres de travail nécessaires, selon le nombre de métiers touchés et du domaine d'application du travail nécessaire pour accomplir la tâche.

Le service d'ingénierie se sert également de la matrice, principalement comme calendrier pour le développement et l'émission de dessins de production, mais aussi comme ligne directrice pour la prescription de méthodes exclusives. Les ingénieurs de chantier doivent également connaître les éléments de base du P.W.B.S.

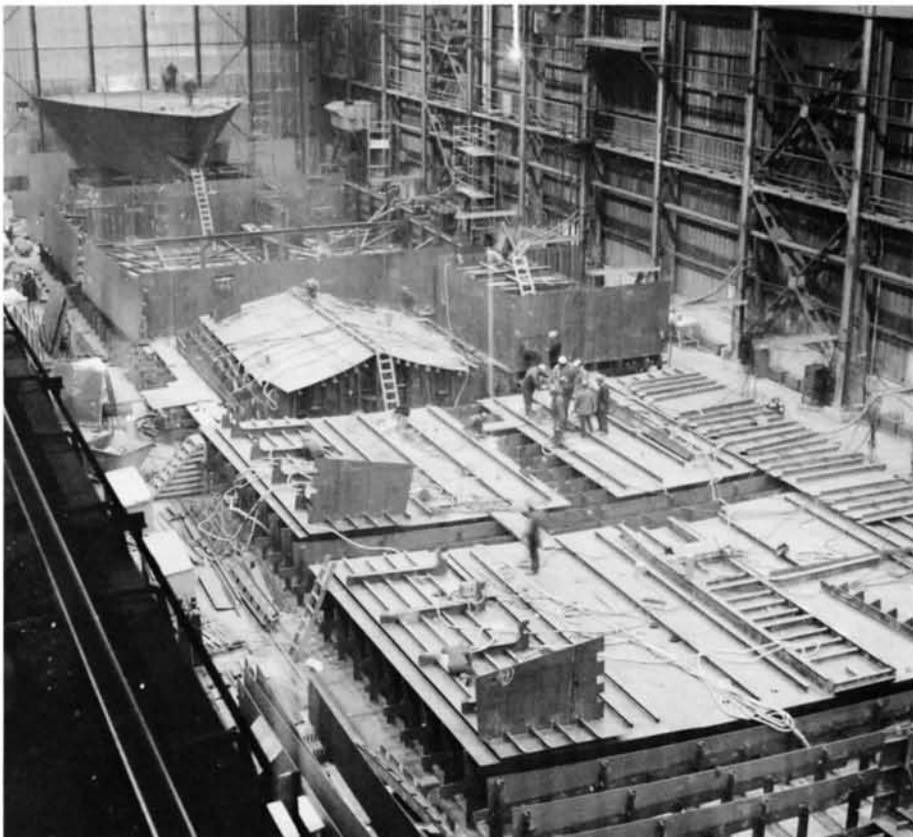
Le service d'achat du matériel utilise beaucoup la matrice du P.W.B.S. Il est responsable d'acheter les matériaux appropriés au moment opportun afin d'assurer un approvisionnement continu du chantier tout en maintenant les stocks à un niveau rentable et contrôlable. La FCP nécessite un matériel logistique innombrable, des boulons et écrous aux armes sophistiquées. Le programme d'approvisionnement pour un projet de ce genre doit prévoir, dans le meilleur des cas, qu'un article doit être en entrepôt huit semaines avant son utilisation au premier poste de travail.

Le directeur du service d'assurance de qualité peut aussi tirer énormément profit de la matrice du P.W.B.S. qui fournit le cadre à partir duquel le plan principal d'inspection et d'essai (PIE) peut être formulé. Ainsi, on peut maintenant établir un PIE pour chaque produit de chaque poste de travail. Ce PIE comprend les inspections à la réception, les inspections en cours de fabrication, le contrôle de précision et les exigences du GDN et l'inspection finale primordiale du produit avant son expédition au poste de travail suivant. Bon nombre des tâches sont des procédés répétitifs pour lesquels un PIE commun peut être mis au point. C'est pourquoi, la conception d'un PIE principal intégré pour le programme de construction des FCP est une tâche relativement facile.

Les cadres supérieurs utilisent la matrice du P.W.B.S. comme outil inestimable pour évaluer la production, les coûts et le respect du calendrier. Chaque cellule d'activité représente un montant limité du budget et de ce fait, possède une valeur pondérée par rapport au projet dans son ensemble. Par conséquent, il est possible de faire une vraie mesure du progrès physique et des coûts heure/homme à la fin de la fabrication des divers produits intermédiaires à chaque poste de travail.

Conclusion

Un projet de nature technologique comme la construction d'une frégate canadienne de patrouille nécessite la compétence et, encore plus, la collaboration d'une multitude de spécialistes. Non seulement le navire doit être construit conformément au cahier des charges, mais les travaux doivent être parachevés en respectant les contraintes de temps et d'argent toujours présentes. La matrice PWBS fournit le cadre à partir duquel cette tâche complexe peut être menée à terme avec succès. Le Système de décomposition du travail par produit constitue le langage commun nécessaire à cette réussite.



Poste de travail 1400 — C'est à ce poste de travail que les sous-éléments plats et cintrés sont assemblés en éléments unifiés. Ces derniers sont également soumis à des opérations de pré-armement à chaud à ce même poste. La section de la proue visible au fond du poste de travail est l'élément unifié 1150.



Le lieutenant-commander Richard Payne a récemment servi pendant trois ans à Saint-Jean, d'abord à titre d'officier du projet de prolongation de la vie du destroyer Annapolis et ensuite comme officier d'assurance de qualité des systèmes de marine dans le détachement des chantiers des FCP. Il suit présentement des cours au Collège de commandement et d'état-major des Forces canadiennes à Toronto.



Bassin de radoub — Environ le quart du travail nécessaire à la construction d'une FCP s'accomplit à ce poste de travail. Sur la photo, l'élément de montage 1250 est abaissé en position.

