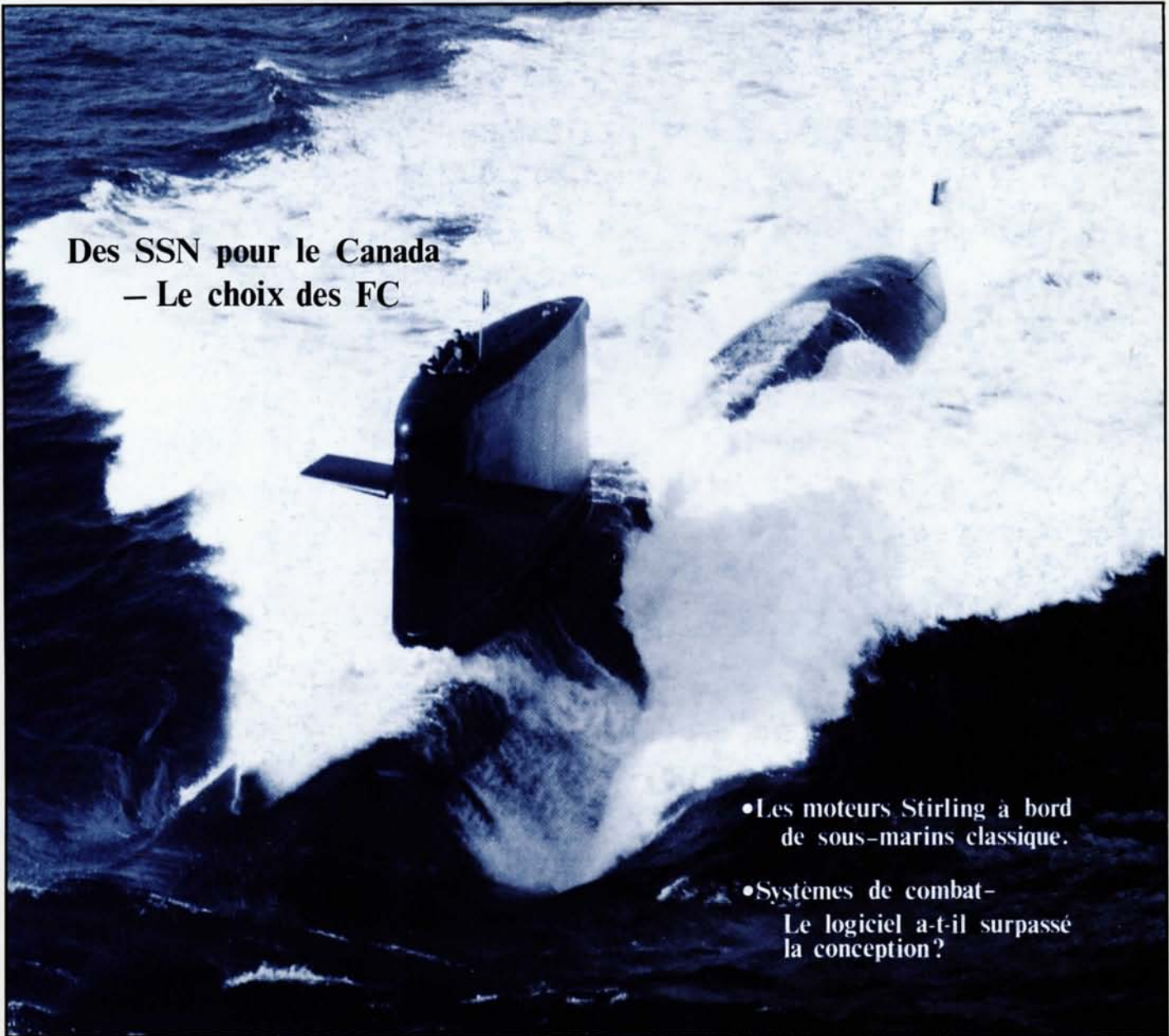


Revue du Génie maritime

Avril 1988



**Des SSN pour le Canada
— Le choix des FC**

- Les moteurs Stirling à bord de sous-marins classiques.
- Systèmes de combat—
Le logiciel a-t-il surpassé la conception?



Gloria Jessup
Son portrait commence page 27



Revue du Génie maritime



Directeur général
Génie maritime
et maintenance
le commodore D.R. Boyle

Rédacteur en chef
Capt(M) B.H. Baxter

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

Directeur de la production
L cdr(R) Brian McCullough

Graphiques
Ivor Pontiroli DDDS 7-2
Louise Collette

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

PHOTO COUVERTURE

Un sous-marin nucléaire de la classe Rubis de la marine française.

AVRIL 1988

DÉPARTEMENTS

Notes de la rédaction	2
Lettres	2
Chronique du commodore	3

ARTICLES

Sous-marins à propulsion nucléaire pour le Canada <i>par le capitaine Simon MacDowall</i>	4
Les moteurs Stirling et leur emploi à bord de sous-marins <i>par le lieutenant(M) Richard Sylvestre</i>	8
Le chaînon manquant dans la conception des systèmes <i>par le commander Roger Cyr</i>	14
Programme d'essai du système de combat des Frégates canadiennes de patrouille <i>par le lieutenant(M) David MacDougall</i>	17
Exigences influant sur la conception des réducteurs à engrenages destinés à la Marine canadienne <i>par D.K. Nicholson, Ing. P.</i>	22
Profil: Gloria Jessup — Secrétaire du DGGMM <i>par le lieutenant commander(R) Brian McCullough</i>	27
RÉTROSPECTIVE	28

BULLETIN D'INFORMATION	29
-------------------------------------	----

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



Notes de la rédaction

C'est grâce à une poignée de bénévoles qui mettent leurs compétences au service de la revue et qui y consacrent de leur temps afin d'assurer un niveau de professionnalisme digne des membres du group G Mar que la *Revue du Génie maritime* connaît du succès. En tant que rédacteur en chef, le DMGE est responsable du maintien ou de l'amélioration de ce haut niveau de professionnalisme. La *Revue* devrait traiter de tous les événements et des toutes les questions d'intérêt pour les ingénieurs maritimes; c'est au rédacteur en chef qu'incombe la tâche de veiller à ce que tous les sujets controversés reçoivent un traitement juste et équitables. La plupart des articles soumis à la *Revue* sont de nature technique, et traitent des projets auxquels les membres du G Mar œuvrent ou des nouvelles technologies qu'ils mettent en œuvre. La *Revue* ne reçoit que très rarement des articles traitant du personnel, de la formation, des promotions ou d'autres questions non techniques. Étant donné que l'accent est de nouveau mis sur la formation des ingénieurs maritimes, il nous semble que le temps est venu pour tous les jeunes ingénieurs maritimes de prendre la plume et de nous dire de quelle façon ils perçoivent les questions qui influenceront leur avenir.

L'avenir de la marine, tout comme celui des G Mar, n'a jamais été aussi prometteur. Le Livre blanc offre aux ingénieurs maritimes des défis et des occasions qui ne se présentent qu'une fois dans la carrière d'un officier. La mise en service des frégates modernes et de sous-marins nucléaires au cours d'une même période nous permettra de faire valoir la formation reçue et l'expérience acquise et de montrer dans quelle mesure nous sommes prêts à faire preuve d'initiative et à nous engager à exceller durant ces temps qui seront passionnants, mais exigeants. Déjà, les programmes de formation des membres du G Mar sont mis à jours afin que, dans le temps dont nous disposons, nous puissions former les meilleurs ingénieurs maritimes. Des jeunes ingénieurs maritimes seront affectés à une multitude d'organisations et de projets mis sur pied tant à l'appui des mesures prévues dans le Livre blanc qu'à celui des opérations de la flotte actuelle. Les occasions d'assumer de plus grandes responsabilités et de poursuivre des études universitaires au niveau de la maîtrise et du doctorat ne cessent de croître permettent maintenant aux membres du G Mar de faire des choix de carrière qui n'existaient même pas il y a dix ans. Le choix de cours de deuxième et de troisième cycles est impressionnant et présente sûrement des défis aux ingénieurs maritimes ambitieux et capables, qui désirent suivre ces programmes de formation. Le plus grand éventail de programmes de formation de deuxième

et de troisième cycles destinés aux ingénieurs maritime est le reflet direct de l'évolution de la technologie. L'ajout de cours de fiabilité et maintenabilité ainsi que le cours de maîtrise en gestion des affaires permettront sûrement aux membres du personnel œuvrant à nos principaux projets d'immobilisations d'acquiescer de nouvelles compétences au cours des prochaines années. Il est impossible de savoir avec certitude ce que nous réserve l'avenir. Par contre, nous pourrions présumer sans crainte de nous tromper que les choix de carrières et les perspectives d'avenir des ingénieurs maritimes continueront à croître avec la mise en œuvre des mesures prévues dans le Livre blanc. La *Revue* continuera à se tenir au courant des derniers développements et nous espérons être en mesure de vous tenir au courant des activités qui nous toucheront tous.

J. H. Baxter

Le Capitaine (M) Baxter a été affecté au BP du PCAS en janvier, juste au moment où le présent numéro de la Revue en était aux dernières étapes de production. La rédaction lui offre ses meilleurs vœux de succès dans l'exercice de ses nouvelles fonctions.

Lettres

Nous avons reçu deux lettres à propos de notre numéro de janvier. La première lettre, adressée au DGGMM:

Je vous félicite pour une revue bilingue excellente. Cette revue est un atout pour votre et mon organisation.

E.J. Healey
Sous-ministre adjoint (matériel)

Merci pour les copies de la revue de janvier. J'en ai fait parvenir une copie au commodore MacGillivray, qui était l'ingénieur-chef adjoint à l'époque où la mécanique Y-100 fut conçue. Il a maintenant 82 ans et il fut très intéressé par la revue. Il connaissait les officiers qui paraissent dans la photo du Naval Board à la page 35!

*J'espère qu'il va pouvoir m'aider à me souvenir de l'époque des Y-100.**

**Don entreprend d'écrire un article sur la conception de la mécanique des Y-100*

... et la deuxième fut reçue de Don Nicholson, dont la retraite de la fonction publique fut annoncée dans les Bulletins d'information du dernier numéro:

Bien à vous
Don



Chronique du commodore

le commodore M.T. Saker

La signature toute récente du contrat d'acquisition de six autres FCP nous fournit l'occasion rêvée de faire le point sur le projet de la FCP et de nous interroger sur les répercussions que ce projet et d'autres projets en cours ont eu sur les membres du G Mar.

Au cours des dernières années j'ai maintes fois entendu des commentaires et des récriminations de la part des ingénieurs maritimes qui déploraient que la marine renonce à exercer un contrôle direct sur la conception et la construction des navires de guerre et à participer à ces activités. Certains ont l'impression que notre participation aux activités menées dans le domaine de l'ingénierie et nos responsabilités dans ce secteur ont quelque peu été réduites depuis que l'industrie exerce un plus grand contrôle sur nos projets et qu'elle assume des responsabilités plus importantes à cet égard, que ce soit pour le projet de la FCP, le projet de révision et de modernisation de la classe Tribal (TRUMP) ou le programme canadien d'acquisition de sous-marins (PCAS). Je ne partage pas cette impression et, à mon avis, vous ne devriez pas vous en plus la partager. Je crois au contraire que non seulement les défis que nous avons à relever ne sont pas moindre qu'avant, mais qu'ils n'ont en fait jamais été aussi grands.

Pour comprendre la situation actuelle, il faut se rappeler comment les choses se passaient réellement dans «le bon vieux temps». Lorsque j'ai été affecté pour la première fois à ce que nous appelons aujourd'hui la DGGMM au cours de l'été 1971, j'étais un jeune lieutenant-commander. À l'époque, la marine commençait tout juste la mise à l'essai des navires de classe DDH-280, qui étaient attendus depuis longtemps, et terminait la phase d'introduction des deux nouveaux pétroliers-ravitailleurs sur la côte est. On avait l'impression que tout le monde à la DGGMM s'occupait exclusivement des 280, ce qui n'était probablement pas loin de la vérité. Une grande partie du soutien technique pour les navires devait se faire sur les deux côtes; nous avions annulé toutes les modernisations des navires de classe ISL et nous commençons à envisager de les retirer du service puisque nous prévoyions avoir à gérer de nouveaux programmes de construction de navire. C'était

assurément une période passionnante. Toutefois, une chose demeure certaine: la DGGMM consacrait presque tous ces efforts à la mise en œuvre de cet important programme qu'était l'acquisition des DDH-280.

Aujourd'hui, il y a déjà quatre ans et demi que nous œuvrons à la phase de mise en œuvre du projet d'acquisition de 12 FCP, et deux ans que nous travaillons au projet TRUMP; nous sommes de plus sur le point de lancer le programme d'acquisition de sous-marins et d'acheter de petits navires de guerre pour la Réserve navale. De plus, de nombreux autres projets relatifs au matériel, qui s'inscrivent dans les programmes d'acquisition de nouveaux navires et dont s'occupe la DGGMM, en sont rendus à différents étapes de leur réalisation: SHINPADS; SHINMACS; SHINCOM; CANTASS; systèmes de traitement des messages; dessalage et osmose inversée et remplacement des moteurs de croisière des DDH-280, pour n'en nommer que quelques-uns parmi les plus importants. Pour réaliser tous ces projets, nous disposons d'à peine plus de personnel qu'au début des années 70. Il a donc fallu changer notre façon d'aborder la gestion de ces projets et, conséquemment, déléguer plus de responsabilités à l'industrie.

Nous accomplissons donc maintenant, plus avec sensiblement les mêmes ressources internes, ce qui signifie que les tâches de l'ingénieur ou du technicien moyen œuvrant dans le service aujourd'hui ont changé. En règle générale, chaque personne doit aujourd'hui acquérir plus de matériel, posséder de plus grandes compétences et gérer des budgets plus élevés que jamais auparavant. À titre d'exemple, comparons le coût du projet DDH-280 et le coût combiné du projet de la FCP et du projet TRUMP; alors que le premier était de 260 millions de dollars au début des années 70, soit environ un milliard de dollars, en dollars d'aujourd'hui (à peu près quatre fois la somme originale), le second est d'environ 10 milliards de dollars en dollars d'aujourd'hui. Les sommes dont nous avons de nos jours la responsabilité sont donc dix fois supérieures à celles d'autrefois et encore, nous n'avons pas tenu compte

de la planification à laquelle on procède actuellement pour ce qui est du programme d'acquisition de sous-marins au coût de plusieurs milliards de dollars ni de l'acquisition de navires de guerre moins importants. Quel livret de commande! Quelles responsabilités! Quel défi! Quel plaisir! (Désolé Winston).

Le défi que les ingénieurs maritimes ont à relever d'aujourd'hui n'est pas tellement différent de ce qu'il était autrefois; il consiste toujours à gérer des projets au cours des phases d'acquisition et de mise en service. Nous avons à mener des activités de gestion au contrat et de projet fort semblables à celles que nous menions dans le «bon vieux temps», sauf que maintenant nous travaillons à des projets de plus d'envergure, qui ont trait à un plus grand nombre de navires et à des systèmes plus complexes. Nous faisons toujours affaire avec les fournisseurs (sauf que maintenant nous traitons plus avec des maîtres d'œuvre qu'avec les vendeurs de systèmes); nous avons toujours des plans et des documents à examiner afin de nous assurer qu'ils satisfont à nos exigences; nous continuons toujours à prendre des décisions importantes sur la conception et la construction de nos navires; et nous sommes toujours associés étroitement aux essais et aux activités d'acceptation. De plus, dans le but de mieux tirer profit de ces nouveaux navires plus puissants, le Ministère fait installer une nouvelle génération de systèmes de soutien qui nécessitera aussi la participation de nos ingénieurs: nouveaux centres d'entraînement, systèmes d'assistance logiciels et systèmes de gestion informatisés, pour n'en nommer que quelques-uns. Pour la première fois de ma carrière, je constate que l'avenir de notre marine est assuré et que nous avons, en tant qu'ingénieurs maritimes, à relever les défis et à assumer les responsabilités qu'entraîne un programme stable de construction et de modernisation de navires. Au cours des prochaines dix années au moins, nous aurons plus de travail à accomplir que nous n'en avons jamais eu par le passé. Retroussons nos manches et mettons nous dès maintenant au travail.

Le commodore Saker est directeur du projet de la Frégate canadienne de patrouille.

Sous-marins à propulsion nucléaire pour le Canada

Le choix des FC

par le capitaine Simon MacDowall

De toutes les politiques énoncées dans le récent Livre blanc sur la Défense, peut-être la plus excitante, et certainement celle qui soulève le plus de controverse, a été la décision par le gouvernement canadien d'acheter des sous-marins à propulsion nucléaire (SSN). Cet article examine les raisons d'une telle décision, discute de quelques-unes des inquiétudes exprimées par le grand public et essaie de voir ce que l'acquisition des SSN signifiera pour nos marins.

Trois océans

Pour la majorité d'entre nous, lorsqu'on pense aux océans qui bornent le Canada, l'Atlantique et le Pacifique nous viennent tout de suite à l'esprit. Mais une grande partie de notre territoire est bornée par l'océan Arctique, une région vitale riche dont on ne vient peut-être que d'en réaliser l'importance. Ainsi, lorsqu'on travaille à développer la flotte qui défendra le plus adéquatement nos intérêts maritimes, il faut tenir compte du fait que le Canada est baigné par trois océans dans l'établissement de l'équilibre entre les navires et les aéronefs qui seront employés pour accomplir la tâche.

Au cours des deux dernières décennies, à la faveur du perfectionnement de la technologie nucléaire, l'Arctique est devenu une zone de manoeuvre pour les sous-marins. Les chenaux profonds qui traversent l'Arctique canadien peuvent servir de passages entre les océans Pacifique et Atlantique. En période de tension ou de guerre, des sous-marins ennemis, cachés sous la glace de l'Arctique canadien, poseraient une grave menace à la navigation commerciale. Compte tenu de ces faits, la Marine canadienne doit être en mesure d'établir ce qui se passe sous les glaces de l'Arctique canadien et d'y prévenir les intrusions franchement hostiles ou pouvant revêtir un tel caractère.

À l'heure actuelle, la Marine canadienne n'est pas à même de s'acquitter des rôles susmentionnés, lesquels sont indispensables à notre sécurité et à notre souveraineté. Afin de corriger cette situation et d'autres lacunes de nos défenses maritimes, le gouvernement appliquera un vigoureux programme de modernisation de la Marine. Ce programme aura pour but de donner aux Forces une plus grande souplesse, d'établir un meilleur équilibre entre les ressources aéronavales, sous-marines et de surface, et de faire mener aux forces navales canadiennes des opérations dans les océans Atlantique, Pacifique et Arctique.

Un nouveau sous-marin — SSN ou SSK ?

Les sous-marins nous sont indispensables pour satisfaire à nos besoins actuels et prévisibles en matière de surveillance et de contrôle dans les trois océans. Ils sont un élément clé des forces mixtes requises pour contrecarrer la menace posée par les sous-marins ennemis. Actuellement, notre flotte de sous-marins, tous basés sur la côte de l'Atlantique, a été achetée dans les années 1960 et approche la fin de sa vie utile. Il est évident qu'elle doit être remplacée. Ce qui amène la question suivante : Est-ce qu'un sous-marin classique (SSK) fera l'affaire ?

Pour être en mesure d'y répondre, on doit connaître les différences majeures entre un SSN, qui utilise l'énergie produite par un réacteur nucléaire pour se propulser, et un SSK, qui utilise l'électricité produite, normalement, par des générateurs diesel et emmagasinée dans des

batteries. Certes, les différences sont nombreuses et variées, mais certaines sont plus évidentes que les autres. Ainsi, contrairement au SSK, le SSN peut naviguer à grande vitesse durant de longues périodes sans laisser connaître sa position. Il peut donc arriver dans sa zone de patrouille opérationnelle plus vite et y rester plus longtemps. Le SSN peut également passer plus rapidement d'une zone à une autre, au gré des besoins changeants.

Fondamentalement, le SSK est un véhicule de position, c'est-à-dire qu'il doit se trouver sur les lieux pour effectuer n'importe quel type d'opération. Sa capacité de se déplacer rapidement sur de longues distances pour faire face à de nouvelles situations est limitée. De plus, étant donné que le SSK doit « respirer », il n'a



Le Saphyr, un sous-marin de la classe Rubis de la marine française, près des côtes de la Nouvelle-Écosse. Une autre classe de sous-marins qui retient l'attention du Canada. (IHC 87-028-5 par le caporal Denis Menard)

qu'une capacité limitée de mener des opérations à proximité de la lisière des glaces. Par contraste, le SSN, lui, est un véhicule de manœuvre. Sa vitesse, son autonomie sous l'eau et son invulnérabilité relative lui confèrent une plus grande manoeuvrabilité. Le SSN est également le seul à être capable de naviguer sous la calotte glaciaire du pôle, dans le passage du Nord-Ouest et le bassin arctique. Vu l'étendue des trois océans dans lesquels le Canada doit assurer une présence navale et l'endurance illimitée et la souplesse des SSN, le gouvernement a décidé de faire l'acquisition d'une flotte de sous-marins à propulsion nucléaire, en vue d'accroître l'efficacité globale de la Marine canadienne.

