

# Revue du Génie maritime

Janvier 1989





**Rétrospective:**  
**Le NSM *Charybdis***  
*-page 29*



# 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 Richard Sylvestre (Mécanique navale)*  
*Steve Dauphinee (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*

JANVIER 1989

## DÉPARTEMENTS

Notes de la rédaction .....	2
Chronique du commodore .....	3

## ARTICLES

Le mystère du carter d'engrenages du <i>Saguenay</i> <i>par Lt(M) Kevin Woodhouse</i> .....	4
CANTASS — Les moyens de lutte ASM à l'assaut du 21 <sup>e</sup> siècle <i>par Lcdr Richard Marchand</i> .....	9
Mise au point d'un dispositif de dessalement par osmose inverse pour navires <i>par Morris Shak et Réal Thibault</i> .....	15
Les secrets de l'alignement du système de pro- pulsion <i>par Lcdr Brian Staples</i> .....	22
Évolution de la frontière homme/machine dans les systèmes de combat <i>par Cdr Roger Cyr</i> .....	26

<b>RÉTROSPECTIVE: Le NSM <i>Charyb-</i> <i>dis 1880-1882</i></b> .....	29
--	----

<b>BULLETIN D'INFORMATION</b> .....	30
-------------------------------------	----

<b>Indexe des articles de 1988</b> .....	32
--	----

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, Édifice MGen George R. Pearkes, 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.

**PHOTO COUVERTURE**  
*Le NCSM Saguenay*



# Notes de la rédaction

*En raison de circonstances indépendantes  
de notre volonté...*

Il y a de cela deux ans lorsque nous avons commencé à prendre des dispositions pour faire de la *Revue du Génie maritime* une publication bilingue, nous savions pertinemment bien qu'il y aurait des obstacles à surmonter. Nous avions vu juste.

En plus de devoir nous adapter aux délais plus serrés que nous imposaient la rédaction et la publication d'une revue bilingue, nous avons dû tenir compte de la charge de travail passablement lourde du service de traduction. En effet, si la traduction ne se fait pas selon l'échéancier, cela retarde le moment où les articles sont remis à la composition — et tout le processus s'en trouve bouleversé. Nous étions toutefois bien résolus à ce que la revue de notre Branche soit publiée dans les deux langues officielles avant la fin de 1988.

Nous y sommes parvenus. En effet, lorsque le numéro d'avril 1988 est paru, il s'agissait de la première fois que la *Revue du Génie maritime* vous était offerte en version intégralement bilingue. Nous nous sommes rendus compte pendant que nous travaillions à ce numéro qu'il ne serait pas possible de faire la distribution de la *Revue* en avril en raison du temps qu'il fallait compter pour la traduction des articles; nous avons toutefois jugé qu'il valait la peine d'attendre six semaines pour pouvoir enfin publier notre revue dans les deux langues.

Malheureusement, nous n'avons pas été aussi favorisés en ce qui a trait à notre numéro de septembre et, d'une certaine façon, nous pouvons dire que nous en subissons encore le contrecoup. Des retards, tout à fait inhabituels, allant parfois jusqu'à trois mois, en ce qui concerne la traduction ont eu pour conséquence que nous ne pourrions vous offrir le prochain numéro bilingue de la *Revue* qu'au début de décembre. Pour nous, ce fut difficile à accepter, mais comme nous avons donné un coup de barre en avril, nous n'étions pas sur le point de faire marche arrière.

Par contre, la traduction des articles du présent numéro n'aurait pu se réaliser de plus belle façon. Rapidité d'exécution et qualité du produit fini; nous n'aurions pu demander mieux et c'est précisément ce que nous exigeons à l'avenir. Il reste à vérifier si le travail du service de traduction continuera à se maintenir à ce niveau; mais d'ici là, nous ne pouvons que nous réjouir des efforts qui ont été consentis au cours des derniers mois pour répondre aux besoins de la *Revue du Génie maritime*.

Nous sommes à prendre diverses mesures afin de diminuer le temps nécessaire pour produire la *Revue* dans les deux langues. À cette fin, nous avons commencé, entre autres, à employer les ressources de l'édition pour y insérer les dernières nouvelles et rajouter des commentaires plus près de l'actualité. Il s'agit d'une entreprise difficile, et il nous reste à

peine le temps de faire traduire les ajouts et d'en faire la composition à la main avant que les articles principaux ne nous reviennent de l'atelier de composition privé prêts à être mis en page.

Les quelques ennuis que nous avons éprouvés avant de réussir à faire de la revue de la Branche une publication bilingue n'ont en rien entamé notre optimisme. Nous sommes convaincus que le résultat justifie amplement les efforts. Le présent texte ne constitue ni une critique de la politique du gouvernement en matière de bilinguisme ni une approbation mitigée de celle-ci, il représente plutôt notre façon d'y donner suite avec sérieux. Aujourd'hui, dans les Forces canadiennes, ce sont les revues de branche unilingues qui font figure d'anachronismes. Et nous n'avons pas besoin de ces relents du passé.

*Dent Hanson*

## 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

## L'AMCC: ses conséquences pour la marine

Par le vice-amiral W.B. Hotsenpiller

Je remercie le rédacteur en chef de la *Revue du Génie maritime* de m'avoir donné l'occasion de collaborer une dernière fois à la *Revue*. Vu le grand nombre d'années que j'ai consacrées à la gestion du personnel, il était prévisible que je choisissais d'aborder un sujet d'une grande importance lié au personnel.

Il est vrai que le concept de progression latérale basé sur les compétences, devenu depuis le Programme d'avancement dans le métier selon la compétence et les connaissances ou l'AMCC existe depuis plus longtemps que l'ERPNO ou Étude sur le rendement du personnel officier de la Marine et que, s'il est mis en application, il aura sur les marins et le métier qu'ils exercent des conséquences encore plus importantes que celles de l'ERPNO.

Comme vous le savez sans doute, la Marine s'apprête à traverser une longue période de transition, complexe et stimulante, qui sera marquée par la mise en service des frégates de patrouille canadiennes et des nouveaux sous-marins.

Le passage à ces nouveaux types de bâtiments sera accompagné de nombreux changements dans nos façons de procéder. Les résultats de la plus récente étude d'importance concernant l'organisation du personnel, l'ERPNO, nous ont incités à remanier les groupes professionnels militaires du personnel non officier et à redéfinir les ressources qui nous permettront de répondre aux besoins futurs de la Flotte. Même si les décisions prises par suite de l'ERPNO l'ont été, il y a de cela plusieurs années, elles s'appuyaient néanmoins sur ce qui était alors notre meilleure évaluation de ce que seraient les besoins de la Flotte. Depuis ce temps, les besoins de la Marine ont été définis avec précision, et les changements technologiques ne cessent d'apparaître. Par conséquent, d'autres changements sont à prévoir.

Pour répondre aux besoins en matériel et en personnel de la Marine ainsi qu'à ses besoins opérationnels en pleine évolution, nous devons disposer de structures plus souples en ce qui concerne les groupes professionnels militaires et l'avancement. C'est à cette fin que le bureau de projet de l'AMCC s'est vu confier l'élaboration d'un cadre stratégique relatif au grade, à la progression dans le groupe professionnel

et à la reconnaissance des compétences qui permettra de répondre aux besoins futurs des Forces canadiennes.

L'AMCC est fondé sur la nécessité d'évaluer et de reconnaître les qualités de chef (le grade) et les compétences et connaissances professionnelles de façon distincte. Ce qui revient à dire qu'un marin, qui fait preuve de grandes qualités de chef ou qui démontre de grandes compétences professionnelles, se verra récompenser de manière tangible; il recevra donc une solde plus élevée, aura plus de responsabilités, et plus de pouvoirs et accomplira des tâches plus stimulantes. Désormais, la Marine n'aura plus à se conformer à une structure dans laquelle les compétences et connaissances professionnelles sont rattachées de façon rigide à des niveaux hiérarchiques spécifiques et dans laquelle les hausses de solde découlent uniquement de l'atteinte d'un grade plus élevé. La structure établie selon l'AMCC permettrait de concilier et d'associer les qualités de chef et les compétences professionnelles et de rémunérer celles-ci d'une manière qui réponde aux besoins propres à chaque groupe professionnel militaire et aux membres des FC qui en font partie. Grâce à ce système, les personnes pourraient atteindre un plus haut niveau de compétence professionnelle ou technique et être rémunérées/récompensées en fonction de leurs réalisations, sans égard à l'attribution d'un grade plus élevé. L'avancement professionnel servirait donc plus à répondre aux besoins de chefs, de surveillants et de gestionnaires efficaces de la Marine.

Il nous reste à établir la façon d'atteindre cet objectif et à déterminer les conséquences précises qu'auront, sur la Marine et les membres de celle-ci, les changements qui auront été apportés à la suite de l'application de l'AMCC. Soyez assurés que cette vaste entreprise n'est pas une solution mise au point au QGDN pour résoudre un problème qui hante les FC depuis bon nombre d'années. Le Commandement maritime et les conseillers de la Marine sont résolument tournés vers l'avenir et travaillent en étroite collaboration à l'élaboration du programme AMCC. Bien que le cadre stratégique de la politique soit établi par le bureau de projet de l'AMCC, l'organisation des groupes professionnels militaires ainsi que la rémunération qui s'y rattache seront définies par la Marine selon ce même cadre stratégique par le biais

d'un processus qui, entre autres caractéristiques, nécessitera la participation de représentants choisis, avec soin, dans chaque groupe professionnel militaire. Les employés du bureau de projet de l'AMCC solliciteront aussi l'avis d'environ 10 p. 100 des marins des FC et ce, sur la côte est comme sur la côte ouest, afin de découvrir quelle est leur attitude face au système de rémunération et d'avancement professionnel que nous utilisons à l'heure actuelle. Les données seront tirées des réponses au questionnaire officiel qui sera distribué aux participants à la mi-janvier 1989.

Les conséquences possibles de l'AMCC sur les effectifs, l'instruction, l'organisation professionnelle et la gestion des carrières ne doivent pas être sous-estimées; d'autant plus que nous sommes en mesure d'en évaluer les conséquences avec justesse et nous y parviendrons. En dernière analyse, l'application du programme AMCC permettra à la Marine de disposer d'une plus grande latitude afin:

- de réorganiser ses groupes professionnels militaires pour qu'ils correspondent aux nouveaux besoins opérationnels;
- d'offrir des modes d'avancement professionnel qui soient conçus de manière à répondre aux besoins futurs de la Marine en ce qui a trait aux effectifs et aux nouvelles technologies;
- de constituer un moyen d'attirer et de maintenir en service les recrues compétentes sans avoir à leur conférer des grades auxquels elles n'ont pas tout à fait droit; et en dernier lieu
- afin d'actualiser notre système de récompense ce qui comprend les promotions, la solde, la reconnaissance du mérite (les uniformes, les insignes et les médailles), les indemnités et les avantages dans le but de réaffirmer les valeurs et les croyances propres à la Marine et de répondre aux attentes de nos membres.

J'ai l'intime conviction que l'application de ce concept servira au mieux les intérêts de la Marine et de ses membres et j'aimerais bien pouvoir prendre part à sa mise en œuvre.

*Le vice-amiral Hotsenpiller est Sous-ministre adjoint (Personnel)*

# Le mystère du carter d'engrenages du *Saguenay*

Par le Lt(M) Kevin Woodhouse

**Un rapport sur l'enquête et les réparations faites sur l'arbre porte-hélice bâbord et le carter d'engrenages du NCSM *Saguenay*.**

## Énigme

Le NCSM *Saguenay* a été obligé de quitter l'Europe pour revenir au Canada en novembre 1986 après un abordage avec un sous-marin ouest-allemand. Lors de cet incident qui s'est produit en août, le navire a subi de petites avaries de structure à tribord, derrière la chambre des machines et au-dessous de la ligne de flottaison, lorsque le sous-marin a passé sous le navire en diagonale à l'arrière et qu'il a fini par heurter l'hélice bâbord du *Saguenay*. Deux pales de l'hélice ont subi de légères avaries, l'une perdant de deux à trois pouces de son extrémité et l'autre étant légèrement gauchie à l'extrémité. On a signalé un accroissement de la cavitation, mais aucune vibration ni anomalie le long de l'arbre ou dans les engrenages. Pendant que le navire était à Wilhemshaven, les avaries de structure ont été réparées et les pales d'hélice ont été meulées sous l'eau.

Vers la fin d'août, le *Saguenay* était de retour en mer pour accomplir son affectation au STANAVFORLANT. Tout semblait bien aller, et le personnel de l'unité de génie naval du chantier HMC de Halifax en Nouvelle-Écosse a reporté son attention au radoub d'un destroyer à vapeur à l'unité de réparation de navires et il a fait un peu de préparation en vue du congé de Noël.

Le premier signal d'alarme a été donné au début de novembre, et le message de l'OPDEF avait certainement l'air de demander: « Répétez s'il vous plaît?... ». Le *Saguenay* signalait une oscillation soudaine d'un huitième de pouce de l'arbre porte-hélice bâbord dans la chambre des machines au presse-étoupe de la cloison. Il y avait aussi une fuite d'huile au joint du carter d'engrenages et on pouvait voir l'arbre de butée osciller à la sortie du carter d'engrenages. On ne signalait aucune vibration et toutes les températures des engrenages et de la ligne d'arbre étaient normales.

Le *Saguenay* a verrouillé son arbre bâbord et il s'est rendu tranquillement à Rosyth pour un examen plus détaillé.

Au cours de la semaine qui a suivi, un nombre croissant d'appels téléphoniques transatlantiques n'ont servi qu'à épaissir le mystère. Il n'y avait pas d'avarie visible aux arbres porte-hélices ni aux goussets à bâbord ou à tribord, et pourtant l'arbre de butée au carter d'engrenages a été trouvé excentrique de 0,030 pouce au bord de sortie. Les lectures de micromètre prises au gousset bâbord constituaient la seule autre anomalie qui avait fait l'objet d'un rapport précédent. Ces lectures indiquaient une déviation de l'arbre d'environ 0,050 pouce, mais on savait que le jeu dans le gousset dépassait 0,125 pouce de toute façon. En outre, les lectures de micromètre sous l'eau ont une réputation spéciale.

Il ne manquait pas de documents révélant que d'autres navires de cette classe avaient subi des avaries beaucoup plus sérieuses aux hélices (y compris des sections importantes des pales brisées en touchant le fonds), sans que cela nuise aux arbres porte-hélice de quelque façon que ce soit. On devait s'apercevoir plus tard que cette documentation se révélait très trompeuse.

Les examens à Rosyth furent peu concluants. On découvrit que l'arbre de poussée bâbord avait subi un gauchissement soudain, environ deux mois après un abordage mineur. Qu'est-ce qui était arrivé? Comment cela s'était-il produit?

Un personnel perplexe à l'Unité de génie naval a recommandé au *Saguenay* d'enlever son hélice bâbord afin de réaliser une économie de combustible et de revenir en utilisant un seul arbre.

L'énigme était posée.

## Remue-ménages

Pendant que le *Saguenay* revenait au Canada, le personnel de la Section des engre-

nages au quartier général de la Défense nationale à Ottawa et celui de la Division de l'ingénierie des systèmes maritimes à Halifax délibérèrent indépendamment l'un de l'autre puis ensemble pour établir une procédure d'enquête. Le temps était de la plus haute importance, car le *Saguenay* devait arriver à Halifax le 5 décembre et son entrée en cale sèche était prévue pour le 12. Il n'y aurait donc qu'une semaine pour découvrir ce qui n'allait pas avec ce navire pendant qu'il était à flot avant que des instructions soient transmises au chantier naval qui devrait effectuer les réparations. Un plan d'action a finalement été convenu et mis en branle. On avait déjà obtenu de Douanes et Accises Canada la permission d'entreprendre les travaux sur le navire avant même qu'il reçoive son congé de douane à son arrivée à Halifax.

La *figure 1* indique la disposition des instruments qui devaient être fixés à la ligne d'arbre. La recherche d'anomalies le long de la ligne d'arbre a été effectuée en mesurant des excentricités à des points-clés. L'insertion indique comment les micromètres ont été installés pour rechercher les distorsions en trois dimensions pendant qu'on faisait tourner l'arbre porte-hélice.

Pour le profane, l'essai de réaction du palier est une méthode assez habile de trouver si l'arbre porte-hélice est gauchi en un point donné. On a projeté de vérifier les réactions à la butée, au palier et au tube d'étambot. Il s'agit de soulever l'arbre par un vérin hydraulique en quatre positions de rotation, chacune à 90°. En mesurant la force nécessaire pour soulever l'arbre et la hauteur à laquelle l'arbre s'élève en réalité, il est possible de montrer une différence de chargement dans les quatre positions. Si l'arbre est gauchi, alors dans la position où le gauchissement agit sur le palier du bas, la force nécessaire pour lever l'arbre sera plus grande. Si la hauteur de levage est inférieure au jeu de palier spécifié, l'essai de réaction peut être fait avec la moitié supérieure du palier en position.

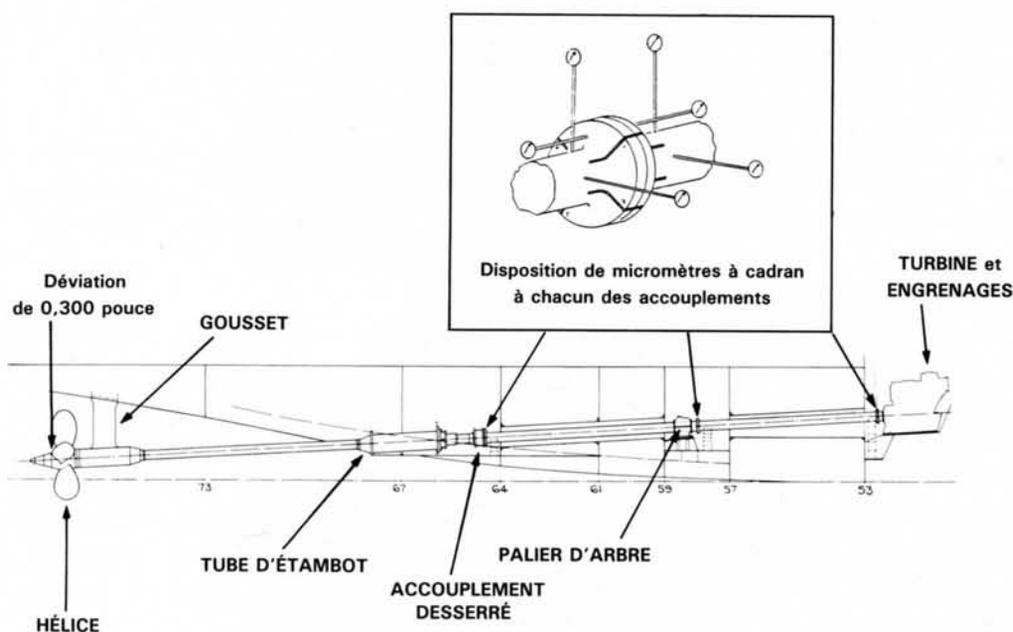


Figure 1. Disposition générale de la ligne d'arbre

Les graphiques de la figure 2 donnent les résultats. On en conclura que tout va assez bien au palier, mais qu'il y a certainement des gauchissements à la butée et au tube d'étambot.

On passa ensuite aux lectures de faux-rond de rotation (figure 2). (Les lectures ont été prises deux fois, la première fois avec l'arbre tournant dans le sens normal puis en sens inverse.) Les courbes ont été tracées de deux façons — en pointant simultanément les lectures de l'indicateur à 0°, 90°, 180° et 270°, et en marquant la position de l'arbre dans les plans horizontal et vertical pour une révolution complète. En marquant le lieu géométrique du centre de l'arbre, on a obtenu une image claire de la distorsion de l'arbre porte-hélice.

Il semble que l'arbre, en rotation, se déplaçait excentriquement vers le bas à l'une ou l'autre extrémité par rapport à l'accouplement adjacent au palier, qui tournait excentriquement vers le haut. En premier lieu, il semblait que le palier pouvait avoir été déplacé vers le haut, ce qui causait le gauchissement de l'arbre, en décentrant l'arbre de poussée. Peut-être s'agissait-il de la réponse. Ou est-ce que nous ne faisons qu'observer l'arcure naturelle d'un arbre porte-hélice à une certaine distance de ses supports principaux? Un examen des tôles de pont dans le compartiment du palier a révélé qu'elles étaient inégales. Toutes les tôles tendaient à former une courbe ascendante depuis la périphérie du compartiment en allant vers le centre où les raidisseurs du palier étaient soudés. S'agissait-il d'une preuve supplémentaire ou d'une simple coïncidence? Le bordé de pont est rarement plat de toute façon!

Dès que l'Unité de plongée de la flotte fut arrivée, elle procéda à des prises de vue (magnétoscopiques) des sections de la coque en-dessous du palier bâbord. Il n'y avait aucune trace d'avarie de la structure. L'espoir qu'il pourrait s'agir de la solution du problème s'est évanoui immédiatement. La caméra sous-marine a révélé aussi qu'il n'y avait eu aucun contact entre le sous-marin et le navire le long du côté bâbord de la coque. Ce qui est significatif, c'est que l'arbre et le gousset bâbord ne semblaient pas avoir été touchés non plus — aucun endommagement de la peinture, aucune marque sur l'enduit en fibre de verre de l'arbre porte-hélice. Plus perplexes qu'auparavant, nous avons porté notre attention sur le carter d'engrenages bâbord.

Les dents de la principale roue d'engrenage semblaient très bonnes sans trace d'avarie ou d'usure inégale. Les jeux de paliers de la principale roue d'engrenage furent aussi vérifiés et trouvés satisfaisants. Chose étrange toutefois, l'arbre de butée était gauchi à quelques pieds seulement de la principale roue d'engrenage. Le gauchissement de l'arbre de butée avait été la cause du fait que le joint en métal blanc du palier avait frotté et rayé l'arbre de butée à cet endroit.

Le lendemain, les plongeurs ont boulonné une cornière solide au gousset bâbord pour permettre de prendre une mesure de toute excentricité à l'extrémité même de l'arbre porte-hélice. Encore une fois, la caméra vidéo a été utilisée.

Par une très froide soirée de décembre, un petit groupe s'est réuni autour d'un petit écran de télévision à bord du chaland de plongée. À mesure que l'arbre porte-hélice tournait nous

avons observé la chose la plus étonnante. Contrairement à toutes les expériences précédentes de ce genre, l'instrument révélait un gauchissement considérable à l'extrémité de l'arbre porte-hélice — mesurant plus de 0,300 pouce.

L'apparence du dommage léger aux pales de l'hélice nous avait complètement induit en erreur. L'impact du kiosque du sous-marin sur l'hélice n'avait causé que de légères avaries aux pales, mais avait transmis un choc considérable par le centre de l'hélice. La force nécessaire pour produire un tel gauchissement à l'arrière du gousset a été plus tard évaluée à quelque chose de l'ordre de 800 000 à 1 000 000 livres au pouce. La pertinence des premières lectures douteuses au micromètre prenait maintenant une signification importante sinon embarrassante.

