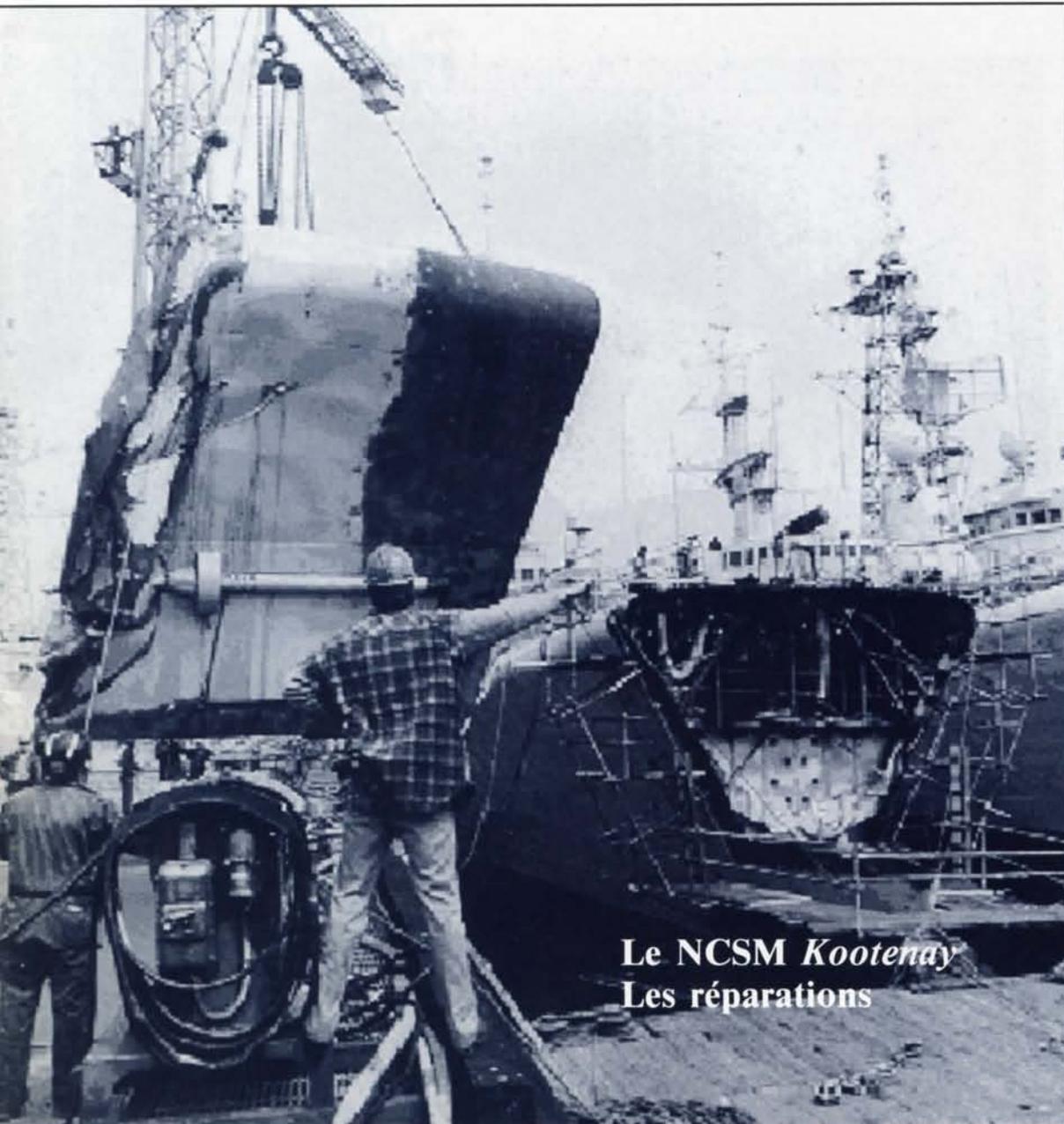


Revue du Génie maritime

Janvier / Avril 1990



Le NCSM Kootenay
Les réparations

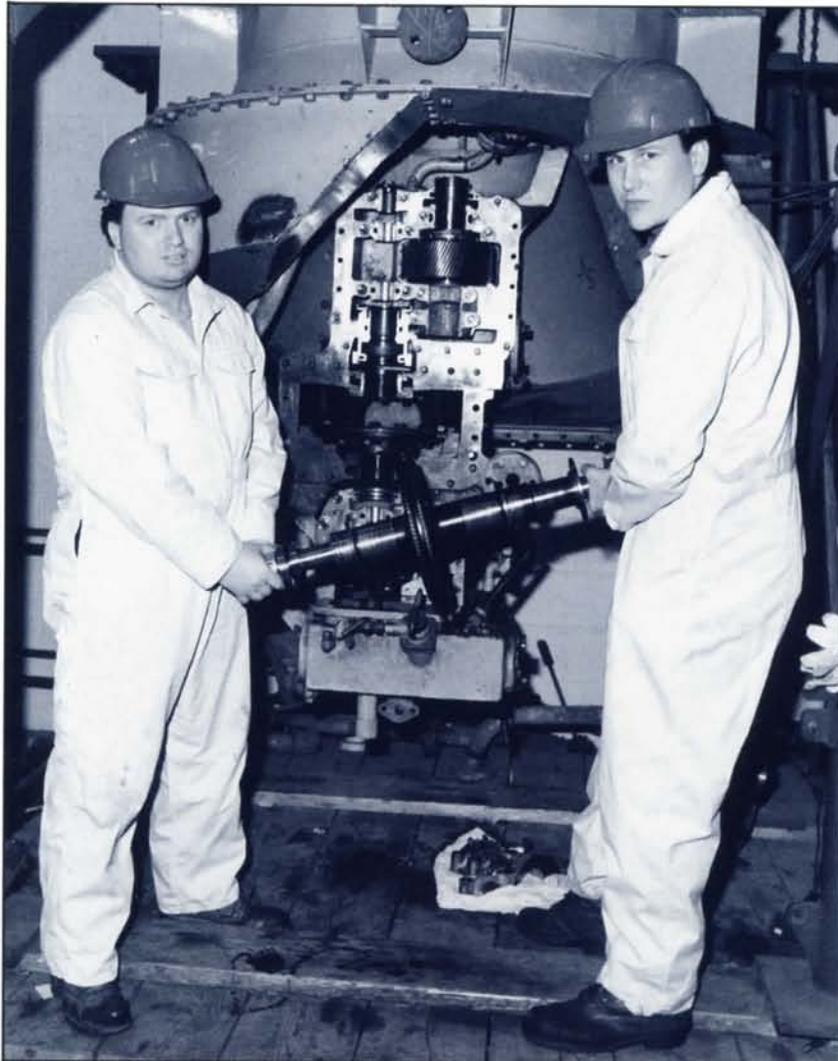


PHOTO BFC HALIFAX par cpl Steve McNeil

Turbo-soufflantes
Qu'est-il arrivé?
...page 10



Revue du Génie maritime



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

Rédacteur en chef
Capt(M) Dent Harrison, DMGE

Rédacteurs au service technique
Cdr Roger Cyr (Systèmes de combat)
Lcdr R. Bracken (Systèmes de combat)
Lcdr N. Leak (Mécanique navale)
Lcdr Darcy Byrtus (Architecture navale)
Lcdr Cliff Johnston (Architecture navale)

Directeur de la production
Lcdr(R) Brian McCullough
(819) 997-9355

Graphiques
Ivor Pontiroli DDDS 7-2

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

Services de traduction :
Bureau de la traduction,
Secrétariat d'État
M. Henri Frickx, Directeur

PHOTO COUVERTURE

La proue écrasée du NCSM *Kootenay* est déposée à terre en vue de son remplacement, deux semaines après une collision avec un navire cargo de 60 000 tonnes près du Cap Flattery en juin dernier. (Photo des forces canadiennes)

JANVIER / AVRIL 1990

DEPARTEMENTS

Notes de la rédaction	2
Lettres	3
Chronique du commodore	4

ARTICLES

Réparations au NCSM <i>Kootenay</i> suite à une collision <i>par Lcdr H.V. Archibald et Lt(M) J.D. O'Reilly</i>	6
Le problème des turbo-soufflantes <i>par Lcdr Kevin Woodhouse</i>	10
Contrôle du rendement des turbines à gaz en régime transitoire <i>par Lcdr N. Leak</i>	17
Ordinateurs navals standards — <i>La technologie informatique de la marine est-elle en train de rattraper le passé?</i> <i>par Cdr Roger Cyr</i>	26
Conférence SIGAda de l'ACM (Ottawa 1989) <i>par R.C. Johnston</i>	28
RÉTROSPECTIVE : 1917 — Une patrouille pénible <i>par J. David Perkins</i>	30
BULLETIN D'INFORMATION	33
Indexe des articles : 1989	35

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



Notes de la rédaction

On recolle "Humpty"

*Côte Est, Côte Ouest,
nos arsenaux se mettent à l'oeuvre*

Lorsque le NCSM *Kootenay* a abordé le vraquier *Nordpol* au large du cap Flattery en juin dernier, on a dû prendre des décisions précipitées au sujet de la réparation de la proue du destroyer qui avait été défoncée. Même si les dommages étaient limités à la cloison avant, ils étaient considérables et nécessitaient le remplacement ou la reconstruction de l'ensemble de la proue.

Après l'inspection sur place, les options de réparation étaient passablement claires. On pouvait demander à l'Unité de réparation des navires (Pacifique) de construire une nouvelle proue — solution coûteuse en temps et en argent — ou de remplacer la partie endommagée avec celle d'un autre navire. Or, par un heureux hasard, un navire-jumeau, le *Chaudière*, qui avait été désarmé, se trouvait à l'atelier de démontage au moment de la mésaventure du *Kootenay*. Après avoir minutieusement mesuré toutes les pièces requises, on a décidé de procéder au remplacement de la proue à l'arsenal.

Dans notre article de tête, deux architectes navals, le lcdr Vern Archibald et le lt (M) Doug O'Reilly, nous proposent une revue technique intéressante et bien illustrée des travaux de réparation effectués sur le *Kootenay*. Ils ont été frappés, entre autres, par l'excellence du travail exécuté à l'arsenal d'Esquimalt. Il est également fascinant de voir comment les diverses équipes des arsenaux ont uni leurs efforts pour recoller "Humpty".

Peu de gens savent que si l'histoire de la réparation du *Kootenay* a eu un succès retentissant, c'est qu'on y a travaillé avec beaucoup de dévouement et de collaboration. En effet, on a dû faire appel à de nombreuses équipes de carénage du NCSM *Terra Nova* pour remettre le *Kootenay* en état le plus rapidement possible. Ce genre d'entreprise relève de l'exploit.

Ce même facteur de puissance humaine ressortait dans l'article intitulé « Remplacement de l'hélice du *Huron* sous l'eau » et publié dans le numéro de septembre dernier. L'Unité de plongée de la flotte, avec l'aide de l'arsenal, a tenté une nouvelle manœuvre, elle y a travaillé avec acharnement et, en bout de ligne, ses efforts ont été récompensés. Dans le deuxième article publié dans ce numéro-ci, nous nous rendons à l'arsenal de Halifax qui a été la scène d'une histoire remarquable : un groupe de gens tout aussi déterminés les uns que les autres ont réussi à résoudre les problèmes qu'éprouvait la flotte depuis longtemps avec ses turbos-soufflantes.

Dans chacun de ces articles, on constate à quel point le facteur humain joue un rôle important dans le maintien de la capacité opérationnelle de la flotte, facteur qui est souvent négligé et sous-estimé. Nous tirons donc notre chapeau devant tous les hommes et toutes les femmes des arsenaux, des laboratoires et des ateliers qui ont contribué à cette grande réussite.

Bravo Zulu!

Dent Harrison

Lettre au rédacteur-en-chef

Monsieur

Je me vois dans l'obligation de critiquer certaines déclarations du cdr Cyr dans son article intitulé « La proposition d'une structure des groupes professionnels adaptée à la Marine des années 90 » (RGM, septembre 1989, p. 27).

Lorsque l'ÉRPNOM a été mise en application en 1985 pour les ELECTRON N, elle devait desservir la flotte du futur, non seulement celle d'aujourd'hui.

La variété et la complexité de l'équipement particulier à chaque discipline exigent du technicien qu'il ait suivi plus qu'un « cours technique ». Il doit avoir une connaissance théorique approfondie et une solide compréhension de tout un ensemble de systèmes.

Comme l'École de la flotte de Halifax n'a pu encore mis au point un « Cours de technicien en systèmes » NQ6B, il m'est difficile de comprendre pourquoi le cdr Cyr a critiqué si vertement ce produit, prétendant qu'il ne conviendrait pas à la flotte de l'avenir. Il faudra voir.

Il a par contre tout à fait raison de dire qu'il y aura bientôt pénurie de spécialistes en maintenance, mais ce n'est pas parce que leurs qualifications professionnelles ne sont pas reconnues. Si quelqu'un se rendait chez les entrepreneurs ou les sous-traitants qui travaillent au projet des frégates de patrouille, il y trouverait un grand nombre des spécialistes manquants revêtus d'une tenue civile plutôt que d'un uniforme. Le fait que le secteur privé reconnaît la compétence de notre personnel alors que la Marine ne le fait pas dénote un problème d'attitude, et non un problème de formation.

Le cdr Cyr essaie d'établir un parallèle entre son Technologue — Génie des systèmes de combat (TGST) et le programme PFTM. Ce dernier donne un produit de qualité, mais il ne règle pas le problème pour lequel il avait été mis sur pied, à savoir obtenir plus rapidement un brevet pour la salle des machines. Or, ce programme a produit des aspirants-officiers G Mar et des candidats pour le PFUMR, mais peu de Cert 3A.

À l'heure actuelle, les BPR du COMAR et du QGDN procèdent à un examen minutieux de la formation des électroniciens navals, examen qui est destiné non pas à supprimer ou à modifier complètement la formation, mais plutôt à la rationaliser. Les collèges communautaires offrent une solution, mais il s'agit d'un terrain dangereux. Si le militaire est formé au niveau de technologue, il devient un candidat par excellence au poste d'OGSC et il est perdu pour le GPM technique pour lequel il a été formé. Par ailleurs, s'il est formé à un niveau inférieur, il n'est d'aucune utilité. Avant de perdre de vue le motif qui nous a fait envisager la formation dans les collèges communautaires, je me permettrai de préciser que nous avons un urgent besoin de techniciens de niveau NQ6A, sans nécessairement en avoir besoin à un niveau supérieur. Lorsque la firme Paramax a conçu le programme de formation pour les techniciens des FCP, elle s'est inspirée des descriptions d'emploi des GPM et des qualifications des ELECTRON N actuels. La formation technique a commencé, et les diplômés étaient en mesure d'exécuter des travaux de maintenance à bord de la nouvelle génération de NCSM.

Le cdr Cyr aimerait que ses technologues diplômés reçoivent le grade de matelot-chef dès l'enrôlement. Or, on ne reçoit pas un grade, on l'obtient. S'il était mû par un motif pécuniaire, il aurait dû s'attaquer à ce problème séparément. Les qualités de chef sont aussi importantes que la formation pour l'électronicien naval, un fait que la Marine semble avoir tendance à perdre de vue. Si les qualités de chef sont mises de côté à l'enrôlement et après l'apprentissage, il ne faut pas s'étonner qu'elles fassent défaut chez les premiers maîtres et les maîtres 1^{re} classe.

Je crois que le cdr Cyr n'a pas suffisamment approfondi son sujet pour arriver à une conclusion raisonnable. Il existe, à l'heure actuelle, une multitude de problèmes dans la catégorie des ELECTRON N, mais on ne les réglera pas en sautant aux conclusions, en supposant certains résultats et en jugeant un produit inconnu. Il n'en découlera que d'autres problèmes.

Le pm 1 G. W. Ferrall
ÉLECTRON N (S) 286



Chronique du commodore

par le Commodore E.R. Murray, Commandant du Royal Military College de Kingston

Au moment de ma dernière contribution à cette Revue, j'étais en route vers le *Royal Military College* où j'allais, encore une fois, occuper un poste qui n'avait rien à voir avec le génie. Or, peu de temps après mon arrivée, j'ai constaté que je connaissais très peu le RMC et je me suis ensuite aperçu que la plupart des officiers des Forces canadiennes, même ceux qui avaient fréquenté le collège, n'étaient pas au courant de l'étendue des activités de cet établissement, ni de l'importance accordée au génie naval. Je vais donc vous présenter le plus grand des collèges militaires canadiens du point de vue d'un ingénieur naval.

La marine a toujours eu sa place au RMC. Il y a deux cents ans, les chantiers navals des Grands Lacs se trouvaient à Pointe Frederick. C'était un important centre d'activités navales, surtout durant la guerre de 1812, alors que des bâtiments de guerre, parmi les plus grands du monde, étaient construits dans les cales de la Pointe Frederick. En fait, un fanion de commodore a été déployé à Pointe Frederick de 1789 à 1846.

Quant à moi, j'habite dans le plus vieux édifice de la Pointe, l'ancien hôpital naval érigé en 1813. On y voit encore des édifices datant de cette époque, le plus frappant étant le *Stone Frigate*. Conçu initialement comme entrepôt en 1825, cet édifice abrita les premiers quartiers du RMC, qui s'y trouvent toujours d'ailleurs. Pendant un certain temps toutefois, il devint le NCSM *Stone Frigate* pour loger le Collège royal de la Marine du Canada, toujours connu sous le nom de "*Stone Boat*".

La présence navale à Pointe Frederick a cependant été discrète après l'installation du *Royal Military College* en 1876, mais les choses ont changé récemment. Je ne suis en effet que le troisième officier de marine à commander le collège, et mon prédécesseur était parti dix-sept ans avant mon arrivée. L'effectif du collège compte quelques autres offi-

ciers de marine, en service ou à la retraite : le principal, le CV John Plant, un G MAR à la retraite, le secrétaire général, un "ex-Pusser", deux G MAR et un officier de la marine américaine, qui sont tous trois chargés de cours en génie, plus une douzaine d'autres. La division du génie ne compte que deux G MAR parmi les 23 chargés de cours militaires. Néanmoins, le collège a nettement un caractère naval maintenant, à tel point que les élèves-officiers parlent souvent du RMC comme du *Royal Maritime College*.

En outre, le RMC a des liens avec la profession du génie militaire qui datent de longtemps puisqu'il a toujours été principalement une école d'ingénieurs. Ainsi, soixante-quinze pour cent des étudiants actuels sont inscrits en génie, et le collège produit 3 p. 100 des ingénieurs diplômés chaque année au Canada.

Bien que la présence navale au RMC soit relativement restreinte, le collège tient un rôle crucial dans la profession du génie naval pour trois raisons : il est notre principale source d'officiers détenant un baccalauréat, il fournit une grande partie des diplômés de niveau supérieur, et son programme de recherche contribue au programme naval. L'importance du RMC comme source d'ingénieurs navals est particulièrement évidente dans la composition de la branche G MAR, dont 50 p. 100 des capitaines de frégate, 13 des 17 capitaines de vaisseau et 3 des 5 commodores sont des anciens élèves-officiers du collège. Au cours des dernières années, plus de la moitié de tous les nouveaux officiers du G MAR proviennent du RMC.

Le RMC est également un important centre d'études supérieures, tant pour l'obtention d'une maîtrise que pour des cours de perfectionnement professionnel. Par exemple, répondant directement aux besoins de la marine, le collège a donné en 1989 deux cours de familiarisation en génie atomique à 70 officiers et employés civils du MDN, et en mai 1990, dix officiers du G MAR obtiendront leur maîtrise en génie atomique.

Parmi les programmes de brève durée offerts au collège, les cours d'électro-optique, de conception assistée par ordinateur, de fiabilité et maintenabilité, de gestion de la maintenance technique, d'informatique et de contrôle de la corrosion présentent un vif intérêt pour les officiers du G MAR. Les installations de soutien pour chacune de ces disciplines comptent parmi les meilleures du Canada, notamment les huit laboratoires du département de génie électrique : communications, microprocesseurs, micro-ondes et radar, systèmes de contrôle, robotique, génie en matière d'énergie, génie électronique et logiciel et graphisme. Naturellement, la recherche technique exige un soutien informatique substantiel, qui comprend une unité centrale de traitement, des microprocesseurs et 8 postes de travail Apollo. Le collège offre aussi des cours de premier cycle pouvant intéresser les G MAR : systèmes radar avancés, communications numériques, systèmes, réseaux et calcul, optimisation du contrôle, études avancées en matière d'énergie ainsi que génie logiciel et gestion.

Le programme d'études universitaires du RMC est étayé par un solide programme de recherche dont 90 p. 100 des activités servent les intérêts du MDN. Une importante partie du programme concerne directement ou indirectement la Marine, et l'une des disciplines très en vogue ces temps-ci, le génie atomique, peut être enseignée au collège, car celui-ci dispose, à l'instar de cinq autres universités canadiennes, d'un réacteur nucléaire. Par ailleurs, le collège offre aussi des cours dans divers autres domaines d'intérêt pour la Marine, comme les structures de navire, l'exploitation des signaux sonar, le moteur à combustion interne, l'électro-optique, la robotique, l'intelligence artificielle, les systèmes actifs et passifs de recul de canon, les batteries, les piles à combustible et les essais non destructifs basés sur le rayonnement. Le RMC est la seule université s'adonnant encore activement à la recherche sur les turbines à gaz, ses principales activités du moment étant axées sur l'aérodynamique des turbomachines.

Jusque là, j'ai parlé de la contribution du RMC à la Marine et, plus particulièrement, au génie naval. Or, le rôle du RMC consiste avant tout à former des chefs, et les études ne constituent qu'un élément du processus de formation des chefs. Mon expérience au sein du G MAR m'a très bien préparé à assumer les fonctions de commandant de cet établissement, qui tient lieu à la fois d'université et de centre de formation d'officiers. (La Marine royale en est probablement venue à la même conclusion, puisque le commandant du RNC Dartmouth est également un ingénieur.)

Je suis commandant du RMC depuis presque deux ans et demi déjà, et cette expérience a été formidable. J'ai certainement eu à relever une foule de défis nouveaux, mais comme je le mentionnais dans mon dernier article publié dans la Revue de septembre 1987, les ingénieurs navals sont bien préparés pour affronter les situations nouvelles et imprévues. J'ai troqué mes copains des chantiers navals contre des professeurs, mais les principes fondamentaux des relations humaines restent inchangés. Le contact des élèves-officiers, toutefois, vous donne le goût de vous remettre au jogging! Pouvez-vous imaginer ce que c'est que de jouer au père pour 700 enfants qui ne sont pas les vôtres? Croyez-moi, je ne m'ennuie pas!

Revenir au RMC comme commandant a été pour moi toute une découverte, mais la révélation la plus importante fut sans doute de constater que le collège est un établissement prestigieux qui tient un rôle crucial dans l'appui de la Marine. J'ai visité des centres de formation d'officiers aux États-Unis, en Grande-Bretagne, en Australie, en Nouvelle-Zélande et en Turquie, et je puis vous assurer que les Canadiens font de l'excellent travail. Sur le plan académique, le RMC est la meilleure école d'ingénieurs du pays, produisant par exemple, un boursier de Rhodes en moyenne tous les deux ans et demi, sur une

promotion de moins de 200 étudiants! La formation en génie dispensée ici est plutôt diversifiée, de sorte que nos diplômés ne sont pas préparés à affronter uniquement les aspects techniques de la vie. Ainsi, les ingénieurs du RMC consacrent un tiers de leur temps à des cours en arts, et il leur manque moins d'un an d'étude pour obtenir un baccalauréat ès arts.

À mon avis, il est important que nous, du G MAR, veillions soigneusement à ce que le RMC maintienne ses normes élevées et son appui continu à la Marine. Pour y arriver, il faudra soutenir et, si possible, accroître la présence d'officiers du G MAR au sein de l'effectif et dans le cadre des programmes d'études universitaires, et aussi tirer profit des ressources de recherche et des cours de brève durée. Notre représentation est actuellement faible par rapport à celle d'autres groupes professionnels du génie, si bien que quand je partirai, il n'y aura plus que le principal et deux officiers du G MAR, au sein de l'effectif, pour défendre les intérêts des ingénieurs navals. Comme le disait en substance un de nos importants politiciens, servons-nous-en si nous ne voulons pas le perdre.