Très sûrs

Les sous-marins à propulsion nucléaire ne présentent aucun danger. Pour certains, cependant, ils évoquent des images de nuages champignons et de désastres «à la Chernobyl». À l'annonce de l'intention du gouvernement de construire une flotte de 10 à 12 sous-marins à propulsion nucléaire (SSN), quelques-unes de ces craintes ont fait surface. De telles inquiétudes sont cependant sans fondement; elles sont le résultat d'une mauvaise connaissance du sujet.

Rôle classique pour la propulsion nucléaire

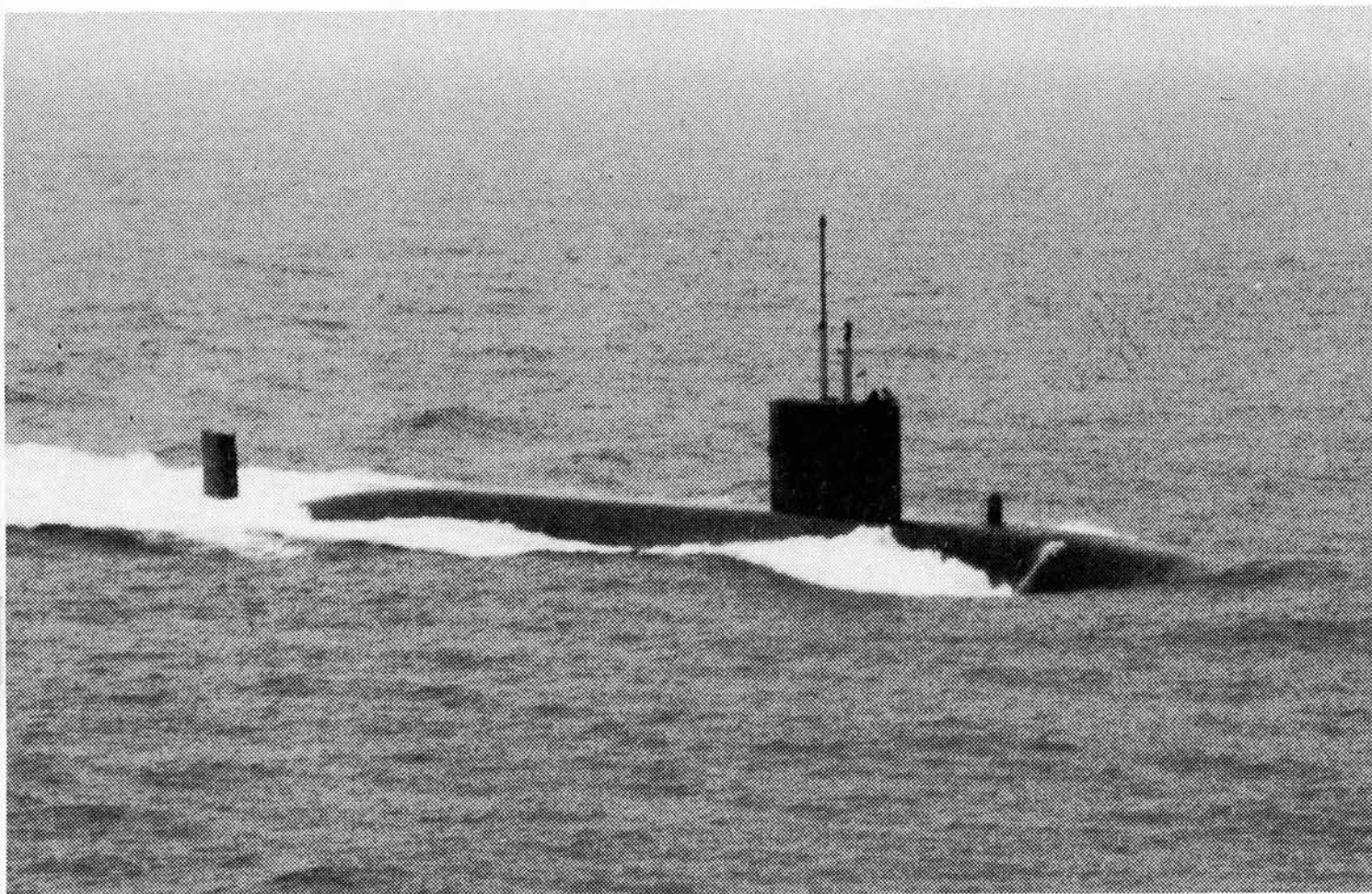
Tout d'abord, un SSN est un sous-marin propulsé par l'énergie nucléaire, ce n'est pas un sous-marin transportant des armes nucléaires. Les SSN canadiens seront munis de torpilles et de missiles antinavires classiques et seront employés dans un rôle semblable à celui de nos sous-marins diesel-électriques actuels. À toute fin pratique, un SSN est un sous-marin classique; la seule chose qui soit nucléaire c'est son système de propulsion. Ce dernier lui permet de demeurer sous l'eau indéfiniment et de se déplacer plus vite tout en étant moins vulnérable que le sous-marin diesel-électrique. La propulsion nucléaire est également le seul système qui permet à un bâtiment de manoeuvrer l'année durant dans l'Arctique.

Craintes non-fondées

Il y a encore certaines inquiétudes face au danger possible résultant de l'emploi d'un réacteur comme système de propulsion. Ces craintes sont également sans fondement. Dans les 34 ans d'histoire de la propulsion nucléaire dans les marines américaine, britannique et française, on a jamais eu à déplorer un accident de réacteur.

Les réacteurs de bâtiments de guerre sont beaucoup plus petits que ceux d'une centrale nucléaire type et ont une puissance nominale inférieure à celle de ces derniers. Ils fonctionnent en outre à des niveaux de puissance moins élevés. Ainsi la quantité de radioactivité pouvant être dégagée par un navire à propulsion nucléaire est, en moyenne, inférieure à un centième de la quantité que peut dégager un réacteur ordinaire de centrale nucléaire. Dans le cas d'un navire, on peut également utiliser de l'eau de mer, dont on dispose en quantité illimitée, pour empêcher le réacteur de surchauffer et d'être endommagé.

On attache une grande importance à la sécurité de nos marins. Les réacteurs de bâtiments de guerre sont construits selon des normes très rigoureuses et sont conçus pour résister aux chocs d'agression et de façon que la sécurité de leurs équipages soit assurée. Le combustible utilisé est d'une très grande intégrité et il peut subir des chocs dynamiques dix fois plus violents que le combustible à usage commercial sans être endommagé. Il est également conçu pour résister aux changements rapides de température et de pression qui se produisent pendant les manoeuvres du navire.



Le HMS Torbay, un sous-marin britannique de la classe Trafalgar, le long de la côte est lors de sa récente visite au Canada. Les sous-marins de la classe Trafalgar sont un des types de sous-marins qui retiennent l'attention du Canada. (IHC 87-025-1 par le caporal Denise Ménard).

Système éprouvé

La faible puissance nominale des réacteurs de bâtiments de guerre et la conception de ces derniers pour qu'ils puissent résister aux chocs d'agression font un système très sûr, ainsi que l'attestent les 3 200 années-réacteurs des programmes à propulsion nucléaire américain, britannique et français.

Le fait que le Canada ait décidé d'acquérir des SSN ne modifie en rien la politique qu'il a toujours suivie. Le SSN est le meilleur bâtiment, rapport coût-efficacité, pour faire face aux sous-marins ennemis de concert avec les autres ressources de la marine. C'est avec un système sûr, qui a fait ses preuves, que notre marine fera son entrée dans le prochain millénaire.

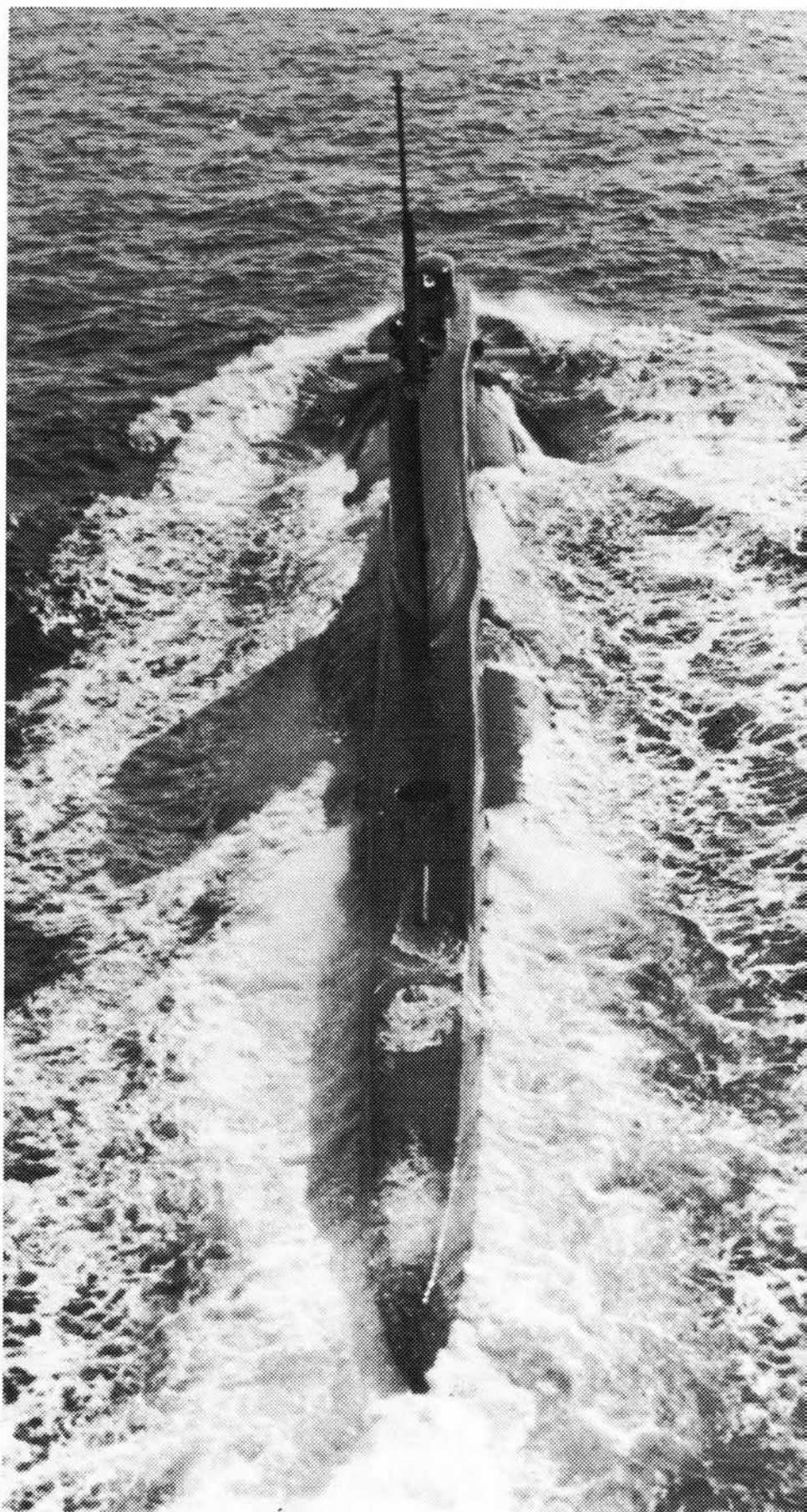
L'impact sur les marins

Nous avons été informés sur ce que l'achat de sous-marins à propulsion nucléaire (SSN) signifiera pour la défense de notre pays : comment les SSN sont la solution la plus rentable pour créer une flotte équilibrée; comment nous pourrions tenir des opérations dans les trois océans; et comment une marine bien équilibrée nous permettra de réagir rapidement pour faire face à une variété de situations. Mais quel impact tout cela aura-t-il sur nos marins ?

En fait, il vaudrait peut-être mieux se demander quels effets cela aura-t-il sur leur enfants. En effet, même si le Canada doit choisir entre le *Rubis* français et le *Trafalgar* britannique d'ici au printemps 1988, la livraison du premier sous-marin ne se fera pas avant la fin de 1996. Il n'en demeure pas moins que la formation débutera avant l'arrivée du premier sous-marin et que plusieurs de nos marins actuels travailleront dans ces bâtiments.

Meilleure qualité de vie

La vie à bord de nos trois sous-marins diesel-électriques est pleine de défis et les agréments sont peu nombreux. La venue du SSN va tout changer. Les défis seront toujours présents, plus nombreux même, mais la qualité de la vie en mer, et à terre, s'améliorera. Finies les émanations omniprésentes de diesel qui aura fait place au système de propulsion le plus propre que l'homme connaisse. Fini également le temps où l'on était à l'étroit et où les marins dormaient empilés au-dessus des torpilles. Chaque marin aura sa propre couchette et le surplus de puissance à bord permettra certains luxes, selon les normes d'aujourd'hui, telles suffisamment d'eau pour laver ses vêtements et profiter de la cuisine dont les installations seront grandement améliorées.



Le NCSM Onondaga, un des sous-marins diesel-électrique de la Marine canadienne qui seront remplacés par des sous-marins à propulsion nucléaire. (ISC 73-686).

La grande autonomie du SSN permettra des périodes en mer plus longues, tout en demeurant submergé beaucoup plus longtemps que les sous-marins actuels. C'est pourquoi il faudra probablement prévoir plus d'un équipage par SSN si l'on veut le garder en mer. Ainsi, bien qu'un marin doive s'éloigner plus longtemps dans une période de temps donnée, il restera plus longtemps à terre et jouira d'une routine plus régulière et prévisible.

Fierté et défi

Une flotte moderne constituera un grand défi. La marine pourra être fière, sachant que l'équipement dont elle dispose est le meilleur qu'elle puisse se procurer. Le marin travaillera avec de l'équipement moderne de haute technologie et se sentira en sécurité parce qu'il sait que le bâtiment dans lequel il se trouve peut résister aux chocs d'agression et qu'il n'a pas d'égale pour conduire à bien sa mission. Les marins de notre flotte devront faire preuve d'une très haute compétence; les récompenses, en retour, seront plus importantes.

Les emplois dans la Marine seront plus variés. En augmentant le nombre de nos sous-marins de trois à un minimum de dix, le nombre de sous-marins augmentera considérablement. Il sera aussi normal de servir dans un sous-marin que ça l'est aujourd'hui de servir sur un destroyer. Les tâches en mer seront également plus variées, le SSN pouvant passer de l'Atlantique au Pacifique en passant par l'Arctique. Une chose est sûre: on ne s'ennuiera jamais.

Dans dix ans, le Canada aura commencé à se munir d'une flotte de sous-marins efficace et moderne pour égaler les améliorations qui sont en train d'être apportées à la flotte de navires de surface. Nos sous-marins jouiront d'une très bonne qualité de vie, en comparaison avec celle d'aujourd'hui. Nos marins feront face à des défis de taille et seront en mesure, munis du meilleur équipement qui soit, de s'opposer à toute menace dans les trois océans qui bornent le Canada.

Le capitaine Simon MacDowall est un officier des affaires publiques attaché à la Direction des services d'information au QGDN.



LES OBJECTIFS DE LA REVUE DU GÉNIE MARITIME

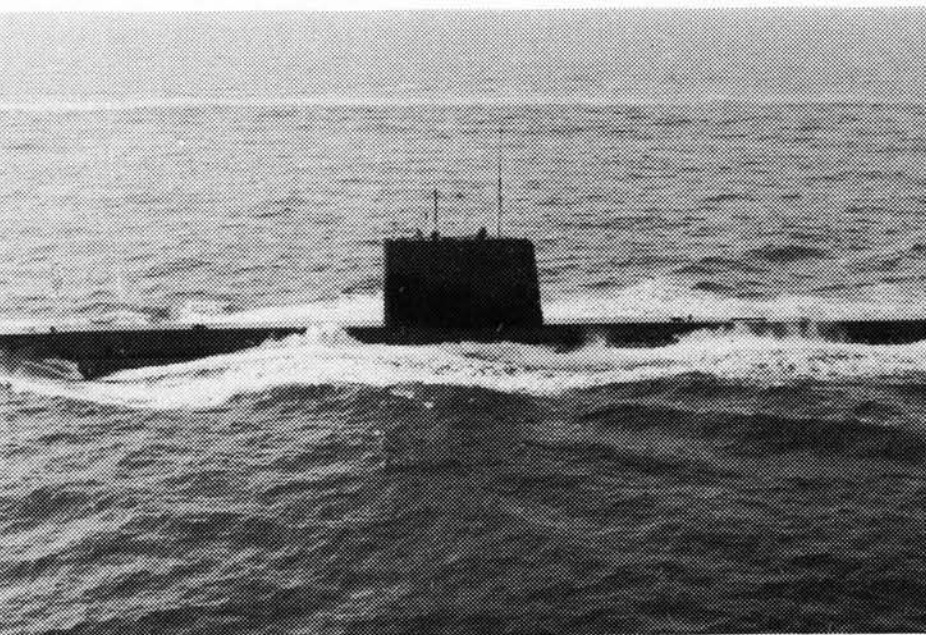
- promouvoir le professionnalisme chez les ingénieurs et les techniciens du génie maritime.
- offrir une tribune où l'on peut traiter de questions d'intérêt pour la collectivité du génie maritime, même si elles sont controversées.
- présenter des articles d'ordre pratique sur des questions de génie maritime
- 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.

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.



La NCSM Onondaga en patrouille dans l'Atlantique Nord. (ISC 73-704).

Les moteurs Stirling et leur emploi à bord de sous-marins

par le lieutenant (M) Richard Sylvestre

Avant-propos

La récente décision du Gouvernement canadien d'acquiescer à une flotte de sous-marins à propulsion nucléaire (SSN) permettra à la Marine canadienne d'être présente dans trois océans; pour ce faire, les sous-marins devront pouvoir naviguer sous les glaces durant de longues périodes, ce que seuls des sous-marins nucléaires peuvent faire actuellement. Cette situation ne devrait pas changer au cours de la période considérée pour le programme canadien d'acquisition de sous-marins (PCAS). Il est néanmoins permis de se demander si cette capacité d'immersion prolongée sous les glaces, caractéristique entraînant un coût très élevé, est nécessaire pour tous les sous-marins que le Canada envisage d'acheter.

Des percées récentes dans le domaine de la propulsion anaérobie (AIP) laissent entrevoir la possibilité d'augmenter de façon significative la durée d'immersion des sous-marins classiques (SSK). Cet accroissement de la durée d'immersion associé au fonctionnement naturellement silencieux de ce type de moteur et au coût moins élevé d'un SSK sont des avantages qui militent en faveur du recours à ce type de sous-marins pour la patrouille côtière et pour les missions secrètes. Compte tenu de la longueur du littoral canadien, une flotte composée de sous-marins nucléaires et de sous-marins classiques semble être la solution. Malheureusement, les moteurs anaérobies étant encore peu répandus et leur fiabilité étant incertaine, il y a une réticence compréhensible à envisager sérieusement cette possibilité. En effet, le mandat du PCAS et du programme SSN interdit l'emploi de technologie qui n'a pas encore fait ses preuves. De ceci découle que les systèmes AIP ne verront pas le jour dans la Marine canadienne avant la fin du siècle.

Cette technologie présente par contre des possibilités intéressantes pour l'avenir. La thèse de maîtrise ès sciences de l'auteur portait sur un type particulier de moteur anaérobie, et ce dans le cadre d'une évaluation de la possibilité d'utiliser un moteur Stirling pour accroître la durée d'immersion d'un sous-marin classique. La simulation du fonctionnement d'un moteur Stirling a permis d'établir que la durée d'immersion d'un sous-marin classique (SSK) de type 2400 serait portée à 8,9 jours avec l'addition d'un système Stirling. Le présent article renferme des extraits de la thèse¹ et il constitue une introduction aux moteurs Stirling et à leur emploi à bord de sous-marins.