### La réparation rapide

Le navire est entré en chantier tel que prévu et une autre vérification avec un micromètre à cadran a confirmé le gauchissement excessif de l'arbre porte-hélice. Nous avons maintenant raisonnablement confiance d'avoir trouvé ce qui n'allait pas, notamment l'avarie à l'arbre porte-hélice et à l'arbre de butée. Le remplacement d'un arbre porte-hélice est une opération relativement simple. Mais que dire de l'arbre de butée? Il faudrait des mois pour remplacer tous les éléments d'engrenage et les paliers de la boîte d'engrenage. L'idée d'une réparation sur les lieux a immédiatement pris la tête des options, et pendant que l'entrepreneur s'appretait à faire enlever l'arbre porte-hélice, nous avons commencé à mettre au point une méthode d'usinage sur place de l'arbre de butée.

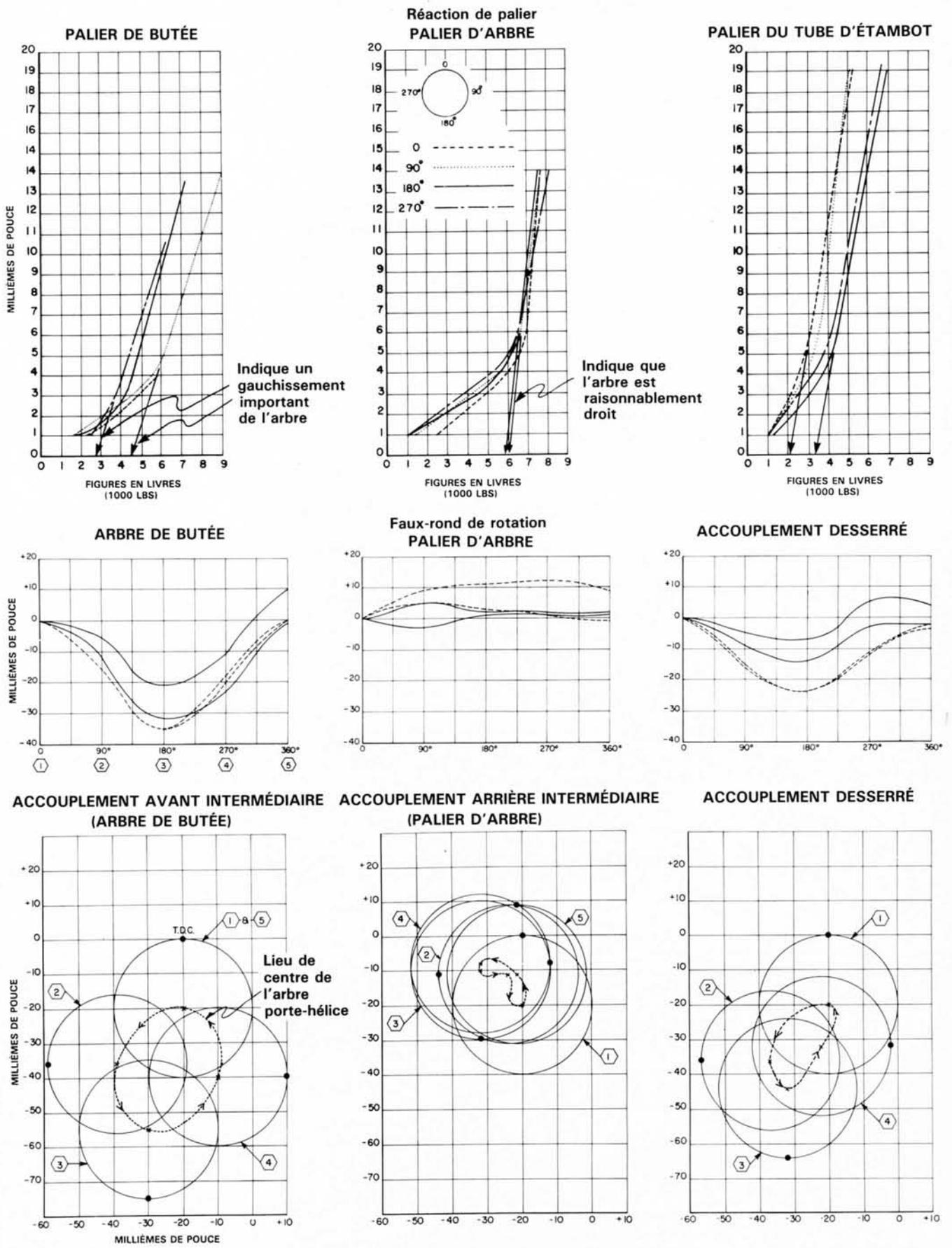


Figure 2. Lectures de distorsion d'arbre

Si nous pouvions nous assurer qu'il n'y avait pas de fêlures dues à la fatigue dans l'arbre de butée et que l'engrenage principal et les paliers n'avaient pas subi d'avaries, alors la réparation était possible.

Nous avons eu de la chance! Les radiographies de l'arbre étaient négatives et un essai de rotation à vide des engrenages à 196 tours/minute n'a révélé aucune vibration anormale. L'avarie se limitait à l'arbre de butée et touchait le collet de butée et le bord de sortie (figure 3). Le principal inconvénient, bien sûr, c'était que pour usiner le collet de butée et le bord de sortie il fallait établir une méthode pour situer axialement l'arbre de butée. L'esprit fertile de notre inspecteur de machine a produit une réponse qui comportait deux méthodes faisant appel toutes les deux à la turbine à vapeur principale pour faire tourner l'arbre en sens inverse.

La première méthode était nécessaire pour usiner le bord de sortie et comportait l'utilisation du collet de butée gauchi pour situer axialement l'arbre de butée. Le collet de butée s'était gauchi, mais le palier de butée était encore droit. En supposant que le point haut du collet de butée gauchi serait en alignement avec son palier droit, la localisation axiale pourrait être accomplie. L'essai de rotation à vide susmentionné a révélé qu'il n'y avait pas de mouvement axial lorsqu'on faisait tourner l'arbre en sens inverse. Une fois le bord de sortie usiné, on pourrait commencer à employer la deuxième méthode.

La deuxième méthode était nécessaire pour usiner le collier et l'arbre de butée et elle comportait le raccordement de l'arbre porte-hélice à l'arbre de butée et l'utilisation du palier de butée arrière de secours dans le palier d'arbre pour mettre dans l'axe l'arbre de butée. Le transfert des patins de butée du palier d'arbre tribord au palier d'arbre bâbord était évidemment une tâche secondaire délicate mais importante. Ce travail permettait d'incliner les patins correctement pour réaliser un graissage hydrodynamique. Normalement, les patins de butée arrière fonctionneraient lorsque l'essieu tournerait dans le sens normal et non en sens inverse. Il fallait aussi une bague d'espacement de 1/2 pouce entre le bord de sortie et l'arbre porte-hélice pour maintenir la position de l'arbre de butée tout en déplaçant l'arbre porte-hélice contre le palier arrière. (Il importe de noter que l'hélice serait installée avant cette phase des travaux.)

Le plus gros de la discussion ayant été accompli, nous pouvions maintenant passer au travail. Nous avons effectué des vérifications des engrenages qui se révélèrent satisfaisants et un examen minutieux des coussinets du palier d'arbre révéla qu'ils étaient en bon état aussi. Ensuite, l'accouplement desserré a été défait et l'arbre porte-hélice avarié fut enlevé. Une vérification optique de l'alignement a révélé que les coussinets du gousset et du tube d'étambot étaient raisonnablement droits et n'avaient subi aucune avarie sérieuse. Ces coussinets sont énormes et très résistants.

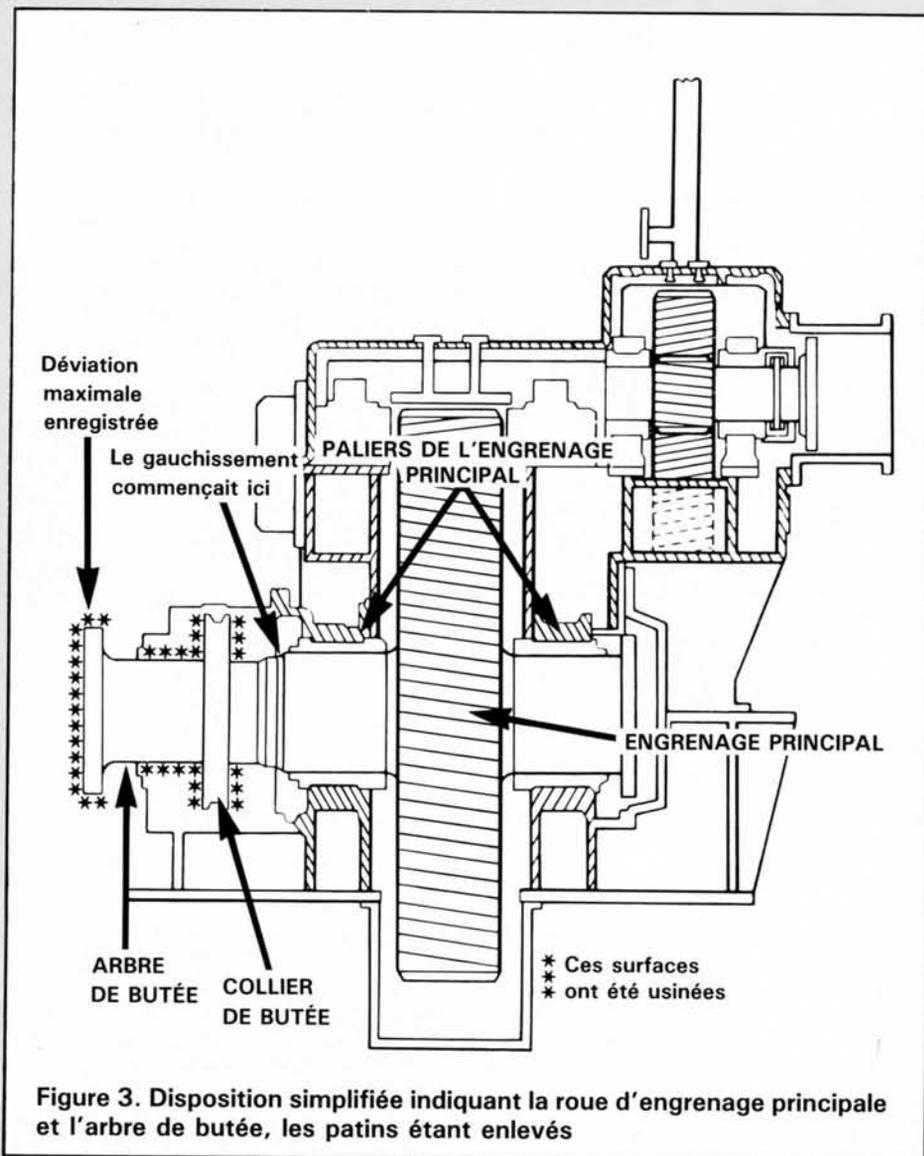


Figure 3. Disposition simplifiée indiquant la roue d'engrenage principale et l'arbre de butée, les patins étant enlevés

Un nouvel arbre porte-hélice a été installé et raccordé, et les joints arrière intérieur et extérieur ont été remplacés automatiquement. Une fois l'hélice neuve installée et toutes les tôles de carénage remises en place, le navire sortit de cale sèche. Comme il était maintenant à flot avec son combustible également réparti, l'usinage et le réalignement de l'arbre de butée pouvaient commencer.

À ce point, pour ce qui est du reste des réparations, elles ont été effectuées par les membres du personnel de l'unité de radoub de l'arsenal canadien de Sa Majesté à Halifax, qui ont été aidés par le personnel naval du Groupe de maintenance de la Flotte (Atlantique).

La déviation totale indiquée au bord de sortie de l'arbre de butée était de l'ordre de 0,035 pouce. Il s'agissait en premier lieu d'usiner le bord de sortie après avoir déconnecté l'arbre de butée, puis d'aléser les trous de boulonnage de l'arbre de butée pour réaliser un alignement correct avec l'arbre intermédiaire. Tout ce travail a été accompli avec les patins de butée et le couvercle en place et il a

fallu le faire avant de pouvoir raccorder le bord de sortie. De nouveaux boulons ont été fabriqués pour le raccordement et les arbres ont été raccordés.

Le couvercle de la boîte d'engrenages et les patins de butée étant enlevés, et l'approvisionnement en huile de graissage au collet de butée étant obturé, une machine outil portable a été boulonnée au carter d'engrenages. La figure 4 indique que ce montage a servi à usiner puis polir avec soin ces surfaces et les faces du collier de butée pour obtenir un beau fini. Le dessin simplifié indique les endroits où ce travail a été fait. Les travaux d'usinage terminés, les patins de butée ont été remis en place et calés pour garder le jeu de butée exact. Le diamètre réduit de l'arbre de butée a nécessité l'installation d'un joint de palier arrière plus petit. Nous avons nettoyé avec soin et inspecté tous les espaces avant de vidanger le circuit d'huile de graissage.

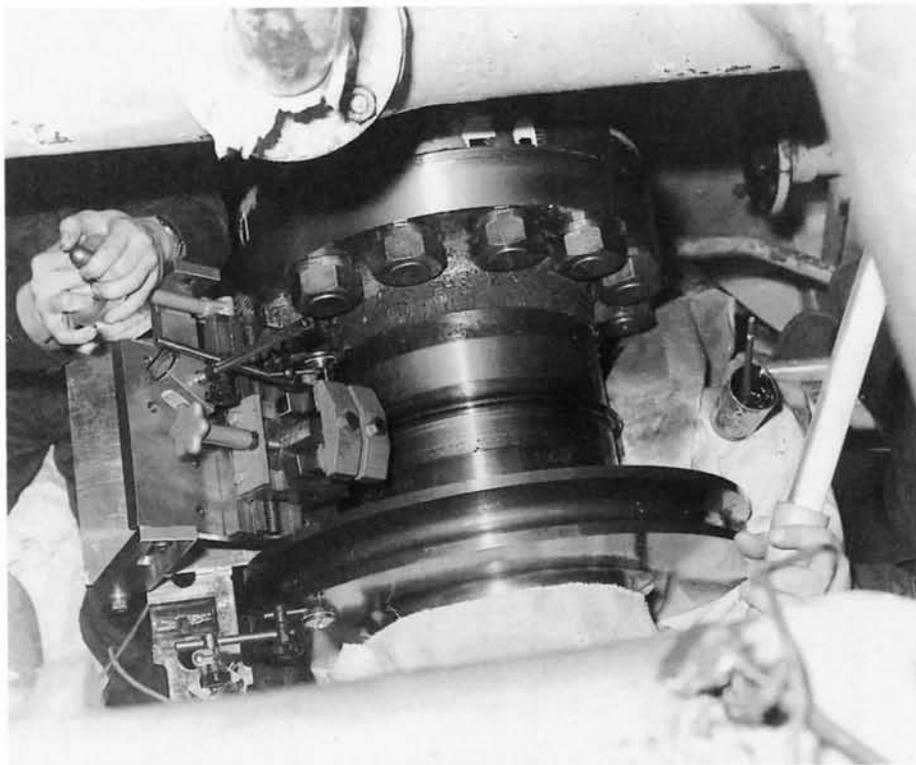


Figure 4. Usinage de l'arbre de butée du carter d'engrenages sur place.

Un essai au bassin a été effectué avec succès et deux jours plus tard, moins de dix semaines après la date d'entrée en cale sèche, le *Saguenay* naviguait à pleine puissance à soixante milles au large du littoral de la Nouvelle-Écosse. Le reste, comme on dit, est de l'histoire.

#### Épilogue

En dépit des efforts concertés de deux ingénieurs et trois savants, une question demeure sans réponse. Pourquoi l'arbre de butée s'était-il gauchi tout d'abord?

Il n'y avait tout simplement pas assez d'énergie à l'arbre porte-hélice pendant l'abordage pour transmettre les forces nécessaires au carter d'engrenages. En outre, le gauchissement ne s'est révélé que deux mois plus tard, bien que l'arbre de butée eut été vérifié périodiquement pendant cette période.

Plusieurs idées ont été avancées, mais aucune n'a recueilli l'assentiment unanime des personnes en cause. L'hypothèse la plus populaire a été avancée par M. Jim Matthews du CRDA. À son avis, lorsque le sous-marin a heurté le *Saguenay* derrière la chambre des machines, le choc a effectivement causé un gauchissement de tout le navire. Par conséquent, le presse-étoupe de la cloison derrière le carter d'engrenages a exercé sur l'arbre de butée une poussée telle qu'elle a déformé la

section la plus réduite de cet arbre dans le carter d'engrenages. Le joint en métal blanc du palier, à l'extrémité arrière du carter d'engrenages, était assez résistant pour forcer l'arbre de butée à tourner de telle façon qu'il semblait droit. Avec le temps toutefois, la charge supplémentaire sur le palier s'est accrue suffisamment pour user graduellement le métal blanc, ce qui a finalement laissé l'arbre de butée tourner avec une excentricité visible à l'œil nu. Cette interprétation, même si elle semble la plus plausible, ne convainc pas les architectes navals qui allèguent que la force exercée était insuffisante pour faire gauchir le navire au moment de l'abordage.

Le *Saguenay* a continué de naviguer sans accroc deux ans après la réparation. Nous avons appris beaucoup de notions d'ingénierie à cause des travaux faits sur le *Saguenay*, mais le mystère hante toujours l'esprit des intéressés.



#### Post-scriptum

L'auteur veut exprimer sa sincère gratitude au Lieutenant Commander Neil Latham, de la Marine royale, qui faisait partie de la section des engrenages au quartier général de la Défense nationale, à Ottawa, à Steve Dauphinee de DMGE 3, à M. Jim Matthews du laboratoire du chantier naval, à M. Doug Nickerson, inspecteur de machine à l'Unité de génie naval à Halifax et aux membres du personnel de l'unité de radoub et du Groupe de maintenance de la Flotte qui ont effectué les réparations du NCSM *Saguenay*. C'est à toutes ces personnes que revient le mérite du travail accompli à bord du *Saguenay* et ce fut un plaisir de travailler avec elles et d'en apprendre.



Le Lieutenant Woodhouse est l'officier chargé de la classe ISL à l'Unité de génie naval, à Halifax.

# CANTASS

## Les moyens de lutte ASM à l'assaut du 21<sup>e</sup> siècle

par le Lcdr Richard Marchand

### Introduction

La Marine canadienne s'est lancée dans un ambitieux programme d'acquisition et de modernisation, lequel prévoit, entre autres, la mise au point et la production d'un Système canadien de surveillance par réseaux remorqués (CANTASS), grâce auquel les moyens de lutte ASM se trouveront grandement améliorés. Le lecteur trouvera dans le présent article une description semi-technique du CANTASS; on y montre aussi dans quelle mesure ce système permettra effectivement de répondre aux besoins actuels et futurs de la Marine, sur le chapitre de la détection passive dans la lutte ASM.

### Renseignements préliminaires

Des modèles expérimentaux de réseaux remorqués sont en service dans la Marine canadienne depuis le milieu des années 1970. Les essais effectués ayant été concluants, on a mis sur pied un projet intégral de mise au point, afin de doter les navires de guerre de la Marine canadienne d'un système tactique de surveillance par réseaux remorqués. Le Conseil du Trésor a entériné le projet de mise au point en septembre 1983 et, en avril 1984, il a donné son approbation préliminaire à la production de systèmes canadiens.

Dès le début, il a été décidé que le Canada se procurerait le capteur à réseaux le plus perfectionné qui soit, à savoir: le modèle AN/SQR-19 de la Marine américaine (U.S.N.), car, en achetant du matériel de

série, on réduirait au minimum les risques d'ordre technique ainsi que le délai global de mise au point. Cependant, étant donné que le Canada avait besoin de dispositifs appropriés de visualisation et de traitement, dont le capteur de la USN était dépourvu, il fallait mettre des modèles au point. Ainsi, en décembre 1984, un marché a été adjugé à la *Computing Devices of Nepean* (Ontario), en vue de la production d'un modèle au stade du perfectionnement (prototype). Ce prototype, livré en février 1988, fait depuis l'objet d'essais exhaustifs en mer, à bord du NCSM *Annapolis*. Au stade de la production, les modèles CANTASS seront modifiés en conséquence.

Le CANTASS est destiné à être installé à bord des NCSM *Annapolis* et *Nipigon* et des douze frégates canadiennes de patrouille.

### Énoncé du besoin

Le CANTASS a pour objet d'assurer, en mode passif, une capacité de détection et de poursuite d'un navire ou d'un sous-marin hostile à une distance supérieure à la portée des armes de ce dernier.

Le *Livre blanc sur la Défense* (publié en 1987) faisait ressortir ce besoin: il y était spécifié en effet qu'il fallait continuer à assurer la surveillance et la protection du territoire ressortissant au Canada, à l'Amérique du Nord ainsi qu'aux signataires du Traité de l'Atlantique Nord. Or, il appert que le Canada, grâce au CANTASS, sera bien mieux en mesure d'assurer la surveillance des dites zones océaniques.

### Description du système

Le CANTASS se compose de deux principaux groupes d'éléments: d'une part, les appareils immergés, à savoir: le réseau, le récepteur et le matériel de manutention et d'arrimage et, d'autre part, les appareils non immergés (de bord), c'est-à-dire les dispositifs de traitement et d'affichage. On trouvera une représentation graphique des différents composants du Système à la figure 1.

### Les appareils immergés

Les appareils immergés regroupent les quatre sous-ensembles suivants:

- a. *Le réseau*: Le réseau AN/SQR-19, à densité équivalente à celle de l'eau, fait 800 pieds de longueur et 8 centimètres de diamètre. Pour pouvoir rester le plus possible à l'horizontale, pendant le remorquage, le réseau doit avoir une densité équivalente à celle de l'eau. Les différents modules formant le réseau sont reliés les uns aux autres suivant la configuration montrée en détail à la figure 2. Voici une description générale de chacun des modules:

- i. Le cône, à l'extrémité arrière du réseau, joue un rôle stabilisateur semblable à celui d'une ancre flottante. Il amortit les oscillations du réseau, lorsque ce dernier est remorqué, et procure à l'ensemble la résistance nécessaire pour demeurer à l'horizontale lors des opérations. Le cône est constitué d'un cordage en polypropylène de 3/4 de pouce de diamètre et de 75 pieds de longueur.

- ii. Le module de commande de télémétrie (TDM) est un module qui numérise et assure le multiplexage temporel (par répartition dans le temps) des données acoustiques émanant des divers modules acoustiques, ainsi que des données non acoustiques produites par le HTDM.