Les nouvelles frégates: une réussite en construction navale

par le lieutenant-commander Brian McCullough
rédacteur de production de la Revue

En mai dernier, la Marine canadienne a abordé le 21^e siècle, en grandes pompes, à Saint Jean, Nouveau-Brunswick, lors de la mise à l'eau et du baptême du NCSM *Halifax*, premier navire de 12 nouvelles frégates de patrouille promises à la Marine, et la mise en bassin du premier élément modulaire de la FCP 02, le futur NCSM *Vancouver*.

Grâce à la construction par éléments des nouvelles frégates, les méthodes traditionnelles de lancement des cales et de pose de la quille ont été remises aux oubliettes pour faire place à une évolution remarquable en construction navale.

Au moment où le navire nouvellement baptisé *Halifax* a été toué de la cale sèche de la Saint John Shipbuilding et amarré le long du quai pour terminer son armement, il était fini à 55 pour cent. De l'avis de certains, il s'agit du plus haut pourcentage de finition au lancement du premier bâtiment de tout programme de construction de navires de guerre en Occident.

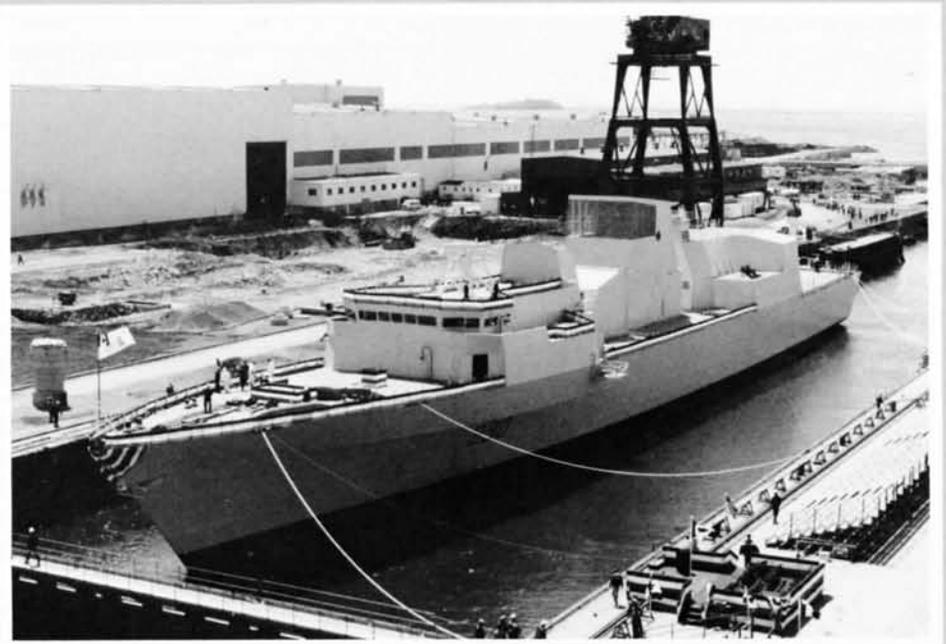
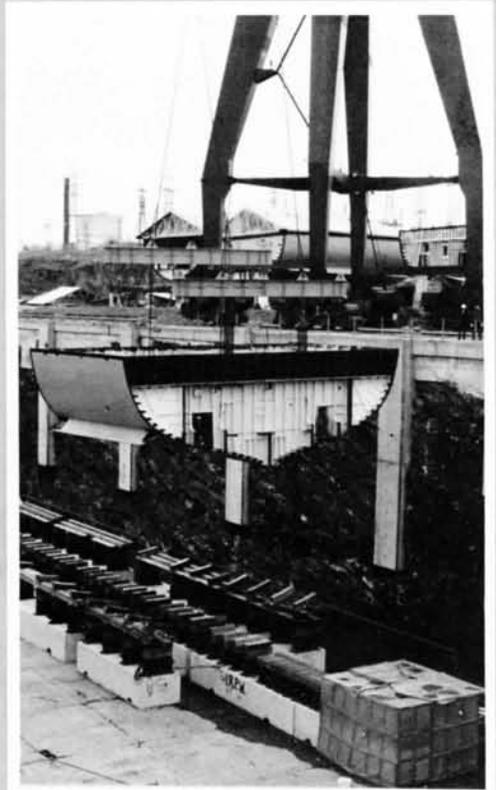
Au moment du baptême du *Halifax* au champagne, tous les travaux de soudage et de peinture de la coque principale en acier du *Halifax* étaient achevés, toute l'isolation avait été réalisée, les génératrices principales, les machines principales, la boîte de vitesses et l'arbre de couche étaient en place et le parachèvement des compartiments sous le troisième pont avait débuté, tout cela, à peine 14 mois après l'abaissement dans la cale du premier élément pré-armé.

Pour vous faire une meilleure idée de l'ampleur du procédé de pré-armement dans la construction des frégates, sachez que quelques instants avant le baptême du *Halifax*, le premier élément de montage du futur *Vancouver* était abaissé dans une cale sèche adjacente. Tandis que l'élément de 50 tonnes s'immobilisait sur les cales et que le ministre de la Défense, Perrin Beatty déclarait que la quille de la FCP 02 « bel et bien lancée », cinq autres éléments de montage pré-armés attendaient en retrait afin d'être assemblés au premier. Le navire était déjà fini à 21 pour cent.

Il ne fait aucun doute que le chantier naval tire profit de la courbe d'apprentissage de construction. Les éléments de montage de la FCP 02 sont mieux pré-armés que ceux de la FCP 01 et l'ampleur du travail de pré-armement du prochain navire (le *Toronto*, maintenant à l'étape de la fabrication/montage) devrait être encore plus important.

Selon le directeur de la Shipbuilding, Matt Reid, les travaux de pré-armement du deuxième navire sont beaucoup plus avancés que ne l'étaient ceux de la FCP 01 au même point du calendrier. En mai, 33 des 57 éléments unifiés étaient entièrement assemblés, la fabrication était terminée à 85 pour cent et sept des 26 éléments de montage étaient achevés et peints. « Nous avons environ un mois d'avance sur le calendrier de la FCP 02 » ajoutait M. Reid. La mise à l'eau est prévue pour mars de l'an prochain.