J'encourage donc tous les jeunes officiers à envisager sérieusement une affectation au RMC, soit comme officier à l'escadre militaire, soit comme chargé de cours. Quant aux plus anciens du G MAR, je les incite à profiter davantage des nouveaux programmes et cours offerts par le RMC. Nous devrions faire plus pour cette belle institution.



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'histoire 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 8 1/2 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.

Réparations au NCSM *Kootenay* suite à une collision

Par le Lcdr H.V. Archibald
et le Lt(M) J.D. O'Reilly

Photos par CplC Denis Lepage, à l'exception des endroits indiqués

Le matin du premier juin 1989, par temps brumeux, le NCSM *Kootenay* et le navire cargo de 60 000 tonnes MV *Nordpol* entraient en collision au large du cap Flattery à l'entrée ouest du détroit de Juan de Fuca. Le *Nordpol* subit une légère pénétration de la coque sur le côté tribord de sa proue (figure 1) et la proue du *Kootenay* fut enfoncée d'environ 16 pieds. On n'eut à rapporter que des blessures légères à l'équipage et les deux vaisseaux purent regagner le port sans assistance.

Une fois arrivé à Esquimalt, le *Kootenay* fut immédiatement inspecté par une équipe de l'unité de génie naval (Pacifique) — UGN(P). On détermina que les dommages étaient limités à la structure située à l'avant de la cloison d'abordage (cadre 2). La proue avait été enfoncée (figure 2) à partir du coin supérieur tribord de la cloison, sur toute la largeur du pont supérieur selon un angle d'environ 30° et vers le bas selon un angle de 65° jusqu'à un point de l'étrave situé à 12 po au-dessus du pont n° 3. La forme nette de la partie endommagée est due à l'angle et à l'évasement de la proue du *Nordpol* et à la position relative de deux navires au moment de l'impact (figure 3).

Solutions proposées pour la réparation

Il est rare qu'un chantier maritime ait l'occasion d'effectuer des réparations de cette importance, qu'on s'attendrait à faire qu'en temps de guerre. Une des solutions était de construire une nouvelle proue. Le chantier avait acquis une certaine expérience avec la construction des proues du *Terra Nova* et du *Chaudière*, mais pas assez pour le travail que nécessitait le *Kootenay*. Un travail de cette envergure est très coûteux, exige beaucoup de temps et implique le moulage au fourneau des plaques d'acier profilées de la proue (procédé qui n'est pas dans les limites des capacités de l'Unité de réparation du navire — URN).



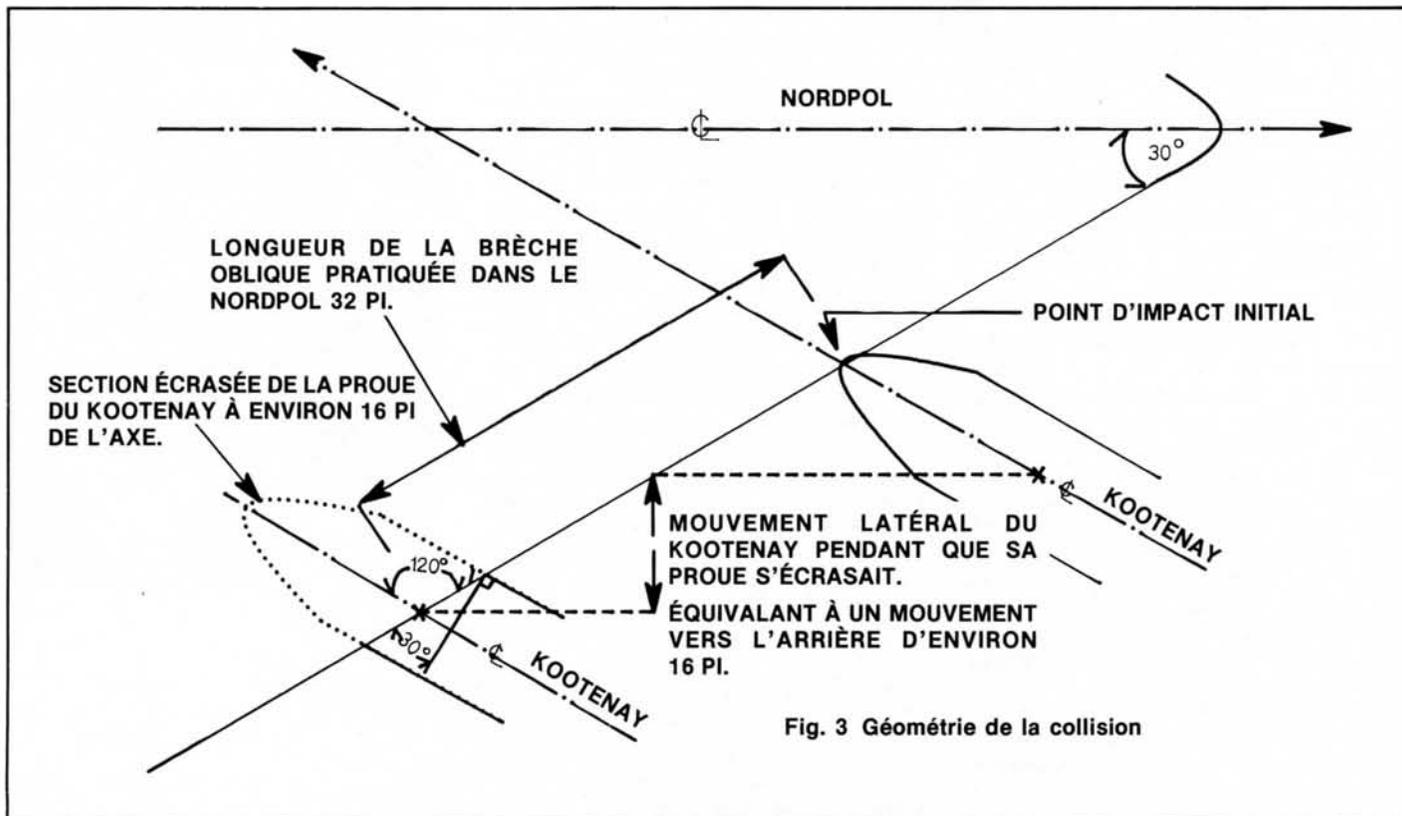
Fig. 2 On s'apprête à enlever la proue écrasée du *Kootenay*. Le navire n'a subi aucun dommage au delà de la cloison d'abordage.

La seconde solution fut l'effet du hasard. Le chantier d'Esquimalt procédait à ce moment là au désarmement d'un navire du même type, le *Chaudière*, dans le but de l'envoyer à la ferraille. Vu que les dommages du *Kootenay* (figure 4) se limitaient à l'une des unités préfabriquées (n° 31), on estima qu'il serait possible d'échanger les proues d'un navire à l'autre. Le procédé s'apparenterait à la méthode de construction originale et s'avérerait la solution de prédilection s'il était possible d'aligner la proue du *Chaudière* sur le *Kootenay*.

Les deux navires ont été construits à partir des mêmes plans. Cependant, vu que le *Chaudière* avait été construit à Vancouver et le *Kootenay* à Halifax, il fallait d'abord vérifier si les deux unités préfabriquées avaient été construites selon des tolérances suffisamment semblables. On prit des points



Fig. 1 Section de proue du MV *Nordpol* à la suite de la collision. On peut apercevoir une pièce écrasée de la proue du *Kootenay* saillant de la brèche.

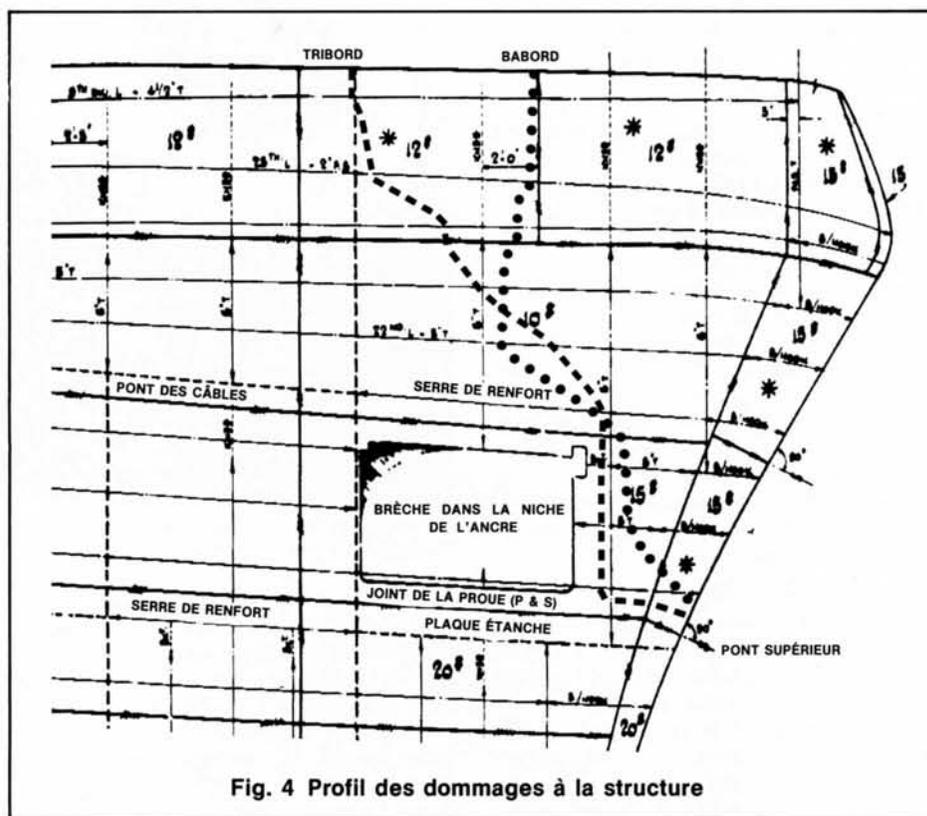


de repère sur les deux navires, juste à l'arrière de la cloison d'abordage, en se servant de la membrure n° 3 comme référence longitudinale et du pont supérieur comme référence verticale. On a choisi la membrure n° 3 comme repère pour s'assurer que les points de référence soient bien au delà des dommages et pour éviter toute possibilité de mauvais alignement. De même, on a choisi le pont supérieur puisque l'on considérait que l'alignement de la partie arrondie était critique. Les ingénieurs de l'Unité de génie maritime (P), à l'aide de baguettes, mesurèrent les distances entre les points de référence et les membrures et les lisses. On calcula aussi les distances entre les membrures et les lisses. On construisit des gabarits des parties arrondies de la coque babord et tribord et de la partie de l'étrave située juste au-dessus du pont n° 3.

Toutes les mesures et les gabarits indiquaient que les deux structures très similaires. Seuls les caractéristiques suivantes différaient :

- l'alignement de la courbe de la coque différait de 3/4 po à certains endroits du côté tribord;
- le pont n° 2 du *Kootenay* était plus élevé que celui de *Chaudière* d'environ 1-1/2 po; et
- la cloison étanche du *Kootenay* était située plus à l'arrière que celle du *Chaudière* d'environ 1-1/4 po.

On ne considérait pas l'alignement interne des ponts comme critique, donc les deux derniers points (b. et c.) ne devraient pas causer



de problèmes importants lors de l'assemblage. Pour ce qui est de la partie courbe de la coque (a.), l'équipe de réparation estimait qu'il serait possible de la caréner suffisamment sans trop de difficulté.

Échange de proues

Les deux navires furent placés côte à côte et l'on se prépara à enlever les proues. La proue du *Chaudière* fut découpée à 3 po au-delà des repères du joint inférieur pour permettre un certain jeu lors de l'alignement.

Après que la section de proue du *Chaudière* fut enlevée (le 9 juin), les lisses furent coupées de 4 po et 7 po respectivement en deça du joint du pont et de la coque latérale. Les membrures furent coupées à 3 po du joint. La proue du *Kootenay* fut découpée le long du joint inférieur de la section préfabriquée n° 31. Les lisses furent coupées de 12 po et 20 po de la coupure le long du plafond et de la coque, respectivement. Les membrures furent coupées jusqu'au pont n° 3. La proue endommagée fut enlevée le 13 juin (figure 5).

En raccourcissant les membrures du navire et de la nouvelle proue, on s'écartait de la méthode de construction originale. Pour pouvoir intégrer les deux structures correctement, les membrures et les lisses auraient dû saillir de la coque. Il en a été décidé autrement pour trois raisons. Premièrement, nous pensions que nous aurions beaucoup de carénage à faire pour remédier au désalignement indiqué par le mesurage initial. En enlevant des lisses des deux côtés du joint inférieur de la section, on réduisait la rigidité de la coque, facilitant le processus de réglage et d'alignement des plaques de la coque. Deuxièmement, vu que la méthode d'alignement et de réglage proposée voulait que la proue soit amenée tout près de la coque, des lisses en saillie nuiraient considérablement à l'opération. Finalement, on pourrait faire graduellement transition entre les unités en installant des nouvelles pièces de renfort qui compenseraient tout mauvais alignement des lisses et des membrures.

En préparation du réglage initial de la nouvelle proue, des supports furent soudés sur le *Kootenay*, le long de la coupure inférieure. Huit goujons furent soudés à la proue, quatre sur le pont supérieur et deux de chaque côté. Le 22 juin, la section de 13 tonnes fut placée entre les supports et appuyée contre la coque du *Kootenay* (figure 6). À l'aide de baguettes, on mesura la distance entre la membrure n°3 et la cloison étanche n° 2. La section fut déplacée à l'aide de palans jusqu'à ce que la distance soit la même de tous les côtés et que son centre soit aligné sur le centre du navire. On utilisa un bloc de 3 po pour marquer le long du joint inférieur du *Kootenay* l'excès du matériau à enlever de la nouvelle proue.

Après que l'excès de matériau fut découpé, la proue fut à nouveau amenée à proximité de la coque. On vérifia une fois de plus le réglage et de petites quantités de matériau durent être enlevées pour faire correspondre parfaitement la proue et le joint. Avant d'enlever la proue endommagée du *Kootenay*, on avait pris des points de repère sur les membrures 2, 4 et 7. Des repères similaires furent ensuite placés sur la lisse 2 et la perpendiculaire avant du *Chaudière*, permettant de vérifier si l'élévation de la nouvelle proue était acceptable. Finalement, l'alignement fut vérifié visuellement afin de s'assurer que la nouvelle section était esthétiquement acceptable.

Carénage et soudage

On parvint à caréner les plaques de la coque en soudant un support en L à celle qui était la plus basse (celle du *Kootenay* ou celle de la nouvelle proue) (figure 7). Un coin fut ensuite inséré dans l'ouverture pour forcer la partie saillante en ligne. Une fois alignées, les plaques furent soudées par points. On commença le soudage au centre du pont supérieur pour se déplacer vers l'extérieur. On poussait ainsi les "rides" vers les côtés et vers le bas, ce qui permettrait de tailler davantage de matériau au besoin. Le pont, la partie arrondie de la coque et le joint inférieur furent tous éventuellement carénés à la coque du navire. La seule partie qui causa des petits problèmes fut la nouvelle section de l'étrave qui dépassait légèrement en bas. Une coupure en croix fut pratiquée dans l'étrave. Le matériau excédentaire fut enlevé de chacune des branches de cette croix et l'étrave fut resoudée.



Fig. 7 Carénage de la coque à l'aide de supports en L.



Fig. 5 La proue est déposée sur la jetée B et les dommages subis à la ligne des 65° sont clairement visibles. (Photo par R.L. Hopkins, QHM Esquimalt.)

Une fois la nouvelle proue carénée, on entreprit le soudage final. On adopta une séquence de soudage qui consistait à diviser le joint en neuf sections et de faire travailler trois soudeurs simultanément. Pour empêcher toute distorsion et maintenir l'alignement durant le soudage, on plaça des renforts arrières en travers de la ligne de soudage à intervalles rapprochés (figure 8). D'un côté de la ligne de soudage les renforts furent temporairement soudés en place et de l'autre côté ils furent bien calés contre le pont. Cette méthode permettait une expansion longitudinale pendant le soudage, sans permettre de distorsion.

Le mauvais alignement de la cloison étanche n° 2 fut corrigé en coupant la section inférieure de la cloison de la nouvelle proue de 3 pi 4 po. Pour qu'il y ait une certaine continuité structurale entre le haut et le bas, une nouvelle section fut insérée et soudée en place. Le pont n° 2 qui avait été tordu fut enlevé à partir de l'arrière de la cloison d'abordage jusqu'au joint de la coque principale et une nouvelle section fut fabriquée. Le soudage fut entièrement terminé le 6 juillet.

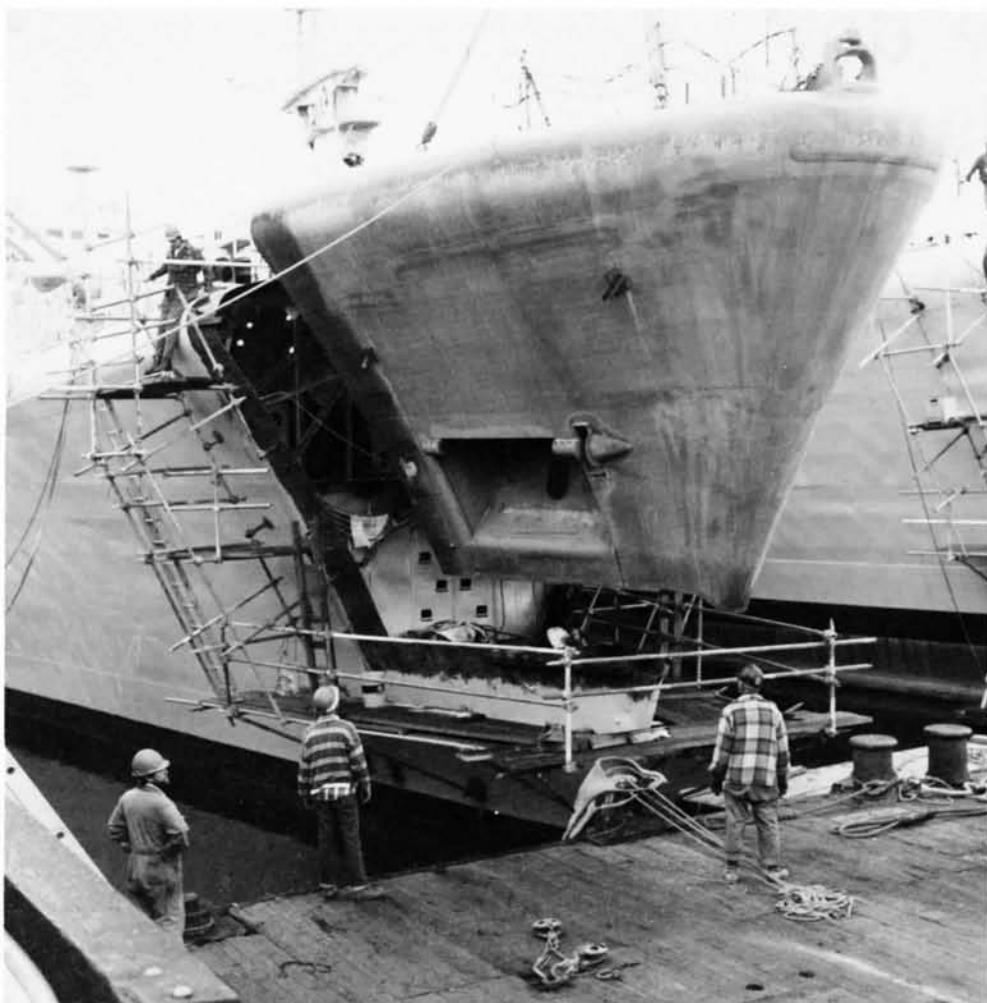


Fig. 6 La nouvelle proue provenant du *Chaudière* est mise en place sur le *Kootenay*.



Fig. 8 En préparation du soudage final, des renforts sont soudés et calés dans des supports à encoches de chaque côté de la ligne de soudage pour empêcher la distorsion.

Les finitions furent complétées le 25 juillet, ce qui permit d'achever le travail selon l'échéancier prévu. Le travail effectué par l'UGN(P) et l'URN(P) fut de première qualité. Nos chantiers maritimes ont encore une fois démontrés leur habilité à entreprendre et à compléter rapidement et efficacement un travail aussi inhabituel que techniquement difficile. L'incident a de plus démontré l'excellence de la conception originale de la proue. La proue du *Kootenay* a du absorber un impact énorme, mais elle n'a quand même été écrasée que jusqu'à la cloison d'abordage, qui est demeurée intacte et qui a conservé au navire son étanchéité intégrale.



Le Lcdr Archibald, anciennement chef de la Division d'architecture navale de l'UGN(P), est actuellement l'architecte de projet du BP PCAS à Ottawa.



Le Lt(M) O'Reilly est l'architecte des navires pour la division d'architecture navale de l'UGN(P).

Le problème des turbo-soufflantes

par le Lcdr Kevin Woodhouse

Tout a commencé innocemment au mois d'avril 1987 lorsque je reçus un appel téléphonique d'un collègue d'Esquimalt. Avions-nous, à Halifax, des problèmes avec les turbo-soufflantes Y-100? Apparemment, la flotte de la côte ouest avait dû faire face à quatre pannes en autant de mois.

Une recherche dans les dossiers de l'UGN (A) ne révéla rien; même la mémoire "collective" de l'unité resta muette sur ce point. Depuis 10 ans, voire davantage, il n'existait aucun rapport signalant des cas de panne. Le problème de la côte ouest semblait donc le résultat d'un jeu de coïncidences comme il s'en produit parfois. Comme nous nous sentions à l'abri du problème, nous l'âmes peu à peu oublié, de sorte que nous fûmes pris au dépourvu par les événements qui survinrent au cours de l'année et demi qui suivit; en effet, 26 turbo-soufflantes tombèrent en panne. Tout le secteur de la logistique dut faire face à une surcharge de travail alors que la marine se dépensait corps et âme à jongler avec rechanges, navires et personnel de manière à pouvoir respecter ses obligations.

De façon inexplicable, les pannes se produisaient au hasard dans des conditions tout à fait différentes et de manière imprévisible. Les turbo-soufflantes pouvaient aussi bien tomber en panne alors que la mer était calme, pendant la manœuvre du navire à tous les régimes, à l'entrée d'un pont ou à sa sortie, même une fois pendant des essais à puissance maximale. Une autre tomba même en panne au début d'essais en bassin. Toutes ces pannes ne présentaient qu'un seul point commun : une déformation par flexion du rotor de la turbine.