Introduction

Au cours de la Seconde guerre mondiale, la nécessité d'accroître la durée d'immersion des sous-marins est devenue évidente. Tous les sous-marins de cette époque étaient propulsés par des moteurs diesels-électriques; les accumulateurs plomb-acide devaient être rechargés chaque jour, ce qui exigeait d'interrompre la mission pour faire surface afin de mettre en marche les moteurs diesels et de recharger les accumulateurs. Ces manœuvres augmentaient les risques de détection du sous-marin et, de ce fait même, réduisaient son efficacité au combat. Les Allemands tentèrent d'accroître la durée d'immersion de leurs bâtiments en étudiant deux types de moteurs anaérobies: d'abord la turbine Walter, qui utilisait les produits de combustion d'un peroxyde dissocié à bas point d'ébullition et d'un carburant à base d'hydrocarbures, puis le moteur diesel Krieslauf à cycle fermé. Ces travaux ont été relégués au second plan en raison de la tournure de la guerre, mais ils ont été repris par les Britanniques dès la fin du conflit. Vers le milieu des années 50, la Royal Navy avait installé une turbine Walter dans deux sous-marins, l'*Explorer* et l'*Excalibur* et elle se préparait à installer un moteur diesel à cycle fermé dans un autre bâtiment. Les travaux sur les moteurs anaérobies ont cependant presque cessé en 1957, alors que le premier sous-marin à propulsion nucléaire était mis en service. Les sous-marins nucléaires promettaient alors, par rapport aux sous-marins classiques, une endurance bien meilleure, une vitesse plus élevée et de meilleures conditions de vie pour l'équipage. Par conséquent, les recherches ont été axées presque exclusivement sur les réacteurs nucléaires.

Aujourd'hui, la plupart des marines du monde alignent encore des sous-marins classiques (SSK) car ils sont plus silencieux et moins coûteux que les sous-marins nucléaires (SSN), mais les récentes améliorations techniques dans les domaines des radars et des systèmes d'armes rendent les sous-marins classiques trop vulnérables compte tenu de leur plus faible durée d'immersion. Il est essentiel de prolonger la durée d'immersion pour réduire au minimum les risques de détection. Pour beaucoup de forces navales du monde, cependant, les sous-marins nucléaires sont technologiquement hors de portée, politiquement inacceptables ou simplement trop coûteux. Par conséquent, les moteurs anaérobies font de nouveau l'objet de recherches visant à en doter les sous-marins classiques. Les différents moteurs actuellement à l'étude dans divers pays incluent le moteur

Stirling, la pile à combustible, le moteur diesel à cycle fermé et le réacteur nucléaire de faible puissance (AMPS).

Le moteur Stirling devrait être opérationnel en premier puisque le chantier naval Kockums et la United Stirling Engineering de Suède doivent terminer vers le milieu de l'année 1988 les travaux effectués sur un sous-marin classique (SSK) de la classe Knacken destiné à la Marine royale suédoise. Des moteurs Stirling sont actuellement installés en rattrapage sur ce sous-marin, ce qui devrait prolonger de façon marquée sa durée d'immersion. L'emploi de moteurs Stirling est donc une question à l'ordre du jour au sein des forces navales de l'OTAN, mais jusqu'à tout récemment, on ne savait que peu de choses quant à l'emploi de ces moteurs à bord de sous-marins. La suite de l'article traite de la conception du moteur Stirling et de l'évaluation qui a été faite en vue de l'installation d'un de ces moteurs dans un sous-marin de type 2400.

Historique du moteur Stirling

Le moteur Stirling a été inventé en 1816 par Robert Stirling, ecclésiastique écossais. Pendant toute sa vie, il participa activement à la mise au point de son moteur, mais il ne vit pas sa commercialisation à grande échelle. Bien que la technologie des matériaux fut la pierre d'achoppement de son projet, Robert Stirling demeura convaincu du potentiel de son moteur.

Vers la fin de sa vie, il écrit ce qui suit: «Il reste à un mécanicien habile et ambitieux de l'avenir à reprendre ces travaux dans des circonstances plus favorables et à les mener à bon terme».

Depuis le mort de Robert Stirling en 1876, le moteur Stirling a été utilisé de bien des façons, mais surtout dans les cas où la puissance requise était faible: ventilateurs, pompes à eau. Dans les cas où il fallait disposer d'une puissance moyenne ou d'une grande puissance, les moteurs à vapeur ou les moteurs à combustion interne étaient choisis parce qu'ils étaient moins coûteux, et ce même si leur rendement était théoriquement inférieur. Le succès que connut le moteur à combustion interne rendit littéralement moribond le développement du moteur Stirling, du moins jusque dans les années 30, époque à laquelle la compagnie Philips des Pays-Bas mit au point un moteur Stirling silencieux et efficace utilisé pour alimenter des postes radio isolés. La mise au point du transistor dans les années 50 a éliminé cette utilisation du moteur Stirling, mais entretemps Philips

avait démontré le potentiel de l'invention de Robert Stirling. De nos jours, presque toutes les compagnies qui se livrent à des travaux de recherche sur le moteur Stirling et qui fabriquent ces moteurs ont d'abord fonctionné sous licence de Philips dans ce domaine. Ces compagnies incluent United Stirling de Suède, MAN/MWM d'Allemagne, General Motors, Ford, Mechanical Technology Inc. et General Electric des États-Unis. Toutes ces entreprises travaillent à mettre au point des moteurs Stirling pour toutes sortes d'utilisations: véhicules, usage sous-marin, espace, énergie solaire et même, médecine. Étant donné l'importance de ces travaux de recherche, ce n'est plus qu'une question de temps avant que les moteurs Stirling commencent à s'accaparer d'une part du marché actuellement occupé en entier par les moteurs à combustion interne. Les difficultés liées aux matériaux ont aujourd'hui été résolues, ce qui permettra bientôt de profiter du rendement supérieur du moteur Stirling.

Fonctionnement du moteur Stirling

Les moteurs Stirling sont des moteurs à combustion externe et ils fonctionnent suivant un cycle thermodynamique fermé à régénération; le fluide utilisé est soumis à une compression et à une détente cycliques, à des températures différentes. Le transfert de chaleur, vers le moteur et hors de celui-ci, se fait par l'intermédiaire de tubes de réchauffement et de refroidissement, respectivement. Le processus

est continu et permet la conversion de la chaleur en travail. Un moteur Stirling se compose de deux sources à volume variable et de trois échangeurs de chaleur à volume fixe. La source chaude assure la détente et la source froide, la compression du fluide. Les échangeurs de chaleur comportent le réchauffeur, le régénérateur et le refroidisseur. Le fluide effectuant le travail est habituellement de l'hélium ou de l'hydrogène car la chaleur massique élevée et la faible densité de ces gaz permettent un transfert de chaleur maximal et des pertes d'écoulement minimales.

Cette description générale est valable pour beaucoup de moteurs fonctionnant suivant le cycle pratique de Stirling. La figure 1 représente un moteur Stirling à double effet. Il est possible de voir la disposition des cylindres et des échangeurs de chaleur de ce moteur à quatre cylindres verticaux. Les quatre pistons entraînent deux vilebrequins reliés par engrenage à un arbre (configuration en U). Les tubes du réchauffeur reçoivent la chaleur provenant des gaz chauds produits dans la chambre de combustion centrale. Le fluide ainsi chauffé se détend dans le haut du cylindre, ce qui force le piston à descendre. Quand le piston remonte, le gaz, maintenant sous faible pression, est chassé vers le réchauffeur, le régénérateur et le refroidisseur et parvient ensuite sous le piston adjacent. Au cours de ce processus, la chaleur est emmagasinée fort efficacement dans le fin treillis métallique du régénérateur pendant que le refroidisseur abaisse la température du gaz.

Le refroidissement du gaz diminue le travail requis pour le comprimer de nouveau à la pression de service avant qu'il repasse dans le régénérateur où il récupère jusqu'à 98 pour cent de la chaleur qui y a été emmagasinée. Chacun des pistons d'un moteur de ce type fait tourner le vilebrequin et comprime le fluide refroidi, d'où la désignation «double effet». La figure 2 montre étape par étape le fonctionnement d'un moteur de ce genre.

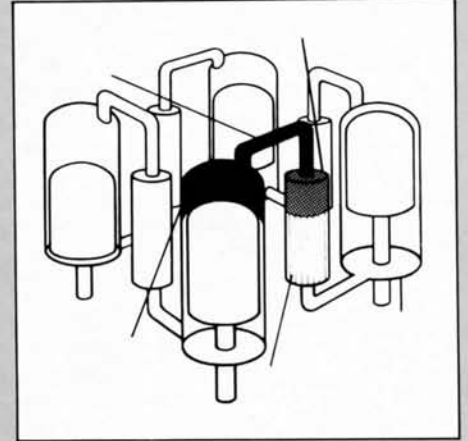


Figure 1. Fonctionnement d'un moteur Stirling à double effet (d'après Nilsson¹)

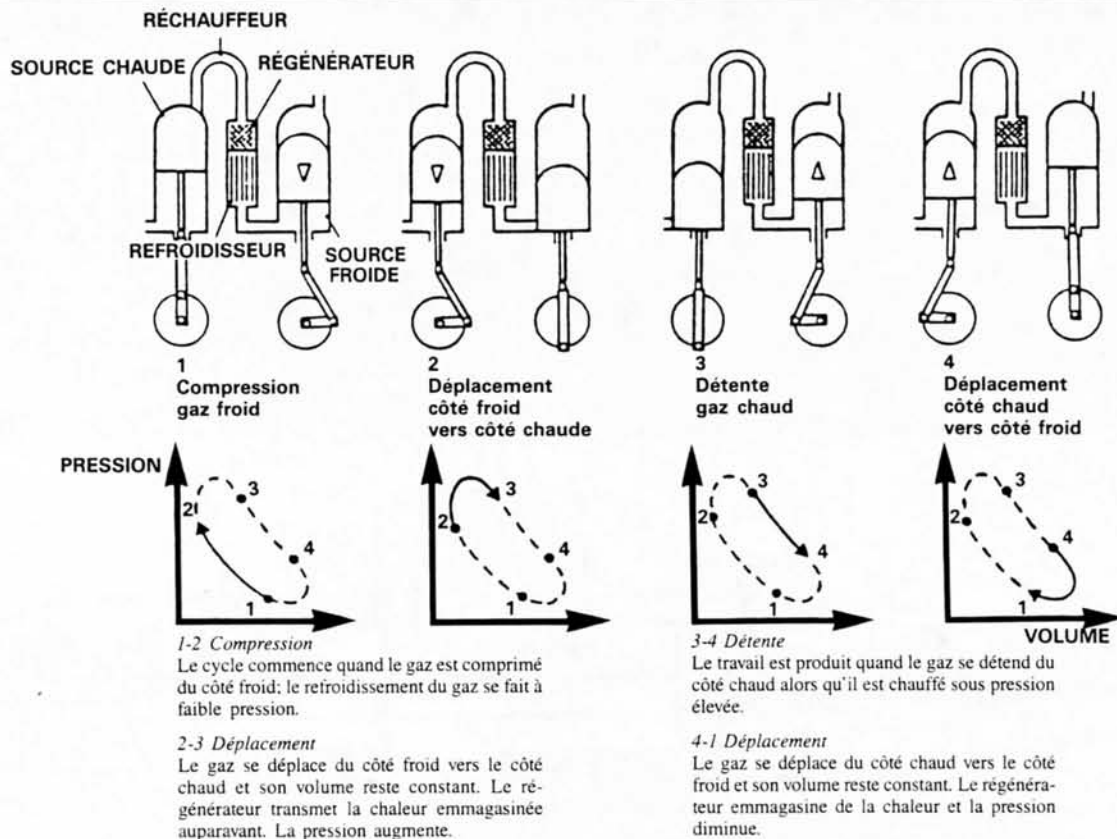


Figure 2. Fonctionnement d'un moteur Stirling (d'après Nilsson¹)

En théorie, un moteur Stirling dans lequel la régénération serait parfaite et sans pertes de chaleur, sans pertes aérodynamiques et sans pertes mécaniques serait conforme au cycle de Carnot, c'est-à-dire qu'il présenterait le plus fort rendement thermique possible dans le cas d'un moteur thermique; le rendement est proportionnel à la différence de température du fluide dans le moteur. En pratique, la régénération n'est pas parfaite et toutes les pertes mentionnées se conjuguent pour réduire le rendement du moteur. Il faut cependant signaler que le rendement thermique réel de certains moteurs Stirling dépasse déjà le rendement de tout autre moteur thermique en production. À mesure que les progrès techniques permettront des températures continues plus élevées dans le cas du réchauffeur, l'efficacité du moteur Stirling s'accroîtra et dépassera davantage celle des autres types de moteurs. Dans le cas particulier des sous-marins, les autres avantages du moteur Stirling sont les suivants:

- Puisque la combustion est continue et qu'elle n'est pas le fait d'une série d'explosions, comme dans le cas des moteurs à combustion interne, le moteur Stirling est très silencieux et ses émissions polluantes sont négligeables.
- Les gaz de combustion n'entrent jamais dans les cylindres, de sorte qu'il n'y a aucun problème relié à la pollution de l'huile ou à la consommation d'huile.
- Comme il s'agit d'un moteur à combustion externe, la combustion peut se faire sous pression, ce qui permet l'évacuation des gaz d'échappement sans recours à un compresseur bruyant et consommant de l'énergie.
- Le moteur Stirling peut brûler n'importe quel carburant.
- Le moteur ne comporte pas de soupapes; il y a donc moins de pièces susceptibles de s'user.

Les moteurs Stirling présentent tout de même des inconvénients qui sont surtout reliés aux pressions et aux températures élevées qu'il faut maintenir pour assurer leur fonctionne-

ment. De nos jours, les problèmes d'ordre mécanique et ceux reliés aux matériaux, qui existent depuis 1816, ont été résolus en grande partie grâce aux recours à des techniques de fabrication très précises et à l'emploi de superalliages coûteux.

Exigences quant aux sous-marins

Dans le cas du sous-marin suédois muni de rattrapage de moteurs Stirling, les nouveaux systèmes constituent des «ajouts». Le sous-marin sera coupé en deux et la nouvelle section sera soudée en place. Si les moteurs donnent satisfaction, les sous-marins suivants seront conçus d'emblée en vue de l'installation des moteurs Stirling. Pour les besoins de la présente étude, la section ajoutée au sous-marin suédois représente le dixième de la longueur du bâtiment.

Le sous-marin

L'évaluation du moteur Stirling aurait pu être faite d'après un sous-marin hypothétique, mais il a été jugé plus réaliste d'utiliser un sous-marin classique (SSK) existant. Un sous-marin du nouveau type 2400 de la Royal Navy a été choisi parce qu'il s'agit d'un bâtiment moderne et que les renseignements à son sujet sont facilement disponibles⁴. La figure 3 montre les différentes parties d'un sous-marin de type 2400. Les principales données requises aux fins de l'étude étaient les suivantes:

Longueur hors-tout	70 mètres
Diamètre de la coque intérieure	7,5 mètres
Déplacement en plongée	2 400 tonnes
Moteur principal	4 megawatts
Vitesse maximale	20 noeuds environ
Volume pour carburant	214 mètres cubes
Accumulateurs	480 × 8 800 Ah
Immersion	Plus de 200 mètres

Les moteurs Stirling et le matériel connexe devaient prendre place dans un ensemble long de 7 mètres et soudé dans la partie centrale parallèle de 7,5 mètres de diamètre du sous-marin, soit entre le poste central et la salle des machines. Le matériel à installer se composait des moteurs Stirling, de l'oxydant, des réservoirs de compensation, des commandes, des systèmes d'évacuation des gaz d'échappement ainsi que de la tuyauterie et des accessoires connexes.

Consommation d'électricité

Puisque les courbes vitesse/puissance requises sont des renseignements classifiés pour la plupart des navires de guerre, des courbes approximatives ont été établies suivant l'approche de Jackson⁵ et en se basant sur les données non classifiées relatives au sous-marin de type 2400. Dans le cas du sous-marin allongé, la consommation d'électricité requise pour maintenir une vitesse de 4 à 5 noeuds a été évaluée à environ 55 kW.

La puissance requise pour la propulsion est relativement faible si on la compare à celle qu'exigent les systèmes internes du sous-marin, les systèmes de navigation et les systèmes d'armes (demande interne). La demande interne des sous-marins classiques modernes et patrouille varie de 100 à 200 kW, selon le degré de silence qu'il faut maintenir: nombre de ventilateurs, de pompes et d'autres accessoires qui peuvent être en marche. En marche ultrasilencieuse, seuls le matériel strictement nécessaire au soutien de la vie ainsi que les systèmes de combat demeurent en service. La marche ultrasilencieuse ne peut être maintenue indéfiniment car l'air qui se trouve dans le sous-marin deviendrait irrespirable. La demande interne est maximale quand le sonar actif, le radar et de nombreux accessoires sont en marche. La demande en électricité varie énormément selon les circonstances et il est très compliqué de l'établir chaque fois avec précision. Aux fins de la présente étude, une consommation moyenne interne de 175 kW a été adoptée à laquelle il convient d'ajouter la consommation nécessaire à la propulsion, ce qui donne un total de 230 kW. Cette consommation n'est pas cons-

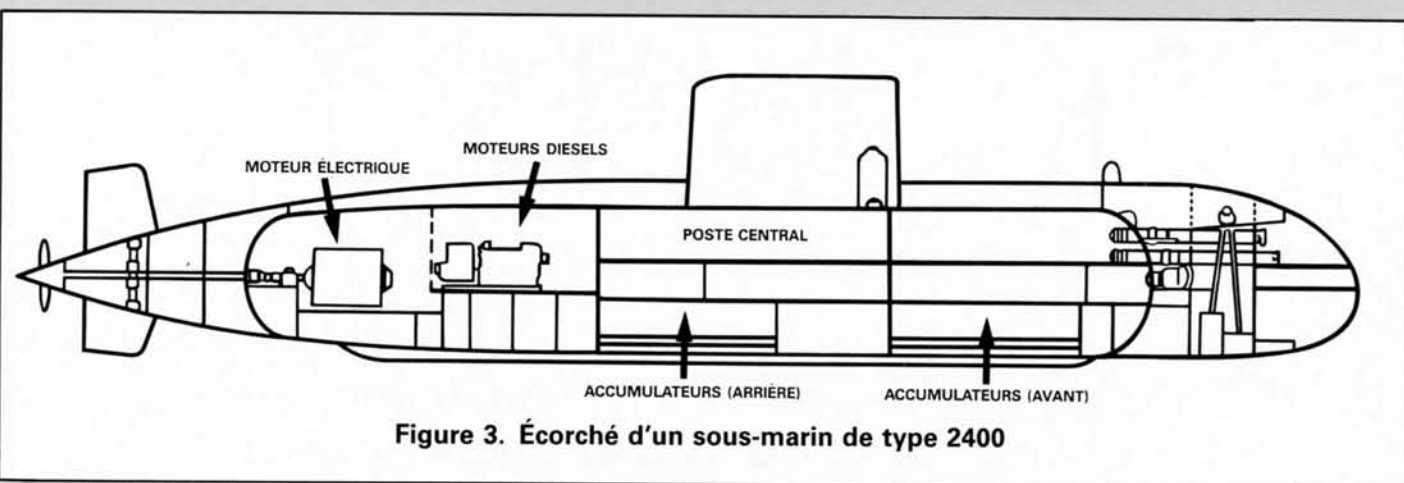


Figure 3. Écorché d'un sous-marin de type 2400

tante car durant certaines périodes, les moteurs Stirling seront stoppés pour réduire au minimum le bruit produit. Pour évaluer cette question, il a fallu établir le profil de la mission du sous-marin.

Profil de la mission

Durant la plus grande partie de sa mission de patrouille, le sous-marin en plongée se déplace à une vitesse de trois ou quatre nœuds afin de pouvoir détecter d'éventuelles cibles. Si une cible est détectée et prise à partie, la vitesse du sous-marin varie en fonction de la situation. Le bâtiment peut presque s'arrêter et passer en marche ultrasilencieuse afin de favoriser l'écoute sans être entendu ou porter sa vitesse à 20 nœuds en prévision de l'attaque ou pour s'échapper. Au cours de la marche ultrasilencieuse, il est préférable de ne pas utiliser les moteurs Stirling car le bruit alors produit pourrait faire la différence entre le fait d'être détecté ou non. À grande vitesse, le bruit causé par la coque du sous-marin et par l'hélice dissimulerait le bruit provenant des moteurs Stirling, mais la prudence exige tout de même de stopper les moteurs Stirling en vue de l'attaque d'une cible. Au cours d'une mission normale de patrouille, la prise à partie de la cible représenterait environ cinq pour cent de la période totale passée en immersion, période au cours de laquelle les accumulateurs fournissent l'électricité. Il faut toutefois maintenir une réserve d'électricité pour le cas où il serait trop dangereux de faire surface à la fin de la patrouille pour utiliser les moteurs diesels.

Un engagement réaliste des points de vue vitesse et temps et dans l'hypothèse d'une période d'immersion de dix jours a été simulé; pour les besoins de la simulation, la propulsion du sous-marin était assurée par des accumulateurs plomb-acide.⁶ L'engagement de la cible représentant jusqu'à cinq pour cent de la période d'immersion, il a été déterminé que le sous-marin disposait d'une réserve d'électricité suffisante pour lui permettre de rester en

plongée pendant plusieurs heures supplémentaires, mais en évoluant à faible vitesse.