*« Je te baptise NCSM Halifax.
Que dieu protège ce navire et
tous ceux qui naviguent à son
bord ».* — Mila Mulroney



Le logiciel et le G Mar

Par le Cdr Roger Cyr

Allocution présentée au séminaire du G Mar à Ottawa, le 20 avril 1988

Introduction

L'informatique fait aujourd'hui partie de la plupart des systèmes modernes. Elle guide les torpilles et les missiles, syntonise les postes de radio, localise et évalue les cibles et commande les machines de propulsion. Les ordinateurs intégrés sont maintenant au centre de tous les systèmes de bord et ce, grâce aux logiciels, qui permettent d'adapter rapidement les systèmes aux exigences nouvelles. Toutefois, on sait par expérience que les logiciels sont coûteux et difficiles à utiliser. Il est indéniable que les logiciels ont contribué à la réalisation de systèmes militaires ultraperfectionnés et d'un potentiel sans précédent, mais ces bienfaits se sont malheureusement accompagnés de certains problèmes qui lui sont propres et qui vont croissant. Or, ces problèmes touchent tous les systèmes et, par conséquent, tous les officiers du G Mar.

Historique

La marine canadienne est entrée dans l'ère de l'informatique avec l'avènement des destroyers de classe Tribal DDH-280 au cours des années 70. Ces navires comportaient en effet les premiers ordinateurs de conduite de la marine, et c'est à cette époque que la marine se heurta pour la première fois aux logiciels et aux problèmes qui les accompagnent. La majeure partie de la programmation fut confiée à quelques officiers de marine qui se mirent à faire du codage après un cours rapide de programmation. Il en résulta des logiciels très peu fiables et fréquemment en défaillance. Cette situation demeura inchangée pendant dix ans. Lors de ces pannes catastrophiques, les Tribal étaient pratiquement handicapés et vulnérables face à l'ennemi, pour qui ils devenaient une proie facile.

Les systèmes des années 90

Les navires des années 90, la Frégate canadienne de patrouille (FCP) et les destroyers Tribal améliorés, représentent un progrès technologique considérable pour ce qui touche la puissance informatique. De fait, le traitement des données se fera par ordinateurs intégrés pour virtuellement tous les systèmes et sous-systèmes (y compris les sous-systèmes de propulsion) de la Frégate canadienne de patrouille. C'est là un progrès certain, mais qui a son prix. En effet, cette pléiade d'ordinateurs intégrés qu'on est sur le point de mettre en service s'accompagne d'une marée de logiciels qui demandera une attention

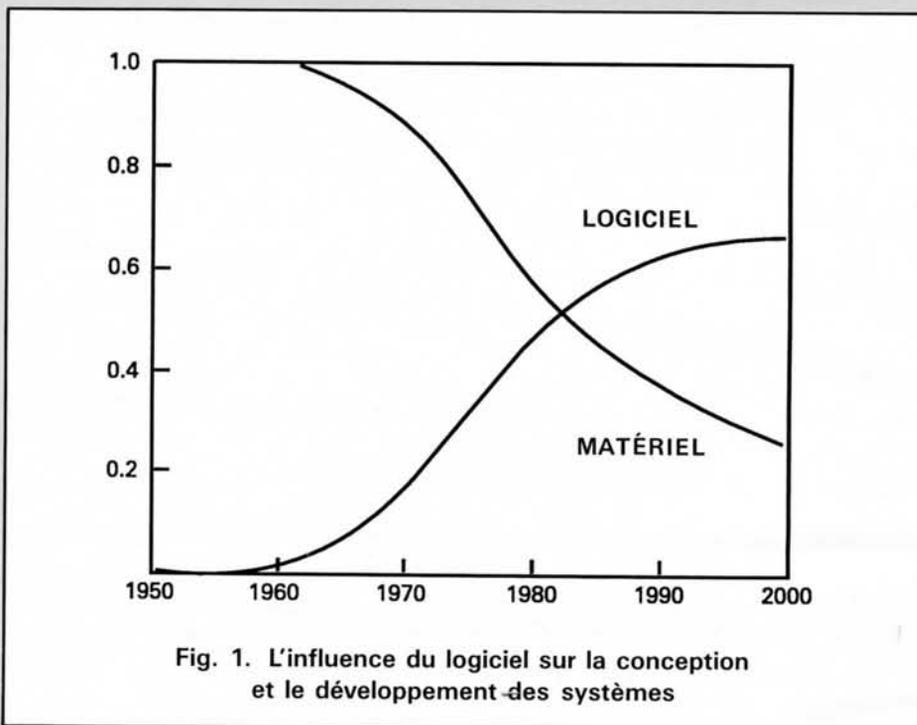


Fig. 1. L'influence du logiciel sur la conception et le développement des systèmes