La gravité des déformations du rotor et la vitesse à laquelle ces déformations s'amorçaient permirent de déterminer l'étendue des dommages subis par le reste de la machine. Certains rotors avaient subi des déformations dans une seule direction. D'autres, de façon bizarre, avaient subi un fléchissement dans deux directions diamétralement opposées, comme s'ils avaient été fixés aux deux extrémités et qu'ils s'étaient déformés d'un côté et de l'autre du centre. Chose plus étrange encore, certains rotors avaient subi une déformation par flexion, endommageant le sta-

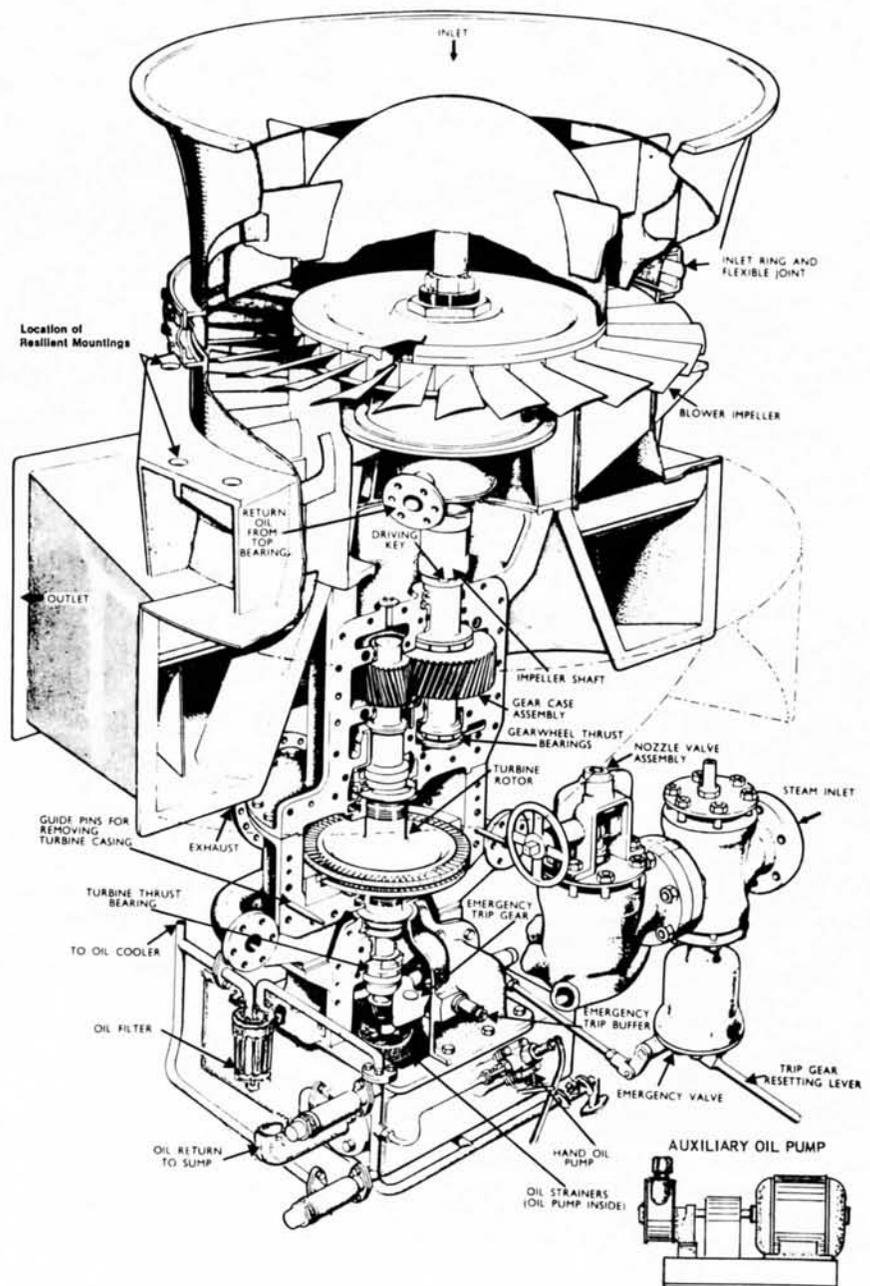


Fig. 1. Disposition générale de la turbo-soufflante Y-100

tor, puis avaient repris leur forme initiale.

De manière à solutionner cette énigme, nous dûmes remonter à plus de vingt ans dans les antécédents de la turbo-soufflante Y-100, tout en utilisant la technologie de pointe de la diffraction des rayons X. La recherche, non sans peine, d'indices devait se faire sous la pression constante d'assurer des unités complètement opérationnelles à partir de ressources sans cesse amenuisées.

Conception des turbo-soufflantes

À l'origine, les turbo-soufflantes Y-100 (fig. 1) furent conçues et construites par WH Allen de Bedford, Angleterre. Elles furent mises en service pour la première fois au milieu des années 50 à bord des frégates canadiennes de classe *St. Laurent* et à bord des frégates de classes *Whitby* et *Rothsay* de la Royal Navy britannique. Plus tard, elles furent embarquées à bord des frégates de la RN de classe *Leander* et de tous les destroyers canadiens à vapeur Y-100. Actuellement, 17 bâtiments de guerre canadiens Y-100 embarquent chacun deux turbo-soufflantes.

Les turbo-soufflantes fournissent l'air comburant aux deux chaudières Y-100 de chaque navire, en le faisant passer dans des gaines traversant la superstructure et dans les tambours aboutissant aux enveloppes des chaudières. La roue à aubes de la soufflante à simple étage et à débit axial est entraînée par une turbine à vapeur à roue Curtis à deux étages par l'entremise d'un réducteur à engrenages hélicoïdaux à simple réduction. Au moyen de vapeur surchauffée sous une pression de 550 lb/po², une température de 850° F et un débit de 8 000 lb/h, elle peut produire un volume d'air maximum de 65 000 pieds cubes à la minute lorsque la roue et la turbine tournent respectivement à 4 750 et 13 614 tours à la minute. Chaque turbo-soufflante Y-100 a une hauteur de huit pieds, une largeur de six pieds et un poids d'environ 1 1/2 tonne.

Le rotor de la turbine est fait d'acier au carbone venu de forge. Trois portées y sont montées, une de chaque côté d'un pignon hélicoïdal à la partie supérieure et une troisième au bas du rotor. Pour empêcher l'infiltration de vapeur dans les pièces de machines, de joints labyrinthes sont usinés de chaque côté du disque de la turbine et des collets de barbotage, qui empêchent le passage d'humidité, s'appuient sur l'extérieur des labyrinthes. Un déflecteur d'huile et une garniture d'huile sont aussi installés à la partie supérieure et à la partie inférieure respectivement. Pour assurer le jeu axial, un collet de butée est posé à la partie inférieure et à côté d'un déclencheur de survitesse à double anneau. Un arbre d'entraînement auxiliaire, mis en train par un simple pignon hélicoïdal est monté au bas de l'appareil.

Enveloppes de rotors

Un examen plus détaillé de l'enveloppe de la turbine montre un assemblage complexe (voir figure 2). L'enveloppe du stator comprend trois sections distinctes boulonnées ensemble au moyen de deux flasques horizontaux. La section du haut renferme le réducteur, celle du bas les entraînements auxiliaires et le déclencheur de survitesse. La section centrale renferme le coffre de vapeur, les tuyères du stator et le joint labyrinthe de vapeur inférieur.

Il importe de constater la présence des deux joints qui relient les trois enveloppes. Le joint supérieur est emboîté et celui du bas ne l'est pas et ne comporte que deux boulons de fixation pour assurer son positionnement dans le plan horizontal. La disposition à trois paliers est aussi d'une importance capitale. Les paliers supérieurs de chaque côté du pignon se trouvent dans la partie supérieure du réducteur, mais le palier inférieur, à l'autre extrémité, loge dans la partie inférieure du réducteur. Des déflecteurs d'huile, des garnitures étanches et des labyrinthes sont aussi montés dans les enveloppes.

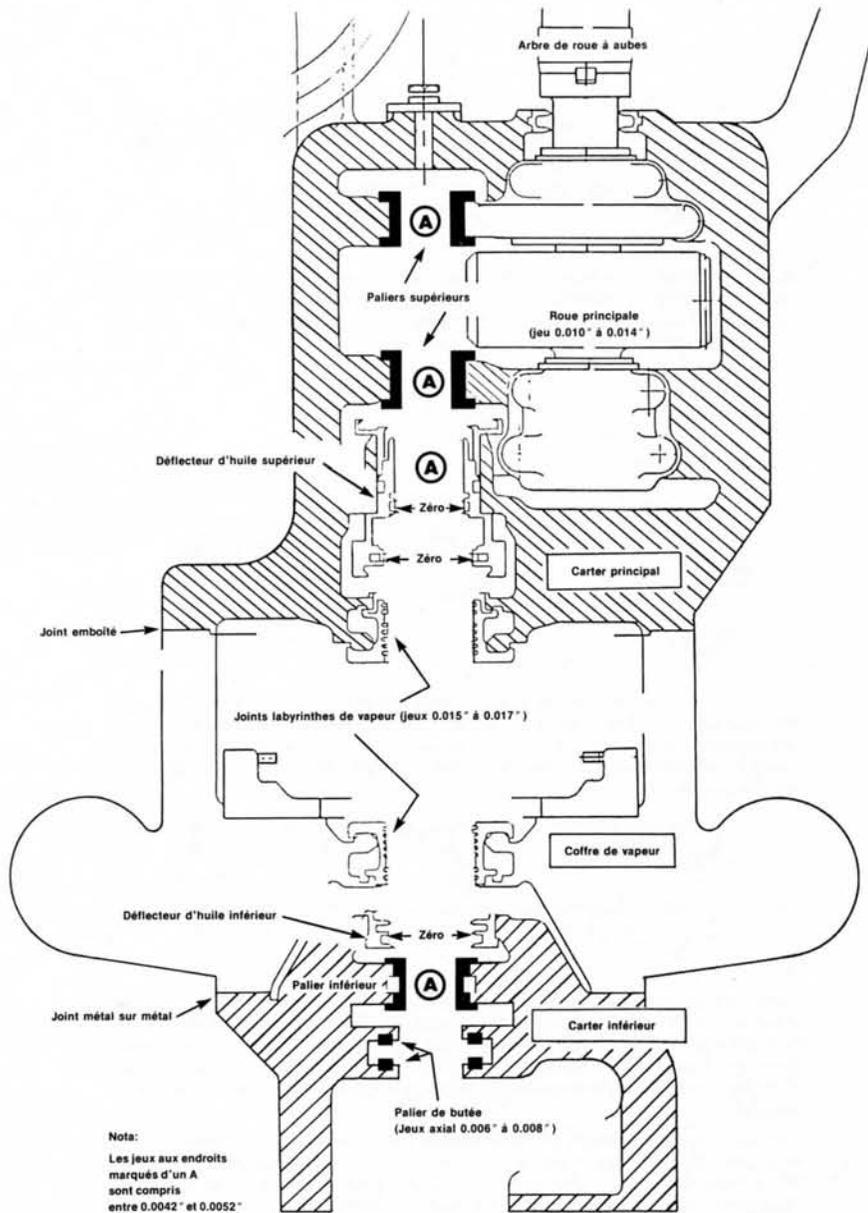


Fig. 2. Enveloppes de turbo-soufflante Y-100 avec rotor déposé
— 3 enveloppes et 2 joints

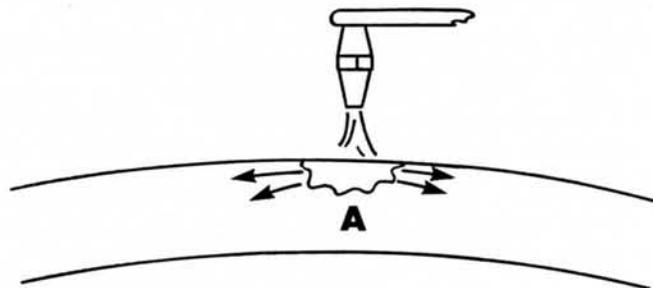
Tous les dommages observés à chaque panne se limitaient au rotor de la turbine et aux éléments du stator qui avaient été en contact avec le rotor. La roue à aubes, la roue principale et l'arbre de la roue à aubes n'avaient pas été touchés par les pannes, sauf dans le cas le plus grave où la roue principale avait été endommagée légèrement par le bris de certaines dents d'engrenages.

Révision et réparation Enveloppes de stator

La plus grande partie des pannes entre 1987 et 1988 se sont produites à bord des navires de la côte est (base Halifax). Seulement cinq pannes ont été enregistrées à bord des navires de la côte ouest (base Esquimalt). Le chantier naval d'Esquimalt disposait cependant d'une enveloppe de stator de turbo-soufflante, équipée d'un rotor de rechange, complètement révisée en atelier et immédiatement disponible pour les opérations de révision et de réparation au moment du radoub d'un navire de la côte ouest. Les navires de la côte est, quant à eux, doivent souvent faire l'objet d'un radoub dans la province de Québec, à 800 kilomètres du chantier de Halifax, et la remise en état de la turbo-soufflante doit se faire sur place, y compris le remplacement des paliers, des labyrinthes, des joints d'huile et du rotor, et toutes ces pièces doivent être alignées et s'adapter à la roue principale sans qu'on ait à démonter les enveloppes.

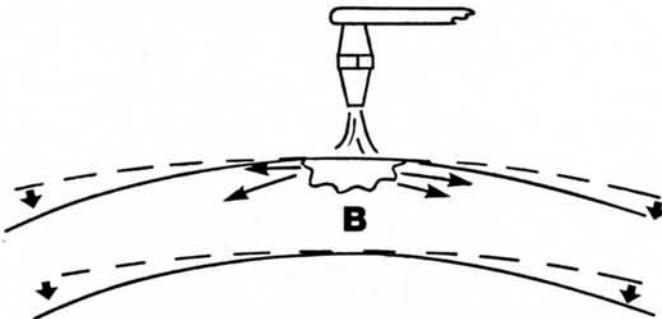
L'installation de la soufflante à bord des navires Y-100 canadiens est tout à fait différente de celle à bord des navires britanniques du même type. L'enveloppe de la soufflante canadienne est suspendue au plafond de la salle des chaudières. La partie supérieure du tambour traverse le plafond; de cette façon, le logement du palier supérieur de la roue à aubes fait pratiquement partie de la superstructure du navire. Un hangar d'hélicoptère se trouve au-dessus du tambour d'admission de la soufflante. L'accès par le bas de l'appareil est très difficile en raison de la faible hauteur libre au-dessus des caisses alimentaires de réserve disposées immédiatement en dessous. Pour faciliter un tant soit peu l'accès à la partie supérieure de la turbine, il faut ériger une plate-forme dans la salle des chaudières.

En raison de cette construction, il est impossible de sortir tout l'appareil du navire sans procéder à un démontage important. Par conséquent, la pratique mise au point pendant les radoubs de navires consiste à procéder à la révision sur place de l'appareil. Il importe de se rappeler que la version à trois paliers comporte trois paliers lisses à parois épaisses garnies de régule. Ces paliers sont dressés et ajustés à la main sur une broche d'alignement qui elle-même doit s'adapter à une autre broche montée dans les paliers de la roue de la soufflante. Une fois cette opération terminée, on utilise des broches de rectification pour aligner les joints labyrinthes de vapeur et les déflecteurs d'huile, ces opé-

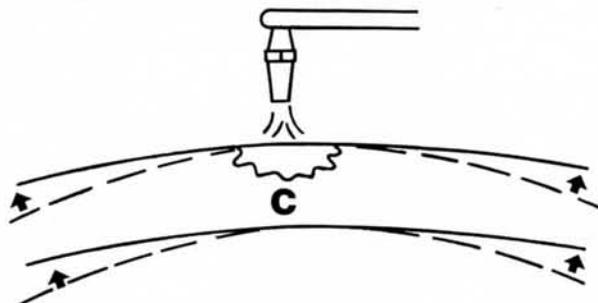


Supposons l'arbre d'un rotor déformé par flexion (A).

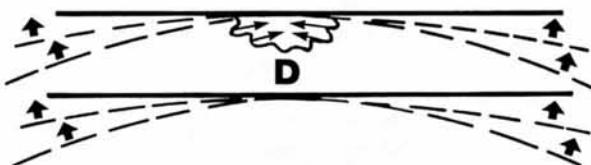
Une petite surface du côté convexe du pli est chauffée au chalumeau. La surface sous le chalumeau se réchauffe et se dilate (elle s'allonge). (Autrement dit, si on enlevait la source de chaleur à cette étape-ci, la zone chauffée reprendrait sa forme initiale.)



À mesure que la surface se dilate (B), des forces s'exercent sur la masse non traitée et le rotor tend à fléchir davantage. Les contraintes sont alors induites dans le matériau non traité, mais dans une direction opposée; le matériau non chauffé est alors sous contraintes.



À mesure que la chaleur est appliquée (C), la zone du point chaud s'approche du point de fluage plastique et perd ainsi sa résistance à la traction. Les forces générées par le point chaud disparaissent. Les contraintes résiduelles dans le matériau non chauffé du rotor replace l'arbre dans son état initial de fléchissement.



Lorsque l'apport de chaleur est coupé (D), le point chaud refroidit et reprend ainsi sa résistance à la traction, il se contracte et exerce sur le rotor des forces dans la direction opposée de manière à redresser le rotor. Ce redressement produit des contraintes résiduelles dans le matériau non chauffé qui est alors mis sous contraintes par rapport à son état de "fléchissement" naturel.

Le rotor présente maintenant des contraintes résiduelles qui s'opposent et la résistance à la traction très élevée dans le point chaud permet de maintenir le rotor droit. On utilise parfois plusieurs points chauds pour redresser le même rotor. Le cas échéant, les points doivent se trouver à différents endroits.

Fig. 3. Technique de redressement thermique sur points chauds

rations étant exécutées au-dessus des caisses alimentaires de réserve de la salle des chaudières. Cette technique de réparation sur place est très difficile, car il faut tenir compte de tolérances très étroites à respecter.

Révision du rotor

Un examen des antécédents de révision de rotor de turbine du fabricant nous a posé davantage de difficultés. Au cours des cinq années qui ont précédé 1987, quelque 52 rotors avaient été renvoyés à la Allen de Bedford, Angleterre, pour fins de remise en état, 38 d'entre eux nécessitant un redressement des aubages. Si on remonte à 1971, un total de 156 rotors avaient nécessité une révision et au cours de la période de cinq ans, comprise entre 1959 et 1964, 106 rotors avaient dû être remis à neuf. Pour ainsi dire, des centaines de pannes s'étaient produites en plus de trente ans de service de turbo-soufflantes Y-100. Fait cocasse, pendant toute ces années, *aucun rapport d'état non satisfaisant n'avait été dressé!*

Les rotors endommagés avaient été réusinés à partir du métal de base dans les zones sujettes au rainurage ou au rayage radial et replaqué par nickelage. Cette méthode de récupération est simple et acceptable. Il faut ensuite procéder au réusinage pour redonner au rotor sa forme initiale, les zones endommagées se trouvant normalement autour des joints labyrinthes, des déflecteurs d'huile et des paliers. À l'occasion, un pignon devait être remplacé. (Ceux-ci sont ajustés serrés par retrait sur le rotor de la turbine.) Il était très rare de devoir réparer les aubages. Si un rotor avait subi une déformation hors des limites de tolérances prévues (comme cela s'est produit la plupart du temps), les aubages étaient redressés au moyen d'un traitement thermique sur points chauds ("hot-spot") (voir figure 3).

Recherche d'indices

Entre les mois de janvier et novembre 1987, il s'est produit 14 pannes de turbo-soufflantes Y-100 à bord des navires de la flotte canadienne, quatre d'entre elles se produisant à bord du NCSM *Assiniboine* en l'espace de quelques semaines. De ces pannes, trois se sont produites successivement pendant les réglages de fonctionnement à la suite de réparations sur place. À terme, les obligations opérationnelles furent mises de côté et on profita finalement de l'occasion pour procéder à un examen approfondi de l'installation de la turbo-soufflante.

Le représentant du fabricant arriva d'Angleterre pour se joindre à l'équipe de recherche, mais aucune des questions qu'il souleva n'était nouvelle. Selon la WH Allen, tout le travail qui avait été fait jusqu'à maintenant semblait satisfaisant. La recherche préliminaire d'indices avait été vaine. Ne sachant que faire, le représentant de la WH Allen retourna à Bedfordshire.

Nous retournâmes au problème et décidâmes de mener l'examen sous deux aspects : les ingénieurs étudieraient l'installation du stator tandis que les métallurgistes du laboratoire du chantier de l'ERD (A) examineraient la microstructure du rotor, même si à cette étape rien ne laissait croire que la structure était en cause. (Lorsqu'on ne sait pas à quoi s'attendre, on étudie toutes les possibilités.)

Étude du stator

Au fur et à mesure de l'examen du stator, certaines situations permirent de penser, croyions-nous, que nous avions trouvé la source des pannes des turbo-soufflantes.

Il semblait que la charge et la rigidité exercées sur les enveloppes du stator agissaient d'une certaine façon sur la condition dynamique de manière à générer des contraintes inégales au voisinage des enveloppes du stator et ainsi désaligner partiellement les sections supérieure et inférieure. Les supports des conduites de vapeur étaient sensiblement différentes entre les navires de même conception et lorsque nous avons débranché les conduites d'alimentation et d'échappement du coffre de vapeur, les tuyaux se déplacèrent dès que les flasques furent desserrés. Les supports et les fixations avaient, très certainement, au fil des ans, été déplacés et déposés, apparemment avec un laisser-aller irréflecté.

À bord des navires plus vieux, nous avons aussi remarqué que les deux tuyaux d'huile de graissage en acier formaient un raccord rigide entre la partie supérieure de la soufflante et le carter suspendu. (Dans les navires plus récents, ces conduites étaient munies d'éléments centraux flexibles.) Nous avons aussi observé la présence de supports résilients cimentés inefficaces qui, dans certains cas, n'avaient pas été remplacés depuis vingt ans, voire davantage. Aucun de ces problèmes ne pouvait cependant expliquer le nombre si important de pannes en condition stable.

Nous avons ensuite tenté de procéder autrement.

Il est bien connu que la turbo-soufflante Y-100 canadienne présente des fuites d'huile aux garnitures d'étanchéité. L'installation fut modifiée en 1964 pour comprendre une motopompe auxiliaire de graissage utilisée au démarrage, à l'arrêt et dans les cas où la roue à aubes tournerait folle au moment de l'arrêt. Les fuites d'huile étaient attribuables à l'utilisation de cette pompe.

Le fonctionnement continu de la motopompe pendant la marche de la turbo-soufflante génère une pression excédentaire dans le circuit et surcharge les garnitures d'étanchéité. C'est ainsi que l'huile suinte vers l'extérieur en direction des boîtes étanches de vapeur à labyrinthes et, au contact de la partie la plus chaude du rotor et du coffre de vapeur, sature le calorifugeage et cimente l'arbre du rotor. Le fait d'arroser

d'eau froide le coffre de vapeur et le rotor fonctionnant sous une température voisine de 750° F, en vue d'éteindre les incendies, a évidemment entraîné dans certains cas un choc thermique suffisant pour causer des dommages graves. Encore une fois, ceci n'explique toutefois qu'une ou deux des pannes de turbo-soufflantes.

Certains ont aussi suggéré que la déformation du rotor avait pu être attribuable au mauvais fonctionnement du circuit d'échappement de vapeur des boîtes étanches, par envahissement à contre-courant ou trempe du rotor près des boîtes étanches, mais on avait observé plus d'une panne désastreuse alors que le circuit fonctionnait parfaitement.

Insatisfaits de l'examen sur place, nous avons déposé les enveloppes de turbines de l'*Assiniboine* et les avons envoyées à l'atelier pour un examen plus approfondi. C'est à ce moment que nous avons découvert, presque accidentellement, le premier indice important pouvant mener à la cause des pannes des soufflantes.

Cette découverte est survenue lorsqu'on tenta de soulever manuellement l'appareil de sa partie inférieure. On observa un très léger déplacement entre le carter inférieur et le coffre de vapeur de la turbine. À mesure que la pression de levage appuyait les faces du flasque de l'enveloppe inférieure l'une contre l'autre, une quantité infime de liquide de nettoyage résiduel suintait. Ce suintement était à peine perceptible, mais suffisant pour l'œil de lynx de notre inspecteur des machines.

De fait, il est plus que probable que l'examen des enveloppes du stator aurait prit fin à ce moment-là si nous n'avions pas remarqué ce point. Une fois les deux joints d'enveloppe démontés, nous avons constaté que le joint emboîté supérieur était aligné trop rigidement. Toutefois, le flasque inférieur simplement retenu par deux boulons ajustés, montrait des signes évidents d'érosion. En effet, il y avait bien eu mouvement entre les enveloppes et du même coup, un désalignement des paliers supérieurs (deux) et inférieur (un) de la turbine.

Examen métallurgique

Fait remarquable, à peu près au même moment que la découverte relative à l'enveloppe du stator, les chercheurs du laboratoire du chantier de l'ERD (A) publiaient un rapport impressionnant concernant les examens métallurgiques d'un rotor endommagé. Ils avaient d'abord tenté de trouver un moyen de calculer les niveaux d'efforts exercés dans le rotor, puis de calculer les niveaux de contraintes exercées, d'abord par des méthodes évidemment non destructives. Ils devaient avant tout déterminer la position des points chauds. Ils procédèrent simplement par décapage au bain d'acide, technique qui permet de rendre ces points visibles à l'œil nu

(figure 4). Pour calculer les niveaux de contraintes, les chercheurs procédèrent de trois façons :

- a. par mesure des contraintes, au moyen de jauges et par la méthode du trou borgne;
- b. par mesure de la diffraction de neutrons (par l'entremise de l'Énergie atomique du Canada Limitée); et
- c. par mesure des contraintes au moyen de la diffraction des rayons X.