- iii. Le module de mesure du cap, de la température et de la profondeur d'immersion (HTDM) a deux fonctions. Il sert à mesurer le cap magnétique du réseau, la température des eaux et la profondeur d'immersion,

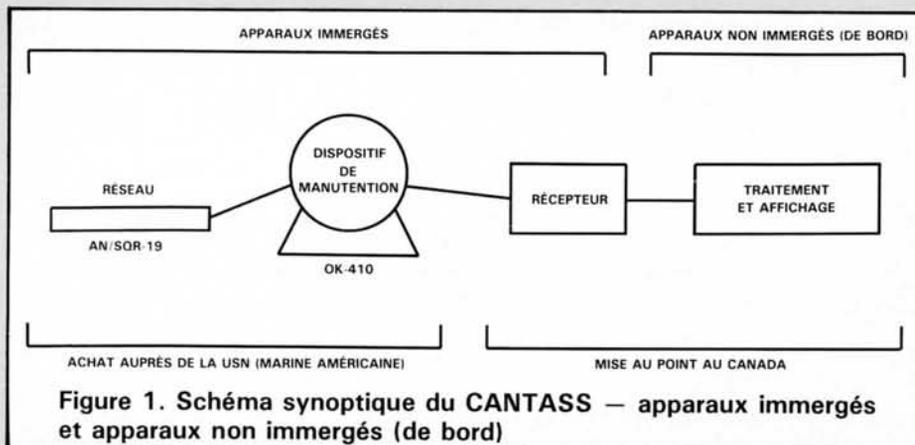


Figure 1. Schéma synoptique du CANTASS — appareils immergés et appareils non immergés (de bord)

ainsi qu'à multiplexer les données provenant des modules VLF du réseau. Toutes ces données sont ensuite acheminées vers le module de commande de télémétrie (TDM), qui les achemine à son tour vers le récepteur du réseau.

iv. Les modules d'amortissement des vibrations (VIMS) servent, à la manière d'amortisseurs, à stabiliser le réseau dans l'eau et à l'isoler du câble de remorque, en atténuant le bruit provoqué par les vibrations du câble, bruit qui pourrait être capté par le réseau. Les quatre modules qui viennent d'être décrits forment la partie non acoustique du réseau.

v. Les modules acoustiques du réseau sont constitués d'hydrophones équidistants, qui couvrent toute la gamme des fréquences présentant un quelconque intérêt, soit les fréquences très basses, basses et moyennes. Bien que le réseau AN/SQR-19 comporte des modules haute fréquence, on utilise les moyennes fréquences dans le CANTASS. L'espacement des hydrophones, dans les modules, détermine la fréquence maximale de travail (aux fins de la directivité des faisceaux), tandis que la largeur du cornet acoustique sert essentiellement à déterminer la fréquence minimale. On trouvera à la figure 2 le schéma synoptique du réseau AN/SQR-19;

on y montre la largeur du cornet acoustique du réseau.

b. *Le treuil*: Le mécanisme de hissage du réseau est constitué du treuil OK-410 de la Marine américaine (U.S.N.) (voir figure 3), lequel permet d'enrouler 5 600 pieds de câble de remorque et de tirer l'ensemble du réseau. Étant donné la flottabilité négative du câble, il est possible de faire varier la profondeur d'immersion du réseau en modifiant la longueur de câble filé et la vitesse du navire.

c. *Le récepteur du réseau (AR)*: Le récepteur, de conception canadienne, est fabriqué par *Gould Inc.* de Baltimore, dans le Maryland (É.-U.). Afin de réduire au minimum les délais de livraison et les risques d'ordre technique, on a décidé de confier la production du récepteur du réseau à la *Gould Inc.*, experte en ce domaine.

Le récepteur du réseau accepte les données acoustiques et non acoustiques (température, cap et profondeur d'immersion) provenant du réseau et les rend compatibles avec le système électronique de bord (SES) du CANTASS. Le récepteur assure également l'alimentation du réseau en courant continu.

d. *L'enregistreur de données*: Il s'agit d'un appareil d'enregistrement numérique à grande densité (HDDR), qui sert à la collecte des données acoustiques brutes provenant du réseau. Le HDDR enregistre sur bande les données acoustiques qui parviennent à l'unité de tête du récepteur sonar. Le personnel en poste à bord des navires et aux établissements à terre peut, à loisir, repasser les bandes d'enregistrement, une fois les exercices ou les missions terminés, aux fins d'analyse et de formation.

#### Les appareils non immergés (de bord)

Les appareils non immergés, aussi appelés appareils électroniques de bord (SES), regroupent les six sous-ensembles montrés à la figure 4.

a. *Le système de gestion et de distribution des données (DMDU)*: Le DMDU est un dispositif multiprocesseur ayant une capacité de mémoire de masse de 32 mégaoctets. Le DMDU renferme deux processeurs infographiques, un contrôleur de système et un processeur de poursuite. L'ensemble du système a été conçu d'après le processeur Micro J-11 de la *Digital Equipment Corporation*. Les quatre processeurs ont une configuration utilisant un bus en anneau et tous peuvent avoir accès à la mémoire de travail par le biais du contrôleur du système. Le DMDU a pour fonction d'assurer,

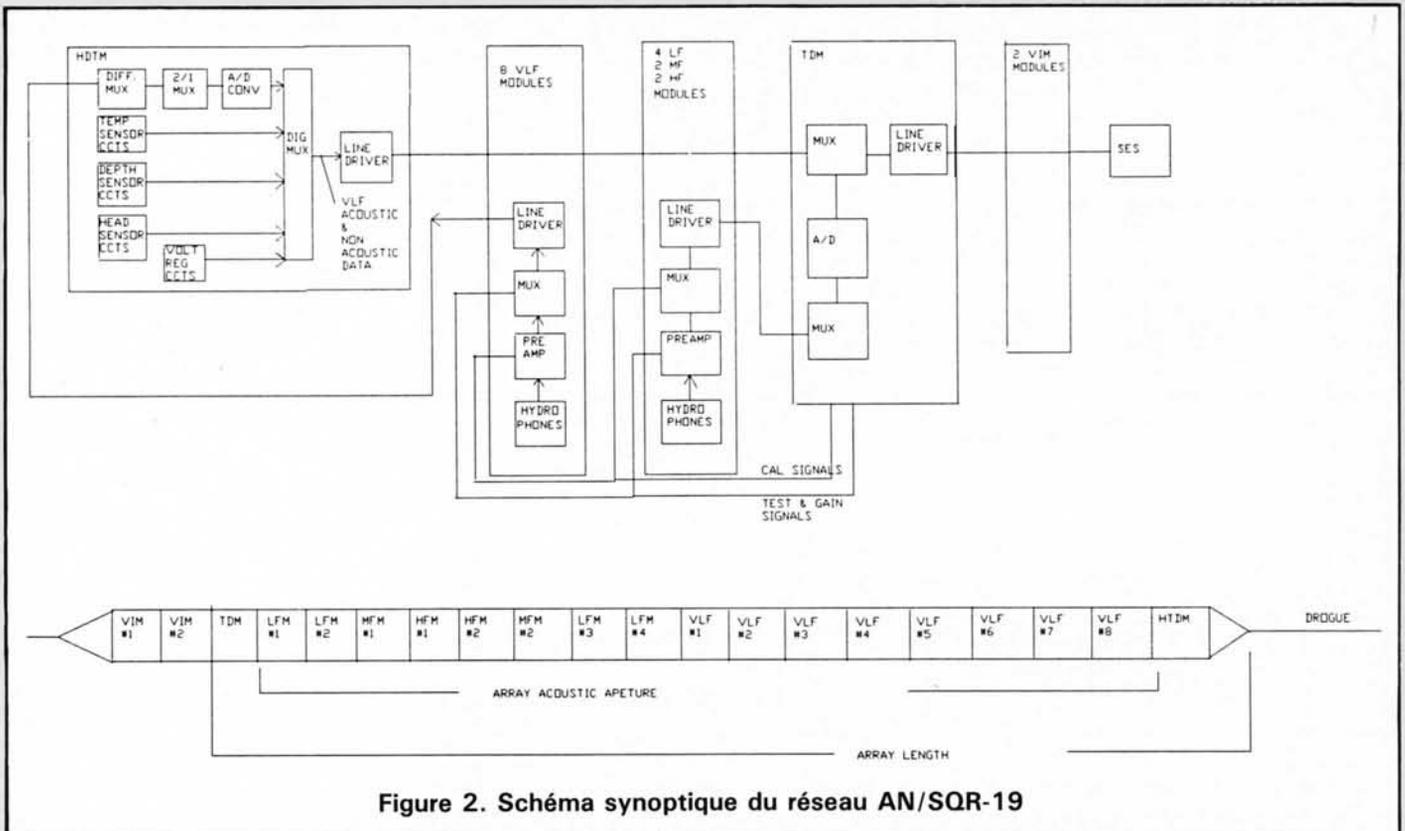


Figure 2. Schéma synoptique du réseau AN/SQR-19

grâce à sa mémoire de travail, les fonctions de commutation qu'il faut pour transférer les données entre le processeur de signal et les visuels. On trouvera à la figure 5 le schéma synoptique du DMDU. Voici une brève description de chacun des quatre processeurs :

- i. Le contrôleur a pour fonction principale de régir l'ordonnancement des opérations dans le SES, c'est-à-dire, notamment :
  - d'assurer le séquençage ordonné de la mise en marche et du fonctionnement du système.
  - d'assurer la collecte et la distribution des données, au sein du SES.
  - de surveiller le rendement du système, de repérer les défaillances et d'en faire état.
  - de calculer le facteur de mérite (FOM), à l'égard du système CANTAS. Grâce à ce facteur de mérite, les sonaristes peuvent déterminer la portée approximative de détection du système.
  - de déterminer le gisement précis de la source d'écho repérée. À défaut de cet algorithme de gisement précis, le calcul de la direction de la cible ne serait exact qu'à plusieurs degrés près.
- ii. Les processeurs infographiques (DP) ont plusieurs fonctions dont, notamment :
  - Le traitement des données fournies par l'opérateur ;
  - l'affichage de l'information d'état, d'indications sur le milieu ambiant et sur l'alerte, le cas échéant ;
  - la gestion de l'affichage sous forme de tableau ;
  - la gestion de l'affichage des données acoustiques ;
  - la gestion du système intégré de visualisation des informations tactiques (SHINPADS) ;
  - la vérification de l'état du matériel lors de la mise en œuvre du système.
- iii. Le processeur de poursuite a pour seule fonction de déclencher le dispositif de poursuite automatique lorsque le détecteur reçoit, à un azimut donné et à une fréquence discrète, un écho d'une intensité supérieure au seuil de détection. Le sonariste peut également effectuer la poursuite manuellement ou intervenir, à volonté, lors de la poursuite automatique.

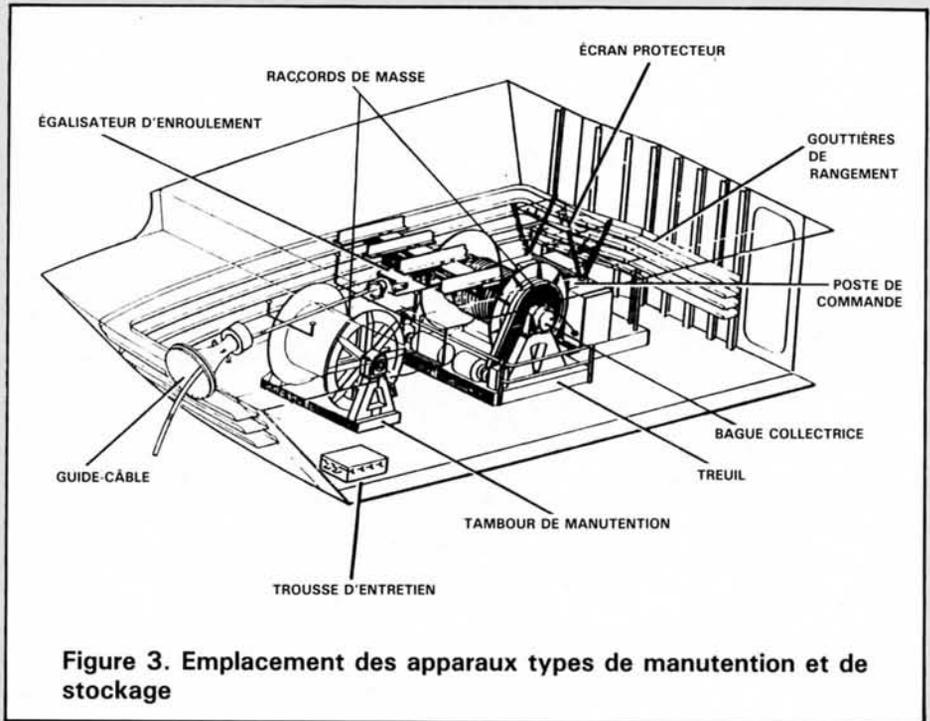


Figure 3. Emplacement des appareils types de manutention et de stockage

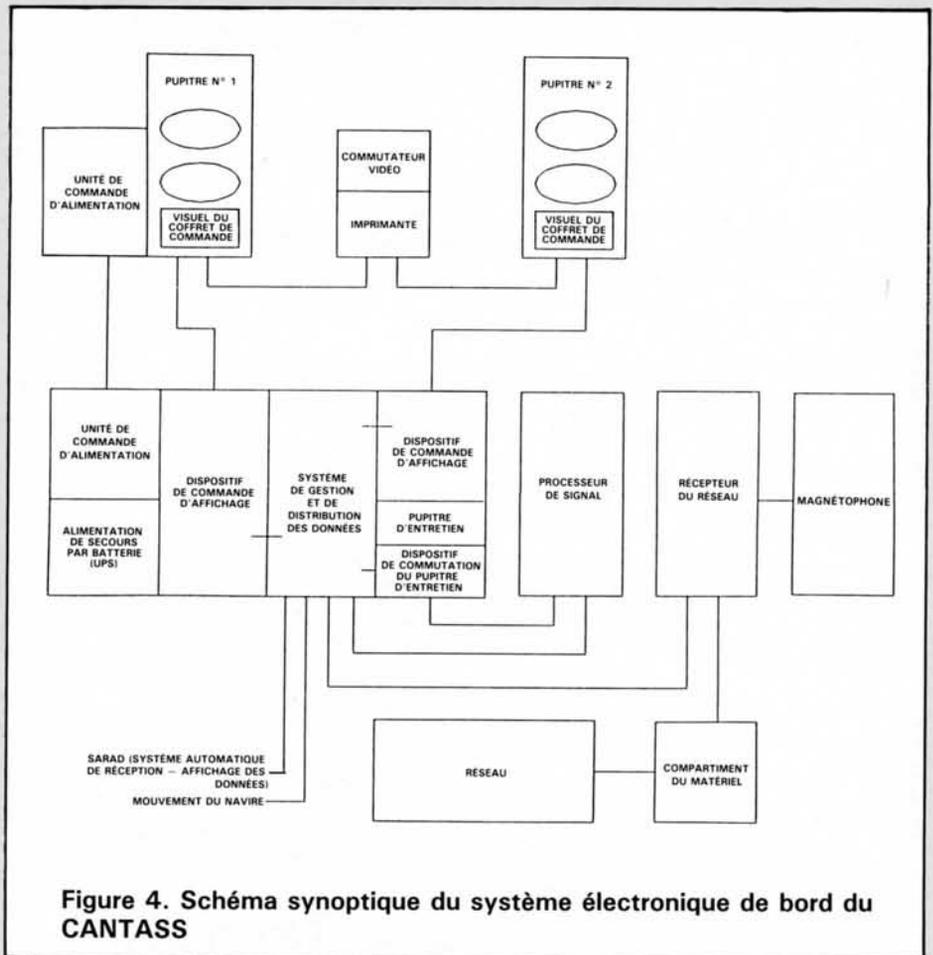


Figure 4. Schéma synoptique du système électronique de bord du CANTASS

b. *Le processeur de signal (SPU):* Les exemplaires CANTASS fabriqués en série seront inspirés du processeur de signal AN/UYS-501 de modèle militaire; cependant, le prototype actuellement en usage a été construit d'après une version commerciale de ce processeur de signal, construite par *Motorola*. Le processeur AN/UYS-501, à huit unités de calcul (AU), a une mémoire de quatre mégamots. Il a un débit/seconde de 320 millions d'opérations en virgule flottante.

Le processeur de signal est conçu pour traduire les données acoustiques temporelles en données fréquentielles utilisables par le sonariste. Plusieurs étapes interviennent dans ce procédé. Les données sont d'abord décomposées en blocs imbriqués, puis converties en fréquences à l'aide de la Transformée rapide de Fourier (FFT). Les fréquences sont ensuite formées en voies

(faisceaux), hétérodynes, distribuées, puis converties de nouveau en données temporelles, à l'aide de la Transformée inverse rapide de Fourier (IFFT). L'ensemble de données chaînées forme un signal continu dans le temps. Les données sont ensuite transformées de nouveau à l'aide de la FFT. La transformation intermédiaire des fréquences en données temporelles permet d'accroître la résolution fréquentielle. Enfin, les données sont intégrées, graduées et stockées dans la mémoire de travail du DMDU, aux fins des opérations d'affichage et de poursuite. On trouvera, à la figure 6, l'organigramme du traitement des signaux.

c. *Le dispositif de commande d'affichage (DDA):* Le DDA sert d'interface entre les processeurs infographiques du DMDU et les visuels. L'ensemble permet d'afficher, sur les écrans du SHINPADS, des données graphiques et acoustiques appropriées. Le DDA reçoit les données alphanumériques et graphiques à l'aide d'une interface parallèle rapide (système de transmission des données tactiques des Forces navales — NTDS). Quant aux signaux vidéo de l'acoustique, ils sont reçus à l'interface rapide série (HSSI). Le sonariste peut également intervenir dans le processus, depuis le visuel de l'organe de commande (CUD); dans ce cas, le DDA effectue la conversion nécessaire afin que les données provenant du sonariste puissent être assimilées par les processeurs infographiques du DMDU.

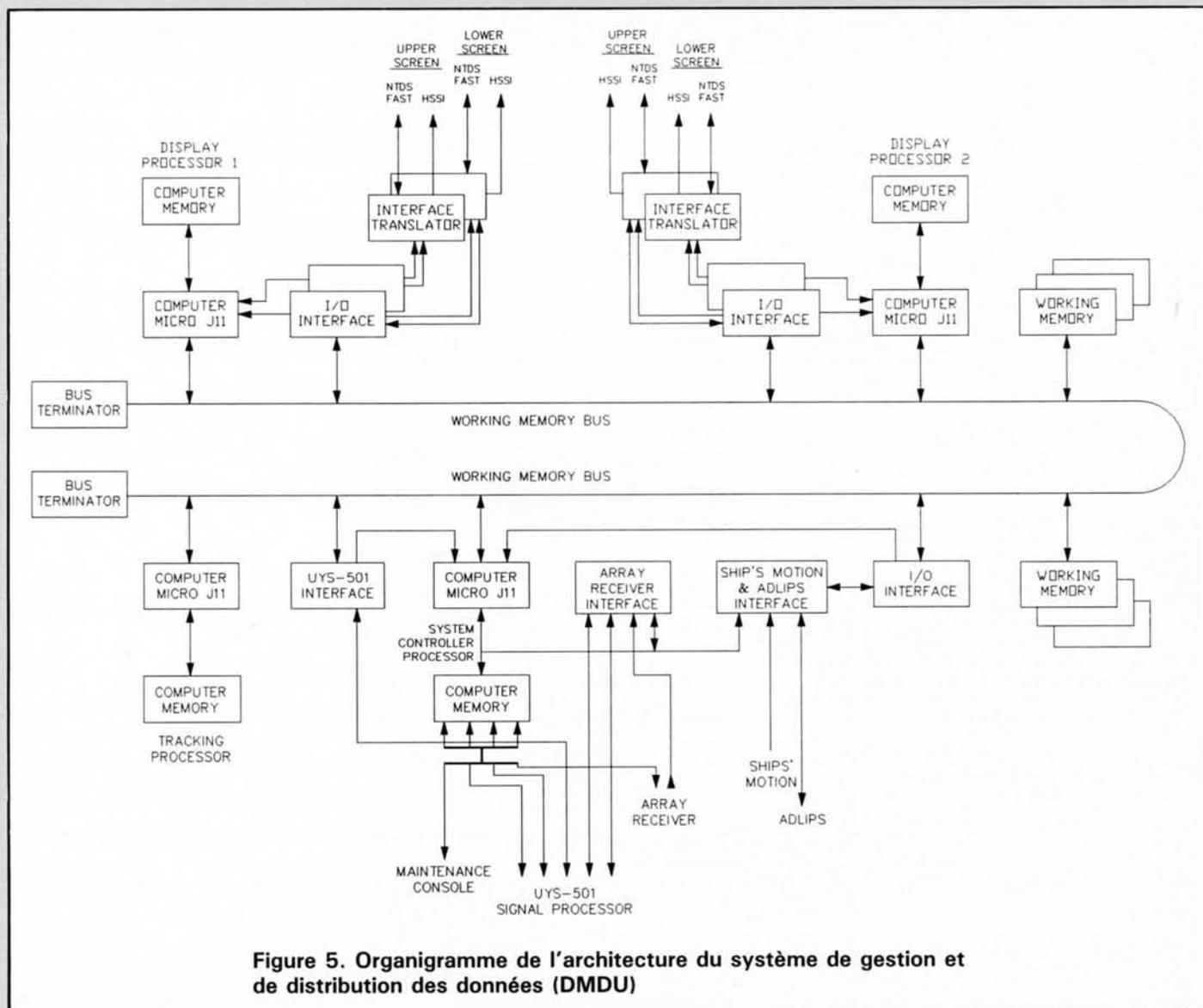


Figure 5. Organigramme de l'architecture du système de gestion et de distribution des données (DMDU)

- d. *Les consoles de visualisation du SHINPADS, à deux écrans (DSD)*: Les consoles d'affichage sur deux écrans constituent une variante des visuels SHINPADS de modèle courant. Pour les besoins de l'affichage, deux tubes cathodiques (CRT), plutôt que le moniteur couleur unique régulier, sont intégrés aux DSD. On se sert de préférence d'un moniteur monochrome, car l'affichage des lofargrammes exige une haute résolution, que ne peuvent garantir les moniteurs couleurs actuellement en service. Le sonariste a la possibilité de permuter l'affichage des deux moniteurs, pour les besoins des opérations d'affichage et de poursuite. Le CANTASS fait emploi de deux DSD.
- e. *La console de maintenance (MC)*: La console de maintenance du prototype de CANTASS actuellement en service est un téléimprimeur de modèle AN/UGC-504, lequel est raccordé au DMDU. Grâce à la console de maintenance, le technicien peut s'assurer du bon fonctionnement de l'équipement ou, en mode diagnostic (établissement du profil diagnostique), repérer les défaillances. La console de maintenance peut également servir à fixer les paramètres d'adaptation du système, dans les mémoires à lecture seule effaçables électriquement (EEPROM);

ces paramètres permettent de déterminer les valeurs implicites que le système emploie lorsqu'il est mis sous tension. Les modèles de série du CANTASS utiliseront un micro-ordinateur comme console de maintenance.