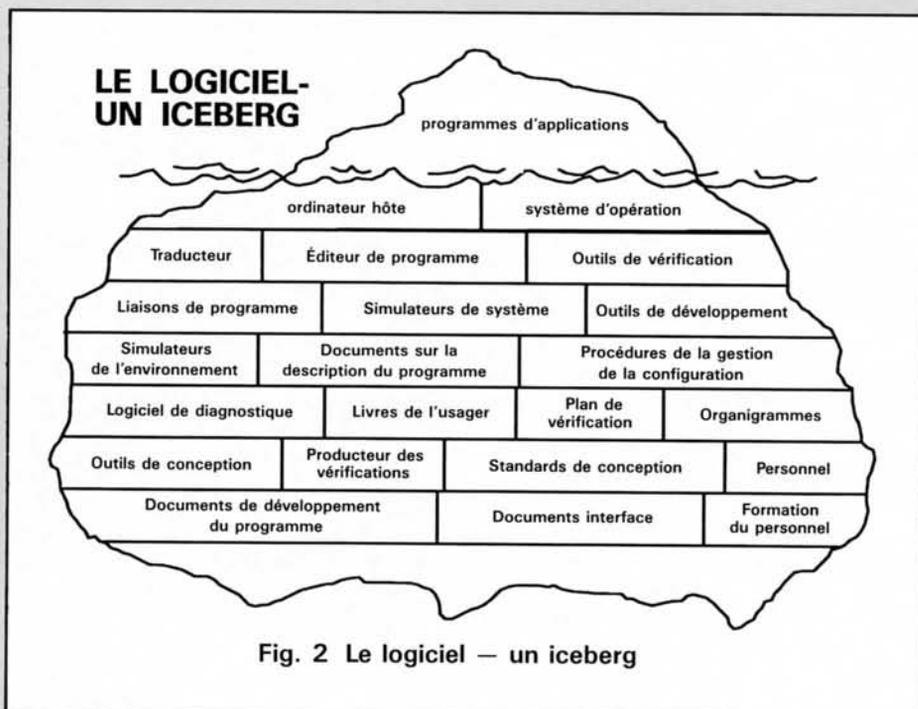


Fig. 2 Le logiciel — un iceberg

considérable de la part du G Mar au cours des prochaines années.

La crise du logiciel

Le logiciel est devenu la pierre angulaire des systèmes et des sous-systèmes modernes (Fig. 1) grâce à la fonction d'intégration qu'il peut remplir. Il arrive même que le logiciel commande à la fois un système et son architecture. Il importe de préciser que le logiciel ne se limite pas aux programmes d'application et aux programmes exécutables. Loin de là. Les programmes d'application ne représentent normalement que dix pour cent du logiciel total d'un système (Fig. 2)

Les exigences des ordinateurs intégrés en matière de logiciel croissent à une vitesse alarmante. Les progrès techniques ont permis de limiter les coûts en matériel. Par contre, les coûts en logiciel montent en flèche. Ainsi, en 1980 seulement, l'armée américaine a consacré 4 milliards de dollars aux ordinateurs intégrés, 65 p. 100 de ce montant étant imputable aux logiciels (Fig. 3) En 1990, sur les 38 milliards de dollars alloués aux systèmes intégrés, la part des logiciels passera à 85 p. 100.

D'après les prévisions du Département de la Défense des États-Unis, le nombre d'ordinateurs intégrés en service s'élèvera à 250 000 en 1990, comparativement à 10 000 en 1980; il se sera donc multiplié par 25, ce qui donne lieu à des difficultés considérables. Selon la règle rapide utilisée actuellement pour évaluer les coûts en logiciel, une ligne codée coûtait 75 \$ en 1975, tandis qu'aujourd'hui, chaque ligne codée coûterait 200 \$ à mettre au point et 4 000 \$ à conserver, pour un cycle de vie de dix ans. Mais ce qui est encore plus alarmant, c'est que même à ce prix, les erreurs de code dans les systèmes d'importance primordiale constituent la norme plus que l'exception. En effet, le National Bureau of Standards des États-Unis estime que les logiciels livrés des grands systèmes comportent

généralement une erreur (portant atteinte au rendement du système) pour 300 énoncés de programmes, doit 3,3 erreurs pour 1 000 lignes de programme source.

Le problème du coût et de la fiabilité des logiciels est encore des plus actuels. En fait, la question ne relève pas du génie logiciel. Elle trahit plutôt l'impuissance des techniques de production des logiciels devant la demande effrénée de produits logiciels complexes, demande qui résulte en grande partie de l'essor spectaculaire qu'a connu récemment le secteur du matériel informatique.

Ainsi, la demande de nouveaux programmes croît plus rapidement que la capacité de production. Selon une étude récente, la demande de nouveaux logiciels augmenterait à un rythme de 12 p. 100, alors que la croissance annuelle du nombre de programmeurs et de leur productivité ne se chiffrerait qu'à 4 p. 100. Qui plus est, en 1985, l'Electronic Industries Association estimait que le manque de programmeurs en Amérique du Nord (évalué à 100 000 à l'époque) pourrait atteindre le million au début des années 90. Cette estimation ne tenait pas compte de l'avènement de mégaprojets tels que l'initiative de défense stratégique (IDS), qui devrait mobiliser des services de programmation d'une taille et d'une complexité sans précédent. On craint même que la pierre d'achoppement de l'IDS soit surtout le manque de ressources humaines nécessaires pour réaliser le logiciel, qui comprendrait 25 millions de lignes.

Les logiciels de la marine canadienne

Avec l'avènement de la Frégate canadienne de patrouille et du TRUMP, les exigences de soutien en logiciel de la marine canadienne atteindront environ un million de lignes de code. Autrement dit, une grande partie des précieuses ressources humaines de la marine devra être directement employée à l'entretien des logiciels internes en qualité de programmeurs, d'analys-

tes et d'ingénieurs en logiciel. En outre, puisque tous les systèmes reposeront sur des logiciels intégrés, tous les membres du G Mar s'occupant de la gestion des systèmes devront bien connaître la programmation.