La première méthode ne se révéla efficace que pour la mesure du gradient moyen de tension superficielle sur un point chaud. La méthode de diffraction de neutrons n'était précise que pour la mesure des contraintes en profondeur en un point chaud, mais elle était moins précise pour mesurer les tensions superficielles. En outre, cette méthode est plus coûteuse et prend du temps ce qui empêche son utilisation sur place. La technique de diffraction de rayons X permet cependant d'obtenir les meilleurs résultats, car nous recherchions une mesure précise du profil des tensions superficielles sur un point chaud. Le matériel d'essai était suffisamment mobile et la société ontarienne Proto Manufacturing put le transporter au laboratoire de l'ERD(A) de Halifax afin d'y mener les travaux.

La diffraction de rayons X permet de mesurer avec précision l'espacement entre les liaisons du réseau cristallin d'un matériau. La structure du réseau et la stratification immédiate des miroirs du cristal permettent de calculer les niveaux de contraintes résiduelles. Plus les miroirs du cristal sont rapprochés, plus les contraintes résiduelles de traction sont élevées. Par bombardement d'un matériau aux rayons X, et par la mesure du degré de diffraction des rayons de l'autre côté, il est possible de mesurer les distances entre les miroirs du cristal et par la suite les efforts résiduels à partir desquels peuvent être mesurées les contraintes résiduelles.

La figure 5 montre le profil prévu de contraintes sur un point chaud et les profils de deux points chauds réels sur un même rotor. Les niveaux très élevés de contraintes de compression au centre des points chauds ont indiqué une surchauffe du rotor et la phase critique qu'a dépassé la température de transformation.

Il se forme de la martensite à mesure que le centre du point chaud surchauffé refroidit. La périphérie du point chaud est relativement froide et les liaisons du réseau sont fixes, tandis que la martensite subit une *augmentation* de son volume spécifique pendant le processus de refroidissement. Le centre du point chaud tend à se dilater, mais cette dilatation est limitée par la périphérie. Il en résulte une concentration massive de contraintes de compression. On peut remarquer à la figure 5 les changements radicaux des contraintes de traction transformées en contraintes de compression.



Fig. 4. Un procédé de décapage au bain d'acide a servi à révéler ce point chaud.

La présence de martensite n'a pu être confirmée que par un examen au microscope. Une section découpée dans un point chaud (à ce moment, un rotor endommagé était disponible pour un essai destructif), fut polie et décapée dans un bain d'acide. Au microscope, on observa les irrégularités très visibles dans la microstructure (fig. 6). Les zones au centre du point chaud furent identifiées comme étant de la martensite. En plus de présenter des fortes contraintes résiduelles,

la martensite est aussi un matériau très dur. Un essai de dureté a permis de confirmer que le matériau était effectivement de la martensite. Nous venions de trouver l'indice important relatif aux pannes de rotor, car il est connu que les *contraintes résiduelles élevées dans la martensite tendent à diminuer après un certains temps.*

Le problème des turbo-soufflantes

Les deux principales causes ont été identifiées. Séparément ou ensemble, elles furent initiatrices d'environ 26 des pannes relevées entre 1987 et 1988.

Les contraintes résiduelles dans les rotors contenant de la martensite devaient graduellement diminuer en service, permettant ainsi aux rotors de reprendre leur forme d'origine. En fonction du régime de la turbine auquel cette relaxation avait lieu, un rotor pouvait non seulement endommager le stator, mais il subissait une surchauffe locale le long d'un de ces côtés. Cette surchauffe augmentait le degré de déformation du rotor ce qui entraînait notamment un déplacement des garnitures et des joints labyrinthes de boîtes étanches, la création de jeux larges, un arrêt du frottement, un refroidissement et, dans certains cas, une flexion dans la direction opposée, tout comme dans le procédé de traitement sur point chaud de manière à causer par la suite un frottement du côté opposé. Une fois refroidi, le rotor pouvait parfois se redresser par ce procédé.

Dans certaines installations, les dommages au rotor et au stator étaient minimes. Le rotor fonctionnait avec une légère déformation, avait modifié ses propres jeux à l'intérieur du stator et pouvait fournir un service satisfaisant pendant des années jusqu'à ce qu'on découvre la défectuosité au démontage pendant le radoub du navire. Ceci expliquait aussi la nature aléatoire des pannes. Le nombre de points chauds variait entre les rotors, tout comme variaient aussi les niveaux de contraintes résiduelles produites pendant la révision.

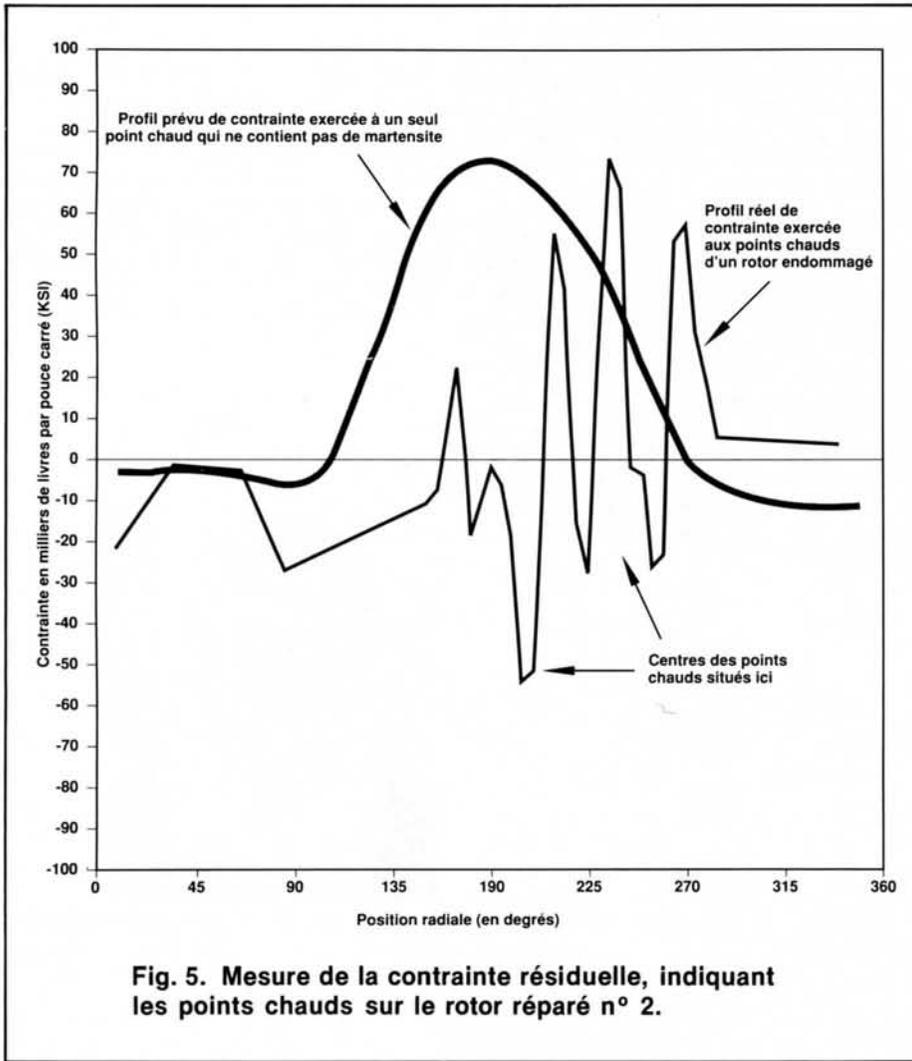
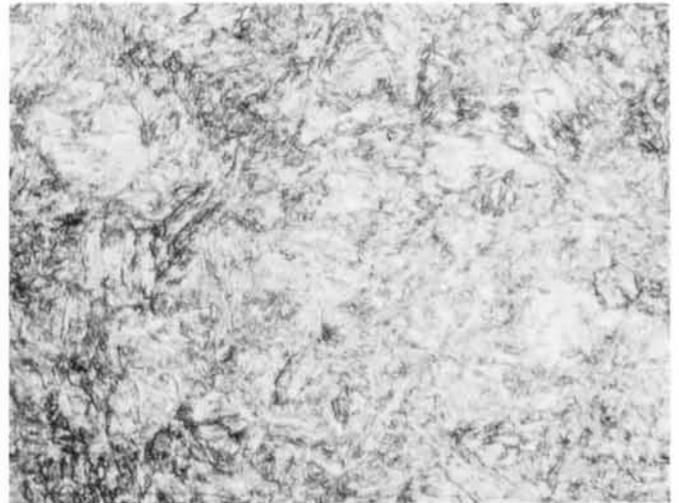
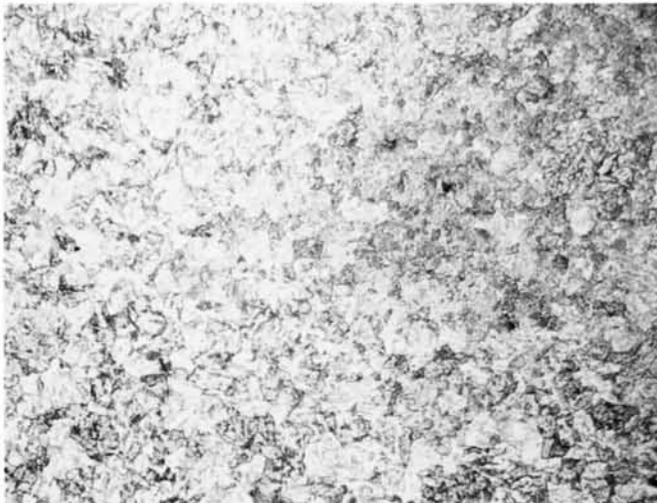


Fig. 5. Mesure de la contrainte résiduelle, indiquant les points chauds sur le rotor réparé n° 2.



Microstructure saine
d'un acier au carbone
(Grossie 500 fois)

Début du changement
d'état de la
microstructure

Martensite (Grossie 1000 fois)

Fig. 6. Microstructure d'un point chaud

Il ne fait aucun doute que le desserrage du joint de l'enveloppe inférieure — pas forcément dans tous les cas observés — a causé un désalignement et a permis au rotor d'entrer durement en contact avec les joints labyrinthes du stator. Une fois le contact fait, les dommages produits pouvaient être désastreux ou simplement une source de vibrations à des régimes élevés, tout dépendant de la stabilité du métal constitutif du rotor.

Conclusion

L'étude des causes des pannes a permis d'apporter de nombreux correctifs.

- a. La méthode de redressement des rotors aux points chauds a été remplacée par une technique de redressement mécanique, suivie d'un traitement thermique de normalisation. Les rotors redressés par technique mécanique fonctionnent maintenant de façon satisfaisante et certains des rotors qui auraient autrement été mis au rebut en raison du traitement sur point chaud ont pu être récupérés aux fins de réutilisation.
- b. Les réparations sur place ne sont plus exécutées et des enveloppes réusinées de rechange sont conservées aux fins de révision et de réparations à bord des navires de la côte est.
- c. Les supports résilients font l'objet d'un renouvellement progressif dans toute la flotte.
- d. Certaines modifications sont en cours d'exécution notamment :
 - (1) l'installation d'un commutateur de pression dans le circuit de la moto-pompe de graissage pour permettre à la pompe de rester fermée ou de démarrer seulement en cas de perte de charge d'huile de graissage;
 - (2) l'installation d'éléments flexibles sur les deux conduits d'huile de graissage en acier qui mettent en communication les enveloppes inférieure et supérieure.

Les problèmes des turbo-soufflantes Y-100 au cours des vingt-cinq dernières années étaient bien enracinés. Ils étaient attribuables à un certain nombre de facteurs relativement distincts, mais qui une fois ensemble catalysaient en somme la fréquence élevée de pannes que nous avons connues au cours des dernières années. Des centaines de pannes de rotor n'ont jamais fait l'objet de recherches pendant des décennies. Les équipes de réparation des rotors, de l'autre côté de l'Atlantique, ignoraient tout du milieu dans lequel fonctionnait la machine. On ne pouvait identifier les rotors par un numéro de série — maintenant on le peut — par conséquent on ne pouvait émettre un doute immédiatement.

Pendant un certain nombre d'années, la technique de redressement du rotor sur point chaud a connu des succès intéressants, notamment pour les grosses turbines. Faute de dossiers, toutefois, personne ne pouvait consciemment redouter que le rotor à grande vitesse de la turbo-soufflante Y-100 pouvait subir des dommages à long terme. Si les rotors de turbines avaient été révisés dans un chantier naval canadien qui possède les compétences et les moyens d'effectuer ces révisions, les connaissances acquises de ce qui se passait depuis longtemps auraient pu empêcher la crise qui s'est déroulée entre 1987 et 1988. Il est tout en notre honneur, cependant, que les problèmes de la turbo-soufflante Y-100 aient pu être solutionnés entièrement par une compétence toute canadienne et obstinée, même si cela dut se faire en dépit d'un scepticisme certain et en allant au-delà des idées conventionnelles ou préconçues.

Remerciements

Comme il fut agréable et amusant pour Doug Nickerson, chef inspecteur des machines à l'UGN(A) de jouer au Dr Watson. Je tiens à remercier John Porter et Danny Moorehouse du laboratoire du chantier naval de l'ERD(A) pour tout le mal qu'ils se sont donné pour expliquer le travail des métaux et des contraintes résiduelles, et enfin, Susan MacDonald qui a su faire preuve d'une grande patience pour les nombreuses révisions apportées au document dactylographié.



Le Lcdr Woodhouse est Officier d'évaluation de l'état de l'équipement marin à l'UGN(A).

Contrôle du rendement des turbines à gaz en régime transitoire

par Lcdr N. Leak

Dès l'apparition des turbines à gaz, le besoin de concevoir des systèmes de contrôle et de diagnostic de leur état s'est fait sentir. Ces systèmes sont particulièrement importants pour les turbines marines qui doivent avoir un taux élevé de disponibilité et pour lesquelles les ressources d'entretien et de réparation sont rarement accessibles. Cela signifie qu'il est essentiel de pouvoir diagnostiquer très tôt les défaillances en repérant les défauts et les diminutions de rendement d'une turbine, afin de conserver une disponibilité optimale tout en réduisant les coûts.

Il a été reconnu que le contrôle de l'état des turbines est nécessaire pour assurer un taux élevé de disponibilité de tout le matériel. Malheureusement, aucune des techniques actuelles de contrôle de l'état des turbines ne permet d'examiner tous les aspects du rendement et d'atteindre les objectifs de durabilité, de disponibilité optimale et de réduction des coûts. Il est donc nécessaire de mettre au point un système complet de contrôle de l'état des turbines permettant d'examiner tous les aspects mécaniques mais aussi le comportement en régime stable et en régime transitoire.

Dans le passé, les limites des systèmes d'instrumentation ont empêché la mise au point d'un tel système, surtout pour le contrôle du rendement. Cependant, grâce aux systèmes de traitement de données et de détection plus perfectionnés, aux ordinateurs plus fiables et à des capacités de traitement supérieures, on devrait surmonter ces obstacles. L'introduction du système intégré de régulation des machines est une étape importante dans la mise en application de ces améliorations.

Analyse du rendement

Il est assez difficile d'identifier des défauts en étudiant le comportement de la turbine à gaz en régime stable, en partie à cause de ses caractéristiques d'autorégulation. Il semble que les réponses obtenues en régime transitoire, pendant lequel l'autorégulation est moins précise, donneraient une meilleure indication de l'état de la turbine. À première vue cela paraît logique puisque ce sont d'abord les réponses de la turbine qui donnent des indications de détérioration. Le

contrôle des cycles de démarrage et de ralentissement jusqu'à l'arrêt fournissent déjà des renseignements sur l'état du circuit d'allumage, du circuit carburant et des roulements entre les rotors.

Les études menées sur le rendement en régime transitoire du réacteur F-404 utilisé sur les CF-18 indiquent que lorsqu'il y a une déficience, par exemple au niveau du compresseur haute pression (HP), cela influe sur le rendement en régime transitoire, qui est calculé par la mesure de la poussée au décollage. Cela donne un point de départ pour l'analyse du rendement en régime transitoire. L'étape suivante consiste à quantifier la détérioration et trouver la relation avec l'état de la turbine.

Les fabricants fournissent généralement des caractéristiques nominales de rendement d'une turbine qui correspondent à des variations de puissance et de consommation de carburant en fonction des conditions ambiantes. Ils font aussi des recommandations appropriées sur les valeurs à ne pas dépasser pour assurer un fonctionnement sécuritaire ou une bonne durabilité. Ces données sont essentielles pour s'assurer que la turbine peut respecter les exigences fixées.

Lorsqu'il y a détérioration de la turbine, les données fournies par le fabricant ne sont pas très utiles pour diagnostiquer les défauts, qui peuvent aller d'un encrassement du compresseur par les poussières atmosphériques, qui nécessite un simple nettoyage, à des dommages mécaniques sérieux qui exigent une révision d'une partie d'un composant ou d'un composant en entier. Pour pouvoir prendre de bonnes décisions il est nécessaire d'avoir une base de données correspondant à toutes les conditions possibles de la turbine.

Simulation du rendement

On a déjà essayé de monter des composants endommagés sur des turbines à gaz pour déterminer comment la détérioration pouvait influencer sur le rendement, mais sans grands résultats. Cette méthode est très coûteuse et ne permet pas d'utiliser des composants très endommagés à cause du risque de causer plus de dommages. La seule méthode systématique de la détérioration des turbines

consiste à utiliser des modèles mathématiques approuvés basés sur des techniques thermodynamiques établies. Étant donné que des modèles informatiques détaillés ont permis de prédire le comportement de turbines, on considère qu'ils conviennent à la modélisation des déficiences.

Pour étudier le rendement en régime transitoire, il est nécessaire de mettre au point un programme de modélisation qui simule le rendement d'une turbine avec et sans déficiences. Ce programme doit être conçu de manière à pouvoir modéliser le rendement en régime transitoire et en régime stable d'une turbine marine standard à deux rotors et à cycle unique. On peut effectuer la simulation en traitant la turbine comme un ensemble de composants et en appliquant les relations thermodynamiques qui conviennent à chaque composant. Les paramètres de rendement du circuit des gaz peuvent alors être calculés à l'entrée et à la sortie de chaque composant afin de connaître toutes les conditions présentes dans la turbine. Un algorithme de contrôle du carburant doit être incorporé au modèle pour déterminer la quantité de carburant nécessaire et maintenir la simulation dans les limites de fonctionnement. Voir les figures 1 et 2 pour les schémas de la turbine et du modèle.

Avec les modèles informatiques on a souvent tendance à analyser tous les paramètres de rendement possibles, ce qui prend beaucoup de temps et n'est pas très utile. Par contre, lorsqu'on analyse pas assez de paramètres, le niveau de confiance dans les résultats est peu élevé, ce qui n'est pas plus utile. Pour avoir les paramètres nécessaires, on peut baser la sélection sur le critère qui veut que les paramètres soient des entrées normalement contrôlées d'un système de régulation intégrée des machines.

Lors du processus de sélection il faut aussi prendre en considération les signaux de paramètres. S'ils répondent aux exigences d'un système numérique de régulation, ils devraient être reliés au système de contrôle du rendement. Cela permettrait de contrôler l'état des turbines au moyen d'un système composé de plusieurs modules plutôt que d'un système indépendant, ce qui est moins coûteux.

Simulation des défauts

Plusieurs facteurs doivent être pris en considération lors du choix des différences à simuler. Idéalement, on devrait simuler les défauts qui risquent le plus de survenir mais il faut aussi déterminer qu'elle sera la portée et la précision de la modélisation des défauts. Comme il existe peu de données précises sur le rendement des turbines à gaz en régime transitoire, il faudrait effectuer un certain nombre de simulations afin de créer une base de données, que l'on pourrait comparer aux données réelles. Malheureusement, il n'existe pas de formule simple pour déterminer les rapports de variation du débit massique et du rendement et permettre de simuler des défauts particuliers.

On simule les défauts à l'aide de coefficients d'échelle que l'on introduit dans les relations thermodynamiques appropriées des composants. On attribue des valeurs à ces coefficients afin qu'ils indiquent des pourcentages de variation du rendement, du débit massique corrigé ou de l'efficacité mécanique, selon les besoins.

Choix des défauts

Étant donné qu'il est très peu probable qu'une seule défaut survienne au cours de la vie d'une turbine et qu'une défaut n'influe que sur une seule variable de ren-

dement, pour être efficace, le système de contrôle de l'état des turbines doit pouvoir identifier des défauts multiples, c.-à-d. des défauts dans plusieurs composants ou plusieurs défauts dans un seul composant. Des études ont permis d'observer que les effets des défauts multiples peuvent être prédits en superposant les effets de plusieurs défauts simples. Cette observation a été faite à la suite d'analyses de défauts qui ne modifiaient que légère-

ment les caractéristiques des composants. Par conséquent, le choix des simulations à effectuer devrait se limiter à un petit éventail de défauts mais qui seraient appliqués à un plus grand nombre de composants. Cette approche est recommandée lorsqu'il n'existe pas de base de données, car elle permet de mieux voir où l'analyse du rendement en régime transitoire est la plus efficace, de créer la base de données du ren-

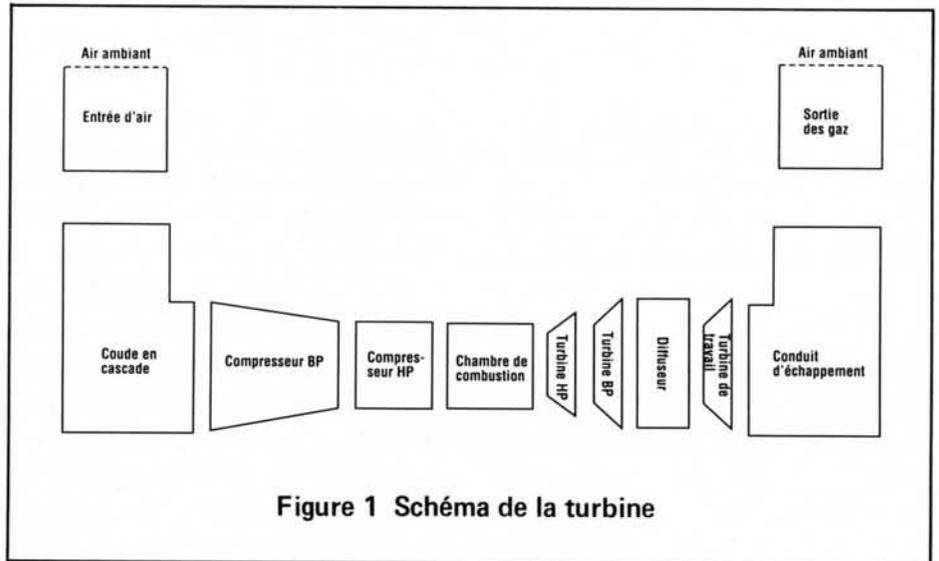


Figure 1 Schéma de la turbine

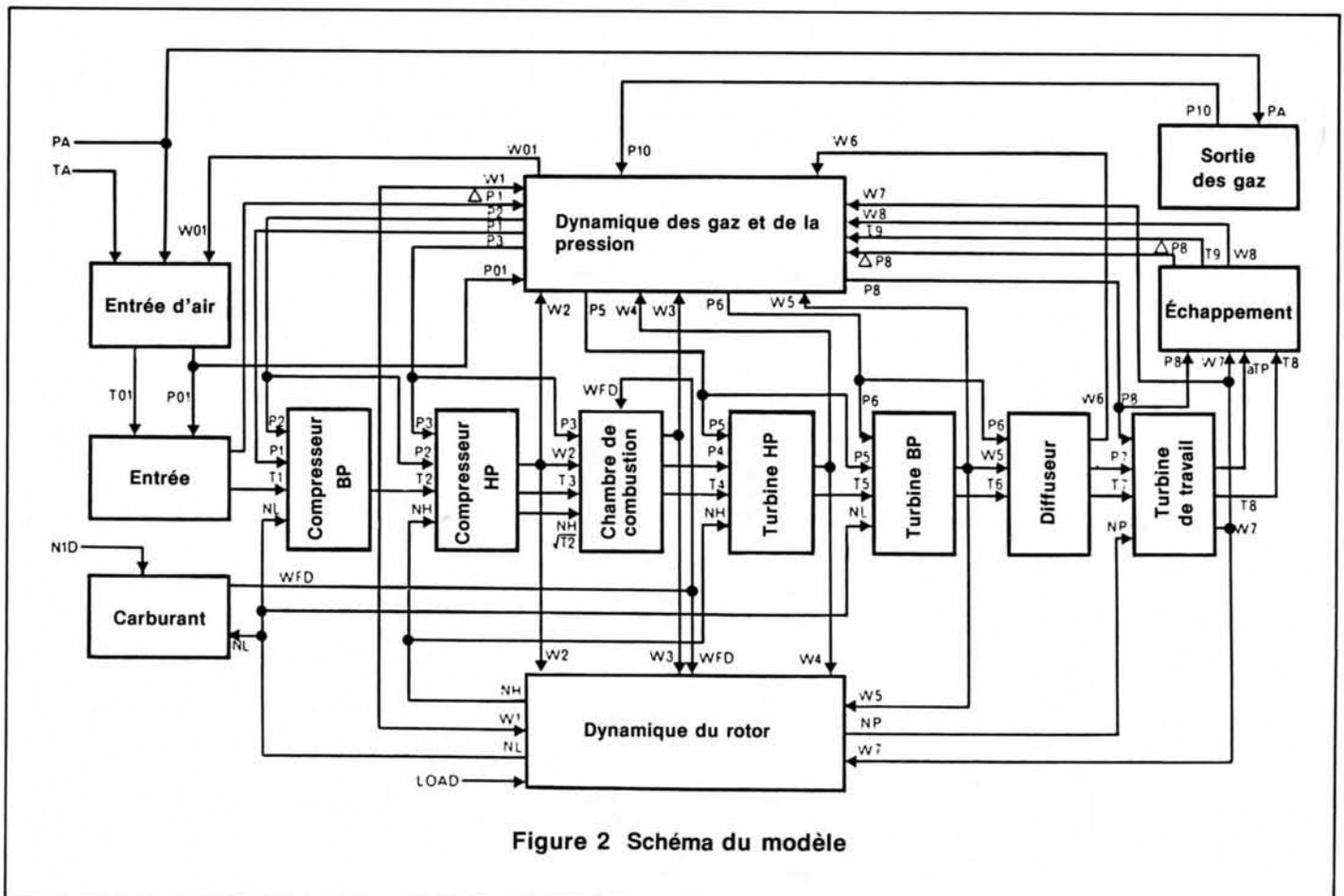


Figure 2 Schéma du modèle

dement en régime transitoire et de fournir des indications pour des simulations futures.