- f. *L'imprimante et le commutateur vidéo*: Le SES est doté d'un commutateur vidéo grâce auquel il est possible de raccorder à l'imprimante de modèle VGR-5000 Honeywell l'un des quatre signaux vidéo de sortie du dispositif de commande d'affichage. L'imprimante reproduit en noir et blanc, sur éprouve papier de 8 1/2 sur 11, l'écran choisi par le sonariste. Ce dernier pourra ainsi se constituer un dossier sur les cibles qui l'intéressent.

### Capacités

Le CANTASS est un système passif capable de détecter des cibles, qu'il s'agisse de bâtiments de surface ou de sous-marins, à partir de la deuxième zone de convergence. Le CANTASS permettra par conséquent de rehausser les capacités de lutte ASM d'un navire, en assurant une couverture de détection sans faille (voir figure 7). À partir de données acoustiques brutes, le CANTASS peut former 43 faisceaux équidistants sur l'arc-sinus. Plusieurs de ces faisceaux sont représentés à la

figure 8. À l'examen des données acoustiques en forme de faisceaux que lui renvoie les deux visuels du SHINPADS, à deux écrans, le sonariste est en mesure de déterminer les fréquences discrètes à bande étroite et les signatures à large bande, caractéristiques des émissions sonores d'une cible, mais aussi, de relever le gisement d'une cible. Grâce à un algorithme de gisement précis, il peut faire un relevé exact du gisement et le communiquer au système de commandement et de contrôle (CCS). Le CCS peut alors, à partir de l'analyse des mouvements de l'objectif, déterminer la distance du but.

Le sonariste a la possibilité, par commande automatique ou par commande manuelle (ou les deux), de créer et de suivre 240 pistes et marqueurs au plus et de s'en servir pour détecter passivement 99 cibles au maximum. Une fois enclenché, le dispositif de poursuite automatique suivra les cibles sur lesquelles il aura été braqué jusqu'à ce qu'elles se soient évaporées, perdues ou encore jusqu'à ce qu'elles soient supprimées par le sonariste.

Le système assure également le suivi et le compte rendu du fonctionnement du système. Tous les sous-éléments du système sont passés au crible. Lorsque des défaillances sont relevées, le technicien d'entretien peut recourir à un programme intégré de diagnostic afin d'en repérer l'origine jusqu'à l'unité réparable du niveau le plus élémentaire (LRU), soit, dans la plupart des cas, la carte de circuit.

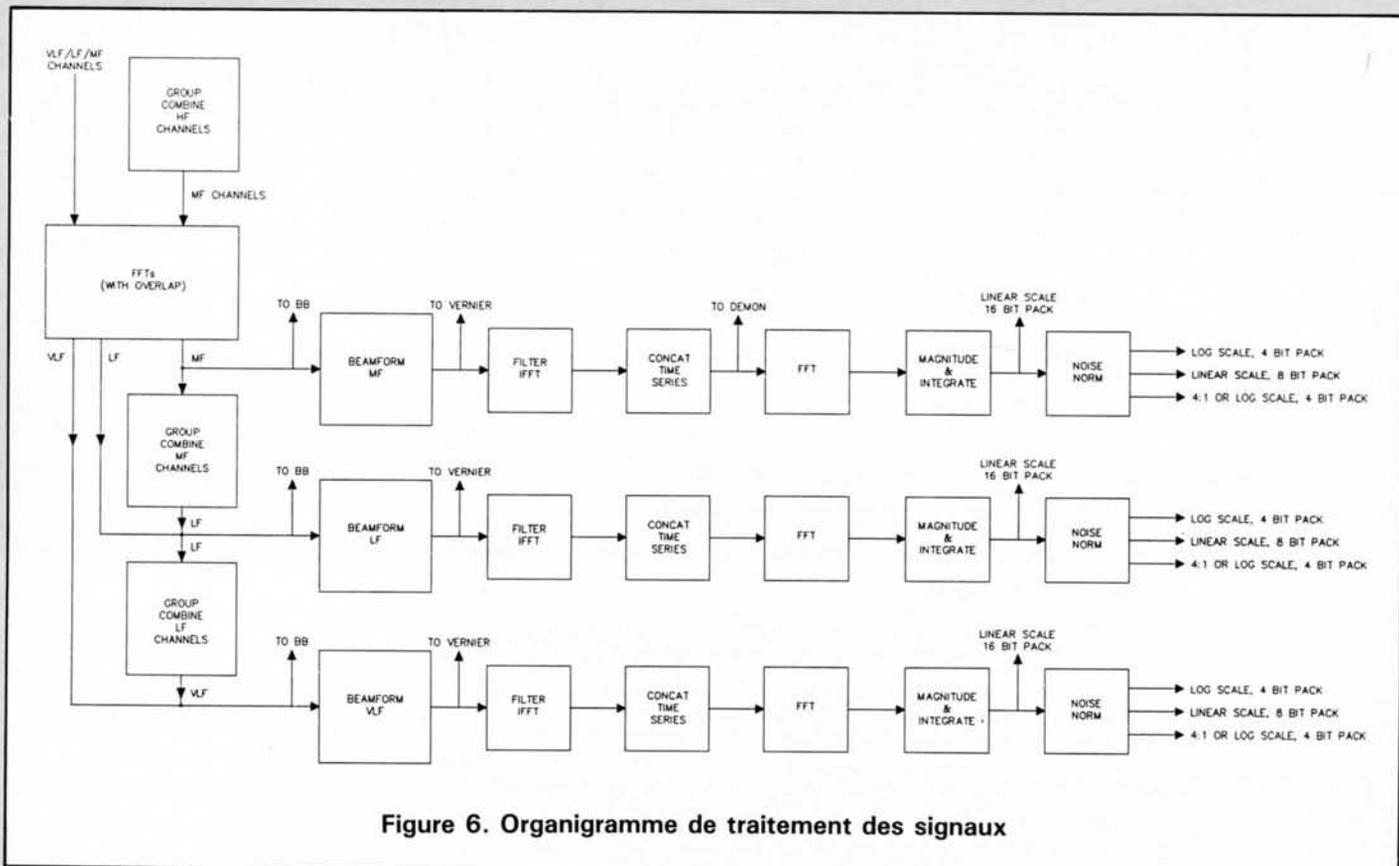


Figure 6. Organigramme de traitement des signaux

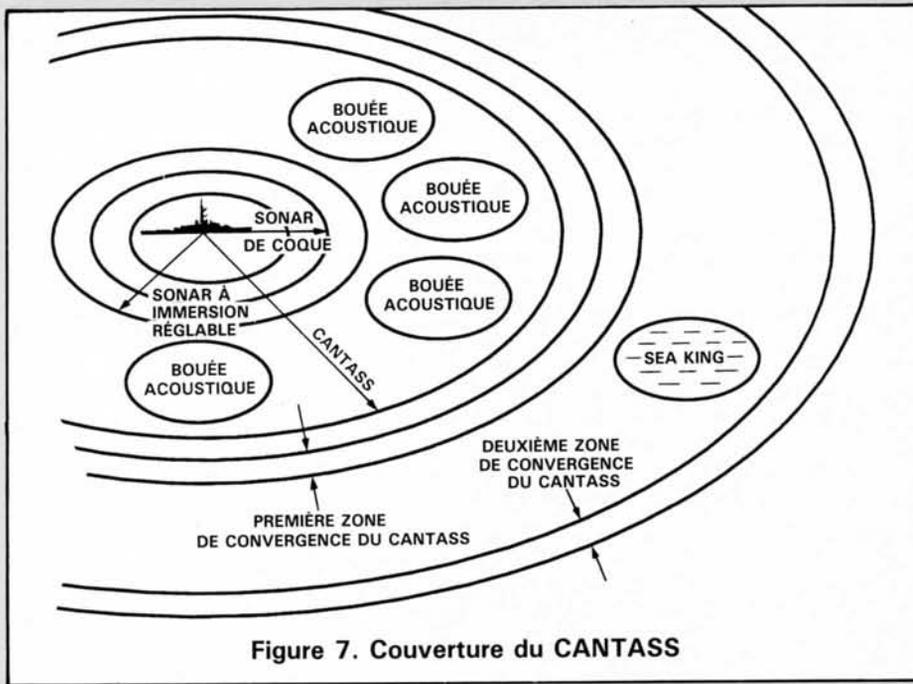


Figure 7. Couverture du CANTASS

La conception du logiciel applicable au CANTASS tient compte de la théorie prônée par le MDN sur ce chapitre. Étant donné que le logiciel est assemblé en modules à vocation spécialisée et que la base de données fait appel à des coefficients globaux, utilisables par tous les processeurs, le système est relativement facile à mettre à jour; il suffit d'y intégrer de nouveaux algorithmes de traitement. Ainsi conçu, le système pourra évoluer de pair avec la menace.

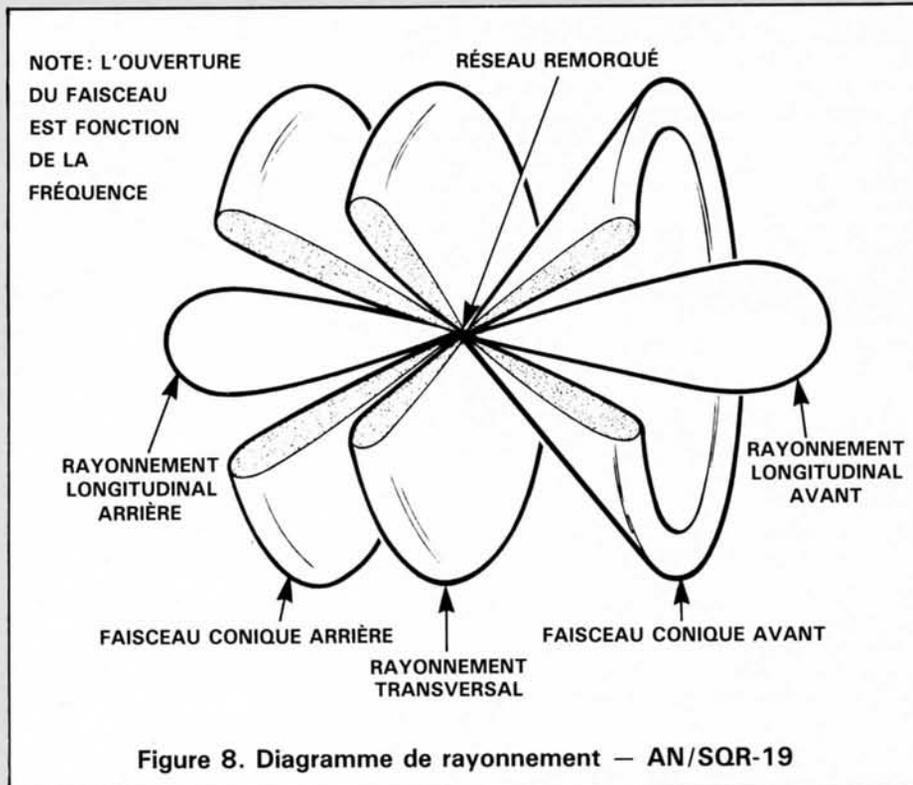
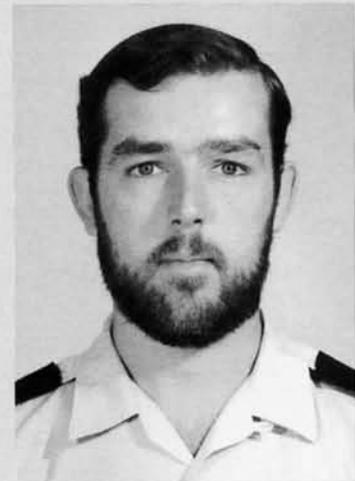


Figure 8. Diagramme de rayonnement — AN/SQR-19



Le Lieutenant commandeur Marchand est ingénieur du projet CANTASS au QGDN.

#### 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.

# Mise au point d'un dispositif de dessalement par osmose inverse pour navires

Par Morris Shak et Réal Thibault

## Introduction

La méthode de dessalement par osmose inverse n'est pas nouvelle. En effet, depuis déjà plus de vingt ans, on utilise des osmoseurs dans des installations terrestres et navales. Tout au long de ces années, les dispositifs de dessalement par osmose inverse (DDOI) ont été améliorés, notamment par l'élaboration de membranes semipermeables plus résistantes à la pression. De nos jours, de nombreux navires utilisent des osmoseurs de dernière génération, mais la recherche et les innovations visant l'amélioration du produit n'ont pas cessé. En mai 1984, Approvisionnement et Services Canada a demandé à un fabricant canadien de construire un dispositif de dessalement par osmose inverse comprenant une pompe de récupération à haute pression. Ce dispositif serait par la suite mis à l'essai et évalué sur un navire de classe Tribal.

L'ensemble des exigences techniques visait la simplicité de conception, la modularité du matériel et sa compatibilité avec l'environnement naval. En juin 1984, le DMGE 4 a demandé au Centre d'essais techniques (Mer) (CETM) de mettre sur pied un programme d'essais qui permette:

- a. de prouver l'intégrité du matériel (notamment sa résistance aux chocs);
- b. de mesurer le bruit aérien et le bruit de conduction du matériel
- c. de préparer un SOAP pour la pompe de récupération à HP;
- d. de vérifier le rendement du matériel en faisant un essai continu de 200 heures.

Le DDOI complet a été livré au CETM à la fin de l'année 1984. S'il avait satisfait à toutes les exigences du programme d'essai, il aurait pu quitter le CETM au printemps de 1985. Ce n'était malheureusement pas le cas et il a fallu effectuer de nombreuses modifications pour combler les lacunes des paramètres de fonctionnement et corriger les défauts du bâti. Le dispositif fait toujours l'objet de reprises de la conception, de modifications du bâti et d'essais; le présent article montre les progrès effectués à ce jour.

## DDOI et évaporateurs

Il était autrefois obligatoire pour la marine d'utiliser des évaporateurs pour transformer l'eau de mer en eau potable et en eau d'alimentation de chaudière. À mesure que les DDOI progressaient et recevaient des critiques positives de la part d'autres utilisateurs navals, ils devenaient de plus en plus avantageux, notamment parce que leurs coûts d'utilisation étaient évalués à 50% de ceux des évaporateurs classiques<sup>1, 2</sup>.

La référence 3 souligne particulièrement l'application des DDOI dans les navires de la classe Tribal. On y dit notamment que l'application des principes de l'osmose inverse a modifié l'opinion des bureaux responsables au sujet des installations de chauffage et a fait naître des discussions sur le remplacement du chauffage à la vapeur par le chauffage électrique dans les navires. Un SHIPALT a été mis sur pied pour réduire la charge de vapeur domestique grâce au remplacement des évaporateurs par des DDOI, rendant ainsi inutiles les chaudières de récupération. Dans les navires de DDOI, la demande de vapeur est considérablement diminuée; ils peuvent donc n'utiliser qu'une seule chaudière au lieu de deux, à moins de conditions extrêmes. En effet, dans cette configuration, la vapeur domestique nécessaire peut être fournie par une seule chaudière; une deuxième source de vapeur n'est pas requise.

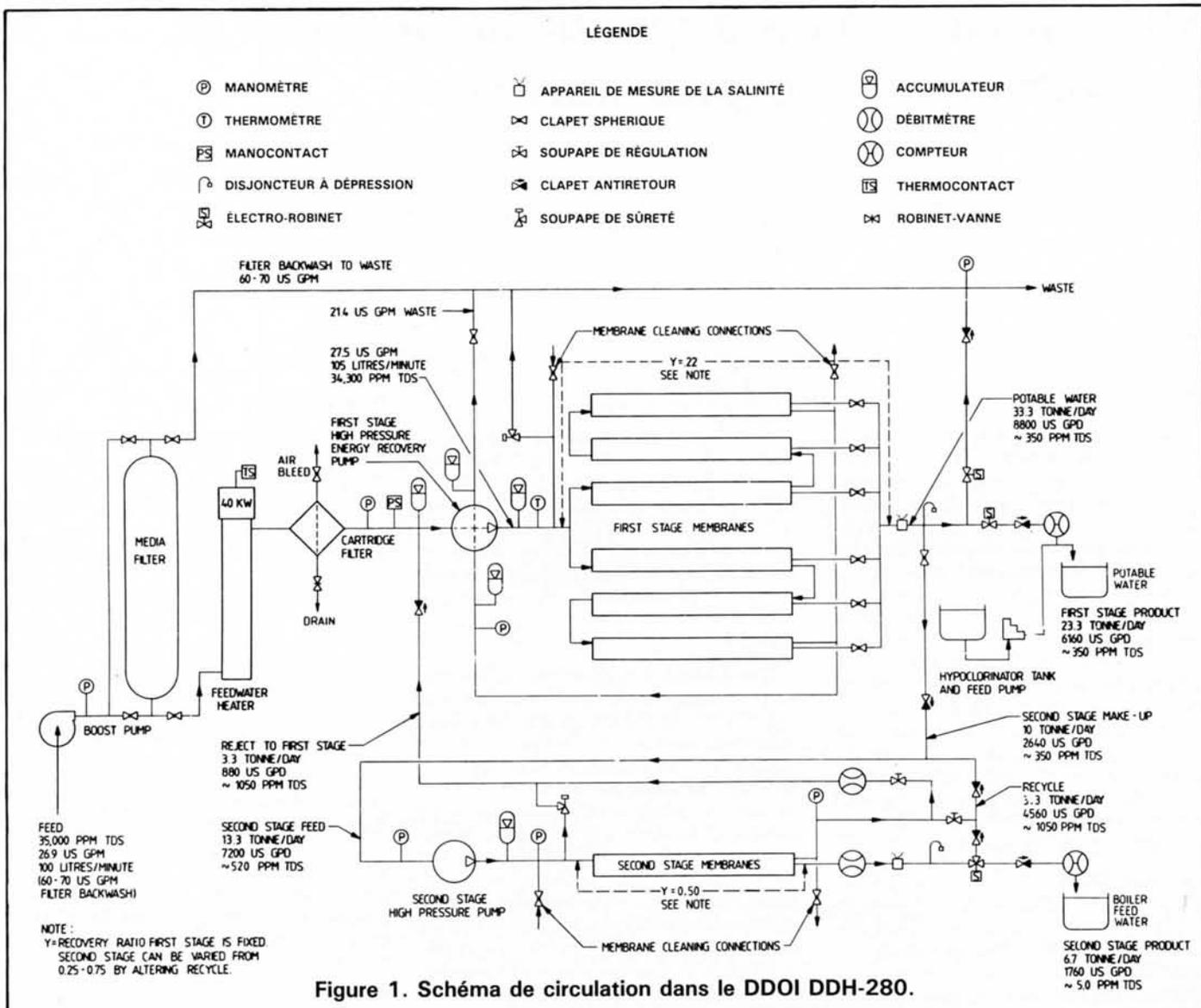
Notons finalement que l'importance des osmoseurs inverses dans les navires de combat est soulignée dans divers articles.<sup>4, 5</sup> Les réductions de consommation d'énergie et de coûts d'entretien, l'économie d'espace, la sécurité du chauffage, la propreté pour l'environnement et la commodité des DDOI sont autant de raisons qui justifient le remplacement graduel des évaporateurs par des DDOI.

## Osmose inverse

Pour comprendre les principes de l'osmose inverse, il faut d'abord savoir ce qu'est l'osmose. Il s'agit d'un processus de diffusion à travers une membrane. Si deux solutions de concentrations différentes sont séparées par une membrane semi-perméable, la substance la plus pure, la moins concentrée traverse la membrane vers le côté plus concentré. Ce processus continue jusqu'à ce que les concentrations des deux côtés soient égales ou jusqu'à ce que la pression du côté plus concentré soit trop forte pour permettre toute autre arrivée de solvant. On appelle pression osmotique la pression minimale à laquelle le soluté ne peut recevoir de solvant. Grâce à la mise au point de membranes synthétiques capables de supporter des pressions élevées et grâce à des fixations mécaniques améliorées, capables de maintenir les membranes mises sous pression, on a obtenu l'inversion de circulation de liquide, soit l'osmose inverse. Ce nouveau procédé permet de réduire la très haute teneur en sel de l'eau de mer de manière à la rendre acceptable pour la consommation humaine ou pour l'alimentation des chaudières. Les anciennes membranes, faites d'acétate de cellulose, ont été remplacées par des membranes d'esters de polymères dont le taux de rejet est plus faible et qui sont moins susceptibles de dégradation bactériologique. On trouve actuellement deux principaux types de membranes: fibres creuses et spirales.

## Choix du DDOI

Règle générale, les DDOI sont fabriqués en diverses configurations et grosseurs, en fonction des particularités des différentes installations et de toute la gamme des débits. La figure 1 montre un schéma de circulation dans le DDOI choisi en 1984 et fabriqué en fonction de l'évaluation sur navires de classe Tribal. Le réservoir filtrant agit comme un filtre grossier, éliminant la plupart des matières dissoutes ou en suspension dans l'eau de mer. Un chauffe-eau électrique empêche l'eau de geler et augmente l'efficacité du DDOI à des températures inférieures à 5°C. Son action est complétée par une cartouche filtrante de 5 microns, pour les particules plus fines qu'il laisse passer. L'accumulateur en amont de la pompe à haute pression réduit les pulsations causées par



l'aspiration de la pompe HP ainsi que celles de plus haute fréquence causées par la pompe de gavage. La pompe HP est utilisée pour faire passer l'eau de mer par un autre accumulateur vers les premières membranes semi-perméables à 800 psig. La soupape de sûreté protégeant la pompe HP et les membranes semi-perméables est tarée à 1 000 lb/po<sup>2</sup>. Douze membranes semi-perméables (4 po diam. sur 40 po long.) enroulées en spirale dans des boîtiers sont placées en deux étages à circulation parallèle. Chaque étage est composé de 3 boîtiers de membrane en file, chacun contenant deux membranes semi-perméables. Une eau saumâtre très concentrée est rejetée tandis que l'eau potable, à concentration de sel acceptable, est partagée entre la cuve de stockage et en deuxième circuit comprenant seulement deux membranes enroulées en spirale dans un boîtier. L'eau à teneur en sel très réduite produite par le deuxième circuit est destinée aux chaudières.

### Rendement

En vue de l'application prévue, le rendement des DDO devait répondre aux exigences suivantes de l'exposé de besoin technique :

- a. La capacité nominale des installations doit être de 33,3 m<sup>3</sup> d'eau douce et potable par jour.
- b. La capacité nominale doit être atteinte lors de l'alimentation en eau de mer ayant une teneur totale en matières dissoutes de 35 000 mg/L à 25°C.
- c. L'installation doit pouvoir traiter l'eau de mer dont la température se situe entre -2,2°C et 31°C.
- d. Le dispositif de post-traitement de l'eau doit produire une eau potable pouvant être consommée et répondant aux normes de l'ITFC A-MD-213-001/FP-001, du QSTAG 245 et du STANAG 2136.