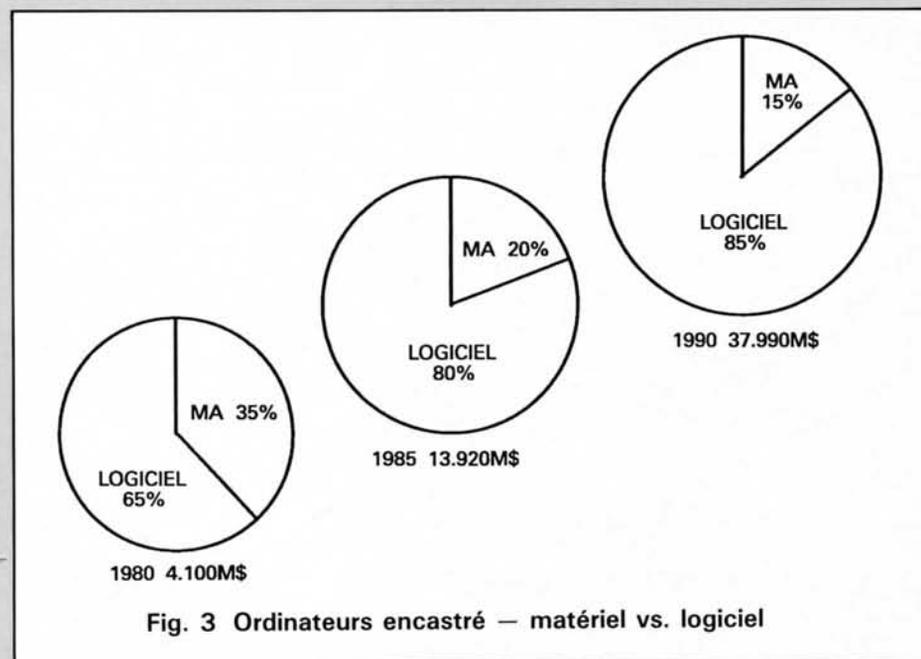
L'expérience nous apprend que le nombre d'erreurs qui subsistent lorsqu'un système en temps réel comme celui de la FCP est parfaitement au point peut se situer en 3 000. Et il s'agit là d'erreurs catastrophiques pouvant nuire au rendement. Si nous appliquons la règle rapide concernant le coût d'entretien par ligne de programme, la marine devra tout probablement, dans les années à venir, régler une facture de 4 milliards de dollars pour le service des logiciels intégrés. Il s'agit du coût estimatif de la main-d'œuvre attachée au maintien du cycle de vie des logiciels du CFP et du TRUMP.

Le service des logiciels dans l'avenir

Les systèmes d'importance primordiale doivent être conservés, peu importent les coûts et le volume des activités. Puisque les logiciels constituent maintenant la pierre angulaire de la plupart des systèmes, la nécessité de connaître certains éléments en matière de programmation ne visera plus uniquement quelques officiers employés directement au service des logiciels, mais bien tous ceux qui participent à la conception, à la mise en œuvre et à l'entretien des systèmes. Les analystes organiques, en particulier, devront se pencher sérieusement, par exemple, sur la question à savoir si l'augmentation du volume de matériel risque de modifier les besoins en logiciel, et réfléchir aux compromis à ménager entre matériel et logiciel, et les besoins d'interface entre matériel et logiciel.

Le groupe de travail du Défense Science Board des États-Unis sur les logiciels militaires a conclu que les problèmes majeurs d'aujourd'hui concernant l'élaboration de logiciels ne sont pas d'ordre technique, mais résultent plutôt de lacunes en matière de gestion. Autre organisme d'importance, le Software Productivity Consortium, qui regroupe les 14 grandes sociétés d'aéronautique d'Amérique, s'en prend pour sa part au modèle traditionnel de gestion des logiciels, le modèle dit de la chute (Fig. 4), qui nécessite les étapes formelles du devis, de la conception, du codage et de l'entretien. Selon le consortium, cette méthode basée sur les documents n'est pas nécessairement la meilleure pour les systèmes intégrés, et il y aurait lieu d'adopter un modèle évolutif (Fig. 5) afin de permettre l'élaboration graduelle des logiciels au moyen de prototypes répétés dans une perspective générale du système.

Étant donné les exigences de la marine, les logiciels intégrés sont perfectionnés plusieurs fois après le lancement d'une première version. Avec le processus d'élaboration exposé, (Fig. 5), le perfectionnement se poursuit tout au long du cycle de vie du système. La décision d'entreprendre un perfectionnement est déterminée par l'ampleur du changement voulu. On détermine ensuite si la modification doit être totale ou partielle. On considère aujourd'hui comme rentable de jeter les logiciels prototypes, comme on fait pour le matériel prototype.



LE MODÈLE "WATERFALL" POUR LA GESTION DU LOGICIEL

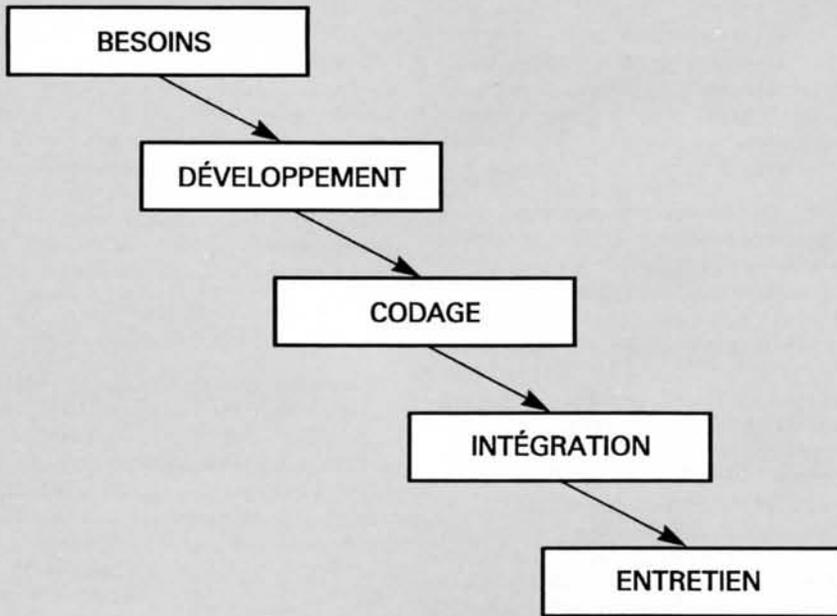


Fig. 4 Le modèle « Waterfall » pour la gestion du logiciel

L'expérience du milieu démontre que malgré les méthodes traditionnelles d'élaboration de système, les utilisateurs considèrent toujours les applications résultantes comme incorrectes et incomplètes. Ce phénomène s'explique par le fait que les méthodes traditionnelles ne permettent pas de saisir avec exactitude les véritables besoins de l'utilisateur.

Le langage Ada

On a dit des logiciels qu'ils étaient trop onéreux, toujours surannés, jamais conformes aux devis et impossibles à modifier. Ces qualificatifs définissent la situation critique qui a amené le Département de la Défense américaine à financer l'élaboration du langage Ada. En effet, la prolifération des langages constituait une des causes majeures des difficultés du Département en matière de logiciels: on découvrit en effet que plus de 450 langages informatiques différents étaient en usage pour des systèmes d'importance primordiale, aucun de ces langages ne dominant les autres sur le plan de la fréquence.