Analyse du rendement en régime transitoire

L'approche analytique étant définie, il s'agit maintenant de déterminer le processus d'analyse. L'analyse devrait normalement être basée sur une méthode existante mais cela est impossible puisqu'il ne semble pas y avoir de méthode qui convienne parfaitement à l'analyse en régime transitoire. Puisqu'il serait très difficile de créer une méthode spécialisée, on doit baser l'analyse sur une méthode existante d'analyse du régime stable.

On peut utiliser une approche analytique basée sur la méthode des matrices de déféctuosités du rendement en régime stable qui utilise les signes uniques de déféctuosité pour identifier le type et l'origine de la déféctuosité. Un signe de déféctuosité est la réponse donnée par un paramètre. Il est unique lorsque la réponse ne peut être rattachée qu'à une seule déféctuosité. Cela implique que chaque réponse est décrite de manière qualitative afin de pouvoir identifier les déféctuosités qui entraînent des réponses en régime transitoire semblables mais uniques. Une fois que la base de données est créée, on peut passer à une approche quantitative.

Les réponses des paramètres sont d'abord analysées en superposant les courbes représentant les résultats de chaque simulation à la courbe représentant la réponse d'une turbine sans déféctuosité (données de base). L'exemple de la *figure 3* illustre la superposition des données de base et des réponses de la vitesse de rotation du rotor en fonction de deux combinaisons de diminution du rendement thermique et du débit massique du compresseur basse pression (BP). Mais cet exemple n'illustre pas très bien l'utilité de l'approche quantitative, car à cause de l'échelle utilisée, il y a très peu de différence entre les résultats des simulations. Cela soulève le problème de la façon de présenter les réponses des simulations en régime transitoire de manière à ce qu'elles puissent être analysées immédiatement.

Pour remédier à cette situation, on adopte une approche de comparaison directe à même le modèle (*figure 4*). Les réponses dont il a été question précédemment sont ensuite comparées directement à l'intérieur du programme de modélisation avant d'être tracées. En portant les données de base en abscisse (temps), les courbes représentent les réponses des paramètres en fonction du temps, par rapport aux données de base choisies. Les axes représentent maintenant une différence dans la vitesse de rotation du rotor BP en fonction du temps. Si on compare deux ensembles de données de base identiques, les courbes devraient être identiques. Cette approche permet une meilleure analyse des résultats.

L'approche analytique

L'étude initiale des courbes des simulations démontre que presque toutes les déféctuosités influent de façon marquée sur le comportement des paramètres contrôlés en régime transitoire.

La première étape de l'élaboration de l'analyse consiste à examiner les effets sur une turbine de l'utilisation d'un carburant de qualité inférieure. Les simulations de l'utilisation d'un tel carburant sont effectuées en réduisant mathématiquement le pouvoir calorifique du carburant. Comme on peut le voir à la *figure 5*, la qualité du carburant influe de façon marquée sur les réponses de tous les paramètres en régime transitoire. Le point important à remarquer ici est que les variations dans les réponses en régime transitoire sont précédées et suivies d'un retour aux données de base en régime stable pour tous les paramètres, à l'exception de l'angle de la commande des gaz (débit de carburant). Ces résultats permettent d'identifier le premier signe de déféctuosité. Un changement marqué dans les réponses de tous les paramètres contrôlés en régime transitoire, précédé et suivi par un retour aux données de base en régime stable (sauf pour l'angle de la commande des gaz) est une indication probable de l'utilisation d'un carburant de qualité inférieure.

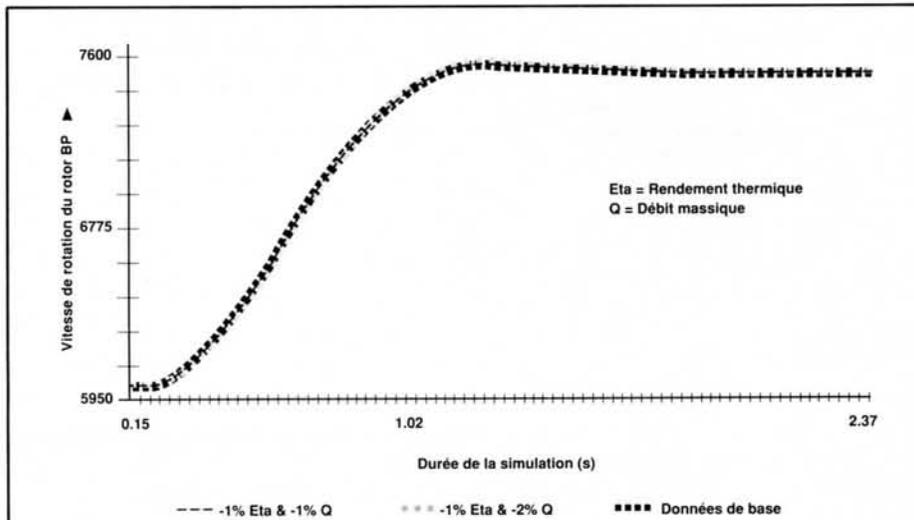


Figure 3 Superposition des réponses de la vitesse de rotation du rotor BP causé par des détériorations du compresseur BP

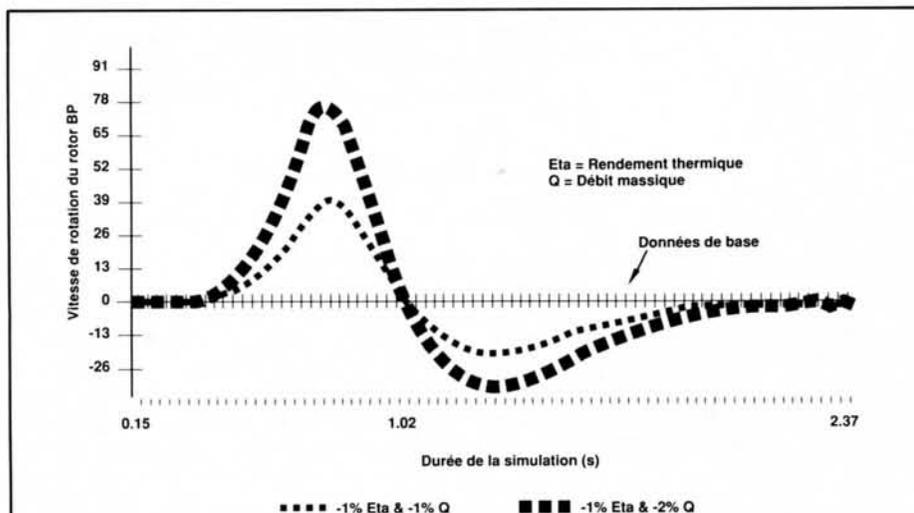


Figure 4 Comparaison directe, avec les données de base, des réponses de la vitesse de rotation du rotor BP causé par des détériorations du compresseur

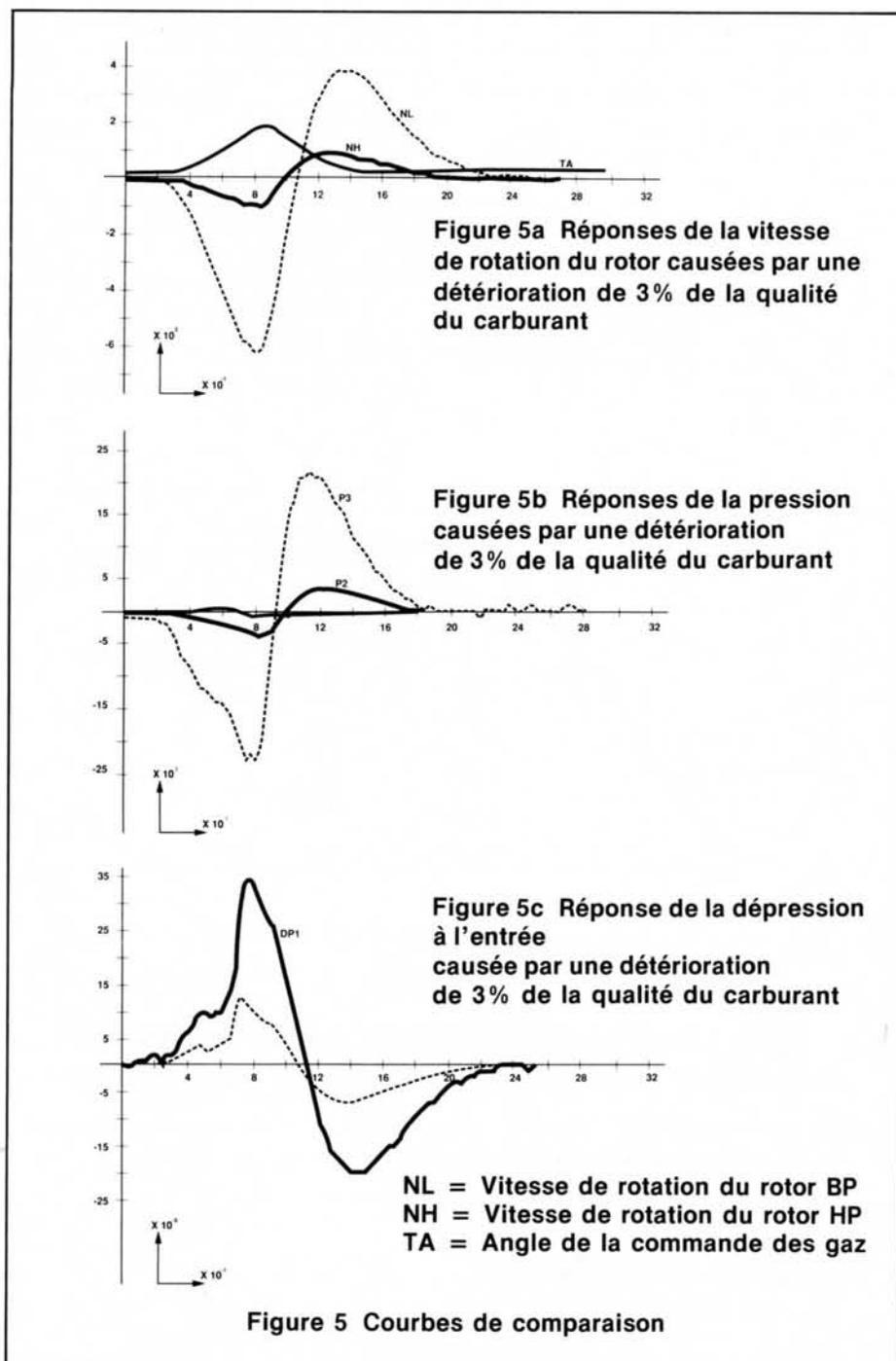
La création d'un système de contrôle de l'état des turbines capable d'identifier en service l'utilisation d'un carburant de qualité inférieure fournirait un outil précieux aux opérateurs de turbines à gaz. Les problèmes qui surgissent à l'intérieur de la partie chaude ont une grande influence sur la durée de vie des turbines à gaz et il a été démontré qu'ils peuvent être causés par la combustion de carburants contaminés.

L'étape suivante de l'analyse consiste à identifier les signes de défectuosité des composants en régime transitoire en appliquant des règles qualitatives de type bases de données. Ces règles permettent d'identifier des signes uniques de défectuosité dans le compresseur BP, la turbine BP et le rotor HP, comme le montre la figure 6. Le point important à remarquer ici est que les courbes de vitesse de rotation du rotor BP pour les quatre composants des compresseurs et des turbines ont trois formes différentes. La simulation de défectuosités dans le compresseur BP ou la turbine BP ont donné des réponses en régime transitoire semblables à celles représentées du côté gauche de la figure 6.

Qualitativement, la réponse du compresseur BP, dans le coin supérieur gauche de la figure 6, a la forme d'une onde sinusoïdale positive, tandis que la réponse de la turbine BP ressemble à une onde sinusoïdale négative à deux cycles avec un sommet négatif prononcé. L'identification de ces réponses différentes démontre que ces composants présentent des signes uniques de défectuosité et que l'analyse en régime transitoire permet de déceler des défectuosités localisées dans le compresseur BP et la turbine BP.

L'analyse des réponses des défectuosités du compresseur HP et de la turbine HP, respectivement dans le coin supérieur droit et le coin inférieur droit de la figure 6, permet de constater que les réponses de la vitesse de rotation du rotor BP ont des formes très semblables. Ces réponses ont la forme d'une onde sinusoïdale négative qui correspond à une des trois formes de courbes observées.

On peut ensuite concentrer l'étude sur les réponses en régime transitoire à d'autres paramètres contrôlés. Cependant, s'il est impossible d'identifier des signes uniques de défectuosité dans les composants du rotor HP, on pourrait conclure que l'analyse en régime transitoire ne permet peut-être pas de différencier les défectuosités du compresseur HP de celles de la turbine HP. Cette conclusion est prématurée et est fondée sur des données incomplètes puisque l'étude du rendement en régime transitoire du réacteur GE F-404 a démontré qu'une défectuosité dans le compresseur HP avait été décelée en analysant le régime transitoire à la poussée. Dans le cas d'une turbine marine, une défectuosité de ce genre influencerait sur le rendement en régime transitoire de la turbine de travail. Par conséquent, il est nécessaire d'analyser les paramètres de rendement de la turbine de



travail pour déceler les signes uniques de défectuosité des composants du rotor HP.

L'étape finale de l'analyse consiste à examiner les réponses des défectuosités multiples. Cette partie est importante étant donné qu'il est très peu probable qu'une seule défectuosité survienne au cours de la vie d'une turbine.

Avant de procéder à l'analyse des défectuosités multiples il est nécessaire d'établir la correspondance entre les défectuosités. Cela s'effectue en comparant les résultats de plusieurs simulations d'une défectuosité qui s'aggrave, dans un composant donné. La figure 7 illustre la comparaison des répon-

ses obtenues lors de la simulation des diminutions de un et deux pour cent du débit massique du compresseur BP en fonction des données de base de la vitesse de rotation du rotor BP. La courbe qui a été ajoutée pour indiquer la différence entre ces deux réponses suggère l'existence d'une correspondance. Ce résultat, qui établit l'existence d'une relation linéaire entre les réponses obtenues par suite de détériorations successives, suggère que les réponses en régime transitoire peuvent être utilisées pour identifier des tendances dans le rendement de la turbine et ainsi contribuer à des analyses de ces tendances.

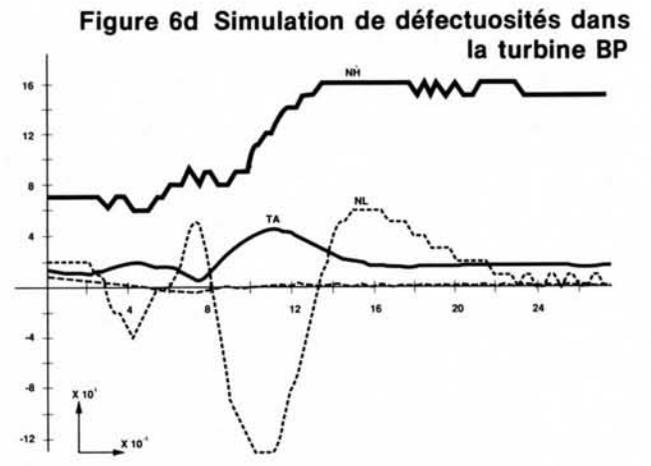
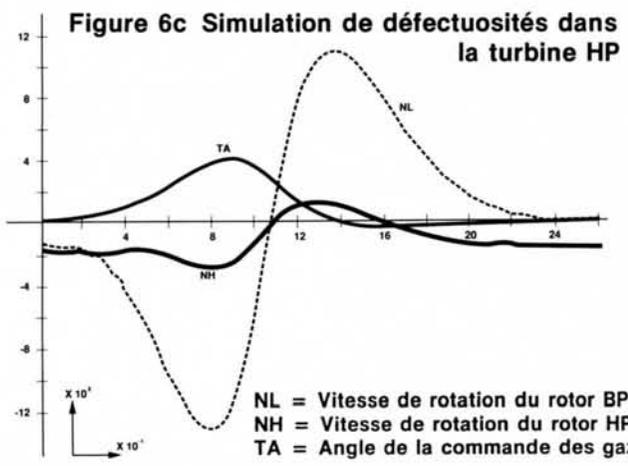
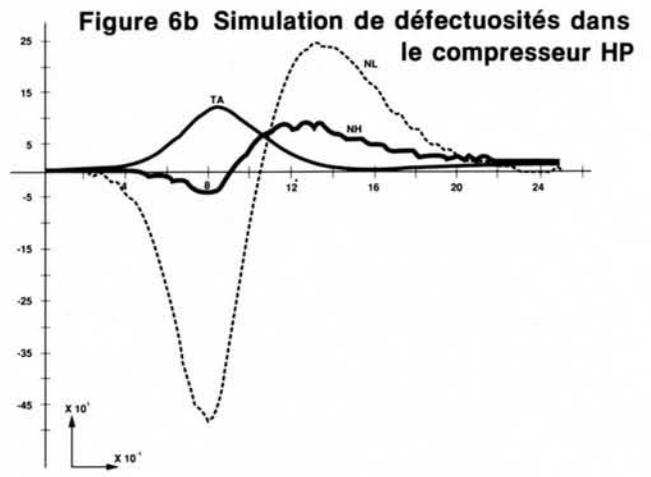
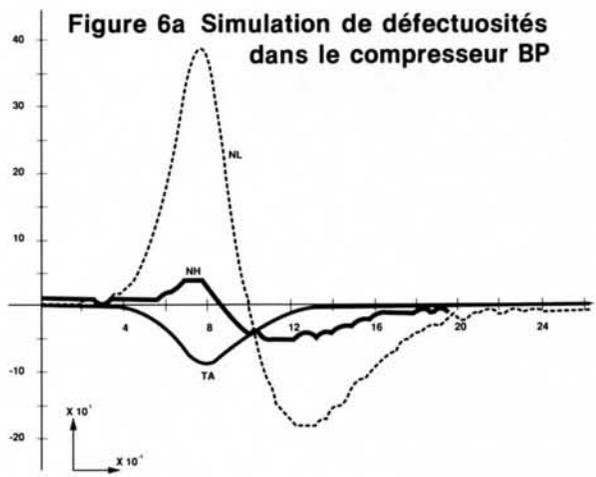


Figure 6 Courbes de comparaison

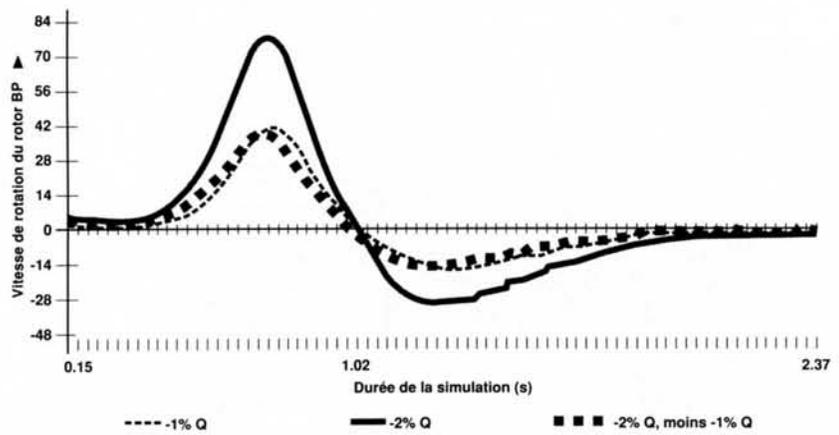


Figure 7 Comparaison des vitesses de rotation du rotor BP causées par des diminutions du débit massique du compresseur BP

Illustrations d'un système conceptuel de contrôle de

Ce système conceptuel a été conçu dans le but d'être intégré, avec un module de simulation, dans un système perfectionné de contrôle de l'état des turbines. La conception du système, que l'on peut voir à la *figure A*, illustre les multiples possibilités qu'ont les systèmes experts d'apporter leur aide aux différentes fonctions du système intégré.

Le système expert de diagnostic des défauts possède les caractéristiques suivantes :

- a. possibilité de détecter rapidement des défauts précis dans les composants ou les détecteurs;
- b. possibilité de détecter des défauts multiples;

- c. possibilité de détecter des défauts possibles avec un nombre réduit de détecteurs;
- d. possibilité de repérer des changements imprévus dans les paramètres de fonctionnement de la turbine;
- e. possibilité de fournir des conseils aux usagers désirant des renseignements supplémentaires lors de l'apparition de conditions imprévues;
- f. possibilité d'interface avec d'autres modules pour évaluer les effets futurs des défauts identifiés;
- g. possibilité de communiquer avec les usagers afin de leur permettre de faire un diagnostic et de leur fournir une critique.

L'élaboration du système (voir organigramme à la *figure B*) est basée sur la création d'une base de données de résultats d'expérience avec liens de correspondance entre les symptômes et les défauts des turbines, obtenus grâce à une modélisation poussée et à des essais.

Cette base de données est ensuite améliorée par l'ajout de connaissances spécialisées pour créer une base de renseignements généraux. Les fichiers d'expérience reflètent l'effet qu'exerce la matrice de défauts choisie sur les systèmes de détection. Dans le premier prototype de système à base de règles, des règles de production (ST/ALORS) ont été créées pour chaque défaut à l'intérieur du sous-système de la turbine.