- e. Le deuxième circuit de dessalement doit pouvoir produire 20 % de la capacité nominale du premier.
- f. Le produit de traitement du premier circuit (eau potable) doit contenir moins de 500 ppm de chlorure, tandis que celui du second circuit (eau de chaudière) contient moins de 7,3 ppm de chlorure.

### Conception

Pour bien concevoir un DDO destiné à un navire de guerre, le fabricant doit tenir compte de certains critères de fonctionnement et d'environnement particuliers à toutes les exigences militaires. Les contraintes de conception ci-dessous ont été soumises à l'entrepreneur :

- Conception modulaire qui permette l'intégration de l'appareil dans un navire existant et les modifications subséquentes sans qu'un nouveau travail de conception soit nécessaire.

- Facilité d'accès aux pièces et d'entretien.
- Dimensions réduites correspondant à celles des évaporateurs actuels et laissant un espace suffisant pour l'entretien.
- Poids minimal.
- Respect des exigences relatives à la résistance aux chocs, au bruit, aux vibrations et à l'inclinaison.
- Intégration d'une pompe de récupération d'énergie pour la pompe à haute pression du premier circuit (pour réduire de 50 % la consommation d'énergie).
- Possibilité de passer d'un mode d'utilisation à circuit unique ou à circuit double (ou vice-versa) en actionnant un minimum de robinets.
- Production simultanée d'eau de mer et d'eau de chaudière avec un minimum de manipulation de robinets.

Il importe de signaler qu'en raison des exigences relatives à la qualité de l'eau, l'eau destinée à l'alimentation des chaudières doit subir un traitement comportant deux passages dans un dispositif d'osmose inverse. Une façon d'obtenir le résultat souhaité consiste à acheminer le produit du premier passage dans un réservoir d'accumulation, de couper l'alimentation en eau de mer et de faire ensuite passer l'eau potable recueillie dans le réservoir d'accumulation une deuxième fois dans le DDOI. L'autre méthode, adoptée par le MDN, consiste à intégrer dans le DDOI un second élément d'osmose inverse. Cette méthode, en plus d'être plus simple, plus rapide et plus économique, permet de réintroduire le rejet du deuxième passage dans le circuit d'alimenta-

tion du premier élément d'osmose inverse en eau de mer pour en réduire la salinité, ce qui améliore l'efficacité des premiers passages subséquents.

Finalement, on a demandé à l'entrepreneur de fournir du matériel supplémentaire: plateau d'écoulement (reçoit et élimine la condensation qui se forme sur le DDOI), instruments et affichages de contrôle du fonctionnement de l'appareil et de la qualité de l'eau produite. Il devait de plus utiliser des matériaux appropriés à la situation, soit des matériaux capables de supporter les rigueurs de l'environnement marin, tant de façon interne qu'externe.

La nature du produit à traiter, l'eau de mer, intervient également dans le choix des matériaux. En effet, les alliages de cuivre-nickel, de nickel-aluminium-bronze et les aciers inoxydables à haute teneur en chrome ou en molybdène sont recommandés, surtout dans les parties où l'eau circule peu ou pas du tout.<sup>7, 8, 9</sup> Les fixations en acier inoxydable 316 sont conseillées. Il faut réduire le plus possible la corrosion galvanique et, particulièrement, éviter que des particules métalliques entrent en contact avec les membranes. L'utilisation de tuyaux flexibles de plastique renforcé ou de caoutchouc ne pose habituellement aucune difficulté. Les récipients de filaments de fibre de verre imprégnée doivent par contre être employés avec prudence, seulement après vérification de l'intégrité de leur structure. Bien que toute la quincaillerie nécessaire à la fabrication des DDOI soit disponible, il peut être très difficile de la trouver dans les matériaux appropriés et, le cas échéant, la livraison

peut prendre des semaines ou des mois. Même si la quincaillerie nécessaire est disponible, elle peut ne pas répondre aux exigences de l'environnement à bord d'un navire.

### Le premier prototype de DDOI

Le premier prototype de DDOI est arrivé au CETM à la fin de 1984 et comprenait quatre modules (voir figure 2):

- a. le module des commandes, d'un poids total de 2 165 lb, comprenant des boîtiers électriques, des manomètres, des appareils de mesure de salinité, la pompe du second circuit, un moteur, un accumulateur, un filtre de 5 micron, un électro-robinet pour une portion et un chauffe-eau, un débitmètre de sortie, une pompe d'aspiration et un moteur pour l'autre portion;
- b. le réservoir filtrant, d'un poids de 3 260 lb, doté de quatre clapets sphériques;
- c. le module des membranes comprenant aussi les accumulateurs du premier circuit, d'un poids total de 1 800 lb;
- d. le module du premier circuit, sur quatre supports à amortisseurs, avec sa pompe, son moteur et sa courroie trapézoïdale, d'un poids total de 1 310 lb.

Les quatre modules réunis étaient isolés sur huit supports antivibration de 1 000 lb. Le montage complet mesurait 66 po de largeur sur 99 po de longueur et sur 82 3/4 po de hauteur; il pesait au total 8 535 lb.

Avant leur arrivée au CETM, les DDOI avaient subi divers essais de fonctionnement aux installations du fabricant (sous la direction du DMGE 4). Toutefois, les essais de mesure de bruit aérien et de bruit de conduction effectués au CETM en janvier 1985 ont été des échecs pour les DDOI. Bien que les résultats des essais pour le bruit aérien étaient proches des limites permises, ils ne correspondaient pas aux normes pour toutes les bandes de fréquence. Les essais de bruit de conduction ont démontré que l'appareil ne répondait pas aux normes pour les bandes de fréquence de 32 Hz et de 64 Hz. Le fournisseur des DDOI a donc engagé les laboratoires BBN Inc. (Cambridge, MA) pour que ces derniers proposent des méthodes de réductions des bruits de conduction. En mai 1985, BBN présentait un bulletin technique au fournisseur qui l'a à son tour remis au CETM par l'intermédiaire du DMGE 4 afin que le prototype soit modifié.

Puisque le rendement du premier DDOI aux essais de conduction des vibrations était médiocre, il fallait prévoir avec plus d'exactitude quel serait la conduction à bord, avant d'effectuer les modifications. Les trois facteurs à considérer dans la détermination du bruit de conduction admissible étaient le matériel, son support et l'impédance fonction de l'interface avec la structure du navire. En août 1985, on a mesuré l'impédance à l'endroit prévu pour le montage du DDOI sur le *ATHA-*

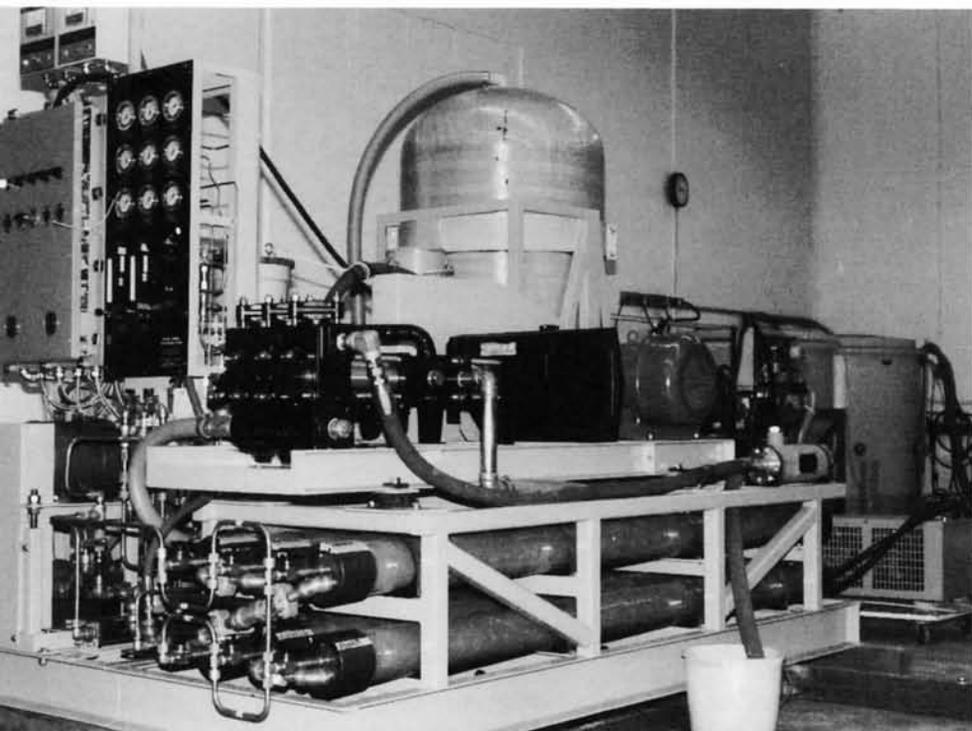


Figure 2. Premier prototype DDOI.

**BASKAN.** Comme les résultats à l'essai d'impédance étaient bons, toutes les parties en cause ont été convaincues que les modifications proposées permettraient au DDOI de satisfaire aux normes de bruit de conduction.

### Le deuxième prototype RODS

La conversion du DDOI I en DDOI II s'est poursuivie jusqu'en décembre 1986. Des dessins incomplets, des obstructions entre les pièces de la structure, des modifications imprévues et des retards dans la livraison des pièces, autant de causes qui ont retardé le programme. Voici en gros les modifications préconisées par les laboratoires BBN :

#### a. Premier circuit

1. Ajouter les accumulateurs au module du premier circuit parce que la plate-forme et l'ensemble pompe-moteur ont des niveaux de vibrations élevés.
2. Utiliser des supports à amortissement plus souple (quatre supports US Navy n° 7E-450).
3. Placer les quatre supports au-dessus des poutres verticales du module des membranes.
4. Déplacer le centre de gravité horizontal du module du premier circuit à égalité avec le centre horizontal des supports-amortisseurs, de façon à réduire la réaction au roulis.

#### b. Pompe du deuxième circuit

Placer l'ensemble pompe/moteur du second circuit sur les supports antivibration. La conception de départ demandait trois supports GE-100 à la base plus un stabilisateur 7M50 agissant sur le centre de gravité et limitant le déplacement latéral. On l'a modifiée en intégrant deux supports de base et deux stabilisateurs.

#### c. Berceau

Déposer les supports à amortisseur existants du DDOI et boulonner le DDOI sur un berceau. Monter le nouvel assemblage DDOI sur les quatre supports à amortisseur, chacun constitué par un support 6E-2000 situé près du centre de gravité du DDOI. Puisque la recommandation demandait de placer les supports à 80 po de distance, alors que le DDOI n'est large que de 66 po, la configuration finale a dû être modifiée en raison du manque d'espace. Le DDOI demeure suspendu en quatre points autour du centre de gravité, mais deux supports 6E-1000 sont utilisés à chaque point.

#### d. Accumulateurs

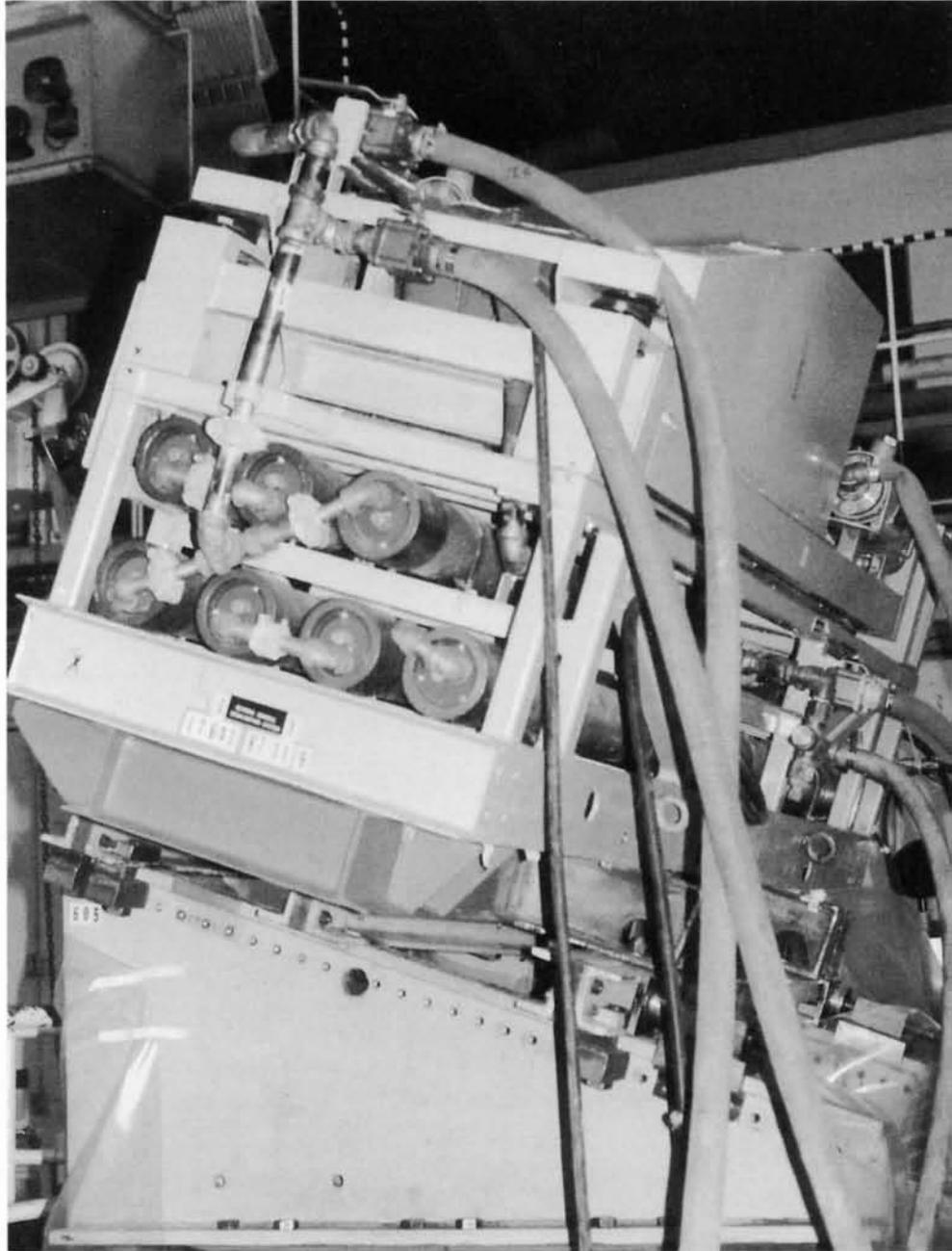
Les accumulateurs à haute pression ont été remplacés par des accumulateurs de plus grande capacité, pour une meilleure réduction des vibrations.

En décembre 1986, le DDOI de nouvelle configuration a passé avec succès les essais de bruits aérien et de conduction. À la suite de ces essais, le DDOI a été démonté en quatre modules principaux et un berceau. Les changements physiques ont été mesurés et notés. Deux des modules modifiés du DDOI II sont présentés à la figure 3.

À ce moment, nombre de dessins ne correspondaient plus du tout aux dessins d'origine par suite d'erreurs, d'améliorations et de modifications nécessaires pour réduire les bruits de conduction. De plus, la conception d'origine ne tenait pas compte de l'utilisation abusive que le matériel naval doit pouvoir supporter. Il a fallu installer des barres et des plan-

ches de protection et replacer certains éléments en raison de leur fragilité ou pour mieux adapter le DDOI à l'espace réduit qu'il doit occuper à bord du navire.

Les essais de vibration forcée ont commencé en août 1987. En septembre, on a constaté le manque de rigidité des structures, des modules, des commandes et du réservoir filtrant par comparaison aux normes militaires applicables à cet essai. Les deux autres modules présentaient les mêmes défauts. Il a fallu par conséquent entreprendre la conception et la fabrication d'un troisième prototype à structure renforcée.



**Figure 3. Modules du premier circuit et des membranes du deuxième prototype de DDOI sur l'appareil d'essai de résistance aux chocs de charge moyenne.**

### Troisième prototype du DDOI

Les principales améliorations apportées aux modules du DDOI III sont les suivantes:

- a. Le **module du réservoir filtrant** a été renforcé par l'intégration de cornières sur les deux côtés non soutenus de la base. Ces pièces s'enlèvent facilement pour l'entretien et le démontage.
- b. Sur le **module des membranes**, le plus solide des trois, les raccords de tuyauterie ont été solidement brasés et des renforts ont été ajoutés pour empêcher le glissement des coussins antivibration des récipients sous pression contenant les membranes.

- c. Le **module du premier circuit** avait une structure fragile. La pompe à haute pression, comprenant la pompe de récupération, rendait les vibrations avec un facteur d'amplification de 10. Le moteur reproduisait les vibrations avec un facteur d'amplification supérieur à 5. Les modifications ont consisté à remplacer les cornières des plus grosses poutres sous la pompe et à ajouter des goussets aux endroits appropriés. Ces modifications ont ramené les vibrations du module à un niveau acceptable.

- d. C'est le **module des commandes** (voir *figure 4*) qui présentait la situation la plus complexe. Voici certains des problèmes et des solutions se rapportant à ce module:

1. Le thermostat du chauffe-eau ne répondait pas aux normes militaires. Après une défaillance, il a été remplacé par un thermostat de modèle militaire régulier (MIL).
2. Les éléments chauffants vibraient bruyamment, à des fréquences diverses, jusqu'à ce qu'on y fixe des dispositifs de retenue.
3. Les quatre boulons soudés par point fixant le boîtier de commande électrique s'étaient détachés du boîtier. On les a soudés de nouveau avec une méthode de soudage à l'arc spéciale et on a fixé un support stabilisateur au panneau intérieur du boîtier de commande électrique.
4. Il était difficile de bien voir les aiguilles des divers cadrans indicateurs à cause des oscillations excessives. Des profilés d'acier ont été ajoutés pour renforcer le châssis.

Aux nouveaux essais de vibration forcée, le rendement des trois premiers modules était nettement amélioré. Malheureusement, bien qu'il y ait eu amélioration, le module des commandes ne répondait toujours pas aux normes et les gros goussets et cornières nuisaient tant à son apparence qu'à sa facilité d'entretien.

### Quatrième prototype du DDOI

Remarquons que l'échéance se rapprochait. En effet, comme le DDOI conçu pour la classe DDH-280 devait répondre également aux exigences relatives au SRP II, deuxième groupe de frégates de patrouille canadienne, il fallait qu'il soit prêt et approuvé pour décembre, échéance du contrat des frégates. En octobre 1987, il restait encore à effectuer les essais de résistance aux chocs, qui devaient prendre trois mois, et à réviser les dessins pour y intégrer les dernières modifications.

Des principes de physique élémentaires avaient été négligés à la première conception, particulièrement pour les composants du module des commandes. En effet, le bâti supérieur était de construction légère et comportait peu de renforts aux angles. Les deux boîtiers électriques, très lourds, avaient été placés trop haut et dans l'un d'eux, le composant le plus lourd était situé au-dessus des autres.

Au risque de dépasser l'échéance de décembre, on a décidé de reprendre du début la conception et la construction du module des commandes. Étonnamment, le travail était terminé trois semaines plus tard. Le centre de gravité de chacun des boîtiers électriques a été abaissé sensiblement. Les voyants ont été resi-

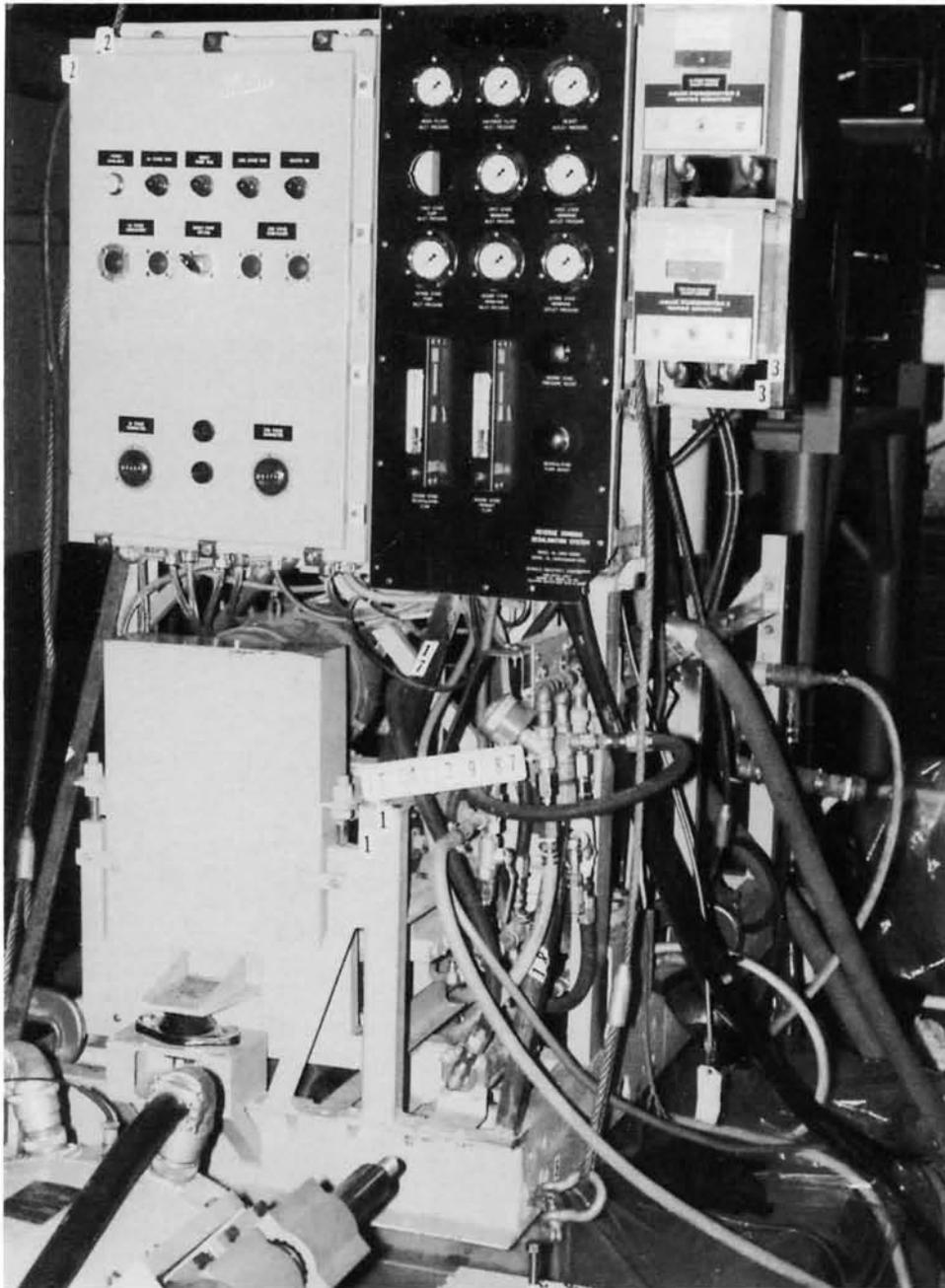


Figure 4. Module des commandes du troisième prototype de DDOI sur l'appareil d'essai vibratoire MB-C60.

tués au-dessus des boîtiers électriques tandis que les dispositifs de mesure de salinité ont été placés sous les manomètres. Finalement, le bâti a été construit avec une structure plus solide et renforcé sur l'axe le plus faible pour améliorer la résistance structurale de la pompe du second circuit, du chauffe-eau et du boîtier de filtre, dans les deux sens transversaux. L'amélioration de l'apparence, de la facilité d'entretien et de la résistance aux chocs et aux vibrations était remarquable. Le poids mouillé total du nouveau DDOI IV a été porté à 9 250 lb, plus 1 380 lb pour le berceau.