Outre qu'il procurait un langage commun, l'Ada avait l'avantage majeur de fournir les moyens de profiter des méthodes modernes de génie logiciel. Un des principaux avantages de l'Ada est l'existence d'un équipement complet d'aide à la programmation comprenant tous les outils nécessaires pour la production d'un système intégré. L'Ada a été imposé comme seul

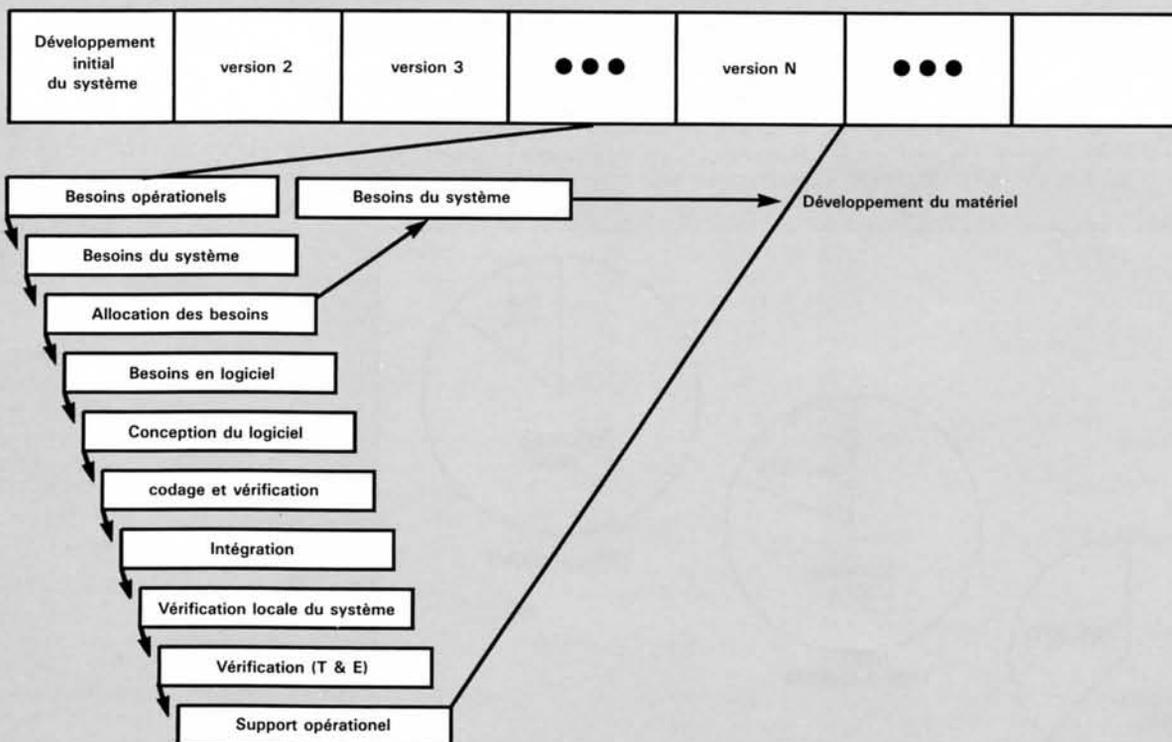


Fig. 5 Modèle évolutionnaire

langage évolué aux États-Unis* et à l'OTAN. Au Canada, une directive d'orientation a récemment désigné le langage Ada comme étant le langage obligatoire pour les grands projets. Les premières expériences réalisées avec ce langage laissent croire que les promesses d'amélioration de la productivité et de la fiabilité des logiciels auront des suites. Cependant, beaucoup de problèmes subsistent, par exemple le besoin de compilateurs validés et efficaces adaptés aux systèmes intégrés, ainsi que de matériel d'élaboration de logiciels conçu en fonction de l'Ada. La technologie relative à l'Ada évolue rapidement et on commence déjà à voir sur le marché des compilateurs validés pour les systèmes intégrés.

L'utilisation de l'Ada ne garantit pas à elle seule la production de meilleurs logiciels. Cependant, le secteur de l'analyse organique a besoin de principes modernes de génie logiciel, et l'Ada facilitera l'adoption de ces principes mieux que tout autre langage.

Les logiciels de l'avenir

Dans les années à venir, on utilisera des super-ordinateurs qui comporteront un grand nombre de systèmes de traitement parallèles composés de groupes de processeurs, chacun étant dédié à une fonction du système, comme l'intelligence artificielle, le calcul, les fonctions graphiques ou la manipulation des bases de don-

nées. Ces ordinateurs supérieurs de cinquième génération comporteront des espaces-mémoires de plusieurs centaines ou milliers de gigaoctets, qui transmettront les données par dizaines de gigaoctets à la seconde et pour lesquels il existera des logiciels généraux capables de traiter les données à une vitesse et avec une précision incroyables. Il est à espérer que l'avènement de ces supersystèmes permettra d'améliorer de façon notable nos méthodes de production des logiciels.

À une époque où l'on produit des microplaquettes, du matériel de mémorisation électronique et d'autre matériel en chaîne et de façon automatisée, il serait des plus singulier que l'art de la programmation en reste à ses balbutiements. On peut croire à l'avènement de la programmation industrialisée, ou de l'usine à logiciels. Exactement comme le matériel d'un système se compose de cartes et de circuits, les logiciels des systèmes de la marine de l'avenir seront assemblés à partir d'éléments standards de logiciels fournis par le gestionnaire de système, soit neufs, soit après récupération d'un autre système.

Conclusion

Il est devenu très à la mode de se plaindre des logiciels et des processus et méthodes qui servent à les produire. Les problèmes de logiciel sont toujours d'actualité, et leurs effets prennent d'autant plus d'ampleur que les systèmes deviennent de plus en plus complexes et dépendent davantage des logiciels. L'élaboration d'un logiciel est difficile à maîtriser, à évaluer, à prévoir et à suivre. Il s'agit à la fois d'un problème de technique et de gestion. Puisque tous les systè-

mes dépendent maintenant des processeurs et des logiciels intégrés, il incombe à tous les membres du G Mar d'apprendre à fond les méthodes d'élaboration des logiciels si l'on veut vaincre la crise du logiciel.