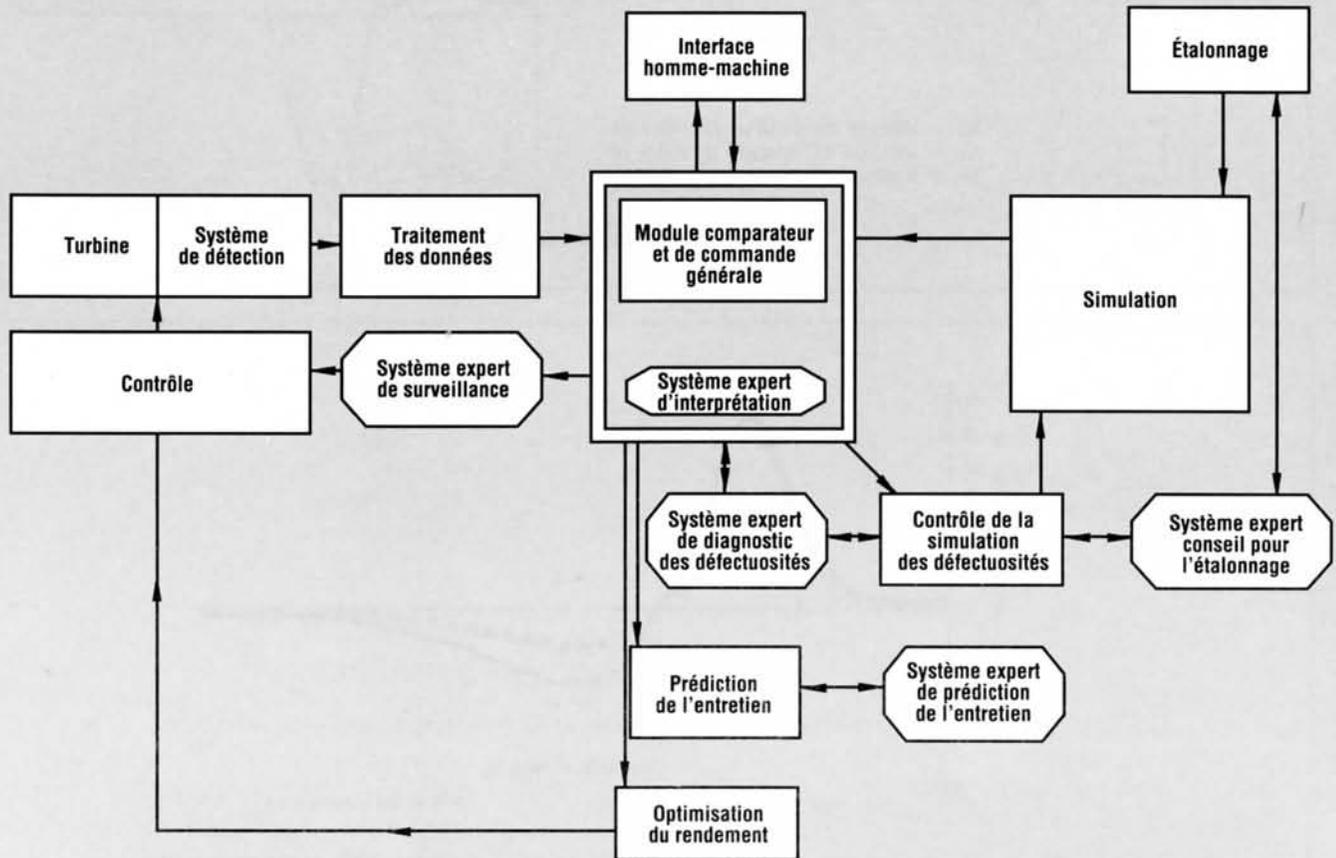


Figure A Conception d'un système avancé de contrôle de l'état et du rendement des turbines

l'état des turbines

La base de renseignements sert aussi à l'élaboration d'un modèle causal de turbine en utilisant un environnement d'intelligence artificielle pour l'élaboration. Les techniques de reconnaissance des motifs sont utilisées pour évaluer les redondances des détecteurs et les défauts multiples.

Dans la mise en application prévue, le système expert de diagnostic des défauts est complété par un modèle de simulation de la turbine, qui est aussi intégré au système. Ce modèle doit pouvoir réagir lorsqu'il y a un changement dans les paramètres de la turbine, dans la qualité du carburant et dans les conditions ambiantes. Les fichiers de différences sont créés lorsque les données des détecteurs sont différentes des valeurs de référence de la simulation. Plusieurs techniques diverses (règles ou couplage des motifs) sont utilisées pour émettre des hypothèses de défauts. Une défaut est confirmé lorsqu'un nombre suffisant de preuves concorde avec l'hypothèse initiale. Les preuves proviennent de différentes sources mais c'est le modèle de simulation qui confirme toutes les défauts identifiés par le système expert.

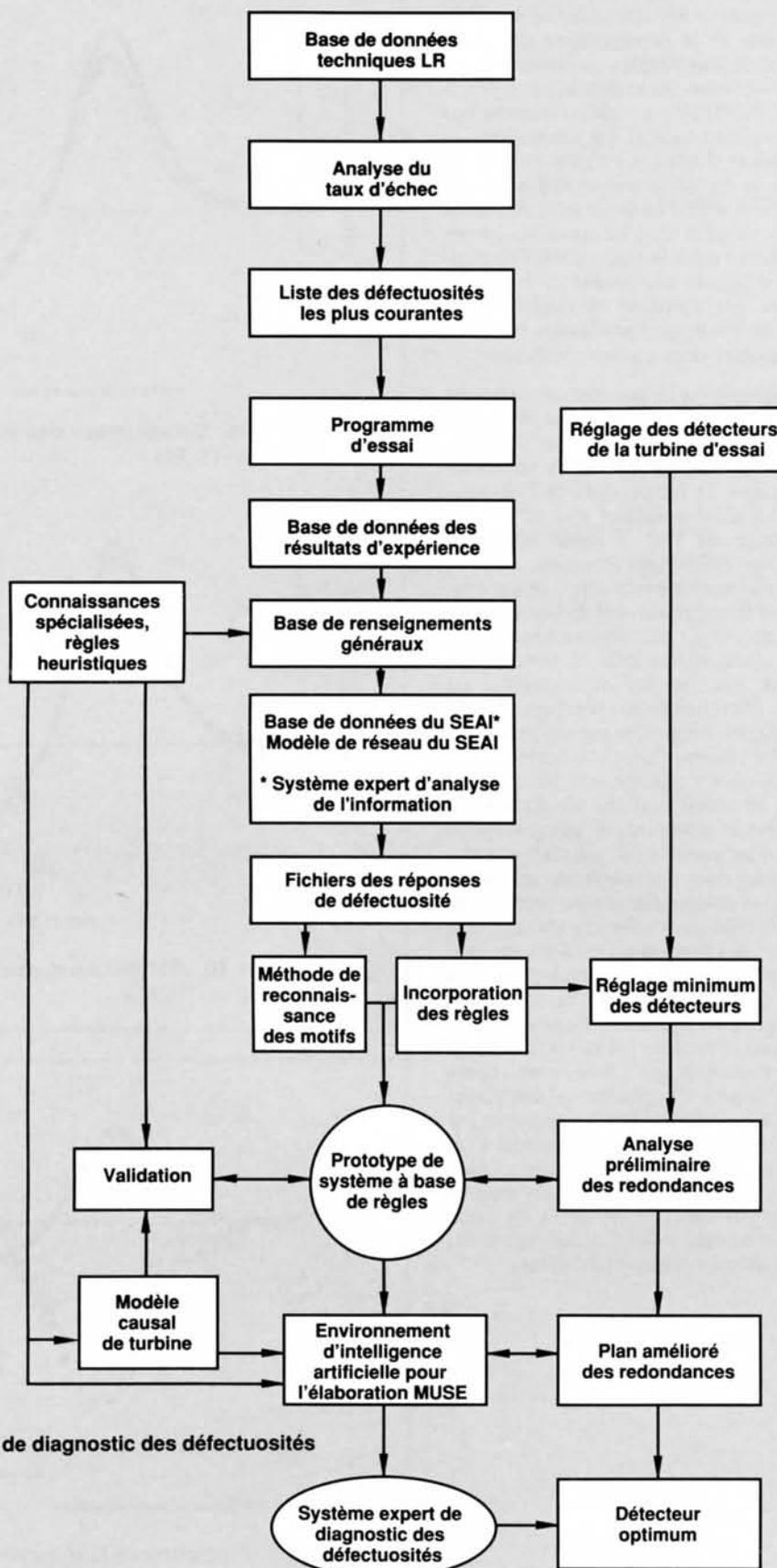


Figure B Élaboration d'un système expert de diagnostic des défauts

Réponses combinées et superposées

Après avoir établi la linéarité, on peut prédire les signes de défauts multiples par la méthode de la superposition des effets des défauts simples en comparant les réponses obtenues par la simulation de défauts combinés à celles obtenues par l'addition des résultats des simulations de défauts simples. La *figure 8* donne un exemple de l'analyse par superposition de deux combinaisons de diminution du rendement thermique et du débit massique. Le peu de différence entre la réponse des défauts combinés et celle prédite par l'addition démontre que l'analyse du rendement en régime transitoire peut prédire des défauts multiples dans un seul composant.

Une simulation de paramètres extérieurs aux conditions de conception est nécessaire pour déterminer si la réponse de la turbine en régime transitoire est sensible aux changements dans la température de l'air extérieur. On a pu constater que lorsque la température de l'air d'entrée varie, on obtient des différences marquées dans les réponses à tous les paramètres, ce qui confirme que le comportement de la turbine en régime transitoire est influencé aussi bien par les changements dans la température ambiante que par les défauts. La méthode d'analyse de données hors conception, basée sur l'approche par superposition, prédit des réponses hors conception à une défécuosité. En superposant les résultats obtenus en comparant des simulations de paramètres de conception et hors conception aux résultats obtenus par simulation d'une défécuosité dans des conditions normales, en fonction de données de base précises, on obtient la réponse prédite apparaissant à la *figure 9*. Cette réponse est ensuite comparée aux résultats obtenus par simulation d'une défécuosité à l'extérieur des paramètres de conception (voir *figure 10*). Le peu de différence entre la réponse prédite et la réponse simulée démontre que l'analyse en régime transitoire peut s'appliquer sur des plages d'utilisation variables grâce à l'approche par superposition. Ces résultats permettent d'éliminer les algorithmes détaillés de correction des paramètres d'un système de contrôle de l'état des turbines. La puissance de calcul nécessaire est donc réduite, ce qui rend moins coûteux un tel système de contrôle.

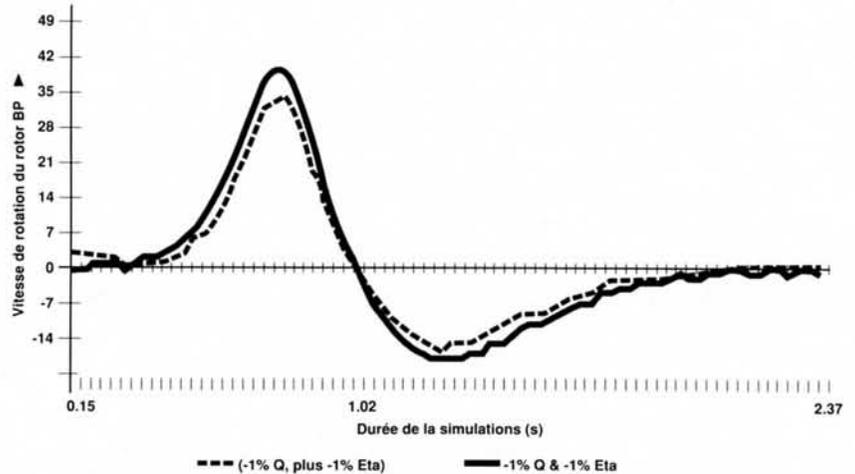


Figure 8a Comparaison des défauts du compresseur BP, -1% Q et -1% Eta

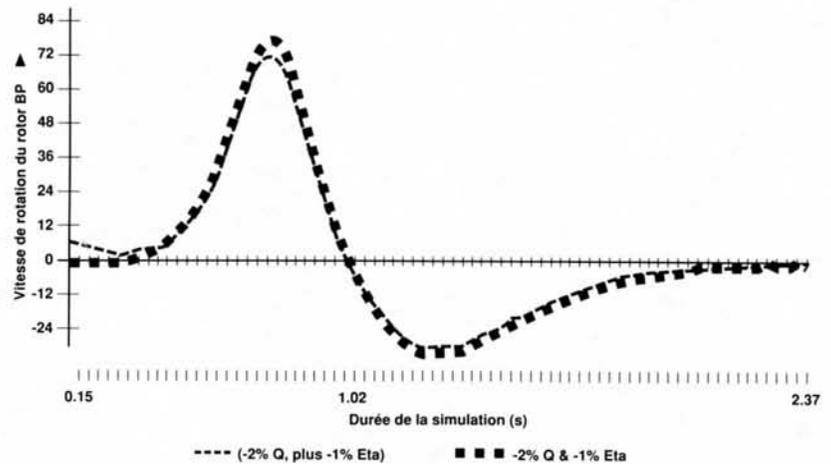


Figure 8b Comparaison des défauts du compresseur BP, -2% Q et -1% Eta

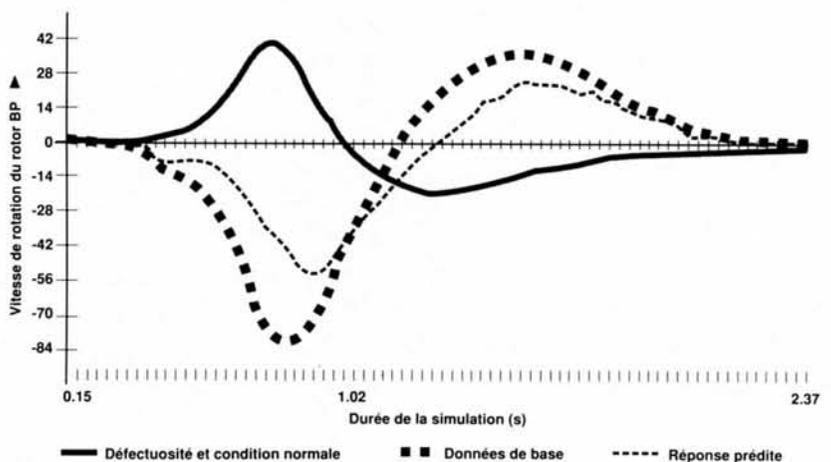
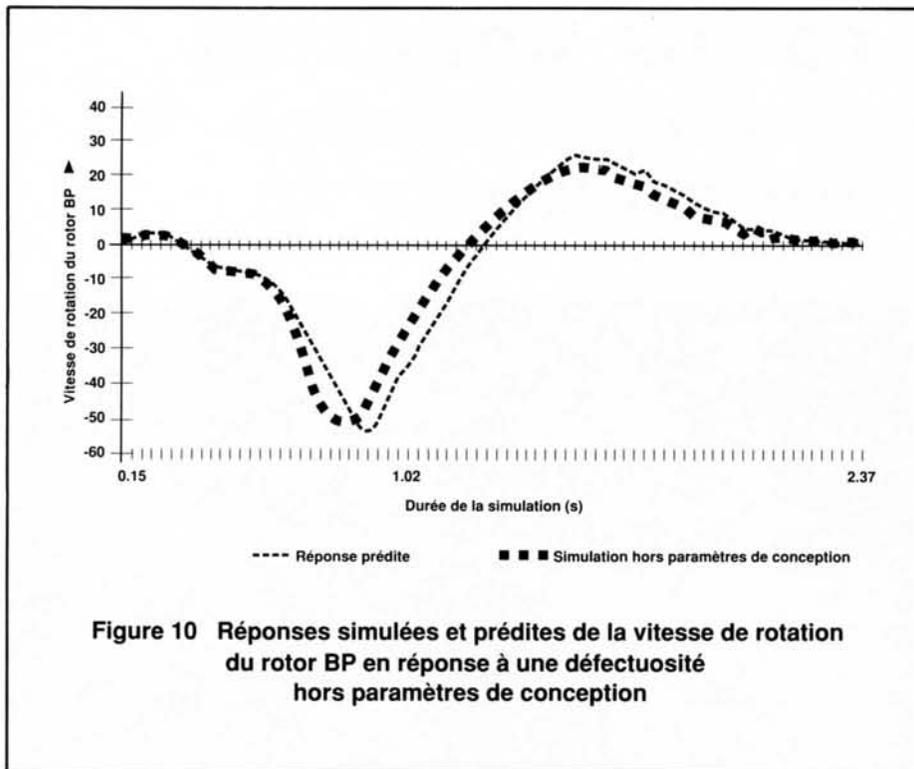


Figure 9 Prédiction de la réponse de la vitesse de rotation du rotor BP face à une défécuosité à l'extérieur des paramètres de conception



Développements futurs

En élaborant le processus d'analyse dont il est question dans cet article, on a pu constater qu'il était possible d'utiliser l'analyse du rendement en régime transitoire comme technique de contrôle de l'état des turbines pour les turbines marines à deux rotors et à cycle unique.

Puisque le concept du contrôle du rendement de la turbine à gaz en régime transitoire en est encore à ses débuts, il y a encore plusieurs secteurs qui demandent plus de recherche et de développement, comme par exemple ceux énumérés ci-dessous.

Validation des modèles. La modélisation précise de la turbine n'est pas aussi importante aux premières étapes de l'analyse que le besoin d'obtenir des résultats vraisemblables, pourvu que ces résultats soient éventuellement validés. La validation de même que le perfectionnement du modèle devront faire partie des améliorations futures.

Amélioration de l'approche analytique. Puisque les réponses ressemblent à des ondes périodiques, on devrait prendre en considération l'étude de l'analyse des fréquences.

Contrôle de l'état du système de régulation des machines. Les études sur la simulation des défectuosités ainsi que leur validation seront peut être le point de départ d'un processus d'identification des problèmes du système de régulation des machines qui affectent le rendement des turbines en régime transitoire mais qui ne peuvent être décelés en régime stable.

Analyse du rendement complémentaire. Il peut s'avérer difficile de traiter indépendamment l'analyse du rendement en régime stable et celle du rendement en régime transitoire, à cause surtout de la difficulté de délimitation des deux régimes. Étant donné que le processus dont il est question dans cet article peut aussi fournir des renseignements sur des réponses en régime stable, on pourrait mettre au point un système amélioré de contrôle de l'état des turbines fondé sur le rendement, en se basant sur une analyse complémentaire du régime transitoire et du régime stable.

Contrôle intégré de l'état des turbines. L'intégration de toutes les techniques disponibles de contrôle de l'état des turbines pourrait être la suite logique de l'analyse du rendement complémentaire. Des études sont entreprises dans ce sens sur la possibilité d'intégrer des techniques de contrôle de l'analyse du rendement dans un système de commande des machines, pour une turbine d'essai, à l'aide d'un système expert sur micro-ordinateur. Ce système pourrait aussi permettre d'accepter des données d'autres techniques de contrôle de l'état des turbines, ce qui ferait faire un grand pas en avant vers l'élaboration d'un système de contrôle entièrement intégré.

Il y a actuellement une tendance vers l'amélioration dans le domaine du contrôle de l'état des turbines marines et industrielles, ce qui est très encourageant et permet d'orienter de manière précise la recherche et le développement.

Remerciements

L'auteur tient à remercier le Lcdr J. Davis, RN sans qui cet article n'aurait pas été possible.



Bibliographie

Leak, N., *Gas Turbine Transient Performance Health Monitoring*, mémoire de maîtrise ès sciences, Royal Naval Engineering College, Manadon, juin 1988



Le Lcdr Leak est au DMGE 5, comme chef de la sous-section responsable du soutien à la plongée, de la protection de l'environnement et des systèmes auxiliaires de recherche et de développement.

Ordinateurs navals standards

La technologie informatique de la marine est-elle en train de rattraper le passé?

par le Cdr Roger Cyr

L'instruction de gestion du matériel 1405, qui avait été publiée en décembre 1981, impose les ordinateurs navals standards AN/UYK-502 et AN/UYK-505 pour tous les systèmes de bord informatisés. Cette politique de standardisation des ordinateurs avait été établie principalement pour éviter la trop grande diversité et les frais de maintenance d'une multitude d'ordinateurs de bord différents. Elle servait également à déterminer les ordinateurs que l'on pouvait programmer dans le langage informatique propre à la marine, CMS-2.

Avec le nombre d'ordinateurs extrêmement coûteux, souvent trop complexes, offerts à l'époque sur le marché, la politique a plus ou moins permis d'atteindre le but visé. Grâce à elle, nous avons pu limiter effectivement ce qui, sans cela, aurait été une entreprise onéreuse et désordonnée d'acquisition d'ordinateurs de bord et avons réussi à empêcher nos navires de devenir (au moins du point de vue de leurs systèmes informatiques) la flotte de Babel. Mais huit ans ont passé et les choses ont changé depuis.

Étant donné le prix élevé des ordinateurs AN/UYK et la supériorité et le prix relativement bas des ordinateurs de nos jours, il est temps de remettre en question l'usage continu d'ordinateurs autonomes standards pour tous les systèmes informatiques tactiques de nos bâtiments.

Les ordinateurs standards

L'ordinateur AN/UYK-505 est une variante canadienne de l'ordinateur standard AN/UYK-20 de la U.S. Navy. Le AN/UYK-502 est un modèle plus lent et moins cher du 505. Ces appareils sont des micro-ordinateurs 16 bits à architecture fermée et 512 kilo-octets de mémoire paginée seulement. Ce type d'architecture a fait surface sur le marché il y a vingt ans, mais a été rapidement écarté par la plupart des constructeurs à cause de ses limites en gestion de la mémoire. L'architecture est aujourd'hui unique aux UYK-502 et 505 de la marine canadienne et aux UYK-20 et 44 de la U.S. Navy. Ces ordinateurs sont programmés en CMS-2, langage spécifique aux applications militaires.



Pourquoi pas d'ordinateurs standards?

Bien que nous soyons tenus d'utiliser l'ordinateur standard autonome pour toutes les applications, les systèmes ont de plus en plus besoin d'appareils non standards. Dans le système intégré de commande des machines, par exemple, il a fallu recourir à des microprocesseurs commerciaux, les standards n'offrant pas les caractéristiques de traitement, de mémoire et d'entrée-sortie requises.

Du point de vue logistique, l'exigence d'ordinateurs standards pour toutes les applications n'est plus considérée valable. La fiabilité plus grande apportée par chaque nouvelle génération de technologie informa-

tique fait qu'aujourd'hui les ordinateurs sont moins chers et plus fiables que la plupart des autres composants électroniques de bord. Et, plus important encore, on les trouve facilement sur le marché.

Nous ne devons pas oublier aussi que les ordinateurs, pour être utilisés par les systèmes, doivent être programmés et que ce qui coûte le plus dans un capteur ou un système d'arme informatisé, c'est son logiciel. D'où la rentabilité des logiciels commerciaux que l'on ne peut malheureusement pas adopter avec la génération actuelle des ordinateurs standards, limités au logiciel CMS-2.

La U.S. Navy reconnaît que la série courante de ses AN/UYK n'a pas la puissance de traitement exigée par les systèmes de combat sophistiqués modernes. Par exemple, dans les navires AEGIS, toutes les nouvelles exigences opérationnelles sont programmées dans des microprocesseurs commerciaux intégrés, au lieu des six ordinateurs AN/UYK-43 standards, qui venaient à l'origine avec les navires. Les ordinateurs standards comptent aujourd'hui pour moins que la moitié de la puissance de traitement totale de ces navires. Et dans sa prochaine génération de système de combat de sous-marin, le AN/BSY-2, la U.S. Navy a complètement abandonné les ordinateurs autonomes standards, en faveur du microprocesseur 32 bits 68030 de Motorola.