Le DDOI IV (figure 5) a réussi aux essais de résistance aux chocs en novembre 1987. Il restait encore quelques travaux de conception : il fallait monter les quatre modules sur le berceau. Finalement, l'ensemble a subi avec succès tous les essais requis, et les dessins ont été présentés aux responsables dans les délais nécessaires pour leur intégration au projet SRP II.

#### Cinquième prototype DDOI

D'autres modifications ont été apportées au DDOI pour améliorer le rendement de l'appareil sans toutefois trop en changer la conception. On a ainsi pu augmenter de près de 40 %

la production d'eau douce en éliminant la pompe de récupération d'énergie d'origine. La pompe de récupération d'énergie était une variante du modèle FMC 1122D. En prenant ce modèle de base et en lui ajoutant un moteur électrique de 25 PH (au lieu du moteur d'origine de 10 HP), on a obtenu une production de 12 000 gal/min au lieu de 8 000 gal/min. Puisque le rendement des DDOI dépend de la température, cette augmentation permettrait à un appareil de produire de l'eau douce même dans l'Arctique. Pour le DDOI V, il a également fallu modifier le tuyauterie afin d'obtenir un circuit parallèle triple et poser une soupape d'admission pour la régulation de la pression de fonctionnement.

#### Conclusions

On peut maintenant constater que la principale raison de la lenteur de la conception de ce DDOI était le manque de familiarité du fabricant avec les spécifications militaires. Parmi les grandes erreurs de la conception d'origine : des centres de gravité trop élevés, une construction légère et insuffisamment renforcée, la présence de composants qui n'étaient pas de modèle militaire régulier, un montage antivibration inadéquat, des supports durs

(deuxième étape) quand il aurait fallu des supports antivibration. Le modèle d'origine démontrait clairement un manque de compréhension des problèmes reliés au fonctionnement à bord d'un navire.

Le prototype définitif est le premier DDOI modulaire qui soit acceptable pour une utilisation dans un navire, c'est-à-dire très facile à installer, à entretenir et à modifier. Il est également le premier dispositif de ce type à produire de l'eau d'alimentation de chaudière dans une opération simple et continue, quelle que soit la proportion voulue par rapport à l'eau potable. Et finalement, c'est le premier dispositif de dessalement de ce type qui utilise une pompe de récupération d'énergie. Sur certains navires, cette caractéristique démontrera rapidement son utilité.

L'expérience de mise au point du DDOI a démontré clairement que la collaboration accrue avec les fabricants et les responsables des essais, dès le début de la conception, est essentielle pour obtenir des produits appropriés, efficaces et adaptés aux navires. Elle a également prouvé la nécessité de mettre à l'essai et d'évaluer le matériel avant son instal-

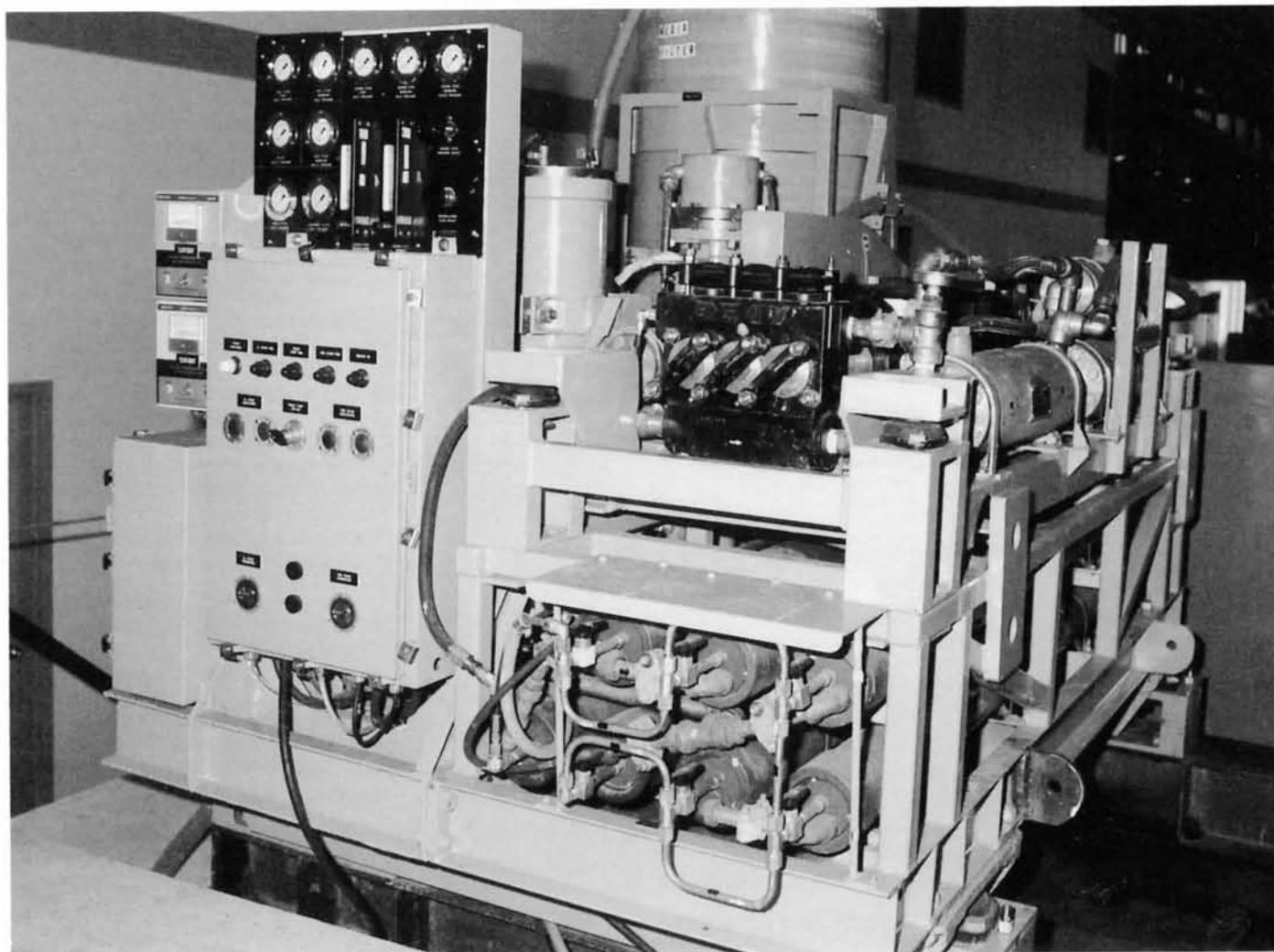


Figure 5. Quatrième prototype de DDOI.

lation sur les navires, dans le cadre de l'approvisionnement et du programme SHIPALT.

### Remerciements

Les auteurs remercient tous les membres du CETM qui les ont appuyés en prêtant leur concours aux nombreuses modifications et aux essais liés au projet du DDOI. Nous remercions tout particulièrement MM. J. Ouellet, J.C. Demers et J. Jansma dont le dévouement a été d'un appui précieux : pendant deux semaines et demie à la fin de 1987, ils ont modifié

profondément, sans l'aide de dessins, le module des commandes du DDOI. Finalement, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à Mmes C. Henderson et D. Laberge pour la patience avec laquelle elles ont accueilli le manuscrit chaque fois qu'il fallait encore le modifier.



Morris Shak est ingénieur principal de projet au Centre d'essais techniques de la marine à Lasalle, P.Q.



Réal Thibault est technicien à la DMGE 5. De mai 1986 jusqu'en février 1988 il était l'officier de projet pour DDOI au QGDN.

### Références

1. Sakinger, C.T., *Energy Advantages of Reverse Osmosis in Seawater Desalination*, Desalination 40 (1982), pages 271-281. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, imprimé aux Pays-bas.
2. Morris, Manuel, *A Comparison of Desalting Processes from an Energy Point of View*, Desalination 40 (1982), pages 237-244 (voir ci-haut).
3. Scholey, J.R., Neri, J.P., Mueller, G.W., *DDH 280 Waste-Heat Recovery System*, Maritime Engineering Journal, Hiver 1985.
4. Sessions, M.P.N., *The Efficient Use of Energy in Warship Auxiliary Systems*, Journal of Naval Engineering, vol. 29, n° 3, juin 1986, pages 508-518.
5. Blakey, R.G., *Auxiliary Energy what Price to Pay?*, Journal of Engineering, vol. 30, n° 1, pages 193-201.
6. Gooding, Charles H., *Apply the Membrane Advantages*, Chemtech, juin 1985.
7. Tuthill, A.H., Schillmoller, C.M., *Guidelines for Selection of Marine Materials*, New York (N.-Y.), Inco, mai 1971 2<sup>e</sup> édition, pages 1 à 38.
8. *Aluminum Bronze Alloys Corrosion Resistance Guide*, The Aluminum Bronze Advisory Service, AB Publication n° 80, Herts (Angleterre), Copper Development Association, juillet 1981, pages 1 à 27.
9. Hornburg, C.D., Morin, D.J., *Design Studies and Requirements for 5.0 MSF and RO Type Desalination Plants*, vol. 1, Technical Proceedings, WSIA 10th Annual Conference and Trade Fair, Topsfield (Mass.), Water Supply and Improvement Association, juillet 1982.

## Projets du cours avancé en génie mécanique

### *Un outil de développement de système de propulsion pour les sous-marins*

par le Lieutenant commander R.H. Gair, FC

#### Sommaire

Le développement d'un système complet a toujours été très complexe. Cette étude analyse la théorie du développement, tiens compte des techniques modernes pour en appliquer la théorie et ensuite emploie cette information pour résoudre les problèmes de propulsion de sous-marins. La solution fait usage d'un système expert comme outil de décision. Le produit final consiste en un programme d'ordinateur qui fournit au responsable du développement une analyse de toutes les solutions qui tiennent compte de toutes les possibilités de développement.

(Royal Naval Engineering College, Manadon, juillet 1988)

### *Vérification de l'état de la performance transitoire des turbines à gaz*

par le Lieutenant commander N.T. Leak, FC

#### Sommaire

Ce rapport adresse la faisabilité d'analyser la performance transitoire des turbines à gaz comme une technique de vérification de l'état de l'engin (VEE) pour un cycle simple typique. Un programme d'ordinateur a été employé pour simuler la performance transitoire sous les conditions de défauts et sans défauts. Le rapport conclut que l'analyse de la performance transitoire démontre un potentiel suffisant comme technique VEE pour être approfondie, particulièrement comme technique d'analyse de performance complémentaire à l'intérieur d'un système VEE intégré.

(Royal Naval Engineering College, Manadon, juin 1988)



# Les secrets de l'alignement du système de propulsion

par Lcdr B.B. Staples, Ph.D., ing.

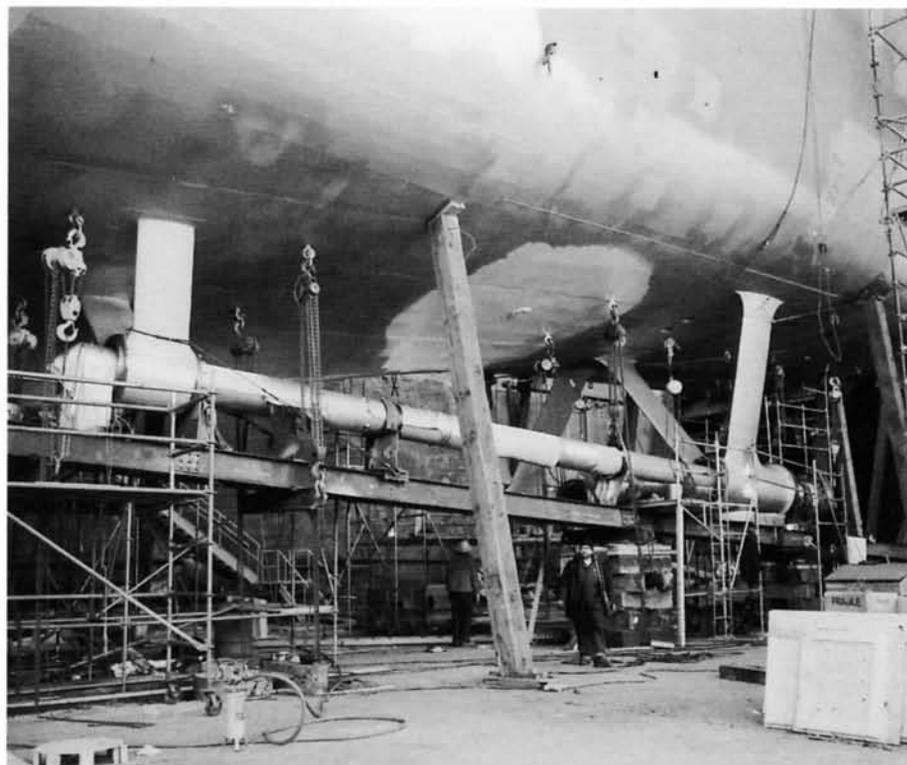
## Introduction

L'alignement du système de propulsion des bâtiments de guerre est, pour la plupart des officiers de marine (même les officiers des systèmes maritimes (SM)) un art mystérieux et déroutant principalement parce que ces derniers n'ont pas souvent d'occasion de participer à ce type d'opération. Il est certain que durant leur carrière, la plupart des officiers des SM ont rarement l'occasion de « voir » une installation complète. Le présent document a pour but d'aider à démystifier cette opération en décrivant le procédé d'alignement lui-même, certaines des techniques d'alignement utilisées par le constructeur de navires et la façon dont on procède sur la Frégate canadienne de patrouille (FCP).

## Données de base

Le procédé d'alignement du système de propulsion comprend l'alignement de l'arbre porte-hélice sur la coque du navire, puis l'alignement de l'engrenage sur l'arbre porte-hélice et enfin, l'alignement des moteurs sur l'engrenage. Le présent article traite de la plus complexe des techniques d'alignement, celle de l'arbre porte-hélice.

Même s'il existe de nombreux articles qui traitent de techniques particulières d'alignement de l'arbre porte-hélice 1-4, l'une des techniques les plus faciles à comprendre a été récemment le sujet d'un article de Vassilopoulos<sup>4</sup>. L'auteur y prétend que le terme « alignement d'arbre » est mal choisi.



Puisque l'arbre est supporté par des paliers, il faudrait parler d'alignement des paliers. Il est possible de modifier l'alignement du système de propulsion en déplaçant les paliers vers l'avant ou l'arrière, verticalement ou transversalement.

L'ensemble arbre porte-hélice d'un bâtiment de guerre (figure 1) consiste généralement en un arbre souple et effilé, appuyé sur au moins cinq paliers fixés à un berceau souple complexe. Le système doit pouvoir transmettre le couple et la poussée de l'hélice, tout en empêchant l'entrée d'eau de mer. Il doit également être suffisamment flexible pour s'ajuster au mouvement d'« arc et de contre-arc » de la coque du navire.

Il est essentiel que l'arbre porte-hélice soit correctement aligné pour prévenir les conditions suivantes :

- effort excessif des paliers, causant des dommages aux paliers et à l'arbre ;
- effort insuffisant des paliers, causant la vibration et le fouettement de l'arbre ;
- contrainte de flexion élevée dans l'arbre, causant une rupture par fatigue de l'arbre ;
- mauvais alignement des dents d'engrenage résultant des forces de l'arbre porte-hélice et pouvant causer la rupture des dents, ainsi que du bruit ; et

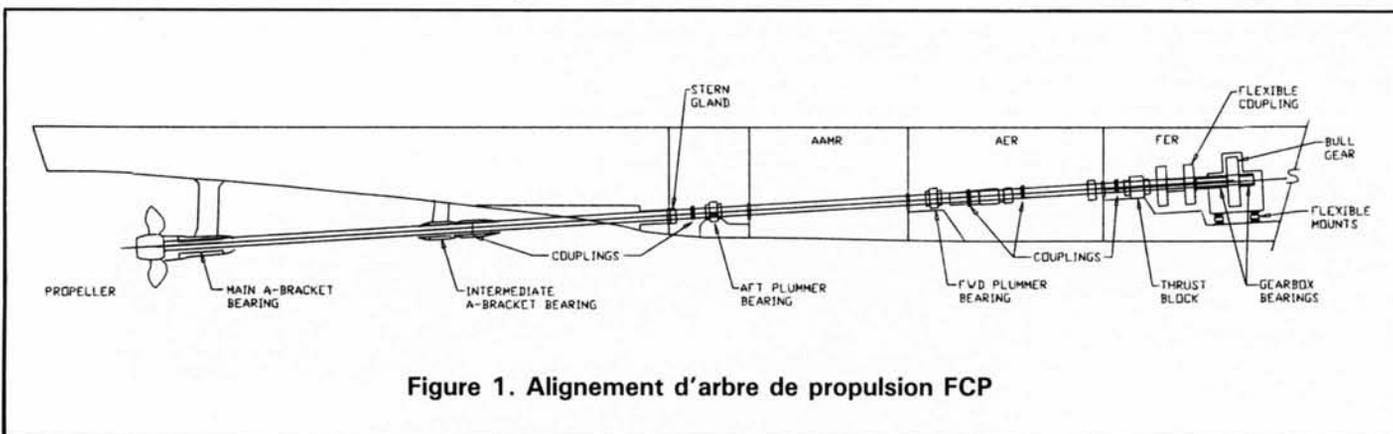


Figure 1. Alignement d'arbre de propulsion FCP

- e. fuite du presse-étoupe du tube d'étambot à cause du mouvement relatif ample entre la coque et l'arbre.

En général (et en particulier en ce qui concerne la FCP), le plan d'alignement doit être choisi au début de l'étape de conception de l'équipement afin de permettre le maximum de souplesse pour apporter des modifications à cette dernière. Lorsque l'on choisit une méthode d'alignement, la première hypothèse est que les paliers seront situés sur une ligne de mire, à intervalles égaux et supportés par une structure rigide. On utilise ensuite une analyse sur ordinateur détaillée de la ligne d'arbres pour calculer les réactions des paliers et le fléchissement de l'arbre. Ces résultats permettent alors de réviser les plans du système d'arbre et d'envisager de modifier l'emplacement des paliers. Si les plans du berceau d'arbre ne peuvent être changés, on ne pourra modifier la position des paliers que verticalement ou transversalement, en indiquant, par rapport à la ligne de mire, l'excentration et l'inclinaison du palier dans les plans vertical et transversal. On montrera plus loin comment ce principe a été appliqué sur la FCP.

Après un examen de l'emplacement des paliers, on fait une autre analyse sur ordinateur pour déterminer les effets du mouvement de la coque sur la ligne d'arbres. Ce calcul ne donnera qu'une idée approximative des réactions des paliers. À cause de la complexité des structures de coques et des limites des programmes d'ordinateur actuels, on ne peut pas calculer avec précision le fléchissement de la coque. Il faut donc se fier davantage à l'expérience pratique lorsqu'on veut modifier la position des paliers à ce stade de la conception.

Une fois cette étape achevée, on passe aux phases suivantes à savoir le choix, la mise en œuvre et la surveillance du procédé d'alignement, comme l'illustre la figure 2 (Vassilopoulos 4). La phase du choix, qui s'étend sur toute la durée des étapes du contrat et de la conception détaillée du navire, est sous la responsabilité du dessinateur du navire, du spécialiste du chantier naval ou, à l'occasion, des fabricants de l'équipement. La mise en œuvre est assurée par le chantier naval durant la construction, tandis que la phase de la surveillance commence durant les essais préalables à la livraison et pourrait, dans certains cas, se poursuivre pendant toute la vie du navire grâce à des instruments convenables.

### Méthodes d'alignement

Il existe plusieurs méthodes, décrites en détail ailleurs 1-4, pour mesurer ou vérifier l'alignement d'un système d'arbres à n'importe quelle phase de l'installation. Aux fins du présent document, seule une liste de ces techniques est nécessaire, à savoir:

- a. corde à piano — la méthode la plus simple et la plus courante encore très utilisée par les chantiers navals; il s'agit fondamentalement d'une méthode de ligne de mire basée sur une référence fixe;

- b. techniques optiques — semblable à la méthode susmentionnée, mais utilise des télescopes ou instruments au laser, ce qui élimine les erreurs associées à la chaînette de la corde;
- c. écart et affaissement — (généralement utilisée avec a. ou b.) consiste à mesurer les tolérances finales (aux raccords) juste avant l'assemblage des éléments;
- d. réactions des paliers — la méthode « normale » d'alignement au moyen de vérins hydrauliques ou de capteurs de pression piézoélectrique (utilisée après a., b. et c., c'est la principale preuve que l'alignement est réussi); et
- e. extensomètres — une « nouvelle » technique qui consiste à attacher des extensomètres à l'arbre lui-même afin de permettre la vérification de l'alignement en service (peuvent être utilisés avec un émetteur radioélectrique pour indiquer les efforts dynamiques lorsque l'arbre tourne).