Le commandeur Cyr est chef de section au DSCN 8 et responsable de la technologie informatique navale au QGDN.

* Le Département de la Défense américaine a consacré en 1987 700 millions de dollars à des logiciels écrits en langage Ada, et on prévoit que 16 milliards de dollars de plus seront alloués à ce chapitre d'ici 1990.

Panique!

Sans préavis, l'officier de liaison pour le carrénage de l'*Assiniboine* à Montréal, un adjudant-chef technicien, décida de vérifier comment procédait le nettoyage du ballast #1. Il entra seul dans le réservoir et, n'ayant pas vu les boyaux qui étaient accrochés au trou d'homme, il rempa jusqu'à l'avant du réservoir, un endroit très serré. Étant pris de panique et incapable de se déprendre, il appela au secours. La chance lui sourit, l'inspecteur des ballast entendit l'appel et ferma l'eau. Avec l'aide de journaliers du chantier, l'inspecteur réussit à sortir l'adjudant-chef de sa facheuse position. On présenta plus tard à notre adjudant-chef une formule canular 1379 facture pour suppléments de travail pour un total de 2500 \$ pour avoir sorti un officier de liaison d'un ballast.

Ed McSweeney
Inspecteur principal
Unité de génie maritime (Atlantique)

Rétrospective: 1986

la fracture de la proue du Nipigon

par le commander John Edkins, officier d'architecture navale, UGN(A) le lieutenant de vaisseau, Mark Gray, officier des services de navires et de sous-marins, UGN(A)
M. Clyde Noseworthy, inspecteur en chef des coques, UGN(A)

Note de la rédaction — Lors de la découverte de fissures dans la proue du Nipigon, en 1986, il y avait peu de preuves sérieuses pour en indiquer la cause. Quelques hypothèses avaient été émises, mais rien de définitif n'avait été avancé pour expliquer la cause probable de l'avarie. Jusqu'à maintenant. Lorsque, par chance, ces photos sont réapparues au UGN(A), le printemps dernier, elles ont soulevé un nouvel intérêt pour le problème. Grâce à ces photos, les auteurs ont cru pouvoir avancer une hypothèse pour expliquer le défaut de la charpente de l'étrave du Nipigon et d'autres paquebots qui avaient subi des avaries similaires depuis le milieu des années 1970.

Nous savons que nos navires sont durement battus par les vagues dans l'Atlantique. Les fissures constituent probablement le signe le plus visible et inquiétant de l'usure qu'ils subissent. Au printemps 1986, les plongeurs du navire ont découvert des dommages importants à la coque du NCSM Nipigon au niveau du brion et de l'étrave. L'ouverture (Fig. 1) permettait l'inondation du coqueron avant et réduisait ainsi sensiblement la rigidité structurale à cet endroit. L'apparition d'autres fissures dans le placage de plusieurs raidisseurs transversaux et longitudinaux de la partie inférieure de la proue confirmait davantage la preuve d'un problème.

Le UPF (A) a effectué des réparations provisoires en avril 1986 au navire amarré à Halifax, afin de prévenir l'aggravation des avaries au Nipigon pendant qu'il était engagé dans des manoeuvres. L'ouverture a été bouchée au moyen de laminés plats boulonnés et la propagation des fissures interrompue en perçant leurs extrémités (Fig. 2). Un mois plus tard, le Nipigon entra en bassin et toute son étrave était reconstruite (Fig. 3).



Fig. 1

Photo BFC Shearwater

Dans une tentative pour déterminer la cause du problème, on a demandé au laboratoire du chantier maritime du CRDA d'étudier l'avarie. Malheureusement, la corrosion et les réparations d'arrêt de propagation des fissures avaient effacés les indices possibles. Il est, cependant, encore possible d'émettre une hypothèse sur le mécanisme du défaut et les causes possibles en s'appuyant sur des preuves très concrètes.

La propagation des fissures le long de l'étrave est, dans une grande mesure, confinée aux cordons de soudure (Fig. 1), ce qui laisse supposer que la croissance de la fissure était commandée par les caractéristiques du matériau dans la zone affectée thermiquement. Les fissures peuvent avoir comme origine la corrosion à long terme dans l'espace vide du coque avant ou une soudure défectueuse, mais il ne fait aucun doute, qu'il aurait fallu un effort important pour rompre la coque.

Comme il n'y avait aucune preuve de collision ou de dommage de radoubage, on croit que l'avarie a été causée par le battement de l'eau. La structure de l'étrave de nos paquebots est très élancée et flexible et il est très probable que l'avarie structurale du *Nipigon* était causée par une rupture due à la fatigue suite au fléchissement répété de la proue.

En raison de l'âge des navires, de leur fonctionnement et de la conception de leur étrave et de leur brion, ce type de défaut devrait se reproduire. (Cette année, une fissure longitudinale découverte dans le brion du *Magaree* pourrait bien provoquer le même problème). Toutefois, la connaissance de la situation devrait permettre un repérage précoce du problème et réduire en conséquence le temps de réparation.