Production d'électricité

À bord d'un sous-marin classique, l'électricité provient habituellement des accumulateurs; cette situation serait la même pour un sous-marin équipé de moteurs Stirling. Un moteur Stirling qui entraîne une génératrice reliée aux accumulateurs n'est conçu que pour maintenir la charge de ces accumulateurs à un niveau constant lorsque le sous-marin est en plongée et navigue à faible vitesse. La quantité d'électricité que le moteur Stirling devrait produire a été établie à 240 kW, ce qui permet de maintenir une marge de sécurité, la consommation totale d'un sous-marin en plongée ayant été évaluée, prudemment, à 230 kW.

Le système Stirling peut ne comprendre qu'une seule génératrice, mais cela pourrait constituer un risque sérieux, surtout si le sous-marin ainsi équipé devait patrouiller sous les glaces de l'Arctique canadien. En effet, si la génératrice tombait en panne, le sous-marin, se trouvant sous la glace, pourrait ne plus pouvoir revenir en raison de la trop faible réserve des accumulateurs; cette situation pourrait entraîner la perte du bâtiment et de l'équipage. Conformément aux règles de sécurité normalement appliquées dans le domaine des sous-marins, il faudrait au moins deux génératrices de 120 kW chacune. Ainsi, la panne d'une génératrice entraînera l'arrêt de l'utilisation de tout matériel non essentiel jusqu'à ce que le sous-marin ait regagné les eaux libres. Cette hypothèse signifie que l'efficacité du sous-marin au combat est réduite, mais la sécurité n'est pas indûment diminuée. Pour des raisons de redondance, l'installation de trois génératrices de 120 kW chacune peut être envisagée. Si l'espace le permet, cela peut être la meilleure solution, mais à bord des sous-marins classiques, l'espace est toujours compté. L'installation de deux génératrices a donc été la

solution retenue aux fins de la présente évaluation.

Pour recharger les accumulateurs, il faut disposer d'une source de courant continu (génératrice) ou d'une source de courant alternatif (alternateur), mais avec redresseur à diodes dans ce cas. Aucun de ces agencements ne présente d'avantage marqué par rapport à l'autre, mais les alternateurs étant plus faciles à entretenir, ils ont été choisis. La figure 4 montre la disposition des alternateurs; chacun est muni d'un redresseur monté sur un bus c.c. commun. De cette façon, il n'est pas nécessaire de synchroniser les deux alternateurs entre eux ni par rapport au circuit de distribution c.a. Il demeure néanmoins très important d'utiliser les alternateurs à leur régime nominal afin d'en tirer le maximum d'efficacité. Plus l'efficacité des alternateurs est grande, plus longtemps le sous-marin peut demeurer en plongée, et ce pour une même quantité d'oxydant. Il est donc essentiel que le régime du moteur Stirling et celui de l'alternateur soient tels que l'alternateur fournisse un rendement optimal.

Installation du système Stirling

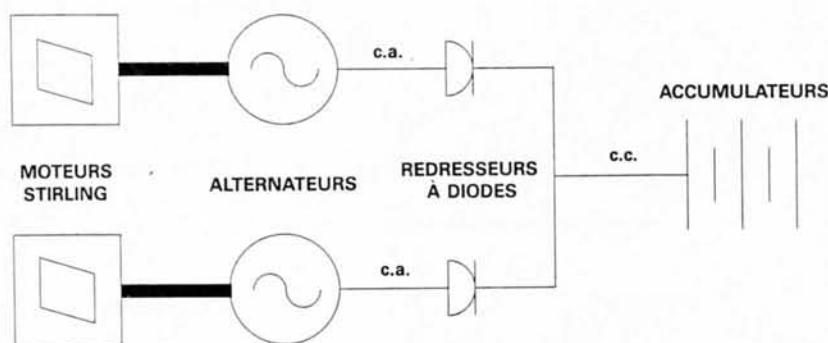
Une fois établies les exigences quant au système Stirling, il fallait encore déterminer si ce système pouvait prendre place dans la section de sept mètres du sous-marin et s'il permettrait d'améliorer la durée d'immersion du bâtiment. Cette partie de l'évaluation comportait plusieurs considérations d'ordre pratique.

Carburant et oxydant

Pour faciliter la logistique et la conception, la mazout de qualité marine a été choisi comme carburant pour le moteur Stirling puisque le sous-marin de type 2400 dispose déjà de beaucoup d'espace pour loger ce carburant. En ce qui concerne l'oxydant, l'oxygène à haute pression (GOX), le peroxyde à bas point d'ébullition (HTP) et l'oxygène liquide (LOX) ont été envisagés. L'utilisation de chacun de ces produits présente des risques, mais il en est de même du carburant et de l'armement qu'emporte tout navire de guerre. Il fallait toutefois réduire au minimum le risque, le coût ainsi que l'espace requis. L'oxygène à haute pression (GOX) a été éliminé car son utilisation exige la présence de réservoirs à très haute pression qui sont très encombrants. Le peroxyde à bas point d'ébullition (HTP) dégage de l'oxygène au cours d'une réaction catalytique exothermique avec l'eau et il s'agit du système de production d'oxygène exigeant le moins d'espace; malheureusement, le produit s'enflamme ou explose au contact de nombreuses substances et, de plus, il est très onéreux. L'oxygène liquide (LOX) a donc été choisi et il est entreposé dans la coque intérieure de la section ajoutée au sous-marin.

En ce qui concerne la quantité requise d'oxygène liquide, les calculs ont été basés sur l'équation définissant la réaction chimique et en considérant un excès d'oxygène de sept pour cent. De la sorte, la combustion devrait être complète sans gaspillage d'oxygène ni rejet de bulles à l'échappement. Une combustion complète exige

Figure 4. Alternateurs



Discussion

Il a été démontré que l'installation d'un système Stirling à bord d'un sous-marin de type 2400 permet de porter la durée d'immersion de ce bâtiment à 8,9 jours. Le système Stirling serait placé dans une section de sept mètres ajoutée au sous-marin.

Deux points importants n'ont cependant pas été étudiés en détail; il s'agit de la stabilité et de l'habitabilité du sous-marin. La stabilité s'entend surtout de la flottabilité du bâtiment et de la possibilité d'en modifier l'assiette pour pouvoir plonger et faire surface. La flottabilité neutre doit pouvoir être obtenue en tout temps sinon le sous-marin ne pourra plonger ou, contrairement, coulera. Par conséquent, le poids de la section ajoutée doit être compatible avec la poussée verticale. De plus, il doit être possible de compenser le poids de l'oxygène liquide utilisé ainsi que les différences de densité de l'eau de mer. Dans ce dernier cas, les réservoirs existants du sous-marin de type 2400 suffisent à compenser; cependant, pour compenser le poids de l'oxygène liquide consommé, deux réservoirs de compensation ont été prévus (figure 5). L'assiette du sous-marin (proue orientée vers le haut ou vers le bas) au moment des manoeuvres de surface réduit au minimum les risques de chavirage inhérents à ces manoeuvres. L'ajout de la nouvelle section au sous-marin rendra peut-être nécessaire une modification de ces réservoirs. Des calculs approximatifs¹ ont toutefois indiqué que les modifications structurales requises pour garantir la stabilité pouvaient être faites sur le sous-marin de type 2400.

L'habitabilité du sous-marin doit être conforme aux règles en matière de sécurité, et ce pour toute la durée d'immersion. Cela signifie que la qualité de l'air doit être assurée avec beaucoup de soin. Une partie de la réserve d'oxygène liquide peut être utilisée pour les besoins de l'équipage, mais l'oxyde et le dioxyde de carbone doivent être éliminés à l'aide de brûleurs et d'épurateurs, ce qui accroît la consommation d'énergie.

La présente étude a porté sur un sous-marin de type 2400 pour des raisons de commodité, mais elle serait tout aussi valable pour tout autre sous-marin classique. L'important est que le moteur Stirling a un énorme potentiel et les autres moteurs anaérobies aussi, sans doute. Dans le cas du moteur Stirling, toutefois, la preuve pourrait être faite bientôt par la Marine royale suédoise ou la société Comex de Marseille en France; cette dernière installe actuellement à bord d'un sous-marin civil des moteurs Stirling United identiques à ceux mentionnés dans la présente étude. Pour la Marine royale suédoise, le coût de la section ajoutée au sous-marin, dans laquelle se trouvent deux systèmes Stirling, est d'environ 20 millions de dollars. Ce montant ne représente qu'environ cinq à dix pour cent du prix d'un sous-marin classique moderne, bâtiment coûtant approximativement moitié moins cher qu'un sous-marin nucléaire. Il semble donc clair que les diverses possibilités que présente une flotte composée de sous-marins nucléaires et de sous-marins classiques munis de moteurs anaérobies ainsi que l'économie associée à ce choix ne peuvent que constituer des avantages pour le Canada. Mais, tout indique que la preuve de la technologie telle que spécifiée par PCAS, si elle se présente, arrivera trop tard pour les prochains sous-marins Canadien.

Ouvrages de référence

1. Sylvestre, R.A., «*Increasing the Submerged Endurance of a Conventional Submarine Using a Stirling Generator System*», thèse de maîtrise ès sciences, RNEC, Plymouth, Angleterre, 1987.
2. Walker, G., «*Stirling Engines*», Clarendon Press, Oxford, 1980.
3. Nilsson, H., «*Submarine Power Systems Using the V4-275R Stirling Engine*», document présenté à l'Institute of Mechanical Engineering, Londres, le 29 janvier 1987.

4. Wrobel, P.G., «*Design of the Type 2400 Patrol Class Submarine*», The Transactions of the Royal Institution of Naval Architects, Volume 127, Londres, 1985.
5. Jackson, H.A., «*Submarine Parametrics*», RINA International Symposium on Naval Submarines, Paper 3, Londres, 1983.
6. Wormald, R.E., «*A Modern Conventional Submarine Propulsion System Simulation*», thèse de maîtrise ès sciences, RNEC, Plymouth, 1987.
7. Lefebvre, A.R., «*Gas Turbine Combustion*», Hemisphere Publishing Corporation, Washington, 1983.
8. Polak, P., «*Designing for Strength*», Macmillan Press Ltd., Londres, 1982.



Le lieutenant (M) Sylvestre a reçu son baccalauréat en génie mécanique du Collège militaire royal en 1981 et sa maîtrise ès génie naval du RNEC de Plymouth en 1987. Il a servi comme officier subalterne de mécanique navale (A/MSEO) et comme officier adjoint de mécanique navale (D/MSEO) à bord du NCSM Huron et il a enseigné la théorie des systèmes de contrôle à l'École de la flotte des Forces canadiennes, à Halifax. Le lieutenant Sylvestre travaille actuellement à la section des moteurs de démarrage du DMGE 2.

La "grande" inspection

Il y a de cela plusieurs années, on a chargé un jeune vérificateur de coques de procéder à une inspection de routine de la vedette de l'amiral. Le vérificateur, qui ne connaissait pas les embarcations de bois, mais qui tenait à faire bonne impression, a entrepris d'exécuter la "grande" inspection. Il a retenu les services de plusieurs charpentiers de marine, qui l'ont aidé à enlever et à sonder les pièces principales de la vedette dans le but de détecter des défauts éventuels. Après avoir mis beaucoup plus de temps qu'il n'en faut pour procéder à l'inspection, le vérificateur et ses aides en sont venus à la conclusion que la vedette de l'amiral présentait très peu de défauts et était dans un état exceptionnel. Malheureusement, la "grande" inspection avait laissé l'embarcation dans un état tel qu'il n'aurait pas été rentable de remplacer les pièces qui avaient été enlevées. La vedette de l'amiral a donc été déclarée inutilisable.

M. Clyde Noseworthy
Vérificateur de coques principal
Unité de génie maritime (Atlantique)

Vous voulez partager une anecdote avec nous?
Faites-nous la parvenir (voir notre adresse à la page 1).

Le chaînon manquant dans la conception des systèmes

par le Cdr Roger Cyr

SYSTÈME: Un ensemble comprenant tout le matériel d'exploitation, les modules, les pièces ou accessoires, y compris le logiciel et les interfaces homme-machine, organisés de manière à effectuer une fonction opérationnelle spécifique.

Introduction

Le progrès le plus important dans l'évolution des systèmes de combat a certainement été l'introduction des ordinateurs intégrés. L'exploitation des systèmes de combat modernes au niveau de performance prévu repose en très grande partie sur les ordinateurs intégrés et sur le logiciel intégré; au cours de la dernière décennie, ces ordinateurs sont devenus une composante intégrante de tout système important d'armement et de détection. On prévoit que le nombre de systèmes de combat de l'USN équipés de processeurs intégrés passera de 10 000 en 1980 à 250 000 en 1990, les dépenses passant de 4.1 milliards de dollars à 38 milliards

de dollars. Il est à souligner que les frais de logiciel correspondent à 85% des dépenses prévues en 1990.

L'importance acquise soudainement par les ordinateurs intégrés et par le logiciel intégré est à l'origine de problèmes majeurs dans le développement et l'implantation de systèmes de combat fiables et exempts d'erreur. Plus le logiciel intégré s'impose comme le meilleur moyen d'améliorer la fiabilité et la performance, plus les systèmes de combat se complexifient et deviennent vulnérables à une défaillance catastrophique. Le logiciel remplace donc le matériel à titre de composante majeure des systèmes de combat et devient aussi le principal goulot d'étranglement du développement. Les systèmes de combat dépendent tellement du logiciel que les notions logicielles, et non les notions systémiques, dominent maintenant leur développement.

Avant la récente révolution logicielle, la pratique courante voulait que l'on conçoive un système de haut en bas, en tenant compte de tous les éléments et méthodologies de conception.

Toutefois, la nécessité de production du logiciel nécessaire nous a fait oublier récemment les étapes fondamentales de conception. La conception du logiciel s'effectue maintenant à l'étape qui devrait être celle de la conception du système et impose même dans certains cas la configuration du système. Le logiciel n'est donc plus un élément de soutien du processus de conception et est en fait le facteur principal, à l'exclusion de tous les autres facteurs de conception. Le logiciel devait accroître la versatilité du système, mais il devient en fait son talon d'Achille.

Défauts des systèmes

La meilleure méthode de conception (Figure 1) commence par l'évaluation des besoins et par l'analyse de tous les éléments qui peuvent influencer sur la structure du système, mais on tend aujourd'hui à court-circuiter les techniques de conception traditionnelles. Plutôt que de tenir compte des besoins systémiques, les entrepreneurs se contentent de choisir le matériel disponible et développent ensuite le logiciel qui

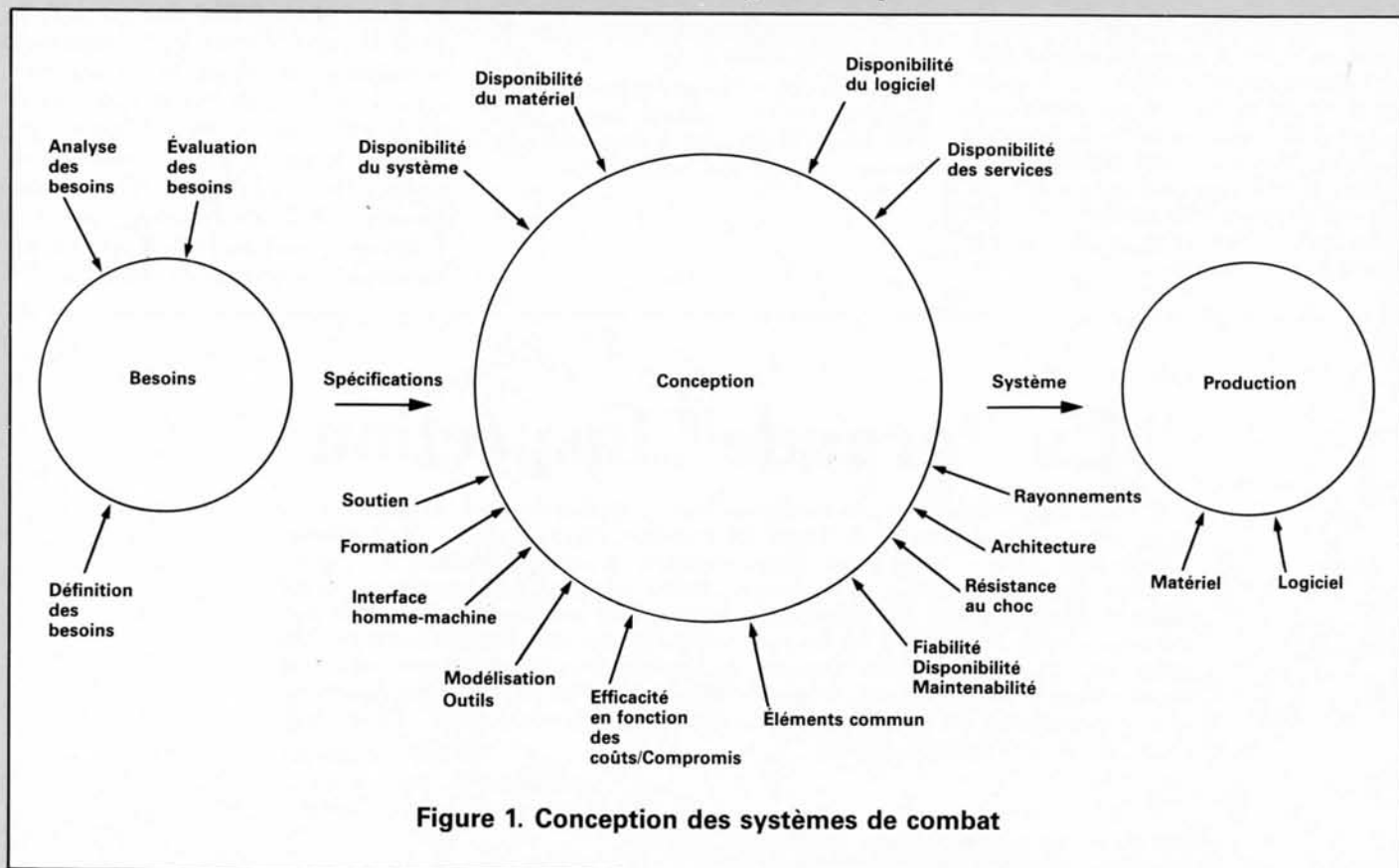


Figure 1. Conception des systèmes de combat

permettra d'adapter le matériel et autant que possible de le faire fonctionner, ou de compenser ses déficiences. On obtient ainsi un système fragmenté qui comporte les défauts suivants:

- les besoins sont mal définis
- les limites du système sont imprécises
- la performance du système est inadéquate
- les contraintes de maintenance sont irréalistes
- les frais du cycle de vie du système augmentent substantiellement.

Le rôle initial du logiciel était d'accroître la polyvalence des systèmes puisque l'on pouvait modifier le logiciel à peu de frais et facilement. Toutefois, la chose n'est plus vraie dans la plupart des systèmes puisqu'il est maintenant plus facile de modifier le matériel que le logiciel. Le logiciel doit donner à un système sa polyvalence et son adaptabilité. On ne doit pas définir le niveau de performance maximal d'un système d'après les limites d'un logiciel. Si on laisse les approches logicielles définir la structure du système, les caractéristiques propres au système disparaissent.

La structure du système couvre les éléments matériels et logiciels, qui doivent être liés de très près. Pourtant, on étudie souvent ces éléments séparément dans les projets d'envergure. Il semble que cela découle en grande partie de l'absence d'une organisation systématique dans les bureaux de projet (BP).

Une approche de conception fragmentée

La structure des BP est fragmentée du point de vue de la conception systémique (Figure 2), ce qui influe certainement sur la fonction de conception: le fait que les éléments de soutien ne soient pas directement intégrés à l'organisation du système de combat est un défaut important.

Certains systèmes de combat dépendent plus particulièrement de méthodes solides de conception des systèmes. Lors de l'implantation de ces systèmes, on doit prévoir spécifiquement leur intégration et leur utilisation finale, de manière à atteindre les niveaux de perfor-

mance prévus. La performance découlant de l'implantation par rapiéçage peut être sous-optimale.

Supposons par exemple que l'on n'ait pas recours aux méthodologies de conception des systèmes pour l'implantation du bus série SHINPADS; on perd alors plusieurs des caractéristiques de SHINPADS comme, par exemple, la capacité de survie, la polyvalence et les possibilités d'expansion. Le recours à une approche inappropriée d'implantation de SHINPADS peut produire une charge de traitement trop lourde dans les ordinateurs reliés au bus, ce qui réduit substantiellement la vitesse du transfert des données entre ces ordinateurs. Dans ce cas, le bus de données agit presque comme un bus d'ordinateur, un rôle pour lequel il n'est pas conçu, ce qui réduit d'autant sa performance.

L'optimisation de l'emplacement des systèmes de combat dans un navire est un autre aspect de la conception des systèmes que l'on a tend à négliger. En conséquence, on dépasse souvent les distances de séparation maximales des interfaces, ce qui nécessite l'ajout de convertisseurs pour compenser la distance supplémentaire, ce qui augmente le nombre de points de défaillance potentielle.