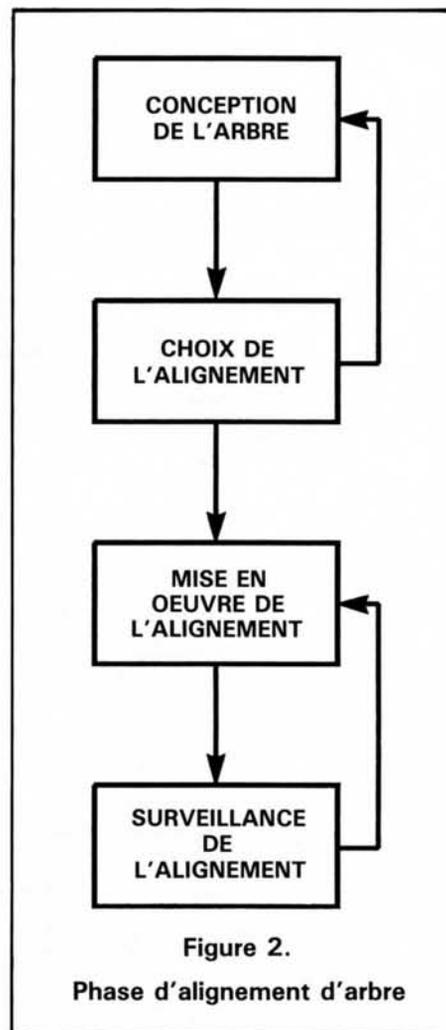
Dans le cas de la FCP, l'entrepreneur général, la Saint John Shipbuilding Limited (SJSJL) utilise une combinaison des quatre premières méthodes. Il s'agit d'une pratique « courante » dans la construction des navires, ces techniques ayant été utilisées durant la construction des destroyers DDH-280. Il incombe à l'entrepreneur général (SJSJL) de trouver une méthode d'alignement lui permettant de démontrer qu'il s'est conformé aux exigences contractuelles des spécifications techniques.

### Exigences contractuelles de la FCP

Les exigences relatives à l'alignement des machines de propulsion sont indiquées dans le contrat principal<sup>5</sup>.

*« L'alignement initial des machines de propulsion doit être fait lorsque le navire est à flot dans une condition de chargement qui se rapproche de la condition dans laquelle les essais en mer par l'entrepreneur ont été faits. L'alignement initial doit être fait lorsque le navire est assujéti à des gradients de température ambiante faibles et que les machines de propulsion sont réchauffées. »*

En outre, le contrat indique la position des axes de l'arbre par rapport aux paliers, l'écart et l'affaissement permis, les efforts des paliers et le tableau de mesure de charge. Le contrat décrit une procédure « minimale » à suivre pour respecter tous les critères. Comme on l'a déjà dit, cette procédure devrait pouvoir être changée à l'étape de la conception (comme c'est le cas). Précisément, la SJSJL et son sous-traitant, la YARD Ltd de Glasgow, ont élaboré une « procédure unique » d'alignement et d'installation<sup>6</sup> basée sur le contrat original. Il s'agit d'un document qui sera constamment revu et révisé par l'entrepreneur et le MDN jusqu'à ce que l'alignement initial soit fait. La dernière étape du procédé consistera en un essai du système installé<sup>7</sup>, juste avant le début des essais en mer.



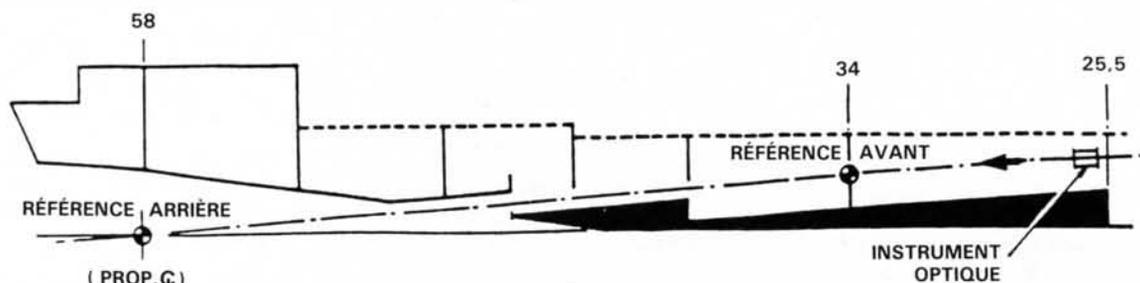
### Procédure d'alignement de la FCP

Les détails exacts de chaque étapes de la procédure et la plupart des raisons pour ces exigences sont traités en long et en large dans la procédure unique<sup>6</sup> et ne seront pas répétés ici. Toutefois, on y a extrait la figure 3 pour illustrer les étapes suivies.

### Discussion

Les méthodes utilisées par les constructeurs de navires pour appliquer la procédure d'alignement sont toutes fondamentalement des techniques de mesure scientifique appliquées à un milieu physique. Elles semblent constituer une méthode exacte permettant de déterminer si un palier ou une pièce de machine est aligné. Quel est donc le mystère? Pourquoi l'alignement constitue-t-il un problème?

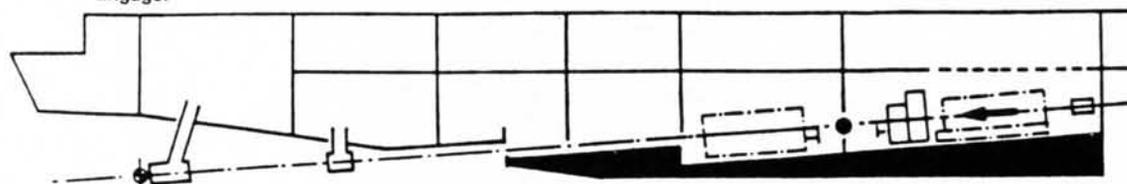
Le problème vient du fait qu'un navire sur l'eau ne se trouve pas dans un milieu statique. Il subit un mouvement d'arc et de contre-arc et, dans une certaine mesure, une déclinaison. Le dessinateur doit en tenir compte lorsqu'il établit ses axes théoriques pour l'alignement. Cette procédure est aussi relativement facile à modéliser. Toutefois, le problème consiste à déterminer exactement comment tenir compte



(PROP.  $\zeta$ )

1. Monter les éléments de la carène. Établir des références. Optimiser les axes longitudinaux nominaux des arbres en fonction du carlingage.

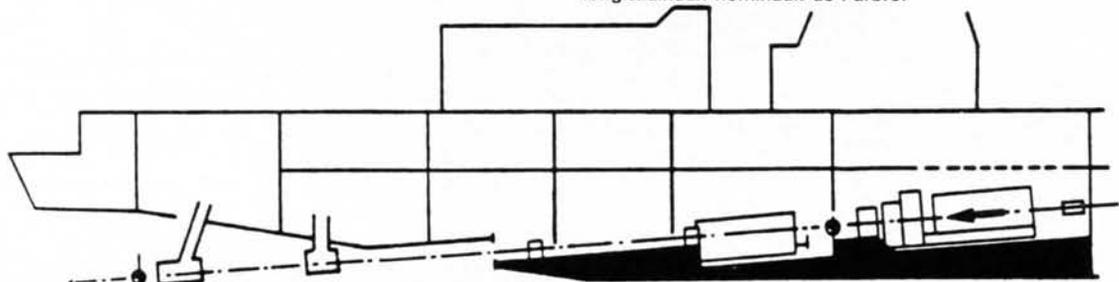
2. Carter d'engrenages, DDH-280 à turbine à gaz, moteur diesel et paliers de butée principaux.



3. Souder la coque jusqu'au pont n° 1. Installer temporairement des goussets en A. Mesurer l'inclinaison du navire vers l'arrière.

4. Transférer les références arrière sur la coque. Vérifier le dégagement du bout de l'hélice. Aligner et souder les goussets en A.

5. Aligner le carter d'engrenages sur les axes longitudinaux nominaux de l'arbre.



6. Monter les éléments supérieurs de la coque. Alésier les chaises en A. Finaliser les axes longitudinaux nominaux de l'arbre par rapport aux tubes de sortie du carter d'engrenages.

8. Aligner les paliers-supports. Installer la ligne d'arbres. Vérifier l'alignement de l'arbre et les charges dans les paliers avant la mise à flot du navire.

7. Aligner et boulonner le DDH-280 à turbine à gaz sur le carter d'engrenages. Aligner les turbines à gaz, le moteur diesel et les paliers de butée principaux. Installer des suspensions élastiques sous les DDH-280.

9. Vérifier l'alignement lorsque le navire est à flot. Réaligner les paliers d'arbre intérieurs au besoin. Monter les raccords souples de l'arbre principal. Vérifier les charges dans les paliers lorsque le navire est à flot.

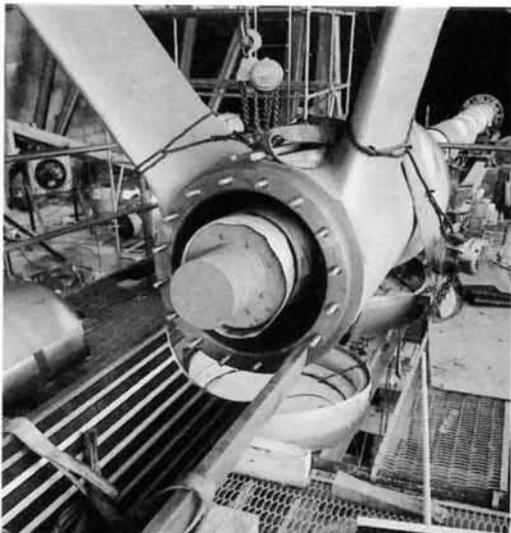
Figure 3. Procédure d'alignement FCP

des contraintes qui s'exercent sur un navire en cale sèche, non supporté par la poussée d'Archimède.

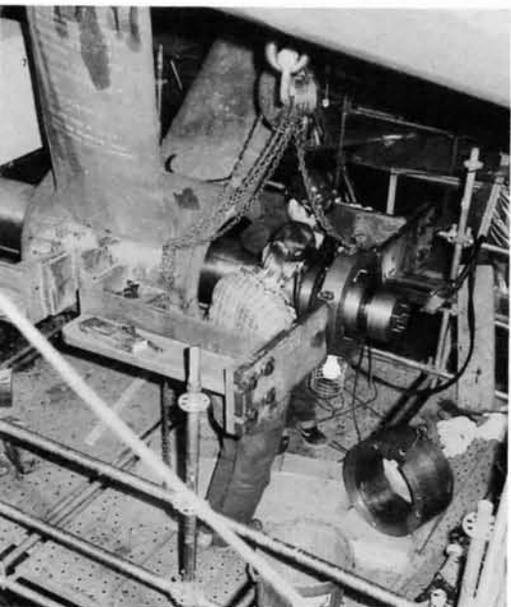
On fait également remarquer qu'à cause des effets du fluage et de la déformation thermique sur le modèle, il n'est normalement pas possible de faire l'alignement au moyen d'un procédé direct de visée. Ce fait est illustré à la figure 1, qui montre que l'axe longitudinal nominal de l'arbre en ce qui concerne la FCP peut être établi par des moyens optiques, mais, à cause de l'axe défléchi de l'arbre dans des conditions opérationnelles à flot, l'âme du tube du gousset en A intermédiaire et principal doit être alésée à angle. À noter également que le palier-support arrière doit être haussé à 4 mm au-dessus de l'axe de l'arbre.

Dans la construction d'un navire, l'approche est complètement à l'opposé. Il est presque impossible de prévoir ce qu'un navire fera une fois à flot. Même si des lectures de rupture et des mesures de l'inclinaison du navire vers l'arrière sont faites, tout ce que le dessinateur peut espérer, c'est que le navire prendra une bonne courbe une fois à flot. On connaît des navires de la même classe qui se déplacent de manière complètement différente. Il en résulte que l'alignement initial est tel qu'il constitue une médiane autour de laquelle se produit un mouvement important.

Le secret consiste à monter une ligne d'arbres suffisamment flexible pour s'adapter à toutes les configurations possibles. Pour y arriver, il faut ordinairement beaucoup d'expérience et un peu de chance. C'est pourquoi on a tendance à suivre des procédures traditionnelles et quelque peu redondantes; s'il y a une erreur technique, on aura suffisamment d'information pour résoudre le problème à un coût minimal. En ce qui concerne la procédure de la FCP, on est d'avis que la souplesse inhérente de la ligne d'arbres et la méthode fondamentale utilisée devraient permettre un bon alignement malgré le fait que ce système constitue l'une des premières installations à deux arbres raccordés transversalement en Amérique du Nord (bien que le DDH-280 soit très similaire).



Gouset en A intermédiaire montrant l'installation des douves de palier.



Ajustant l'équipement de forage pour le gouset en A principal de tribord



Vérification finale du palier du gouset en A de babord.

## Conclusion

Dans le présent document, on a essayé d'expliquer que le mystère entourant les procédures d'alignement ne réside pas tant dans la technique d'« alignement » (le procédé en est un de mesure contrôlée utilisant une méthode parmi plusieurs), que dans les prévisions du comportement d'un navire à flot. Comme ce comportement peut varier d'un navire à l'autre, l'alignement initial doit être suffisamment souple et tenir compte du milieu dynamique dans lequel un navire se trouve. En effet, pour un officier des SM, les procédures sont précises et exactes, mais le résultat final de l'alignement d'un système de machines dépend de l'aptitude du dessinateur à prévoir ce que fera le navire en mer.

## Remerciements

L'auteur tient à remercier la Saint John Shipbuilding Limited qui l'a autorisé à utiliser des images et figures du NCSM *Halifax*, FCP-01, ainsi que le Lcdr P.J. Horsted, RN, pour ses suggestions et discussions au sujet du « secret ».



## Ouvrages de référence

1. C. Archer et D.K. Martyn, *Static and Dynamic Alignment*, Trans I Mar E (C), vol. 91, conf. n° 4, document C31, p. 24-31, mai 1979;
2. A.W. Forrest Jr. et R.F. Labasky, *Shaft Alignment Using Strain Gauges*, Marine Technology, vol. 18, n° 3, juillet 1981, p. 276-284;
3. Y. Latron et al, *The Why and How of Shaft Alignment*, Trans I Mar E (C), vol. 91, conf. n° 4, document C29, p. 3-11, mai 1979;
4. Vassilopoulos, *Static and Underway Alignment of Main Propulsion Shaft Systems*, NEJ, mai 1988, p. 101-116;
5. CPF Contract Schedule A, partie 3, section 3, annexe 2, V3B4P2S5 Propulsion Machinery Installation and Alignment;
6. CPF Propulsion Machinery Installation and Alignment Procedure Rev. 2, CDRL 368X, DID QA-015 4 mai 1988;
7. Inspection of Installed Shafting, Gearbox and Engine Alignment, Rev. S1, série d'essais n° 619, essai n° M/24/150/201/00/000, 29 oct. 1987, CDRL 371X, DID QA-019.



Avant sa mutation, en octobre dernier, le Lieutenant commander Staples a passé trois ans et demie à Saint Jean, NB, agissant comme officier de l'assurance de la qualité pour les systèmes mécaniques de la FCP. Il est présentement employé à la Direction de la politique de sécurité nucléaire.

# Évolution de la frontière homme/machine dans les systèmes de combat

par le Cdr Roger Cyr

## Introduction

La marine canadienne a progressé à pas géant au cours des dernières décennies, dans le domaine de la technologie des systèmes de combat. Une grande partie des changements ainsi réalisés ont trait à certains capteurs et à certaines armes qui composent le système d'armes d'un navire de guerre. Cependant, des percées technologiques importantes ont aussi été réalisées dans la façon dont les capteurs et les armes sont intégrés. On croit que c'est précisément dans ce domaine que se trouve le plus de possibilités de percées technologiques. L'avènement de l'intelligence artificielle et des appareils à mémoire de grande capacité ouvre la voie à la conception de machines dites « intelligentes ». Dotées d'une capacité de prise de décisions à grande vitesse face à des problèmes complexes, ces machines intelligentes seront éventuellement capables d'effectuer le remplacement graduel de celui dont on pourrait qualifier d'élément le moins fiable, dans le commandement et le contrôle d'un système de combat — l'opérateur.

## Historique

Au cours des années 1960, les fonctions de commandement et de contrôle à bord des navires de guerre canadiens étaient toutes effectuées manuellement. L'exploitation et la surveillance des capteurs et des armes étaient réalisées par des personnes; les données tactiques étaient transmises au moyen de commandements verbaux et les routes étaient tracées manuellement. Dix ans plus tard, le nouveau destroyer DDH-280 de classe TRIBAL représentait une amélioration notable dans le commandement et le contrôle des navires, grâce à une certaine intégration des divers éléments du système d'armes. Bien que l'apparition des missiles sol-air ait entraîné une nette amélioration des capteurs et des armes dotant le TRIBAL, l'évolution des techniques de commandement et de contrôle a été sans aucun doute le plus important progrès qu'on ait pu observer dans les systèmes de combat, au cours de cette décennie.

Les années 1980 ont été marquées par le début de la construction de la nouvelle frégate canadienne de patrouille. Encore une fois, ces navires comportaient des améliorations importantes relativement à la classe de navires construite pendant la décennie précédente. Un certain nombre de fonctions tactiques étaient devenues automatisées, entre autres la détec-



Le système manuel de commandement et contrôle des années 50.

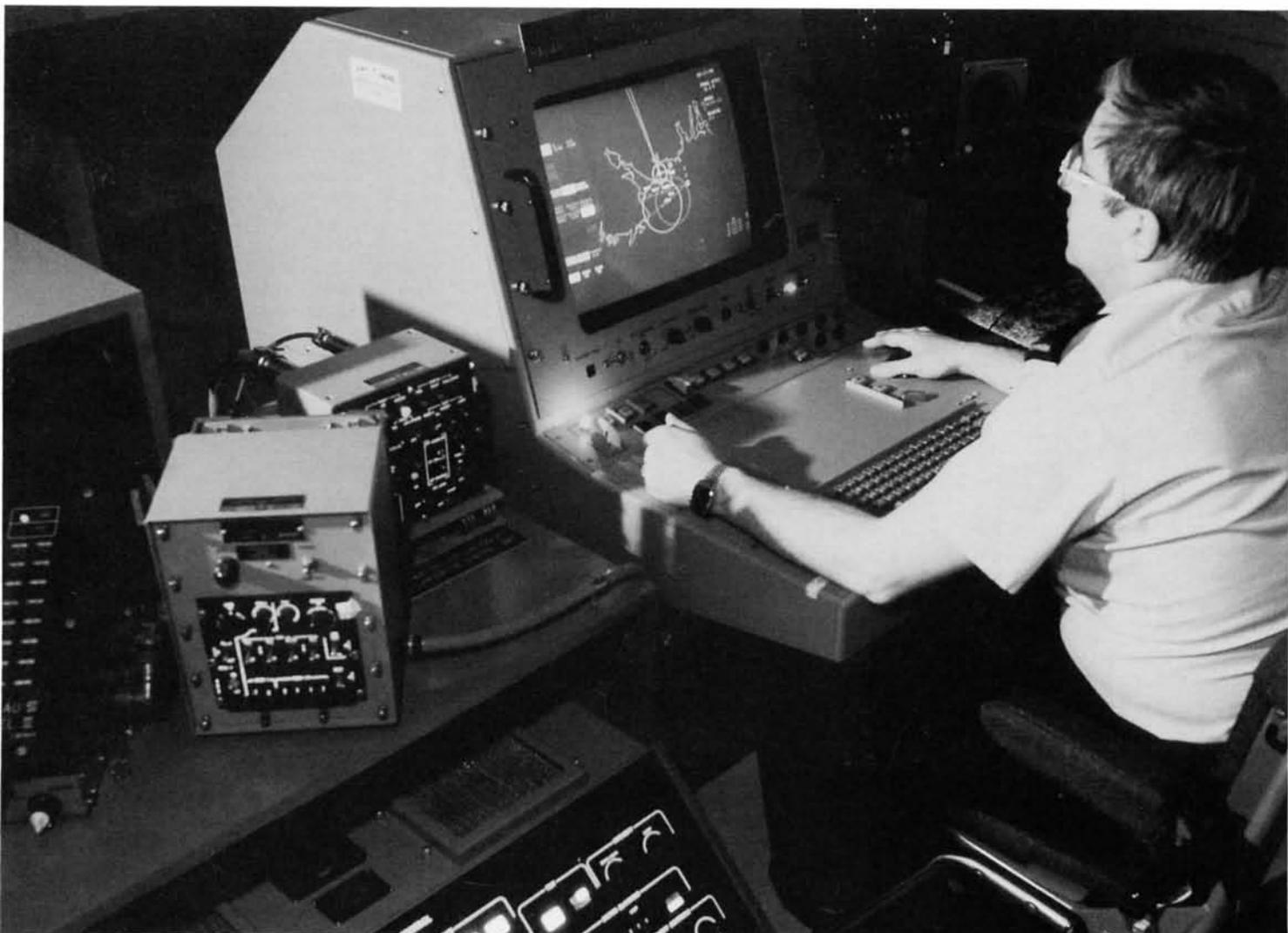
tion et la poursuite. Ces navires présentaient par ailleurs une certaine capacité d'évaluation de la menace et d'affectation d'armes. Mais tandis que l'état d'avancement de la technologie, la capacité de mémoire et la vitesse de l'unité de traitement posaient des limites au degré d'automatisation et d'intégration du navire, l'automatisation plus poussée du processus de commandement et de contrôle de la frégate était sans doute aussi quelque peu réprimée par les contraintes institutionnelles et par la réaction de rejet qu'ont les êtres humains devant un processus de prise de décisions trop automatisé.

## Faiblesses de l'opérateur

Pour bien des systèmes, l'intervention de l'opérateur sert à compenser les lacunes dans la conception du système. Cela signifie que certaines fonctions particulières pourraient très bien être exécutées automatiquement, mais qu'elles n'ont pas été prévues dans la conception du système et qu'une fonction accomplie par un opérateur a été créée pour permettre l'exécution. De nombreuses fonctions relevant encore en grande partie de

l'intervention humaine, comme l'identification de la menace, pourraient être accomplies beaucoup plus efficacement par une machine, dans un environnement de combat complexe comme on en a aujourd'hui. En fait, l'être humain pourrait très bien être déjà devenu l'élément défaillant du processus et l'on pourrait un jour devoir supprimer son intervention.

Il existe toutes sortes de preuves que l'élément humain est un facteur de risque dans le monde complexe du commandement et du contrôle que l'on connaît aujourd'hui. L'enquête effectuée par la US Navy au sujet de l'avion commercial iranien abattu dans le golfe Persique par le croiseur américain *Vincennes* en juillet dernier a révélé que le système de défense aérienne Aegis, dont était doté le navire, avait fonctionné normalement, mais que les membres d'équipage avaient mal interprété les données qui leur étaient présentées. Sous la tension du combat, ils s'attendaient à ce qu'un chasseur iranien F-14 attaque leur navire. Ils ont donc présumé que l'avion en question était un F-14 en mission d'attaque, malgré les renseignements qui leur étaient transmis par le système du navire. L'effet



Le système semi-automatisé des années 80.

psychologique dont ils étaient victimes les a empêchés de juger correctement la situation. Selon le psychologue américain Michael Canter, un expert des biais perceptuels, de telles erreurs humaines sont presque inévitables au cours d'un combat. On les appelle *erreurs humaines*, mais ce sont en fait des conséquences de la nature humaine ou des défauts humains.