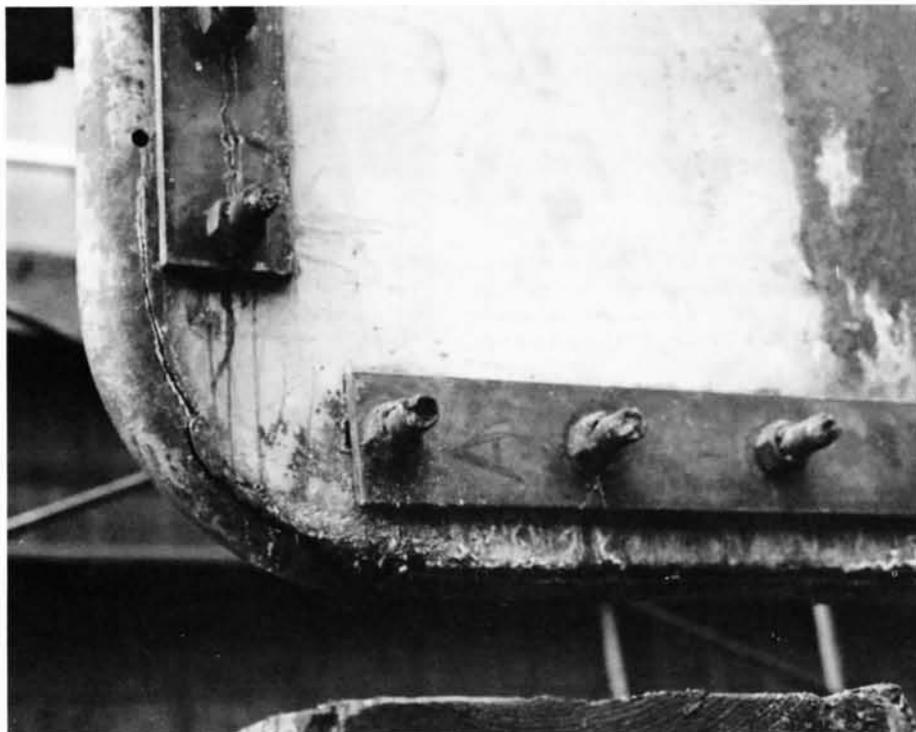


Fig. 2

Photo CRDA

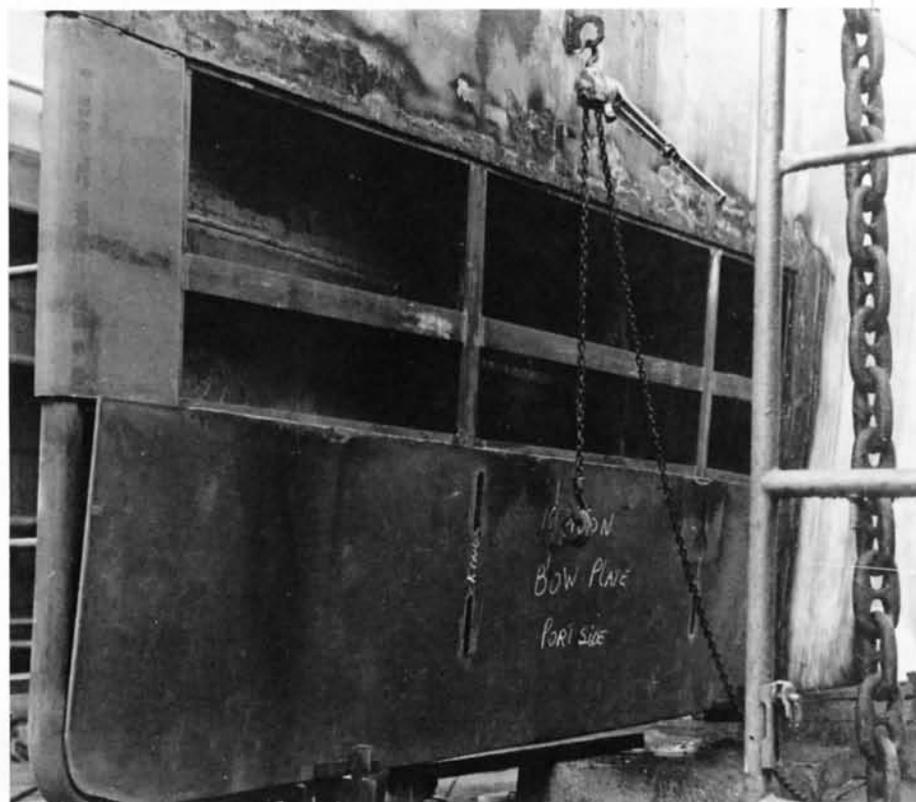


Fig. 3

Photo BFC Halifax

Nouvelles en bref

Bravo Zulu

Félicitations au commander Peter McMillan et au lieutenant-commander Brian Staples. Leur article « Saint-John Shipbuilding Ltd et la construction des FCP », qui fut publié dans la « Revue » de janvier 1987 a été choisi comme lecture générale pour le programme d'études sur le Canada au National Defence College, Kingston.

Contrat signé pour la production d'un sonar

La Computing Devices Company de Nepean, Ontario, a été octroyé un contrat de 21,3 millions \$ pour la production de sonars AN/SQS-510 pour les marines Canadiennes et Portugaises.

Le contrat, signé en avril dernier, voit à l'acquisition de deux sonars pour les NCSM *Nipigon* et *Annapolis*, et trois sonars qui seront fournis au Portugal dans le cadre d'un programme d'aide militaire OTAN.

Le *Nipigon* recevra son AN/SQS-510 vers la fin 1989, et l'*Annapolis* recevra le sien un an plus tard.

Le premier sonar Portugais sera livré en mars 1990. Le sonar 510 sera le détecteur sous-marin principal de trois MEKO-200 frégates anti-sous-marines présentement en voie de construction en Allemagne de l'ouest.

Les officiers du projet TRUMP sont honorés

Le lcdr Alex Rueben et le lt(m) Noel Purcell, tous deux employés sur le projet TRUMP de 1986 jusqu'à cet été, ont reçus des prix d'excellence de l'Institut canadien des ingénieurs maritime.

Le lcdr Rueben fut honoré pour avoir obtenu la plus haute note sur l'examen du certificat de compétence en mécanique partie I en 1982, et

pour la plus haute note sur l'examen de partie II en 1985.

Le lt Purcell fut honoré pour avoir obtenu la plus haute note sur l'examen du certificat de compétence en systèmes de combat partie II en 1985.

Les prix ont été remis à Ottawa le 26 avril dernier.

Bravo Zulu à ces deux officiers.



À la cérémonie de présentation des prix, le capitaine(m) R. Preston, le directeur du projet TRUMP, le lt Purcell, le lcdr Rueben, et le président du chapitre d'Ottawa de l'institut Gerry Lanigan. (photo de N. Martin)

CANTASS...

À venir en janvier