Organisation fondée sur les systèmes

Dans une organisation fondée sur les systèmes (Figure 3), toutes les fonctions liées au système sont centralisées en une structure qui satisfait aux nécessités de conception du système. Les services communs à tous les secteurs de guerre sont réalisés de manière matricielle et les sections responsables des services communs communiquent avec les sections du secteur de guerre approprié pour les conseils et le savoir-faire pertinents au sous-système.

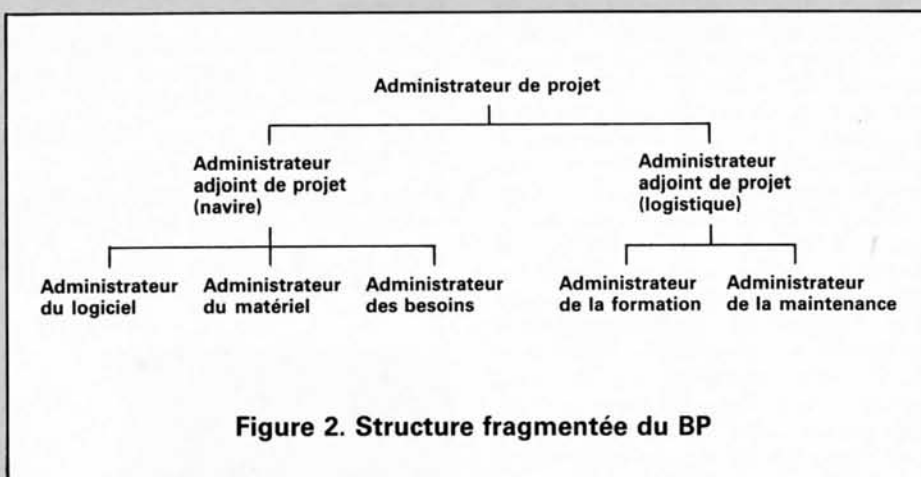


Figure 2. Structure fragmentée du BP

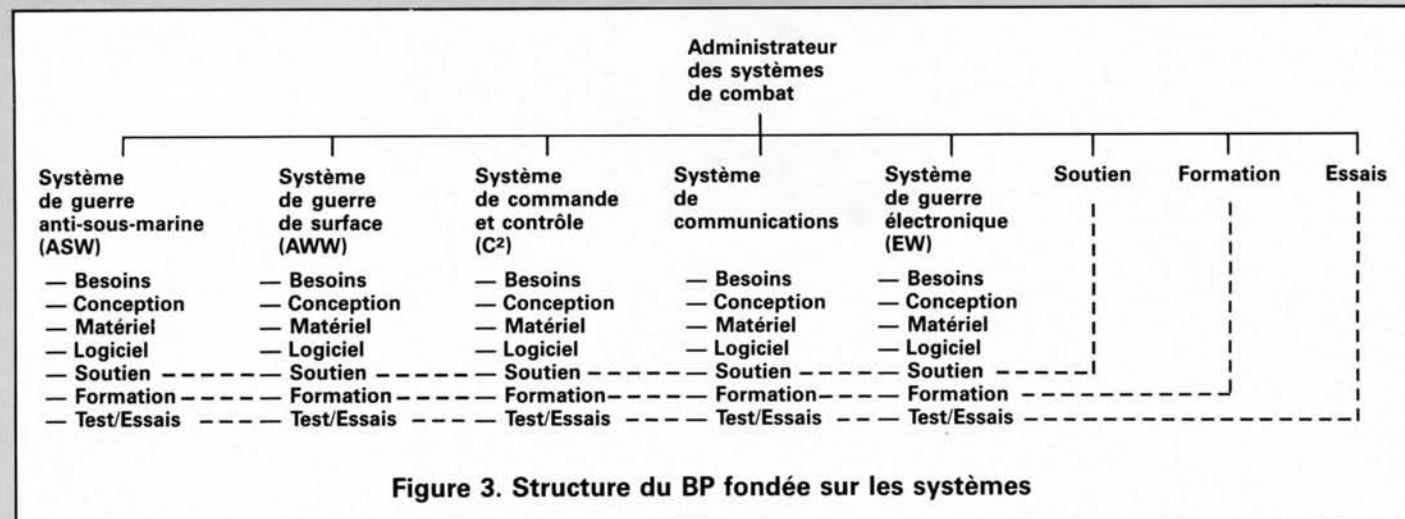


Figure 3. Structure du BP fondée sur les systèmes

Étapes de conception des systèmes

Besoins liés au système	Conception et analyse des systèmes	Concept préliminaire	Concept détaillé	Développement du système	Intégration et essai du système	Acceptation formelle	
Spécification de la performance fonctionnelle	Plan de développement du système	Documents du concept préliminaire	Documents du concept final	Manuels de l'utilisateur/procédures d'essai	Résultats des essais	Résultats de performance du système	Produit
Révision des besoins systémiques	Révision du développement du système	Révision du concept préliminaire	Révision du concept critique	Révisions des procédures d'essai	Révision des essais de préparation	Révision de l'acceptation	Révisions

Figure 4. Étapes de conception des systèmes

En plus d'une organisation fondée sur les systèmes, on doit adopter une approche fondée sur les systèmes (Figure 4) à l'étape de mise en oeuvre du projet. (Bien qu'on prêche souvent cette approche, on l'adopte rarement.) Selon cette approche, le matériel et le logiciel sont traités comme des composantes qui s'influencent mutuellement, mais qui ne déterminent pas individuellement la structure du système. La méthode systémique considère chaque système comme un tout intégré, bien qu'il se compose de structures et de sous-fonctions diverses et spécialisées. Elle attribue de plus à tout système un certain nombre d'objectifs et l'équilibre entre ces objectifs peut varier d'un système à l'autre. Ces méthodes visent à optimiser le rôle global du système en fonction d'une pondération des objectifs et à obtenir la comptabilité maximale des composantes.

Conclusion

On doit éviter le recours à une approche fragmentée lors de la conception et du développement des systèmes puisqu'elle peut entraîner le développement de sous-systèmes indépendants et incompatibles. Une bonne planification adopte une structure globale qui assure la cohérence du concept architectural, des méthodes, des normes et des autres éléments communs importants pour l'implantation et l'exploitation. Le système global doit être conçu comme une série de sous-systèmes intégrés et de composantes qui soient assez souples pour s'adapter aux changements.

Références

1. Ada as a Design Language, Technical Committee on Software Engineering of the IEEE Computer Society, 18 septembre 1985.
2. Defense System Software Development, DOD-STD-2167A, 15 août 1986.
3. Orr, K.T., *Structured System Development*, Yourdon Press, New York, 1977.
4. Chestnut, H., *Systems Engineering Methods*, John Wiley and Sons, New York, 1967.



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

Programme d'essai du système de combat des Frégates canadiennes de patrouille

par le Lt (M) David MacDougall

Introduction

Le point commun de toutes les futures Frégates canadiennes de patrouille peut ne pas être le système intégré de commande ni le système intégré de commande des machines, comme on pourrait le penser au premier abord, mais bien le programme entièrement intégré d'essai car celui-ci vise autant le matériel que les logiciels de tous les systèmes installés à bord de ces navires, système de combat inclus. Les essais faisant partie du programme ont lieu pendant toute la durée du projet FCP et ils se font suivant un ordre croissant d'importance en commençant par le matériel et les logiciels et en terminant par le navire comme tel muni de tous ses systèmes intégrés. Ce programme d'essai englobe même les installations terrestres d'appui liées au projet FCP.

Le but du présent article est d'expliquer la raison d'être du programme d'essai spécialement mis sur pied dans le cadre du projet FCP; l'historique de ce programme sera aussi abordé. Comme le programme est extrêmement étendu, le présent article ne traitera que de la partie du programme d'essai qui s'applique aux systèmes de combat.

Le système de combat des Frégates canadiennes de patrouille (figure 1) peut, automatiquement, détecter et évaluer une menace, assurer la poursuite et choisir l'armement le plus apte à contrer cette menace; le temps de réaction est ainsi minimal et l'efficacité de l'armement, maximale, quelle que soit la situation tactique. Le système de combat se compose de détecteurs, de systèmes d'armes, de systèmes de communication et de systèmes de soutien et tous ces composantes sont reliés à l'aide du système intégré de commande.

De cette capacité découle un système complexe, et le programme d'essai du projet FCP fait appel à des méthodes structurées et intégrées pour y arriver. Un plan d'essai qui débute par l'échelon du bas assure la preuve de la performance des sous-systèmes. Un plan intégré voit à ce que tous les éléments du projet FCP seront traités uniformément et avec efficacité.

Historique

L'objectif de tout programme d'essai est de s'assurer qu'un matériel, un sous-système ou un système remplissent bien les fonctions pour les-

quels ils ont été conçus. Dans le cas des Frégates canadiennes de patrouille, les spécifications à respecter figurent dans le contrat et il incombe à l'entrepreneur* de prouver au MDN qu'elles ont été respectées.

Dans le cas du projet FCP, le but principal du programme d'essai est de réduire le risque de problèmes au moment de la mise en service des systèmes et de maintenir à un minimum le temps requis pour les essais à bord des navires.

* Le maître d'oeuvre du projet FCP est la Saint John Shipbuilding Limited. La Société Paramax Electronics Inc. de Montréal est le sous-traitant en matière de système de combat des Frégates canadiennes de patrouille.

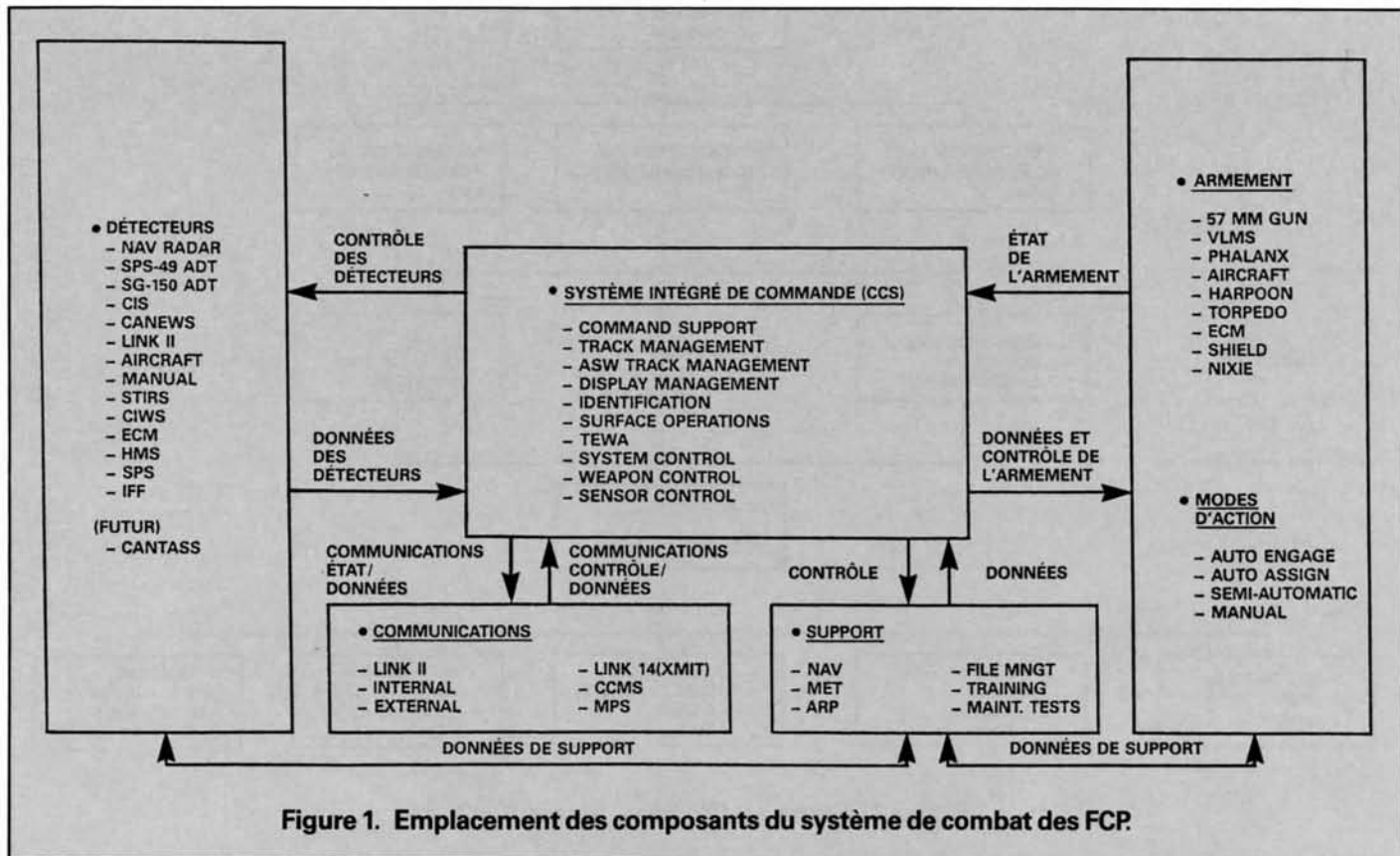


Figure 1. Emplacement des composants du système de combat des FCP.

Les essais ont lieu suivant un ordre logique et par ordre croissant de complexité du matériel. Les étapes sont les suivantes :

- a. Essais par le fournisseur.
- b. Essais dans les installations à terre.
- c. Essais à bord des navires.

Pour réduire les risques de problèmes, cinq étapes principales ont été prévues en ce qui attrait aux systèmes de combat de la FCP :

1. Essais portant sur l'installation de soutien aux essais du système de combat (CSTS).
2. Essais au cours de la construction des navires.
3. Essais à quai et en mer.
4. Essais incitatifs.
5. Essais des installations connexes.

Toutes ces étapes sont reprises plus en détail dans le présent article.

Programme d'essai — projet FCP

Le programme définit les modalités selon lesquelles le système de combat des frégates doit être testé au CSTSF, dans d'autres installations à terre ainsi qu'à bord des navires, et ce afin de s'assurer du respect intégral des spécifications.

Les inspections et les essais du système de combat comptent cinq niveaux :

Niveau 1 — Inspection à la réception. Les inspections visent à s'assurer visuellement que le matériel ainsi que la documentation reçus au CSTSF et aux installations de l'entrepreneur. Ce niveau fait partie du programme d'assurance de la qualité et, donc, n'est pas inclus dans le programme général d'essai. Par ailleurs, les représentants du service d'assurance de la qualité surveillent les opérations pour le compte du Gouvernement.

Niveau 2 — Inspections et essais pendant l'installation. Les essais et les inspections de ce niveau portent sur le matériel, le câblage, les guides d'ondes, la tuyauterie, la ventilation, etc. et ils visent à s'assurer que les travaux d'installation ont été effectués conformément aux règles approuvées par le BP FCP. Ce niveau fait aussi partie du programme d'assurance de la qualité et les inspections sont effectuées par les représentants du service d'assurance de la qualité.

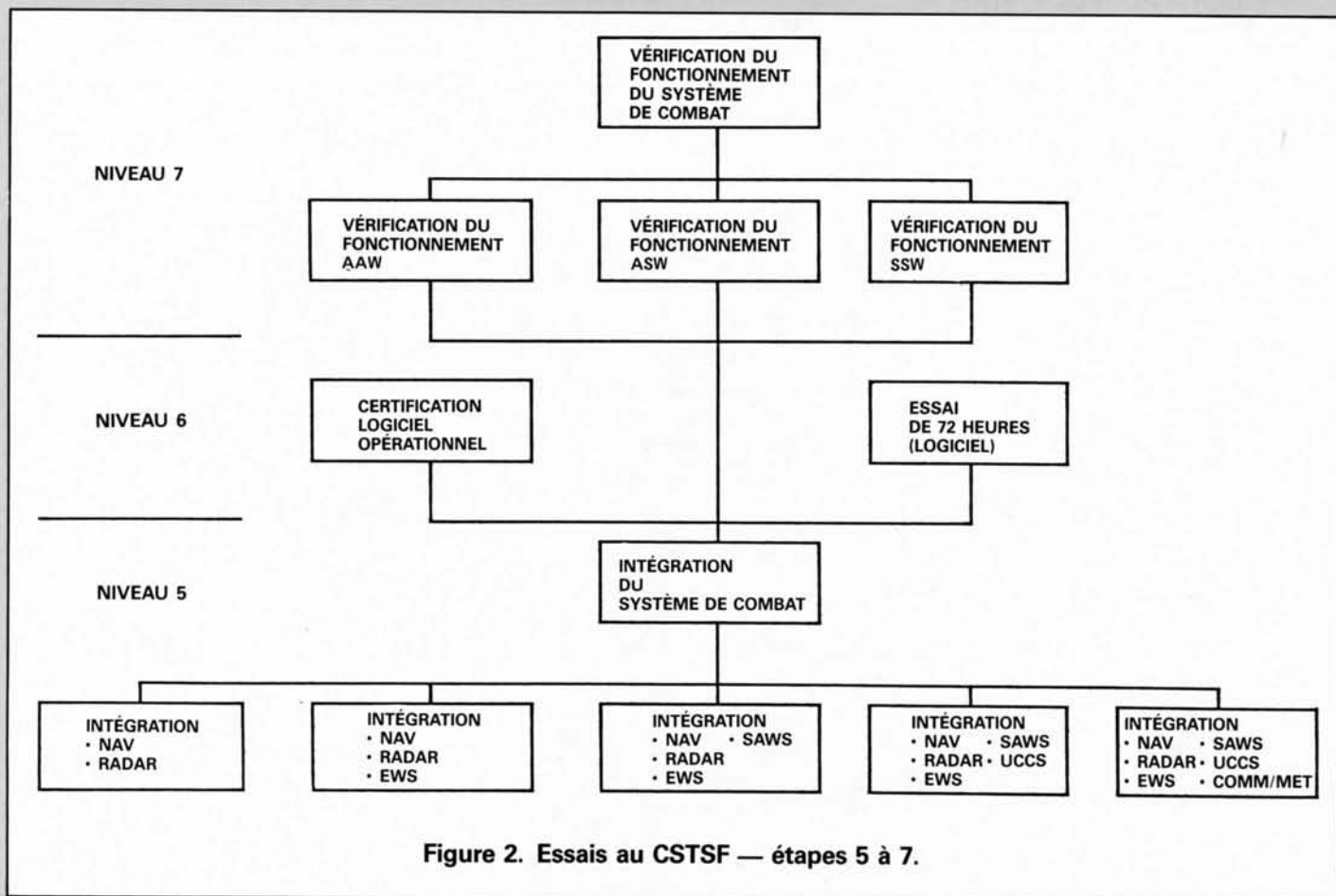
Niveau 3 — Inspections et essais du matériel installé. Les essais de fonctionnement prévus au niveau 3 visent à s'assurer que le matériel remplit bien les fonctions pour lesquelles il a été conçu. Ces inspections et ces essais sont indépendants de ceux qui tou-

chent les système complet. Les travaux inclus dans ce niveau s'appliquent à la mise en oeuvre du matériel et ils font partie du programme d'essai. La surveillance des essais relève du service d'assurance de la qualité, mais les représentants du MDN qui appartiennent à des groupements d'ingénierie sont présents.

Niveau 4 — Essais des composants d'un système. Les essais prévus au niveau 4 visent à s'assurer que le matériel composant un système fonctionne correctement, suivant les limites et les tolérances prescrites. Les essais indépendants d'intégration du matériel et la certification ainsi que le débogage des logiciels se font à ce niveau. La surveillance des essais relève du service d'assurance de la qualité, comme pour le niveau 3.

Niveau 5 — Essais de plusieurs systèmes. Les essais prévus au niveau 5 visent à s'assurer que deux systèmes ou plus sont correctement reliés et qu'ils fonctionnent correctement, suivant les spécifications. Les essais d'intégration de ces systèmes et la certification ainsi que le débogage des logiciels se font à ce niveau. La surveillance des essais relève du service d'assurance de la qualité, comme pour le niveau 3.

Niveau 6 — Essais à bord du premier navire de la classe. Les essais prévus au niveau 6



ont lieu à bord du premier navire de la classe et ils visent à s'assurer que les systèmes donnent toute satisfaction, des points de vue conception et rendement. Si les résultats sont concluants, la conception et le rendement des systèmes sont jugés satisfaisants et ces essais ne porteront pas sur les autres navires de la classe. De nouveau, la surveillance des essais relève du service d'assurance de la qualité, comme pour le niveau 3.

Niveau 7 — Essais de fonctionnement. Les essais prévus au niveau 7 visent à s'assurer que les systèmes du navire fonctionnent correctement; ces essais ont lieu au CSTSF, à l'aide de simulations si nécessaire. Le fonctionnement du navire n'est cependant entièrement vérifié qu'à la fin des essais en mer prévus au niveau 7. Une fois les essais prévus à un niveau jugés concluants, il est permis de passer aux essais du niveau suivant; les essais prévus à chacun des niveaux sont ainsi effectués de façon à s'assurer que les navires et les installations donnent toute satisfaction.