Un exemple frappant des problèmes soulevés par les ordinateurs standards nous vient du bombardier furtif B-2, largement considéré comme l'avion le plus perfectionné au monde. Les ordinateurs de cet avion sont construits avec des microprocesseurs 16 bits démodés, alors que l'on trouve partout des microprocesseurs modernes de 32 bits, à un prix modique. C'est qu'au moment de son développement, il fallait utiliser des ordinateurs militaires standards pour toutes les applications de l'avion. Aujourd'hui, les constructeurs du B-2 et les forces armées sont obligés de composer avec les limites de microprocesseurs périmés.

Avons-nous besoin de normes?

Le gros handicap des ordinateurs standards vient de ce qu'ils sont exclusifs aux forces armées et qu'ils utilisent un langage informatique unique. Il ne s'agit pas d'éliminer complètement les ordinateurs autonomes standards, mais de restreindre leur usage aux applications pour lesquelles on ne peut employer des processeurs commerciaux intégrés. Pour toutes les applications donc, il faudrait commencer par envisager l'utilisation de microprocesseurs commerciaux intégrés; mais s'il faut adopter des ordinateurs autonomes, le choix devrait alors aller aux solutions qui reflètent des standards commerciaux, des interfaces, des protocoles et un langage informatique largement répandus. L'ordinateur standard de la prochaine génération que la marine est en train de développer, le multiprocesseur reconfigurable militarisé (MRM), doit se conformer à un tel objectif. Le MRM est conçu selon une architecture de système ouvert, à bus VME, qui est mondialement reconnue comme le standard de facto de l'industrie. Il est équipé de microprocesseurs 68030 de Motorola en traitement parallèle, et représente la fine pointe de la technologie commerciale. Le modèle expérimental du MRM a été livré au DSCN en août dernier.

Comparaison des prix de traitement

ORDINATEUR	MÉMOIRE (Kilo-octets)	VITESSE (MIPS)	PRIX (\$K)	PRIX par MIPS
L304	160	0.14	500	3 704 000
AN/UYK-502	512	0.22	175	795 000
AN/UYK-505	512	0.45	275	611 000
ORDINATEUR MONOCARTE M68030	4 000	6.00	155	26 000

- NOTES: 1. Le L304 est l'ordinateur de contrôle et de commande qui avait été installé sur les navires de la classe DDH-280 avant le radoub TRUMP.
2. "MIPS" signifie millions d'instructions par seconde.
3. L'ordinateur standard de la marine de la prochaine génération en voie de développement, le multiprocesseur reconfigurable militarisé (MRM), pourrait contenir jusqu'à dix ordinateurs monocartes M68030. Le modèle expérimental du MRM contient deux ordinateurs monocartes et a la puissance de traitement de 16 ordinateurs AN/UYK-505.

Le modèle expérimental est composé de deux ordinateurs monocartes montés sur deux cartes de circuits comprenant chacune un microprocesseur 68030 et 4 méga-octets de mémoire. Les deux circuits ont une vitesse de traitement combinée de 12 MIPS environ et la puissance de 16 ordinateurs AN/UYK-505. Et cependant, les deux cartes ne pèsent que 2 livres (comparé au poids total de 4 000 livres qu'auraient les 16 ordinateurs 505).

Les processeurs intégrés doivent refléter ce qui est disponible sur le marché. Autrement dit, le processeur intégré d'un sous-système doit être vu comme tout autre composant de ce sous-système : amplificateur, oscillateur, unité de commande, etc. Il n'y a pas de doute que certaines applications de bord particulières exigent des ordinateurs autonomes; mais dans la plupart des cas, le processeur peut être intégré dans le sous-système de combat. Le sous-système, lui-même, est très souvent construit autour d'un bus VME dans un boîtier militarisé.

Aujourd'hui, il est tout à fait possible d'avoir un sous-système avec processeur intégré, ou encore un ordinateur avec quelques cartes supplémentaires pour les fonctions du sous-système. Par exemple, chacun des contrôleurs des 13 consoles de commande et contrôle UYK-502 de la FCP peut être facilement remplacé par une carte de microprocesseur intégré.

Conclusion

Les ordinateurs sont devenus un élément essentiel de tout système naval et sont largement utilisés à la fois comme processeurs intégrés et comme appareils autonomes. Les ordinateurs standards adoptés jusque-là par la marine pour toute l'informatique tactique de bord ne se sont pas révélés rentables à cause de leur manque de compatibilité, de leur piètre performance et de leur courte durée utile. Comme, par ailleurs, ces ordinateurs ne supportent pas les logiciels commerciaux, des économies potentielles importantes sur tout leur cycle de vie ne sont pas réalisées.

Les ordinateurs autonomes standards sont peut-être nécessaires pour des applications particulières, mais il nous faut aujourd'hui utiliser davantage les microprocesseurs commerciaux intégrés comme principale source de puissance de traitement de nos systèmes navals. Autrement, avec l'adoption continue d'ordinateurs standards, à architecture et langages exclusifs, la technologie informatique de la marine ne fera que rattraper le passé.

Cdr Cyr est le DSCN 8 chef de la section Technologie informatique de la marine au QGDN.



Conférence SIGAda de l'ACM Ottawa 1989

par R.C. Johnston

Dernièrement, j'ai eu la chance d'assister à la première conférence SIGAda¹ à se tenir au Canada. Du 8 au 12 août 1989, plus de 350 personnes d'Ottawa et d'un peu partout en Amérique du Nord ont participé à diverses séances intensives qui portaient sur les questions suivantes : génie logiciel et Ada, projet Ada 9X, aspects économiques, sociaux et juridiques de la réutilisation de logiciels, génie logiciel assisté par ordinateur, méthodes de développement Ada, programme spatial du Canada, utilisation d'Ada au gouvernement et enseignement du génie logiciel. Cette conférence avait pour thème : "Ada : A Driving Factor for Software Quality and Productivity Improvement" (Ada : facteur capital de la qualité des logiciels et de l'amélioration de leur rendement global). Voici quelques points saillants de cette rencontre.

Le projet *Ada 9X* porte sur la révision du langage de programmation Ada, soit l'ANSI/MIL-STD-1815A, dans le but d'en faire la norme qui réponde aux besoins essentiels de l'heure au cours des années 1990. Ce langage a été normalisé en 1983 et sa révision est considérée comme un aspect naturel de son processus de stabilisation. Une équipe internationale d'Ada se consacre actuellement à la récolte et à l'examen des demandes de révision du langage Ada. Notons que le bureau chargé de ce projet vise à examiner et à consolider le langage Ada dans le but d'en faire la norme des années 1990 auprès du ministère de la Défense des États-Unis, de l'American National Standards Institute (ANSI), de l'Organisation internationale des normes (ISO) et de la National Institute for Standards and Technology (NIST). L'adoption de la nouvelle norme Ada est prévue pour l'automne 1992.

La *réutilisation de logiciels* est l'un des éléments fondamentaux de l'emploi du langage Ada. Les lois régissant la propriété intellectuelle (droits d'auteur, brevets et secrets industriels) interdiront souvent la réutilisation de logiciels ou de certains de leurs éléments tant qu'on ne disposera pas de l'autorisation préalable des propriétaires intéressés. La gestion de projets qui devraient se révéler économiquement rentables grâce à la réutilisation de logiciels ne pourra donc

être envisagée sans acquiescer au préalable la licence voulue. Sinon, on se trouverait en pleine violation, volontaire ou non, des droits d'auteur. Certains outils visant à faciliter la réutilisation de logiciels font leur apparition. Dans la plupart des cas, ceux-ci sont intégrés à des outils de conception. Il reste cependant beaucoup à faire pour disposer d'un outil ou d'un jeu d'outils susceptibles de répondre de façon optimale aux caractéristiques d'une configuration ou d'une conception comportant un élément provenant de la bibliothèque de logiciels réutilisables.

Le *génie logiciel assisté par ordinateur* (GLAO) et les *méthodes de développement d'Ada* sont des techniques en voie d'intégration qui permettent à l'informatique de venir au secours de nombreuses méthodes de génie logiciel, notamment dans le domaine de l'élaboration de logiciels. Ces méthodes servent à produire des numérations graphiques qui traduisent la conception d'un système. Un exemple typique d'outil GLAO est *Adagen*TM de Mark V Systems Limited. Il s'agit d'un outil infographique à base de fenêtres qui sert aux phases de conception et de mise à jour des projets d'élaboration de logiciel Ada. Cet outil comprend les caractéristiques suivantes : conception évoluée et analyse poussée des besoins à l'aide de diagrammes d'interaction d'objets tels que proposés par Ed Colbert, conception détaillée d'Ada au moyen de diagrammes d'élaboration de logiciels orientés objet tels que proposés par Booch et Buhr, génération automatique de codes et de spécifications Ada compilables à partir de diagrammes de conception détaillée, saisie et exportation de textes et de graphiques selon la norme DOD-STD-2167A.

Au cours de la conférence, on a également assuré la démonstration d'un autre outil GLAO, soit le *CASEworks/RT*TM de Multiprocessor Toolsmighs Inc. de Nepean, en Ontario. Fait pour être exécuté sur des systèmes centraux MS-DOS, Unix ou VAX/VMS, le *CASEworks/RT* peut remplir toute une série de fonctions graphiques dans les domaines de l'édition, de la vérification, de la génération et de l'affichage de codes, de la génération de simulations et de systè-

mes. Il peut également contribuer à la mise au point de systèmes et d'éléments source pour les applications en temps réel ou simulées. Enfin, cet outil peut servir de système d'exploitation multiprocesseur en temps réel.

Ces diverses présentations ont donné lieu à un certain débat au sujet de l'effet des outils d'élaboration de logiciels sur le modèle du cycle d'élaboration de logiciels DOD-STD-2167A. La norme stipule que les documents traitant du détail de la conception, des descriptions d'essais de logiciels et de la conception d'interface doivent être déposés pour faire l'objet d'un examen technique critique avant le codage et l'essai des unités logicielles. La question qui se pose alors est de savoir quand le code source est vraiment un code source et quand il devient une conception détaillée? À ce sujet, une difficulté vient de la nature même d'Ada, qui peut être utilisé également comme langage de conception. Ainsi, la conception détaillée se fait au moyen d'un langage de programmation Ada, elle est compilable et elle sera incorporée au code source.

En outre, on peut s'interroger sur le morcellement de l'élaboration entre concepteurs (ingénieurs, SSC) et programmeurs (techniciens/MR), alors qu'il n'est plus pratique de séparer la conception d'un logiciel de sa programmation. Par ailleurs, on ne peut affirmer lorsqu'on met en service un logiciel que celui-ci est semblable au matériel. En effet, il faut rappeler que tout logiciel rigoureusement conçu est plus complexe que le matériel connexe et la conception du premier peut devoir être modifiée au moyen d'un grand nombre des outils utilisés pour son élaboration. On ne peut retirer une pièce de logiciel d'un ensemble pour la remplacer comme une carte ou une résistance de circuit. La réparation du logiciel exige beaucoup plus de savoir-faire et de connaissances qu'en possède généralement un programmeur.

Au cours des discussions, il a été souvent question de la norme *DOD-STD-2167A* et de son modèle d'élaboration. On a fait observer que le modèle de l'échelonnement de la présentation et de l'examen des documents s'écartent des méthodes efficaces de conception de systèmes. Le modèle d'élaboration

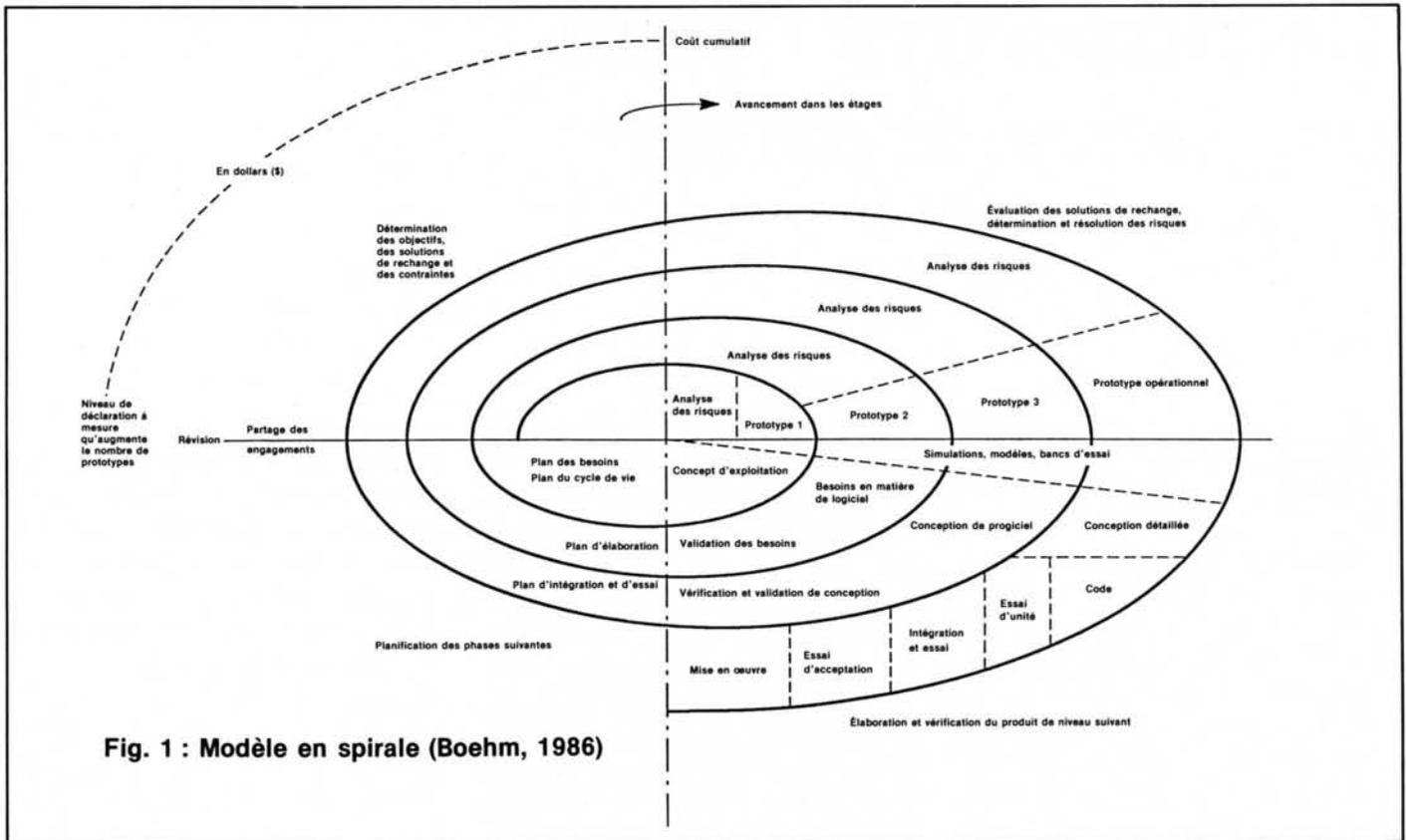


Fig. 1 : Modèle en spirale (Boehm, 1986)

de logiciel que l'on préfère pour la mise au point de systèmes prend la forme d'une spirale⁴ (fig 1). Ce modèle fait appel à divers prototypes pour déterminer les objectifs, les solutions de rechange et les contraintes; pour évaluer les solutions de rechange et déterminer et résoudre les risques; pour élaborer et vérifier le produit ou prototype de niveau suivant et pour planifier les phases de suivi. Le recours à des prototypes donne une certaine garantie que le produit livré à l'intérieur des contraintes budgétaires du projet sera utilisable.

Les présentations sur les *applications spatiales canadiennes*, qui portaient principalement sur le système d'entretien mobile (Mobile Servicing System ou MSS), ont fait état des 700 millions de dollars que le Canada contribue à la station spatiale "Freedom" de la NASA. Le MSS comprend un "dispositif d'interconnexion" (connexion, puissance de traitement et transfert des données) qui se situe à chaque extrémité d'un bras de manipulation articulé, de 16 mètres de longueur, une base mobile pour le bras, un robot auxiliaire à deux bras, un logiciel de commande de tous ces éléments, de même qu'un logiciel de soutien terrestre de l'exploitation et de l'entretien de l'ensemble. En plus de venir au secours des astronautes lorsqu'il leur faut monter la station spatiale et assurer son entretien, le MSS sert à la manutention et au traitement des charges utiles des satellites et de la station principale. Il faudra environ 350 000 lignes de code Ada critique tant pour les systèmes orbitaux que pour les systèmes terrestres. Le recours à des prototypes de

logiciels et à la formation sur place en matière de méthodologie, d'outils et de langage Ada contribuent à réduire les risques que présente le projet et favorisent le développement de logiciel de qualité.

L'utilisation d'Ada au gouvernement a donné lieu à diverses communications sur des sujets tels que le plan du ministère de la Défense nationale concernant sa politique Ada et la mise en œuvre de celle-ci, le cadre de soutien à la programmation Ada de l'OTAN, le nouveau projet d'avions embarqués et l'utilisation d'Ada pour le système automatisé de circulation aérienne du Canada (Canadian Automated Air Traffic System). Dans tous les cas, on a retiré d'importants avantages de l'application d'Ada et du génie logiciel puisque, selon les termes du Dr Charles McKay :

"Le génie logiciel vise l'établissement et la mise en application de *concepts, principes, modèles, méthodes, outils et cadres d'exploitation* technique sûre, de concert avec des *normes, procédures, lignes directrices et pratiques* appropriées, dans le but de produire des *calculs corrects, modifiables, sûrs et fiables, efficaces et compréhensibles* pendant tout le cycle de vie des applications."

Le Dr McKay, du Centre de recherche en génie logiciel de l'Université de Houston, a présenté le principal exposé sur *l'enseignement du génie logiciel*. Même s'il s'agissait de l'ultime séance du dernier jour, c'est avec fascination que les participants ont écouté ce

conférencier qui leur révélait le domaine complexe du génie logiciel. Sa présentation s'étendait des problèmes qui ont mené à la création de ce secteur technique jusqu'à la complexité et l'ampleur croissantes des applications, des concepts, des principes et des modèles. Elle abordait également les principales activités du cycle de vie des systèmes logiciels et matériels, ainsi que les progrès innombrables connus sur le plan de la théorie et de la technologie. Bref, dans son exposé, qui était plein d'esprit et fort instructif, le Dr McKay a souligné combien il était nécessaire de persévérer dans l'élaboration des fondements théoriques du génie logiciel.

Références

1. Groupe d'intérêt spécial Ada (Special Interest Group in Ada), membre de l'Association of Computing Machinery ou ACM (Association du matériel de calcul)
2. Adagen est une marque de commerce de Mark V Systems Inc.
3. CASEworks/RT est une marque de commerce de Multiprocessor Toolsmiths Inc.
4. Proposé par B. Boehm en 1986
5. Dr Charles McKay, 1985

Membre du personnel de la DSCN 8, M. Robert Johnston y est chargé de l'élaboration et de la mise en œuvre de la technologie logicielle.



Rétrospective : 1917

*Une patrouille pénible**

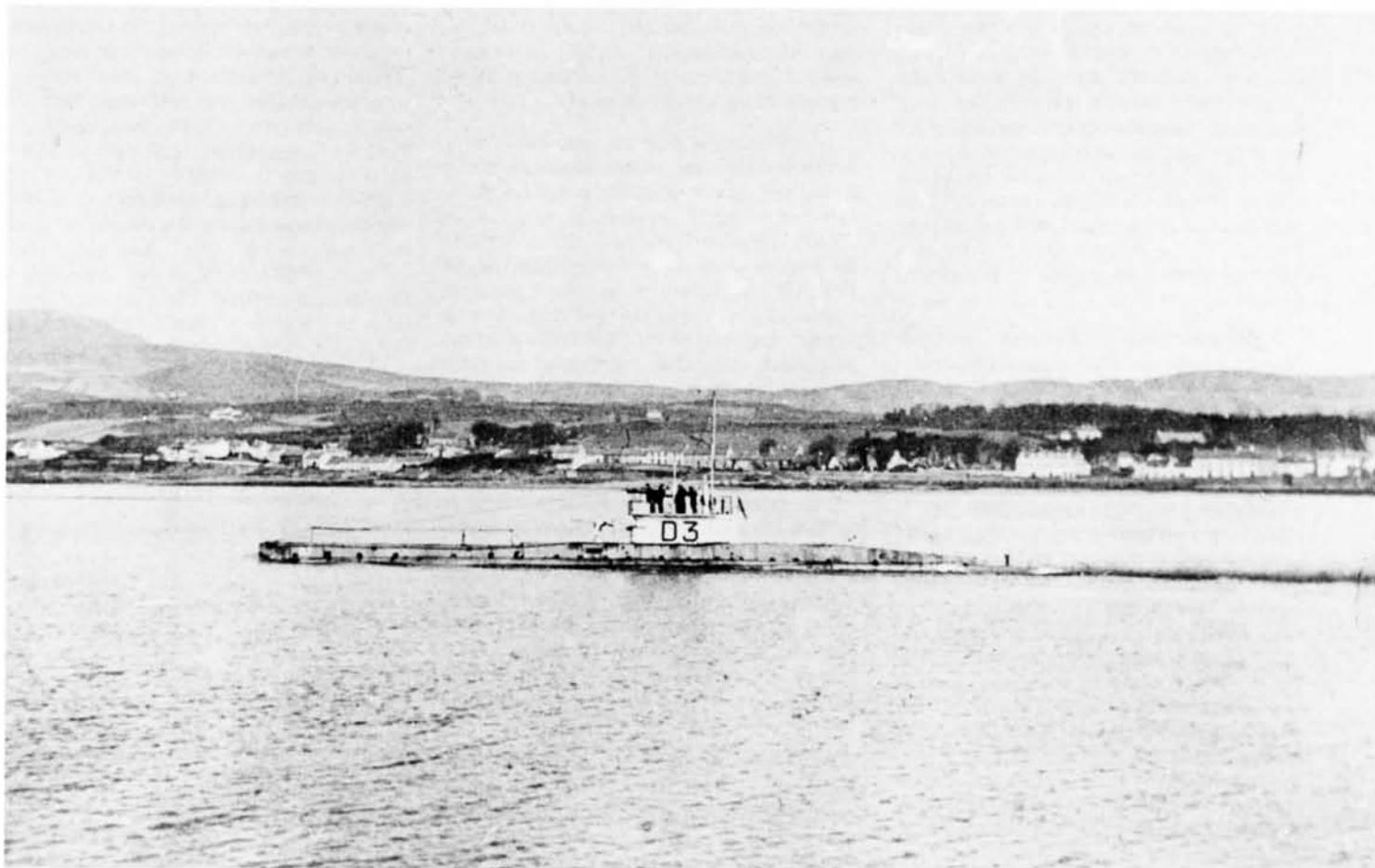
par J. David Perkins, CD

*Extrait du CANADA'S SUBMARINERS, 1914 - 1923, par Dave Perkins (Boston Mills Press, 1989). Cet article a été rédigé par l'auteur pour publication dans la Revue du Génie maritime et il est réimprimé avec autorisation.

Depuis le 19 avril 1916, jusqu'à ce qu'il ait été coulé dans la Manche le 12 mars 1918, le sous-marin SM *D3* fut commandé par des Canadiens. Tout d'abord par le Lieutenant-commander Barney Johnson RNR, de Vancouver, puis par le Lieutenant William McKinstry Maitland-Dougall,

RCN, de Duncan, C.-B. Les deux officiers avaient commencé leur carrière de sous-marinière à bord de croiseurs à Esquimalt, au déclenchement de la guerre. Quand la Marine royale construisit et mit en service des sous-marins à Montréal, ces deux officiers allèrent outremer à bord de nouveaux bâtiments : Barney commanda le *H8*, et Maitland-Dougall était troisième homme

d'équipage sur le *H10*. Après de nombreuses aventures, ils prirent les commandes du *D3* respectivement à titre de capitaine et de premier lieutenant, puis furent affectés au bâtiment-base Vulcan, basé à Immingham sur le fleuve Humber, destiné à servir pour les patrouilles de la côte est. Voici un récit de la deuxième patrouille d'hiver du *D3* à Dogger Bank.



Le *D3* à Rathmullen, été 1917. (Photo du Musée royal des sous-marins).