Dans d'autres circonstances, le facteur de risque est inhérent à un défaut humain beaucoup plus simple, sans que rien d'aussi abstrait que le biais perceptuel n'entre en jeu. Ce défaut est l'incapacité de l'être humain à réagir assez rapidement devant la menace posée par les techniques modernes en mer: ce fut le cas lorsque le *USS Stark* a été endommagé par un missile Exocet lancé par l'Iraq dans le Golfe, en mai dernier, de même lorsque le *HMS Sheffield* a été détruit par un missile Exocet argentin, dans les îles Malouines en 1982... L'énumération pourrait se poursuivre. Un rapport sur l'incident du *Stark* indiquait carrément qu'en raison de la rapidité avec laquelle se déroulent les attaques par missile (même un seul missile ne laisse pas beaucoup de temps

pour contrer l'offensive), il faudrait avoir recours à la communication automatisée entre les ordinateurs. On réduirait ainsi le temps de réaction dans un certain nombre de circuits critiques nécessitant actuellement l'intervention de l'opérateur.

Même lorsqu'aucun combat n'est en cours, les conséquences d'une intervention humaine pour répondre à un système complexe peuvent être fatales. Lors d'un spectacle aérien à Paris, en juin dernier, un Airbus A-320 s'est écrasé pendant un vol de démonstration. Le A-320 est un appareil hautement perfectionné, conçu pour prévenir la plupart des erreurs de pilotage, mais non la totalité de ces erreurs. Le système de bord empêche le pilote d'exécuter le vol d'une façon qui ne serait pas sûre, par exemple en exigeant trop de l'appareil par un virage exagérément prononcé ou en ralentissant au-dessous de la vitesse critique. Mais si le pilote exécute une commande de pilotage qui entraîne l'appareil droit au sol, rien n'empêche l'écrasement de l'appareil.

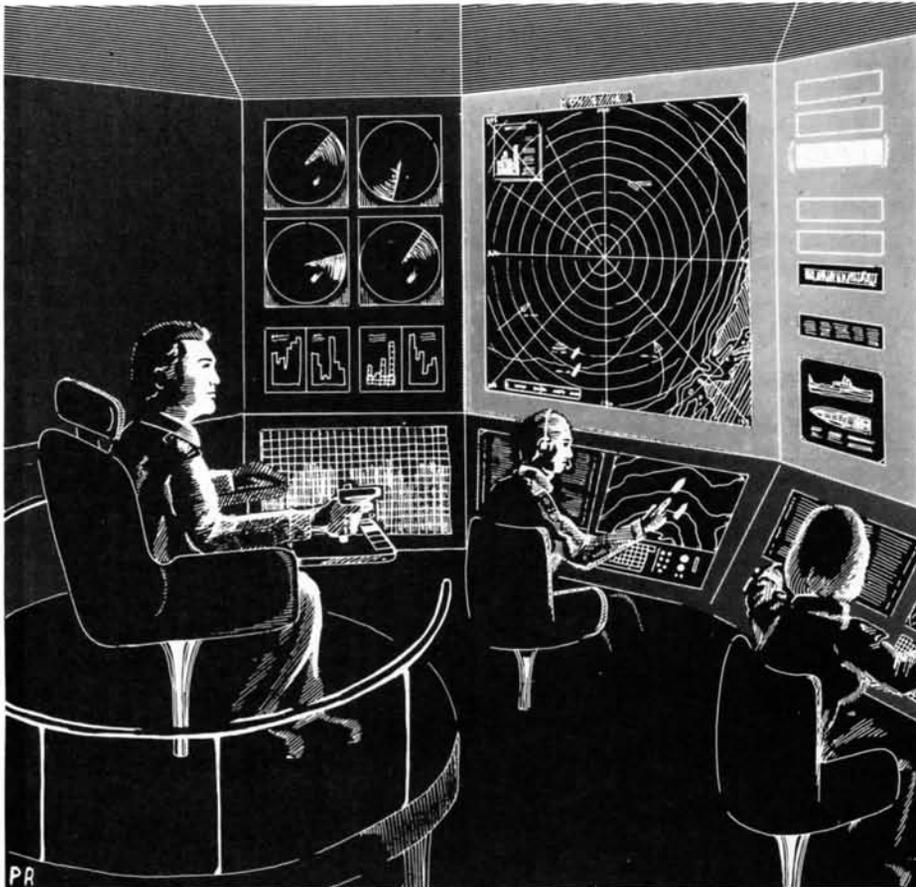
Au Canada, récemment, un chasseur CF-18 de haute performance a été entraîné dans une vrille. L'ordinateur de bord a indiqué

au pilote quelle manœuvre de redressement effectuer, mais le pilote, désorienté par le mouvement de rotation, a décidé de passer outre ces indications et de piloter l'appareil selon la perception qu'il avait de la situation. L'appareil s'est écrasé.

Dans chacun de ces incidents, si l'avion avait été complètement piloté par ordinateur, la correction appropriée aurait été exécutée automatiquement et les deux appareils auraient probablement été sauvés. C'est l'élément humain qui posait un risque au sein du système. L'être humain lui-même, soumis aux faiblesses découlant de l'effet psychologique et du biais perceptuel, sujet en outre à l'épuisement, à la tension, à l'indécision ainsi qu'à une mémoire limitée et inexacte, constituait l'élément défaillant du système.

### L'avenir

D'un point de vue technique, le processus d'automatisation n'a été limité jusqu'à maintenant que par l'espace mémoire et la cadence de transfert des données qu'offraient les unités de traitement existantes. Mais on est en train de mettre au point des innovations techniques



Le système entièrement automatisé de l'an 2000 voit le commandant du navire conduisant son navire lui-même.

constituant une percée prodigieuse dans le domaine du matériel informatique et des dispositifs d'emmagasinage des données. Par exemple, tandis que l'espace mémoire des systèmes de combat DDH-280 (en place sur les frégates avant le projet TRUMP) totalisait quelque 250 kilo-octets, celui des systèmes utilisés à bord des nouvelles frégates représentera plus de 15 méga-octets, soit environ 60 fois plus. La densité du composant de logique et de mémoire a quadruplé tous les trois ans (et on prévoit que cette courbe restera constante); quant à la capacité de mémoire de l'unité centrale, elle deviendra virtuellement sans limite avec l'avènement de la puce à quatre méga-bits.

La mise au point de processeurs relationnels efficaces permettra éventuellement l'accès instantané à des bases de données d'une capacité pour ainsi dire infinie, et le disque optique offrira des ressources formidables en matière de support d'information pour les données tactiques et les images. En ce qui concerne le transfert des données, des percées considérables sont actuellement en voie de réalisation grâce aux circuits de transmission et de réception fabriqués à l'aide du rayon laser, de systèmes électro-optiques et d'arséniure de gallium. On prévoit que ces circuits permettront une vitesse de commutation et de commande d'au moins 600 méga-bits par seconde, soit une vitesse 60 fois plus grande que celle des SHINPADS actuels.

Des systèmes-experts conçus pour des applications militaires sont aussi en voie d'être mis au point. Ces systèmes reproduisent le genre de résultats obtenus par l'intelligence humaine. Ils peuvent résoudre des problèmes, faire des prédictions, expliquer le raisonnement et prendre des décisions. Le système-expert de l'avenir pourra prendre en charge le processus de raisonnement qui entraînera le système de commandement et de contrôle, éliminant ainsi la nécessité de l'intelligence humaine ou de l'intervention de l'homme dans la prise de décision.

La puissance de traitement nécessaire à la réalisation de ces supers systèmes sera disponible dans un très proche avenir. Mais il reste à assurer la productivité du logiciel avec une fiabilité de 100 p. 100. On croit cependant que les systèmes innovateurs à base de connaissances et les langages de programmation spécialisés tels que le Ada favoriseront le développement rapide d'améliorations importantes dans la conception de logiciels destinés aux systèmes de combat.

#### Le navire intelligent

Dans la marine, l'objectif d'avenir sera de produire un navire intelligent. La frégate intelligente verrait son équipage réduit à un maximum de 50 membres, tandis que la frégate actuelle en compte environ 200. On réussirait également à réduire l'effectif opérationnel en utilisant des machines intelligentes pour rem-

placer l'être humain dans les systèmes de combat, à la fois comme élément d'intégration et comme responsable de la prise de décisions. Ces machines seront en fait des systèmes à base de connaissances de très grande puissance qui, par un processus logique, contrôleront toutes les fonctions guerrières au cours d'un combat, garantissant ainsi une réponse optimale à la menace grâce à un processus de déduction complexe. Elles pourront recréer le contexte en se fondant sur les procédures, la doctrine, la tactique et les règles d'engagement, puis aller chercher des paramètres emmagasinés en immenses blocs de mémoire pour y choisir la réponse optimale en vue de valider et de vérifier les données des capteurs et des armes, avec une précision et une rapidité que les facultés humaines ne permettraient pas d'atteindre.

#### Conclusion

On croit que les percées technologiques qui se produiront dans les années à venir offriront des possibilités sans limites dans la conduite des combats en mer, en ce qui a trait particulièrement à la frontière entre l'homme et la machine. Néanmoins, il reste à voir si ces innovations ne seront pas étouffées par la résistance naturelle de l'homme au changement et par sa répugnance à accepter qu'un processus de prise de décision soit assumé par une machine.



#### Références

1. Preston, A., *The Smart Ship*, Defence, nov. 1987
2. Hill, B., *Technology Failure or Human Error*, The Ottawa Citizen, 30 juin 1988
3. *A Case of Human Error*, Newsweek, 15 août 1988
4. *Navy Reports Raise New Questions About Stark*, supplément d'information du IEE Spectrum, janv. 1988



Le Commander Cyr est Chef de la section des techniques informatiques navales (DSCN 8) au QGDN.

# Rétrospective: 1880-1882

## Un échec aux conséquences incalculables: Le NSM *Charybdis*

*Est-il raisonnable de croire que les débuts de la marine à vapeur bourrasquée d'un siècle dans le port de Saint-Jean (N.-B.) ont eu pour conséquence de retarder, pendant quelque trente ans, l'adoption de la Loi sur le Service naval du Canada? Cette hypothèse n'est pas aussi fantaisiste qu'elle le semble au premier abord.*

Par le Lcdr Brian McCullough

Il vous est vraisemblablement arrivé de voir, reléguée dans l'une des pages d'introduction d'un manuel d'histoire navale, une photographie du NSM *Charybdis*. Vous êtes-vous déjà demandé pourquoi, dans les pages où il est question de navires tels le *Rainbow* et le *Niobe*, on ne parle jamais de cette vieille corvette à vapeur munie de trois mâts, qui fut le premier navire de combat dont le gouvernement du Canada ait fait l'acquisition.

Malgré le peu de temps qu'il passa en eaux canadiennes (1881-1882), le NSM *Charybdis* devait laisser, dans la mémoire collective, le souvenir d'un épisode peu glorieux de la marche que le Canada avait entreprise pour constituer sa propre marine. En fait, au cours des quelque trente années qui suivront, il suffira de crier « *Charybdis* » pour faire taire les partisans de la création d'une marine de guerre.

Que s'est-il donc passé? Si l'on se fie à l'ouvrage de Gilbert Norman Tucker *Naval*

*Service of Canada*, écrit de Joseph Schull, on apprend que le mouillage dans le port de Saint-Jean de la corvette à vapeur, voir, dans les années 1880, ce qui s'est produit.

Vers la fin des années 1870, l'Amirauté suggéra pour la première fois au gouvernement officiel que le Canada assure lui-même la défense de ses côtes, le commandant de la Milice canadienne proposa de créer une réserve navale qui serait formée de personnes recrutées parmi les 90 000 pêcheurs et marins que comptait alors le pays. Il mentionna aussi qu'il serait dans l'intérêt tant du Canada que de la Grande-Bretagne que le gouvernement de cette dernière fournisse au Canada un navire de combat dont il pourrait se servir pour assurer la défense de ses côtes et la formation des recrues.

Le gouvernement du Canada appuya la recommandation, et le 8 octobre 1880, le Gouverneur général, dans une dépêche adressée au Secrétaire aux colonies, affirma que le gouvernement du Canada « ne serait point opposé à l'établissement d'un navire-école, si le gouvernement impérial consentait à fournir un bâtiment à cette fin ». L'Amirauté acquiesça à la demande et offrit au Canada le *Charybdis*, une corvette à vapeur d'un autre âge, qui rentrait alors péniblement en Grande-Bretagne après avoir passé sept ans à la station de Chine. D'abord présenté sous forme de prêt, le *Charybdis* fut peu après offert au Canada à titre de cadeau. Le gouvernement du pays accepta le don et chargea le capitaine Scott, un officier de la Marine royale à la retraite, d'aller prendre livraison du navire en Angleterre.

L'opération débuta plutôt lentement. En effet, le chef mécanicien du navire fit remarquer que les chaudières ne résisteraient pas à une traversée de l'Atlantique en hiver. Le gouvernement du Canada fit donc remplacer celles-ci à ses frais, et, au début de l'année 1881, « cajolée et dorlottée » par le capitaine Scott, la corvette franchit l'Atlantique sans

En ne connaît pas le moment exact de l'arrivée du mouillage dans le port de Saint-Jean, le *Charybdis* rompit ses amarres pendant une bourrasque, partit à la dérive et avaria plusieurs navires ancrés dans le port. Le navire venait à peine d'être de nouveau amarré et les vociférations des armateurs et propriétaires des bateaux avariés ne s'étaient pas encore apaisées, que deux citoyens de Saint-Jean, en essayant de monter à bord, défoncèrent de leur poids le bois pourri de sa passerelle d'embarquement et se noyèrent. Il n'en fallut pas plus pour que le gouvernement de l'époque en arrive à la conclusion que les aventures maritimes avaient assez duré. Il demanda donc à l'Amirauté de reprendre possession du navire, et en août 1882, la corvette (qui, selon Schull, était alors devenue une épave) fut remorquée jusqu'à Halifax et remise aux autorités de la Marine royale qui ne semblaient pas très heureuses de la conclusion de l'affaire.

Dans son ouvrage, Schull écrit ce qui suit: « Le *Charybdis* devint un cauchemar, une sorte de Vaisseau fantôme qui, au cours des trente années suivantes, devait surgir à l'horizon politique chaque fois que serait formulée quelque proposition relative à la création d'une marine de guerre. » Telles ont été les conséquences de l'affaire du *Charybdis*. Ce n'est qu'en 1909, à cause de la menace que constituait la flotte de guerre de plus en plus puissante de l'Allemagne, que les cris « *Charybdis* » commencent d'être étouffés par les appels plus pressants et plus insistants des partisans de la création d'une marine de guerre. Le 4 mai 1910, la sanction royale était donnée à la Loi sur le service naval de 1909: la marine de guerre canadienne était née. Un an plus tard, sur l'ordre de Sa Majesté le Roi, elle reçut l'appellation de Marine royale canadienne.



# Bulletin d'information

## *Le capitaine Garneau verra à promouvoir le programme d'astronautes*

Quatre ans et demie après avoir été le premier astronaute canadien à participer à une mission spatiale, le capitaine Marc Garneau prend sa retraite de la marine pour assumer la position de directeur adjoint du programme d'astronautes canadiens.

Un ingénieur en systèmes de combat naval, le capitaine Garneau a volé à bord du véhicule spatial Challenger le 5 octobre 1984. Quoiqu'il a demeuré à l'emploi du programme d'astronautes du Conseil canadien de la recherche dans les années qui ont suivies son vol spatial, il affirme que sa décision de se retirer de la marine après 23 ans n'a pas été facile. Il affirme: "C'est une décision à laquelle j'ai du réfléchir longtemps."

"Je veux promouvoir le programme spatial canadien", nous dit le Québécois de 40 ans. En ce moment il travaille sur un projet de radiation solaire et luminescence spatiale, des essais qui iront dans l'espace dans une mission future. "J'aide à la réalisation de ces projets en tant qu'ingénieur et responsable des procédures à suivre" il nous dit. Il a déjà mis au point un logiciel spécial qui va servir au système de vision de l'espace dans les opérations d'amarrage du véhicule spatial et du Canadarm.

"J'aimerais bien retourner dans l'espace" il nous dit, mais "je suis quand même très heureux de pouvoir participer dans un rôle de soutien. J'aimerais voir d'autres canadiens voler — je ne voudrais surtout pas que les canadiens croient qu'il ne s'agissait que d'une mission et que maintenant c'est fini."

Faire parti du programme d'astronautes canadiens est très excitant, nous dit Garneau. "C'est captivant. J'ai la chance de temps à autres de retrousser mes manches et de faire des choses que j'aimais bien dans la marine — un peu de travail de paperasse mélangé à du travail de labo."



*Le commodore Broughton (DGGMM) avec le capitaine Garneau à la réception d'adieu.*



*Le commander Dave Jacobson présente la première mondiale de la poupée "Marc Garneau".*

(Photos MDN par le cpl Paul Howe)

## *Ingénieur maritime conférencier pour la Société canadienne de Génie mécanique*

Le Lieutenant commander Rick Francki, présentement gérant du projet de remplacement des turbines à gaz de croisière DDH 280s au DMGE 2, représentera le MDN comme conférencier au sein de la tournée de conférence 1989 dans les principales universités canadiennes. Ces conférences sont faites en support de la Société canadienne de Génie mécanique (SCGM).

Cette série de conférences, commanditée annuellement par la SCGM, est normalement faite par un représentant industriel dans le but de renseigner les étudiants sur un aspect important de génie mécanique au Canada. La participation du DGGMM est en réponse à une demande faite par le SCGM.

La présentation du Lcdr Francki, intitulée « La Remoteurisation d'un vaisseau de guerre canadien et les problèmes techniques associés », est fournie comme exemple typique d'un projet en chemin impliquant le génie mécanique.

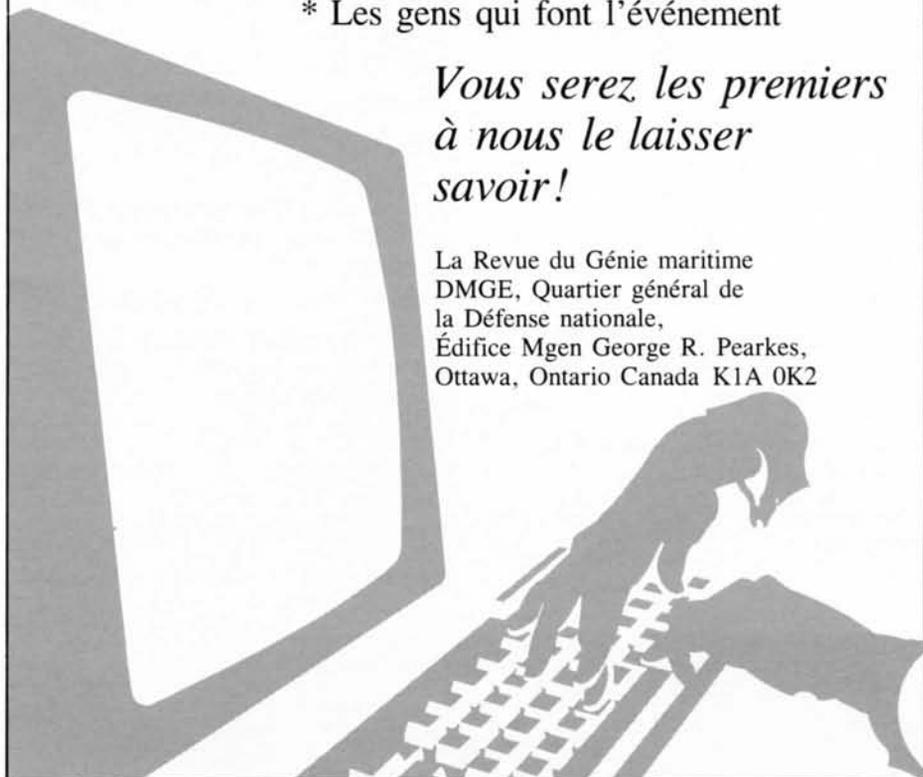
Durant sa tournée de sept semaines d'une côte à l'autre du pays, le Lcdr Francki devra visiter 26 universités, y compris une présentation jointe aux étudiants du Royal Military College et de l'université Queen's au mois de février. La tournée, qui comprend cinq universités francophones, terminera le 16 mars à l'université McGill.

## *Aller de l'avant! Écrivez-nous.*

- \* Mise à jour des projets
- \* Événements spéciaux
- \* Les gens qui font l'événement

*Vous serez les premiers à nous le laisser savoir!*

La Revue du Génie maritime  
DMGE, Quartier général de  
la Défense nationale,  
Édifice Mgen George R. Pearkes,  
Ottawa, Ontario Canada K1A 0K2



## **La revue du Génie maritime salue**

*le NCSM Assiniboine  
DDH-234*

au service du Canada  
15 août 1956 - 14 décembre 1988



## Indexe des articles: 1988

### Janvier

The Salvage of MV *Essi Silje* and  
Lloyd's Arbitration Hearing  
*par Edwin S. Chan*

The Oil and Coolant Condition Analy-  
sis Program (OCCAP) as an Equipment  
Health Monitoring Technique  
*par Michael Davies*

Fabrication of Submarine Valves in  
Canada  
*par Z. Joseph Podrebarac*

SWATH Ships — A New Term in the  
Equation  
*par Cdr John N. Edkins*

The Replacement Cruise Engine for the  
DDH-280 Tribal Class Destroyer  
*par Cdr D.J. Hurl*

MARE Olympic Torch Runners  
*par Lcdr Brian McCullough*

Rétrospective: Le premier conseil naval  
du Canada

### Avril

Sous-marins à propulsion nucléaire  
pour le Canada  
*par Capt Simon MacDowall*

Les moteurs Stirling et leur emploi à  
bord de sous-marins  
*par Lt(M) Richard Sylvestre*

Le chaînon manquant dans la concep-  
tion des systèmes  
*par Cdr Roger Cyr*

Programme d'essai du système de com-  
bat des Frégates canadiennes de  
patrouille  
*par Lt(M) David MacDougall*

Exigences influant sur la conception  
des réducteurs à engrenages destinés à  
la Marine canadienne  
*par D.K. Nicholson*

Profil: Gloria Jessup — Secrétaire du  
DGGMM  
*par Lcdr Brian McCullough*

Rétrospective: L'assemblage de la pre-

mière boîte d'engrenage du DDH-280  
*par Steve Dauphinee*

### Septembre

Programme d'inspection des moteurs  
diesel  
*par Lcdr Richard Sylvestre*

Propulsion électrique de la frégate  
ASM — À l'avant-garde  
*par W.A. Reinhardt et J.R. Storey*

Le système de décomposition du travail  
par produit — Plan directeur pour la  
construction de FCP  
*par Lcdr Richard Payne*

Les nouvelles frégates: une réussite en  
construction navale  
*par Lcdr(R) Brian McCullough*

Le logiciel et le G Mar  
*par Cdr Roger Cyr*

Rétrospective: La fracture de la proue  
du *Nipigon*  
*par Cdr John Edkins, Lt(M) Mark  
Gray et Clyde Noseworthy*



**Incident technique  
en mer**

**...une leçon**

*A venir en avril*