Il faut souligner que les essais et les programmes d'essai mutuellement exclusifs, c'est-à-dire distincts et adaptés à un matériel donné, sont préparés par l'entrepreneur dans le cas des niveaux 3 à 7. Les essais prévus aux niveaux 4 et aux niveaux suivants comportent une partie spécialement destinée à l'essai des logiciels.

Pour les niveaux 1 et 2, les inspections faites au CSTSF incombent au 207^e détachement des services techniques des Forces canadiennes. Tous les autres essais effectués au CSTSF se font sous la surveillance des inspecteurs du MDN faisant partie du BP FCP Ottawa ou du DGGMM. Les trois derniers niveaux concernant le CSTSF sont décrits à la figure 2.

Les essais portant sur des installations, comme le CSTSF, le centre de formation sur système de combat et l'installation de soutien pour l'artillerie, sont effectués par l'entrepreneur qui doit prouver que chaque installation répond parfaitement aux besoins.

D'autres essais ont également lieu, comme les essais d'acceptation effectués en usine. Ces

essais sont faits par un sous-traitant, dans ses installations, et ils visent à s'assurer que le matériel fourni satisfait aux spécifications indiquées dans le contrat. Les essais ont lieu sous la surveillance de techniciens et de représentants du service d'assurance de la qualité de Paramax et de représentants de Saint John Shipbuilding et du MDN. Des rapports sont rédigés à la suite des essais et ces rapports font état de toute défaillance du matériel ou de tout écart par rapport aux spécifications. Ces rapports permettent aussi de déceler les écarts pouvant exister en matière de conception, ce qui permet de prendre les mesures correctives.

Programme d'essai — CSTSF

Les secteurs de simulation matérielle (PMU) et de simulation fonctionnelle (FMU) du CSTSF (figure 3) sont utilisés à trois fins:

- La certification des programmes informatiques.
- L'intégration du matériel et des programmes informatiques.

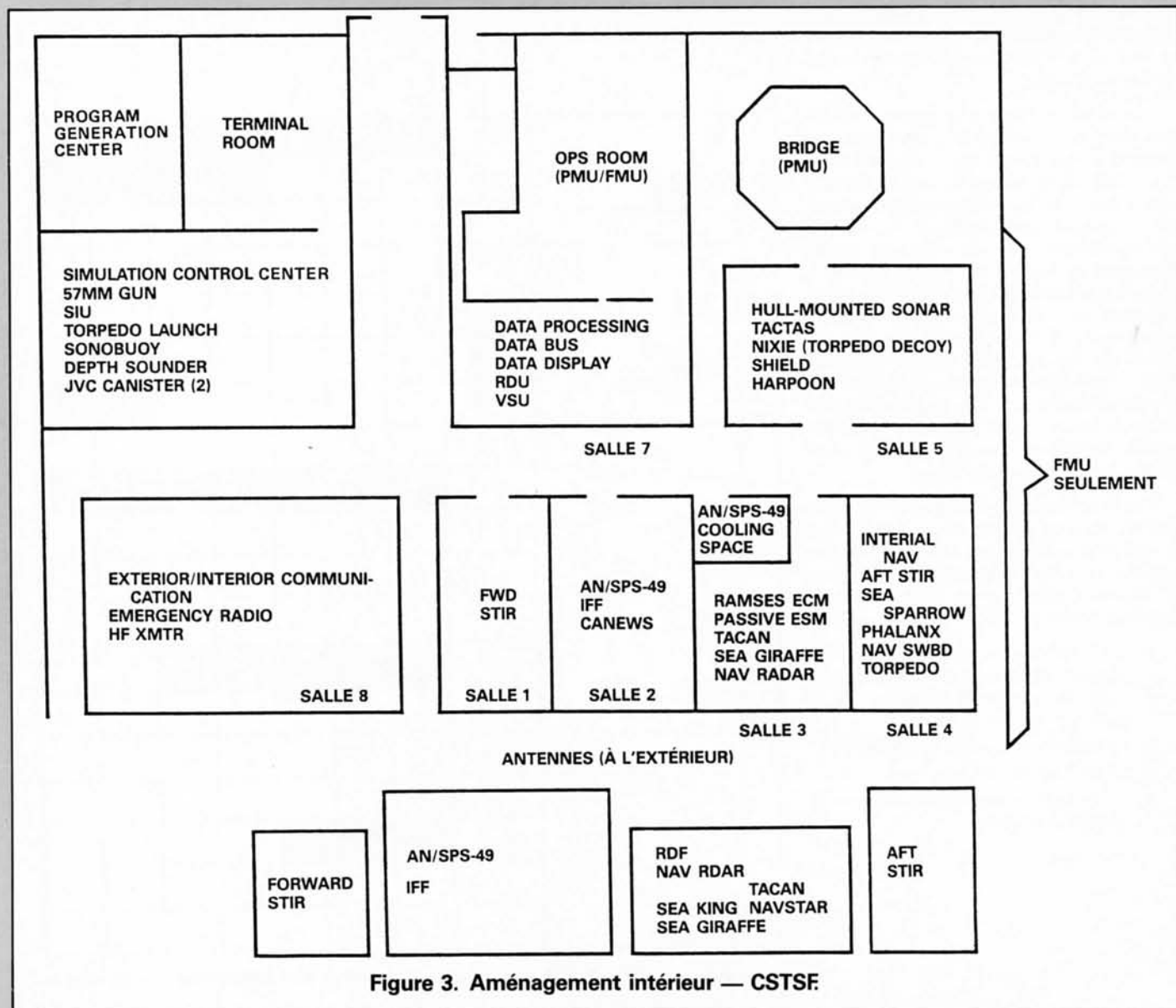


Figure 3. Aménagement intérieur — CSTSF

- c. La mise au point et validation des consignes pour les essais à bord des navires.

Les travaux effectués dans les secteurs réservés aux PMU/FMU se répartissent en quatre étapes qui, nécessairement, se recoupent.

Ces étapes sont les suivantes:

- Installation et vérification du matériel.
- Mise au point et certification des logiciels.
- Intégration des systèmes.
- Mise au point et certification des méthodes d'essai.

Le principal objectif des travaux effectués au CSTSF est de s'assurer qu'une fois un système de combat installé à bord d'une frégate de patrouille, ce système peut être mis en service le plus rapidement possible après un minimum d'essais à bord du navire, et ce en dérangeant le moins possible la poursuite d'autres travaux. Pour atteindre cet objectif, la mise au point du système intégré de combat des frégates de patrouille se fait au CSTSF, à l'aide de simulations si nécessaire. Le premier système de combat opérationnel (PEO) ainsi obtenu constitue une plate-forme expérimentale permettant la mise au point et la vérification des logiciels et des méthodes d'essai.

Les méthodes d'essai de ce premier système de combat opérationnel (PEO) sont définies par Paramax et approuvées par le chantier naval (Saint John Shipbuilding); l'accord du BP FCP est essentiel. Une fois les méthodes d'essai vérifiées, elles sont jugées acceptables si les essais sont satisfaisants. Ces méthodes sont ensuite consignées par écrit, ce qui constitue le premier document descriptif du programme d'essai; ce document doit être approuvé par le BP FCP. Les systèmes de combat destinés à être installés à bord des six premières frégates (01 à 06) doivent subir des essais dans la salle de préparation finale du CSTSF. Ces essais doivent permettre de s'assurer que l'intégration de chaque système de combat avec le système de commande du navire est parfaite.

L'installation et la vérification du matériel (INCO) dans les secteurs PMU et FMU sont suivies d'essais répartis en trois étapes et ces essais sont effectués de la même façon que ceux des navires. L'installation et la vérification se font dans l'ordre suivant:

- Les différents composants sont regroupés et une inspection a lieu dans le cadre du programme d'assurance de la qualité, avant l'installation.
- Le matériel est installé et branché.
- Le matériel est mis sous tension.
- Les paramètres sont vérifiés alors que le matériel fonctionne.

En résumé, les objectifs des essais qui ont lieu au CSTSF sont les suivants:

- S'assurer que le matériel fonctionne conformément aux spécifications indiquées dans les documents contractuels.
- S'assurer de la parfaite intégration du système de combat.
- Recueillir des preuves du bon fonctionnement du matériel de façon que le premier système de combat opérationnel de Paramax Inc. soit accepté par le chantier naval (Saint John Shipbuilding).

Programme d'essai à bord des navires

Les essais qui ont lieu au CSTSF permettent de s'assurer que le matériel fonctionne correctement lorsque les conditions d'essai sont contrôlées et peuvent être répétées, mais ces essais sont limités du fait que l'installation se trouve à terre. La vérification finale du fonctionnement a lieu à bord du navire, au cours des essais en mer.

L'objet des essais d'intégration à bord du navire est de vérifier la validité des résultats déjà obtenus au cours d'essais à terre.

Essais en cours de construction. Ces essais sont effectués par le chantier naval (Saint John Shipbuilding) ou son représentant au cours de la construction des navires. Ils incluent des inspections structurales ainsi que des essais, des inspections avant et après installation et des essais de mise en marche du matériel et d'intégration du matériel. Toutes ces activités sont coordonnées par le chantier naval suivant son propre programme d'inspection et d'essai. La figure 4 indique la position de ces catégories par rapport aux essais des étapes 1 à 7.

Des essais à quai et en mer sont effectués par le chantier naval (Saint John Shipbuilding) ou par le BP FCP (pour le compte du chantier naval) afin d'évaluer le fonctionnement du matériel, des sous-systèmes et du navire. Les essais du navire comportent trois catégories, qui sont les suivantes:

Catégorie 1. Ces essais sont entièrement effectués par le chantier naval, qui fournit aussi les installations et les ressources nécessaires.

NIVEAU		1	2	3	4	5	6	7
PI	CAT I	■	■	■	■	■	■	
	II				■	■	■	■
	III							
PII	CAT I							
	II							
	III						■	■
PIII	CSTSF	CAT I	■	■	■	■	■	■
		II						
		III						
	CSTC	CAT I	■	■	■	■		
		II						
		III						
	GSF/PTC	CAT I	■	■	■			
		II						
		III						

Figure 4. Répartition des essais par pièce, par catégorie et par étape.

Catégorie II. Ces essais sont entièrement effectués par le chantier naval, mais le Gouvernement fournit des ressources ou des services particuliers.

Catégorie III. Ces essais ont lieu après l'armement du navire; ils sont effectués par le BP FCP pour le compte du chantier naval. Le BP FCP fournit des ressources ou des services particuliers. Le chantier naval est responsable du fonctionnement des systèmes et il doit effectuer les éventuelles réparations requises conformément aux termes de la garantie figurant dans le contrat.

L'acceptation du système par le Gouvernement canadien a lieu à la fin des essais des catégories I et II. L'acceptation est toutefois sujette à l'exécution d'essais particuliers et à l'élimination d'éventuelles anomalies, renseignements qui figurent dans le rapport d'inspection. Les essais de la catégorie III et les essais incitatifs suivant l'armement du navire font aussi partie des essais particuliers mentionnés dans le rapport.

Les essais incitatifs peuvent être prévus et effectués par le chantier naval ou le BP FCP, selon la catégorie. Ces essais permettent à l'entrepreneur de prouver que le système ou les sous-systèmes atteignent ou dépassent les critères de fonctionnement mentionnés dans les spécifications faisant partie des documents contractuels.

Dans ces cas, le profit de l'entrepreneur est augmenté en fonction de la qualité de fonctionnement du matériel livré. Les essais incitatifs effectués à bord du navire n'ont lieu qu'à bord du premier navire. Les essais faisant partie de la catégorie III doivent être faits moins de dix-huit mois après la livraison et l'acceptation du premier navire.

Essai des installations

L'entrepreneur doit effectuer les essais des installations à terre utilisées dans le cadre du projet des Frégates canadiennes de patrouille. Il doit aussi préparer un calendrier de ces essais et le présenter au BP FCP pour approbation.

Les essais des installations sont effectués par le chantier naval (Saint John Shipbuilding) ou son représentant se trouvant dans les installations et les installations visées sont les suivantes:

- a. Installation d'essai et de soutien — système de combat (Montréal).
- b. Installation de formation du personnel (Halifax). Cette installation comprend ce qui suit:
 - 1) Centre de formation sur système de combat (CSTC).
 - 2) Centre de formation sur système de propulsion (PTC).
- c. Installation de soutien — artillerie (Dartmouth).

Les essais des installations visent à s'assurer que ces installations conviennent aux besoins spécifiés. Certains essais portent sur les bâtiments même, c'est-à-dire la structure et les services et d'autres portent sur le matériel ou les systèmes (matériel et logiciel) destinés aux frégates et devant être soumises à des essais dans ces installations.

Comme mentionné précédemment, il existe deux installations à terre, autres que les PMU/FMU du CSTSF, dans lesquelles ont lieu des essais, et ces deux installations font partie de l'École de la flotte des Forces canadiennes (Halifax). Il s'agit surtout d'installations destinées à la formation, bien que certains essais puissent s'y faire pour appuyer les essais effectués aux PMU/FMU ou pour résoudre certains problèmes qui surviennent à bord des navires.

Le centre de formation sur système de propulsion, situé, comme le centre de formation sur système de combat, dans l'installation de formation du personnel, renferme un simulateur du système intégré de commande des machines (IMCS) fourni par Paramax. Le simulateur se compose d'une partie du système intégré de commande (IMCS), d'un ordinateur pour la simulation, de la console de l'instructeur, des émulateurs du panneau de commande du technicien et des périphériques requis pour utiliser le système.

L'équipement du centre de formation sur système de combat vient en dernier dans le cadre du projet FCP. Cette dernière partie exige le transfert, des PMU/FMU de Montréal à Halifax, sous la responsabilité de Paramax, de tout le matériel acheté par le Gouvernement. La marche à suivre détaillée pour le démontage du matériel et son expédition est en cours de préparation.

Le plan d'installation au centre de formation sur système de combat est aussi en cours de préparation, comme le plan des PMU/FMU. Une fois le plan d'installation terminé ainsi que la vérification et la préparation finale des PMU/FMU et une fois que l'usage aura sanctionné le tout, le matériel subira les modifications jugées nécessaires pour installation au centre de formation sur système de combat.

L'installation de soutien pour l'artillerie (GSF), située dans le bâtiment 21 du dépôt d'armement naval de Dartmouth, renferme le canon Bofors de 57 mm, l'armement de défense rapprochée, une partie des lanceurs ainsi que les salles de cours, le tout destiné à former le personnel qui utilisera et entretiendra l'armement. L'installation de tout le matériel se fait suivant un programme d'essai qui inclut l'assurance de la qualité et touchant le bâtiment ainsi que le matériel qui s'y trouve. Un autre programme d'essai permet de s'assurer que l'installation, la vérification et la préparation finale du matériel destiné aux frégates et situé dans le GSF sont conformes aux exigences.

Remarques finales

Le programme d'essai du projet FCP permet de s'assurer que les systèmes et les installations requis dans le cadre du projet FCP sont conformes ou dépassent les exigences figurant dans le contrat. Il incombe à l'entrepreneur de prouver le bon fonctionnement des systèmes destinés aux frégates de patrouille.

Ce programme d'essai a été conçu en fonction de la parfaite intégration des systèmes comme l'illustre bien le fait qu'un même programme régit tous les essais effectués au CSTSF, à bord des navires ou ailleurs.

Le résultat de tous ces efforts d'intégration est que le navire, les systèmes, les sous-systèmes et le matériel atteignent ou dépassent les exigences mentionnées dans les documents contractuels.

Références

1. CPF Concept of Operations, Test and Trials, PMO CPF, janvier 1987.
2. CPF Implementation Contract, 29 juillet 1983.



Le lieutenant David MacDougall est l'officier responsable des essais du MDN à l'installation de soutien des essais du système de combat (CSTSF), chez Paramax Electronics, à Montréal.



Exigences influant sur la conception des réducteurs à engrenages destinés à la Marine canadienne

par D.K. Nicholson, Ing. P.

Document adapté d'un exposé présenté au « Naval Propulsion Gearing Symposium » tenu à Royal Schelde, Vlissingen, Pays-Bas, les 3 et 4 septembre 1987.

Introduction

En 1950, grâce à son destroyer d'escorte de classe St-Laurent (DDE-205), la Marine royale canadienne fut présumément la première marine à utiliser pour toute une classe de navires des réducteurs à engrenages rectifiés et ayant subi une trempe superficielle. Cette pratique s'est poursuivie pour les classes suivantes de destroyers, jusqu'aux destroyers de classe COGOG (DDH-280). Certains milieux ont peut-être été surpris lorsque la Marine canadienne a convenu d'utiliser, en 1983, des réducteurs à engrenages à chevrons arasés et à développante de cercle, de type « acier dur sur acier doux », dans son programme relatif à la Frégate canadienne de patrouille.

Le présent document vise à présenter un survol et une appréciation des exigences changeantes et de leur influence sur le type de réducteurs à engrenages destinés à la Marine canadienne et sur sa construction au cours des 35 dernières années, surtout en ce qui a trait à la réduction du bruit. Bien qu'on ait généralement pensé que les exigences concernant les réducteurs à engrenages destinés à la Marine canadienne visaient à inciter le développement technologique, celles-ci, en réalité, sont établies simplement en fonction des résultats réalisables à un coût abordable.

Exigences dominantes

La figure 1 montre comment les exigences dominantes influant sur la conception des réducteurs à engrenages ont changé depuis l'avènement de la classe DDE-205. En plus du degré élevé de fiabilité — la plus importante exigence à laquelle doivent satisfaire tous les réducteurs à engrenages destinés à la marine — les réducteurs destinés aux navires de type Y-100 et de classe DDE-205 devaient surtout faire l'objet d'une diminution de poids et d'encombrement. Ces exigences ont certainement joué un rôle important dans le cas d'un destroyer de 2 600 tonnes et ont nécessité la mise au point d'un réducteur à engrenages dont la denture offrait la plus grande résistance possible à la rupture (par exemple les engrenages rectifiés ayant subi une trempe superficielle).

	DDE-205 (1952)	DDH-280 (1966)	FCP (1983)
Fiabilité	●	●	●
Poids et encombrement minimums	●		
Faible bruit		●	●
Coût de durée utile			●

Figure 1. Réducteur principal — Exigences dominantes

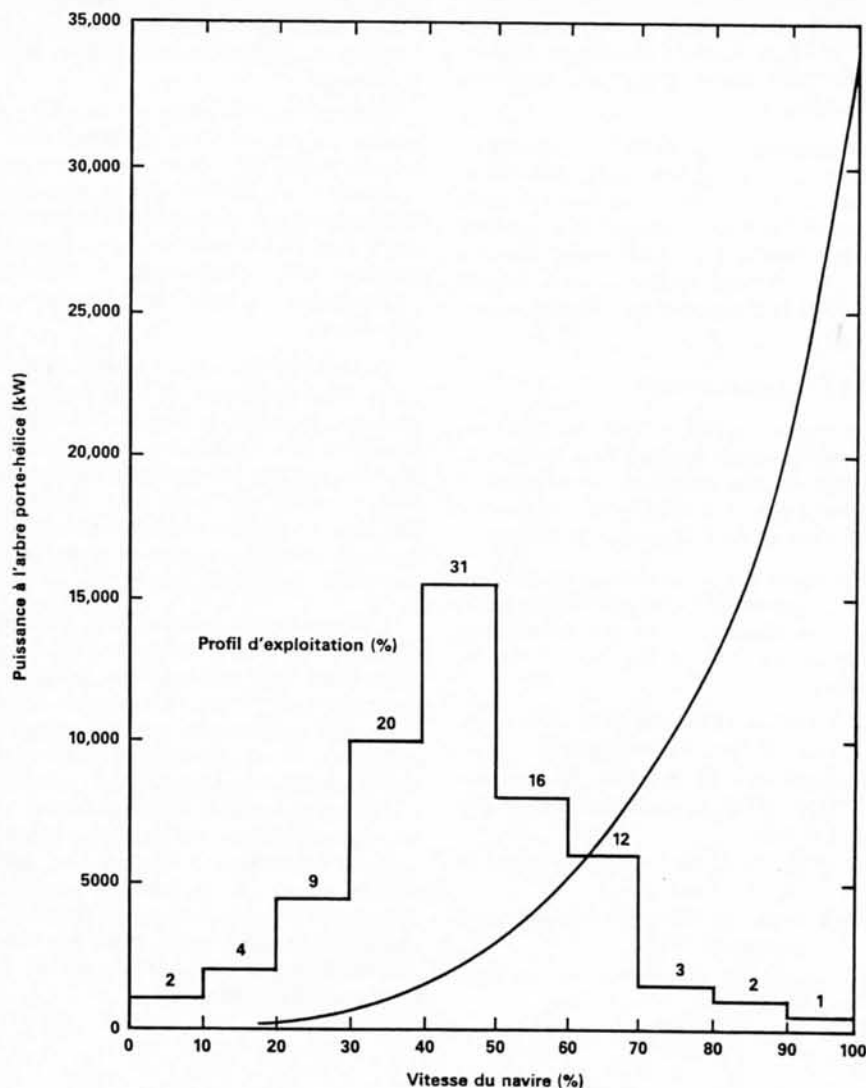


Figure 2.