La patrouille

À la fin janvier 1917, le navire du commandant Johnson était prêt à appareiller de nouveau pour Dogger Bank. Ce n'est pas une sinécure d'être à Dogger Bank au beau milieu de l'hiver, où le temps est si souvent inclement. Quand le *D3* arriva à destination, à l'aube du 2 février, cela secouait déjà sérieusement. Il plongea pour la journée, puis refit surface après le coucher du soleil pour recharger les accumulateurs, après quoi il redescendit par vingt brasses de fond pour une nuit reposante.

À cinq heures le lendemain, le bâtiment refit surface sous des bourrasques de neige balayée par un grand vent frais du sud-ouest. On exécuta l'écoute obligatoire sur récepteur de veille et, une heure plus tard, on replongea pour l'exercice courant de jour : dix minutes en immersion périscopique pour la surveillance visuelle, puis vingt minutes de veille hydrophonique à une profondeur de 30 à 60 pieds. Il n'y avait guère de chance de voir, et encore moins d'entendre quoi que ce soit, dans les circonstances.

En plongée, le maître d'équipage ordonna des suppléments de vivres. Il fit distribuer huit boîtes de bœuf salé, six boîtes de saucisses, quatre boîtes de bacon et quatre bocaux de fruits en conserve. Après que l'on fut remonté à la surface, on eut droit au rhum en attendant le repas du soir. La cuisine en plongée entraînait un gaspillage d'énergie et ne faisait qu'ajouter à la pollution déjà grande de l'atmosphère.

Tard, l'après-midi, des vagues de 12 à 14 pieds gonflaient la mer tandis que le vent, rafraîchi, balayait une neige intermittente. À 17 h 30, Barney ordonna de remonter en surface puis de recharger les accumulateurs à l'aide des deux moteurs. Mais malgré les efforts louables du maître mécanicien et de ses hommes, les deux diesels furent complètement noyés par le circuit d'échappement pendant qu'on tentait de les faire démarrer. Il s'agissait là d'un désastre technique de la pire espèce. Il fallait purger les deux moteurs de l'eau salée qui s'y était engouffrée, en examiner les dommages, les réparer et les remonter avant d'essayer de les relancer. Un travail

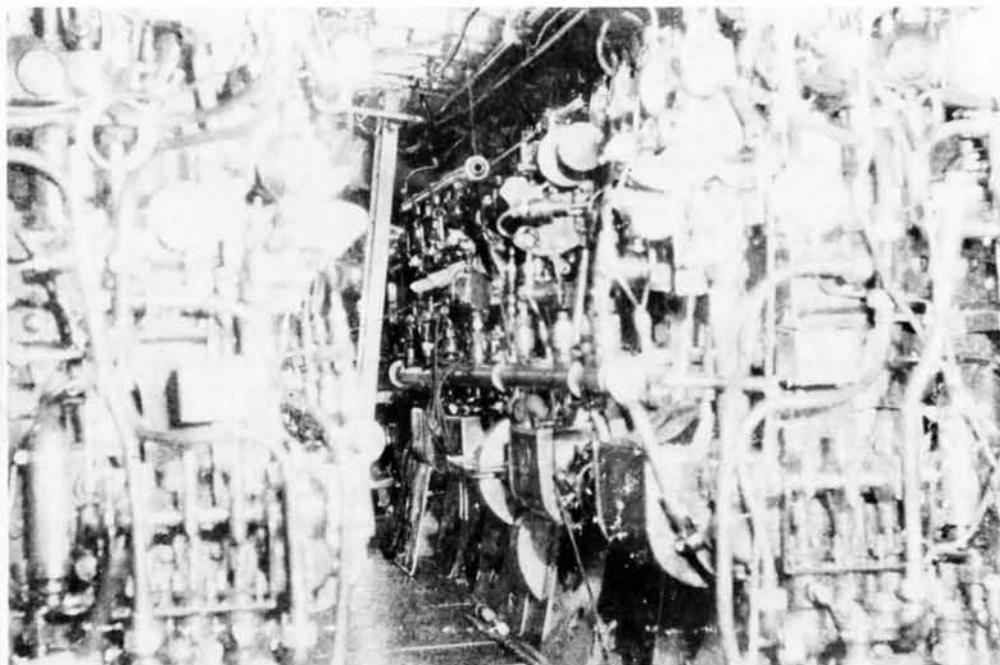
sur mesure pour le maître mécanicien et son équipe.

Inlassablement, les hautes vagues écumeuses battaient le sous-marin de 600 tonnes, à telle enseigne que, sans le besoin d'alimenter les machines en air, on ferma le capot pour empêcher que l'eau n'envahisse le bâtiment. Personne ne savait combien de temps les réparations prendraient; les bielles pouvaient être gauchies, les chemises de cylindre, fêlées; purger les moteurs de l'eau salée allait déjà prendre pas mal de temps. Les accumulateurs, pourtant déjà passablement déchargés après une journée de plongée, devaient tenir aussi longtemps que possible. Il fallait donc réduire le régime et se limiter à un éclairage minimum; pas de cuisine et pas de chauffage électrique.

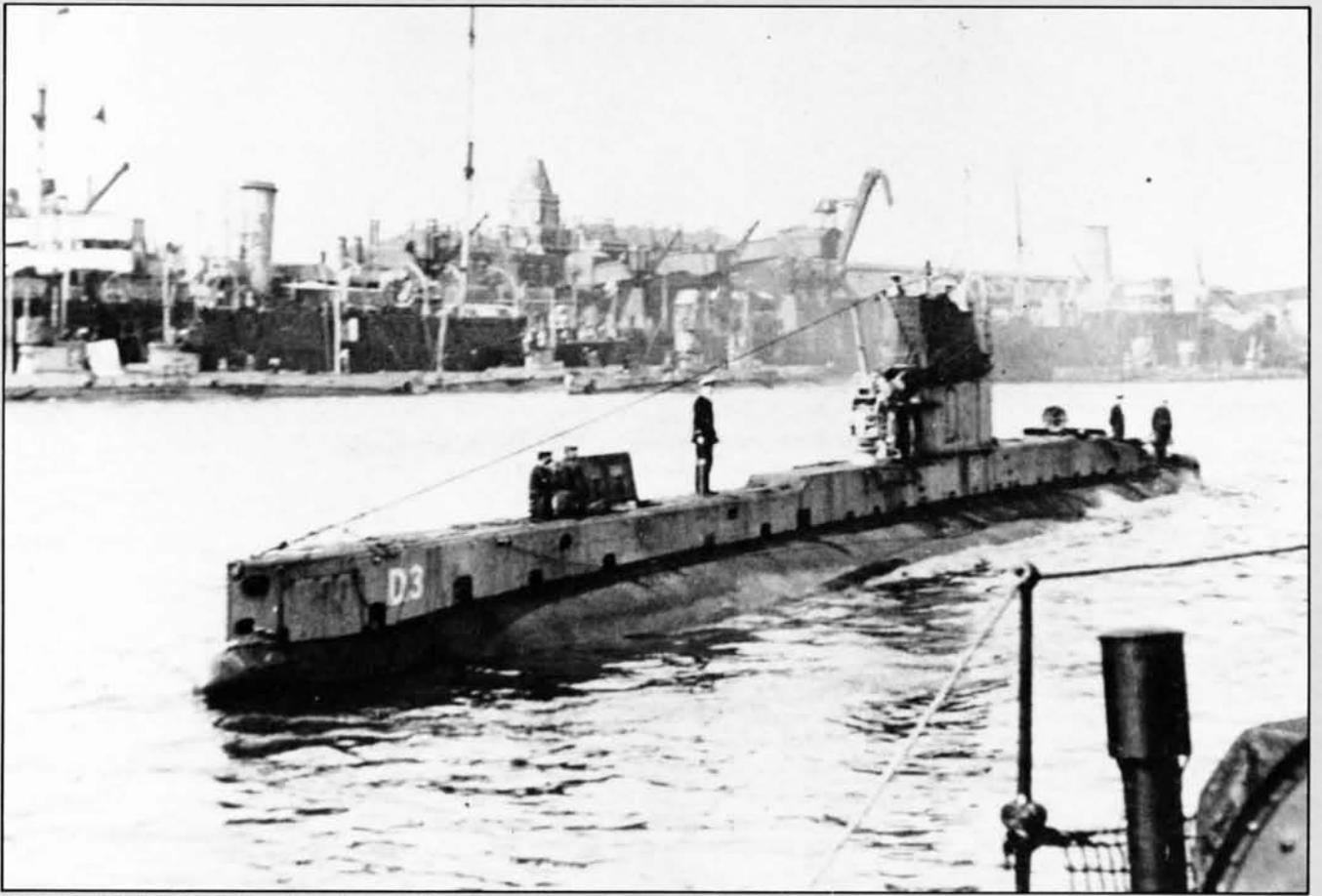
L'intérieur du sous-marin devint très vite pitoyable; un gros tuyau ballotté, froid, nauséabond, saturé d'humidité, où s'entassaient une vingtaine d'êtres humains à moitié gelés, affamés et frustrés. Ceux qui, sur la passerelle, munis d'un simple cagnard, s'évertuaient à repousser les éléments, emmitoufflés jusqu'aux oreilles dans leur "lammies" (duffle-coat et pantalon de feutre) et leurs cirés étaient presque heureux d'échapper au chaos qui régnait à l'intérieur.

Normalement, les moteurs diesels occupent un bon quart du navire, mais une fois démontés, les grosses pièces graisseuses jonchèrent le compartiment unique de la proue à la poupe. L'odeur fétide du mazout s'infiltra partout, et les ponts furent vite recouverts d'un mélange épais, glissant et boueux d'eau de mer, d'huile, de graisse et de charbon. Au moins les moteurs n'avaient point chauffé. C'était déjà bien assez d'avoir à travailler sous la bourrasque. S'ils avaient été chauds, la lenteur des progrès et les brûlures se seraient ajoutées à la liste des calamités. Mais en dépit de l'adversité, les mécaniciens et les soutiers livrèrent une lutte épique qui porta fruit.

À minuit, le moteur de bâbord marchait, "bourrant" les accus à pleine puissance. Les hommes trépignaient d'impatience en attendant le moment où, rechargés, ceux-ci leur permettraient de plonger à l'abri du mauvais temps.



Salle des machines d'un classe-D, vue de l'avant. (Collection de l'auteur).



D3 à Harwich, juin 1916. Il semblerait que l'officier de quart soit William Maitland-Dougall, premier lieutenant à bord du D3 à l'époque. (Photo du Musée royal des sous-marins).

D3

D'un tonnage immergé de 620 tonnes, le D3 mesurait 162 pieds de longueur et 20,5 pieds par le travers. À l'intérieur, le sous-marin était entièrement ouvert, sans cloison intégrale. Doté de deux hélices, il était propulsé par un moteur diesel Vickers en prise directe de six cylindres développant 600 h.p., et d'un moteur électrique de 275 h.p. sur chaque arbre. Le premier donnait une vitesse de 16 nœuds, tandis que les deux autres lui conféraient une vitesse maximale de 9 nœuds. Les

bâtiments de classe D étaient armés de trois tubes lance-torpilles de 18 pouces, deux superposés à l'avant et un à l'arrière, avec une charge supplémentaire pour chacun d'eux. D3 en outre dotés d'un canon à tir courbe de 6 lb, de deux périscopes, d'appareils récepteurs et émetteurs et d'hydrophones. Il y avait un cabinet à l'arrière, dans la salle des machines, qui se vidait dans une caisse d'assiettes. La profondeur de plongée maximale était d'environ 150 pieds.

L'équipage se composait de vingt-six personnes, dont trois officiers. Les trois sous-officiers mécaniciens de génie se relayaient à tour de rôle, alors que le reste de l'équipage travaillait sur deux quarts. Il n'y avait que deux couchettes, l'une pour le commandant, l'autre que se partageaient le premier lieutenant et le navigateur. Les hommes d'équipage supérieurs avaient suspendu des hamacs et le reste de l'équipage dormait où il pouvait.

À 2 h, Barney en eut assez et descendit le navire au fond pour la nuit ou ce qu'il en restait. Épargné des rigueurs climatiques, le personnel de la salle des machines put travailler bien plus à l'aise, mais nul ne pourrait dormir tant que les deux moteurs ne seraient pas remis en parfait état. C'est ainsi que jusqu'au lendemain matin, le cliquetis des outils fit bon ménage avec les jurons que lançaient les mécaniciens et les soutiers à l'assaut des moteurs récalcitrants qu'ils finirent par réparer.

À 10 h, le D3 reprit le collier en plongée périscopique. La mer se calma, la visibilité se dégagait considérablement et, deux bons moteurs aidant, la patrouille se poursuivit pendant 48 heures, jusqu'à ce que le sous-marin refit surface et mit le cap sur Flamborough Head.

Certaines patrouilles furent, certes, meilleures que d'autres. Mais celle-là, nous ne sommes pas près de l'oublier. Il est intéressant de noter qu'en dépit de la proximité du port d'attache et des conditions climatiques, il ne nous est jamais venu à l'esprit d'interrompre notre mission et de rentrer à la base. Chez des gens comme Barney Johnson, ces choses-là ne se font pas.

À l'arrivée, on n'accorda qu'un petit congé à l'équipage, et ceux qui auraient eu droit au congé de patrouille de trois jours en furent privés. Il survenait toutes sortes de choses passionnantes autour de la base et les navires avaient reçu instructions de se tenir prêts à appareiller très rapidement. L'un des événements les plus marquants, qui allait éclipser tout le reste pour le Vulcan et son équipage, fut l'arrivée du Capitaine M.E. Nasmith, VC, l'un des sous-mariniers britanniques les plus prestigieux. Il avait relevé le Commander White à la tête de la 3^e Flottille pendant l'absence du D3, et la rumeur envahit bientôt le poste des hommes : la flottille s'en allait outremer.



David Perkins a servi pendant 25 ans dans la marine canadienne, principalement dans les sous-marins. Au moment de prendre sa retraite en 1979, il était quartier maître-armement. C'est alors qu'il a entrepris une étude de l'activité des sous-marins canadiens. Cette recherche s'est traduite par la rédaction et la publication, en septembre dernier, d'un ouvrage intitulé : *Canada's Submariners, 1914-1923*. Il entend poursuivre par l'étude de la période postérieure, et notamment de la Deuxième Guerre mondiale. On voit ici, M. Perkins tenant la cloche du sous-marin H6 construit par Vickers à Montréal (mai 1915).



Bulletin d'information

TRUMP progresse lentement, mais sûrement

À l'heure actuelle, les NCSM *Algonquin* et *Iroquois* sont tous deux au chantier Davie à Lauzon (Québec). L'*Algonquin* est maintenant à flot et commence à montrer des signes de modernisation. Le système de lance-missiles vertical (SLMV) a été installé, tout comme la tourelle avant, la cheminée et les conduits de fumée auxiliaires. Les seuls éléments manquants sont les mâts. L'installation des systèmes majeurs, notamment le système de circulation d'eau de mer, est en cours, et l'on travaille activement au radeau des machines principales ainsi qu'à l'alignement des arbres.

L'*Iroquois*, pour sa part, est en cale sèche et y restera vraisemblablement pour un deuxième hiver. Le travail complexe d'enlèvement des vieux équipements et des vieilles structures est presque achevé, et l'on a commencé à installer les nouveaux systèmes. Le travail de construction est bien amorcé dans la partie avant du navire, et le SLMV devrait être en place bientôt.

On progresse aussi dans la formation des équipages de l'*Algonquin* et de l'*Iroquois* qui suivent divers cours sur les systèmes. La formation touchant les nouveaux radars de veille et de conduite du tir se poursuit également en Hollande, au centre d'essai terrestre d'Hengelo, tandis que sur le plan du génie maritime, on a dispensé des cours sur le nouvel appareil DG de 1 000 kW et sur le système de détection et d'extinction d'incendie.



Enfin, les essais du système de lance-missiles vertical, effectués au centre d'Osborne Head, vont bon train; ils ont en

effet permis de déceler d'éventuels problèmes d'interface entre le navire et le SLMV et d'envisager les corrections nécessaires.

Le SMA (Mat) prend sa retraite

Le sous-ministre adjoint (Matériels) du ministère de la Défense nationale (MDN), M. Eldon J. Healey, prendra sa retraite à la fin du mois de février 1990. M. Healey a œuvré au sein de la Fonction publique pendant quatre ans et demi et dans les Forces canadiennes pendant plus de 32 ans.

M. Healey est devenu le sous-ministre adjoint (Matériels) du ministère de la Défense nationale en septembre 1985. À ce titre, il a été directeur de l'armement pour le Canada au sein de l'OTAN et un des directeurs de Construction de Défense Canada (1951) Limitée.

M. Healey s'est enrôlé dans la Marine royale du Canada en 1953 et il a fait des études en génie au Royal Roads Military College, à Victoria, et au Royal Navy Engineering College, en Angleterre. En tant que militaire, il a servi sur plusieurs navires et a occupé divers postes d'état-major dans des quartiers généraux.

Il a obtenu son diplôme du Collège de la Défense nationale, à Kingston (Ont.). En 1979, il a été nommé Directeur — Génie maritime et maintenance au Quartier général de la Défense nationale. Il est ensuite devenu administrateur du projet de la Frégate canadienne de patrouille. En 1984, il a été promu contre-amiral et nommé Chef — génie et maintenance. Il s'est retiré des Forces canadiennes en août 1985.

Nomination au poste de SMA (Mat)

Le sous-ministre de la Défense nationale, M. Robert R. Fowler, a annoncé la nomination de M. Robert D. Gillespie, 39 ans, originaire de Guelph en Ontario, au poste de sous-ministre adjoint (matériels) du ministère.

La nomination de M. Gillespie entrera en vigueur à compter du 21 février, et ce, suite à la retraite de M. Eldon J. Healey qui occupe actuellement ce poste. Depuis 1985, M. Gillespie était chef de l'approvisionnement au ministère de la Défense nationale.

La touche "Midas"

Nous désirons offrir nos félicitations au Capitaine de frégate Jim Sylvester, antérieurement DSGM 6, Chef de section pour la gestion de la maintenance maritime au sein de DGGMM.

Au mois de février, le certificat du mérite SMA (Mat) fut décerné au CF Sylvester par le Sous-ministre adjoint (Matériel), M. Eldon J. Healey. Le certificat lui fut remis en reconnaissance de ses réalisations en ce qui a trait au projet d'amélioration des facilités du centre d'essais technique (mer), de la gestion des configurations et de la politique de maintenance navale.

M. Harvey Neilsen, ex-DSGM était sur place pour témoigner des efforts considérables du CF Sylvester. Il a dit que tout ce qu'il touchait se transformait en or.

Le CF Sylvester suit présentement un cours de français à l'école des langues à Ottawa.

Un modèle avancé de MRM est accepté

Un événement déterminant est survenu au mois d'août relativement à l'élaboration d'une nouvelle génération d'ordinateurs pour la Marine. En effet, le DSCN a accepté le modèle avancé de multiprocesseur reconfigurable militarisé (MRM). Le châssis du modèle avancé de MRM (qui peut recevoir 20 cartes à circuits) comprend les éléments suivants :

- deux cartes d'ordinateur monocarte, chacune comportant un processeur Motorola 68030 et une mémoire de 4 mégaoctets;
- deux cartes d'interface série OTAN 4153;
- une carte d'interface parallèle OTAN 4146.

Les deux cartes d'ordinateur monocarte ont une vitesse d'exécution combinée d'environ 10 millions d'instructions par seconde (MIPS) et grâce à la mémoire totale de 8 mégaoctets, elles ont une puissance de traitement équivalente à 16 ordinateurs AN/UYSK-505. Cette nouvelle génération



Certificat du mérite!
M. Healey avec le CF Sylvester. (Photo des FC)

d'ordinateur naval offre des possibilités d'expansion et de croissance considérables du seul fait qu'on ait ajouté au châssis des cartes processeur ou des cartes à mémoire. Dans certains cas, ces possibilités pourraient dépasser les 1 000 p. 100. Comme le MRM est compatible avec les systèmes commerciaux, les coûts de mise au point et de formation seront réduits substantiellement.

On peut voir le modèle avancé de MRM au bureau du DSCN 8.

Mise à jour sur le projet de NAE

En juin 1986, le gouvernement fournissait les directives et les fonds nécessaires à l'achèvement de la phase de définition de

projet pour le nouvel aéronef embarqué (NAE). Le 3 août 1987, la firme *European Helicopter Industries* était désignée comme le principal entrepreneur chargé de fournir au MDN entre 28 et 51 EH-101 « canadiens ». L'objectif visé était de déployer dans la flotte autant de ces hélicoptères qu'il y a de Sea King aujourd'hui.

Les missions principales du NAE sont la lutte anti-sous-marine, la surveillance anti-navire et le marquage d'objectifs, tandis que ses missions secondaires comprennent la recherche et le sauvetage, l'évacuation sanitaire et l'hélicoptère. Pour accomplir ces missions, le nouvel aéronef doit avoir un long rayon d'action et une bonne autonomie, une grande capacité d'emport, du matériel d'avionique et des processeurs acoustiques perfectionnés; il doit en outre pouvoir fonctionner par tous les temps et mener des opé-

rations navales jusqu'au niveau 5 à l'échelle de Douglas.

Ayant présentement une masse totale maximale de 31 500 lb, le NAE est à la fois plus lourd et plus gros que le Sea King. Or, comme la FCP a été conçue à l'origine pour recevoir un NAE de 30 000 lb, il faudra prévoir certains problèmes d'intégration à l'interface navire/hélico. Les deux pétroliers ravitailleurs et les DDH280 n'ont pas été conçus non plus pour ce genre d'hélicoptère, et il faudra là aussi déployer des efforts supplémentaires au niveau de l'interface navire/hélico.

Indexe des articles : 1989

Janvier

L'AMCC : ses conséquences pour la marine (Chronique du commodore)
par *VAdm W.B. Hotsenpiller*

Le mystère du carter d'engrenages du *Saguenay*
par *Lt(M) Kevin Woodhouse*

CANTASS — Les moyens de lutte ASM à l'assaut du 21^e siècle
par *Lcdr Richard Marchand*

Mise au point d'un dispositif de dessalement par osmose inverse pour navires
par *Morris Shak et Réal Thibault*

Les secrets de l'alignement du système de propulsion
par *Lcdr Brian Staples*

Évolution de la frontière homme/machine dans les systèmes de combat
par *Cdr Roger Cyr*

Rétrospective : Le NSM *Charybdis* (1880-1882)
par *Lcdr Brian McCullough*

Avril

In Memoriam : Commodore Ernest C. Ball

Le soutien apporté à la flotte (Chronique du commodore)
par *Cmdr W.J. Broughton*

FPC — Qui s'intéresse à l'assurance de la qualité?
par *Cdr Darryl J. Hansen*

Effets des décharges et des champs électrostatiques sur les systèmes électroniques
par *L.R. Dicks et Gilles Morin*

Installation en rattrapage proposée d'un système de propulsion turbine à gaz/électrique destiné à la classe *Annapolis*
par *L.T. Taylor*

Les systèmes experts et leur application au génie maritime
par *Dr. Pierre Roberge et Lcdr Serge Lamirande*

Des officiers de marine comme programmeurs : un talent perdu
par *Cdr Roger Cyr*

Les ingénieurs de marine de la Réserve navale — Ils sont de retour!
par *Cdr J.R. Pirquet*

Rétrospective : incident technique en mer

Septembre

RAST MK III — Une nouvelle génération de système de manœuvre d'hélicoptère
par *Cdr Ron Johnson*

Remplacement de l'hélice du *Huron* sous l'eau
par *Lcdr Larry White*

Détermination des critères de réception après révision pour améliorer la fiabilité des moteurs électriques
par *Italo Giangrande et W.A. Reinhardt*

Incident technique — Une leçon

Essai de dépose du moteur principal de la FCP
par *Lt(M) Cliff Wardle*

L'entière responsabilité des systèmes est-ce la solution?
par *Capt(M) Roger E. Chiasson*

La proposition d'une structure des groupes professionnels adaptée à la Marine des années 90
par *Cdr Roger Cyr*

Rétrospective : La cloche du *Kapuskasing*
par *Lcdr Brian McCullough*



**Les techniciens
de la Réserve navale**

À venir en juillet