Le faible niveau de bruit ne constituait pas une exigence sur le St-Laurent (DDE-205). À l'époque, en raison de la politique de disponibilité de l'industrie pour répondre aux besoins de la défense, les coûts ne constituaient pas un facteur dominant pour la mise en oeuvre d'installations pour la construction au Canada de réducteurs à engrenages destinés à la Marine.

Vers 1966, au moment de choisir le type de réducteurs à engrenages pour la classe DDH-280, les exigences en matière de lutte anti-sous-marine prescrivaient le maintien des niveaux de bruit et de vibrations des machines à leurs valeurs minimales. Ces niveaux ont pu être atteints sur la classe DDH-280 grâce à des engrenages rectifiés et ayant subi une trempe superficielle; cependant la résistance à la rupture spécifique de la denture des engrenages était plus faible; il fallait donc un encombrement et un poids spécifiques plus grands que dans le cas de la classe DDE-205. (Ces valeurs étaient admissibles pour un navire de 4 500 tonnes.)

Dans le cas de la Frégate canadienne de patrouille (FCP), d'un déplacement nominal de 4 600 tonnes, la conception du réducteur à engrenages principal et son type ont surtout été motivés par les exigences de bruit faible — beaucoup plus rigoureuses que pour le DDH-280 — et par les coûts, y compris les coûts de durée utile. Les considérations de faible encombrement et de poids réduit étaient aussi importantes, mais n'étaient pas des facteurs dominants dans ce cas.

Cas du réducteur à accouplement transversal

À la suite de la crise du pétrole de 1973, la consommation de combustible et les coûts prévus de ravitaillement pendant la durée utile du matériel ont grandement influé sur le choix des installations de propulsion. Dans le cas de la FCP, des facteurs comme les coûts d'investissement et d'exploitation en service ont largement contribué à favoriser l'utilisation de réducteurs à engrenages à accouplement transversal, assurant ainsi une utilisation optimale d'un seul moteur et de deux arbres.

La figure 2 montre une courbe type de puissance/pourcentage de vitesse d'un destroyer ayant un déplacement nominal de 4 600 tonnes. On y retrouve en superposition, un profil de vitesse type de destroyer indiquant le pourcentage de temps passé à chaque incrément de vitesse. On constate que le navire est exploité aux deux tiers du temps à la moitié de la vitesse maximale ou moins. Dans 90 % du temps, le navire est exploité aux deux tiers ou moins de sa vitesse maximale.

La figure 3 montre le pourcentage de vitesse réalisable pour un certain nombre de configurations des machines étudiées pour la FCP, notamment: deux turbines à gaz principales, deux turbines à gaz de croisière, une turbine à gaz principale et un diesel de croisière. En étudiant la consommation de combustible des machines (voir la figure 4) en barils par heure pour

ces quatre configurations, on peut facilement apprécier l'économie de combustible réalisée à partir du fonctionnement d'une seule turbine à gaz principale ou d'un seul diesel de croisière. L'exploitation avec un seul moteur réduit la consommation de combustible et l'entretien des moteurs; cependant, il convient de disposer d'un réducteur à engrenages à accouplement transversal pour entraîner les deux arbres porte-hélice, car une hélice non entraînée peut produire une trainée et un degré de bruit inacceptables.

La figure 5 compare la consommation de combustible pendant la marche à 15 noeuds de chacun des quatre modes ou configurations de machines utilisées. Une simple économie d'un baril de combustible par heure peut représenter une économie annuelle de plus de 100 000 dollars (U.S.) par navire selon les plus récents prix du combustible.

Poids et encombrement

Des propositions présentées en matière de réducteurs à engrenages rectifiés et trempés superficiellement, au moins une a été jugée capable de satisfaire aux exigences rigoureuses quant aux niveaux de bruit et de vibrations. Étonnamment, l'acceptation de la proposition relative au réducteur à engrenages «acier dur sur acier doux» arasés et à développante de cercle ne s'est pas faite au dépens d'une addition indue de poids et d'encombrement. La taille de la roue principale qui doit transmettre le couple maximum à l'arbre porte-hélice, donne une bonne indication de la taille et du poids du réducteur à engrenages.

La figure 6 compare la taille de roues principales et de poids spécifiques de réducteurs à engrenages destinés au DDE-205, au DDH-280 et à la FCP. Compte tenu du poids supplémentaire du réducteur à accouplement transversal sur la FCP, on peut constater que l'écart des poids spécifiques est très faible entre le réducteur du DDH-280 et celui de la FCP, tous deux conçus pour satisfaire à des exigences de faible bruit. La figure 7 présente clairement la taille du réducteur à accouplement transversal de la FCP.

Réduction du bruit et des vibrations

La figure 8 montre en coupe l'installation du réducteur à bord de la FCP. Le réducteur est porté par quatre supports élastiques longitudinaux qui assurent protection contre les chocs et réduction des vibrations.

Les exigences quant aux vibrations et aux bruit des machines du navire sont évidemment établies de manière à satisfaire au rendement voulu en matière de bruit sous-marin. Il est pratique courante dans la Marine canadienne de définir des niveaux équivalents de vibrations maximales admissibles et mesurés au bordé du navire à des vitesses données. C'est au constructeur du navire qu'incombe la responsabilité de déterminer le type de réducteur et de ses accessoires de fixation ainsi que leur conception pour qu'ils satisfassent aux niveaux prescrits de vibrations à la coque. Dans le cas de la FCP, le constructeur a confirmé le besoin de poser les

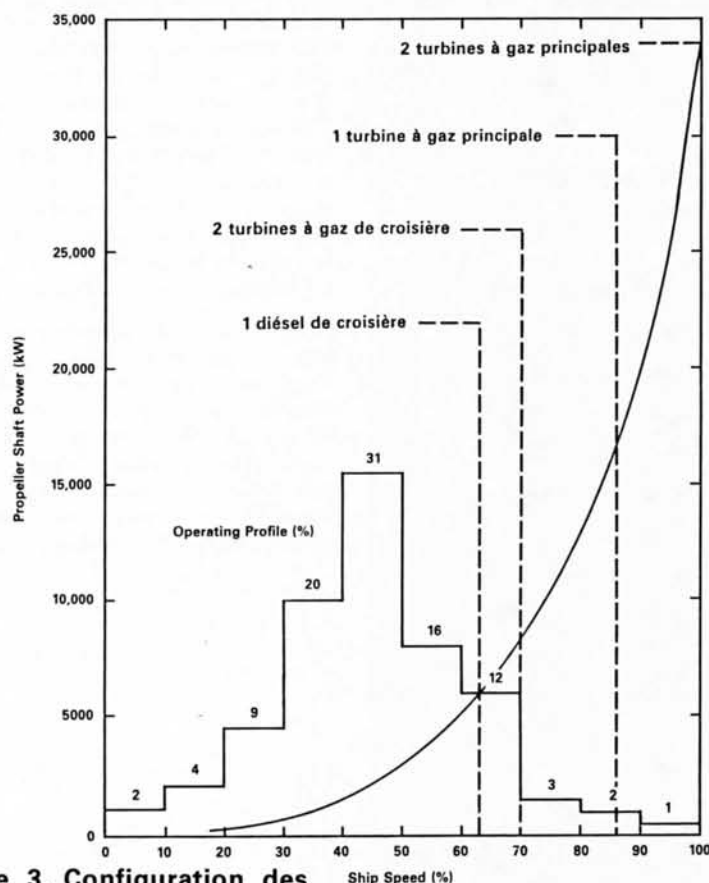


Figure 3. Configuration des machines

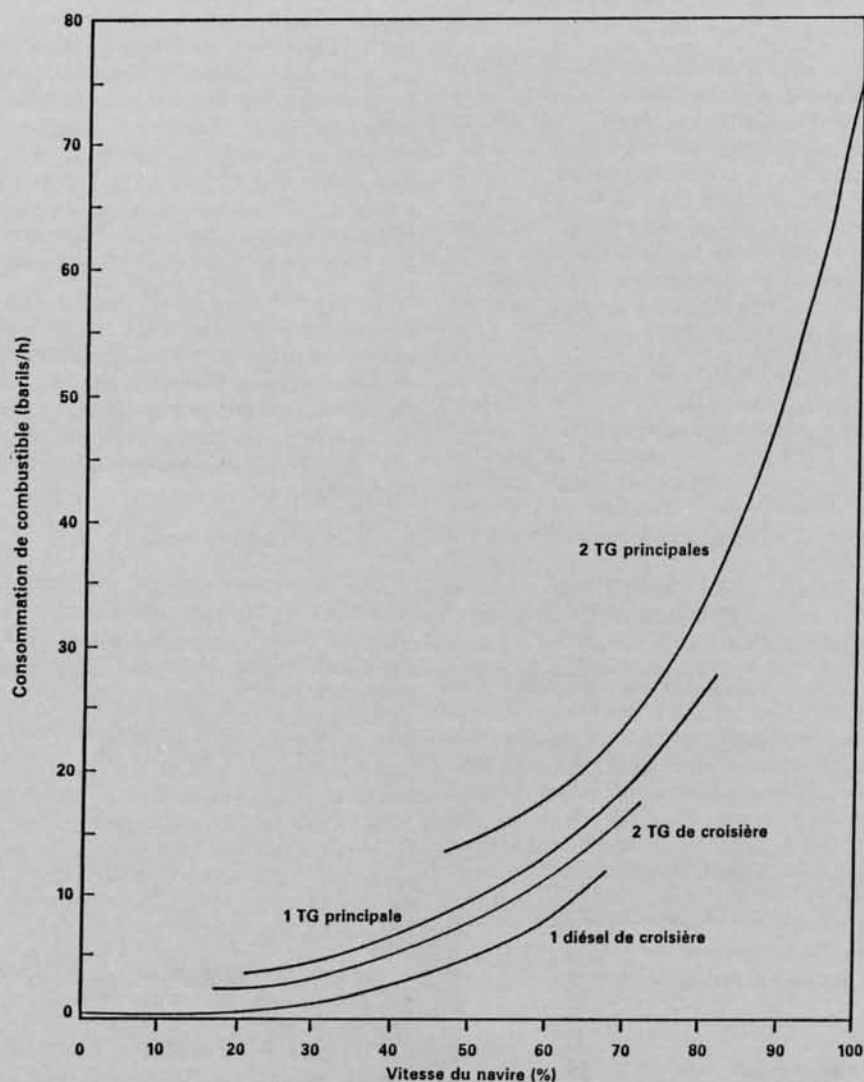


Figure 4. Consommation de combustible par rapport au pourcentage de vitesse

	Barils/h
2 TG principales	15
1 TG principale	10
2 TG de croisière	9
1 diesel de croisière	6

Figure 5. Consommation de combustible à 15 noeuds

supports élastiques sous les réducteurs, puis il a calculé que les niveaux de vibrations maximums acceptables au-dessus des supports à 15 noeuds doivent être respectés pendant les essais sous charge partielle à l'atelier menés sur le premier groupe de réducteurs embarqués.

La figure 9 présente les niveaux de vibrations calculés à 15 noeuds pour les réducteurs des navires de classe DDE-205 et DDH-280; ces niveaux sont exprimés en valeurs relatives de l'octave en fonction des exigences d'essai en atelier des réducteurs de la FCP. Il est à noter que les niveaux de vibrations du DDE-205 auraient été plus élevés d'au moins 3 VdB si le réducteur avait été monté sur supports élastiques comme ce fut le cas pour le DDH-280. En même temps, le niveau de référence à 15 noeuds pour le réducteur embarqué de la FCP pourrait être plus élevé de 3 VdB par rapport à la valeur au moment de l'essai sous charge partielle à l'atelier. Le réducteur du DDH-280 présente sans aucun doute des niveaux de vibrations bien meilleurs que ceux de la vieille classe DDE-205. On peut constater la façon dont les niveaux de vibrations sous les supports ont pu influencer sur l'établissement de niveaux de vibrations désirés à la coque et dont les valeurs sont aussi indiquées à la figure 9.

Les niveaux de vibrations au-dessus des supports, mesurés pendant les essais sous charge partielle à l'atelier du premier groupe de réducteurs de la FCP se comparent très favorablement avec ceux prescrits dans les exigences d'essai à l'atelier. Pendant l'essai, la charge correspondait environ aux valeurs pour un navire filant à 13 noeuds, mais le niveau de vibrations prescrit à 15 noeuds est probablement réalisable.

	DDE-205	DDH-280	FCP
Puissance à l'arbre/arbre	15,000	25,000	23,000
Réduction	25.3	15.6	17.2
Roue II — diamètre (mm) face (mm)	1720 350	2516 500	2500 688 + 120
Poids kg/puissance à l'arbre/arbre	1.14	1.82	2.36
Poids relatif par unité de couple à l'arbre	1.0	1.67	1.92

Figure 6. Comparaison entre la puissance, le poids et la taille —

Charge spécifique exercée sur les dents

Les réducteurs à engrenages de la FCP ont sans conteste atteint un niveau remarquable de rendement en matière de bruit et de vibrations par rapport à la puissance et à la taille des appareils utilisés. Compte tenu de l'utilisation de rapports appropriés de recouvrement et de contact des dents, et de l'obtention de la plus grande précision possible des engrenages, les résultats quant à la FCP pourraient bien suggérer que le faible bruit des réducteurs dépend également de l'utilisation de charges spécifiques plus faibles sur les dents; ces charges plus faibles permettent d'exécuter l'arasage des engrenages.

Bien qu'il ne soit pas prouvé que les réducteurs à engrenages rectifiés avec précision et conçus pour une même charge seraient plus silencieux, ils devraient au moins l'être autant. La question qui se pose cependant est la suivante: «Dans le cas des réducteurs à engrenages rectifiés et trempés superficiellement, jusqu'à quel point les efforts en flexion et les charges sur les dents peuvent-ils être accrus avant qu'il y ait augmentation des niveaux de vibrations?»

Il est très difficile de concevoir des réducteurs pouvant fonctionner en douceur sous de fortes charges parce qu'il faut d'abord arriver à minimiser, voire supprimer, les effets néfastes attribuables aux déformations des dents. Le fait de modifier le profil et l'hélice de la denture de manière à satisfaire également aux conditions idéales de répartition de la charge et d'engrènement tant à plein régime qu'aux régimes de fonctionnement doux est encore jugé comme une situation faisant appel à des exigences incompatibles.

La figure 10 compare la charge exercée sur les dents de réduction secondaire pour les trois classes de bâtiments. Compte tenu du fait que les réducteurs du DDH-280 et de la FCP ont été construits selon des normes très élevées de précision, il est à se demander jusqu'à quel point et de quelle façon l'écart relativement faible des charges sur les dents et de la taille des modules des deux classes peut être associé à l'écart mesuré des niveaux de vibrations. À partir de la comparaison, il est au moins possible d'admettre comme hypothèse qu'un réducteur silencieux ne peut actuellement pas fonctionner aux charges maximales exerçables sur les dents, que les engrenages des réducteurs soient durcis superficiellement ou trempés à cœur.

Jusqu'à présent, l'encombrement et le poids minimums n'ont pas eu de conséquences indues sur l'aptitude à satisfaire les exigences quant au fonctionnement doux des réducteurs à engrenages dans la Marine canadienne. Ces considérations ont permis d'utiliser des facteurs de charge modestes sur les dentures des engrenages tant durcis et rectifiés que ceux arasés et à développante de cercle. Il est à prévoir que les exigences à venir en matière de réducteurs à engrenages destinés aux navires de surface et certainement aux futurs sous-marins, imposeront des limites rigoureuses de poids et d'en-

combrement. Comme on recherche des couples de sortie de plus en plus élevés, ces exigences feront inévitablement appel à des augmentations des charges spécifiques sur les dents jusqu'aux niveaux prévus pour la classe DDE-205, voire au-delà de ces niveaux. Par conséquent, il pourrait être nécessaire d'utiliser la résistance maximale aux charges qu'il n'est possible d'obtenir qu'avec les engrenages rectifiés et durcis superficiellement.

Conclusion

Avec ces exigences à venir dans le domaine des réducteurs à engrenages, il est à prévoir que

la Marine canadienne continuera à faire avancer la technologie dans ce domaine. Elle s'adressera plus particulièrement aux fabricants de réducteurs pour répondre au défi que posent les exigences à venir en matière de réducteurs à engrenages destinés à la propulsion des bâtiments de la Marine et qui fait appel à des appareils plus compacts et plus résistants aux charges, tout en présentant des niveaux de bruit et de vibrations au moins aussi intéressants que ceux obtenus par la Frégate canadienne de patrouille.

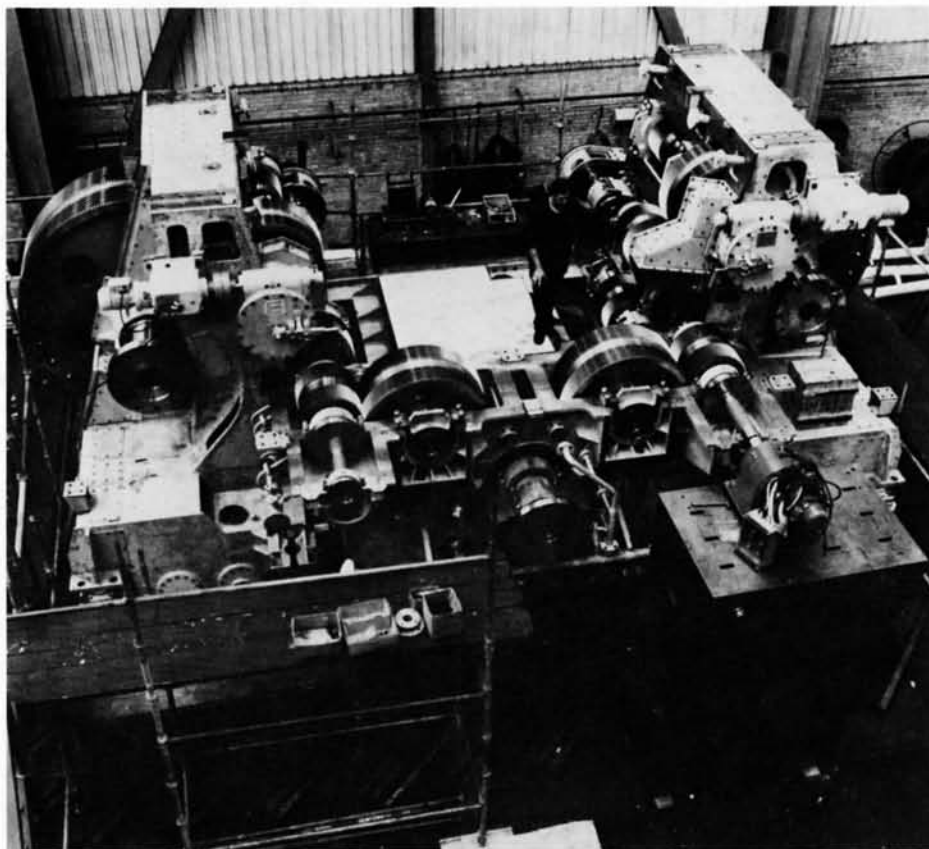


Figure 7. Réducteurs à engrenages de la FCP (couvertres déposés)

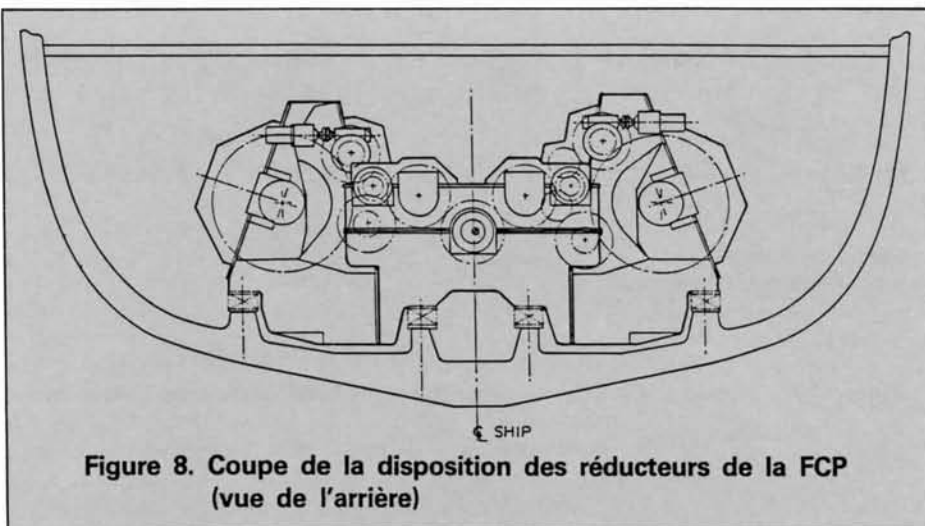


Figure 8. Coupe de la disposition des réducteurs de la FCP (vue de l'arrière)

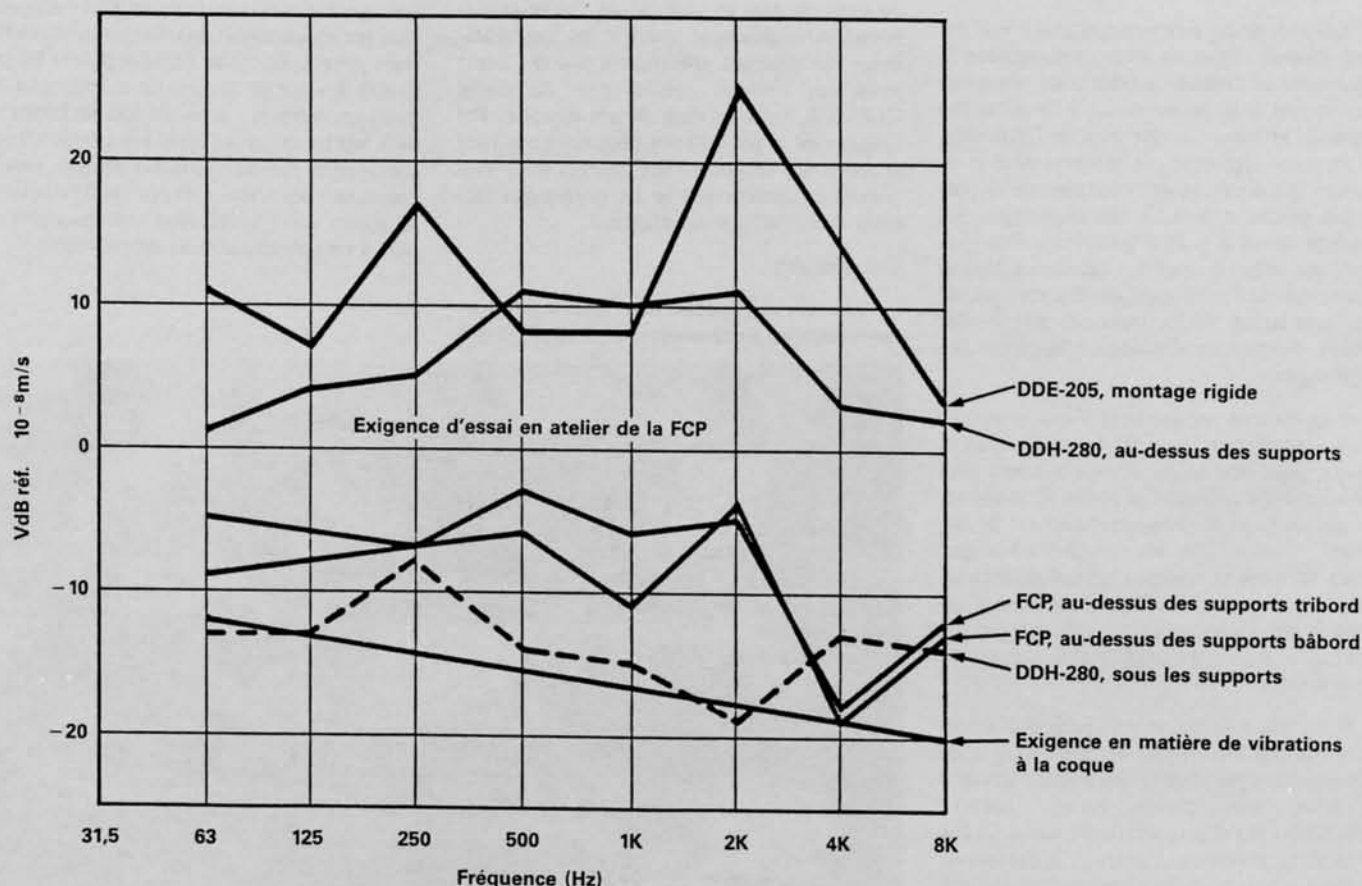


Figure 9. Vibrations des réducteurs principaux de la FCP (essai en atelier)

Matériau	(pignon) (engrenage)	DDE-205	DDH-280	FCP
		Cémenté Cémenté	Cémenté Nitruré	Nitruré Trempe à coeur
Facteur K	N/mm ² (1lb/po ²)	2.83 (411)	1.62 (235)	1.37 (198)
Module		9.00	8.32	8.07
Unité de charge/ module normal	N/mm ²	90.54	74.74	61.44

Figure 10. Charge sur les dents des engrenages de deuxième réduction



Don Nicholson est un expert de réputation internationale en matière de réducteurs à engrenages destinés aux bâtiments de guerre. Lorsqu'il a pris sa retraite de la fonction publique au mois de septembre dernier, M. Nicholson était chef de la section des systèmes de propulsion — DMGE 3, au QGDN.



Portrait de: *Gloria*

Un visage familier à la Division du génie maritime du QGDN,

par le lcdr (R) Brian McCullough

Demandez à Gloria Jessup de vous dire ce qu'elle a le plus aimé au cours des trente années qu'elle a passées en tant qu'employée civile à la marine, et elle vous répondra: "Les gens que je rencontre au travail". Demandez-lui ce qu'elle appréciait le plus dans son travail de secrétaire particulière du DGGMM pendant les dix-huit dernières années, et elle vous dira que c'était de ne jamais savoir à l'avance ce qu'elle aurait à faire.

"Une chose est certaine" a-t-elle dit lors de l'entrevue qui s'est déroulée en janvier, "quand je me lève le matin, je ne sais pas ce que j'aurai à faire durant la journée — un peu comme si je devais m'attendre à tout — et c'est ce qui fait que c'est intéressant."

Aussi désorganisé que cela puisse paraître, il s'agit plus d'une indication des changements rapides qui peuvent se produire en l'espace d'une journée que d'une description du style de gestion du bureau. "Il m'arrive d'avoir des problèmes", a-t-elle admis, "mais je dois les résoudre au plus vite. Je le fais, c'est mon travail."

En écoutant le ton déterminé de sa voix, il est difficile d'imaginer qu'il y a déjà eu un temps où Gloria manquait de confiance en elle. Elle a raconté qu'au début de sa carrière en 1958, soit l'année de l'ouverture de la Voie maritime du Saint-Laurent, elle était une secrétaire très gênée travaillant au service hydrographique de la marine. Elle venait tout juste de terminer le cours commercial au Fisher Park High School d'Ottawa, où elle avait appris son métier de la manière traditionnelle, mais cela ne la préparait pas vraiment à la frustration qu'elle allait éprouver en essayant de vaincre son manque de confiance avec les gens et sa peur de se servir du téléphone.

Pour des raisons qu'elle est incapable de préciser, Gloria nous a dit qu'elle avait toujours voulu être secrétaire et que sa carrière s'était déroulée en majeure partie comme elle l'avait désiré. Une seule fois, celle-ci a pris une mauvaise tournure; ce fut lorsqu'après cinq années de travail au service hydrographique de la marine Gloria alla occuper un poste de secrétaire au service du personnel de la marine.

Ce changement d'emploi a été une erreur. Travailler pour un homme qu'elle ne peut que qualifier de misérable lui a fait beaucoup regretter l'esprit d'équipe du service hydrographique, et après un an, elle a pris la décision de tenter de décrocher un autre poste — celui de secrétaire du directeur de projet pour le FHE-400 (hydro-



ptère). Il y a eu toutefois une note peu réjouissante: son patron au service du personnel de la marine lui dit de ne pas se donner la peine de revenir si elle venait à décider, après l'entrevue, que le poste au bureau du projet d'hydroptère ne lui convenait pas. Cela n'a fait qu'ajouter à sa détermination. Elle releva donc le défi. "Je suis allée passer l'entrevue," nous a confié Gloria, "et je ne l'ai jamais regretté."

Les six années qui suivirent furent parmi les plus agréables de sa vie professionnelle. Elle travailla d'abord au projet d'hydroptère et, une fois celui-ci exécuté, entra au service du directeur de projet pour le programme du DDH-280, alors à ses tout débuts. Puis en 1970, l'occasion se présenta pour elle de décrocher un poste auquel elle rêvait depuis toujours: secrétaire particulière du grand patron, le Directeur général — Génie maritime et maintenance. "Ce fut

un peu stressant," dit-elle, en se rappelant qu'elle n'avait pas été initiée à ce nouveau travail par celle qu'elle remplaçait. "J'ai mis un certain temps à m'y retrouver." Aujourd'hui, près de vingt ans plus tard, elle est devenue une véritable mine de renseignements et, en quelque sorte, une institution au sein de la Division du génie maritime.

Le pire, c'est la quantité toujours croissante de paperasse que l'on doit traiter à la Division. À présent, Gloria peut compter sur l'aide d'une adjointe, mais il y a trois ans, elle s'en occupait encore toute seule. "Lorsque j'y pense, je me demande comment j'ai pu faire pour y arriver", dit-elle. Pour ce qui est de la correspondance du bureau, Gloria convient facilement qu'elle est perfectionniste. "Les gens me trouvent peut-être difficile, mais ça ne me touche pas vrai-

ment. Je préfère que le travail se fasse comme il doit être fait."

Selon le commodore Boyle, DGGMM, Gloria est beaucoup plus une directrice adjointe qu'une secrétaire particulière. "Je dirige la Division, et c'est Gloria qui me dirige", dit-il. "Elle s'occupe de mon emploi du temps et elle le fait très bien. Son jugement lui permet de déterminer ce qui est important et ce qui ne l'est pas."

Le commodore Boyle, qui doit être promu au rang de contre-amiral à la fin d'avril et nommé Chef-Génie et maintenance, nous a dit que la directrice adjointe joue un peu le rôle d'un chien de garde, car elle filtre les appels téléphoniques de manière à limiter les interruptions inutiles. "Gloria fait ça avec classe, et personne ne s'en trouve irrité ou offensé. Mais les importuns savent très bien qu'il leur sera impossible d'obtenir la communication."

Limiter l'accès au bureau du patron exige du jugement, un mélange subtil de tact et de fermeté, et, à l'occasion, le recours à des subterfuges polis à l'endroit d'interlocuteurs trop insistants. D'après Gloria, cela fait partie du travail. "Comme je le conçois, dit-elle, mon travail consiste à assurer le bon renom de mon employeur. J'estime que c'est mon devoir. Mon patron ne doit jamais sembler détestable ou incompetent."

En faisant abstraction des défis de tous les jours que pose la gestion du bureau, les changements qu'ont apportés les divers directeurs généraux qui se sont succédé au cours des ans ont fait que le travail de Gloria est demeuré intéressant. Pour citer ses paroles: "Ils sont tous différents et ils veulent que les choses soient faites différemment. Même si vous gardez le même emploi, c'est comme si vous occupiez un autre poste, ou presque."

Lorsque le commodore Broughton deviendra le DGGMM en mai, il sera le 8^e DG pour lequel aura travaillé Gloria. Quatre d'entre eux sont devenus contre-amiral. Gloria connaissait déjà plusieurs des huit DG, y compris le commodore Broughton, lorsqu'ils avaient le grade de lieutenant ou de lieutenant-commander, et elle a dit qu'il n'y avait rien de spécial à travailler pour eux une fois qu'ils étaient devenus de haut-gradés. "Je suis contente qu'ils soient devenus commodores," dit-elle, "J'en suis très heureuse."

A-t-elle apprécié un patron plus que les autres? Y a-t-il eu un directeur général qui tranchait sur les autres?

"J'y ai pensé, nous a-t-elle dit, en s'arrêtant pour mieux trouver ses mots. "Je me dis que j'aimais celui-là parce que . . . ou que j'aimais cet autre pour telle raison . . . , mais tous avaient leurs bons côtés. Ils étaient tous fantastiques. C'étaient de vrais gentlemen."

Même si Gloria peut choisir de travailler cinq autres années, elle découvre qu'après l'avoir fait pendant trente ans et élevé ses deux enfants, elle songe de plus en plus à la retraite. Ses plans à ce sujet ne sont pas encore précis, mais elle a dit qu'elle aimerait passer plus de temps à cultiver les fleurs de son jardin, et faire du bénévolat.

Pour ce qui est de sa vie professionnelle, Gloria pense avant tout aux bonnes choses. Elle dit n'éprouver aucun regret. "Si c'était à refaire," dit-elle, "j'agiserais exactement de la même façon. J'ai bien aimé mes trente années de travail."



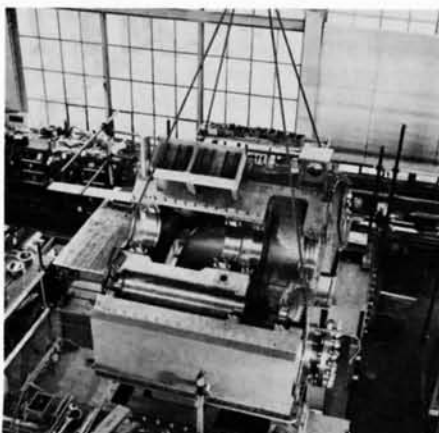
Rétrospective: L'assemblage de la première boîte d'engrenage du DDH-280

par Steve Dauphinee, DMGE 2

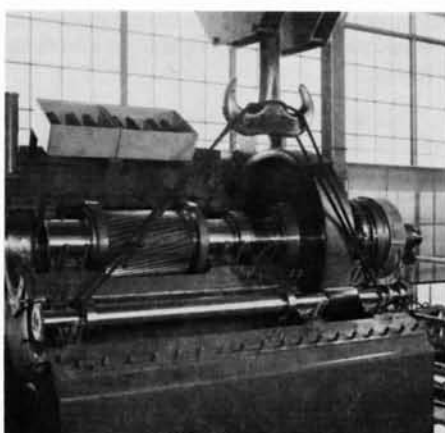
Cette remarquable série de photos, prise à l'usine Maag à Zurich en 1968, démontre très bien l'assemblage final de la première boîte d'engrenage du DDH-280.



1. Premièrement, la roue principale de 8 pied de diamètre est placée dans le carter inférieur.



2. Le carter supérieur est descendu au dessus de la roue principale et attaché au carter inférieur.



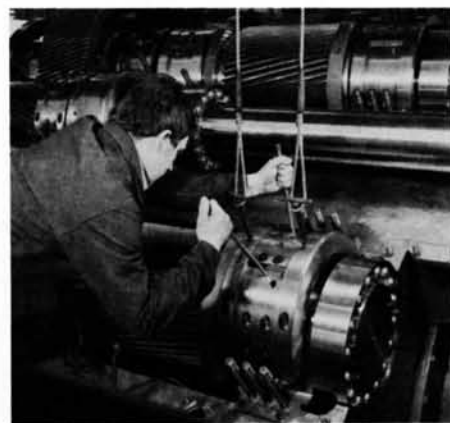
3. Puis, le pignon d'entrée de la machine de croisière ...



4. ... le pignon et engrenage intermédiaire de la machine principale



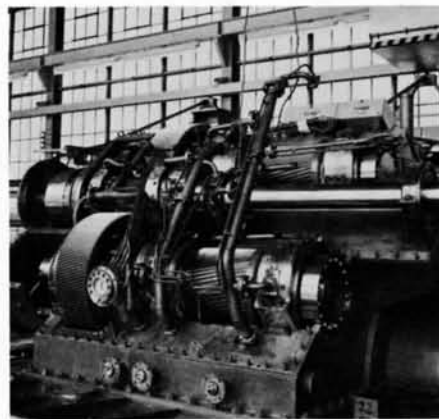
5. ... et le pignon d'entrée et embrayage de la machine principale sont placés dans le carter supérieur.



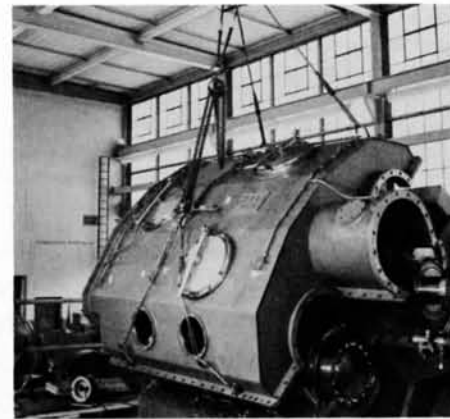
6. Les paliers sont placés en position ...



7. ... et les couverts de palier installés.



8. La tugauteurie d'huile de lubrification est attaché.



9. Finalement, le couvert de carter est installé, et quand les sondes de température sont attachées, l'engrenage est prêt pour les tests en atelier.

Nouvelles en bref

Le Système canadien de surveillance par réseaux remorqués (CANTASS) est lancé!

En février, on a installé à bord du NCSM *Annapolis* le modèle avancé de la partie non immergée (c.-à-d. le matériel d'affichage et de traitement du système sonar tracté CANTASS), puis on l'a intégré au récepteur, à l'antenne tractée AN/SQR-19 et aux appareils de manœuvre et d'arrimage du sonar du navire. Le nouveau système est actuellement soumis à de nombreux essais; les leçons que l'on tirera de ces essais seront mises à profit au moment de la fabrication des huit unités d'affichage et de traitement qui seront installées définitivement à bord d'autres NCSM.

L'installation du modèle avancé de la partie immergée du système marque presque l'aboutissement de quatre années d'efforts intensifs déployés dans le cadre du projet CANTASS par la marine et la *Computing Devices Company Ltd.* de Nepean (Ontario). On s'attend à ce que les essais du modèle avancé soient terminés cet été.

Système de guerre anti-aérienne de l'OTAN

Le programme de développement du Système de guerre antiaérienne de l'OTAN (AAWS) a été mis en branle l'année dernière, et six pays y prennent part: le Canada, l'Allemagne, les Pays-Bas, l'Espagne, le Royaume-Uni et les États-Unis. Le Canada a jugé bon de se joindre à ce programme, car il s'agit pour lui de la seule façon économiquement viable de participer au développement de méthodes de guerre antiaérienne et d'avoir accès aux techniques de pointe dans ce domaine.

On concevra le AAWS de façon à ce qu'il satisfasse aux exigences suivantes: télédétection améliorée grâce à des capteurs multiples, temps de réaction réduit pour l'attaque d'objectifs en course et capacité accrue d'attaque de nouveaux objectifs. Par le moyen du programme AAWS, qui se déroulera en trois temps, on vise à mettre au point, d'ici 1998, un système qui satisfera pleinement aux exigences de l'état-major de l'OTAN, et à développer, d'ici 1994, des versions améliorées des modules du

système de guerre antiaérienne actuel, qui seront utilisées dans un système intérimaire.

En octobre dernier, les six pays susmentionnés ont signé un protocole d'entente en vertu duquel ils consentent à participer à la phase d'exploration des concepts, qui coûtera 35 millions de dollars américains. Au cours de cette phase initiale du programme, les contrats d'étude de nature industrielle seront adjugés à trois consortiums internationaux, et les expériences et les études ayant trait à l'ingénierie seront menées dans les laboratoires ou des installations gouvernementales. Les États-Unis ont contribué au financement de cette phase du programme dans une proportion de 47 pour 100, tandis que les cinq autres pays participants se sont partagés le reste, soit 53 pour 100.

Fête de sainte Barbe, édition 1987

L'une des personnes que l'on voit sur la photo ne se sert pas du rasoir à microgrille de Remington. (Si vous avez choisi celle qui se trouve au milieu, bravo, vous avez raison.) Il s'agit de sainte Barbe, patronne des artilleurs.

Tous les ans, début décembre, les collègues du champ de tir de l'École de la flotte, qui est situé à Osborne Head en banlieue d'Halifax, célèbrent la fête de sainte Barbe; ils invitent alors les artilleurs de la flotte à prendre part une journée de jeux et de divertissements. Selon le lieutenant-commander Tom Willey, responsable du champ de tir, "il s'agit d'une journée agréable, où tous s'amuse bien."

Sainte Barbe (alias le maître de 2^e classe Bruce Raymond, technicien d'armes navales) a honoré de sa présence les célébrations de 1987; elle a même accepté de se laisser photographier en compagnie du capitaine de vaisseau Thomas F. Brown, commandant de l'École de la flotte, et d'un invité, le commodore D.R. Boyle, DGGMM. Le capitaine Brown s'est dit ravi que l'ingénieur principal de la marine ait pu trouver le temps d'assister à cette fête tenue en l'honneur de la patronne des artilleurs.



Système de répartition du travail

— un plan détaillé pour la construction des FCP



— À venir en septembre